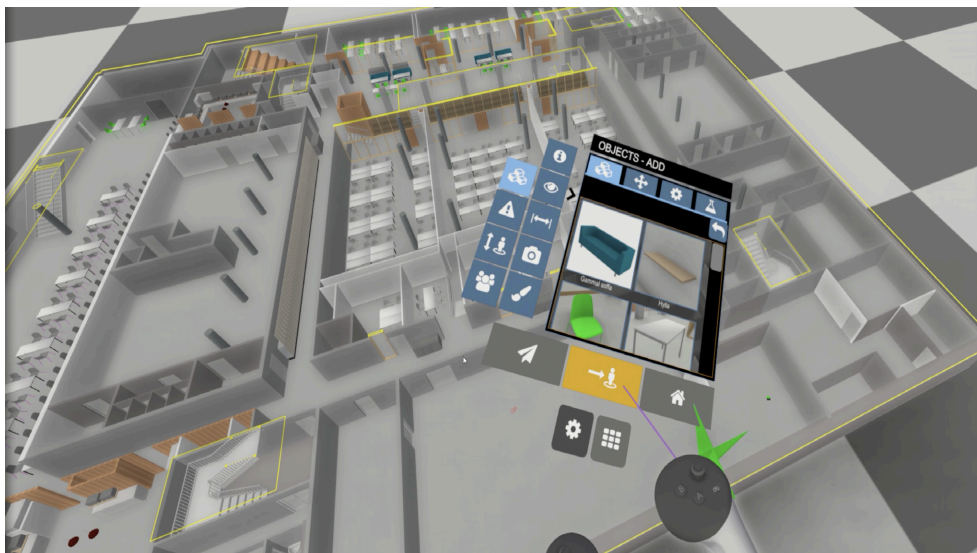




CHALMERS



Utvärdering av den fysiska platsens påverkan på genomförande av uppgift i immersiv VR

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

ACEX11-24-20

ALEXANDER BROMANDER, MATILDA DAHLGREN,
MUSTAFA EL-HAJ, JOHN KARLSSON, MARCUS LAVE,
YASIR RAZOCKY

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

KANDIDATARBETE ACEX11-24-20

Utvärdering av den fysiska platsens påverkan på genomförande av uppgift i immersiv VR

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

ALEXANDER BROMANDER, MATILDA DAHLGREN,
MUSTAFA EL-HAJ, JOHN KARLSSON, MARCUS LAVE,
YASIR RAZOCKY



CHALMERS

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2024

Utvärdering av den fysiska platsens påverkan på genomförande av uppgift i immerisv VR

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

© ALEXANDER BROMANDER, MATILDA DAHLGREN, MUSTAFA EL-HAJ, JOHN KARLSSON, MARCUS LAVE & YASIR RAZOCKY

Kandidatarbete ACEX11-24-20 / Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik, Chalmers Tekniska Högskola 2024

Handledare: Shahin Sateei, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Construction Management

Examinator: Mikael Viklund Tallgren, Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Construction Management

Kandidatarbete 2024

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Construction management

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

Göteborg, Sverige 2024

Sammandrag

Medan digitalisering tar stora kliv framåt inom många branscher, stöter byggbranschen på utmaningar med att integrera nya teknologier och ses ofta som traditionellt konservativ. Däremot har den svenska byggbranschen sett ett upplyft under senare tid gällande digitaliseringen och det har blivit vanligare att projektera och presentera byggnader i informationsinlagrande 3D-modeller. Vidare har immersiv VR vuxit fram som ett kraftfullt verktyg i branschen som i många sammanhang bevisats förstärka och förbättra kommunikationen samt förståelsen mellan olika projektörer och aktörer. Immersiv VR utnyttjas för det mesta idag som ett visualiseringsverktyg men möjligheterna med tekniken går längre än så. Möjligheten att interaktivt interagera med 3D-modellen i en virtuell miljö öppnar upp för andra tillämpningar i byggprocessen.

Denna rapport undersöker huruvida den fysiska platsen påverkar VR-användarens förmåga att samarbeta och utföra arbetsuppgifter tillsammans med en annan användare i en interaktiv VR-miljö. Genom ett flertal workshops med högskolestudenter på ACE-avdelningen samlades datapunkter in för att undersöka detta. Fortsättningsvis genomfördes en litteraturstudie samt intervjuer med branschaktiva för att undersöka hur insikterna från experimentet kan implementeras i ett verkligt sammanhang och vilken påverkan insikterna kan ha på branschen.

Resultatet i arbetet visade att användarnas fysiska plats inte spelade någon roll på hur väl de genomförde de angivna uppgifterna utan de presterade lika bra när de var samlokaliserade som på geografiskt åtskilda platser. Följaktligen visade resultatet att samtliga deltagare snabbt kom in i VR-systemet och dess funktioner, vilket pekar på en hög användarvänlighet för tekniken. Dessa insikter är värdefulla för branschen eftersom det öppnar upp möjligheter för arkitekter och andra projektörer att låta brukare eller byggherren komma till tals kring utformningen och utseendet av färdig byggnad tidigare i byggprocessen, när det ofta kan vara svårt att tolka vad arkitekten verkligen menar, särskilt för de som inte har så mycket erfarenhet av ritningsläsning och ritningsbeskrivningar.

NYCKELORD:

Immersiv VR, objektmanipulation, multi-user, uppdragsprestation, åskilda lag, samlokaliserade lag, designprocess

Evaluation of the Physical Location's Impact on Task Execution in Immersive VR

Bachelor's Thesis in Civil Engineering

© ALEXANDER BROMANDER, MATILDA DAHLGREN, MUSTAFA EL-HAJ, JOHN KARLSSON, MARCUS LAVE & YASIR RAZOCKY

Bachelor's Thesis ACEX11-24-20 / Department of Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology 2024

Supervisor: Shahin Sateei, Department of Architecture and Civil Engineering, Construction Management

Examiner: Mikael Viklund Tallgren, Department of Architecture and Civil Engineering, Construction Management

Bachelor thesis 2024
Department of Architecture and Civil engineering, Construction management
Chalmers university of technology
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Gothenburg, Sweden 2024

Abstract

While digitization is making significant strides in many industries, the construction sector often encounters challenges in integrating new technologies and is seen as traditionally conservative. However, the Swedish construction industry has recently seen a boost in digitization, and it has become more common to design and present buildings in information-rich 3D models. Furthermore, immersive VR has emerged as a powerful tool in the industry that has been proven to enhance and improve communication and understanding between various designers and stakeholders. Today, immersive VR is mostly utilized as a visualization tool, but the possibilities of the technology extend beyond that. The ability to interactively engage with the 3D model in a virtual environment opens up other applications in the construction process.

This report investigates whether the physical location affects VR users' ability to collaborate and perform tasks together with another user in an interactive VR environment. Through several workshops with college students at the ACE department, data points were collected to examine this. Subsequently, a literature study and interviews with industry professionals were conducted to explore how insights from the experiment can be implemented in a real context and the impact these insights might have on the industry.

The results of the study showed that the users' physical location did not matter in terms of how well they performed the tasks; they performed just as well when they were colocated as when they were at geographically separated locations. Consequently, the results showed that all participants quickly adapted to the VR system and its functions, indicating a high usability of the technology. These insights are valuable to the industry as they open up opportunities for architects and other designers to allow users or builders to have a say in the design and appearance of the final building earlier in the construction process, when it can often be difficult to interpret what the architect really means, especially for those who are not very experienced in reading and understanding drawings and descriptions.

KEYWORDS:

Immersive Virtual Reality, object manipulation, multi-user, task-performance, remote teams, co-located teams, design process

Förord

Denna rapport är ett kandidatarbete författat av studenter på Chalmers Tekniska Högskola inom Civilingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik. Arbetet är utfört vid institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik på avdelningen Construction Management och en del av kandidatexamen inom Samhällsbyggnadsteknik.

Vi vill rikta ett stort tack till alla som deltagit i workshop och till er som ställt upp i våra intervjuer. Utan ert engagemang och intresse hade vi inte kunnat kartlägga behovet av VR i byggbranschen och observera alla de möjligheter som finns, idag såsom i framtiden. Vidare vill vi tacka alla handledare från avdelningen för fackspråk och kommunikation samt biblioteket som väglett oss genom detta kandidatarbete.

Slutligen vill vi tacka vår handledare Shahin Sateei, doktorand på avdelningen Construction Management, för sin extraordinära arbetsinsats och sitt betydande engagemang och stöd.

AKRONYMER

AEC	Architecture, Engineering and Construction
HMD	Head Mounted Display
BBR	Boverkets Byggregler
AR	Augmented Reality
VR	Virtual Reality
MR	Mixed Reality
XR	Extended Reality
BIM	Building Information Model
IFC	Industry Foundation Classes
ACE	Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
AMA	Allmän material- och arbetsbeskrivning

Innehållsförteckning

1. Inledning och tidigare relaterat arbete.....	1
1.1 Syfte och frågeställning.....	2
1.2 Avgränsningar.....	3
2. Bakgrund.....	4
2.1 Byggprocessen i sin helhet.....	4
2.1.1 Byggprojekteringsprocessen fördjupning.....	5
2.1.2 Möjligheten att påverka kostnaden i byggprocessen.....	6
2.1.3 Hur ser kommunikationen ut mellan arkitekt, övriga projektörer och brukare idag?.....	7
2.2 Immersiv VR.....	7
2.2.1 Vad är immersiv VR.....	8
2.2.2 Immersiv VR i byggbranschen.....	8
2.2.3 Användningstyper av VR och hur de fungerar.....	8
2.2.4 Viktiga aspekter vid användning av VR.....	9
2.2.5 Användning av VR för arkitekter idag.....	10
2.3 Mjukvaror och hårdvaror.....	10
2.3.1 Arkitektens visualiseringsverktyg idag.....	10
2.3.2 Autodesk Revit.....	11
2.3.2.1 IFC-format.....	11
2.3.3 VR-mjukvaror för multi-user.....	11
2.3.4 BIMXplor.....	12
2.3.4.1 Verktygspalette.....	12
2.3.5 Hårdvaror för VR.....	13
2.3.5.1 Meta Quest 3.....	14
2.3.6 Ekonomiska aspekter.....	14
3. Metod.....	16
3.1 Intervjuer.....	16
3.1.1 Struktur.....	16
3.1.2 Tillvägagångssätt.....	17
3.2 Workshop: Möblering i VR.....	17
3.2.1 Struktur.....	18
3.2.2 Förberedelse inför workshop.....	18
3.2.2.1 Användningen av Revit.....	18
3.2.3 Genomförande.....	23
3.2.4 Primär beräkningsmetod av träffsäkerhet.....	26
3.2.5 Sekundär beräkningsmetod av träffsäkerhet.....	28
4. Resultat.....	31
4.1 Intervjuresultat.....	31
4.1.1 Hur VR tillämpas inom företaget i dagsläget.....	32
4.1.2 Vilka hinder och utmaningar ser kandidaterna för implementeringen av VR i byggbranschen?.....	33
4.1.3 Vad ser ni för potential med VR inom byggbranschen?.....	34
4.2 Workshop resultat.....	34

4.2.1 Enkätstudie.....	34
4.2.1.1 Bakgrundsfrågor.....	34
4.2.1.2 NASA-TLX.....	35
4.2.1.3 PSSUQ-enkät.....	35
4.2.2 Prestation.....	36
4.2.2.1 Träffsäkerhet som ett samband med utförandetid.....	38
4.2.2.2 Jämförelse med sekundär beräkningsmetod.....	39
4.2.2.3 Jämförelse med sekundär beräkningsmetod.....	41
4.2.2.4 Självskattning jämfört med faktisk prestation.....	42
4.2.2.5 Utbildningens påverkan på prestationen.....	43
4.2.2.6 Grupprelationens påverkan på prestationen.....	43
4.2.2.7 Frågor efter workshop.....	44
5. Diskussion.....	46
5.1 Hur kan immersiv VR med stöd för interaktiva funktioner tillämpas inom industrin?.....	46
5.2 Hur påverkar användarens bakgrund genomförandet?.....	48
5.3 Hur påverkar den fysiska platsen användarens förmåga att genomföra en möbleringsuppgift i immersiv VR sett till träffsäkerhet och noggrannhet?.....	49
5.4 Förbättringsförslag och förslag till framtida problemställningar.....	50
6. Slutsats.....	51
7. Källförteckning.....	53
Bilagor.....	56

1. Inledning och tidigare relaterat arbete

Under en tid av snabb teknologisk utveckling, som fortfarande växer och förbättras exponentiellt, har digitaliseringen och förändringarna inom näringslivet och samhället i stort varit betydande (Samuelsson O, 2021). En del branscher i näringslivet har tagit mer nytta än andra vad gäller den teknologiska utvecklingen och har introducerat flera digitala arbetssätt som förenklat och förbättrat verksamheten på många plan. Byggbranschen har däremot inte anammat den teknologiska utvecklingen i samma hastighet som andra branscher och kartläggning visar att digitaliseringen i byggbranschen och införandet av digitala arbetssätt går långsammare för just denna bransch (Anjou, 2019). Det faktum att byggsektorn halkar efter med digitaliseringen har lett till att flera nya initiativ och satsningar har gjorts för att främja digitaliseringen, vilket ses som en av det mest avgörande faktorerna till en förändring i byggbranschen (Samuelsson O, 2021).

Det är inte sällan nyheten sprids om att ett byggprojekt överskrider sin ursprungliga tidsplan och budget. Studier har visat att i genomsnitt så överskrider cirka 72% av byggprojekt sin initiala tidsplan med cirka 38% (Rivera m.fl., 2016). Därpå kan de överskridna budgetarna oftast kopplas till upptäckta fel innan produktion eller till byggändringar under eller efter produktion (Boverket, 2018). Åtminstone 25% av felkostnaderna kan kopplas till skedena innan produktion och att åtgärda fel blir dyrare ju längre ett byggprojekt pågått (Anjou, 2019; Boverket, 2018). En anledning till att dessa upptäckta fel under projektering, och i sin tur, senare byggändringar uppstår, går att koppla till ett misslyckande i att utpeka designfel under de tidiga faserna i byggprocessen (Anjou, 2019; Boverket, 2018). Detta är problematiskt eftersom avvikelser från grundplanen ofta leder till att tidsplanen och budgeten överskrids samt en påverkan på slutresultatet och i sin tur brukarnas miljö.

Som tidigare nämnt så kan mycket av problemen som uppstår innan produktion och under produktion kopplas till projekteringen. Närmare bestämt ett misslyckande i att utpeka designfel under projekteringsfasen vilket kan innebära dyra konsekvenser och senarelagda slutdatum (Anjou, 2019; Boverket, 2018). Här finns alltså mycket utrymme för förbättring. En noggrann och väl genomförd projektering lägger grunden för ett bra byggprojekt med få problem (Boverket, 2018). I Sverige har många insatser gjorts under senare tid för att gå ifrån att presentera och projektera byggnader med traditionella 2D-ritningar till att presentera med informationsinlagrande, objektorienterade 3D-modeller (BIM) (Johansson & Roupé, 2019). Vilket ses som ett nödvändigt steg för att enklare upptäcka fel och misstag under projekteringen.

Under senare tid har även immersiv VR vuxit fram som ett kraftfullt verktyg för hela byggsektorn med stor potential (Johansson & Roupé, 2023). Vilket innebär att när det integreras med Building Information Modeling (BIM) projiceras 3D-modellen framför synfältet vilket skapar en bättre känsla för detalj och storlek eftersom personerna som nyttjar VR-glasögonen får en liknande känsla av byggnaden som om de hade varit där i verkligheten när de "kliver in" i arkitektens förslag. Applikationerna för immersiv VR kan komma att bli flera, bland annat granskning av modellen, produktionsplanering och brukarinvolvering, det vill säga att brukaren av färdig byggnad får vara med redan under projektering och framhäva sina åsikter (Satei m.fl., 2023; Johansson & Roupé, 2023).

Genom interaktiva funktioner i immersiv VR som möjligheten att flytta objekt direkt i 3D-modellen och möjligheten att verka i multi-user har studier visat att det dessutom skapas bättre förståelse för slutprodukt mellan brukare och designteamet samt lett till snabbare beslutsfattning när designfel ska

åtgärdas (Wolfartsberger, 2019; Truong m.fl., 2021; Sateei m.fl., 2022). Genom brukarinvolvering kan designteamet även få en bättre uppfattning om vilken rumslayout, möbelplacering och rumsstorlek som är optimal för brukare som till exempel kommer använda ytan till att utföra sitt arbete, vilket i sin tur även minskar tiden för själva designprocessen (Roupé m.fl., 2020). Ett exempel kan vara byggnation av vårdlokal där vårdpersonalen via immersiv VR kan möblera upp en operationssal, enligt egen tidigare erfarenhet och expertis, för att demonstrera hur rummet bör vara uppbyggt för att de ska kunna utföra sitt arbete på ett effektivt sätt. Sjukhus och vårdlokaler brukar inte alltid träffa helt rätt med placering av utrustning och möblering utan kräver i många fall omprojektering och ombyggnation (Sateei, 2020). Genom att inkludera vårdpersonal under projekteringen och med hjälp av immersiv VR skulle den risken kunna minimeras. Denna typ av förståelse för vad brukarna behöver för att utföra sitt arbete kan resultera i bättre arbetsmetoder under projekteringen där brukaren i princip blir en del av designteamet (Sateei m.fl., 2023).

Även om det finns många studier som lyfter fram de tidigare nämnda fördelarna med immersiv VR i tidig byggprojektering, till exempel en immersiv granskning av 3D-modellen, möjligheten att verka i multi-user och direkt möblera i 3D-modellen för att framhäva och illustrera behov samt diskutera ändringsförslag, så finns det få studier som undersökt huruvida platsen deltagarna befinner sig på när de verkar i multi-user påverkar kommunikationen sinsemellan och hur väl de genomför tilldelade uppgifter i 3D-modellen. Något som måste fungera bra för att verktyget ska kunna bli en vardag under projekteringen. Möjligheten att befinna sig på geografiskt åtskilda platser men i samma virtuella miljö där deltagare kan interagera med varandra i modellen men även kommunicera med varandra verbalt via ljudsamtal öppnar upp stora möjligheter för byggbranschen som är i behov av mer digitala arbetssätt.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med kandidatarbetet är att utvärdera huruvida den fysiska platsen deltagarna befinner sig på har en påverkan på hur pass effektivt användare genomför en möbleringsuppgift tillsammans i immersiv VR. Målet är att bevisa att kommunikationen och uppgiftsprestationen är minst lika bra när det sker samlokaliserat som på geografiskt åtskilda platser. Vidare är delsyftet i kandidatarbetet att utifrån insikterna som erhållits från workshopen undersöka möjligheterna att tillämpa dessa i verkliga byggprojekt.

För att kunna uppnå arbetets syfte ställs följande frågeställningar:

- Hur påverkar den fysiska platsen användarens förmåga att genomföra en möbleringsuppgift i immersiv VR sett till träffsäkerhet och noggrannhet?
- Hur påverkar användarens bakgrund genomförandet?
- Hur kan immersiv VR med stöd för interaktiva funktioner tillämpas inom industrin?

1.2 Avgränsningar

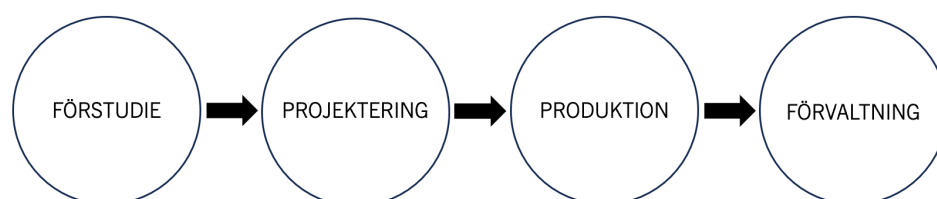
För att studera immersiv VR med fokus på multi-user kommer arbetet att avgränsas till ett begränsat antal mjukvaror, BIMXplorer och Revit. Mjukvaran BIMXplorer är kompatibel till hårdvaran Meta Quest 3, vilket är ett VR headset (HMD) med tillhörande kontroller. Detta för att BIMXplorer är utvecklat av Mikael Johansson, forskare på Chalmers. Det innebär ett nära och effektivt samarbete för att optimera mjukvaran till den workshop som arbetet grundar sig i. Den geografiska plats arbetet kommer att avgränsas till är Sverige, samtliga deltagare i workshopen samt de branschaktiva som intervjuas är därför verksamma i Sverige. Detta för att arbetet ska begränsas i sin omfattning och för att undersökningen ska spegla den svenska byggbranschen och projekteringsskedet.

2. Bakgrund

I detta kapitel ges en bakgrundsförståelse på byggprocessens delar och förståelsen av virtual reality. Tillgängligheten för användning av VR presenteras även som mjukvaror och hårdvaror.

2.1 Byggprocessen i sin helhet

Byggprocessen är en mycket lång och omfattande process som involverar flera aktörer, antingen organisationer eller enskilda personer med intentionen att uppföra enskilda byggnadsverk (Eringstam, Sandahl 2022). Dessa byggnadsverk är inte bara individuella strukturer utan utgör även viktiga delar av en samhällelig enhet. Eringstam & Sandahl (2022) har översiktligt sammanfattat byggprocessen i fyra olika skeden; förstudie, projektering, produktion och förvaltning (Figur 1).



Figur 1. Illustration av byggprocessens delar. Egen bild upprättad efter Eringstam & Sandahl (2022).

I förstudien är det byggherren, det vill säga den person eller styrelse som är i behov av husbyggnation eller en särskild lokal för en viss typ av verksamhet, som påbörjar byggprojektet (Eringstam, Sandahl 2022). Förstudien innebär enligt Eringstam & Sandahl (2022) att kartlägga förutsättningarna för ett potentiellt byggprojekt. Dessa förutsättningar kan vara byggnadens lokalisering, ungefärlig storlek, hur lång tid det tar att bygga, samt ekonomiska förutsättningar och konsekvenser. Utifrån den översiktliga informationen som samlas in från förstudien tas ett beslut om byggprojektet ska fortlöpa eller inte.

Nästa steg i byggprocessen är projekteringsskedet vilket innefattar att framställa ett byggnadsverk som tillgodoser byggherrens önskemål och krav (Eringstam, Sandahl 2022). Den framtagna byggnaden redovisas på ritningar och i beskrivningar som upprättats i enlighet med krav från AMA (Allmän material- och arbetsbeskrivning). Här bestäms alla bygghandlingar vilket innefattar de detaljerade lösningarna om byggnadens storlek, planlösning, material, konstruktion och tekniska bestämmelser som exempelvis ventilationssystem, installationssystem, uppvärmningssystem och elsystem.

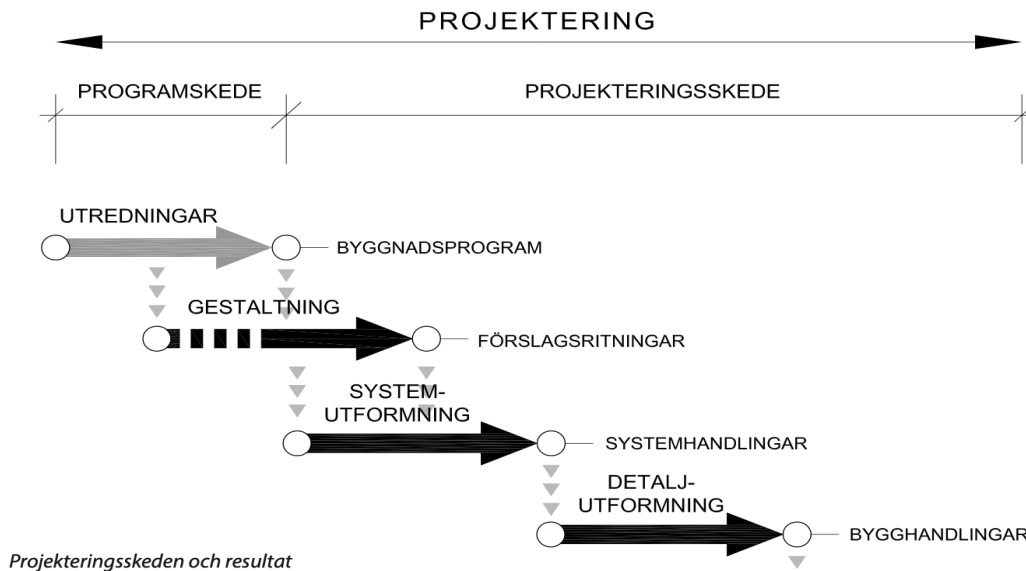
Därefter kommer produktionsskedet. Innan produktionen drar igång krävs etablering på byggarbetsplatsen. Arbetsplatsen förses med tillfälliga försörjningssystem av el, vatten och avlopp. För att byggandet ska följa tidsplanen krävs bland annat en planering av leveranser, men det är även viktigt med att ha en bra arbetsmiljö och god kvalitet (Eringstam, Sandahl 2022). När etableringen och planeringen är klar är det dags att börja bygga. Byggarbetarna förhåller sig till konstruktionsritningarna samt andra produktionsplaner för att utföra sitt arbete. Produktionsskedet avslutas med en slutbesiktning när bygget står klart.

Slutligen, när “den egentliga byggprocessen är slut” så inleds förvaltningsskedet enligt Eringstam & Sandahl (2022). Här är det förvaltarens ansvar att kontinuerligt tillhandahålla byggnadens funktioner,

vilket innefattar service, drift och underhåll för fastighetens boende och brukare. Förvaltningen sker under hela byggnadens livslängd, tills förvaltningsskedet avslutas när byggnaden rivs ned.

2.1.1 Byggprojekteringsprocessen fördjupning

Enligt Eringstam & Sandahl (2022) kan projekteringskedet delas upp i två skeden; programskede och projekteringskede. Ytterligare uppdelningar kan göras för respektive skede (Figur 2).



Figur 2. Illustration av byggprocessens delar. Egen bild upprättad efter Eringstam & Sandahl (2022).

Under inledningen av programskedet fördjupas de analyser och utredningar som gjordes under förstudien för att precisera beställarens krav och önskemål för byggnaden (Eringstam, Sandahl 2022). Resultatet av utredningarna sammanställs i ett dokument som kallas byggnadsprogram.

Gestaltningen innebär i sin tur att föreslå olika alternativa förslag för byggnadens utformning där dessa förslag vägs mot varandra i syfte att komma fram till ett huvudalternativ. Enligt Eringstam & Sandahl (2022) är det arkitekten som har huvudansvaret under gestaltningen men “övriga projektörer måste också delta i arbetet”. Arkitekten tar fram olika förslag som kallas utredningsskisser och dessa granskar arkitekten tillsammans med övriga projektörer och byggherren. Efter flera bearbetningar sammanställer arkitekten ett huvudalternativ för hur byggnaden bör utformas och resultatet redovisas i form av en situationsplan över tomten, viktiga sektioner och olika ritningar över våningsplan och fasad. Önskar byggherren att få en mer fullständig redovisning görs en beskrivning av förslaget och i förekommande fall en tredimensionell modell över byggnaden. De framtagna dokumenten kallas förslagshandlingar och är underlag för den fortsatta projekteringen.

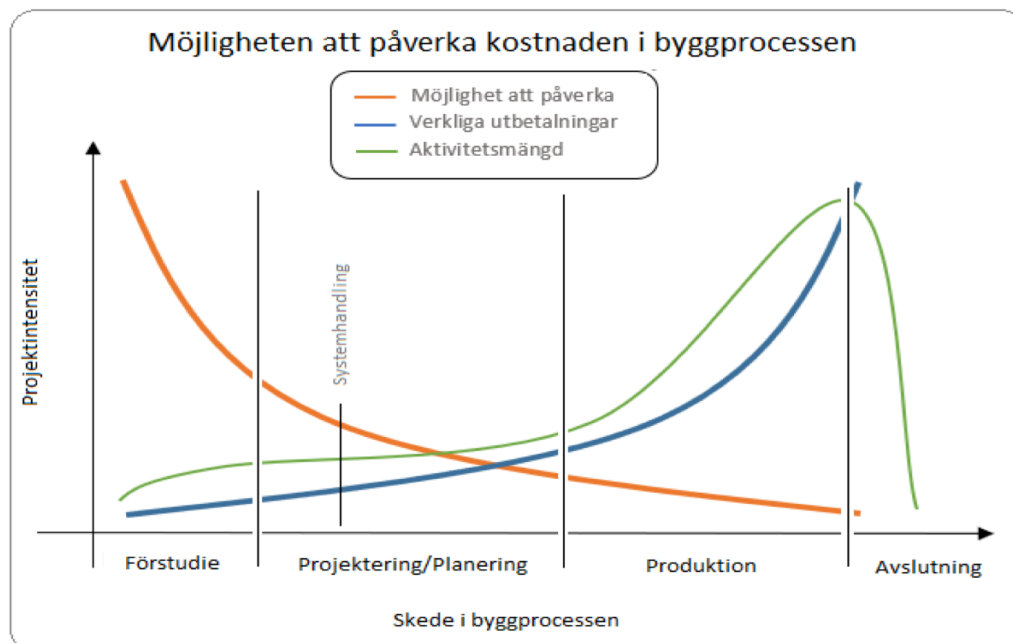
Nordstrand (2008) poängterar att det blivit vanligare att vilja utforma byggnaden redan under programskedet. Enligt Nordstrand (2008) så spelar även arkitekten en nyckelroll i byggprojekt där valmöjligheterna är många eftersom den bäst lämpade utformningen kräver många itereringar och det är arkitekten som är ansvarig. Vidare förklarar Nordstrand (2008) att om beställaren ska kunna välja det bästa alternativet så krävs det att arkitekten presenterar de olika alternativen på ett mångsidigt sätt.

Nästa steg i byggprojekteringsprocessen är systemutformning. I detta steg utformas och fastställs byggnadens konstruktionssystem och installationssystem i enlighet med de krav som tidigare fastställdes i byggnadsprogrammet (Eringstam, Sandahl 2022). Nordstrand (2008) understryker vikten av att ingenjörerna och de ansvariga projektörerna i detta skede har ett väl fungerande kommunikationssystem, annars finns det en stor risk att kollisioner uppstår mellan olika installationer. Eringstam & Sandahl (2022) förklarar vidare att målet med systemutformningen är att byggnaden ska vara så pass färdigprojekterad att bara detaljlösningar kvarstår. Vidare förklarar (Eringstam, Sandahl 2022) att resultatet från systemutformningen redovisas i systemhandlingar som utgör underlag för detaljutformningen.

Sista steget i projekteringskedet är detaljutformning, vilket är det mest omfattande (Eringstam, Sandahl 2022). Här tas definitiva och detaljerade lösningar fram, som all dimensionering av konstruktion och installation, slutlig placering av dörrar samt materialval och måttsättning osv. Eringstam & Sandahl (2022) berättar vidare att de kraven som fastställdes under byggnadsprogrammet ska nu uppfyllas och även andra krav utifrån lagstiftning och föreskrifter. Resultatet av detaljutformningen redovisas i form av ritningar, beskrivningar och förteckningar, dessa utgör det som kallas bygghandlingar.

2.1.2 Möjligheten att påverka kostnaden i byggprocessen

Beslut som fattas under de tidiga skedena i byggprocessen kan komma att påverka totalkostnaden för projektet avsevärt (Ottosson, 2015). Ottosson (2015) förklarar att möjligheten att påverka ett byggprojekt är som allra störst i början av projektet och där är även de ekonomiska konsekvenserna som allra lägst, vilket illustreras i Figur 3. Ju senare en ändring görs i byggprocessen, desto dyrare blir det. Därför gäller det att vara väldigt noggrann under de tidiga skedena i byggprocessen och fatta välgrundade beslut genom varje steg i byggprocessen. (Ottosson, 2015).



Figur 3. Visar möjligheten att påverka kostnaden i byggprocessen (Ottosson, 2015).

2.1.3 Hur ser kommunikationen ut mellan arkitekt, övriga projektörer och brukare idag?

Som tidigare uttryckt kan 25% av felkostnaderna i ett byggprojekt kopplas till projekteringen och detta gick att koppla till ett misslyckande i att utpeka designfel (Anjou, 2019; Boverket, 2018). Ottosson (2015) menar i sin tur på att 80% av alla komplikationer i byggprojekt uppstår på grund av bristande kommunikation. I grund och botten handlar det huvudsakligen om kommunikationen aktörer sinsemellan men även hur informationen lagras och hanteras i projektet (Ottosson, 2015). Sateei m.fl. (2024) flikar även in med att dialogen mellan medverkande tjänstemän under projekteringen ofta är bristfällig och det finns svårigheter med att förmedla information. Svårigheterna med kommunikationen går ofta att koppla till hur de medverkande personerna i projekteringen tolkar informationen annorlunda beroende på varierande erfarenheter, kunskapsnivåer, förmåga att tolka information och hur insatta de är i projektet (Sateei m.fl., 2024).

Eringstam & Sandahl (2022) menar på att det är arkitekten som bär huvudansvaret under de tidiga skedena i projekteringen och här tar arkitekten fram olika förslag som granskas ihop med övriga projektörer och byggherren. För att underlätta arbetsgången och för att kunna gå vidare till nästa steg under projekteringen med välgrundade beslut menar Nordstrand (2008) på att arkitekten måste presentera de olika alternativen på ett mångsidigt sätt. Något som är kritiskt för att skapa en god förståelse för projektet för de interna intressenterna i projekteringen. Chen (2004) förklarar i sin tur att en av de största svårigheterna arkitekterna har med kommunikationsprocessen är hur de ska förmedla sin information till mottagaren på ett sätt så att denne tar del av den tänkta informationen utan missförstånd. Under de tidiga skedena i byggprocessen när arkitekten bär huvudansvaret, komprimerar arkitekten ofta informationen från en 3D-modell eller ett koncept till en 2D-planritning, vilket sätter stort ansvar på mottagarens förmåga att tolka planritningen och i sin tur arkitektens idéer (Chen, 2004). Shahin m.fl. (2024) nämner också att under de tidiga skedena är det vanligt att arkitekten idag visualiserar sina idéer med svårfattliga beskrivningar, ritningar och bilder, vilket resulterar i att brukare, övriga projektörer och konsulter har svårt att tolka vad arkitekten menar och hur färdig byggnad kommer vara gestaltad, vilket kan innebära att beslutstagande görs på fel grunder (Shahin m.fl., 2024). Den ineffektiva kommunikation som uppstår till följd av detta arbetssätt kan i sin tur leda till en överraskande reaktion från kunden och övriga i projektledningsgruppen gentemot projektet (Johansson, 2021). Svårigheterna med att förstå vad som kommuniceras kan senare komma att innebära sena dyra byggändringar eller en inte fullt fungerande byggnad (Ottosson, 2015; Shahin m.fl., 2024).

Som det även nämndes tidigare så är möjligheten att påverka byggprojektet som allra störst i de allra tidigaste skedena och avtar desto mer tid och resurser som lagts ned på byggprojektet (Ottosson, 2015). Således är det viktigt för arkitekten att i de tidiga skedena och under projekterings gång skapa förutsättningar för brukare av byggnaden och övriga interna intressenter att kunna förstå och komma till tals om frågor som berör den färdiga byggnaden (Shahin m.fl., 2024). Vilket leder till en bättre förståelse för brukarens eller byggherrens behov och önskemål.

2.2 Immersiv VR

I detta delkapitel kommer begreppet immersiv VR att behandlas, såväl som utforskning av uttrycket VR, samt användningsområden inom VR. Kapitlet kommer även undersöka hur immersiv VR värderas utifrån tre aspekter samt de olika formerna av användningstyper som de kan brukas i.

2.2.1 Vad är immersiv VR

Immersiv Virtual Reality (VR) betyder virtuell verklighet som är projicerad framför synfältet. Användaren bär ett headset som fullt ut omsluter användaren i den digitala världen. Genom detta headset kan användaren utforska och integrera med en virtuell värld. Synfältet är helt fränkopplat från den faktiska verkligheten och endast visualiseringen i glasögonen syns (Forbes, 2019). För att möjliggöra interaktioner används ofta handkontroller som tillåter användaren att interagera med föremål och utforska miljöer i den virtuella världen. De vanligaste användningsområdena för VR är främst i spelbranschen och filmer. Utöver underhållning används VR inom exempelvis design, medicin och undervisning. Genom ett HMD kan användaren skapa modeller i 3D i en virtuell miljö. Detta gör det möjligt att studera mänskliga anatomin och öva på att hantera olika situationer genom simuleringar i en virtuell värld. Vidare kan blivande piloter dra nytta av virtuella flygsimulator för att förbereda sig inför verkliga flygningar (Adobe, 2024).

2.2.2 Immersiv VR i byggbranschen

Denna teknik kan inom byggbranschen visa sig bidra med en positiv effekt på kommunikation samt samarbete, då fler än en användare kan interagera i en virtuell miljö (Johansson & Roupé, 2023). Däremot är forskningen i dagsläget bristfällig när det kommer till involvering av flera deltagare som använder sig av immersiv VR inom byggsektorn, med hänsyn främst till projekteringsstadiet.

Multi-user är ett annat begrepp som främst introducerades till en början för att öka kommunikationen mellan intressenter inom byggbranschen, och genom experiment samt intervjuer observerades att kommunikationen förbättrades såväl som designfel minskade (Johansson & Roupé, 2024). På grund av användningen av multi-user kan designfel lösas innan produktion av byggnader ska ske (Johansson & Roupé, 2022). Därtill kan ett ökat samarbete även bidra till att utvärdera alternativa lösningar och designval för en byggnad. Johansson & Roupé fortsätter (2022) med att berätta att en påtaglig fördel med multi-user är att användningen kan ske på distans mellan de olika deltagarna, vilket även kan leda till att inplanerade möten kan ske direkt i den virtuella miljön oavsett vart intressenterna befinner sig.

VR har blivit allt mer tillgängligt och vanligt då tekniken bakom det har blivit bättre samt att priserna har gått från att vara väldigt höga till att bli mer godtagbara. VR tog störst framfart inom spelbranschen, men möjligheterna med tekniken har lett till att fler företag börjat implementera det i sina verksamheter. Vidare blir konceptet allt vanligare idag inom utbildningssyfte för exempelvis sjukvård, militär, pilot, KBT-terapi, men även för ändamål inom design (VR owl, 2023). Som tidigare nämnts är potentialen stor för byggbranschen och hos arkitekter, men trots detta tar implementeringen av denna teknik tid. Med hänsyn till detta använder sig inte byggföretag och arkitekter av VR i hög grad, dock kan detta vara något som är på väg att förändras.

2.2.3 Användningstyper av VR och hur de fungerar

Inom VR skiljer sig dock olika användningstyper för den virtuella upplevelsen. En av de typerna är Head-mounted display (HMD), vilket innebär att en enhet sätts på huvudet och gör att den enskilda personen hamnar i en omslutande värld (Wallergård m.fl., 2022). Även en dator med flera skärmar kan klassas som VR och närmare bestämt desktop VR. Denna typ är i huvudsak klassad för en person. Detta skiljer sig mot en workbench där användningen av en stor bildskärm eller projektion ger möjlighet till att flera personer kan bli involverade såväl som en enskild individ. Vidare finns

användningen av en VR dome vilket projicerar bilder runt omkring personen eller personerna i rummet så att de får en omslutande upplevelse. Sist men inte minst är användningen av en simulator där det kan kombineras exempelvis användningen av en HMD med en cykel för att simulera att personen cyklar i en annan miljö.

2.2.4 Viktiga aspekter vid användning av VR

Det finns tre aspekter som är viktiga att utvärdera och ha i åtanke vid användning av VR (Wallergård m.fl., 2022). Dessa är immersion, antal användare samt inkluderingen av omvärlden.

Inom immersion ingår flera olika avsnitt som alla påverkar hur bra upplevelsen uppfattas i VR och som olika användningstyper som tidigare nämnts kan excellera på varierande delar (Wallergård m.fl., 2022). Dessa delar är för det första inkluderingen, vilket betyder att VR-systemet inte släpper in exempelvis ljud och ljus utifrån, utan att användaren är isolerad från omvärlden. Lika viktigt är att utrustningen som används är bekväm och inte nämnvärt märks av. Vidare handlar den andra aspekten om omfånget, närmare bestämt sensorisk stimulans. Det vill säga sinnen såsom smak, lukt och känsel.

Vad mera är viktigt är omslutningen och hur mycket av synfältet som ockuperas med den virtuella verkligheten (Wallergård m.fl., 2022). I fråga om användningstyper kan de olika systemen drastiskt skilja sig åt i denna aspekt. Den fjärde dimensionen är livfullheten som bland annat innefattar hur verklig och äkta känslan från upplevelsen uppfattas. Till sist ska kroppsmatchningen nämnas då detta är viktigt för att upplevelsen ska uppfattas på ett behagligt sätt, vilket i synnerhet kan vara i användningen av en HMD och personen vänder sig om. Då ska synfältet renderas inom kort för att personen ska uppleva att vridningen på huvudet eller kroppen är följsamt med hur det uppfattas i VR. Resultatet av dessa fem dimensioner är att det blir olika slags bra immersion i de olika användningstyperna och att vissa system kan vara mer anpassade för vissa områden än andra. Därtill kan dessa kriterier på immersion rangordnas utefter gällande omständigheter och tillämpningsområden för att kunna använda ett så optimalt VR-system som möjligt.

I samband med detta är även antalet användare och inkluderingen av omvärlden andra huvudkriterier (Wallergård m.fl., 2022). Det förstnämnda är vanligtvis utformat på ett sådant sätt så att den enskilda individen får bästa möjliga immersion och när antalet deltagare ökar så får deltagarna vanligen antingen turas om med en HMD eller använda sig av en "VR dome" vilket signifikant kan minska immersionen (Wallergård m.fl., 2022). Däremot kan antalet deltagare medföra bättre diskussioner och samarbete även om immersionen inte prioriteras. En lösning för att antal deltagare ska vara fler än en person och att samarbetet ska frodas är utvecklingen av mjukvaror så att den virtuella miljön som är specifikt anpassad för den enskilda individen samtidigt ska kunna användas av fler personer med exempelvis ett HMD.

Tilläggs kan slutligen att inkludering av omvärlden påverkar upplevelsen i VR på olika sätt (Wallergård m.fl., 2022). Å ena sidan önskas stänga ute intryck från omvärlden för att inte bli distraherad från upplevelsen i VR. Å andra sidan gör intryck från omvärlden att exempelvis konversationer med medmänniskor blir mer lättillgängliga och naturliga, vad mera är viktigt är att exempelvis cykeln i en cykelsimulator bidrar till att VR-upplevelsen känns mera autentisk och realistisk vilket inte hade upplevts på samma sätt om interaktioner med omvärlden inte var möjlig.

2.2.5 Användning av VR för arkitekter idag

Användningsområden för VR har historiskt sett varit mer inriktad på spelbranschen och har varit mer anpassade för detta. Men VR har en större potential inom flera andra användningsområden och det är exempelvis inom arkitektur och bygg.

Arkitekter använder främst VR som ett verktyg för visualisering, men utvecklingen från 2D ritningar till BIM har gått framåt och VR blir ett alltmer vanligt verktyg för att presentera modeller till slutanvändaren (Satei m.fl, 2023). Det är däremot inte helt tydligt hur stor del av byggprocessen som arkitekterna använder sig av 3D-modeller. Vidare har VR som verktyg för visualisering till slutkunder även visat sig vara lite restriktiv, genom att genomgångarna med kund kan innefatta vinklar som blivit förutbestämda åt klienten.

VR inom arkitektur började sakta användas runt 2015. Så verktyget är än idag rätt nytt och det finns många arkitektföretag som inte använder sig av VR även idag. Men när VR väl används idag, så används det främst som ett visualiseringsverktyg när arkitekten visar upp sin design till kunden. Användaren får då kliva in i byggnaden virtuellt och se den från ett helt annat perspektiv än en bild eller 3D-modell på en dator. Det är det mest realistiska visualiseringsverktyget som finns idag för att presentera en design. Det blir lättare för användaren att då faktiskt förstå eller få en mer realistisk bild av hur det kommer se ut när byggnaden väl står färdig (ArchDaily, 2022). Däremot sker detta oftast i slutskedet av projekteringen som ett presentationsverktyg, när alltså slutprodukten nästan är klar och möjligheten för förändring kan vara begränsad (archicgi, 2023).

2.3 Mjukvaror och hårdvaror

I detta delkapitel redovisas mjukvaror och hårdvaror, vilket är en grundläggande faktor inom den digitala världen. Detta inkluderar användningen i byggbranschen. Implementering av VR hos arkitekter och i byggbranschen kräver generellt kompetenta mjukvaror som kan underlätta jobbet.

Användning av VR kräver först att en byggnadsmodell skapas i ett modelleringsprogram. Därefter behövs en mjukvara för att visuellt visa byggnadsmodeller i VR. Även specifikt för att kunna delta flera personer samtidigt. Utöver mjukvaror krävs även en hårdvara i form av ett headset med VR-glasögon för att åskådliggöra visualiseringen.

2.3.1 Arkitektens visualiseringsverktyg idag

Idag använder sig en arkitekt av ett flertal program och tekniker i projekteringskedet. Tekniken har länge, i första hand, handlat om Computer-Aided Design (CAD) där funktionen finns att modellera upp sin byggnad i antingen två dimensioner (2D) eller tre dimensioner (3D) (Eringstam & Sandahl, 2022). På senare tid har arkitektföretag insett att även BIM är en framstående teknik och vidareutveckling på 3D-modelleringen när det kommer till att samla mer information i en och samma modell. Vidare kan användningen av BIM utöka informationen i modellen såsom med materialval och andra egenskaper.

I samband med detta finns det olika mjukvaror som är skapade för olika syften. Det vill säga program som är gjorda specifikt för projektering, arkitektur, anläggning med mera (Eringstam & Sandahl, 2022). Resultatet är att det finns program som underlättar för de flesta typer av arbetsflöden. Inom projektering är vanliga program bland annat AutoCAD och AutoSketch där den förstnämnda har ett

brett användningsområde såsom dokumentation och design i både 2D och 3D. Däremot är AutoSketch ett mer simpelt program som endast är till för ritningar i 2D och 3D. Vidare har arkitektur mjukvaror som är utformade för detta område, till exempel AutoCAD Architecture samt Revit Architecture. Dessa är specifikt inriktade på arkitektur där Revits utmärkande drag är BIM samt de olika funktionerna för bland annat el, ventilation, konstruktion och byggnadsdesign.

2.3.2 Autodesk Revit

Revit, som tidigare nämnts, är ett mångsidigt digitalt verktyg. Programmet kan användas av såväl arkitekter som ingenjörer och konstruktörer (Autodesk, 2024a). Detta program är främst designat för att rita upp byggnader samt infrastruktur i tre dimensioner. Vid modellering kan detta program ge detaljer med precision och kan även användas för att samverka med flertalet discipliner. Ett exempel på detta är genom användning av funktionen att skapa en centralt delad modell, där varje deltagare sedan kan dela upp arbetet genom att använda så kallade "worksets". Detta innebär att man endast kan redigera objekt som finns i det aktiva workset, vilket förhindrar konflikter (Autodesk, 2024b). Orsaken till detta är att flera personer arbetar i samma projekt och inte alltid är synkade med centralfilen.

2.3.2.1 IFC-format

Revit har en funktion inbyggt i programmet, vilket är möjligheten att exportera en modell i IFC format. IFC är en standard framtagen av "buildingSMART International". Organisationen är icke vinstdrivande och deras mål är att skapa internationella standarder för byggnader och infrastruktur (buildingSMART International, u.å.). Fördelen med formatet IFC är att det är universellt och kan därför användas av flera olika program (Johansson, From BIM to VR - The design and development of BIMXplorer, 2016). Detta möjliggör att nödvändig byggnadsinformation från exempelvis ett projekt i Revit kan överföras till andra program, såsom BIMXplorer.

2.3.3 VR-mjukvaror för multi-user

Genom utveckling av VR inom byggbranschen och framväxten av multi-user som ett alternativ har mjukvaror utvecklats för att stödja denna typ av användande. Detta innefattar bland annat mjukvaror som Fuzor, IrisVR, samt BIMXplorer (Johansson & Roupé, Real-world applications of BIM and immersive VR in construction, 2024). Dessutom har ökad användning av BIM på plats ute i byggnadsprojekt även detta influerat till att fler verktyg och användningsområden behöver implementeras i mjukvaror för VR (Johansson & Roupé, VR in Construction – Multi-User and Multi-Purpose, 2022). Några av de kommersiella mjukvarorna som används i dagsläget för byggbranschen inom VR som delvis redan nämnts är Arkio, Enscape, Fuzor, IrisVR och TwinMotion (Ververidis, Nikolopoulos, & Kompatsiaris, 2022). Programmen är främst skapade för arkitekter, men Fuzor kan användas av alla discipliner och är inte endast begränsat till arkitekter. Dessa mjukvaror stödjer inte alla multi-user, vilket är fallet för bland annat Enscape och TwinMotion. Mjukvarorna har även fokus på olika delar av byggprocessen, där Arkio är mer inriktat på design såsom ritningar, Enscape fokuserar på visualisering med fotorealistic rendering, Fuzor behandlar konstruktion och BIM, IrisVR vinklar in sig på BIM, och till sist TwinMotion som fokuserar på visualisering. Det som både Fuzor och IrisVR har gemensamt är att syftet med dessa mjukvaror är problemlösning genom inspektion av modeller i VR.

Tabell 1. Mjukvaror för VR och om de har funktion för multi-user i VR samarbete online (användare befinner sig på olika platser) (för källa se bilaga 1)

Mjukvara VR	Funktion för VR multi-user
Enscape	Nej
Twinmotion	Nej
VRcollab	Ja
Fuzor	Ja
Iris VR	Ja
The Wild	Ja
BIMXplorer	Ja
Yulio	Ja
DepthXR	Ja
Arkio	Ja

2.3.4 BIMXplorer

Problemet idag inom byggbranschen är att komplexa BIM-modeller inte kan renderas i VR med samma mjukvara som modelleringen sker i. Detta på grund av modellernas storlek, vilket blir ett ännu mer märkbart problem när upplösningen och uppdateringsfrekvensen på skärmarna i dagens HMD blir allt bättre (Johansson, From BIM to VR - The design and development of BIMXplorer, 2016). BIMXplorer är utvecklad som en lösning på detta problem. Mjukvaran tillåter användaren att antingen genom en HMD eller Desktop VR betrakta och interagera med en komplex virtuell 3D-modell. Vidare kan användningen av BIMXplorer bland annat göras genom att använda det som ett plugin till Autodesk Revit.



Figur 4. Skärmdump av användarens vy i BIMXplorer.

2.3.4.1 Verktygs palett

Det finns åtskilliga användningsmöjligheter i BIMXplorer på grund av de olika verktygen som är integrerade. Dessa innefattar bland annat verktyg för mätning av avstånd, egenskaper för markerade objekt, möjlighet för sektionering och markeringar i 3D (Johansson & Roupé, Real-world applications of BIM and immersive VR in construction, 2024). Verktygen finns tillgängliga via en palett som finns på användarens vänstra hand i VR, vilket kan ses i figur 4. En av de betydelsefulla interaktiva

funktionerna i programmet är användningen av “möbleringskatalogen”. Detta kan ses i figur 5 och möjliggör för användaren att, med hjälp av handkontrollerna, möblera och interagera med befintlig interiör. Vidare är det även möjligt att duplicera, rotera, samt ta bort möblering. Även användningen av en laserpekare kan förenkla samarbetet i multi-user då användaren tydligt kan peka på något som kan behöva förtydligas. Viewpoint är en ytterligare funktion som möjliggör att använda förinställda platser, dit användaren förflyttas om bilden på verktygspaletten integreras med.



Figur 5. Skärmdumpar av användarens vy i BIMXplorer där funktionerna laserpekare, möbelkatalog samt viewpoint används (från vänster till höger).

2.3.5 Hårdvaror för VR

Definitionen av den första hårdvaran för VR kom år 1968 och skapades av Ivan Sutherland, som några år senare lyckades möjliggöra att systemet blev tillgängligt för att bära på användarens huvud, varpå begreppet HMD infördes (Wallergård m.fl., 2022). På denna tid var hårdvaran för VR väldigt dyra att framställa och användningsområdet var mycket litet, dessutom främst inriktat på bland annat militär, forskning och större företag. Av dessa skäl dröjde det innan VR och dess hårdvara blev mer allmänt känt, samt tillgängligt för allmänheten. Detta vilket till en början skedde i exempelvis arkader där man kunde betala för att testa på det nya fenomenet. Sedan dess har utvecklingen av hårdvaror för VR varit relativt långsam. Det dröjde fram till år 2012 när företaget Oculus grundades, och de nästkommande åren, innan världen av hårdvaror inom VR tog fart.

Det finns tre kategorier som HMD kan delas in i, vilka är “tethered”, “mobile” och “standalone” (Stanković, 2024). Tethered betyder trådbunden och kräver att det finns en fysisk koppling mellan användarens HMD samt en dator eller konsol som kan bearbeta datan som krävs för VR. Detta har genom tiden varit det vanligaste alternativet då renderingen i VR krävde mycket bearbetning, vilket innebar att det inte fanns något annat alternativ som inte involverade en dator. I dagsläget har prestandan för andra alternativ ökat, vilket har möjliggjort användningen av de andra alternativen såsom “mobile” och “standalone”. Däremot kan “tethered” fortfarande tillhandahålla vissa fördelar såsom högre prestanda samt lägre latens över de andra valmöjligheterna, dock med nackdelen av att vara bunden till en kabel. Skillnaden på “standalone” är att processorkraften sitter i headsetet och att det i detta alternativ inte krävs en anslutning till en dator, varpå det kan leda till mer rörelsefrihet och mer inlevelse i den virtuella världen. Dock finns det ibland en valmöjlighet att koppla in användarens HMD med kabel till en dator för bland annat ökad prestanda. Till sist finns “mobile” vilket involverar användandet av en mobiltelefon som agerar skärm för användaren, samt bearbetar datan som krävs. Detta HMD har alltså ingen egen skärm eller processor utan förlitar sig på användarens mobiltelefon.

Tabell 2 visar exempel på mjukvaror inom VR och ett urval av vanligt förekommande HMD dessa stödjer. Notera att statistiken är baserad på vad företagen presenterar på respektive mjukvaras

hemsida, och att det kan finnas undantag där andra headset faktiskt stöds som inte är listade på hemsidan.

Tabell 2. Statistik för olika HMD samt vilka mjukvaror som stödjer dessa (för källa se bilaga 2). Hårdvarans kategori redovisas inom parentes för respektive HMD, där T står för typen tethered, S för standalone, T/S för både tethered och standalone.

Mjukvara \ Hårdvara	(T) HTC Vive	(T) HTC Vive Pro	(T) HTC Vive Pro 2	(T) Oculus Rift S	(T/S) Meta Quest 1	(T/S) Meta Quest 2	(T/S) Meta Quest 3
Enscape			Ja				Ja
Twinmotion	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
VRcollab	Ja	Ja		Ja		Ja	
Fuzor	Ja	Ja		Ja		Ja	Ja
Iris VR	Ja	Ja		Ja		Ja	
The Wild		Ja				Ja	
BIMXplorer	Ja			Ja	Ja	Ja	Ja
Yulio VR					Ja	Ja	
DepthXR	Ja					Ja	Ja
Arkio	Ja	Ja		Ja		Ja	Ja

2.3.5.1 Meta Quest 3

Meta Quest 3 är den senaste och kraftfullaste iterationen av HMD från Meta (Meta, u.å.). Den är en utveckling av Meta Quest 2 och tillhandahåller nästa generations “System on a chip” (SoC) såväl som ytterligare ram-minne. Den troligtvis mest märkbara skillnaden är upplösningen per öga som har ökat med nästan 60 procent, därtill är en betydande skillnad att synfältet har blivit bredare. Uppdateringsfrekvensen för Meta Quest 3 är fortfarande maximalt 120 Hz, vilket är samma som föregångaren.

2.3.6 Ekonomiska aspekter

Det finns flera olika ekonomiska fördelar med att använda VR i projekt inom byggbranschen. Den största och mest uppenbara besparingen kommer från att inte längre använda fysiska modeller för att visa en byggnad, utan istället använda virtuella (Truong, Hölttä-Otto, Becerril, Turtiainen, & Siltanen, 2021). Även när det kommer till fysiska resor till projekten, samt förbättrade samarbeten, har visat sig bespara pengar för företag inom byggsektorn. Vidare kan VR även vara en lockande aspekt för kunder, och i Singapore har ett företag ökat sin förtjänst på försäljningar med 25% efter att de tagit steget att använda VR.

Som tidigare nämnts kan kostnaden för ny teknik vara ett hinder för implementeringen inom branschen. En tabell har sammanställts över de vanligast förekommande mjukvarorna med stöd för VR multi-user samt programmets kostnad per år i dollar. Observera att vissa mjukvaror erbjuder fler valbara prenumerationsplaner och prisklasser baserat på olika funktioner. I tabellen har startpriset sammanställts för samtliga mjukvaror.

Tabell 3: Vanligt förekommande mjukvaror för multi-user i VR och respektive mjukvarukostnad. (för källa se bilaga 3)

Mjukvara VR Multi-user	Pris/år (\$)
VRcollab	\$3000
Fuzor	\$10500
Iris VR	\$2700
The Wild	\$7140
BIMXplorer	\$482
Yulio	\$600
DepthXR	\$1500
Arkio	\$540

3. Metod

Rapporten innefattar en kombination av flera metoder bestående av litteraturstudier, intervjuer och en workshop för att ge en bred och holistisk förståelse för användningen av immersiv VR och dess potential i projekteringsfasen. Den är utformad för att vara både deskriptiv och analytisk samt möjliggöra insamling av data för hur tekniken används i dagsläget och hur den kan komma att forma framtida arbetsmetoder.

3.1 Intervjuer

Genom att intervjua relevanta företag inom byggbranschen kunde en djupare förståelse för hur praktiker upplever och integrerar immersiv VR i sitt arbete och framförallt projekteringsfasen. Det går på så sätt att få mer direkta erfarenheter och kunna identifiera framgångsfaktorer, hinder och eventuella framtida möjligheter som är kopplade till denna teknik.

Intervjuerna genomförs med ett urval av viktiga nyckelpersoner och yrkesverksamma från företag inom bygg- och arkitektsektorn samt BIM-utvecklare. Detta för att inkludera olika arbetsroller, arbetserfarenheter och perspektiv från arkitekter, projektledare, och programutvecklare som direkt arbetar med och påverkar teknologin.

Intervjuerna spelas in med hänsyn till de etiska övervägandena. Alla intervjupersoner är välinformerade om studiens syfte och inspelningen sker med deras samtycke. Därefter bearbetas den transkriberade texten för att kunna analysera och identifiera teman och mönster som är relevanta för rapportens forskningsfrågor.

3.1.1 Struktur

I den kvalitativa delen av denna studie användes semistrukturerade intervjuer för att samla in djupgående insikter från nyckelpersoner inom byggbranschen. Dessa intervjufrågor designades och strukturerades för att utforska både nuvarande och potentiell framtida användning av VR inom deras respektive verksamhetsområden.

Frågorna togs fram genom en kombination av flera faktorer. Nyckelmetoden var att strategiskt utforma frågorna med det syfte att få rapportens frågeställningar besvarade. Det var viktigt att använda redan existerande studier och rapporter inom ämnet som utgångspunkt. Vid tidigare skeden av intervjudesignen användes AI som ett assisterande verktyg för inspiration och Brainstorming, mer specifikt ChatGPT 4.0. Frågorna anpassades även i samråd med akademiska rådgivare för att täcka ett bredare spektrum av temat, från digitalisering och teknologisk mognad till organisatoriska och verksamhetsmässiga aspekter av digitalisering och VR-användning.

Den semistrukturerade stilen följer en kombination av öppna och generella frågor samt mer riktade frågor, vilket ger intervjupersonerna möjligheten att fritt dela av sin kunskap och erfarenhet samtidigt som de riktade frågorna fungerar som ett styrmedel som riktar samtalet mot specifika intresseområden.

För att få godare struktur delades intervjufrågorna in i 7 subkategorier, bestående av digitalisering, VR, organisatoriska aspekter, verksamhetsåterkoppling, granskning och missförstånd, framtidsutsikter och innovation samt ett par avslutande frågor. Samtalet inleddes med att låta intervjupersonerna presentera sig själva och dela med sig av deras arbetserfarenhet inom branschen.

3.1.2 Tillvägagångssätt

För att transkribera intervjuinspelningarna användes OpenAI:s Whisper AI via Google Collaboratory. Processen inleds med att skapa ett Google-konto och öppna Google Drive. Därefter navigeras till "Nytt", varpå "Anslut fler appar" väljs och Google Collaboratory söks fram för installation. Efter avslutad installation öppnas ett nytt Collaboratory-dokument. Installationen av Whisper AI genomförs genom att installationskoden för Whisper samt FFmpeg skrivs i ett kodblock i Collaboratory enligt

```
!pip install git+https://github.com/openai/whisper
!sudo apt update && sudo apt install ffmpeg
```

, vilket tillåter hantering av ljudfiler Detta innebär att ingen installation sker på användarens dator. När Whisper och FFmpeg är installerade dras en ljud- eller videofil in i Collaboratory-miljön. För att initiera transkriberingsprocessen, aktiveras Whisper genom ett kodblock där filen specificeras. Exempel på en sådan tillkallelse:

```
!Whisper "Transkivering.mp3" -model medium
```

Beroende på behov kan olika modeller väljas, från "tiny" till "large", där "medium" ofta är ett effektivt val för balans mellan hastighet och noggrannhet.

Resultatet av transkriptionen genererar textfiler samt SRT- och VTT-filer, vilka inkluderar både text och tidsstämplar för varje citerad mening.. Dessa filer är möjliga att ladda ner för vidare användning. För ytterligare anpassning av transkriberingen kan olika parametrar tillämpas genom att inkludera ytterligare kod för att visa alla tillgängliga alternativ med kommandot nedan:

```
!Whisper-h.
```

Det bör noteras att alla uppladdade filer och installationer automatiskt raderas från Google Collaboratory när sessionen avslutas.

3.2 Workshop: Möblering i VR

Workshopens syfte är att undersöka vilken påverkan den fysiska platsen har på möblering i VR sett till kommunikation, task-performance och tid. Samtliga deltagare är ACE-studenter från Chalmers i olika årskurser. Påverkan av vad relationen mellan deltagarna har för effekt på resultatet ska även undersökas, med bakgrund sett till att branschen ofta innehåller interaktioner mellan främlingar.

I workshopen genomförs en kvantitativ och en kvalitativ datainsamling. Den kvantitativa undersökningen analyserar hur prestationen påverkas av tid och den fysiska platsen. Den kvalitativa delen genomfördes för att se samband mellan hur personliga erfarenheter och akademisk bakgrund påverkar prestationen.

3.2.1 Struktur

En undersökning i form av en workshop har genomförts för att studera hur användandet av VR påverkas av att deltagarna utför en uppgift, på antingen skilda platser eller samlokaliserat. Resultat i form av tid, precision och kommunikation kommer sedan att jämföras för att visa hur den fysiska platsen påverkar användandet av VR i byggbranschen. Det ger då belägg för att samlokalisering inte behöver vara en förutsättning för att uppehålla precist arbete i VR för arkitekter, ingenjörer och brukare.

Workshopen kommer att utspela sig på Chalmers tekniska högskola där en modell i Revit som representerar ACE-byggnadens källarplan har tagits fram. Modellen kommer att användas i mjukvaran BIMXplorer som kommer att vara huvudprogram i workshopen. Tre ytor har valts ut i byggnadens källarplan. Ytorna har olika svårighetsgrad och tidskrav där deltagarna utifrån en 2D-ritning inuti VR kommer att möblera ytorna. Deltagarnas möbleringar kommer sedan att sparas ner och jämföras i Solibri med den korrekta 3D-modellen från Revit.

Valet av att använda en 3D-modell som representerar en del av skolbyggnaden är för att skapa ett ägandeskap över platsen för deltagarna, detta då de är studenter som vistas i dessa lokaler. Det skapar i sin tur en förståelse för rummet som redan finns och ökar förståelsen av platsen och inlevelsen i deltagandet.

Yta 1: Matsalen Sigurd i SB1

Yta 2: Studieyta under ljusgården i SB1

Yta 3: Nytt mikrorum i nuvarande "Ateljén"

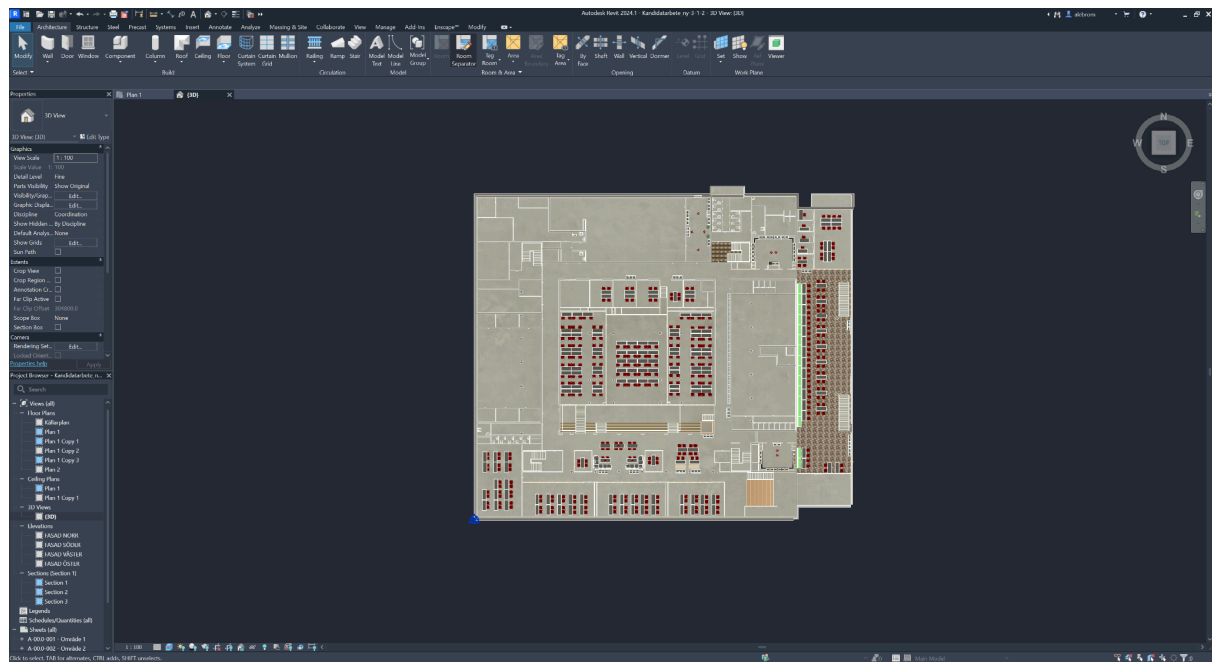
3.2.2 Förberedelse inför workshop

3.2.2.1 Användningen av Revit

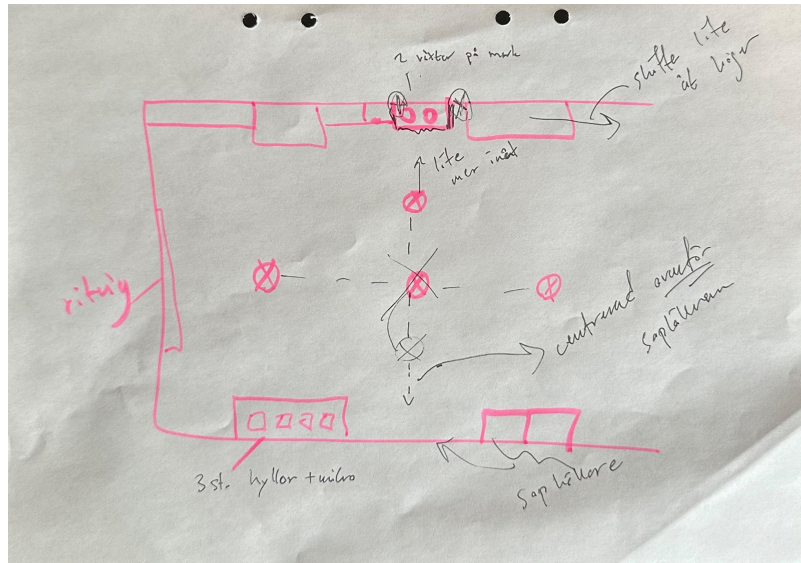
Inför workshopen behövdes källarvåningen i ACE-huset ritas upp i ett 3D-modelleringsprogram, således valdes programmet Revit. I detta program importerades den nuvarande planritningen över källaren. Vidare bestämdes i detta stadiet att vi endast skulle modellera den vänstra delen av källarvåningen, se röd streckad linje i figur 7. Därefter modellerades till en början alla ytter- och innerväggar enligt ritning. Varpå sökandet efter liknande möblering som finns i dagsläget inleddes. Möblemanget är främst plockat från webbplatsen "BIM objects", men det förekommer även användningen av möblemanget som redan fanns inbyggda i den använda mallen i Revit. Dessutom började modellen i detta stadie bli mer detaljeringsrik. Detta på grund av användandet av texturer som bland annat är, skapade i pluginet Architextures, tagna ur Revits integrerade texturer, och till sist texturer som är skapade av bilder från källarvåningen. När 3D-modellen var tillräckligt lik verkligheten påbörjades arbetet med att välja ut och designa tre områden som skulle användas till

workshopen. Vilket ledde till att nya planritningar behövde skapas i Revit, vilket visade möbleringen för dessa områden i utgångsläget och som färdigställt ommöblerat facit. Dessa ritningar fick en legend i efterhand som var färgkodad och blev till sist konverterade till texturer i Revit som användes i workshopen.

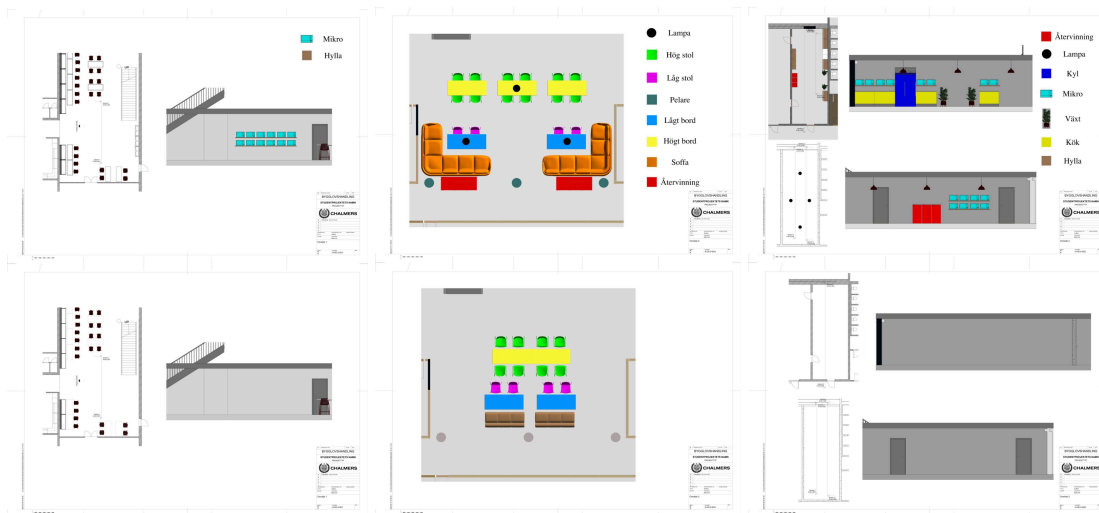
Revit har en uppsättning menyer med allt från arkitektur, vilket inkluderar modellering av exempelvis väggar, dörrar och fönster, som kan ses i figur 6. Detta sträcker sig från menyer som innefattar samarbete, plugins, till verktyg som behandlar mätning och analys. Ett exempel på ett plugin är BIMXplorer.



Figur 6. Överskådlig bild över projektet i Revit samt programmets layout.



Figur 9. Initial skiss över yta 3.



Figur 10. Planritning över yta 1-3, genererad i revit och justerad i efterhand.

Planritningarna på yta 1, yta 2 och yta 3 som användes i workshopen, kan ses i figur 10. Dessa figurer visar på hur slutresultatet är för upplägget av de använda områdena. Innan dessa slutgiltiga planlösningar blev färdigställda fanns det flera olika varianter som vi i gruppen tillsammans med handledare utvärderade och reflekterade kring, vilket kan ses i figur 8 samt figur 9. Detta innan vi enades om ovanstående planlösningar som agerar facit i workshopen. Yta 1, 2 samt 3 kan ses renderade i figur 11, 12 och 13. Samt hur yta 1 och yta 2 ser ut i verkligheten kan ses i figur 14.



Figur 11. Facit av yta 1 renderad i Enscape.



Figur 12. Facit av yta 2 renderad i Enscape.



Figur 13. Facit av yta 3 renderad i Enscape.

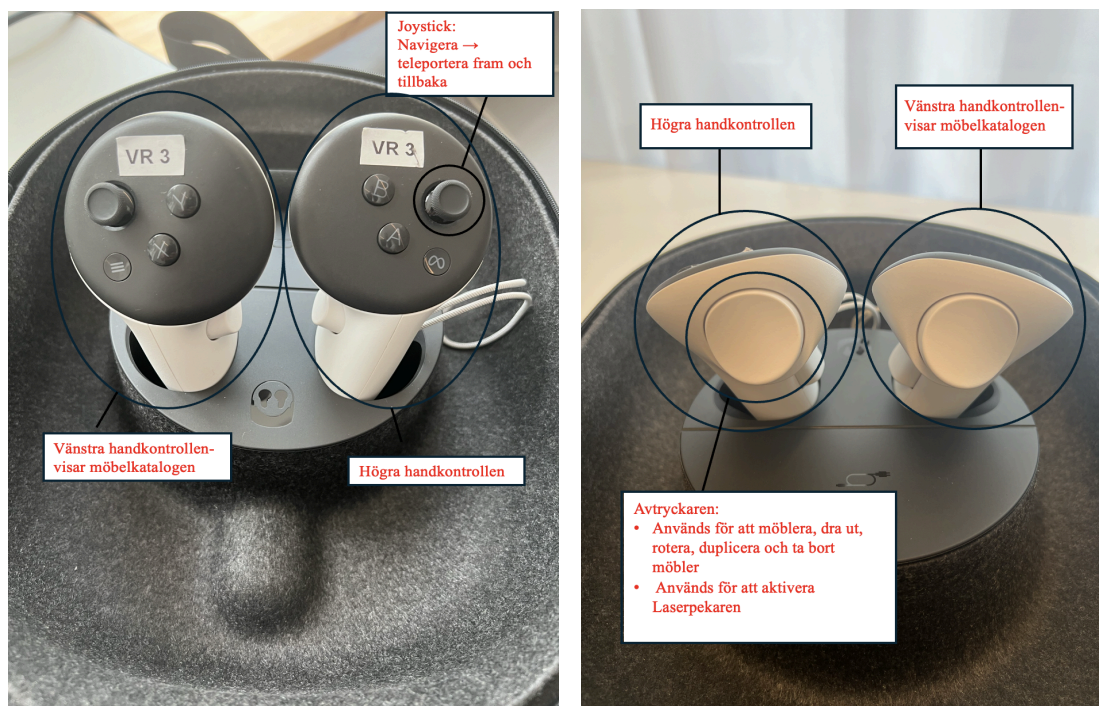


Figur 14. Bilder från den verkliga källarvåningen över yta 1 och 2 (från vänster till höger).

3.2.3 Genomförande

Inför workshopens start introduceras deltagarna till uppgiften. Sedan kommer samtliga deltagare att genomgå en 5 minuter lång onboarding där de får testa att möblera en tom yta för att bekanta sig med verktyget. Under onboarding presenteras de olika knapparna och funktionerna på kontrollen som deltagarna kommer att använda under experimentet. För navigering i VR används en joystick för att teleporteras fram och tillbaka genom att sikta med kontrollen och sedan applicera tryck på joysticken.

Därefter får deltagaren testa att möblera en tom yta för att bekanta sig med kontrollens funktionalitet. Deltagarna har tillgång till en möbelkatalog via sin vänstra handkontroll som innehåller alla möbler som sedan används i workshopen. Genom att använda avtryckaren på högra kontrollen kan deltagarna välja möbler från möbelkatalogen och dra ut möbeln genom att hålla i avtryckaren och sedan släppa där de vill placera den. För att ta bort, duplicera eller rotera på objekten trycker man på möbeln med avtryckaren vilket resulterar i ikoner som representerar dessa funktioner. Det noteras även att precisionen i möbel placeringen ökar med närheten till det valda objektet. För att underlätta kommunikationen med den andra partner så kan man använda laserpekare för att peka ut och identifiera specifika platser. Laserpekaren aktiveras genom att först trycka på möbelkatalog-ikonen på den vänstra handkontrollen och sedan trycka på avtryckaren på den högra kontrollen. Under onboarding får deltagarna möjlighet att testa samtliga nämnda knappar och funktioner samt att möblera olika objekt som mikro, bord och hylla på en tom yta för att förbereda sig inför experimentet.

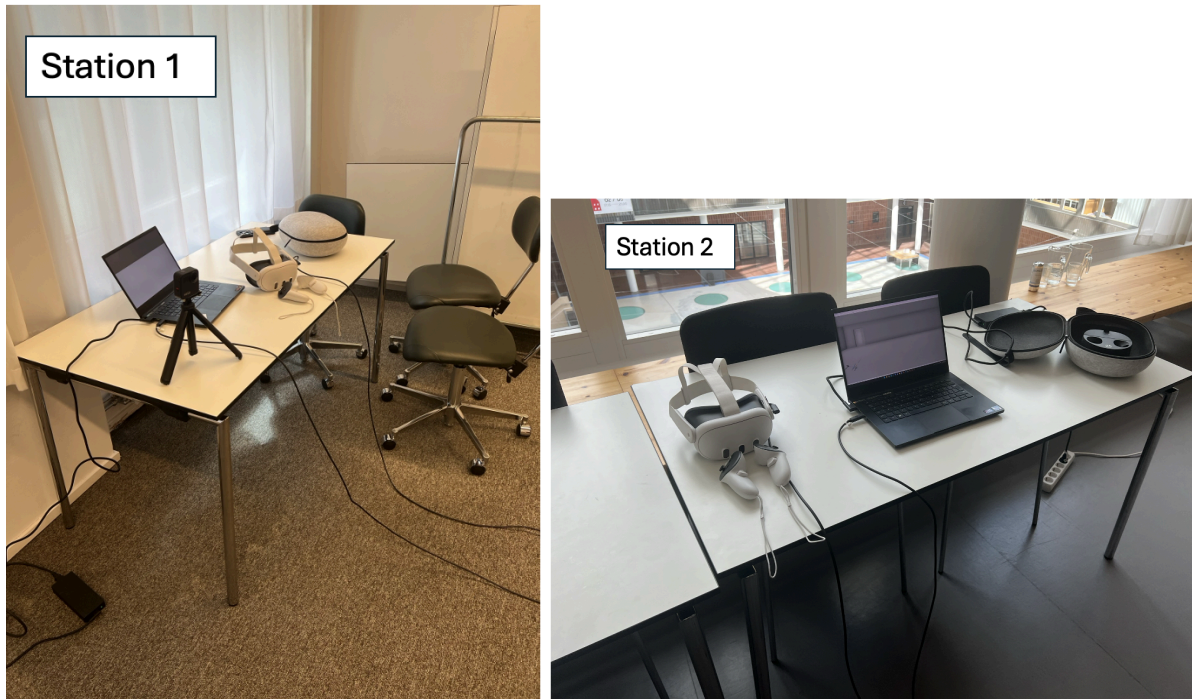


Figur 15. Översiktlig bild över handkontrollerna för Meta Quest 3, samt deras funktioner i BIMXplorer.

Workshopen är sedan indelad i två delar, en samlokaliserad och en med skilda platser. Under första delen kommer två studenter bära VR-glasögon och befinna sig i samma rum. Uppgiften är att möblera 3 ytor utifrån ritningar som kan ses i VR samtidigt som möblering sker. Yta 1 utgör ett mikroområde i den befintliga matsalen som initialt är omöblerat och deltagarna ska möblera det enligt ritningen med en tidsbegränsning på 2 minuter. Yta 2 innehåller befintlig möblering och deltagaren ska möblera om

ytan utifrån ritningen inom en tidsram på 4,5 minuter. Yta 3 är ett nydesignat omöblerat mikrorum där deltagarna ska möblera enligt ritningen inom 5 minuter.

I den andra delen av workshopen kommer en ny grupp av deltagare möblera samma ytor men med skillnaden av att de befinner sig i olika rum och att kommunikationen kommer att ske genom Discord.



Figur 16. Översiktlig bild över arbetsstationerna för samma och separata workshops (från vänster till höger).

Deltagarna kommer innan workshopen behöva fylla i ett samtyckesformulär på grund av GDPR. Deltagarna skannar sedan en QR-kod i rummet för att besvara en rad bakgrundsfrågor vi har förberett. Direkt efter workshopen kommer deltagarna att svara på 2 enkäter, en PSSUQ-enkät samt en NASA enkät. Workshopen avslutas med en öppen diskussion där det tas upp lämpliga frågeställningar.

Under workshopen användes tidtagning för att mäta hur lång tid det tog för varje grupp att slutföra uppgiften. Vidare användes en GoPro-kamera för att samla in information om deltagarnas interaktioner under experimentet. För att observera deltagarnas beteende i VR-miljön spelades in skärmen på datorn. Deltagarnas verbala interaktioner och kommunikation med varandra dokumenterades både när de var i samma rum och i olika rum. Slutligen spelades deltagarnas svar in på de öppna frågorna för senare utvärdering av resultaten.

För att skapa utmanade experiment och möjliggöra mätning av task-performance introducerades vissa avgränsningar. Deltagarna tilldelades en begränsad tidsram för möblering av varje yta. Vidare fick deltagarna inte se ritningarna innan experimentet började.

Utvärderingen av workshopen var baserad på tiden det tog för deltagarna att utföra varje uppgift, deltagarnas träffsäkerhet i möblering utifrån 2D-ritningarna, kognitiva belastningen samt vilken påverkan den fysiska platsen har på kommunikationen och task-performance.

Vid analysen av resultatet utforskas den potentiella inverkan av träffsäkerheten och tidsparametern på effektiviteten av möbleringen i VR. Vidare analyseras hur kommunikationen och prestationen påverkas vid samlokaliserat arbete gentemot skilda platser.

Diskussionsfrågor efter experimentet för att komplettera insamlad data.

Tabell 4. Visar diskussionsfrågor som ställdes till testpersonerna under workshopen.

Samma fysiska plats	Skilda fysiska platser
"Hur upplevde du att din kommunikation fungerade att ha den andra deltagaren i samma rum som dig?"	"Hur upplevde du att din kommunikation fungerade att ha den andra deltagaren i ett annat rum?"
"Hur upplevde du användargränssnittet, dvs. hur lätt var det att komma in i hur olika funktioner fungerar? Vad var lätt att ta till sig och vad upplevde du som utmanande?"	"Hur upplevde du användargränssnittet, dvs. hur lätt var det att komma in i hur olika funktioner fungerar? Vad var lätt att ta till sig och vad upplevde du som utmanande?"
"Vilken av de tre ytorna upplevde du som svårast och varför?"	"Vilken av de tre ytorna upplevde du som svårast och varför?"



Figur 17. Testpersoner under workshop i samma rum.



Figur 18. Testperson 1 och 2 under workshop i separata rum.

3.2.4 Primär beräkningsmetod av träffsäkerhet

Gruppernas möbleringsprestation beräknades med hänsyn till antalet korrekt utsatta möbler enligt facit och möblernas avstånd till facits placeringar på varje individuell möbel, i x-y-z-led. Möbleringsprestationens träffsäkerhet beräknades för varje utsatt möbel var för sig (enligt ekvationen nedan), varpå det sedan beräknades ett medelvärde för totalen av samtliga möblers träffsäkerhet.

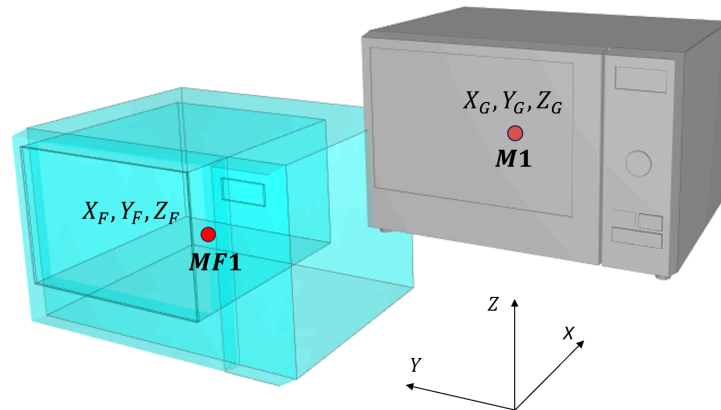
$$\text{Träffsäkerhet (per utsatt möbel)} = \frac{\left(1 - \left(\frac{|X_F - X_G|}{FM_x}\right)\right) + \left(1 - \left(\frac{|Y_F - Y_G|}{FM_y}\right)\right) + \left(1 - \left(\frac{|Z_F - Z_G|}{FM_z}\right)\right)}{3}$$

Ekvation 1: Träffsäkerhet per utsatt möbel.

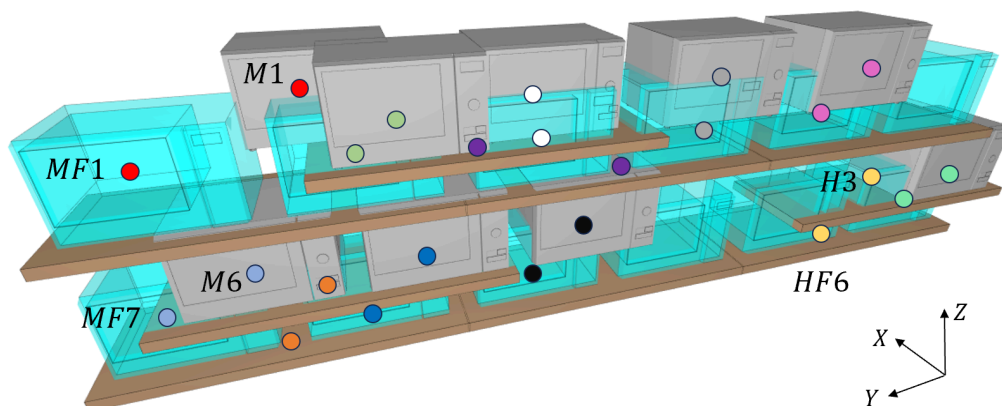
I ekvationen är X_G , Y_G , Z_G koordinaterna för en av de placerade möblerna från gruppens alla placerade möbler och X_F , Y_F , Z_F är koordinaterna för det referensobjekt (möbel) i facit som mest efterliknar gruppens placering av denna möbel (se figur 19). Koordinaterna för alla möbler tas fram i mjukvaran Solibri. För att hitta vilken möbel som skall refereras till rätt möbel i facit, har beräkningar genomförts för alla möjliga kombinationer. Exempelvis benämns en utplacerad hylla till H1. Eftersom det enligt facit skall finnas 6 hyllor i yta 1, utförs beräkningen med formeln för gruppens H1 koordinater med samtliga 6 hyllor i facit (HF1, HF2, HF3, HF4, HF5, HF6). Det referensobjekt med högst procent träffsäkerhet tilldelas gruppens H1, och resultatet för denna summeras sedan med alla andra resultat för respektive möbel. Det går även att avläsa visuellt i Solibri vilket referensobjekt som ska paras ihop med vilken möbel för de flesta fall om filen för facit och gruppens IFC-fil importeras samtidigt (se figur 20).

Den procentuella träffsäkerheten har utgått från en felmarginal, $FM_{x,y,z}$. Felmarginalen definieras som det avstånd vars träffsäkerhet definieras som noll. Exempelvis om $FM=4$ och en möbel är placerad med 4 meters avstånd från referensobjektet i facit, kommer träffsäkerheten för den koordinaten bli noll. Placeras den två meter ifrån blir den procentuella träffsäkerheten 50% och vid 0,5 meter ifrån

blir träffsäkerheten 87,5%. I workshopen har felmarginalen valts ut till 4 för samtliga koordinatsriktningar och samtliga tre ytor. Felmarginalen har definierats sådant eftersom vid visuellt avläsning av en grupps koordinater i jämförelse med referensobjekt i facit, låg differensen för samtliga möbler i x-,y- eller z-led, under 4m. I relation till ytornas storlek (yta 1: ca 4x2m, yta 2: ca 9.5x 8.5 m och yta 3: 5x10m), så anses även ytorna relativt små för att göra större missar än 4 meter från referenspunkten.



Figur 19. Exempel på en utsatt mikrovågsugn benämnt M1 (grå) i förhållande till korrekt placering facit benämnt MF1 (blå), samt koordinatsystem som visualiserar placering i jämförelse med varandra. Koordinaterna beräknas från mittpunkten på objektet markerade i rött.



Figur 20. All utsatt möblering i förhållande till facit i Yta 1 (bild framtagen i Solibri). Gråa mikrovågsugnar är gruppens placering. Blåa är enligt facit. Prickar indikerar vilken möbel som ska beräknas mot vilken i träffsäkerhets ekvationen. Även placerade hyllor illustreras (gul, orange och lila prickar).

När den procentuella träffsäkerheten för varje enskild möbel beräknats, adderas samtliga och delas på antalet möbler för den ytan i facit (Yta 1 = 18 möbler, yta 2 = 28 och yta 3 = 32). Detta även om gruppen inte placerat ut alla möbler. Viss hänsyn tas även till om gruppen placerat ut fler möbler än facit. Då delas summan av träffsäkerheten med antalet för facit plus antalet extra utsatta objekt*. Tex. Om en grupp placerat ut 1 mer hylla än antalet i facit, så kommer summan av träffsäkerheten divideras med 19 (18+1). Men i formeln för träffsäkerheten tas i det fallet endast med de hyllor som var närmast placerade referensobjekt i facit. Den extra hyllan räknas inte med, men totalen divideras

ändå på 19. Detta för att ge ett avdrag på träffsäkerheten för gruppen som placerat ut fler objekt. Ekvationen för beräkning av totala träffsäkerheten för en hel yta lyder enligt nedan:

$$\text{Total Träffsäkerhet} = \frac{\sum \text{Träffsäkerhet per utsatt möbel}}{\text{Antal möbler i facit för ytan}^*}$$

Ekvation 2: Total träffsäkerhet per yta.

Denna process görs för alla objekt i yta 1, resultatet redovisas som träffsäkerhet för yta 1. Sedan samma process för yta 2 och 3. I tabell 5 visas ett exempel där beräkning av träffsäkerhet gjorts för respektive möbel på yta 1 (från figur 21). *Ekvation 1* har beräknats för M1 (vars koordinater är X_G, Y_G, Z_G) och MF1 (som X_F, Y_F, Z_F). Sedan M2 mot referens möbel i facit och resterande utplacerade möblerna samma process.

Tabell 5. Exempel på beräkning av träffsäkerhet yta 1. Träffsäkerheten per objekt är illustrerad beräknad mot rätt referensobjekt i facit, dvs den närmsta möbel (några exempel visade). Totala träffsäkerheten nederst. För de objekt där träffsäkerheten är noll är de då ej utsatta.

MÖBEL	BERÄKNAD TRÄFFSÄKERHET PER MÖBEL
M1	0,930 (mot MF1)
M2	0,981 (...)
M3	0,979 (...)
M4	0,964 (...)
M5	0,973 (...)
M6	0,977 (mot MF7)
M7	0,965 (...)
M8	0,967 (...)
M9	0,966 (...)
M10	0
M11	0
M12	0
H1	0,968 (...)
H2	0,948 (...)
H3	0,963 (mot HF6)
H4	0
H5	0
H6	0
TOTAL TRÄFFSÄKERHET	0,643 (64,3 %)

3.2.5 Sekundär beräkningsmetod av träffsäkerhet

Den sekundära beräkningsmetoden gick ut på att beräkna tre olika procentenheter för respektive x, y och z axel. Detta gjordes på liknande men annorlunda sätt genom att addera respektive möbels koordinater i respektive axel och jämföra det med referens koordinaterna för varje möbel i facit. Detta gjorde med formeln nedan:

I och med att ekvationen endast beräknar precisionen för utplacerad möblering sker en separat beräkning för korrekt antal utplacerade möbler. Detta görs genom att dividera antalet utplacerade möbler för gruppen med det totala antalet i facit för den ytan enligt ekvationen:

$$\text{Andel utplacerad möblering} = \left(\frac{\text{Antal utplacerade möbler}}{\text{Antal möbler i facit}} \right)$$

Ekvation 4: Träffsäkerhet för Utsatta möbler.

När de två procentuella andelarna för både möbleringsprecision och andel utplacerad möblering summas de två procenten för att få ut ett medelvärde som blir gruppens prestation betyg för den ytan. Samma beräkningsprocess genomförs för gruppens möblering för resterande ytor. Det slutgiltiga betyget beräknas med ekvationen:

$$\text{Träffsäkerhet}_{total} = \left(\frac{\text{Träffsäkerhet}_{utsatt möblering} + \text{Andel utplacerad möblering}}{2} \right)$$

Ekvation 5: Total träffsäkerhet för Utsatta möbler per yta.

En till skillnad att notera mellan de två beräkningsmetoderna är att den sekundära metoden saknar någon exakt felmarginal faktor. Detta innebär att föremål som antogs ligga långt ifrån referenspositioner exkluderades manuellt.

4. Resultat

4.1 Intervjuresultat

Antalet intervjuer som lyckades genomföras är tre stycken med tre nyckelpersoner från olika företag i byggbranschen. Tabellen nedan ger en översiktlig presentation av respektive kandidats arbetsroll och erfarenhet, samt företagets arbete och fokusområden inom branschen.

Tabell 6. Presenterar intervjupersonernas arbetsroller, arbetserfarenheter, företagen de arbetar på och deras arbete inom branschen, samt intervjuplats.

Intervjuperson	Kandidat 1	Kandidat 2	Kandidat 3
Arbetsroll	BIM-Samordnare/ Uppdragsansvarig processledare	Byggprojektör/Konstruktör	Medverkande arkitekt
Arbetserfarenhet	8 år som uppdragsansvarig processledare med fokus på att samordna BIM och förvalta processer som möjliggör effektivt genomförande och uppfyllande av de krav som ställs inom deras projekt.	Arbete sedan 2015 inom projektering som byggkonstruktör. Där fokuset ligger på presentation av BIM-modeller, och arbete som kombinerar räkning och ritning. Nischat sig på rollen som internspecialist på de tekniska delarna som CAD-program.	Började arbeta 2022 och har erfarenhet från Tjeckien och Danmark. Arbete som fokuserar på tidiga skeden av byggnadsprocessen. Främst involverad i parametrisk design och simuleringsanalys.
Företag	A	B	C
Företagets arbete	Arbetar och hjälper med acceleration av digital transformation och automatiserade processer för kunder inom bygg- och fastighetsbranschen.	Byggkonsult som arbetar med projektledning, byggledning och kontroll av byggprojekt. Erbjuder rådgivning för att säkerställa effektivitet genom hela byggprocessen.	Arkitektbyrå som specialiserar sig på att utveckla innovativa och hållbara lösningar för offentliga och privata sektorer.
Intervjuplats	Fysisk intervju	Google Meet	Google Meet

För att anpassa intervjun till respektive deltagares specifika kontext valdes vissa frågor i intervjumallen (se bilaga 4) att exkluderas baserat på de svar som tillhandahölls av respektive intervjuperson. Följande tillvägagångssätt möjliggjorde mer relevant datainsamling där inte alla frågor besvarades av alla tre intervjupersoner. På grund av intervjuernas omfattande längd och de utförligt besvarade frågorna valdes de transkriberade svaren att parafraaseras istället för att direkt citera intervjupersonerna. Detta för att tydligare presentera informationen på ett koncist sätt.

4.1.1 Hur VR tillämpas inom företaget i dagsläget

De olika kandidaterna frågades hur VR tillämpades i företaget idag för att få en uppfattning om hur företagen integrerade tekniken. Svaren visade att kandidaterna hade anammat VR-tekniken olika mycket.

- *Kandidat 1 förklarar att: "Vi utnyttjar VR främst för kommunikativa syften, både för intern marknadsföring och för att förbättra kommunikationen med kunder och projektörer som inte har tillgång till de programvaror vi använder. VR ger oss också en möjlighet att visualisera projekt från ett verksamhetsperspektiv, vilket är särskilt användbart i komplexa projekt som operationssalar, där personal kan testa och ge feedback på arbetsmiljön direkt genom VR."*

För att få fram ett konkret exempel på hur de utnyttjat tekniken från ett verksamhetsperspektiv tidigare svarade kandidaten följande:

- *Kandidat 1: "I ett sjukhusprojekt använde vi VR-teknik för att optimera designen av en psykiatriavdelning. Genom att placera sjukhuspersonalen i en virtuell miljö kunde vi identifiera och åtgärda problem med siktlinjer som inte var uppenbara i de traditionella planritningarna. Detta ledde till att vi kunde justera för att förbättra personalens översikt över patienterna. Dessa anpassningar gjordes innan den faktiska byggnationen startade, vilket sparade tid och resurser samt förbättrade säkerheten och funktionaliteten i lokalerna."*

Frågan ställdes om företaget utnyttjar eller utnyttjat multi-user i projekt:

- *Kandidat 1: "Just nu använder vi VR-teknik främst i single-user format eftersom vi inte har tillgång till nödvändig hårdvara och mjukvara hos våra beställare för att använda det i multi-user sammanhang."*

Vidare frågades vilka effekter företaget hade sett när VR-tekniken implementerats:

- *Kandidat 1: "VR har haft en positiv inverkan på samarbetet mellan olika avdelningar och discipliner inom vårt företag. Den har framförallt förbättrat kommunikationen och förståelsen mellan olika teammedlemmar. Alla involverade upplever att det är både engagerande och informativt. Användningen av VR har redan visat sig vara värdefullt varje gång jag har implementerat det, särskilt när det gäller att ge yrkesverksamma möjligheten att uppleva och interagera med sina arbetsmiljöer digitalt."*

Företaget som kandidat 2 jobbade på utnyttjade inte VR i sin verksamhet och kandidaten gav följande förklaring till varför de inte utnyttjar tekniken idag:

- *Kandidat 2: "Jag ser flera utmaningar med att introducera VR i vår verksamhet. Först och främst måste det finnas ett tydligt affärscase för oss att investera i VR. Vi skulle behöva känna att vi verkligen kan erbjuda något värdefullt med den här tekniken som motiverar investeringen. Även om vi redan använder 3D-modellering effektivt, är det inte självklart vad VR skulle tillföra utöver det. Jag tror att VR skulle vara mer värdefullt för externa aktörer eller i specifika scenarier där man behöver en mer interaktiv och omslutande presentation av projekten."*

Kandidat 2 förklarade vidare att den största barriären för företaget idag var kostnaden för utrustning och förnyelse och anpassning av redan befintligt arbetsflöde.

Företaget kandidat 3 jobbade hade en annorlunda situation från de andra två företagen, de utnyttjade inte VR internt men däremot i samarbeten med beställare:

- Kandidat 3: "Vi samarbetar med ett antal beställare, oftast de större i byggbranschen som kan begära att få se projektet i VR-miljön. VR används då som ett visualiseringsverktyg och då har beställare inte möjlighet att interagera med modellen. Vi ritar främst bostäder och då är det sällan slutanvändaren är medverkande i designprocessen, jämfört med exempelvis en skola där en sån teknik är mer relevant."

4.1.2 Vilka hinder och utmaningar ser kandidaterna för implementeringen av VR i byggbranschen?

När kandidaterna tillfrågades vilka hinder och utmaningarna de kunde se för att VR skulle kunna implementeras i byggbranschen och bli en del i arbetsflödet inledde kandidat 1 med att säga:

- Kandidat 1: "Först och främst så behöver 3D-projektering bli standard för hela branschen, eftersom det ligger i grund för användningen av VR."

Kandidat 2 och 3 gick in på spåret att byggbranschen var konservativ, att införandet skulle kräva utbildning, förändring av tankesätt samt att branschaktiva ska vara öppna för nya tekniker:

- Kandidat 2: "Det är inte alltid som branschen agerar proaktivt. Många i branschen följer efter när kraven kommer utifrån snarare än att leda utvecklingen. Det finns en viss tvekan att fullt ut satsa på ny teknik, vilket kan bero på branschens konservativa natur och den kunskap som krävs för att effektivt integrera nya system."

- Kandidat 3: "Många är bekväma med traditionella program och metoder och tvekar inför innovation. Det finns en tydlig uppdelning mellan dem som välkomnar innovation och dem som är motvilliga. Många, inklusive en kollega som har arbetat inom branschen i många år, håller fast vid gamla verktyg som Rhino för 3D-modellering, trots att det har funnits tekniska framsteg som borde ha lett till nya arbetssätt. Detta tyder på en viss motståndskraft mot att anpassa sig till nya digitala verktyg och metoder i branschen."

Kandidat 3 som jobbade på en arkitektbyrå tillade även:

- Kandidat 3: "För att effektivt integrera VR-teknik i en organisation är det inte bara utbildning som är viktigt, utan även en grundläggande förändring av tankesättet. Det är nödvändigt att släppa rädslan för att förlora kontroll och att vara öppen för de nya möjligheter och metoder som VR kan erbjuda."

Vidare var kandidat 1 och kandidat 2 överens om att användarvänligheten var ett hinder idag. De förklarade såhär:

- Kandidat 1: "För det andra så skulle jag säga användarvänligheten, det är lite för komplicerat att starta och använda VR-modeller idag, särskilt för dem som inte är vana vid digital teknik. Det är viktigt att kunna erbjuda en lösning där användaren enkelt kan sätta på sig ett VR-headset och omedelbart vara igång med arbetet. Dessutom kan det vara en teknisk barriär att starta och köra de system som krävs för VR, vilket kräver en del förberedelser och teknisk support. Skulle man stöta på problem som kräver teknisk felsökning innebär det att man behöver en särskild kompetens."

- Kandidat 2: "För att VR ska bli mer tillgängligt och enkelt att använda behöver det bli mer av ett plug and play-system, där det finns minimalt med inställningar och programvara som behöver hanteras och att navigeringen i systemet känns intuitiv och naturlig. Senast jag använde VR, vilket i och för sig var ett tag sedan, kände jag att jag behövde anpassa mig till teknologin istället för att den fungerade som en naturlig förlängning av mig själv. För att verkligen få ut det mesta av VR och engagera flera användare inom ett företag, är det viktigt att dessa trösklar minimeras så mycket som möjligt."

4.1.3 Vad ser ni för potential med VR inom byggbranschen?

När kandidaterna frågades vilken potential de såg med VR-tekniken var de överens om att den kan förbättra användarvänligheten, fungera som ett effektivt visualiseringsverktyg samt stärka kundrelationer genom ökad transparens och interaktivitet.

Kandidat 1 gick vidare på spåret med användarvänligheten och förklarade att:

- *Kandidat 1: "Jag tror starkt på att enklare och mer användarvänliga VR-lösningar kommer att ha en betydande påverkan på branschen. Specifikt ser jag stora möjligheter med trådlösa VR-enheter som är enklare att använda eftersom de inte kräver några kablar eller externa sensorer. Dessa enheter gör det möjligt för användare att snabbt engagera sig i VR-upplevelser utan komplicerade uppstartsrutiner."*

Vidare ansåg kandidat 1 att potentialen med VR fanns till största del ute i produktion där de kan ge byggarbetare en direkt visuell förståelse för hur saker ska placeras eller byggas, vilket skulle göra det möjligt för användare att direkt se och interagera med projektdata på byggarbetsplatsen.

Kandidat 2 tryckte på hur VR har stor potential som visualiseringsverktyg och kan förbättra kommunikationen mellan alla inblandade:

- *Kandidat 2: "Jag anser att VR har stor potential som ett visualiseringsverktyg. VR kan definitivt förbättra kommunikationen inom organisationen genom att göra visualiseringar mer tillgängliga och förståeliga för alla inblandade. Det skulle särskilt gynna samarbetet mellan olika discipliner som måste synkronisera sina planer och förståelser av projekt. Om vi kunde använda VR smidigt och kostnadseffektivt, skulle det vara ett fantastiskt verktyg inte bara internt utan även i våra externa samarbeten, vilket skulle göra det enklare för alla parter att förstå det slutliga målet med våra projekt och hur olika delar hänger ihop."*

Kandidat 3 diskuterade hur VR skulle komma att påverka detaljeringsgraden samt förbättra kundrelationer och ge beställaren större frihet:

- *Kandidat 3: "Jag kan föreställa mig att dess huvudsakliga positiva påverkan skulle vara tvåfaldig. För det första, VR ger oss en förmåga att noggrant utforska och verifiera miljön som ska byggas, vilket tillåter oss att utforska varje detalj i designen. Detta skulle inte bara förbättra kvaliteten på det vi levererar, utan också säkerställa att allt är som det ska vara innan konstruktionen påbörjas. För det andra, genom att använda VR kan vi ge beställaren större frihet att utforska modellen på egen hand, detta, tror jag bidrar starkt till att bygga en mer trovärdig och transparent relation med beställaren. Jag anser att även om att ge frihet kan göra arbetet svårare, är det inte nödvändigtvis negativt. Att gå mer i detalj är krävande men det skapar också trovärdiga relationer som är mycket värdefulla, särskilt när det leder till återkommande kundrelationer."*

4.2 Workshop resultat

Workshopens resultat presenteras som en enkätstudie med svar från 32 deltagare. Deltagarnas prestation utvärderades också i form av utförandetid och träffsäkerhet i möbleringen.

4.2.1 Enkätstudie

4.2.1.1 Bakgrundsfrågor

Enkäten gjordes för att få en uppfattning om deltagarnas kön, ålder och utbildning samt deras erfarenhet av ritningar. Svaren mättes på en skala mellan ett och fem och enkäten finns att läsa i bilaga

7. Workshopen utgjordes av 32 deltagare som bildade 16 olika testgrupper. Av de 32 deltagarna var majoriteten som deltog män (22 stycken). Medelåldern på deltagarna var 23 år med ett tydligt typvärde på 22 år. Deltagarna kom från Chalmers utbildningarna arkitektur, arkitektur och teknik, samhällsbyggnadsteknik och affärsutveckling och entreprenörskap. Tre av deltagarna var masterstudenter och resterande bachelor studenter. De dominerande utbildningarna var samhällsbyggnadsteknik och arkitektur med 14 respektive 11 deltagare. En fråga om relationen mellan gruppmedlemmarna ställdes också där det visade sig att 12 av 16 grupper hade någon form av relation till varandra. När det kom till deltagarnas erfarenhet av 2D- och 3D-ritningar svarade majoriteten att de använde sig mycket av dem i sina studier men att förmågan att tolka 2D-ritningar var en bit över medel. Den sista frågan visade att deltagarnas användning av TV- och datorspel samt tidigare erfarenhet var låg.

4.2.1.2 NASA-TLX

En NASA-TLX (NASA Task Load Index) enkät utfördes för att mäta den upplevda mentala arbetsbelastningen i samband med uppgiften. Enkäten bestod av frågor som syftar till att få en uppfattning om olika dimensioner av arbetsbelastningen, såsom mentalt krav, fysiskt krav, tidskrav, ansträngning, frustration och upplevd prestation. Deltagarna fick svara på en skala mellan ett och tjugo, resultaten visade att den mentala belastningen hos deltagarna var strax över medel och där en enstaka deltagare kände en hög mental belastning under uppgiften. Den fysiska belastningen hos deltagarna var låg men en majoritet av deltagarna upplevde en stark tidspress vilket även bevisade en medelhög frustrationsnivå samt en hög ansträngning hos deltagarna. Enkäten visade tydligt att deltagarna generellt skattade sin egen prestation som hög. Den egna uppskattade prestationen jämförs med den verkliga prestationen i kapitel 6.1.2.2.

4.2.1.3 PSSUQ-enkät

Även en PSSUQ-enkät (Post-Study System Usability Questionnaire) utfördes för att utvärdera användarupplevelsen av immersiv VR som ett möbleringsverktyg. Syftet med enkäten är att samla in feedback från användarna för att bedöma systemets övergripande användbarhet och användarvänlighet. Frågorna fokuserar på deltagarnas upplevda närvaro i VR-utrymmet och mäts på en skala mellan ett och sju. Enkäten i sin helhet finns att se i bilaga 5. Enkätresultaten utvärderades genom att räkna ihop summan av svaren och dela på andelen deltagare. I tabellen nedan visas ett utvärderat medelvärde av varje fråga där värdet 4 är neutralt. Resultatet blir därför tydligt för att immersiv VR som ett möbleringsverktyg är användarvänligt då deltagarna har upplevt en hög närvaro i VR-utrymmet. Tydligast är det att deltagarna har känt att källarvåningen är en plats de virtuellt besökt men att den faktiska känslan av att de befann sig i källarvåningen var lägre.

Tabell 7. Medelvärde för PSSUQ-enkäten, (se bilaga 6 för fullständiga frågor).

Fråga	Medelvärde
1	5,3
2	5
3	5,4
4	5,3
5	5
6	4,7

4.2.2 Prestation

I denna del presenteras gruppernas prestation uttryckt i träffsäkerhet i möbleringsuppgifterna. Träffsäkerheten jämförs sedan med gruppernas utförandetid och en rad olika kopplingar till enkätstudien görs. Nedan presenteras gruppernas prestation i form av träffsäkerhet i möbleringen. Träffsäkerheten mäts i procent där 100% är en felfri möblering.

Jämförelse mellan varje grups andel utsatta möbler per yta och möbeltyp. Grönt indikerar att gruppen placerade korrekt antal möbler. Gult indikerar för få utsatta möbler. Rött indikerar för många utsatta möbler av objekttypen. Grå innebär antal utsatta av den möbelkategorin är noll. Grupperna är benämnda S1-7 och O1-6, där 'S' står för att deltagarna varit i samma rum vid genomförande av uppgiften, och 'O' för att deltagarna varit i olika rum.

För yta 1 var det endast en grupp som placerade korrekt andel hyllor och mikrovågsugnar. Det är även denna grupp (S4) som fått högst träffsäkerhet på 92,3%. Det var få grupper som lyckades placera ut korrekt andel möbler generellt vilket resulterade i lägre träffsäkerhet. Se tabell nedan.

Tabell 8. Resultat andel möblering Yta 1: antal placerade möbler för varje grupp samt total träffsäkerhet per grupp.

Yta 1			
Grupp:	Hylla	Micro	Träffsäkerhet
Grupp S1	5	2	36,9 %
Grupp S2	3	6	47,9 %
Grupp S3	7	9	72,2 %
Grupp S4	6	12	92,3 %
Grupp S5	6	11	91,6 %
Grupp S6	7	7	66,8 %
Grupp S7	6	0	31,5 %
Grupp O1	3	1	21,1 %
Grupp O2	3	9	64,3 %
Grupp O3	6	10	86,9 %
Grupp O4	3	4	38,0 %
Grupp O5	6	9	80,0 %
Grupp O6	3	0	16,1 %

För yta 2 var resultatet betydligt bättre. Här lyckas cirka hälften av grupperna placera ut korrekt andel möbel av varje möbeltyp. Det resulterade i högre träffsäkerhet för hela ytan. Grupp S4 med högst träffsäkerhet på möbleringen, medans några andra grupper med även dem, korrekt andel utsatta möbler, har träffsäkerhet strax under grupp S4. Se tabell 9.

Tabell 9. Resultat andel möblering Yta 2: antal placerade möbler för varje grupp samt totala träffsäkerheten per grupp

Yta 2						
Grupp:	Soffa	Stol	Bord	Avfall	Lampa	Träffsäkerhet
Grupp S1	2	16	5	2	0	81,4 %
Grupp S2	2	16	5	1	3	89,6 %
Grupp S3	2	16	5	2	3	93,9 %
Grupp S4	2	16	5	2	3	97,2 %
Grupp S5	2	16	7	0	0	73,1 %
Grupp S6	2	16	5	2	3	92,2 %
Grupp S7	2	16	5	2	3	91,3 %
Grupp O1	2	12	4	2	0	61,9 %
Grupp O2	2	16	5	2	3	95,3 %
Grupp O3	2	17	5	2	3	85,9 %
Grupp O4	2	16	5	2	3	95,2 %
Grupp O5	2	16	5	2	3	93,4 %
Grupp O6	2	18	5	2	3	82,8 %

På yta 3 var mikrovågsugnar och lampor svårast att placera enligt resultatet (se tabell 10). Majoriteten av grupperna missade placeringen av en lampa och placerade endast ut 3/4 stycken. Grupp O4 med högst procents träffsäkerhet för ytan, följt av grupp O3.

Tabell 10. Resultat andel möblering Yta 3: antal placerade möbler för varje grupp samt totala träffsäkerheten per grupp

Yta 3								
Grupp:	Hylla	Micro	Avfall	Planta	Bänk	Lampa	Kyl	Träffsäkerhet
Grupp S1	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Grupp S2	4	12	1	2	2	3	0	73,7 %
Grupp S3	4	8	1	2	4	3	1	68,6 %
Grupp S4	4	8	1	2	4	3	1	81,8 %
Grupp S5	4	16	1	2	4	3	1	93,7 %
Grupp S6	4	16	1	2	4	4	1	94,6 %
Grupp S7	4	16	1	2	4	5	1	93,5 %
Grupp O1	4	16	1	2	4	3	1	93,5 %
Grupp O2	4	15	1	2	4	3	1	87,2 %
Grupp O3	4	16	1	2	4	4	1	96,1 %
Grupp O4	4	16	1	2	4	4	1	96,5 %
Grupp O5	4	16	1	2	4	5	1	93,5 %
Grupp O6	4	16	1	2	4	3	1	91,3 %

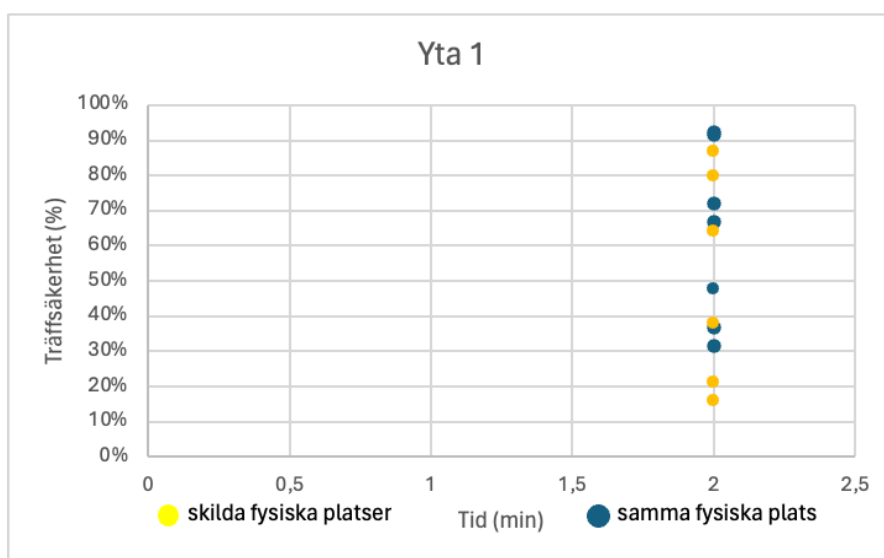
Skillnaden i träffsäkerheten för de olika grupperna, samma rum och olika rum, kan jämföras med ett beräknat medelvärde (se tabell 11). Där medelvärdet för den totala träffsäkerheten för samma rum var högre för yta 1 och 2, medan för yta 3 presterade grupperna i olika rum betydligt högre.

Tabell 11. Medelvärde för träffsäkerheten för alla grupper i samma rum respektive olika rum för alla tre ytor.

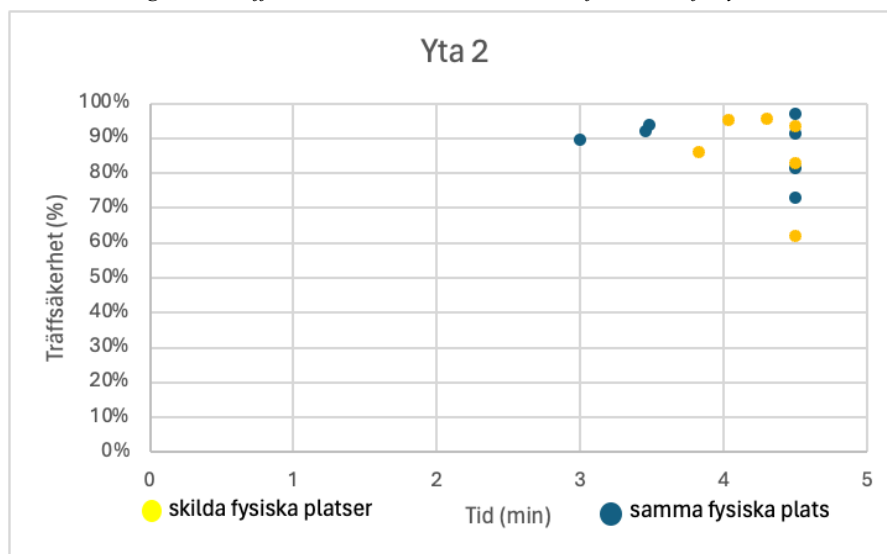
	Samma rum	Olika rum
Yta 1	62,7 %	50,9 %
Yta 2	88,4 %	85,7 %
Yta 3	84,29 %	93,0 %

4.2.2.1 Träffsäkerhet som ett samband med utförandetid

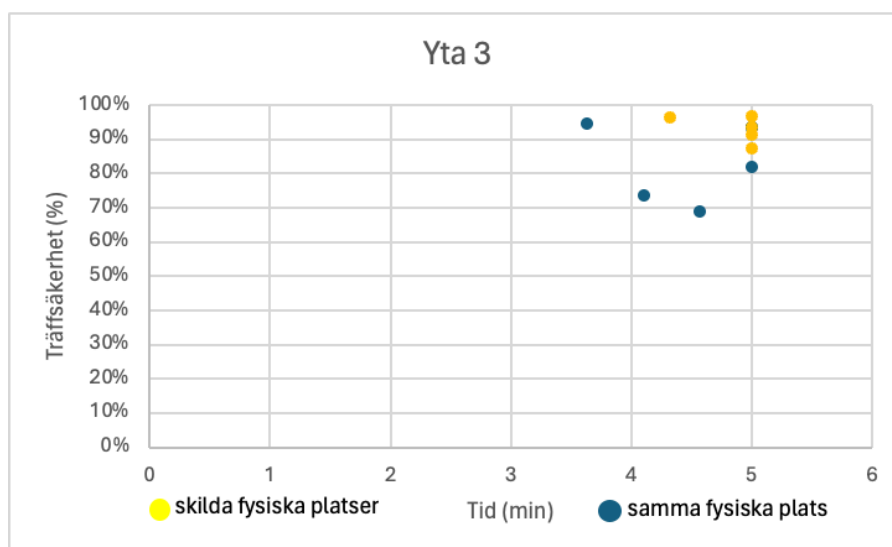
I de tre nedanstående diagrammen redovisas träffsäkerheten som ett samband med utförandetiden på respektive yta. Blåa punkter representerar grupper som utfört uppgiften på samma fysiska plats och gula punkter representerar grupper som utfört uppgiften på fysiskt skilda platser.



Figur 24. Träffsäkerhet som ett samband med utförandetid för yta 1.



Figur 25. Träffsäkerhet som ett samband med utförandetid för yta 2.



Figur 26. Träffsäkerhet som ett samband med utförandetid för yta 3

Resultaten för yta 1 tyder på att det fanns en hög tidspress då ingen grupp klarade av att utföra uppgiften på kortare tid än maxtiden två minuter. Träffsäkerhet för yta 1 är också väldigt varierande mellan grupperna vilket kan kopplas till tidigare personliga erfarenheter till VR där det för en del av deltagarna endast fanns 5 min onboarding som erfarenhet. Resultaten visar även att de grupper som utförde uppgiften på fysiskt skilda platser presterade något sämre.

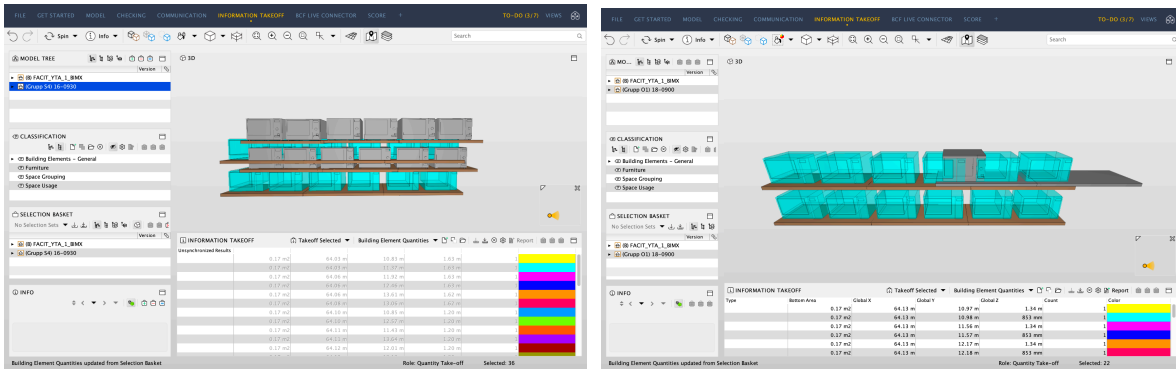
Resultaten för yta 2 indikerar att erfarenhet från yta 1 var en hjälpande faktor då träffsäkerheten ökade markant. Det går även att utläsa att prestationen för de grupper som befann sig på samma fysiska plats var mer utspridd än de som befann sig på fysiskt skilda platser. Även för yta 2 var prestationen från de som befann sig på fysiskt skilda platser något sämre, framförallt tog det längre tid för de här grupperna att möblera.

Resultaten från yta 3 bevisar på nytt att erfarenhet har en avgörande roll då den generella prestationen fortsätter att öka och prestationen mellan grupperna blir mer koncist. Dock precis som resultaten från yta 2 var det en större spridning på prestation från de på samma fysiska plats än de på fysiskt skilda platser. De som befann sig på fysiskt skilda platser hade för yta 3 istället en bättre och mer jämn prestation. Även för yta 3 var de grupperna på samma fysiska plats som utför uppgiften snabbare.

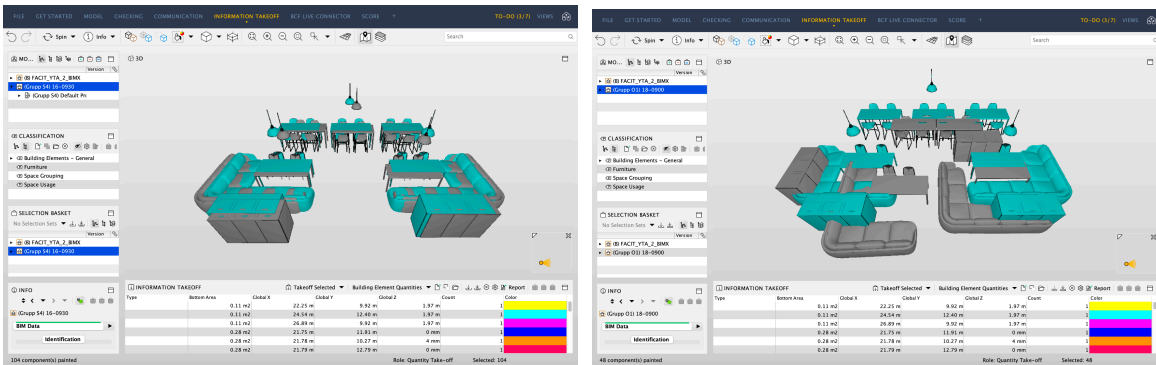
Sammanfattningsvis ger resultaten tydliga indikationer på att erfarenhet i VR har en avgörande faktor för prestationen samtidigt som att prestationen inte har någon tydlig relation till den fysiska platsen då resultaten varierade från det avseendet.

4.2.2.2 Jämförelse med sekundär beräkningsmetod

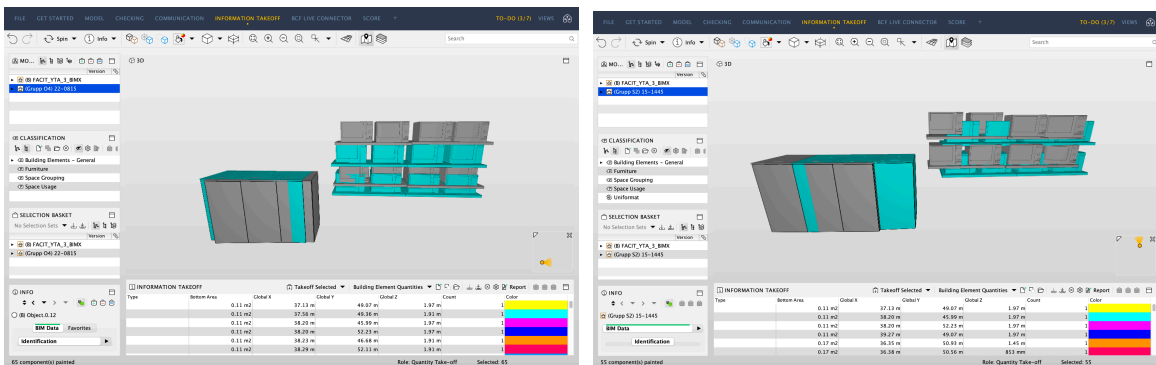
Här jämförs den sekundära beräkningsmetoden i 3.2.4 med den primära i 3.2.3. Nedan är bilder tagna från Solibri som jämför möbleringen i facit med en grups faktiska möblering, se figur 27-31.



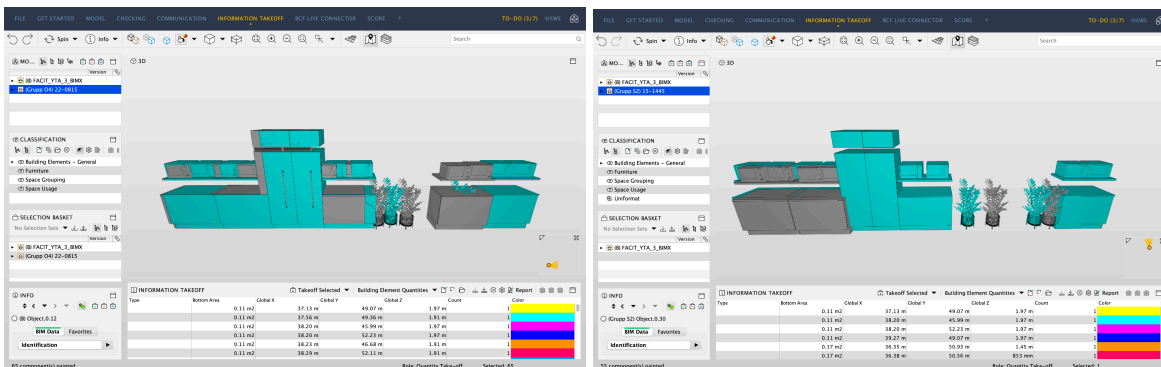
Figur 27. Bilder från Solibri Yta 1.



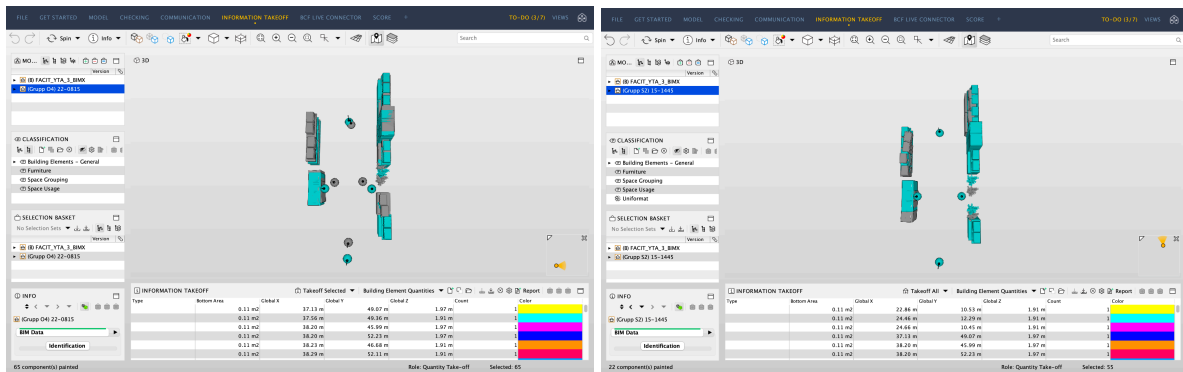
Figur 28. Bilder från Solibri Yta 2.



Figur 29. Bilder från Solibri Yta 3 del 1.



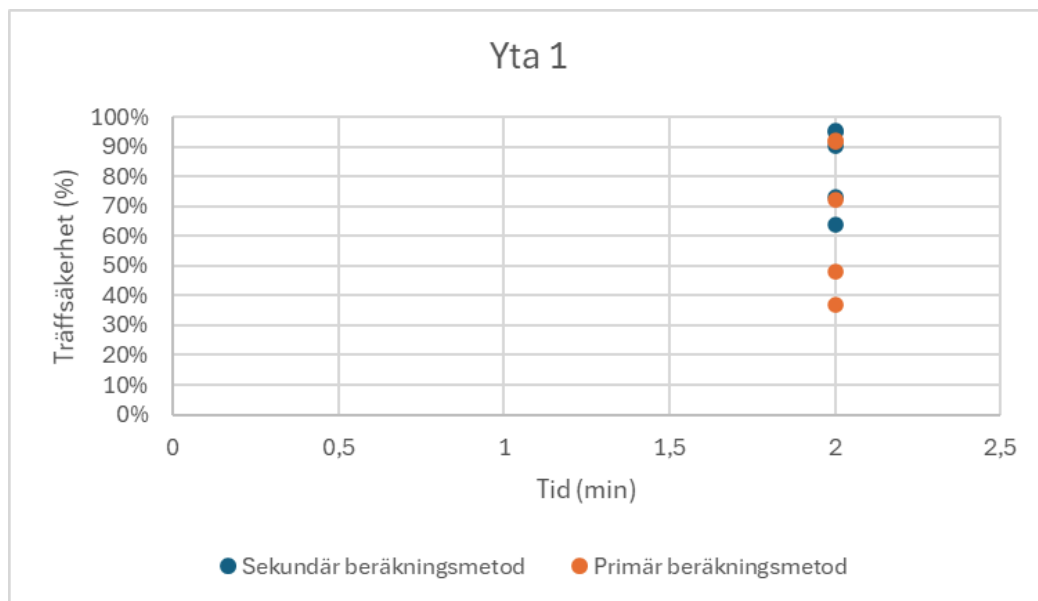
Figur 30. Bilder från Solibri Yta 3 del 2.



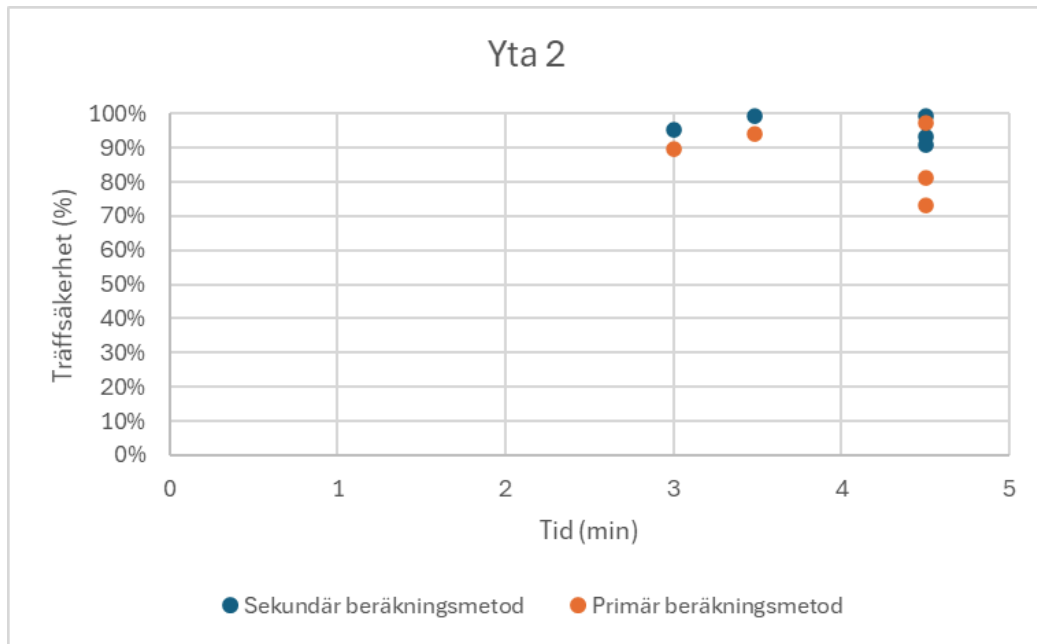
Figur 31. Bilder från Solibri Yta 3 del 3.

4.2.2.3 Jämförelse med sekundär beräkningsmetod

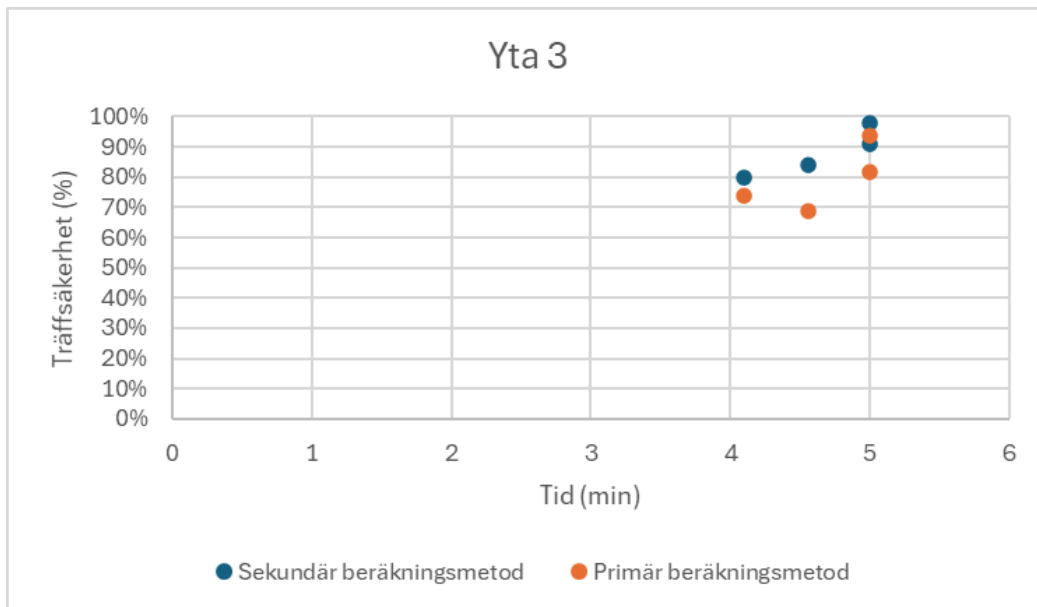
Figur 32, 33 och 34 nedan jämför vår beräkningsmetod för träffsäkerhet med den alternativa metoden som tidigare beskrivits. De orangea punkterna representerar beräkningsmetoden samtidigt som de blåa punkterna representerar den alternativa metoden. Det går tydligt att se att den sekundära beräkningsmetoden ger en högre träffsäkerhet för samtliga grupper vilket är ett resultat av att denna metod inte tar hänsyn till felmarginalen liksom den primära beräkningsmetoden gör. Det gör därför utrymmet i den här metoden oändligt stort och därav en högre träffsäkerhet.



Figur 32. Jämförelse mellan primär- och sekundär beräkningsmetod för yta 1.



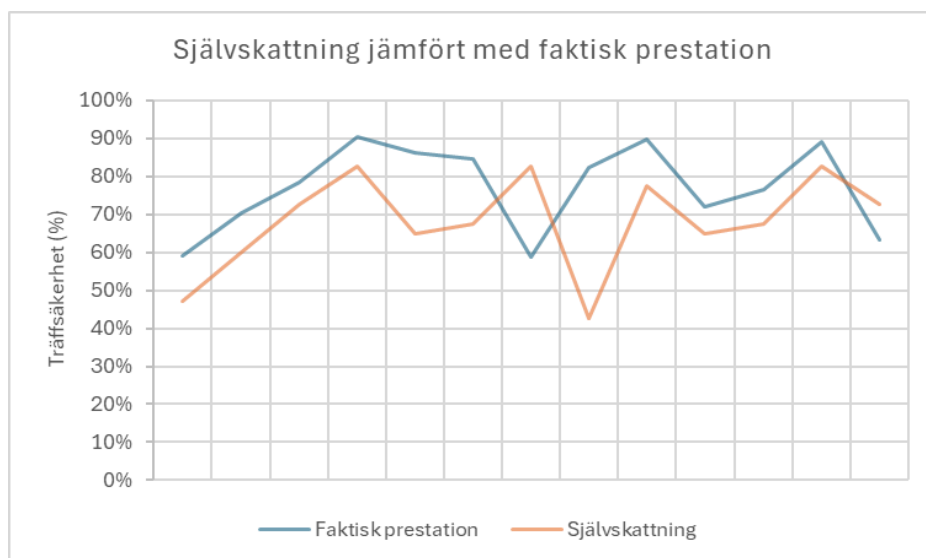
Figur 33. Jämförelse mellan primär- och sekundär beräkningsmetod för yta 2.



Figur 34. Jämförelse mellan primär- och sekundär beräkningsmetod för yta 3.

4.2.2.4 Självskattning jämfört med faktisk prestation

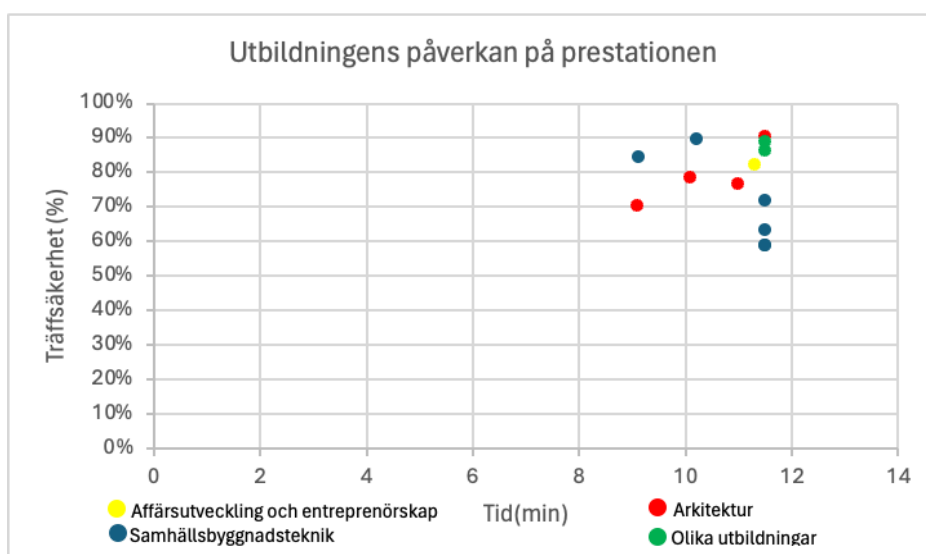
För att se hur bra deltagarna skattade sin egna prestation i NASA-enkäten jämfört med sin faktiska prestation togs en medelträffsäkerhetsprocent för de tre ytorna fram som sedan jämfördes med gruppens medeluppskattning omräknat till procent, se figur 35. Den blåa linjen beskriver faktisk prestation och den orangea deltagarnas självskattning. Det går då att se att den egna uppskattningen är något lägre än det faktiska resultatet. Två grupper med studenter från samhällsbyggnadsteknik överskattade sin egna prestation då deras prestation på yta 1 drog ner medelvärdet markant.



Figur 35. Självskattning jämfört med faktisk prestation.

4.2.2.5 Utbildningens påverkan på prestationen

Nedan har en analys gjorts kring hur deltagarnas utbildning har påverkat prestationen. Här har prestationen gjorts om till en medelträffsäkerhetsprocent och tiden till en totaltid för alla tre ytor, se figur 36. Resultaten visar att deltagarna från samhällsbyggnadsteknik har störst spridning på sitt resultat samtidigt som deltagarna från arkitektur har ett mer samlat resultat men ett relativt lika resultat som samhällsbyggnadsteknik än resterande utbildningar.

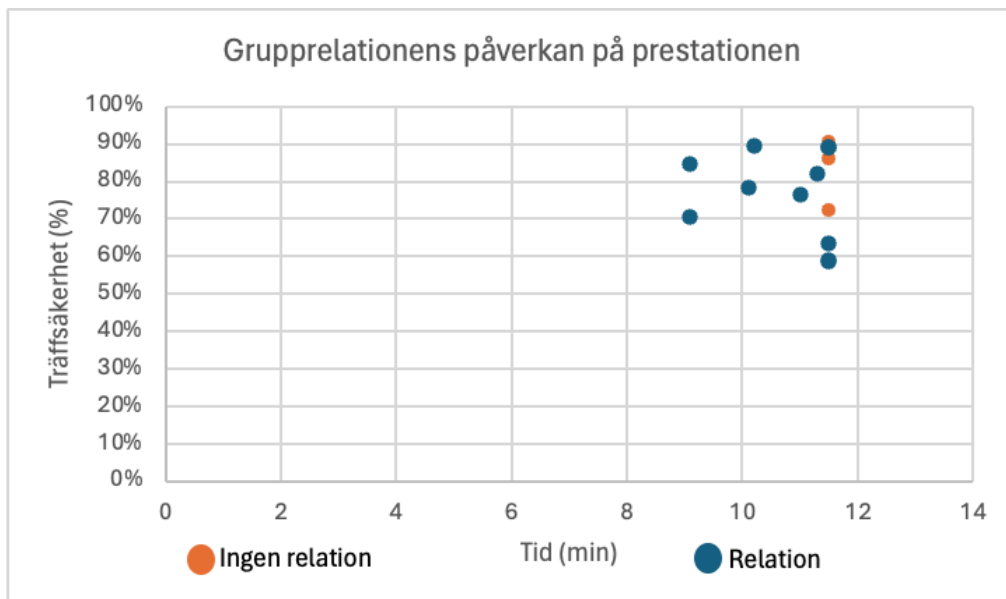


Figur 36. Prestationen i förhållande till utbildning.

4.2.2.6 Grupprelationens påverkan på prestationen

En analys har gjorts för att undersöka om gruppmedlemmarnas relation eller inte till varandra har någon påverkan på resultatet. Även här har prestationen gjorts om till en medelträffsäkerhetsprocent och tiden till en totaltid för alla tre ytor, se figur 37. Det går att avläsa att prestationen inte påverkas negativt av att deltagarna saknar relation till varandra.

Blå: Gruppen har en relation till varandra
Orange: Gruppen har ingen relation till varandra



Figur 37. Grupprelationens påverkan på prestationen.

4.2.2.7 Frågor efter workshop

1. Hur upplevde du att kommunikationen fungerade med att ha den andra deltagaren i samma/skilda rum som dig?

Grupperna reflekterade över hur deras kommunikation påverkades av att ha den andra deltagaren i samma rum eller i skilda rum där flertal likheter bland svaren identifierades. Svaren visar att oavsett om grupperna var i samma rum eller i skilda rum och kommunicerade via Discord, så upplevde deltagarna att deras kommunikation fungerade bra, som en deltagare uttryckte. *“Så länge man hör varandra och kan kommunicera så tror jag ändå att samma rum hade fungerat lika bra”*. Vidare kommenterade en deltagare *“Du upplevde ju typ att du var i samma rum när du kan prata”*.

2. Hur upplevde du användargränssnittet, dvs. hur lätt var det att komma in i hur olika funktioner fungerar?

Samtliga deltagare tyckte att gränssnittet var lättillgängligt och uppskattade flera funktioner särskilt kopieringsfunktionen, som kommenterades av en deltagare *“Det var en effektiv funktion, istället för att alltid dra från katalogen”*

Dock ansåg majoriteten av grupperna att laserpekaren var en effektiv funktion som en deltagare uttryckte *“Först pekade jag utan den gröna lasern, sen kom jag på att han ser ju inte det här, sedan använde jag mig av laserpekaren för att få samma resultat eller visa vad jag menar”*. Vidare noterade en del av deltagarna att det var tidskrävande att få åtkomst till laserpekaren, som kommenterades av en deltagare *“Jag tyckte det var lite klunkig kontroll på lasern, att man hade kunnat ha någon hotkey till den istället”*. En annan deltagare uttryckte *“Det kändes som att det tog mer tid att använda laserstrålen än att bara försöka hoppa fram och förklara”*.

3. Vilken av de tre ytorna upplevde du som svårast och varför?

Deltagarnas respons för den svåraste ytan varierade. En del grupper ansåg att yta 1 var den mest utmanande på grund av tidspressen samt brist på förståelse för verktyget.

En deltagare uttryckte *“När allting var nytt. Man fick värna in sig lite grann. Få sakerna att funka typ”* en annan deltagare kommenterade *“Första kanske man hade minst tid och sen skulle man liksom lära sig kontrollen lite grann, det var första gången man var på platsen också”*.

Andra grupper ansåg att yta 2 var den mest utmanande på grund av att det omfattande behovet av att möblera om befintlig möblering en deltagare uttryckte *” Kände mest tidspress på den första då det var kortast tid på den, mest att göra på yta 2, tyckte att det var mycket man ska tänka på”*.

5. Diskussion

Diskussionen redovisar och reflekterar över de viktigaste resultaten i relation till litteraturstudien, intervjuerna och workshopen för att på så sätt besvara frågeställningarna. Resultaten från intervjuerna och workshopen kan i de flesta fall kopplas till litteraturstudien men deltagarna i intervjun kom även med intressanta vinklar i sina svar som inte togs upp i litteraturstudien. Syftet och frågeställningarna har därför diskuterats utifrån teorin och resultaten från workshopen och intervjuerna. Den första delen kopplar ihop teorin med intervjuerna och ger en överblick över hur immersiv VR kan tillämpas i byggbranschen. Den andra delen diskuterar resultaten i workshopen kopplat till användarvänlighet. Slutligen diskuteras förbättringar för fortsatta undersökningar.

5.1 Hur kan immersiv VR med stöd för interaktiva funktioner tillämpas inom industrin?

Resultaten i detta arbete tyder på att immersiv VR med stöd för interaktiva funktioner skapar förutsättningar för användare att genomföra möbleringsuppgifter tillsammans i en virtuell miljö på ett godtagbart sätt både om de genomför uppgiften samlokaliserat som på geografiskt åtskilda platser. Deltagarna i experimentet hade olika tidigare erfarenhet av tv-spelserfarenhet, kön, ålder och erfarenhet av ritningsläsning men samtliga deltagare kunde ändå komma in snabbt i VR-systemet och blev bättre och bättre för varje uppgift vilket går att avläsa från 4.2.2. Härifrån går det att dra paralleller till industrin och ute i skarpa projekt där brukare för byggnaden inte bör ha några större problem att komma in i verktyget. Denna användarvänlighet skapar förutsättningar för flera användare att ta del av byggnadsutformningen under de tidiga skederna i byggprocessen, särskilt för användare som inte har mycket erfarenhet i ritningsläsning. För som konstaterades i bakgrunden enligt Chen (2004) och Shahin m.fl. (2024) så komprimerar arkitekten ofta informationen från en 3D-modell eller ett koncept till en 2D-planritning, vilket sätter stort ansvar på mottagarens förmåga att tolka planritningen och i sin tur arkitektens idéer. Om då fler kan ta del av arkitektens förslag eftersom tröskeln för att förstå arkitektens förslag minskar kan det möjliggöra fler att komma till tals kring den slutgiltiga ytan. Vilket i sin tur kan innebära att arkitekten och övriga projektörer kan samla på sig mer exakt information om vad och hur brukare eller byggherren önskar få sin byggnad upprättad och utformad. Vilket förmodligen innebär att snabbare och mer välgrundade beslut kan tas under projekteringen. Denna tes kan styrkas av tidigare forskning som visat att interaktiva funktioner i immersiv VR skapat bättre förståelse för slutprodukt mellan brukare och designteamet samt lett till snabbare beslutsfattning när designfel ska åtgärdas (Wolfartsberger, 2019; Truong m.fl., 2021; Sateei m.fl., 2022).

Fortsättningsvis är det enligt Nordstrand (2008) arkitekten som idag har en nyckelroll i byggprojekt där valmöjligheterna är många eftersom den bäst lämpade utformningen kräver många iterationer. Implementeringen av immersiv VR i tidig byggprojektering kan leda till att rollerna omfördelas på ett sätt där byggherren och brukarna kan få en större roll i den tidiga projekteringen och med hjälp av VR, interaktivt påverka utformningen och detaljer som möblering. Byggherren och brukaren kan då själva möblera utrymmet virtuellt för att skapa ett önskat rumsflöde istället för att som idag överlåta uppgiften till arkitekten och sedan komma med input. Detta kan då skapa en mer effektiv process där detaljplaneringen kan ske i ett tidigare skede, designfel kan upptäckas i tidigare skeden och på så sätt

förebygga dyra sena byggändringar (Ottosson, 2015). Då majoriteten av komplikationer i projekteringsfasen idag sker på grund av bristande kommunikation sinsemellan aktörer (Ottosson, 2015), kan en mer jämn fördelning av rollerna i samband med implementeringen av VR förbättra problemet då kunskapsnivån mellan aktörerna blir mer jämt fördelad (Sateei m.fl., 2024).

För att gå vidare på spåret med de interaktiva funktionen i VR-systemet kan ytterligare diskussion föras kring hur detta kan komma att påverka byggprojekteringsprocessen. Utnyttjas immersiv VR under projekteringen kan förmodligen arbetsgången förändras och arbeten som sker under senare skeden, som detaljutformningen och möbleringen, kan tidigareläggas i processen. Skulle projekteringen istället inledas med möbleringen och detaljer efter ett preciserat byggnadsprogram går det istället att jobba inifrån och ut. Det vill säga att detaljer fastställs först, sedan konstruktions- och installationssystem och sedan gestaltning. Detta arbetssätt hade förändrat hela projekteringsprocessen där det egentligen brukare eller byggherren agerar huvudrollen under de tidiga faserna. Denna arbetsprocess går nog i de allra flesta fall att bortse ifrån vid nybyggnationer men vid till exempel upprättanden av verksamheter som exempelvis sjukhus kan en sådan arbetsprocess fungera bättre. Detta på grund av de många saker som måste ta hänsyn till för en sådan verksamhet, som siktlinjer, korrekt möbelpacering och utrymme i rummet. Något som sjukhuspersonal bör ha bättre koll på än arkitekt eftersom det är en miljö som de verkar i varje dag när de utför sitt arbete.

Vidare går det även att föra en diskussion kring hur deltagarna i detta arbetets experiment inte har ett lika stort ägandeskap över de problem som ska lösas som kanske verksamheten för en byggnad har. Detta eftersom brukare eller andra ansvariga för projekteringen ofta har jobbat aktivt med arkitektens förslag under ett tag innan förslaget fortsätter att granskas i VR och att de faktiskt ska använda den färdiga ytan medans deltagarna i detta experiment kastades in i ett problem som de inte hade någon form av ägandeskap över eller var särskilt investerade i. Detta kan i sin tur påverka vilket fokus användarna har i sammanhanget och hur de kommunicerar med varandra.

En utmaning med implementeringen av VR är bland annat kostnaden av mjukvaror, hårdvaror, såväl som kostnaden av integrationen som krävs för att introducera VR i en verksamhet. Ett exempel på detta med avseende på mjukvaror är tabell 3, där kostnad kan ses per år för respektive mjukvara. Detta kandidatarbete har ingen statistik för kostnaden av hårdvaror eller vad integrationen inom en organisation kostar, men med bakgrund mot intervjuerna av företagen kan det framstå som att främst integreringen är ett stort hinder. Detta stärks av det kandidat 2 påstår att företaget behöver ha någon vinst med användandet av VR innan de är redo för kostnaden och anpassningen av deras arbetsflöde. Dock är troligtvis det största hindret, implementeringen av detta nya arbetssätt inom byggbranschen, eftersom kostnaderna för exempelvis mjukvarorna inte är en måttlös kostnad när det kommer till större byggföretag. Detta kan däremot ses som ett av de större hindren för mindre företag då deras inkomster inte kan rättfärdiga inköpet av dessa mjukvaror och hårdvaror, samt även implementering inom organisationen.

Kandidat 1 förklarar i intervjun att de inte i dagsläget använder VR i någon större utsträckning än i syfte som, kommunikation, och visualisering med intressenter. Detta i samband med kandidat 3 som nämner att deras kunder inte har någon möjlighet med interaktioner vid användning av VR som ett visualiseringsverktyg. Här finns tydlig förbättringsmöjlighet där ett steg kan vara involveringen av brukare. Som tidigare nämnt i bakgrunden kan genom interaktiva funktioner i immersiv VR som möjligheten att flytta objekt direkt i 3D-modellen och möjligheten att verka i multi-user, har studier visat att det dessutom skapas bättre förståelse för slutprodukt mellan brukare och designteamet samt lett till snabbare beslutsfattning när designfel ska åtgärdas (Wolfartsberger, 2019; Truong m.fl., 2021;

Sateei m.fl., 2022). Detta kan närmare bestämt ses som en tydlig utvecklingsmöjlighet för företag. Däremot har ett för få antal intervjuer motverkat till att få en bred insyn i dagens byggindustri, och det är därför inte säkert att detta gäller för den stora mängden.

En ytterligare observation kring VRs potentiella utsträckning är att de intervjuade kandidaterna hade olika förutsägelser om huruvida VR förväntas användas i byggbranschen. Kandidat 2 förväntar att VR har en större användning i senare projektering och ser ett mindre behov av det under projekteringsfasen medan kandidat 3 pekar på raka motsatsen och menar att implementering behöver ske i projekteringen. Det tyder på att branschen har delade åsikter om vart tekniken kan implementeras baserat på arbetserfarenhet och yrkesroll. Vilket i sin tur pekar på ett potentiellt användande utanför projekteringsfasen.

5.2 Hur påverkar användarens bakgrund genomförandet?

Resultaten i kapitel 4.2.2 tyder på att studenternas utbildningsbakgrund inte påverkar deras prestation i att genomföra den givna uppgiften i VR. Detta antyder att den formella utbildningen inte nödvändigtvis avgör individens förmåga att prestera under tidspress i VR-miljön. Detta öppnar i sin tur upp för olika aktörer med olika kompetens att involveras i projekteringsfasen. Det kan därmed resultera i en viktig roll för brukaren i projekteringsfasen där de kan vara med och påverka i tidiga skeden. Genom att ta med brukare i projekteringsfasen kan man säkerställa att deras behov integreras på ett optimalt sätt i designen. Därmed motsvarar slutprodukten brukarens förväntningar och behov på ett bättre sätt. Dessutom kan det leda till samarbete mellan olika aktörer såsom arkitekter, ingenjörer och brukare. Vilket i sin tur leder till identifiering och lösning av potentiella problem tidigt i processen, detta kan leda till bättre resultat och minskade fel i projekteringsprocessen vilket i sin tur ger minskade kostnader.

Då det idag sker ett aktivt samarbete mellan arkitekt, byggherre och ingenjörer i projekteringsskedet Eringstam & Sandahl (2022) är det viktigt för personer utan tidigare koppling att kunna arbeta tillsammans för att säkerställa att de aktörer som påverkas direkt av byggnadsutformning har nu förutsättningar att få tillföra sin kunskap om vad som fungerar praktiskt när till exempel det sker en ombyggnation. Förslag kopplat till siktlinjer, rumsuppfattning och hur flödet i rummet bör vara är exempel på kunskap som vårdpersonal kan tillföra lättare i VR än 2D ritningar (Sateei, 2021).

Resultaten från bakgrundsfrågorna tillsammans med resultaten från workshopen visar att tidigare relation nödvändigtvis inte resulterar i en bättre prestation, Det kan därför ge belägg för en mer simpel implementering av immersiv VR mellan olika aktörer. Det för att de olika aktörerna i ett projekt oftast tidigare inte har någon relation till varandra och ett simpelt och effektivt samarbete blir då betydande. En möjlig anledning till att tidigare relation inte hade någon påverkan på prestationen är de interaktiva funktionerna som ger en tydlighet i uppgiften och därmed förenklar kommunikation mellan de som befinner sig i VR.

Resultaten från bakgrundsfrågorna indikerar även på VRs förmåga att öka förståelsen för komplexa rum och projekt bland icke-tekniska intressenter som kan få möjligheten att interagera och manipulera objekt och miljöer i realtid med hjälp av de interaktiva funktionerna i VR. Även användare utan tidigare erfarenhet i VR gjorde bra resultat i form av prestation under en kort tid vilket indikerar på en bra användarvänlighet och närvaro i den virtuella miljön. Även resultaten från PSSUQ-enkäten ger en tydlig indikation på det då närvaron bedömdes som hög. Kopplat till branschen kan det resultera i en

snabb och smidig introduktion hos byggherren och brukarna vilket gör processen effektiv. Fokuset kan därför riktas mot att förbättra kommunikationen mellan byggherre och arkitekt vilket då i sin tur leder till snabbare och mer välinformerade beslutsprocesser.

Resultatet från NASA-enkäten utvärderar deltagarnas uppskattning på sina egna prestationer, där diagrammet "Självskattning jämfört med faktisk prestation" i kapitel 4.2 visar att den faktiska prestationen är högre än deltagarnas egen uppskattning vilket tyder på att VR-verktyget är mer effektivt än vad deltagarna själva förväntade sig. Det indikerar en hög användarvänlighet i verktyget vilket då resulterade i en snabb inlärningskurva. Vilket i sin tur indikerar att VR-tekniken har potential att minska klyftan mellan förväntningar och verkligheten inom byggbranschen.

5.3 Hur påverkar den fysiska platsen användarens förmåga att genomföra en möbleringsuppgift i immersiv VR sett till träffsäkerhet och noggrannhet?

Resultaten från kapitel 4.2.2 "Prestation" antyder att den fysiska platsen inte har en klar påverkan på prestationen. Det för att samma fysiska plats har ett starkare resultat i förhållande till träffsäkerhet på yta 1 samtidigt som yta 2 får ett mer jämnt resultat mellan testgrupperna. Men för yta 3 fick fysiskt skilda platser en starkare träffsäkerhet vilket tyder på bättre utvecklingskurva under uppgiftens gång för de grupper som befinner sig på fysiskt skilda platser. Det kan bero på att närvaron i VR blir bättre på fysiskt skilda platser då kommunikationen sker genom digital kommunikation och att allt ljud går igenom VR-glasögonen. Det kan kopplas till deltagarnas svar i diskussionsfrågorna och närvaro-enkäten där en stark känsla av närvaro uttrycktes i yta 2 "*Tvåan, det är där vi har hängt mest*" [deltagare i grupp 02]. Samtidigt som deltagarna kände en bra kontroll över de interaktiva funktionerna i yta 3. Då kommunikationen på samma fysiska plats sker genom direktkontakt plockas även ljud från omgivningen upp vilket kan leda till störningar och stress och därmed påverka prestationen negativt, citat från workshopen "det störde att höra människorna runt omkring då det blev svårt att särskilja vad som var menat som instruktioner till mig".

Dock kom samtliga deltagare fram till att möjlighet till kommunikation var den avgörande faktorn och att platsen hade mindre påverkan, alltså är enligt workshopens deltagare kommunikation den viktigaste delen för att genomföra en given uppgift med ett flertal personer i den virtuella miljön. Då ett effektivt arbete kan göras på fysiskt skilda platser ges det möjlighet för ett arbete i koncerner med kontor på olika orter samt samarbeten mellan olika företag. Det ger då stöd till att implementera immersiv VR i projekteringen då arbetet enligt Eringstam & Sandahl (2022) är uppdelat till arkitekten, olika projektörer och byggherren. VR kan då användas som ett verktyg där arkitekten tillsammans med de andra projektörerna och byggherren samtidigt kan integrera samtidigt med multi-user från olika fysiska platser. Det innebär att exempelvis en byggherre i Stockholm kan arbeta med en entreprenör i region öst och en arkitektfirma i region väst på samma projekt. Detta resulterar i en minskning av behovet av att vara på fysiska möten och spara resekostnader vilket kan vara en långsiktigt och hållbar investering för företag.

Även här kan det kopplas samman till kommunikationen mellan olika aktörer likt beskrivet i 5.1 där arkitekten idag ofta komprimerar informationen i svårfattliga beskrivningar, ritningar och bilder som

kan innebära att beslutsfattande görs på fel grunder (Shahin m.fl., 2024). I en virtuell fleranvändarmiljö kan istället olika aktörer oberoende av fysisk plats i realtid integrera i en 3D-modell, på så sätt kan bättre förutsättningar för brukarens förståelse kring den färdiga byggnaden skapas. Detta i ett skede där möjligheten att påverka byggprojektet är som allra störst (Ottosson, 2015).

5.4 Förbättringsförslag och förslag till framtida problemställningar

Det finns flera förbättringsförslag kopplade till workshop och intervjuer till framtida problemställningar. En blandning av lågt intresse och pågående utveckling av mjukvaran gör implementeringen av VR-teknik till en stor utmaning i den svenska byggbranschen.

Trots kontakt med ett 30-tal företag var det endast 3 som ställde upp på intervjuerna. Det kan bero på att en stor del av den svenska byggbranschen idag inte ser VR som ett användbart komplement till projekteringen. Möjliga anledningar till det är bland annat mjukvaran där det fortfarande finns mycket förbättringspotential men även till de ekonomiska aspekterna en omstrukturering till VR innebär för ett företag. De få som idag arbetar med VR gör det nästan uteslutande i ett presentationssyfte för att visualisera modeller och projekt för beställare, helt utan användning av interaktiva funktioner. Det låga intresset påverkade i sin tur det insamlade resultatet då de flesta företag ännu inte arbetar internt med tekniken, det gjorde då att flera frågor blev irrelevanta för undersökningen.

En mer djupgående undersökning av VR mjukvarors funktioner, förutom BIMXplorer, kan vara användbart för en bättre förståelse för vad marknaden erbjuder idag för användningen av VR i byggbranschen. Trots att det finns ett dussin mjukvaror för multi-user samarbete, kan en analys och större jämförelse mellan dem behöva göras då även av anledning att kunskapen är relativt låg i branschen.

Det är även viktigt att ta hänsyn till den aktuella ekonomiska låkonjungturen, som haft en stor effekt på den svenska byggbranschen. Detta har påverkat nybyggnationer och projekt i allmänhet. Den rådande ekonomiska situationen har skapat en osäker marknad där investeringar i nya teknologier som VR blir mindre prioriterade. Denna insikt är central för korrekt bedömning av VR-teknikens inflytande i byggbranschen.

I workshopen finns där också ett antal förbättringsmöjligheter, även här var ett lågt deltagarantal ett bekymmer då resultaten i vissa fall blev svårtolkade. Ett högre antal deltagare hade med högsta trolighet skapat starkare samband i resultatdiagrammen och på så sätt varit enklare att tolka och dra slutsatser ifrån. Även ett bättre förebyggande för eventuella krascher i mjukvaran hade varit behjälplig då det i denna undersökning blev ett problem och ett antal grupperas resultat behövde ogiltighetsförklaras. Metoden som används för att mäta träffsäkerhet kan även bli förbättrad med en mer optimerad felmarginal för att på så sätt då även optimera träffsäkerheten ännu en nivå. Det tillämpar då en större skillnad i resultat bland gruppernas placering av möbler.

6. Slutsats

Målet med detta kandidatarbete har varit att skapa en förståelse för den fysiska platsens påverkan på genomförandet av en uppgift i immersiv VR. Nedanstående punkter beskriver de viktigaste slutsatserna som dragits utifrån observationer i workshopen.

- Sett till resultaten från workshopen, visar resultaten på att deltagare som genomförde uppgiften på fysiskt skilda platser genomförde över tid, uppgiften mer träffsäkert och precist, jämfört med samlokaliserade deltagare
- Sett till bakgrund visade resultaten att utbildning, ålder, kön, förmågan att tolka ritningar, tidigare erfarenhet av TV-spel och relation till varandra inte hade någon större påverkan på utförandet av uppgiften i VR, varken för samlokaliserade eller fysiskt skilda deltagare
- Befintlig möblering i den virtuella miljön hjälper deltagarna att få en ökad förståelse för vilken yta de befinner sig i samt bidrar till ökad känsla av närvaro
- Under den inledande delen av uppgiften har ett samband mellan hög kognitiv belastning och en sämre prestation i utförandet av uppgiften observerats.

För det första visades utförandet över tid sett till träffsäkerhet och precision vara bättre på fysiskt skilda platser. Denna insikt öppnar upp ett flertal möjligheter för byggbranschen som är i behov av mer digitala arbetsätt. Möjligheten att jobba på fysiskt åtskilda platser idag är viktig och kan på många sätt förbättra hur företag jobbar med varandra idag, denna teknik kan innebära att onödiga restid kan försummas då verktyget fungerar lika bra som ett kommunikationsmedium om användarna inte är i samma stad. Företag i Stockholm kan smidigt samarbeta med företag i Göteborg. Undersökningen bevisade även att den höga närvaron som deltagarna kände i den virtuella miljön skapade en känsla av samlokalisering oberoende av användarnas egentliga plats, vilket ytterligare styrker det som nämndes inledningsvis.

Vidare visar resultaten att användarens bakgrund inte har en stark påverkan på användandet av VR-verktyget. Trots olika utbildningsbakgrund, ålder, kön, förmågan att tolka 2-D och 3-D ritningar och tidigare erfarenhet av TV-spel konstaterades en hög förståelse för uppgiften från samtliga deltagare i workshopen. Det möjliggör därmed ett effektivt arbete mellan branschens olika aktörer med ett brett spann av kompetensnivå. Resultaten visar också på att tidigare relation mellan användare inte har någon betydelse för hur väl deltagarna genomförde uppgifterna i VR-miljön. Vilket styrker slutsatsen om möjliggörandet för olika aktörer att kunna verka i en virtuell fleranvändarmiljö och att de effektivt kan arbeta tillsammans oberoende av fysisk plats och bakgrund.

Ytterligare en slutsats är att befintlig möblering i den virtuella miljön skapar en högre känsla av närvaro för användarna. Tillsammans med en hög konstaterad användarvänlighet visade deltagarna i workshopen en stark utveckling under uppgiften gång vilket då styrker möjligheten för att en brukare utan tidigare erfarenhet av VR och 2D-ritningar ska kunna integrera sig i en modell. Brukaren som ofta har ett stort ägandeskap av verksamheten som ska förekomma i byggnaden kan då i ett tidigt skede påverka utformningen av byggnaden.

En avslutande slutsats är kopplingen mellan hög kognitiv belastning och en sämre prestation mätt till träffsäkerhet. Detta i form av att deltagare i workshopen utförde uppgiften sämre i de delar de kände

en högre kognitiv belastning tillsammans med tidspress. Det styrker vikten av en god utbildning tillsammans med bra planering för att skapa bra förutsättningar för användandet av VR. Med bra underlag kan då branschens aktörer skapa en användarvänlig miljö för brukaren att integrera i.

7. Källförteckning

Anjou, M. (2019). *Den ineffektiva byggbranschen - en förändringsagenda* (1 uppl.). Ekerlids Förlag.

Boverket. (2018). *Kartläggning av fel, brister och skador inom byggsektorn*. (2018:36).
<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2018/kartlaggning-av-fel-brister-och-skador-inom-byggsektorn.pdf>

Catherine P. (2023). *Virtual Reality for Architects: How Is It Created and Used?*.
<https://archicgi.com/cgi-news/virtual-reality-for-architects-creation-uses/>

Chen, Liang. 2004. *Architectural Visualization*. Melbourne, Fakulteten för konst och design, Monash universitet. https://research.chalmers.se/publication/539790/file/539790_Fulltext.pdf

Johansson, M., Roupé, M. (2019). BIM and Virtual Reality (VR) at the construction site. CONVR 2019 Enabling digital technologies to sustain construction growth and efficiency, 19: 1-10

Autodesk. (2024a). *Autodesk Revit: BIM-programvara för att designa och skapa vad som helst*. Hämtad 24 april, 2024 från Autodesk:
<https://www.autodesk.se/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

Autodesk. (2024b). *About Worksets*. Hämtad 25 april, 2024 från Autodesk:
<https://help.autodesk.com/view/RVT/2022/ENU/?guid=GUID-86810293-6510-4F5A-8009-27B4767CA136>

buildingSMART International. (u.å.). *About buildingSMART*. Hämtad 25 april, 2024 från buildingSMART International: <https://www.buildingsmart.org/about/>

Johansson, M. (2016). *From BIM to VR - The design and development of BIMXplorer* [Doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola]. Chalmers Research.
<https://research.chalmers.se/publication/241212>

Meta. (u.å.). *Jämför Meta Quest*. Hämtad 3 maj, 2024 från Meta:
<https://www.meta.com/se/quest/compare/>

Johansson, M., & Roupé, M. (2022, 16 november-18 november). *VR in Construction – Multi-User and Multi-Purpose* [Paper presentation]. The 22nd International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 2022). Seoul, South Korea

Stanković, S. (2024). *Virtual Reality and Virtual Environments in 10 Lectures*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-49468-0>

Ververidis, D., Nikolopoulos, S., & Kompatsiaris, I. (2022). *A Review of Collaborative Virtual Reality Systems for the Architecture, Engineering, and Construction Industry*. *Architecture*, 2, 476–496. <https://doi.org/10.3390/architecture2030027>

- Eringstam, J., & Sandahl, N. (2022). *ARKITEKT 3.0 - GUIDE FÖR PROJEKTERANDE ARKITEKTER*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Johansson, M., & Roupé, M. (2024). Real-world applications of BIM and immersive VR in construction. *Automation in Construction*, 158. [10.1016/j.autcon.2023.105233](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105233)
- Sateei, S., Roupé, M., & Johansson, M. (2024). *Kollaborativ informationsstruktur* (Rapport U7-2019-13). Smart Built Environment.
<https://research.chalmers.se/publication/539790>
- Sateei, S., Roupé, M., & Johansson, M. (2023). Transitioning from 2D to VR in design-review Resistance to engagement. *Proceedings of the 23rd International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, CONVR 2023*, 23: 85-96
<https://research.chalmers.se/en/publication/539111>
- Johansson, M., Roupé, M. (2024). Real-world applications of BIM and immersive VR in construction. Automation in Construction, 158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105233>*
- Nordstrand, Uno. (2008). *Byggprocessen* (4 uppl.). Liber.
- Ottosson, H. (2015). *Vad, när, hur och av vem: praktisk projektledning inom bygg-, anläggnings- och fastighetsbranschen* (2 uppl.). Svensk Byggtjänst.
- Sateei, S., Roupé, Mattias, & Johansson, Mikael. (2022). Collaborative Design Review Sessions in Virtual Reality: Multi-Scale and Multi-User. *Jeroen van Ameijde, Nicole Gardner, Kyung Hoon Hyun, Dan Luo, Urvi Sheth (Eds.), POST-CARBON - Proceedings of the 27th CAADRIA Conference, Sydney, 9-15 April 2022, Pp. 29-38.*
http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/201520+dave=2:/paper/caadria2022_184
- Wallergård, M., Eriksson, J., & Alce, G. (2022). *VIRTUAL REALITY - En introduktion*. Lund: Studentlitteratur.
- Samuelsson O. (2021). *Digitaliseringsåtgärder i den svenska bygg-och installationsbranschen*. Svenska Byggbranschens utvecklingsfond.
<https://www.sbuf.se/media/zgindbby/digitaliseringsinitiativ-sbuf-slutrapport-2021-01-07.pdf>
- Rivera, A., Le, N., Kapsikar, K., Kashiwagi, J., & Alhamadi, Y. (2016). Identifying the Global Performance of the Construction Industry. *53rd ASC Annual International Conference Proceedings* (ss. 567-575). Arizona: Associated Schools of Construction.
- Truong, P., Hölttä-Otto, K., Becerril, P., Turtiainen, R., & Siltanen, S. (2021). Multi-User Virtual Reality for Remote Collaboration in Construction Projects: A Case Study with High-Rise Elevator Machine Room Planning. *Electronics*, 10(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/electronics10222806>

Wolfartsberger, J. (2019). Analyzing the potential of Virtual Reality for engineering design review. *Automation in Construction*, 104, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.018>

Bilagor

Bilaga 1 - källhänvisning tabell 1

Ververidis, D., Nikolopoulos, S., & Kompatsiaris, I. (2022). *A Review of Collaborative Virtual Reality Systems for the Architecture, Engineering, and Construction Industry*. *Architecture*, 2, 476–496. <https://doi.org/10.3390/architecture2030027>

Bilaga 2 - källhänvisning tabell 2

Från tabell 2

Epic Games. (2023, 20 april). *Supported VR Headsets for Twinmotion*.

https://twinmotionhelp.epicgames.com/s/article/Supported-VR-Headsets-for-Twinmotion?language=en_US

Enscape. (2024). *Virtual Reality Headset*.

<https://learn.enscape3d.com/blog/knowledgebase/using-virtual-reality-headset/>

VRcollab. (2022, 20 april). *Compatible Virtual Reality Devices*.

<https://help.vrcollab.com/coordinate/virtual-reality>

Kalloc Studios. (2024). *Frequently Asked Questions*.

<https://www.kalloctech.com/support.jsp>

Prospect by IrisVR. (2024). *Prospect is compatible with*.

<https://irisvr.com/supported-headsets/>

The Wild by Autodesk. (2022, 2 augusti). *What VR headsets are supported in The Wild?*.

<https://thewild.com/help/vr-headset-support>

BIMXplorer. (2024). *FAQ*.

<https://www.bimxplorer.com/faq>

Yulio Technologies Inc. (2019, 10 oktober). *What types of VR headsets work with Yulio*.

<https://www.yulio.com/what-types-of-headsets-work-with-yulio/>

DepthXR by BinariesLid. (2024). *VR for Architecture & Design Collaboration*.

<https://depthxr.com/>

Hanegraaf, Johan. (2024). *Arkio VR Hardware*

<https://support.arkio.is/hc/en-us/articles/360002016057-VR-hardware>

Wikipedia. (2024, 4 april). *List of virtual reality headsets*.

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_virtual_reality_headsets

Bilaga 3 - källhänvisning tabell 3

Från tabell 3

Capterra. (2024). *BIM track VS VR collab.*

<https://www.capterra.com/compare/145406-197747/BIM-Track-vs-VRcollab-LITE>

Kalloc Studios. (2024). *Buy.*

<https://www.kalloctech.com/purchase.jsp>

Prospect by IrisVR. (2024). *Pricing.*

<https://irisvr.com/pricing/>

The Wild by Autodesk. (2024). *Pricing.*

<https://thewild.com/pricing>

BIMXplorer. (2024). *Pricing.*

<https://www.bimxplorer.com/pricing>

Yulio Technologies Inc. (2024). *Yulio pricing.*

<https://www.yulio.com/pricing-2/>

DepthXR by BinariesLid. (2024). *Pricing.*

<https://depthxr.com/depthxr-pricing/>

Arkio. (2024). *Pricing.*

<https://www.arkio.is/pricing/>

Bilaga 4 - Intervjumall

Frågor om Digitalisering

1. Kan du berätta lite om din roll och din erfarenhet inom branschen?
2. Hur ser du på digitaliseringen i byggbranschen generellt?
3. Hur skulle du beskriva organisationens nuvarande nivå av digital mognad och adoption av ny teknik?
4. Vilka är de största utmaningarna och möjligheterna med digitalisering i din sektor?

Frågor om VR

1. Hur använder ni VR-teknik i dagsläget? ("Immersive", single eller multi-user?)
2. Vilka instrument använder ni er av? Hårdvara/mjukvara?
3. Kan du beskriva ett projekt där VR-teknik spelat en viktig roll? Vilka var resultaten?
4. Vilka utmaningar har ni stött på när ni implementerar VR i era processer och hur har ni överkommit dem? Vad har fördelarna varit?

Organisatoriska Aspekter

1. Hur har VR-tekniken påverkat samarbetet mellan olika avdelningar eller discipliner inom ert företag?
2. Vilka organisatoriska förändringar anser du är nödvändiga för att integrera VR-teknik mer effektivt i byggprocesser?
3. Hur hanterar din organisation utbildning och kompetensutveckling relaterat till nya teknologier som VR?
4. Vilka hinder ser du för en bredare adoption av VR i byggsektorn?
5. Har du några förslag på hur dessa hinder kan övervinnas?

Verksamhetsåterkoppling

1. Hur integrerar ni VR-teknik i era verksamhetsmöten?
2. Kan ni ge exempel på hur VR har förbättrat kommunikationen och beslutsprocesserna under era möten?
3. Hur använder ni VR för att säkerställa att alla deltagare är engagerade och informerade under mötena?

Granskning och missförstånd:

1. Hur använder ni VR för att granska och diskutera förslag eller projekt?
2. Vilka strategier har ni implementerat för att minska missförstånd och säkerställa klarhet i kommunikation när ni använder VR för granskningar?
3. Hur säkerställer ni att alla teammedlemmar har en gemensam förståelse när ni diskuterar projekt i en VR-miljö?

Framtidsutsikter och Innovation

1. Hur ser du på potentialen för VR-teknik och hur tror du att användningen av VR inom byggbranschen kommer att utvecklas de kommande åren?
2. Finns det några specifika innovationer inom VR som du tror kommer att ha stor påverkan på branschen?

Avslutande Frågor

1. Finns det något annat du vill tillägga som du anser är viktigt för förståelsen av VR:s roll i byggbranschen?
2. Vilka råd skulle du ge till företag som funderar på att införa VR-teknik i sina processer?

Bilaga 5 - PSSUQ-enkät

Nedan följer sex skattningsskalor som berör olika aspekter av din känsla av närvaro i den virtuella miljön (PSSUQ-post-study system usability questionnaire)

KOD: _____

Var snäll och indikera din upplevda närvaro i den virtuella miljön med en siffra på vardera av de sex skalorna (1–7, där 7 representerar den närmsta känslan av att ”vara där” i den verkliga SB1-källaren)

1. Vänligen betygsätt *din känsla av att vara i källarvåningen*, enligt följande skala från 1 till 7, där 7 representerar din normala upplevelse av att befinna dig på en fysisk plats: *Jag upplevde att jag ”var där” i källarvåningen:*

2. I vilken utsträckning fanns det tillfällen under upplevelsen då källarvåningen var verkligheten för dig? *Det fanns tillfällen under upplevelsen då kontorsutrymmet var verkligheten för mig...*

3. När du tänker tillbaka på din upplevelse, tänker du på källarvåningen mer som bilder du såg eller mer som en plats du besökte? *Källarvåningen verkar för mig...*

1. *Bilder som jag såg 7. En plats jag besökte.*

4. Under tiden för upplevelsen, vilket var mest starkt, din känsla av att vara i källarvåningen, eller av att vara någon annanstans? *Jag hade en starkare känsla av...*

1. *Vara någon annanstans 7. I källarvåningen.*

5. Tänk på ditt minne av att vara i kontorsutrymmet. Hur lik är minnets struktur jämfört med strukturen på minnen av andra platser du har varit på idag? Med ”minnets struktur” avses saker som i vilken utsträckning du har ett visuellt minne av kontorsutrymmet, om det minnet är i färg, hur levande eller realistiskt minnet verkar, dess storlek, placering i

din fantasi, i vilken utsträckning det är panoramiskt i din fantasi, och andra liknande strukturella element.

Jag tänker på källarvåningen på liknande sätt som andra fysiska platser jag besökt

1. Inte alls 7. Mycket.

6. Under tiden för upplevelsen, tänkte du ofta för dig själv att du faktiskt var i källarvåningen?

1. Inte alls 7. Mycket.

Bilaga 6 - NASA TLX-enkät

Nedan följer sex skattningsskalor som berör olika aspekter av Din arbetsbelastning under genomförandet av uppgiften (NASA TLX)

KOD: _____

Var snäll och indikera Din upplevda arbetsbelastning under uppgiften med ett kryss på vardera av de sex skalorna (20-steg, ändpunkter: låg/hög)

Mental belastning

X. I vilken utsträckning medförde uppgiften mental och perceptuell ansträngning (t.ex. tänka, besluta, beräkna, komma ihåg, titta, leta etc.)?

Väldigt låg																			Väldigt hög

Fysisk belastning

X. I vilken utsträckning medförde uppgiften fysisk aktivitet / hur perceptuellt krävande var uppgiften (t.ex. t.ex. vända, sträcka, kontrollera, aktivera etc.)?

Väldigt låg																			Väldigt hög

Tidspress

X. I vilken utsträckning upplevde du tidspress? Var arbetstakten långsam och avspänd eller snabb och hektisk?

Väldigt låg																			Väldigt hög

Prestation

X. I vilken utsträckning upplevde du att du utförde uppgiften på ett bra sätt? Hur nöjd är du med din prestation?

Väldigt låg																			Väldigt hög

Ansträngning

X. I vilken utsträckning upplevde Du att Du behövde anstränga Dig för att uppnå Din prestationsnivå?

Väldigt låg																			Väldigt hög

Frustrationsnivå

X. vilken utsträckning upplevde Du att Du blev osäker, irriterad och stressad när Du genomförde uppgiften?

Väldigt låg																			Väldigt hög

Bilaga 7 - Bakgrundsfrågor

Bakgrundsfrågor

1. Kod
2. Ålder
3. Kön (Kvinna, Man, Annat)
4. Vilket program och årskurs går du?
5. Är du bekant med den andra deltagaren?
6. Hur skicklig anser du att du är på att tolka 2D-ritningar?
7. I vilken utsträckning använder du dig av 2D-ritningar i dina studier?
8. Hur skicklig anser du att du är på att tolka 3D-modeller?
9. I vilken utsträckning använder du dig av 3D-modeller i dina studier?
10. Hur mycket tid per vecka lägger du på dator-eller TV-spel?
11. Har du någon tidigare erfarenhet av VR och i vilket sammanhang?



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY