

Kollaborativ informationsstruktur



Kollaborativ informationsstruktur

Shahin Sateei, Mattias Roupé, Mikael Johansson

Med stöd från



Strategiska
innovations-
program

Förord

Smart Built Environment är ett strategiskt innovationsprogram för hur samhällsbyggnadssektorn kan bidra till Sveriges resa mot att bli ett globalt föregångsland som realiserar de nya möjligheter som digitaliseringen för med sig. Smart Built Environment är ett av 17 strategiska innovationsprogram som har fått stöd inom ramen för Strategiska innovationsområden, en gemensam satsning mellan Vinnova, Energimyndigheten och Formas. Syftet med satsningen är att skapa förutsättningar för Sveriges internationella konkurrenskraft och bidra till hållbara lösningar på globala samhällsutmaningar.

Samhällsbyggnadssektorn är Sveriges enskilt största sektor som påverkar hela vår bebyggda miljö, men den är fragmenterad med många aktörer och processer. Att förändra samhällsbyggandet med digitaliseringen som drivkraft kräver därför samverkan mellan många olika aktörer. Smart Built Environment tar ett samlat grepp över de möjligheter som digitaliseringen innebär och blir en katalysator för spridningen av nya möjligheter och affärsmodeller.

Programmets mål är att till 2030 uppnå:

- 40 % minskad miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv för nybyggnad och renovering
- 33 % minskning av total tid från planering till färdigställande för nybyggnad och renovering
- 33 % minskning av de totala byggkostnaderna
- flera nya värdekedjor och affärsmodeller baserade på livscykelperspektiv, plattformar samt nya konstellationer av aktörer

I programmet samverkar programparter från näringsliv, kommuner, myndigheter, bransch- och intresseorganisationer, institut och akademi. Tillsammans nyttiggör vi den kunskap som tas fram i programmet.

Kollaborativ informationsstruktur i sjukhusbygge är ett av projekten som har genomförts i programmet. Det har letts av Shahin Sateei, Mattias Roupé och Mikael Johansson och har genomförts i samverkan med PTS forum via (Region Jönköpings län, region Kronoberg, Region Skåne, Region Östergötland, Region Uppsala - Akademiska sjukhuset, Västra Götalandsregionen - Sahlgrenska sjukhuset) och Region Värmland, Göteborg Stad Grundskoleförvaltning och Stadsfastighetsförvaltning, Liljewall arkitekter, White arkitekter, Stockholm Stads utbildningsförvaltning och SISAB.

Stockholm, 7 Februari 2024

Sammanfattning

Identifiering av designproblem under de tidiga faserna av sjukhus- och skolprojekt är avgörande för att undvika omfattande revideringar och kostsamma omarbetningar. I dessa typer av byggnader spelar utformningen en avgörande roll för hur verksamheten kan fungera och påverkar direkt personalens förmåga att effektivt genomföra sina dagliga sysslor. Det är därför av yttersta vikt att beakta och integrera verksamhetens kunskap och erfarenheter när man planerar deras framtida arbetsmiljöer. I dagsläget sker denna involvering av verksamhet med hjälp av traditionella information och visualiseringsmedier såsom 2D ritningar, 3D modeller samt fysiska provrum, där ett underlag för verksamhetens behov tas fram och där verksamheten själva har möjlighet att komma till tals om utformningen av deras lokaler. Samtidigt utgår arkitekter från ytterligare underlag i form av riktlinjer och rekommendationer som exempelvis Program för teknisk standard (PTS) där olika typrum beskrivs. Innehållet för dessa olika provrum som berör verksamheten berör då lös och fast inredning (t.ex., hur mycket av en viss medicinsk utrustning och dess placering) men även allmänt formulerade råd och rekommendationer (t.ex., "tillräckligt bra avstånd", "god arbetsmiljö"). Dessa riktlinjer och rekommendationer, tillsammans med ovanstående informations- och visualiseringsmedier, bildar då de förutsättningar som finns i dagsläget när det förs en diskussion kring utformningsförslag mellan verksamhet och arkitekter.

På senare tid har även information och visualiseringsmedium som Virtual Reality (VR) börjats användas under verksamhetsmöten då utformningsförslag granskas. Med hjälp av VR kan verksamheten få en ökad visuell förståelse då de "kliver in" i byggnadsmiljön när de blir helt omsluta av den virtuella miljön. Som ett resultat av denna virtuella upplevelse, blir det till exempel lättare med VR, än med traditionella medium, att identifiera dolda siktlinjer och hur utrustningstunga verksamhetsytor påverkar arbetsflödet. VR-system med stöd för Building Information Modeling (BIM), öppna filformat som Industry Foundation Class (IFC) och möjlighet att genomföra ärendehantering i VR via Building Collaboration Format (BCF), bildar förutsättningarna för att införliva underlagsmaterial från granskningstillfällen i VR till pågående projektering. Följden blir att parallella arbetsprocesser undviks men även att informationsflödet följer med under projekterings olika faser och därmed bidrar till att den befintliga informationsstrukturen i projektet stärks. Med andra ord skapas förutsättningarna för att den återkoppling som brukarinvolvering i VR medför i tidiga skeden, följer med under projekterings senare skeden.

I detta forskningsprojekt har målet varit att skapa förutsättningar och en förståelse för brukarinvolvering i kollaborativa miljöer under projektering. Resultatet visar att det finns behov av nya arbetssätt för kollaborativt arbete mellan arkitekter och brukare, i vård- såväl som skolprojekt. Utmaningar med befintligt arbetsunderlag i form av rekommendationer och riktlinjer beror främst på att arkitekter såväl som lokalplanerare har svårt att konkretisera vad effektiva verksamhetslokaler innebär. Mer specifikt upplevs det utmaningar med att konkretisera, utifrån textbaserade råd som är allmänt formulerade och även bristen på användarvänliga gränssnitt, hur byggnadsutformningen påverkar verksamheten. Samtidigt visar resultatet på möjligheterna med att kvantitativa råd och kravformuleringar möjliggör automatiserade kravkontroller. Kopplat till detta visar resultatet på hur visualisering av

de allmänt formulerade riktlinjerna och kraven i VR, kan hjälpa arkitekter såväl som brukare att bilda sig en bättre uppfattning av hur effektiva verksamhetslokaler bör utformas. Slutligen visar resultaten hur användningen av AI-språkmodeller tillsammans med VR kan bidra till att projektspecifikt diskussionsunderlag kan hämtas. Projektresultatet visar hur AI-språkmodeller och VR-system med interaktiva funktioner, samt ett OpenBIM arbetsflöde, skapar bättre förutsättningar för kunskaps- och erfarenhetsåterföring från verksamhet till projekt. En direkt följd blir att verksamheten får ett ökad medbestämmande och ägandeskap för utformningen av framtida lokaler. Sammanfattningsvis har detta projekt studerat råd och riktlinjer, VR och AI-språkmodeller för att bättre förstå hur dessa kan kombineras, i syfte att möjliggöra kollaborativa informationsstrukturer i sjukhus- såväl som skolprojekt.

Summary

The failure to identify design issues in the early stages of hospital and school projects has proven to be a significant cause of costly redesigns. Building design directly impacts operations and building occupants' ability to perform daily tasks efficiently. Therefore, it is crucial to consider building occupants' knowledge and experiences in the design of their future spaces. Currently, involvement of building occupants and other types of end-users (e.g., facility planners, project leader) relies on traditional information and visualization media such as 2D drawings, 3D models, and physical mock-up rooms. Architects also refer to design guidelines, such as the Swedish Program for Technical Standard (PTS), which describe various standard rooms for healthcare premises. The content of the guideline describes both loose and fixed furnishment (e.g., quantity of specific medical equipment and its placement) but also text-based formulations that are generically formulated (e.g., "sufficient distance between furnishment", "good working environment"). These guidelines and recommendations, together with the abovementioned information and visualization medias, make up the material that is used during development and review of the building design.

Recently, Virtual Reality (VR) has been introduced during design review with end-users. VR enhances visual understanding as users immerse themselves in the virtual environment. This experience facilitates the identification of hidden sightlines and the impact of equipment-heavy spaces on workflow. VR systems supporting Open Building Information Modeling (OpenBIM) with Industry Foundation Class (IFC) file formats and the ability to manage issues in VR via Building Collaboration Format (BCF) allow the incorporation of review materials into ongoing projects. This ensures that feedback obtained from user involvement in VR during early stages continues throughout later project phases, strengthening the project's information structure. In other words, the conditions are set for feedback obtained from end-users during early phases of the project to be incorporated into the later phases.

The research project aims to create conditions and understanding for end-user involvement in collaborative virtual environments during design. Results indicate the need for new collaborative approaches between architects and users in healthcare and educational projects. Challenges with existing documentation, such as recommendations and guidelines, stem from difficulties in concretizing effective operational spaces. The results highlight the potential of quantitatively formulated recommendation to be computer-interpretable and thereby allowing for automated checks. Results also highlight how visualizing the generically formulated recommendations in design guidelines, in VR, can aid architects and users in understanding efficient operational spaces. Additionally, the study demonstrates how AI language models, combined with VR, contribute to project-specific discussion material. In summary, the research project explores the combination of advice, VR, and AI language models to enable collaborative information structures in hospital and school projects. The integration of AI language models and VR systems with interactive features, supported by an OpenBIM workflow, sets up the conditions for knowledge and experience feedback from building-occupants to be incorporated into the project. Consequently, in such conditions, building occupants participative role in the design process can be facilitated. All in all, this research project has studied design guidelines,

VR and AI-language models to better understand how these can be combined in order to facilitate a collaborative information structure in both healthcare as well as school projects.

Innehållsförteckning

1 SYFTE OCH MÅL	10
2 BAKGRUND	10
2.1 VERKSAMHETENS PÅVERKAN AV BYGGNADSUTFORMNINGEN	11
2.2 BRUKARINVOLVERING OCH KOLLABORATIVA DESIGNPROCESSER	12
2.2.1 BRUKARINVOLVERING MED OLIKA VISUALISERING OCH INFORMATIONSMEDIER	13
2.2.2 INFORMATIONSTRUKTUR, RIKTLINJER OCH FUNKTIONSKRAV	14
2.3 VIRTUELLA SAMARBETSMILJÖER	17
2.3.1 VIRTUAL COLLABORATIVE DESIGN ENVIRONMENT (VICODE)	18
2.4 AI SOM GRÄNSSNITT OCH HJÄLPMEDEL FÖR ERFARENHETSÅTERFÖRING	19
3 GENOMFÖRANDE	20
3.1 DESIGNA OCH UTVECKLA EN KOLLABORATIV DESIGNPROCESS OCH DIGITALT VERKTYG	21
3.1.1 UPPBYGGNAD AV INFORMATIONSTRUKTUR OCH DATABAS FÖR TYPRUM, UTRUSTNING OCH MÖBLER	22
3.1.2 PEKSKÄRMENS ANVÄNDARGRÄNSSNITT	23
3.1.3 VR ANVÄNDARGRÄNSSNITT	24
3.1.4 SAMARBETE I VIRTUELLA SAMARBETSMILJÖER	26
3.1.5 AI SOM GRÄNSSNITT OCH HJÄLPMEDEL FÖR VIRTUELLA SAMARBETSMILJÖER	27
3.1.6 OPENBIM STÖD, VIA IFC OCH BCF	29
3.2 UTVÄRDERING AV FALLSTUDIER	30
3.3 DATAINSAMLING OCH ANALYS	30
3.3.1 INTERVJUER	32
3.3.2 VIDEOOBSERVATIONER	33
3.3.3 DOKUMENTANALYS	33
3.4 VR OCH VICODE VID UTFORMNING AV SJUKHUSPROJEKT	34
3.5 VR OCH VICODE VID UTFORMNING AV SKOLPROJEKT	35
4 RESULTAT OCH DISKUSSION	37

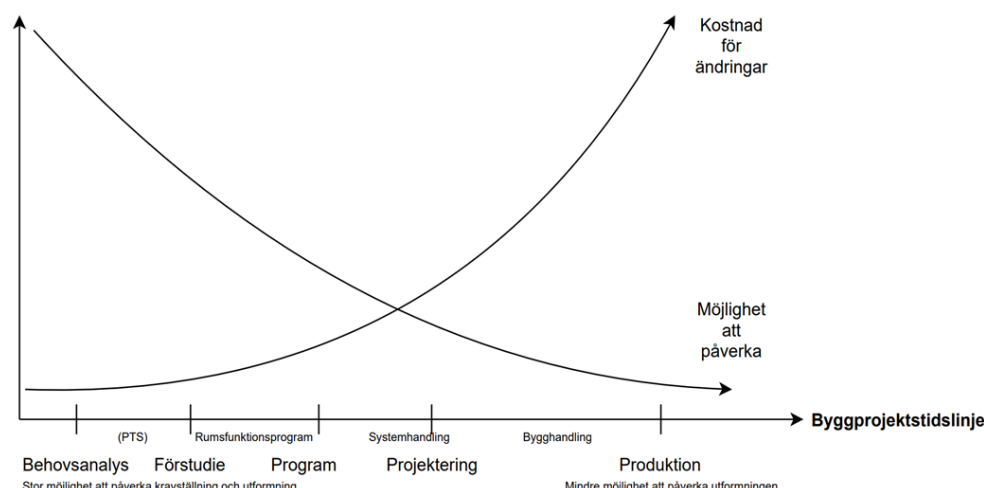
4.1	VR SOM KOLLABORATIVT GRANSKNINGSVERKTYG	37
4.1	MÖJLIGHETEN MED AI SOM GRÄNSSNITT OCH HJÄLPMEDEL FÖR VIRTUELLA SAMARBETSMILJÖER	40
4.2	MÖJLIGHET FÖR AI ATT HJÄLPA ANVÄNDAREN MED REKOMMENDATIONER OCH REFERENSMÅTT	42
4.2.1	MULTIMODALA AI-SPRÅKMODELLER	49
5	SLUTSATS	54
5.1	FRAMTIDA ARBETE	56
6	REFERENSER	59

1 Syfte och mål

Det övergripande syftet med projektet har varit att öka kunskap och förståelsen för hur kollaborativa virtuella miljöer och samarbetsmiljöer tillsammans med informationsstrukturer, riktlinjer och funktionskrav kopplat till byggnadsutformningen kan användas för att underlätta och stödja brukarinvolvering under projektering. Vidare har även användningen av AI undersökts som ett möjligt gränssnitt, facilitator och hjälpmedel under dessa kollaborativa designprocesser.

2 Bakgrund

Vid planering och projektering av nya vårdmiljöer och skolor involveras många olika aktörer med varierande erfarenheter, kunskapsnivåer och förmåga att tolka information. De är specialister såväl som lekmän, med olika kunskap om den verksamhet de planerar för. Det är också väl känt att möjligheten att påverka utfallet minskar i takt med nedlagda projektkostnader och tid. Det innebär också att värdet på feedbacken från verksamheten till stor del skapas i de tidiga skedena av processen, se figur 1. Detta görs ofta idag med hjälp av abstrakta beskrivningar, ritningar och bilder vilka kan vara svåra att tolka och förstå och kan ge olika tolkningar genom bristande kommunikation mellan de inblandade. Detta resulterar i att verksamhetens förståelse för och kravställning på de framtida lokalerna blir bristfällig, till och med åsidosatt i vissa fall, och därigenom inte kommuniceras till konsulter och entreprenörer på ett effektivt sätt (Hinnerson & Lindahl 2015). Vilket senare kan innebära dyra ombyggnationer eller en ej fullt fungerande verksamhet och byggnad.



Figur 1: Möjligheten att påverka utfallet på byggnadsutformningen minskar i takt med nedlagda projektkostnader och tid i projektet. Det är därför viktigt att fånga och involvera verksamheten tidigt i designprocessen, av byggnadsutformningen påverkar verksamhetens dagliga arbetsuppgifter.

I detta avseende blir det viktigt att skapa förutsättningarna för att verksamheten ska kunna bättre komma till tals om frågor som berör utformningen av deras framtida arbetslokaler. Samtidigt blir det viktigt att det underlaget, i form av

verksamhetsåterkoppling, hänger med från tidiga till senare skeden av projekteringen och införlivas i den slutgiltiga byggnadsutformningen. Mer specifikt behöver underlaget införlivas i den informationsstruktur som projektet har och som möjliggör att olika involverade aktörer skall kunna samarbeta inom ett och samma projekt, även om de exempelvis använder sig av olika programvaror. Användningen av öppna och neutrala filformat som IFC kan då tillgängliggöra arbetsmetoder som OpenBIM. Med sådana arbetsmetoder skapas det bättre förutsättningar för att informationsutbyte mellan olika aktörer kan äga rum, vilket kan leda till ett kontinuerligt informationsflöde. Med ett informationsflöde där informationsdelning sker mellan olika involverade aktörer blir det mindre sannolikt att parallella arbetsprocesser uppstår i projektet men öppnar även upp möjligheten för att nya aktörskonstellationer kan uppstå när tillgång ges till den öppna datan.

Mot bakgrund av hur OpenBIM kan leda till enhetliga informationsflöden, blir det nödvändigt att de information och visualiseringsmedier som används i dialoger med verksamheten och som resulterar i det arbetsunderlag som senare används i senare skeden av projektet, även har stöd för OpenBIM. Ett exempel på en sådan information och visualiseringsmedium med stöd för OpenBIM är Virtual Reality (VR) systemet ViCoDE. I detta forskningsprojekt redogörs det hur ViCoDE-systemet utvecklats och utvärderats i syfte att förstå hur virtuella samarbetsmiljöer kan ge brukare en bättre förståelse för byggnadsutformningen. En del av denna redogörelse består av att beskriva de omständigheter i byggprocessen som gett upphov till problem kopplat till att byggnadsutformningen inte speglar verksamhetens behov och önskemål. I detta sammanhang kommer det redogöras för hur ViCoDE-systemet med dess stöd för OpenBIM via användning av IFC och export av BCF-filer kan hjälpa verksamheten få en allt mer medbestämmande och medskapande roll i utformningen av den egna arbetsmiljön. Kopplat till detta kommer nedanstående bakgrundskapitel även redogöra för den förändringskraft som VR-system som ViCoDE kan medföra. Ett exempel på en sådan förändringskraft är hur användning av AI-språkmodeller kan stödja verksamheten och arkitekter vid granskningstillfällen då VR används, genom att bistå med relevant diskussionsunderlag. Användningen av AI-språkmodeller i kombination med VR kan då alltså leda till en förändrad organisering och process för utformning och planering av verksamhetsytor. På så sätt får verksamheten, via visualiseringen som VR medför och det diskussionsunderlag som genereras av AI-språkmodeller, bättre förutsättningar för att påverka byggnadsutformningen.

2.1 Verksamhetens påverkan av byggnadsutformningen

För att säkerställa att utformningen av en byggnad är så god som möjlig, är det viktigt att beakta behoven och önskemålen hos verksamheten. Tidigare studier har betonat vikten av att involvera verksamheten i designprocessen, då utformningen av byggnaden har observerats påverka verksamhetens dagliga arbetsuppgifter (Frelin & Grannäs, 2022; Mourshed & Zhao, 2012). Ett exempel inom sjukhusprojekt är hur enskilda patientrum har visat sig förhindra sjuksköterskor från att ta till sig "information" som kan dyka upp i deras periferi, något som mer förekommande i öppna ytor (Donetto et al., 2017). Vidare nämns även möjligheten att ha översikt över flera patienter samtidigt under nattskift, vilket ställer krav på siktlinjer etc. Ytterligare ett exempel är betydelsen av att kunna nyttja samma ytor för olika verksamheter. I detta sammanhang visade COVID-19 pandemin betydelsen av att hålla isär smittade och icke-smittade ytor i syfte

att förhindra vidare smittspridning samt kunna möblera om befintliga ytor för att undvika belastning på verksamheten (Capolongo et al., 2020; Pandey et al., 2020).

Därmed krävs det en förståelse för vikten av brukarinvolvering för att identifiera och adressera viktig kunskap kopplat till utformning som påverkar verksamhetens dagliga arbetsuppgifter positivt eller negativt. Dock finns det utmaningar såsom en bristande enighet kring vad olika termer såsom medbestämmande och medskapande processer för brukarinvolvering, Participatory design (PD) respektive Co-design, innebär i praktiken. Ett exempel är äldre definitioner av PD som har en bred syn på brukarinvolvering, där brukare såsom verksamheten anses kunna påverka den slutgiltiga designen (Granath et al., 1996). Detta skiljer sig mot senare definitioner av PD som istället betonar hur det är en process där brukarna har möjligheten, tillsammans med designansvariga såsom arkitekten, ta fram lämpliga lösningar för byggnadsutformningen. Ett annat exempel är hur valet av visualisering och informationsmedium (2D ritningar, 3D modeller, provrum etc.) som används i dessa ovannämnda processer påverkar granskningsprocessen (Kim et al., 2016). Från detta resonemang kan en mer specifik frågeställning utformas, dvs. hur kan dessa olika medier stödja verksamheten och övriga aktörer i byggprocessen när byggnadsutformningen ska granskas och hur påverkar det verksamhetens möjlighet att komma till tals?

2.2 Brukarinvolvering och kollaborativa designprocesser

Brukarinvolvering introducerades under 1960-tal inom området för offentlig förvaltning och publicerades i Arnsteins "En stege av medborgarinvolvering" (Arnstein, 1969). Författaren argumenterade för att möjliggöra en ökad delaktighet bland involverade aktörer krävs det omfördelning av tagna beslut i projekt. Denna omfördelning av beslutfattande är vad författaren menar är nödvändigt för att förhindra att aktörer med auktoritet får tolkningsföreträde, vilket kan ge en "illusion" av att brukarna blivit involverade (Few et al., 2007). Med avseende på detta, är argumentet att en mer inkluderande beslutsfattning kan äga rum först när slutanvändare får vara medbestämmande i de beslut som de berörs av.

Studier kopplat till byggnadsutformning har då utrett brukarinvolvering i diverse processer där olika grader av delaktighet och inflytande utretts (Caixeta et al., 2019; Fröst et al., 2017). I detta sammanhang har forskningen visat att termer som beskriver dessa olika grader av delaktighet, huruvida det rör sig om involvering i informativt syfte eller Co-designprocesser där brukarna är medbestämmande och en del av designteamet, används på ett godtyckligt och utbytbart sätt. Konsekvensen blir bland annat att dessa kollaborativa designprocesser, där PD och Co-design inkluderas, sägs vara en del av designprocessen men att brukarna "hålls gisslan" för de tagna besluten. Detta då brukare inte nödvändigtvis inte är lika informerade om projektet såsom övriga aktörer kan vara, men även att de kan ha en bristande förståelse för deras roll och ansvar i projektet (Larsen et al., 2021). Resultatet av detta blir då att brukarinvolvering riskerar ske på fel premisser samt att de involverade kan ses som alibi i designprocessen.

Trots detta finns det studier som menar att PD och Co-design kan hjälpa designansvariga att identifiera och adressera designfel mer träffsäkert, då brukarna involveras i den grad som anses lämpligt. Samtidigt innebär de högre graderna av involvering, PD och Co-design, med den ökade delaktigheten och medbestämmandet som uppstår bland

brukarna, att dessa får en ökad känsla av ägandeskap i de tagna besluten (Larsen et al., 2021; Pemsel et al., 2010; Tzortzopoulos et al., 2006). Samtidigt finns det studier som har observerat hur dessa termer kan underlätta samförstånd om beslutsfattande i designgranskningar (Olsson et al., 2022). Konkret föreslås det att genom att anta olika nivåer av användarinvolvering, kan både designgruppen och slutanvändarna identifiera designproblem mer noggrant på grund av ökad kunskap om vilken nivå av involvering som är lämplig. Följaktligen hävdas det att den direkta involveringen av slutanvändare ger dem en känsla av ägande i de beslut de har fattat tillsammans med designgruppen (Larsen et al., 2021; Pemsel et al., 2010; Tzortzopoulos et al., 2006). Dock är det mindre utforskat hur olika medium såsom 2D ritningar, 3D modeller och visualiseringsverktyg som VR, påverkar de olika graderna av brukarinvolvering. Med andra ord, hur och om, kan olika medier förstärka graden av delaktighet och medbestämmande brukarna upplever under designgranskning?

2.2.1 Brukarinvolvering med olika visualisering och informationsmedier

Olika visualisering och informationsmedium (2D ritningar, 3D modeller, VR, provrum etc.) kan påverka brukarinvolvering på olika sätt. I sammanhang där verksamheten involveras i syfte att deltaga på designgranskning, är det inte ovanligt att använda en kombination av dessa medier (Kim et al., 2016). Med exempelvis den översiktliga vyn som 2D ritningar erbjuder kan en förståelse för relationen mellan olika verksamheter, funktioner och ytor göras enkelt (Coburn, 2017), men samtidigt som det anses svårt för verksamheten att tolka och utvärdera designen med ritningar. Detta då abstrakta symboler och linjer på en ritning upplevs som svåra att översätta till en förståelig representation av byggnadsutformningen och designen (Roupé, 2013), vilket kan resultera i beslutstagande som görs på fel grunder när verksamheten involveras (Y. Liu et al., 2020; Mastrolemba Ventura et al., 2019). Med 3D modeller har det däremot visat sig vara lättare att skapa en förståelse för byggnadsutformningen bland verksamheten (Bouchlaghem et al., 2005; Kim et al., 2016), vilket skapar bättre förutsättningar för att förhindra missförstånd mellan verksamhet och designansvariga i ett granskningssammanhang (Carreiro & Pinto, 2013; Hartmann et al., 2008). Samtidigt finns det utmaningar med att använda 3D modeller i samband med brukarinvolvering då 3D modeller, lik 2D ritningar, presenteras på gränssnitt som är platta (exempelvis ritningar eller plattskärm). Med design som presenteras på en platt skärm, blir det svårt att uppfatta djupet i den bild som visas, vilket gör det svårt att identifiera designproblem och fel kopplat till bland annat siktlinjer, rumsförståelse och volym (Gírbacia et al., 2012).

Som svar på dessa utmaningar med brukarinvolvering när 2D ritningar och 3D modeller används, visar studier hur VR har börjat allt mer användas som ett alternativt medium (Castronovo et al., 2013; Johansson, 2016). Genom att bli helt omslutna av den virtuella miljön, kan deltagare "uppleva byggnadsutformningen" snarare än att ta till sig den via en platt skärm eller ritning (Hermund et al., 2017). Med användare omslutna av den virtuella miljön kan byggnadsutformningen upplevas i en 1:1 skala, vilket gör det lättare för hjärnan att ta till sig visuella signaler kopplat till storlek, form och avstånd (Feldstein et al., 2020; Paes et al., 2023; Roupé et al., 2019). Med hjälp av interaktiva funktioner som flertal personer i samma virtuella miljö (Truong et al., 2021) och möjligheten att möblera den virtuella miljön (Nikolić & Whyte, 2021), har forskningen dessutom visat hur en kombination av dessa interaktiva funktioner möjliggör scenario-baserad

designgranskning i sjukhusprojekt (Roupé et al., 2020). Mer specifikt har det observerats hur detta scenario-baserade sätt att genomföra designgranskning på, kan facilitera en medbestämmande roll bland verksamheten. Exempelvis kan placering av möblemang och utrustning hjälpa verksamheten identifiera arbetsflöden som bäst stödjer deras dagliga arbete och tillsammans i samma virtuella miljö, kan olika designförslag testas och valideras på ett effektivt sätt. Som observerats av Roupé et al. (2020) kan en sådan scenario-baserad granskning med VR-system som stödjer dessa samarbetsmiljöer och interaktiva funktioner, hjälpa reducera ledtiden från veckor till ett par timmar.

Samtidigt som VR kan hjälpa skapa bättre förutsättningar för brukarinvolvering och medbestämmande bland verksamheten, är det viktigt att ha i åtanke att andra faktorer såsom lärdomar från tidigare sjukhusprojekt kan påverka den slutgiltiga byggnadsutformningen och designen, dvs. inte uppfinna hjulet igen varje gång vi startar ett nytt projekt. Informationsstrukturen, riktlinjer och funktionskrav kopplat till byggnadsutformningen av ett projekt är avgörande för hur det slutgiltiga resultatet blir. Det är därför viktigt att projektrelaterad information fångas, samlas och tillgängliggörs för olika involverade aktörer, vilket beskrivs mer i nedanstående del.

2.2.2 Informationsstruktur, riktlinjer och funktionskrav

I detta projekt syftar informationsstruktur på hur information, (så som riktlinjer och funktionskrav och kodstrukturer), organiseras och hanteras i ett byggprojekt. Ett exempel på en nationell informationsstruktur är Program för teknisk standard (PTS) som är ett webbaserat system menad att underlätta i planering, projektering och byggnation av lokaler för hälso- och sjukvård i Sverige. Inom PTS finns det till exempel ett antal typrum, kravspecifikationer för olika typer av rum samt riktlinjer för tillgänglighet, hygien och akustik. På så sätt utgör dessa olika delar av PTS en informationsstruktur under projektets olika faser.

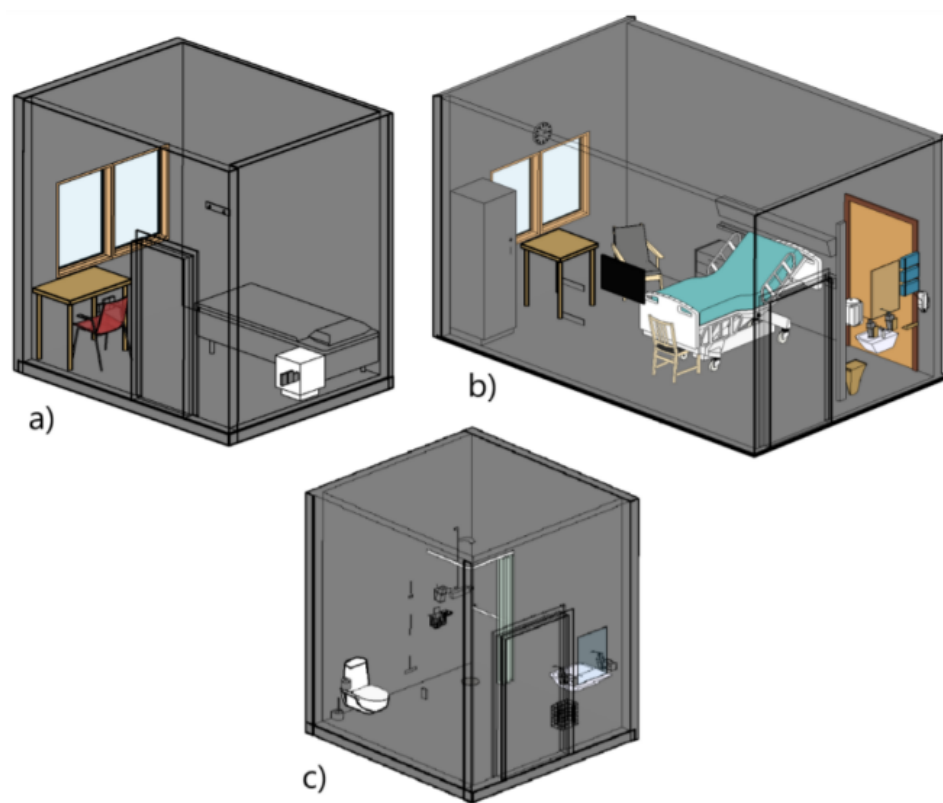
Mer specifikt har kravformulering i PTS studerats. Detta gjordes i syfte att skapa en bättre förståelse för hur riktlinjer och rekommendationer för utformning av sjukhusprojekt användes av Sveriges olika regioner. Analysen innefattade bland annat hur (och om) PTS hjälpte vid beslutsfattning i tidiga skeden av lokal och byggnadsutformningen samt hur involvering av verksamhet gick till i samband med denna process.

En del typrum i PTS har utöver beskrivning av vad lokalen skulle innehålla (fast och lös inredning, installation etc.) även 3D/BIM modeller (Revit familjer) av lokalen. Det bör noteras att tillgång till dessa krav och 3D/BIM modeller kräver dock att regionerna har ett betalande medlemskap och logg-in hos PTS. När det gäller informationsstrukturen och klassificering av de olika kraven så har varje BIM Revit-familj en PTS-kodbenämning (se Figur 2 nedan), vilket är en numerisk kod som beskriver objektgruppen komponenten tillhör. Till exempel benämns en väggkrok som 381-3 där 381 syftar på typen av utrustning och 1 specifikt syftar på vilken typ av utrustning, exempelvis om det rör sig om en väggkrok som kan användas tillsammans med en lyftsele.

Inredning/utrustning		
Fastighet		
301-7	Tvättplatsutrustning	1 st
382-2	Hållare för soppsäsar	1 st
382-4	Hållare för bagerautomat	1 st
382-8	Hållare för flytande tvål	1 st
382-12	Hållare för torkpapper, stor	1 st
382-13	Hållare för handdesinfektion	1 st
385-6	Spegel B=450 H=600 (mm)	1 st
381-1	Kroklöst 1 krok <i>Till lyftsele</i>	1 st
381-3	Kroklöst 2x2 krokar	1 st
382-10	Hållare för ytdesinfektion	1 st
382-22	Hållare för munskydd	1 st
382-47	Hållare för visir	1 st
382-51	Hållare för engångshandskar/förkläden 5 paket	1 st
384-23	EU-skena B=600 (mm) 800 och 1200 mm ög.	2 st
387-7	Dörrhandtag bygelhandtag "elefantöra"	1 st
387-18	Dörrtillslutare	1 st
480-5	Persienn	Ospec
521-4	Tvättställ stort utan bräddavlopp B=600 D=450	1 st
523-5	Tvättställsblandare bänkmonterad, förlängd spak	1 st
540-1	Andningsluftuttag för medicinskt bruk <i>Placeras i 444-9</i>	1 st
541-1	Andningsoxygenuttag för medicinskt bruk <i>Placeras i 444-9</i>	1 st
611-2	Elkanal väggkanalsystem, vertikalt placerad vid dörr	1 st

Figur 2: Exempel på ett typrum, dvs. ett 1-patient rum, tillgängligt i PTS databas. De olika komponenterna i rummet listas bland annat utifrån typ, antal och vilken kategori av utrustning de tillhör.

De numeriska koderna varierar mellan 300 och 600 där varje 100-kategori innehåller en viss typ av komponent. Till exempel, alla komponenter som tillhör 300 kategorin är en del av den fasta inredningen (belysning, väggkrokar etc.) medan 400 är en referens till lös inredning såsom möbler. Slutligen syftar 500 och 600 till värme respektive elektricitet i de olika typrummen. Utöver detta har även varje typrum en specifik PTS-kod som varierar mellan 1–221 och där exempelvis ett kopieringsrum har koden 28 medan ett jour-rum har PTS-kod 41, se figur 3.



Figur 3: Exempel på andra typer av rum dvs. a) jourrum, b) vårdrum för 1 patient, c) RWC dusch

Genom att upprätthålla en informationsstruktur kan förutsättningarna för förståelse av byggnadsutformningen äga rum i och mellan projekt. Detta stöds även av studier, där det lyfts fram hur informationsstrukturer, riktlinjer och funktionskrav är nödvändiga för att adressera problem såsom erfarenhetsåterföring från tidigare sjukhusprojekt (Carthey, 2021b; Mills et al., 2015). Mills et al (2015) nämner även att riktlinjer och funktionskrav kopplat till sjukhusbygge inte används nationellt på ett enhetligt sätt (Mills et al., 2015). Vidare nämner Soliman-Junior et al. (2022) problemet med att riktlinjer och funktionskrav har svårtolkade kravformuleringar, dvs formuleringar som "tillräckligt bra avstånd". Framförallt det sistnämnda problemet blir påtagligt när det finns en avsaknad av användarvänliga gränssnitt till riktlinjer och funktionskrav i designprocessen. Exempel på detta kan vara webbläsare kopplat till de avsedda riktlinjerna vilket upplevs som komplicerade (Preidel & Borrmann, 2016) men även en utmaning att kunna lagra informationen om beslut tagna i tidigare sjukhusprojekt, i synnerhet då regionerna kan ha tolkat vissa kravformuleringar på olika sätt.

Informationsstruktur, riktlinjer och funktionskrav för sjukhusprojekt har uppmärksammats inom litteraturen som en bra utgångspunkt när projektets olika aktörer skall ta hänsyn till verksamhetens behov och önskemål (Carthey, 2021a; Phiri & Chen, 2014; Tétreault & Passini, 2003). I synnerhet kan typer av rum med tillhörande 3D modeller hjälpa verksamheten få en bättre förståelse för olika verksamhetsytor och funktioner, än att snarare begränsas till endast beskrivning av vad rummet ifråga bör

innehålla och hur det ”bör” utformas. Att få med verksamhetens delaktighet i samband med att riktlinjer och funktionskrav används blir särskilt viktigt då forskningen visat hur sjukhusutformning har en direkt påverkan på den vård som verksamheten tillhandahåller till patienter i den färdiga byggnaden (Carthey, 2021b; Lindahl et al., 2010; Salonen et al., 2013).

Samtidigt visar studier på hur det kan vara svårt att uppnå erfarenhetsåterföring mellan projekt, där en förklaring är bristen på centraliserad och tillgänglig information om hur olika regioner använt exempelvis typrum men också tolkat olika kravformuleringar och råd och rekommendationer för hur olika typrum bör utformas (Mills et al., 2015; Phiri & Chen, 2014). Ytterligare en förklaring är att just kravformuleringarna för olika typrum inte är aktuella och därmed inte reflekterar verksamhetens faktiska behov (Elf et al., 2019; Lindahl et al., 2010). En konsekvens av detta blir att varje sjukhusprojekt riskerar ”återuppfinna hjulet på nytt” sett till att exempelvis upprepa samma misstag kring utformningen av verksamhetsytor och därmed inte dra lärdom av liknande projekt i olika regioner (Carthey, 2021a; Lindahl et al., 2010). I detta sammanhang kan formuleringar såsom ”tillräckligt bra avstånd” eller ”god arbetsmiljö” förhindra att en gemensam förståelse uppstår mellan olika parter involverade i utformning och granskning av verksamhetslokaler. Utifrån befintliga underlag såsom illustrationer av typrummen (Figur 3) och råd och rekommendationer som finns i form av enbart textformulering (Figur 2) blir det svårt för verksamhet att bilda sig en representation av hur den slutgiltiga byggnadsutformningen blir. Därför har detta forskningsprojekt studerat hur virtuella samarbetsmiljöer kan skapa de förutsättningar som krävs för att en gemensam förståelse för lokalutformningen kopplat till verksamhetsytor. I nästa avsnitt beskrivs detta arbete, som har avsikten att stödja verksamheten och arkitekter i den kreativa och kollaborativa byggnadsutformningsprocessen.

2.3 Virtuella samarbetsmiljöer

Collaborative Virtual Environment (CVE) är ett forskningsfält som syftar på system som stödjer flertal användare att kollaborativt lösa komplexa designproblem i en gemensam virtuell miljö. Komplex i detta fall syftar på problem som kräver kunskap från mer än vad gemene individ har. Istället, löses dessa problem tillsammans med alla involverade deltagare, där kommunikation, delaktighet och en gemensam förståelse för problemen kännetecknar sammanhang då CVE system används (Arias et al., 2000; Fischer et al., 2005). Ett exempel på CVE system är Virtual Reality (VR), där slutanvändare såsom verksamheten tillsammans med designansvariga (exempelvis arkitekter, BIM samordnare) blir helt omslutna av den virtuella miljön. Användare har då möjlighet att uppleva byggnadsutformningen från en gemensam vy, dvs. en 1:1 skala via VR-glasögon. Genom att vara omslutna av den virtuella miljön har studier dessutom visat hur detta förstärker användarens känsla av närvaro, vilket hjälper skapa engagemang och förståelse under designgranskning (Paes et al., 2017, 2021). Det är i synnerhet under designgranskning som känslan av närvaro i den virtuella miljön visat sig hjälpa brukare att bättre minnas och diskutera detaljer och olika aspekter, dvs. volym, avstånd, rumsuppfattning etc. av byggnadsutformningen. Resultatet blir då att verksamhet i exempelvis sjukhusprojekt får ökad förståelse vilket leder till bättre självförtroende i de beslut som tas, då de bättre förstår hur byggnadsutformningen kan påverka deras arbetsuppgifter (Bjørn et al., 2021).

Detta självförtroende i beslutsfattandet och bedömningen och framförallt medbestämmande verksamheten får i VR under designgranskning, har visat sig

förstärkas av användningen av interaktiva funktioner, dvs. flertal personer i samma virtuella miljö, möblera den virtuella miljön etc. Roupé et al. (2020) visar exempelvis hur verksamheten i tidiga skeden av projekteringen kunde ändra storlek och möblering av en operationssal i den virtuella miljön, där arkitekt och verksamhet kunde på ett iterativt sätt testa olika planlösningar. Detta iterativa sätt att validera olika designförslag grundar sig då i att verksamheten med kunskap om deras dagliga arbete möjliggör för scenario-baserad designdialog och granskning. Med andra ord kan interaktiva funktioner i VR möjliggöra scenario-baserad designgranskning (Nikolić & Whyte, 2021). En scenario-baserad designdialog och granskning tillåter då inte bara verksamheten från att bli medbestämmande i tagna beslut men även att en accelererad designprocess kan äga rum med kortare ledtid i designgranskningen (Roupé et al., 2020).

2.3.1 Virtual Collaborative Design Environment (ViCoDE)

Virtual Collaborative Design Environment (ViCoDE) är ett kollaborativt design- och planeringsverktyg baserat på byggnadsinformationsmodeller (BIM) och VR i kombination med en interaktiv pekskärm och projektorduk. Användare kan interagera och ändra den virtuella modellen av byggprojektet tillsammans under kollaborativa workshops. Möbler, utrustning och väggar kan läggas till, raderas, flyttas och roteras. Dessa objekt/komponenter finns att välja i en scrolllista på väster sida på pekskärmen och användaren väljer och lägger till dem i scenen genom att dra och släppa dem på den tänkta platsen, vilket uppdateras i den virtuella miljön automatiskt (Roupé et al., 2020). Samma objekt finns även tillgängliga i VR miljön för användare att möblera, där objekt kan flyttas, dupliceras och tas bort, se figur 4 nedan.



Figur 4: En interaktiv pekskärm tillsammans med VR-glasögon skapar den kollaborativa miljön där verksamhet har en medbestämmande roll under utformning av verksamhetslokaler (vänster). Möblemang av vårdmiljö i VR-miljön (höger).

Med ett VR-system som ViCoDE så har designansvariga och verksamheten bättre förutsättningar för att förstå varandra, sett till hur verksamhetens dagliga arbete påverkas av byggnadsutformningen. Med ViCoDE använt i skol- såväl som sjukhusprojekt, har observationer visat hur användningen av de olika användargränssnitten (dvs. projektorduk, VR-glasögon, pekskärm) tillsammans med möjligheten att direkt ändra i den virtuella miljön, gjort det lättare för användare att komma till konsensus kring tagna beslut som berör verksamheten. Med andra ord kan den gemensamma förståelsen för hur lokalen bör utformas, göra det möjligt för verksamheten att utveckla, planera och utforma den egna arbetsmiljön. En konsekvens av verksamhetens ökande medbestämmande blir då att kollaborativa designprocesser

såsom Co-design lättare kan uppstå, då verksamheten blir en del av designteamet (Caixeta et al., 2019). Därför har denna studie även undersökt möjligheten för att använda Artificiell Intelligens (AI) som gränssnitt och hjälpmedel för att underlätta erfarenhetsåterföring i och mellan projekt och regioner när brukarinvolvering och kollaborativa designprocesser äger rum.

2.4 AI som gränssnitt och hjälpmedel för erfarenhetsåterföring

De senaste åren har Artificiell Intelligens (AI) och mer specifikt, *conversational AI*, eller det som vanligtvis kallas för stora språkmodeller, eller *Large Language Models* (LLM), blivit allt mer förekommande. Trots att det ännu är ett utforskat område inom byggbranschen har det använts i syfte att förstå hur problem kopplat till kommunikation och samarbete i projekt kan förbättras för olika aktörer (A. B. Saka et al., 2023). Ett exempel på ett sådant problem är hur platschefer på byggarbetsplatsen behöver ta beslut kopplat till problem där bristande tillgång till information kan resultera i ineffektiv projektsamordning under produktion. I detta sammanhang har studier bland annat visat hur en LLM-prototyp, tillgänglig via smartphones och tränad på egenväld BIM-data, kunde förse platschefer information om dimensionerna för bärande struktur t.ex. höjd på specifika våningar, storlek på betongpelare (Lin, 2023). Ett annat exempel är hur LLM såsom ChatGPT har testats för att bättre förstå huruvida det skulle kunna användas i tidiga skeden av projekteringen (Zhong et al., 2020). I studien användes den när lokalutformningen ska utvärderas utifrån tillgängliga riktlinjer och rekommendationer (Zhong et al., 2020). I en annan studie har man men även låta språkmodeller, lik ChatGPT, ta fram förslag på nya riktlinjer och rekommendationer (Zhang & El-Gohary, 2022).

I ovanstående exempel använder språkmodellerna träningsdata från det som finns tillgängligt (ex. kravdokument med riktlinjer och rekommendationer listade i databaser) eller används i experimentella sammanhang, där språkmodellen utvärderas utifrån hur bra den lyckas besvara exempelvis frågor kopplat till BIM-modellen (storlek, mängda etc.) (H. Liu et al., 2022). Enkelt sagt är träningsdata avgörande för hur pass bra språkmodellen presterar. Dock finns det i dagsläget utmaningar såsom exempelvis tillgång till information som kan extraheras från relevanta BIM-modeller och att säkerställa att kravformulering i tillgängliga byggnadskrav är aktuella (A. Saka et al., 2023). Ytterligare en utmaning är att träningsdatan som språkmodellens svar bygger på, kräver informationsunderlag som är välstrukturerad och fullständig vilket inte alltid går att garantera under pågående projekt (Uddin et al., 2023; You et al., 2023). Ovanstående utmaningar har resulterat i att användningen och utvärderingen av LLM begränsats till framförallt experimentella sammanhang.

Utöver användningen av LLM har även multimodala stora språkmodeller (MLLM) utvärderats i tidigare studier. Med MLLM kan även bilder analyseras av språkmodellen och därmed hjälpa användaren nyttja bilder jämsides textbaserat filformat. Till exempel kan språkmodellen analysera specifika objekt eller avvikelser i en bild och sedan tillhandahålla användaren med förslag på hur de identifierade problemen i bilden kan åtgärdas. Ett exempel är att låta MLLM utifrån givna bilder identifiera risker kopplat till byggarbetsplatsen eller utifrån bilder och föreskrifter kopplat till avfallshantering, kunna skapa en klassificering för olika typer av avfall och hur dessa bör hanteras på bästa möjliga sätt under förvaltningsskedet (A. Saka et al., 2024). Dock finns det i

dagsläget få studier där användningen av MLLM utvärderats i tidigare skeden av byggprojekt då verksamhet är involverade. Med bakgrund mot detta har detta forskningsprojekt studerat hur stora språkmodeller kan användas i virtuella samarbetsmiljöer för att stödja verksamhet såväl som arkitekt. Mer specifikt, hur kan användning av LLM och MLLM i virtuella samarbetsmiljöer stödja samtliga involverade parter med relevant diskussionsunderlag i samband med utformning och granskning av verksamhetslokaler? Detta är något som undersökts i detta arbete och beskrivs i nedanstående genomförande kapitel.

3 Genomförande

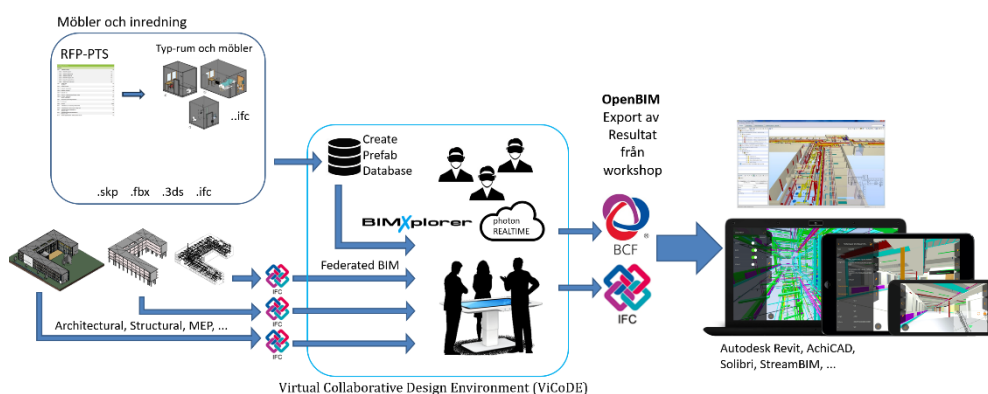
För forskningen som presenteras i denna rapport har *design science* använts som det övergripande forskningsramverket. Design Science Research utgör ett problemlösningssparadigm som kretsar kring skapandet av en artefakt som adresserar ett problem och ger användbarhet i sin riktiga tänkta användarmiljö (A. Hevner, 2007; A. R. Hevner et al., 2004). Resultatet är därför själva artefakten, men också kunskapen kring hur och varför den förstärker eller förbättrar i applikationskontexten där den används. I praktiken definieras denna forskningsmetod vanligen som att den består av tre inbördes relaterade aktiviteter: *Designa (analys av problemet)*, *Utveckla (bygga prototypen)* och *Utvärdera (utvärdera prototypen i dess kontext)*. Tillsammans bildar dessa aktiviteter till en designcykel eller flera designcyklar, som representerar en iterativ process där designalternativ genereras och utvärderas utifrån den vetenskapliga kunskapsbasen och i dess riktiga tänkta användarmiljö. Som redan nämnts är artefakten i detta speciella fall en kollaborativ process och design- och planeringsverktyg baserat på byggnadsinformationsmodeller (BIM) och VR i kombination med en interaktiv pekskärm och projektorduk, ViCoDE. *Designen, utvecklingen och utvärderingen* har skett i verkliga fallstudieprojekt kopplat till skol och sjukhusbyggnation och beskrivs i följande avsnitt. Totalt har åtta sjukhusprojekt och totalt 14 VR och ViCoDE workshopar genomförts i totalt fem nya skolprojekt, där kontinuerliga designcyklar med aktiviteterna *Designa, Utveckla och Utvärdera genomförts, se figur 5.*



Figur 5. Totalt har åtta sjukhusprojekt och totalt 14 VR och ViCoDE workshopar genomförts i totalt fem nya skolprojekt, där kontinuerliga designcyklar med aktiviteterna Designa, Utveckla och Utvärdera genomförts.

3.1 Designa och utveckla en kollaborativ designprocess och digitalt verktyg

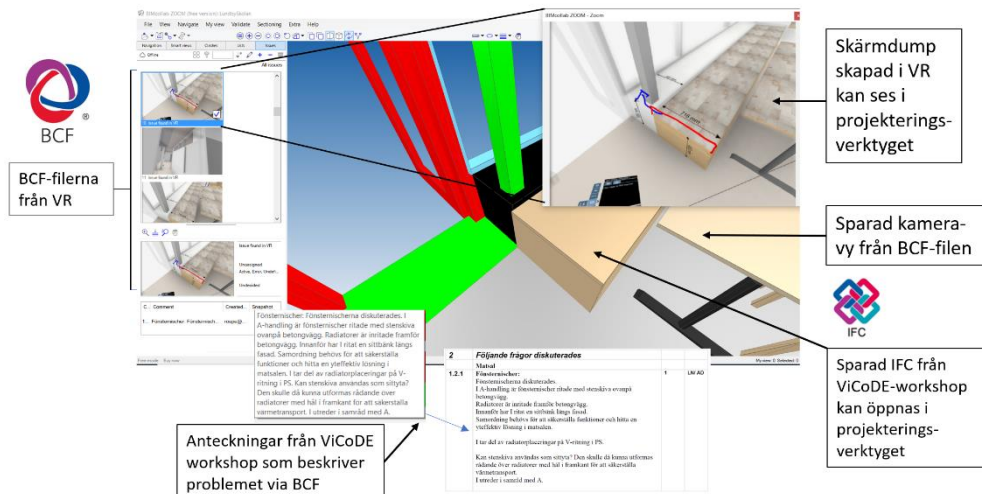
För att stödja en digital kollaborativ designprocess med multi-användare i olika medier så som VR i kombination med en interaktiv pekskärm etc. har vi vidareutvecklat och använt BIMXplorer (BIMXplorer, 2024; Johansson, 2016). BIMXplorer har utvecklats och används som forskningsplattform på Chalmers, Construction Management för att kunna visa stora och komplexa BIM modeller i VR i real-tid dvs. minst 72 bilder/sekund (BIMXplorer, 2024; Johansson, 2016). Anledningen är att när VR-glasögon används måste datorn kunna generera minst 72 bilder/sekund, annars kommer användaren börja uppleva åksjuka och illamående (Johansson & Roupé, 2024). Den största styrkan med BIMXplorer är därför att den via en automatisk process vid laddning kan optimera renderingen och visningen av mycket stora och komplexa BIM i real-tid i VR (Johansson & Roupé, 2024). Vidare har IFC-import implementeras med hjälp av xBIM ramverk (Lockley et al., 2017) vilket gör att BIM modeller direkt från pågående projektering kan användas, se figur 6.



Figur 6. Ovan beskrivs informationsflöden i det utvecklade ViCoDE-systemet som stödjer ett OpenBIM baserat arbetsprocess.

Under detta forskningsprojekt har även användargränssnittet för att stödja digital kollaborativ designprocess med multi-användare utvecklats från den tidigare ViCoDE-prototypen (Roupé et al., 2020), se figur 5. I det gamla ViCoDE-prototypen som var skapat i Unity (dvs. en spelmotor) krävdes det mycket förberedelse tid inför varje ViCoDE-workshop för att "skapa ett spel" inför workshopen. Med det nya systemet som bygger på BIMXplorer är det bara att öppna IFC-filerna som kommer från projekteringen och den tillhörande utrustning- och möbelkatalogen man vill interagera med, se figur 6. Resultatet från ViCoDE-workshopen, dvs. de validerade och testade byggnadsutformningen och möblerade lokalerna kan sedan sparas ner och exporteras som IFC-filer för att sedan kunna öppnas upp i projekteringsteamets projekteringsverktyg. Byggnadsutformnings- och projekteringsfel som upptäcks under ViCoDE-workshopen kan sparas ner som BCF-filer (dvs. smarta skärm dumpar med den virtuella kamerans position och riktning samt anteckningar). Dessa BCF-filer kan sedan öppnas i projekteringsverktyg för att hamna i samma kamera-vy som i VR där anteckningarna och skärmdumpen skapades, se figur 7. Möjligheten att även spara ut nya IFC-filer som skildrar ändringar som gjorts av byggnadsutformningen under ViCoDE-workshoparna underlättar ett effektivt informationsflöde till projekteringen.

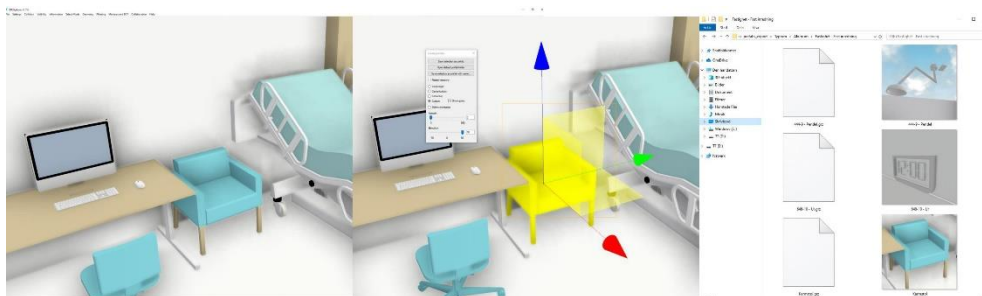
Dessa ändringar kan vara placering av möbler, utrustning samt att väggar kan läggas till, raderas, flyttas och roteras.



Figur 7: Med hjälp av den utvecklade supporten för OpenBIM kan hittade byggnadsutformnings- och projekteringsfel som ändras i VR skickas till projekteringen via IFC- och BCF-formaten. Detta leder till effektivare informationsflöden av spridandet av resultatet från ViCoDE-workshoparna.

3.1.1 Uppbyggnad av informationsstruktur och databas för tytrum, utrustning och möbler

De digitala kollaborativa workshoparna med ViCoDE består i huvudsakligen av att deltagarna upplever sin framtida byggnadsutformning i VR, samt att de placerar ut 3D-objekt som representerar verksamhetens tänkta tytrum, möblering och utrustning som instanser i en 3D-miljö. I denna rapport kallas dessa 3D-objekt för "prefabs". För att skapa ett så flexibelt system som möjligt för användaren att skapa bibliotek av 3D-objekten valde vi att implementera möjligheten att spara ner "prefabs" via BIMXplorer i en katalogstruktur som sedan avspeglas i användargränssnittet i VR och på pekskärmen, se Figur 8. När man skapar "prefab"-en i BIMXplorer sparas en eller flera objekt som är markerade som en prefab, med den aktuella vyn som förhandsgranskningsbilder. Därigenom kan användaren skapa sin egna databas av "prefabs" och 3D-objekt som passar deras organisation och byggnadstyp, så som skolor eller sjukhus. Genom att importera och använda IFC-formatet som bas för "prefabs-en" kan användarspecifik information och "Property set" användas som informationsstruktur genom hela ViCoDE-processen. Därigenom kan informationen och kod-strukturen, så som PTS-kodstruktur (se avsnitt 2.2.2 och 4.1 för mer detaljer) för till exempel tytrum och möbler/utrustning behållas och exporteras tillbaka till projekteringen via IFC. Därigenom kan Rums Funktions Programmet (RFP) och resultatet från ViCoDE-workshopen sammankopplas och ett effektivt informationsflöde skapas.

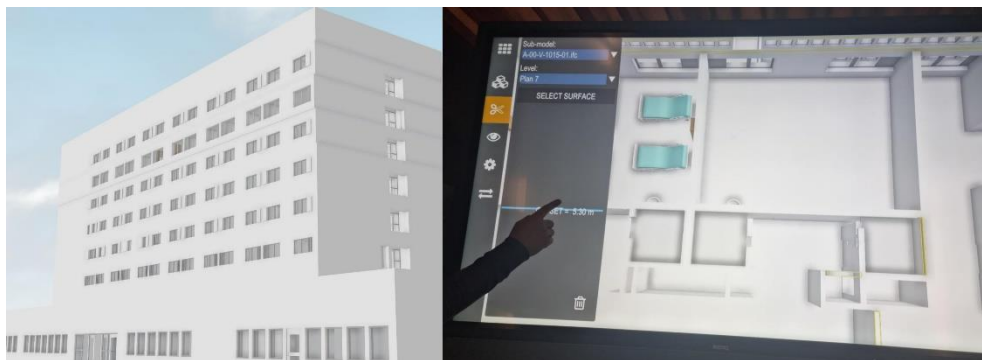


Figur 8: Processen av att skapa prefab i BIMxplorer samt tillhörande katalogstruktur.

Beroende på typ av komponent är det också viktigt att kunna välja vilken rotationscentrum och plan som skall användas när man interagerar med komponenten senare under ViCoDE-workshopen. Detta är anledningen till att systemet stödjer valfritt stöd för placering av en pivotpunkt, se Figur 8. Slutligen med ett antal prefabs skapas, kan en användare sedan organisera och gruppera prefabs i olika katalog hierarkier av mappar och undermappar på datatorn. Det slutliga steget är sedan att göra en prefab databasfil (.pfd-fil), liknade en zip-fil som innehåller flera filer. Därigenom kan prefabs katalogen/databasen spridas lätt mellan datorer och i projekt. Varje verksamhet kan ha sina för bestämda prefabs av standardkomponenter eller utrustning. Det går även därigenom att styra vilka komponenter som skall finnas tillgängliga under ViCoDE-workshopparna, då kanske en specifik lokal eller tytrum skall genomarbetas. Observera dock att endast detta måste göras en gång för att skapa en pfd-fil (prefab databasfil), som sedan kan återanvändas som mall i flera ViCoDE-workshopar.

3.1.2 Pekskärmens användargränssnitt

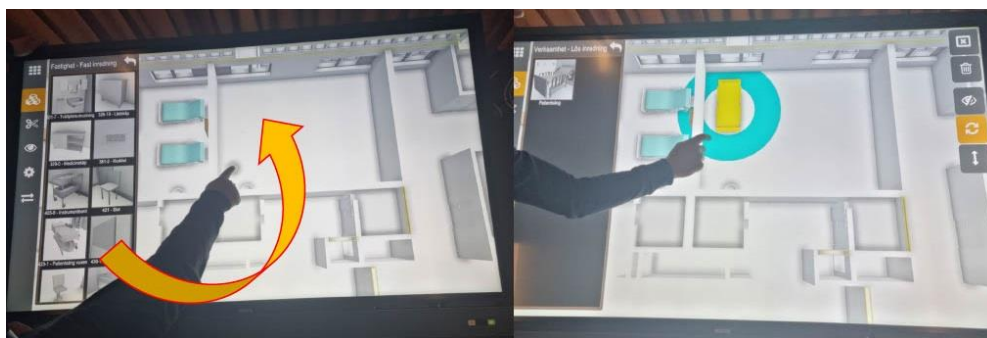
Desktop-, multi-touch-användargränssnittet är inspirerat av vårt tidigare ViCoDE-prototyp och arbete som då byggde på Unity (Roupé et al., 2020). Men som har nämnts implementerade vi detta ovanpå BIMxplorer för att få ett bättre och mer effektivt informationsflöde och support för Open BIM-ekosystem. Touch-gränssnittet är implementerat med panorering och zoom med två fingrar, ett finger för att se dig omkring i 3D samt rulla i menyer och tryck med ett finger för val och knapp. För att kunna ta vilken BIM byggnad som helst direkt från projekteringen, valde vi att kunna sektionera byggnaden genom att välja våningsplan/golv från IFC-datan och att man sedan kan justera sektionsplanet upp eller ner, se Figur 9.



Figur 9: Hela byggnaden (vänster) och samma byggnad där användaren valt våning från IFC-datan och sedan justerat sektionsplanet (höger).

Därigenom kan användarna själva bestämma vilken del eller våning de vill fokusera på under ViCoDE-workshopen. I systemet implementerades även verktyg för att kunna filtrera BIM-modellen. Filtreringsmöjligheterna är särskilt intressant eftersom det möjliggör kontroll av objekts synlighet och färger baserat på deras IFC-egenskaper. Detta gör det möjligt att filtrera bort vissa scenarier om uppgifterna finns tillgängliga i IFC-filen/filerna eller att ändra färg på vissa väggar eller möbler.

Alla importerade prefabs (d.v.s. prefab-databasen) är tillgängliga i en mappstruktur och läggs till med hjälp av dra-och-släpp som illustreras i Figur 10. Att markera ett objekt genom att trycka på tar fram snabbmenyn vilket gör det möjligt för att dölja eller ta bort objektet. Ett markerat objekt – eller flera markerade objekt – kan direkt flyttas horisontellt genom att dra eller rotera med hjälp av en "gizmo" som tänds upp. Genom att trycka på knappen "växla till vertikal förflyttning" kan vertikal rörelse aktiveras istället, för att flytta objekt.



Figur 10: Lägga till prefabs från framtagna möbelkatalog genom att drag-och-släpp (vänster), samt möjlighet att rotera på prefabs satta i den virtuella miljön med hjälp av en rotation-gizmo (höger).

3.1.3 VR användargränssnitt

I VR implementerades ett liknande gränssnitt som beskrevs i avsnittet ovan i pekskärmens användargränssnittet dvs. för att lägga till objekt användes även här "dra och släppa" prefabs från en verktygspalett i VR, som ses i Figur 11. Den stora skillnaden är att 3D-objektet/prefabs-en placeras med hjälp av "strålen" som kontrollen skickar ut från användarkontrollen. Även liknade gränssnitt för att placera/placera om och rotera objekt, men med mer anpassade för användning i en 3D-miljö, där användaren kan välja mellan att flytta i plan eller i 3D med hjälp av "strålen" som kontrollen skickar ut från användarkontrollen.



Figur 11: Utifrån verktygspaletten i VR-gränssnittet kan prefabs dupliceras, roteras och tas bort (vänster) och väljas utifrån en förutbestämd katalogstruktur (höger).

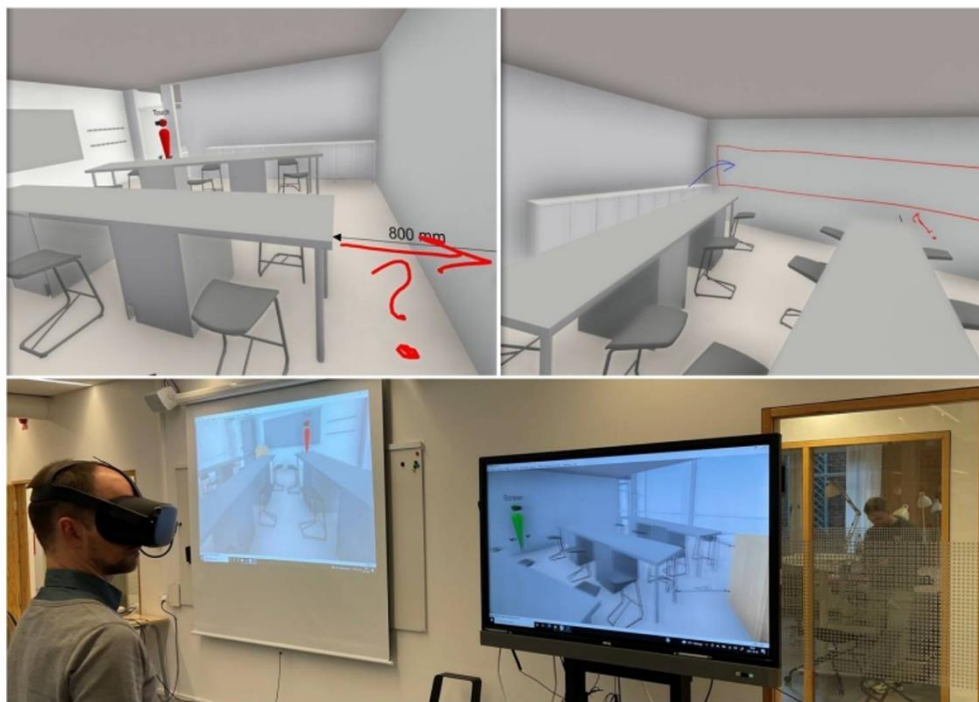
En annan egenskap som implementerades under denna studie var möjligheten att växla mellan en virtuell miniatyrmodell av byggnaden i skala 1:40 skala och 1:1 skala i VR-glasögonen. Detta medförde att användaren kunde snitta och se de olika våningarna från ett fågelperspektiv dvs. en digital version av en 2D översikts vy, se figur 12.



Figur 12: Användaren kan växla mellan en virtuell miniatyrmodell, skala 1:40, och skala 1:1 i VR-glasögonen.

Detta utvecklades efter lärdomar av de ViCoDE-workshopar som gjordes i fallstudierna och beskrivs i avsnitt 3.4 och 3.5 samt figur 7. Det som visade sig i fallstudierna var att det var svårt för VR-användarna att orientera sig i byggnaden i VR. Miniatyrmodell av byggnaden i skala 1:40 gjorde det möjligt för användaren växla mellan skala 1:1 och 2D översikts vy, vilket underlättade orientering i byggnaden, se figur 20 i avsnitt 3.5.

Några andra verktyg som användes frekvent i VR var möjligheten av att skapa sektionsplan, mäta, filtrera och skapa anteckningar i 3D, se, figur 7 och figur 13. Systemet och VR-gränssnittet förklaras i detalj i Johansson och Roupé (2022) samt Johansson och Roupé (2024).



Figur 13. Genom att kunna mäta och göra 3D-anteckningar i VR kan användaren använda dessa för att kommunicera med projekteringen via BCF-formatet.

3.1.4 Samarbete i virtuella samarbetsmiljöer

I denna studie har stödet för samarbete i virtuella miljö vidareutvecklades i BIMXplorer, så att systemet även har stöd för att uppdatera ändringar av andra användare, så som lägga till nya möbler och utrustning, flyttning av befintliga 3D-object så som väggar och möbler, måttagning etc. Detta görs genom att alla klienter öppnar samma modell (.bmx-fil) och prefab databas (.pfd), och kopplar sedan upp sig till ett VR-mötesrum via ett specifikt mötes-ID. Den första användaren som anropar den här funktionen skapar det specifika "VR-rummet", och alla andra efterkommande användare med samma mötes-ID kommer då gå med i samma mötesrum. Varje ändring som sker i den delade virtuella miljön, så som att lägga till eller ta bort objekt, skapa 3D-markeringar, eller att gömma/visa objekt överförs till alla andra användarna med hjälp av händelser som skickar till en central databas, se Figur 11. Position och orientering för alla användarna skickas också via den centrala databasen. Därigenom kan avatarerna för alla användare visualiseras hos de olika användarna. Då alla användarna har en lokal databas med samma modell (dvs. VR-modell och prefab databas) så skickas ingen 3D-data över nätverket, bara ID och transformationsmatriser över ändringar. Det enda undantaget är 3D-anteckningar och markeringar som representeras som en linje med 3D-koordinater som beskriver den.

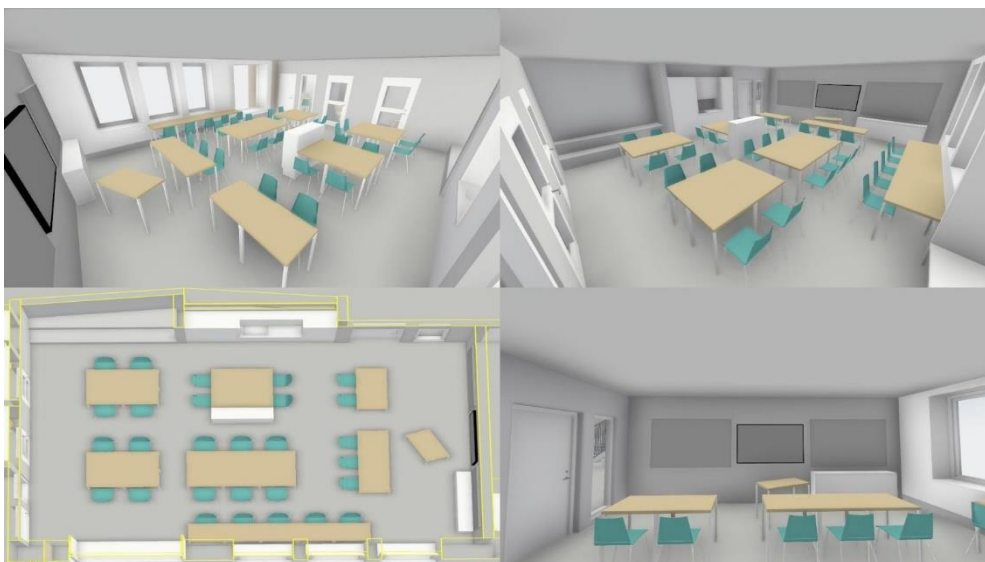


Figur 14. Användarna skapar ett virtuellt "mötes-rum" som är en databas som håller ordning på och skickar ut ändringar som gör av de olika användarna. Även de olika användarnas 3D-avatarer uppdateringar sköter databasen.

Något som kom fram i en tidigare studie (Roupé et al., 2020) kopplat till ViCoDE processen var ett önskemål att koppla systemet till en databas eller rekommendations/lärandesystem som kunde hjälpa användarna och facilitera erfarenhetsåterföring och kunskapscykel till och från olika projekt, så att man kan slippa "uppfinna hjulet på nytt" inför varje ny skola eller vårdlokal som ska byggas. Skulle AI kunna fungera som hjälpmedel och gränssnitt för att facilitera denna kollaborativa virtuella process?

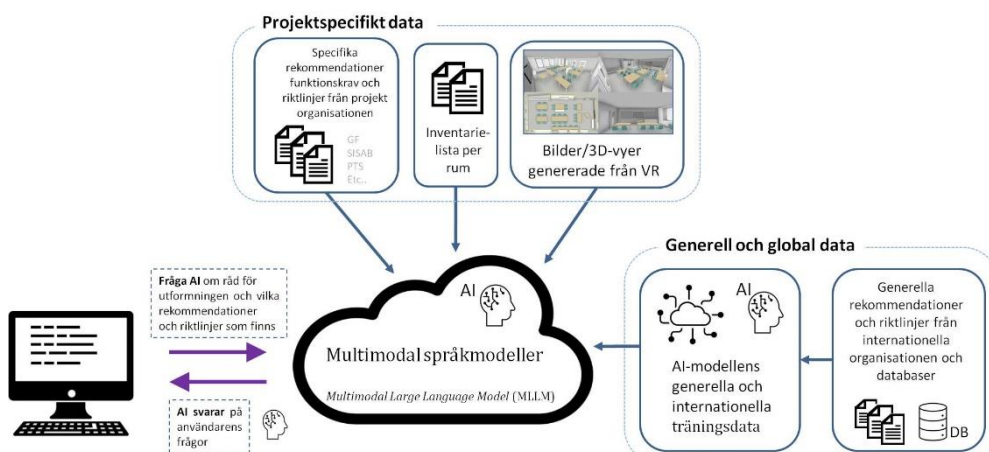
3.1.5 AI som gränssnitt och hjälpmedel för virtuella samarbetsmiljöer

I denna studie undersöktes hur AI och multimodala stora språkmodeller, *Multimodal Large Language Model* (MLLM), kan användas i samband med designgranskning i virtuella miljöer. Detta gjordes för att bättre förstå huruvida användning av MLLM, med dess kapacitet att besvara frågor kopplat till byggnadsutformningen, kan användas i kombination med VR för att bistå verksamhet och arkitekter med bättre beslutsunderlag under projektering. Med bakgrund av detta har denna forskningsprojekt utvärderat användningen av MLLM genom att utgå från byggnadsutformningen av en NO-sal i en svensk F-6 skola. Utöver den befintliga, större träningsdata som MLLM är tränad på (bl.a. ge generella riktlinjer och tips kring byggnadsutformning för skol- och vårdmiljöer) så användes ytterligare träningsdata. Denna ytterligare träningsdata bestod av inventarielista av NO-salen, hämtat från projektets IFC-fil, och funktionskrav från Stockholm stads funktionsprogram för skollokaler samt skärmdumpar av NO-salen, tagna från olika vinklar ifrån VR, med programvaran BIMXplorer, se Figur 15. Denna kombination av olika typer av träningsdata (dvs. text- och bildformat) användes för att möjliggöra en mer träffsäker svarskvalité i samband med att användare ställer frågor kring utformningen av NO-salen.



Figur 15: De olika vyerna är menade att tillhandahålla språkmodellen all information som behövs för att besvara frågor kopplat till funktionskrav som exempelvis flöde, rumsuppfattning och dagsljus.

Mer specifikt använde vi en kombination av två modeller, nämligen gpt-4-1106-preview och gpt-4-vision-preview, tillgängliga via OpenAI API. Gpt-4-1106-preview är en stor språkmodell, vilken endast kan hantera text, med ett sammanhangsfönster på 128 000 tokens (ungefär 96 000 ord). Begreppet tokens syftar på de olika beståndsdelar som en text består av när den bryts ned till i samband med att språkmodellen analyserar texten. Kontextfönstret är mängden tokens som modellen kan bearbeta vid tidpunkten för generering av svaret. Gpt-4-vision-preview är, som namnet antyder, en multimodal modell med förmåga att bearbeta både text och bilder, se Figur 16.



Figur 16: Illustration över hur AI som gränssnitt och hjälpmedel kan stödja ViCoDE-workshoparna och dess användare med att få råd och ge verksamhet scenarier, information om rekommendationer, funktionskrav och riktlinjer kopplat till det specifika typerummet och dess byggnadsutformningen.

När modellen har i uppdrag att generera en fråga eller ett svar till workshopdeltagarna bör den ha kunskap om lokalens utformning samt kunskap om de regler som gäller för

rummet. Men eftersom regeldokumentationen består av mycket information som kanske inte är relevant för det givna rummet (bl.a. beskriva lokalutformningen för liknande rum på ett mer generellt sätt), tillämpar vi "Retrieval Augmented Generation" (RAG) -metoder. RAG-metoder bygger på att förse modellen med fördefinierad information av användaren, så som specifika dokument och tillåta den att hämta information baserat på specifika frågor (Gao et al., 2023).

Därför har modellen initialt i uppgift att hitta all information som kan vara relevant för det givna rummet, i princip en fråga baserad på tytrum (NO-sal, slöjdsal etc.). Även om detta ger ganska mycket information räckte det inte, eftersom funktionskraven för olika tytrum för svenska skolor är medvetet vagt formulerade för att ge utrymme åt varje projekt att sätta sin prägel på byggnadsutformningen. Därför har modellen också i uppdrag att ta vara på den egna kunskapen som den tränat på, baserad på data som bygger på utformning av skolmiljöer i ett internationellt sammanhang. Detta gjordes för att generera ytterligare riktlinjer som kan vara relevanta för ett sådant tytrum. Denna kunskap är beroende av modellens tidigare träningsdata och därför finns en möjlighet att modellen inte har någon information om svenska skolor specifikt, men kan ha information om till exempel amerikanska skolors utformning. Detta steg kanske inte behövs i de fall där regleringsdokumenten är mer strikta och exakta. Båda dessa steg görs utan någon visuell input (dvs. skärmdumpar som illustreras i Figur 15) och gpt-4-1106-preview-modellen används.

3.1.6 OpenBIM stöd, via IFC och BCF

Som nämndes tidigare stödjer ViCoDE-systemet direktimport av IFC-filer, från designprocessen, utan något behov av handpåläggning i form av optimering etc. Då denna import bygger på xBIM-ramverket (Lockley et al., 2017) möjliggörs även funktionalitet för att skapa IFC-filer av resultatet som skapas under ViCoDE-workshopparna. Då den underliggande geometrirepresentationen i BIMXplorer är indexerade "triangel-mesh" (Johansson och Roupé, 2024) har vi valt att använda IFC4 som har stöd för "IfcTriangulatedFaceSet". Användaren har möjligheten att exportera; -allt, -valt eller -synligt, vilket innebär att det också är möjligt att endast spara en delmängd av de skapade, ändrade, planerade komponenter som en IFC-fil. Om man dessutom behåller IFC-formatet som bas för sin "prefabs" databas kan användarspecifik information och "Property set" användas som informationsstruktur genom hela ViCoDE-processen. Detta innebär att kod-strukturen och informationen för tytrum och möbler/utrustning behållas och exporteras tillbaka till projekteringen via IFC. Som nämndes tidigare finns även support för BCF-export av skärmdumpar och anteckningar. Genom att använda BCF-funktionen är det möjligt att överföra ytterligare information, antingen tillbaka till projekteringen eller som synpunkter eller anmärkningar till plattformar, såsom Dalux, StreamBIM, Solibri, BIMcollab, Autodesk Revit, ArchiCad etc., se figur 6 och figur 7. Fokuset under denna utvecklingen har varit att få en bättre informationsstruktur genom hela ViCoDE-processen, för att stödja ett bättre och mer effektivt informationsflöde och support för Open BIM-ekosystem i projekteringsprocessen. I nästa avsnitt beskrivs fallstudierna som används för att designa (analys av problemet), utveckla (bygga prototypen) och utvärdera (utvärdera prototypen i dess kontext). Dessa aktiviteter har bildat flera designcykler och en iterativ process där analys av problemet och designalternativ utvecklats och genereras och utvärderas kontinuerligt.

3.2 Utvärdering av fallstudier

I detta projekt har kvalitativt och kvantitativt tillvägagångssätt använts för datainsamling och analys för att utvärdera och vidareutveckla processen och dess verktyg, mer specifikt i form av fallstudier. Fenomenet som studeras är brukarinvolvering i virtuella kollaborativa miljöer där flertal olika aktörer är involverade (verksamhet, projektledare, arkitekter etc.), vilket gör projektet komplext. I detta sammanhang har fokus i majoriteten av fallstudierna varit på sjukhusprojekt i form av åtta antal fallstudier. Det visade sig även en bit in i denna studie att även skolprojekt har liknade komplexa frågeställning som sjukhus när det kommer till utformning av byggnader. Som nämnds ovan har dessa kollaborativa designworkshopar och fallstudier används för att förstå, bygga kunskap och utvärdera och vidareutveckla processen och dess digitala verktyg.

Vidare har fallstudieforskning följande kännetecken: fokuserar på ett specifikt fall, använder flera datakällor (t.ex. intervjuer, observationer, dokument), betonar sammanhanget (t.ex. omständigheter, faktorer som påverkar det specifika fallet) samt identifiering och samband i den specifika datan som går att generalisera. Genom att studera ett specifikt fall mer djupt blir det möjligt att bättre förstå komplexa frågor dvs., brukarinvolvering i virtuella miljöer och som äger rum i verkliga sammanhang. Enkelt sagt, så avgör sammanhanget fallstudien studeras i, till vilken utsträckning det går att generalisera kring de forskningsfenomen som studeras (Baxter & Jack, 2008; Eisenhardt, 1989). Därmed är det viktigt att ha tydliga kriterier vid val av fallstudier och tolkning av data men även att välja fall som är likartade sett till sammanhang och utfall.

3.3 Datainsamling och analys

Tabell 1 nedan visar den insamlade datan i form av de fyra delstudier, dvs. vetenskapliga forskningsartiklar, som skrivits inom ramen av detta forskningsprojekt. Datan är sorterad utifrån typ av deltagare, dvs. slutanvändare såsom verksamheten och dess representanter och designansvariga såsom arkitekter, typ av involvering (exempelvis semi-strukturerade intervjuer, VR-workshops) samt vilken typ av projekt som studerades och syfte med de genomförda intervjuerna. För mer detaljerad information om datainsamlingen och de skrivna artiklarna hänvisas läsaren till Satei (2023).

	Deltagare	Metod	Projekttyp/syfte
Delstudie 1 (Sateei et al., 2024)	3 BIM koordinatörer, 8 projektledare, 4 lokalplanerare, 4 arkitekter, 13 från berörd verksamhet (N = 32)	32 semi-strukturerade intervjuer med stöd av 2 ViCoDE workshops, (>10) VR workshops, 1 studiebesök	Sjukhusprojekt 2 IVA enheter, 1 psykiatrienhet, 1 hyperbarisk kammare, 1 robot-operationsrum 1 radiologi rum Syfte: Studera Interaktiva funktioner i VR
Delstudie 2 (Sateei et al., 2022)	2 projektledare, 4 verksamhetsrep. 1 projekteringsledare, 1 inredningsarkitekt, 2 arkitekter (N = 10)	2 ViCoDE workshops med öppna diskussioner efteråt där deltagarna delade sin upplevelse av att använda VR	Skolprojekt 1 grundskola Syfte: Studera olika representantionsskalor i VR
Delstudie 3 (Sateei & Sundquist, 2022)	15 lokalplanerare, 2 fastighetsutvecklare, PTS representant (N = 18)	18 semi-strukturerade intervjuer från 7 olika svenska regioner	Informationsstruktur Sjukhusprojekt Syfte: Skapa en förståelse för hur Sveriges regioner nyttjar PTS
Delstudie 4 (Sateei, Roupé, et al., 2022)	13 lokalplanerare (N = 13)	6 semi-strukturerade intervjuer från 6 olika regioner i Sverige	Informationsstruktur Sjukhusprojekt Syfte: Hur PTS som riktlinje och rekommendation används av Sveriges regioner i utformning av vårdlokaler
Delstudie 5 (Sateei et al., 2023)	2 verksamhetsrep. 10 arkitekter 1 inredningsarkitekt (N = 13)	4 ViCoDE workshops med stöd av 13 intervjuer	Skolprojekt 1 grundskola Syfte: Studera engagemang och kommunikation mellan olika aktörer under ViCoDE workshopar

Delstudie 1: (Sateei et al., 2024)

From informative to Co-design: the role of Virtual Reality for user-involvement in healthcare design, Sateei, S., Roupé, M. and Johansson, M. (2024) Work in progress

Delstudie 2:

Sateei, S., Roupé, M., & Johansson, M. (2022). *Collaborative Design Review Sessions In Virtual Reality: Multi-Scale And Multi-User*. POST-CARBON, *Proceedings of the 27th International Conference of the Association for ComputerAided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2022*, 1, 29–38.

Delstudie 3:

Sateei, S., & Sundquist, V. (2022). *Knowledge Integration Through Resource Combining: The Case of a National Standard Framework for Hospital Design*. *Proceedings 38th Annual ARCOM Conference*. 38th Annual ARCOM Conference, Glasgow, Storbritannien.

Delstudie 4: (Sateei et al., 2022)

Sateei, S., Roupé, M., & Johansson, M. (2022). *An ontological approach for a recommendation system of a requirement tool: the case of a national standard framework for hospital design*. *EC3 2022, European Conference on Computing in Construction*. 2022 European Conference on Computing in Construction EC3, Rhodes, Grekland. <https://doi.org/10.35490/EC3.2022.205>

Delstudie 5:

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.

Tabell 1: En överblick av den insamlade datan i form av de fyra artiklar som skrivits under projektets gång.

I syfte att erhålla sådan representativa data som möjligt så valdes intervjupersoner i artikel 1 utifrån följande kriterier: 1) roll i designprocessen, 2) tidigare erfarenhet med designgranskning när traditionella visualisering och informationsmedier använts (t.ex. 2D ritning, 3D modeller) och 3) involvering i nuvarande sjukhusprojekt. På liknande sätt valdes intervjupersoner i artikel 3 och 4 utifrån följande kriterier: 1) direkt användning av PTS (bl.a. använt sig av tillgängliga 3D modeller i designprocessen) och/eller 2) deltagit i PTS forumdagarna och slutligen 3) hur länge regionen ifråga varit del av PTS nätverket. Gällande genomförda VR och ViCoDE workshops, låg huvudfokus på att analysera slutanvändarnas involvering när VR användes för designgranskning.

3.3.1 Intervjuer

Semi-strukturerade intervjuer genomfördes för att möjliggöra en mer explorativ intervju, där intervjupersonen kan prata mer öppet (Kvale, 2007). Det semi-strukturerade tillvägagångssättet skapar även förutsättningar för en mer tematisk intervju där intervjupersonen har möjlighet att gå djupare under konversationen gång (Qu & Dumay, 2011). Därmed skiljde sig temat åt i de olika intervjuerna, där fokus i artikel 1 och 2 låg på användningen av VR i designprocessen och hur slutanvändare som verksamheten och dess representanter upplevde det som visualisering och informationsmedium under designgranskning. För artikel 3 och 4 var temat snarare upplevelsen av PTS sett till uppfattat värde det hade för regionerna och vilken användning de hade av riktlinje och rekommendationerna för olika typrum. För fall där

videoobservationer gjordes, genomfördes dessa intervjuer i direkt anslutning till de VR och ViCoDE workshops deltagarna hade närvarat på. Intervjufrågorna hade i förväg skickats för att ge intervjupersonerna tid att förbereda deras frågor och att säkerställa att de kunde organisera sina tankar. Dessa intervjuer ljudinspelades, transkriberades samt skickades till intervjupersonerna för klargöring av eventuella otydligheter och godkännande.

3.3.2 Videoobservationer

Videoobservationer gjordes för att få en djupare förståelse av hur designansvariga och slutanvändare kollaborerade och interagerade med varandra under designgranskning med VR-system. Interaktionerna observerades via videoinspelningar samtidigt som anteckningar fördes under själva workshoptillfällena. Anteckningar fördes i syfte att snabbt kunna identifiera observationer som var av intresse att analysera, t.ex., hur deltagarna använde sig av olika tillgängliga interaktiva funktioner (objektmanipulering, ändra skala från 1:40 och 1:1 vy i VR etc.) för att tillsammans kollaborera kring de olika designfel som identifierades. I detta sammanhang är videoobservationer användbara då det kan hjälpa skapa en bättre förståelse för varför vissa liknande handlingar och interaktioner som ägde rum i olika projekt (t.ex., mellan arkitekt och verksamheten), skiljde sig åt (Heath et al., 2010). Med andra ord, kan det hjälpa besvara varför liknande handlingar kan ha olika betydelse beroende på det sammanhang som designgranskningen i VR genomfördes i. På så sätt var videoobservationer användbara då den följande analysen hjälpte identifiera mönster kopplat till exempelvis preferens för interaktiva funktioner i VR och hur VR användes som medium bland verksamheten för att komma till tals om designen.

Kommunikation och interaktionsmönster mellan olika aktörer analyserades även kvantitativt med hjälp av videoobservationer från ett antal ViCoDE-workshopar kopplat till skolprojekt. Dessa analyser gjordes från videoobservationer. Mer specifikt kategoriserades videoinspelningarna i tre grupper som berörde hur verksamhet och arkitekter kommunicerade och interagerade och med varandra, samt hur de kommunicerade och interagerade när de använde de olika gränssnitten i ViCoDE-systemet (dvs. VR-glasögon, pekskärm, projektorduk).

3.3.3 Dokumentanalys

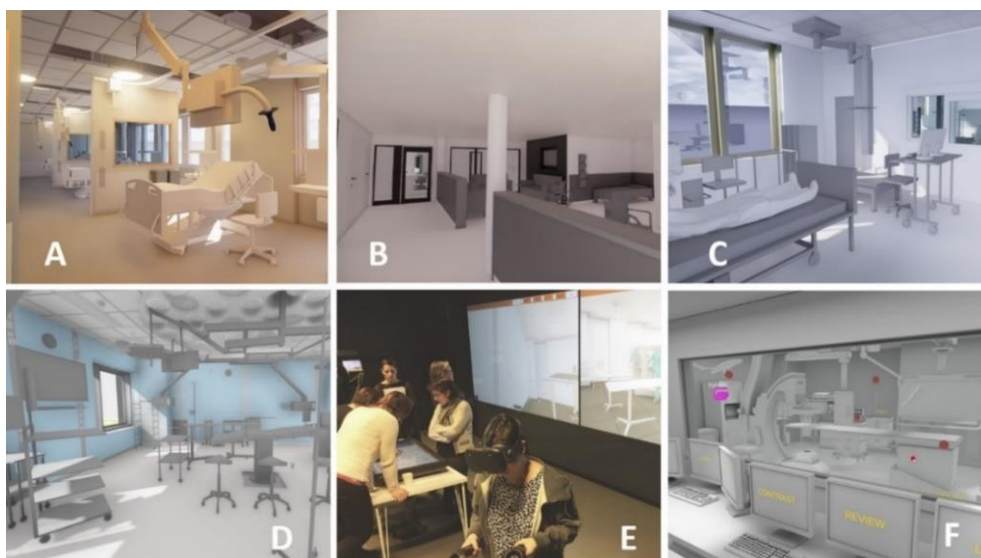
För att bättre förstå hur riktlinjer och rekommendationer av PTS använts bland svenska regioner, har dokumentanalys genomförts (Morgan, 2022). Detta gjordes genom att först välja dokument kopplade till olika typrum, vilket inkluderade klassificering av möbelbeskrivning, PTS webbläsar-forum samt välja dokument till de typrum som hade tillhörande 3D illustration. Datan i dessa dokument (t.ex. kravformuleringarna för de olika typrummen) granskades sedan och kombinerades för att få en överblick i PTS beskrivning av riktlinje och rekommendationer. Den kombinerade datan jämfördes sedan med datan från intervjupersoner som hade direkt koppling till PTS och använt det aktivt i designprocessen. Detta gjordes för att stärka gjorda observationer, reducera bias och skapa trovärdighet i den analyserade datan (Bowen, 2009).

3.4 VR och ViCoDE vid utformning av sjukhusprojekt

6 sjukhusprojekt studerades för att bättre förstå hur VR hjälpte facilitera involvering av diverse aktörer (verksamhet, projektledare, lokalplanerare etc.) i designprocessen. Valet av fallstudier baserades på:

- 1) hur VR användes för designgranskning men även i informativt syfte (dvs. designansvariga tar ej feedback från verksamheten),
- 2) vilken fas i projekteringen VR användes i,
- 3) tillgänglighet och användning av interaktiva funktioner i VR-modellerna (t.ex. flertal användare i samma modell, möjlighet att möblera och göra strukturella ändringar)
- 4) utfallet av att använda VR i projektet t.ex., ledde användningen av VR till att designfel kunde identifieras och adresseras?

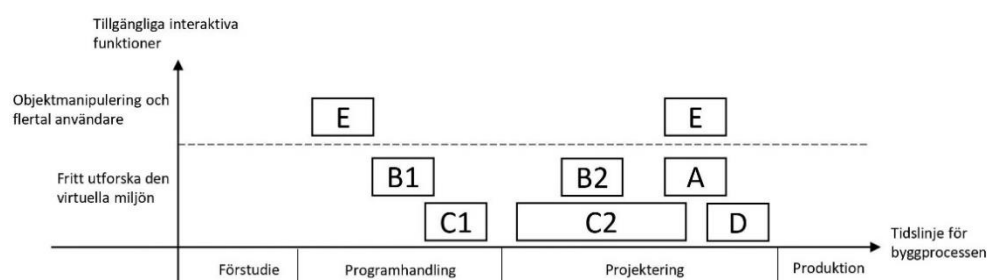
Fem av sex projekt använde HMD VR-system medan projekt E (se Figur 17) använde ViCoDE. HMD VR-systemen bestod av en VR-redo dator för att kunna använda VR-modellerna utan att VR-upplevelsen hakar upp sig och därmed riskera illamående bland användarna. Kopplat till datorn var VR-glasögon (t.ex., HTC Vive, Oculus rift) med externa sensorfästen för positionsdetektering och för att identifiera gränserna för det område som användare fysiskt kan röra sig inom. Till detta kopplades även handkontroller till datorn som möjliggör navigering i den virtuella miljön genom teleportering, vilket är ett exempel på en virtuell förflyttningsteknik (Al Zayer et al., 2020). Detta innebär att när användarna teleporterar, flyttas de omedelbart till platsen genom att sikta med handkontrollen och välja den specifika platsen. Slutligen, i projekt F, möjliggjorde handkontrollerna möjlighet för användarna att manipulera rumsliga komponenter, t.ex., placering och inredning av medicinsk utrustning.



Figur 17: Bilder inifrån VR-modellerna samt bild från det upplägg som projekt E hade med pekskärm och HMD VR (ViCoDE) (Sateei et al., 2021).

I projekt E användes ViCoDE, vilket kan ses som ett CVE-system med stöd för ett flertal användargränssnitt. ViCoDE-systemet utgörs av flera VR-glasögon, en interaktiv pekskärm och projektorduk där ändringar, dvs. ändringar gjorda i den virtuella miljön) uppdateras automatisk i samtliga användargränssnitt. Vid utformningen och planering av vårdmiljöer har BIM-objekt och komponenter baserade på PTS (Program för teknisk standard) använts. 3D-modellen som illustrerar byggnaden kommer från arkitektens BIM-projektering i programvaran Autodesk Revit.

Sett till interaktiva funktioner i VR-modellerna så illustrerar figur 16 nedan hur det varierade mellan de olika projekten. Mer specifikt skiljde sig åt hur pass interaktivt VR-modellerna upplevdes av användarna. I detta projekt definieras interaktivitet utifrån den beskrivning Steuer (1992) har, vilket är att interaktivitet är *den grad vilket användare i VR kan ändra form och innehållet i den virtuella miljön i real-tid*. Utifrån denna definition, gjordes observationer som påvisade kollaborativa aspekter (dvs. flertal användare) såväl som objektmanipulering (t.ex. möjligheten att ändra möblering och struktur på lokaler i virtuella miljön).



Figur 18: Grafen illustrerar hur de olika projekten kan avbildas mot de olika delarna av byggprocesserna.

Fyra av sex projekt använde VR-modeller där deltagarna kunde fritt röra sig i den virtuella miljön för att identifiera designproblem och fel (projekt A, B, C och D) medan två projekt (projekt E och F) också lät deltagarna använda objektmanipulering. Vidare var det olika detaljeringsgrad i de virtuella miljöerna för samtliga projekt. Till exempel, i projekt A, var den virtuella miljön inte bara fotorealismisk men hade även en hög detaljeringsgrad sett till placerade möbler i den virtuella miljön. Detta skiljde sig åt jämfört med andra projekt där det inte var fotorealism i den virtuella miljön som i projekt A, utan att detaljeringsgraden skiljde sig åt (se figur 17).

3.5 VR och ViCoDE vid utformning av Skolprojekt

Totalt har 14 VR och ViCoDE workshopar genomförts i totalt 5 nya skolprojekt. Skolfallstudierna har inneburit att studera olika skeden i projekteringsprocessen samt workshops där VR användes för designgranskning för grundskolor i Göteborg och Stockholm stad. Två av dessa studerades i detalj med syftet att analysera olika typer av diskussioner som uppstod under granskningen samt designproblem och fel som deltagarna identifierade, kopplade till utformningen av skolmiljöerna. VR-systemet som användes bestod av tre Oculus Rift S utrustningar, tillsammans med programvaran BIMXplorer. Programvaran stödde diverse funktioner såsom mätverktyg, möjlighet att ta skärmdumpar, via BCF-filer, och stöd för flera användare i samma virtuella miljö.

Under tillfällena använde sig deltagarna av ovannämnda VR-glasögonen såväl som en större tv-skärm och projektorduk under ViCoDE workshoparna (se figur 19 nedan).



Figur 19: upplägget under första tillfället (vänster). Olika deltagare som tittar och diskuterar potentiella designfel som identifierats under andra tillfället (höger).

En viktig skillnad mellan vissa workshopar i samma skolprojekt var tillägget av möbler i VR-modellerna under andra tillfället, vilket gav deltagarna en mer detaljerad vy av de olika ytorna som designgranskades. I detta sammanhang använde deltagarna sig även av funktionerna tillgängliga i programvaran som gjorde det möjligt att växla mellan en virtuell, miniatyrmodell av byggnaden (1:40 skala) där snitt av de olika våningarna kunde göras för att få ett fågelperspektiv (dvs. en digital version av 2D vyn) samt 1:1 skala som är typisk vanlig när VR-glasögon användes (se figur 20).



Figur 20: Miniatyrmodellen vilket visar byggnaden i sin helhet (vänster) samt snitt av de olika våningarna vilket granskas av deltagarna (höger).

4 Resultat och diskussion

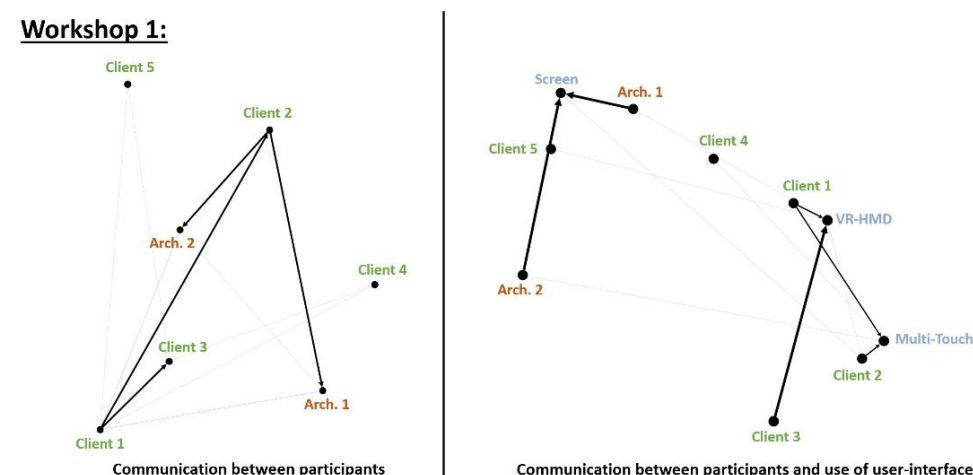
4.1 VR som kollaborativt granskningsverktyg

Utifrån delstudie 1 och 2 visar resultatet hur VR triggar nya tankar om designen, vilket kan hjälpa designansvariga som arkitekten att bättre förstå verksamhetens dagliga arbete. Användning av interaktiva funktioner i VR-modellen skapar dessutom bättre förutsättningar för kollaborativ designgranskning. Ett exempel är användning av interaktiva funktioner i VR-glasögonen som tillåter användaren växla mellan den vanliga 1:1 upplevelsen/skalan till 1:40 skala där en mer översiktlig vy av byggnadsutformningen, lik 2D ritning, kan upplevas. På så sätt kan relationen mellan olika lokaler uppfattas och hur exempelvis flödet kan påverka verksamheten. Ett annat exempel är hur olika interaktiva funktioner tillsammans möjliggör scenario-baserad designgranskning. Mer specifikt tyder resultat från delstudie 1 hur möjligheten att möblera och vara flera personer i samma VR-modell, ger verksamhet och arkitekter förutsättningarna att direkt kunna validera olika designförslag med VR. Slutligen visar resultaten även hur möblerade VR-modeller hjälper verksamhetsrepresanter med att bättre kunna identifiera designfel än tomma VR-modeller. I detta sammanhang visar delstudie 2 hur frågor kopplade till dolda siktlinjer, rumsuppfattning och flödet i lokalen blir det huvudsakliga fokuset under designgranskning.

I delstudie 5, studerades interaktion och kommunikation mellan olika aktörer samt hur ViCoDE-systemet kunde stödja och aktivera samskapande under planering av verksamhetslokaler. Detta samskapande mellan olika aktörer visade sig vara möjligt först då beställare och verksamhetsrepresentanter med hjälp av ViCoDE-systemet kunde förstå förslaget och varandras synpunkter och argument. Detta gjordes med hjälp av VR där verksamheten kunde göra individuell reflektion och granskning av designen genom att bygga upp egna scenarier över hur lokalen eller klassrummet skulle fungera. I en efterföljande intervju med en representant från skolverksamheten nämndes; *”Nu kunde jag äntligen ge feedback och påverka på riktigt, eftersom jag kunde skapa mantalascenarier av undervisningen som jag kunde testa i den virtuella miljön”*. Dessa reflektioner förankrades sedan hos arkitekten vilket hjälpte de olika aktörerna få en medvetenhet om varandras arbete och framförallt en gemensam förståelse för hur verksamhetslokalerna bör utformas. Vidare visade sig att tillämpning av en scenario-baserad granskning lät beställare bättre förstå hur det dagliga arbetet i lokalen påverkades. För arkitekter finns det en möjlighet att ta tillvara på beställarens kunskap för att säkerställa att de planerade lokalerna speglar verksamhetens behov. Samtidigt kan det upplevas som svårt för arkitekter att veta hur deras typiska roll som ledare under granskning påverkas med ViCoDE-systemet, och vilka förväntningar de vill få ut av arbetsprocessen. Förväntningar som beställare och verksamhetsrepresentanter dessutom har på arbetsprocessen leder till en granskningsmiljö där arkitekterna beskriver hur *”beställaren upptäcker designfel innan vi (arkitekter) gör det och ställer frågor kring designen som vi är vana att ställa först till dem (beställare och verksamhetsrepresentanter).”*, se figur 21, (Satei et al., 2023). Vidare argumenterar arkitekt och projektledare för att denna typ av verktyg och dialogbaserad workshop ger en *”mer effektiv process jämfört med den traditionella processen”*. Arkitekten förklarade att den traditionella processen oftast medför långa tidscykler på flera veckor mellan nytt förslag och väntan på feedback från verksamheten. Med ViCoDE-systemet upplevde de istället att denna *”nya typ av verktyg och dialogbaserade workshop gav nästintill direkt feedback.”*. För beställare och verksamhetsrepresanter framgår det i analysen hur det är denna nästintill direkta feedback

som skapar förutsättningar för att de ska få en medskapande roll under planering och projektering av verksamhetslokaler.

Workshop 1:



Figur 21. Som syns från interaktions och kommunikationsanalysen (Social nätverksmatris gjord med Gephi (Bastian et al., 2009) ovan fick arkitekten många frågor om designen från verksamhetsrepresentanter när de använde VR-glasögonen (Sateei et al., 2023).

Interaktiva funktioner i VR skapar förutsättningarna för verksamheten att ta fram förslag och idéer kopplat till utformningen av deras lokaler, där de kan testa och validera huruvida dessa idéer kan stödja deras dagliga arbete. Med andra ord kan slutanvändare som verksamheten själva eller deras representanter få bättre förutsättningar för att komma till tals om byggnadsutformningen, vilket kan ses från interaktion och kommunikation analysen mellan olika aktörer samt hur ViCoDE-systemet användes under en skolworkshop visas i figur 21, (Sateei et al., 2023).

Detta då det blir lättare att förhandla med designansvariga i projektet om förslag de själva kommer med och har en medbestämmande roll i. Som följd av detta kan beslut som tas tillsammans med verksamheten, när VR användes under designgranskning, leda till att beslut inte sker på falska premisser (Choguill, 1996). Enkelt sagt, kan VR med stöd för interaktiva funktioner hjälpa säkerställa att den avsedda nivån av involvering speglar den faktiska nivån som verksamheten haft under designgranskning.

En konsekvens av att VR skapar förutsättningarna för slutanvändare som verksamheten att komma till tals om byggnadsutformningen, är att kollaborativa processer också mer sannolikt kan äga rum. Som delstudie 1 visade, så kan involvering ske i sammanhang där slutanvändarna är avsedda att endast utvärdera designen. Mer specifikt genom att antingen bli informerade om byggnadsutformningen, där ingen feedback tas i åtanke, eller genom att förankra beslut hos verksamheten. I båda fallen kan visualiseringen som VR tillhandahåller hjälpa användare som har svårt med tolkning och granskning av 2D ritningar och 3D modeller att utvärdera den design som presenteras. När interaktiva funktioner dessutom finns tillgängligt finns det förutsättningar för att använda VR i syfte att låta slutanvändare som verksamheten själva bli direkt involverade i framtagningen av designförslag.

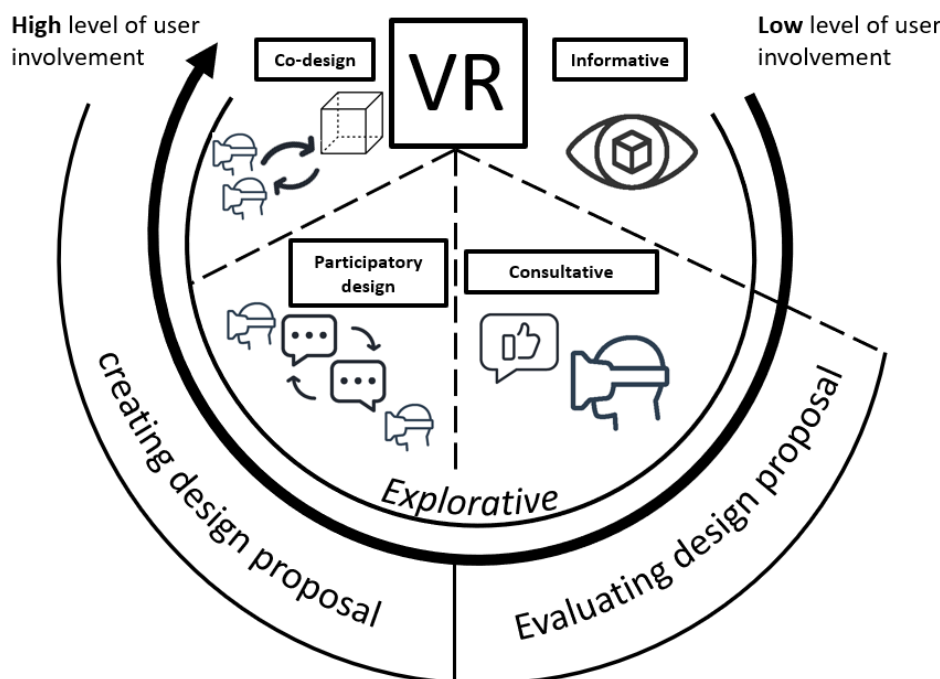
I detta avseende kan kollaborativa designprocesser vara mer sannolikt när verksamheten har scenario-baserad designgranskning. Med scenario-baserad designgranskning som möjliggörs via interaktiva funktioner i VR kan verksamheten som

högsta nivå av involvering vara direkt medbestämmande i utformningen av deras framtida lokaler (Caixeta et al., 2019). Denna medbestämmande roll gör det då mer sannolikt att kollaborativa designprocesser som Co-design kan äga rum. Dock som resultaten visar är det mindre sannolikt att Co-design kan äga rum ju längre in i projekteringen verksamheten blir involverade. En anledning är att sena projekteringsrelaterade frågor (t.ex., installation) inte nödvändigtvis alltid berör verksamhetsrelaterade frågor. Ytterligare en anledning är att då verksamheten tenderar vara som mest involverade under tidiga skeden såsom programhandlingen, då kravställningen i projektet valideras. På så sätt kan det argumenteras att verksamheten mer sannolikt kan ha en medskapande roll (Co-design) i projektet under dessa tidiga skeden. I tidiga skeden är det dessutom bättre förutsättningar att påverka strukturella ändringar designen (t.ex., storlek på lokalen, placering av fönster och dörrar), vilket kan argumenteras göra verksamhetens medbestämmande roll särskilt påtaglig ifall de har möjligheten att påverka dessa aspekter av lokalen (t.ex., flytt av innerväggar, placering av fönster). Därmed kan det argumenteras att ju längre in i projekteringen byggnadsutformning kommer och det blir allt dyrare att genomföra ändringar (Nordstrand, 2000), desto mer lämpligt blir det att använda VR i informativt syfte och förankring av tagna beslut hos verksamheten. Med andra ord kan VR hjälpa facilitera involvering av slutanvändare som verksamheten och dess representanter på olika nivåer, beroende på vilket skede projektet befinner sig i.

I syfte att bättre förstå hur VR och dess interaktiva funktioner (t.ex., flytt av 3D objekt som möbler och innerväggar, flertal personer i samma VR-modell) hjälper facilitera olika nivåer av brukarinvolvering, har en klassificering tagits fram i detta projekt (se Figur 22 nedan). Klassificeringen av brukarinvolvering i VR är menad att illustrera hur de olika interaktiva funktionerna kan, beroende på vilken nivå av involvering verksamheten ska ha samt vilken fas projektet befinner sig i, skapa förutsättningarna för att verksamheten ska kunna komma till tals. Befintliga studier har redan påvisat hur exempelvis flertal användare i samma virtuella miljö kan bidra till mer effektiv beslutsfattning mellan olika parter (Truong et al., 2021) eller hur flytt av innerväggar och medicinsk utrustning i VR under tidigare skeden av projektering resulterar i kortare ledtid när nya designförslag itereras bland arkitekt och vårdpersonal (Roupé et al., 2020). Dock finns det få studier som studerat dessa interaktiva funktioner i ett sammanhang som berör brukarinvolvering, dvs. Involvering av verksamhet som är informativ, förankrande, medbestämmande eller medskapande (Horvat et al., 2022; Lapointe et al., 2021). Med andra ord, hur kan VR med stöd för interaktiva funktioner facilitera olika nivåer av önskad brukarinvolvering?

För att kunna besvara ovannämnda fråga är den framtagna klassificeringen menad att vägleda involverade parter som jobbar med verksamhetsfrågor, där byggnadsutformningen berörs. I detta sammanhang kan det argumenteras att genom att tillgängliggöra riktlinjer för hur VR påverkas brukarinvolvering, kan fler involverade parter än arkitekten komma till tals om hur verksamhetslokaler kan utformas med hjälp av VR. Genom att vara medveten om hur en medskapande roll är mer sannolik i tidiga skeden och en förankrande och medbestämmande roll i senare skeden, kan verksamheten själva bättre förstå de förutsättningar som finns för de att få komma till tals om utformningen av deras framtida lokaler. På så sätt kan underlag som denna klassificering nyttjas som underlag under projektering då VR används. Detta skulle bland annat kunna medföra att verksamheten kan involveras under hela byggprocessen.

Därmed skulle deras erfarenhet och kunskap mer kontinuerligt kunna införlivas under projektets gång, i beslut som berör utformningen av verksamhetslokaler.

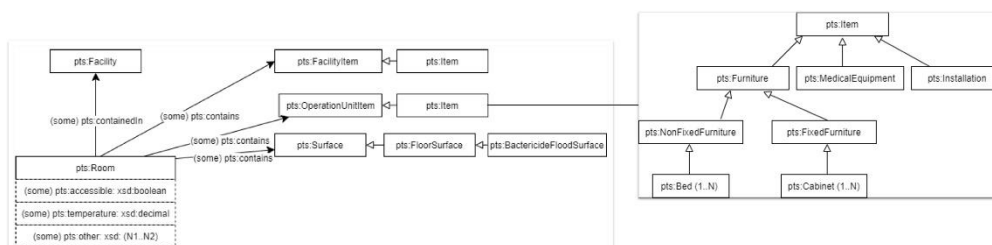


Figur 22: Klassificering av brukarinvolvering i VR. Från informativ involvering av verksamhet (informative) till en medskapande roll (Co-design).

4.1 Möjligheten med AI som gränssnitt och hjälpmedel för virtuella samarbetsmiljöer

Intervjudata kopplat till PTS tytrum (från studie 3 och 4), visar att verksamheten har svårighet att visuellt tolka och förstå lokalutformningen och blir därför beroende av representanter och lokalplanerare i samband med att beslut ska tas kring vad tytrum bör innehålla och hur dessa bör utformas. Samtidigt visar resultat från intervjuer, hur lokalplanerare själva upplever svårigheter i att dra lärdom från andra regioner. Som svar på dessa utmaningar görs istället flertal studiebesök sinsemellan regionerna i syfte att skapa engagemang bland verksamhet samt dra lärdomar från andra regioner. Dock gör regionerna inget explicit dokumentationsarbete kring dessa studiebesök, vilket försvårar det ytterligare för att skapa förutsättningar för erfarenhetsåterföring.

Vidare visar resultaten att PTS nuvarande informationsstruktur gör det möjligt att göra kravformulering för olika tytrum, maskintolkbara (Shahin et. al, 2022). Med kravformulering som är maskintolkbara, dvs. förutsättningar för en dator att tolka det som skrivits, skapas förutsättningar för att använda regel-baserade algoritmer. Användning av en sådan algoritm gör det bland annat möjligt att via datorn generera planlösningar till tytrum.



Figur 23: Beskriver PTS informationsstrukturen och hur den kan bli maskintolkbara av datorn (Shahin et. al, 2022).

En sådan automatgenererad planlösning kan då teoretiskt utvärderas tillsammans med verksamheten via VR-system som ViCoDE. På så sätt kan verksamheten få en mer direkt involvering i utformningen av deras framtida lokaler (t.ex., genom att utvärdera möblering av lokalen och testa logistikflödet), samtidigt som planlösningen tar hänsyn till satta krav som måste följas (storlek på rum, antalet fönster etc.). Dock är en utmaning i dagsläget att en del typrum har kravformuleringar som är allmänt formulerade (t.ex., "rummet ska utformas med patientens välmående i åtanke", "avstånd mellan möbler ska vara tillräckligt") som inte gör det maskintolkbart. I detta sammanhang visar resultaten att det i dagsläget innebär att endast kravformulering som är formulerade med sådant explicit språk som använder logiska och geometriska resonemang (ex. antalet av en specifik lös- och fastinredning, exakt hur långt det är mellan utrustning och olika väggar) som är maskintolkbara.

Slutligen som delstudie 3 och 4 visade med intervjuer av lokalplanerare från olika regioner, finns det i dagsläget ingen effektiv koordination på nationell nivå kring formulering av de kvantitativa såväl som de mer generellt beskrivande kraven listade i PTS riktlinjer och rekommendationer. Kopplat till detta är varför större regioner i landet utgår från egna sjukhusprojekt genomförda inom regionen, snarare än att använda PTS. För de mindre regionerna som har färre antal projekt och en avsaknad av egna riktlinjer och instruktioner som de större regionerna har, är riktlinjer och rekommendationer i PTS det huvudsakliga underlaget de utgår från i samband med att nya vårdprojekt påbörjas. Vidare har de mindre regionerna inte möjlighet att dra lärdom från de större regionerna sett till kunskapsöverföring, bortsett från de flertal studiebesök som i dagsläget äger rum och de fåtal fysiska möten i form av PTS forum.

Genom att göra de kvantitativt formulerade kravformuleringar för typrum, maskintolkbara, och koppla dessa mot ett VR-system som ViCoDE, kan ett par tolkningar göras. Det första är att genom att låta datorn generera planlösningar för sjukhusprojekt som uppfyller de kvantitativt formulerade kraven (t.ex., hur stort rummet ska vara, hur mycket och vart medicinsk utrustning och möbler bör placeras i lokalen), kan mer tid spenderas på att i den virtuella miljön, tolka de allmänt beskrivande kraven (t.ex., formuleringar såsom "tillräckligt nära" och "hänsyn till verksamheten"). På så sätt kan mindre tid spenderas på att identifiera och adressera designfel kopplat till lokaler som inte uppfyller PTS riktlinjer och rekommendationer. Istället, kan fokus på designgranskningen ligga på att kollaborativt, tillsammans med verksamheten, möblera lokalerna utifrån verksamhetens aktuella behov.

Ett resultat av att direkt involvera verksamheten är bland annat att verksamheten kan få ökad ägandeskap i utformningen av deras framtida lokaler. Mer specifikt, genom att utvärdera lokalen i den virtuella miljön genom att exempelvis i real-tid möblera lokalen

på olika sätt, kan olika designförslag valideras på plats vilket också kan hjälpa accelerera hela designgranskningen (Roupé et al., 2020). På så sätt skulle projekt som implementerar sådan datorgenererad design för PTS tytrum och granska dessa i VR, mer sannolikt skapa förutsättningarna för kollaborativa designprocesser. Med verksamheten involverade i sådana kollaborativa designprocesser som exempelvis Co-design, blir verksamheten en del av designteamet. Som en del av designteamet kan verksamheten gå från den typiska rollen av att bli informerade om beslut som tagits kopplat till deras framtida lokaler, till att istället få en ökad delaktighet och medbestämmande roll. Med hjälp av interaktiva funktioner såsom flertal personer i samma VR-modell och möjligheten att möblera lokalen i den virtuella miljön, skulle VR då kunna hjälpa facilitera verksamhetens medbestämmande roll i sjukhusprojektet.

Dock innebär inte nödvändigtvis en medbestämmande roll inom ett projekt att det skapas förutsättningar för att erfarenhetsåterföring av sjukhusprojekt mellan eller inom samma region. Även om bristande användarvänliga gränssnitt kopplat mot PTS kan till viss utsträckning adresseras med användning av VR under designgranskning, återstår det utmaningar som är mindre kopplat till tekniken och mer mot organisatoriska frågor. En sådan organisatorisk utmaning är PTS forumdagarna och vilka förutsättningar det skapar för att representanter från respektive region kan dela lärdomar och insikter med varandra. Hur skulle erfarenhetsåterföring mellan regionerna påverkas ifall dessa möten skedde mer frekvent? Hur hade då mer frekventa möten hjälpt regionerna att på en nationell nivå koordinera kring en gemensam förståelse för hur kravformulering för tytrum bör formuleras i riktlinjer och rekommendationerna för PTS? Vad för lärdomar kan man dra från ett internationellt sammanhang sett till hur riktlinjer och rekommendationer för sjukhusprojekt används på regional såväl som nationell nivå? Detta är exempel på frågor som bör hanteras ifall förutsättningar för ett rekommendationssystem ska kunna skapas.

4.2 Möjlighet för AI att hjälpa användaren med rekommendationer och referensmått

Resultaten från workshopen visar hur deltagare, arkitekter och inredningsarkitekter såväl som verksamhetsrepresetanter, haft svårt att planera och sätta upp agendan för ViCoDE workshopen i samband med att skol- och vårdmiljöer utformas. Detta har observerats vid tillfällen när möblemang inte fanns tillgängligt men även vid tillfällen då deltagarna granskade möblerade ytor. I båda fallen har det visat sig hur möblemang bidrar till ökad diskussion under workshopen, då det blivit lättare för både verksamhetsrepresetanter och arkitekter att förstå frågor kopplat till flöde, rumsuppfattning och kunna identifiera dolda siktlinjer. Dock visar detta projekts resultat att även med möblerade virtuella miljöer, hur deltagarna upplever svårigheter med att genomföra workshopen med möblemang som huvudsakligt diskussionsunderlag. Mer specifikt har det framkommit under dessa workshops att deltagarna har svårt att säkerställa om huruvida den virtuella miljön granskas utifrån rätt frågeställningar. Dessa frågeställningar som huvudsakligen berör verksamhetsrelaterade frågor är vad som till stor del orsakar svårigheter med att planera, sätta upp agendan och kunna facilitera ViCoDE workshopar. På så sätt kan det argumenteras att bristande diskussionsunderlag i form av relevanta frågeställningar, gör det svårt att veta hur arbetssätt med ViCoDE bör läggas upp.

I bakgrund mot ovannämnda problem har de tester som gjorts med AI i detta projekt, och specifikt stora språkmodeller, visat att dess användning kan bidra till ökad förståelse för vilka frågor som kan vara relevanta att ställa under en ViCoDE workshop (se Tabell 4). Beroende på hur frågan ställs, kan rekommendationsarea för olika typer av rum ges från AI-språkmodellen, liksom övergripande rekommendationer och riktlinjer för hur rummet bör utformas (se Tabell 5). Genom att inkludera relevant formulering i form av att beskriva sammanhanget så undviker användaren skapa missförstånd för AI-språkmodellen.

Typrum (ca 15–20 st. Elever/klass)	Referensarea (Stockholms utbildningsförvaltning)	Rekommendationsarea (OpenAI – ChatGPT)
Träslöjdsal	140 m ²	90–120 m ²
NO-sal	75 m ²	60–80 m ²
Hemkunskap	80 m ²	100–120 m ²
Skolsköterska	20 m ²	15–20 m ²
Vilorum (för 1 elev)	10 m ²	15–20 m ²

Tabell 2: Jämförelse av referensmått för olika typer av rum i skolmiljöer mellan föreskrifter och vad AI-språkmodellen förse.

De rekommendationer som ges av språkmodellen avser både utrustningstunga rum som t.ex., musiksalar och hemkunskap men även mindre möblerade ytor som vilorum. De större skillnaderna i antal kvadratmeter som syns exempelvis för träslöjdsal men även vilorum kan förklaras bero på att språkmodellens rekommendationer bygger på generiska träningsdata. Med andra ord saknar språkmodellen kontextuell information för den fråga användaren ställer den, vilket i detta fall speglar sig i måttrekommendationer som i vissa fall kan skilja sig från den referensarea det jämförs med (dvs. Stockholms utbildningsförvaltning). På samma sätt visar nedanstående tabell (se Tabell 3) hur referensarea som kommer från olika nationella riktlinjer, bland annat Sverige (PTS) och Australien (AusHFG) skiljer sig åt de rekommendationer språkmodellen ger avseende olika typer av rum som förekommer.

Typrum (1 patient)	Referensarea (AusHFG/PTS/ NHS)	Rekommendationsarea (OpenAI – ChatGTP)
IVA (AusHFG)	25 m ²	25–30 m ²
Operationsrum (AusHFG/PTS)	60 m ²	40–50 m ²
Behandlingsrum (PTS)	16 m ²	20–25 m ²
Förlossningsrum (NHS) (PTS)	20 m ² 25 m ²	25–30 m ²

Tabell 3: Jämförelse av referensmått för olika typtrum i vårdmiljöer mellan föreskrifter och vad AI-språkmodellen förse.

Även olika typtrum som vanligtvis förekommer i skol- och vårdmiljöer utvärderades, med språkmodellen där frågorna formulerades vardagligt. Detta för att spegla frågor som uppkommit i samband med ViCoDE workshops där ovanstående utrustningstunga typtrum har granskats. Utöver detta innefattar språkmodellens rekommendationer inte bara allmänna riktlinjer och rekommendationer men även rekommendationsarea för diverse typtrum. Dessa jämfördes sedan med bland annat Stockholm och Göteborg stads egna föreskrifter och rekommendationer för att skapa en bättre förståelse för hur språkmodellens rekommendationer förhåller sig jämfört med befintliga rekommendationer som arkitekter utgår från.

Fråga till OpenAI: (1) "Vad bör jag tänka på i samband med att jag tar fram en ny träslöjdsal som är avsedd för 15 elever i årskurs 6 och som ska ta hänsyn till rullstolsbundna elever?" (2) "hur bör jag tänka kring flödet i träslöjdsalsrummet, så att varje elev har fritt runt arbetsytan och kan jobba på ett säkert sätt?"		
Typrum	Rekommendation och riktlinjer (SISAB/PBL/PBF/SKL)	Rekommendation (OpenAI – ChatGTP)
Träslöjdsal	(1) Specialsalar och andra gemensamma lokalresurser ska kunna anpassas så att alla elever kan få det stöd de behöver (SISAB – "goda exempel") (2) Utrustning/inredning placeras nåbart med underkant 900 – 1000 mm (PBL/SISAB)	(1) Säkerställ att alla elever inklusive de i rullstol, har enkelt tillgång till verktyg och material (2) Placera underkanten av arbetsbänkar och arbetsytor i intervallet 70 cm till 80 cm över golvet
Fråga till OpenAI: (1) "Vad är viktigt att ha i åtanke i utformning av NO-sal som är ombyggnation i befintliga skollokaler och inte nybyggnation?" (2) "Hur bör jag tänka på rullstolsbundna elever när jag tar fram en NO-sal sett till möblemang och vändmått för rullstol?"		
Typrum	Rekommendation och riktlinjer (SISAB/PBL/PBF/SKR)	Rekommendation (OpenAI – ChatGTP)
NO-sal	(1) Möjliggör för framtida förändring där delar av skolan upplåts till annan verksamhet (SISAB) (2) Lokalen bör ha dimensionerade vändmått för en mindre utomhusrullstol med cirkel på diameter 1,5 m, med fri passage på minst 0,8 m (PBL)	(1) Designa salen så att den är flexibel och kan anpassas för olika typer av experiment och undervisningssituationer (2) Dörröppningar bör vara tillräckligt breda för att en rullstol ska kunna passera. Enligt BBR (BBR 5:34) bör bredden på dörröppningar vara minst 0,9 m och vändutrymmen med diameter på minst 1,5 m (BBR 5:34)

Tabell 4: Jämförelse av de formuleringar tillgänglig i diverse föreskrifter för typrum i skolmiljöer och det underlag som genereras av AI-språkmodellen.

Utifrån tabellen går det att avläsa hur språkmodellens rekommendationer utifrån de ställda frågorna, berör flödet i rummet (t.ex., plats med arbetsstationer), framtidsäkra lokalernas utformning (t.ex., plats för olika typer av verksamhet i samma yta) men också rekommendationer kring framtagning av dedikerade ytor. En tolkning som följer är att dessa olika typer av rekommendationer som språkmodellen förser användaren med kan

ses som ytterligare diskussionsunderlag under ViCoDE workshops. En annan tolkning är att det kan hjälpa deltagare under ViCoDE workshops att säkerställa att de lyft fram olika typer av relevanta frågeställningar kopplat till rummets funktionalitet. Enkelt sagt, kan språkmodellens rekommendationer hjälpa verksamhetsrelaterade frågor lyftas fram och därigenom ge arkitekter och inredningsarkitekter bättre underlag i samband med att bärande struktur respektive inredning tas fram.

I samband med att svar på ovanstående frågor hämtades i diverse föreskrifter för utformning av skolmiljöer, blev det märkbart hur svaren inte fanns tillgängliga på ett och samma ställe. I praktiken innebär det att en motsvarighet till PTS, dvs. nationella föreskrifter för utformning av skolmiljöer, saknas. Istället har föreskrifter i form av råd och riktlinjer samlats i olika funktionsprogram som exempelvis Stockholm, Umeå och Göteborg stad har tillgängligt. Formuleringarna i dessa funktionsprogram inkluderar byggkrav (exempelvis från arbetsmiljöverket) såväl som allmänna råd och rekommendationer för olika typrum som exempelvis slöjdsal och musiksals. Dock skiljer sig formuleringarna för dessa olika typrum åt, där en del typrum innehåller enbart råd och rekommendationer tillsammans med byggkrav. Samtidigt kan formuleringarna för en del andra typrum (kemi, biologisal etc.) sakna råd och rekommendation kopplat till lokalens utformning. Resultatet är att en del typrum beskrivna i tillgängliga funktionsprogram skiljer sig tydligt åt från varandra, sett till råd och rekommendationer för hur rummen bör utformas. På så sätt innebär det att avsaknad, vaga eller annars otillräckliga beskrivningar för diverse typrum kan innebära att funktionsprogram framtagna i andra städer behöver nyttjas som underlag.

Med råd och rekommendationer för typrum samlade i funktionsprogram på olika delar i landet men även i olika kunskapsbank, t.ex., plan och bygglagen och boverkets byggregler, innebär det svårigheter att tillgängliggöra kunskap och erfarenheter för skolutformning på en och samma plattform. En konsekvens av detta blir att parter ansvariga för utformning av skollokaler (exempelvis arkitekter) riskerar missa ta hänsyn till nödvändiga råd och krav som faller inom deras ansvarsområde. En sådan miss kan bland annat leda till kostsamma byggändringar i senare skeden av projekteringen i samband med att designfel identifieras under granskning. Ytterligare en konsekvens kan vara att förutsättningarna för erfarenhetsåterföring mellan projekt blir utmanande att etablera och blir särskilt påtagligt när funktionsprogrammen för utformning av skolmiljöer inte är aktuella. I detta sammanhang kan det argumenteras att vagt formulerade råd och rekommendationer kopplade till olika typrum försvårar erfarenhetsföring ytterligare. Detta då vaga och generellt formulerade råd och krav kan tolkas på olika sätt och i och med att kunskap från genomförda projekt inte dokumenteras på nationell nivå (ex. identifierade designfel kopplat till hur olika råd och rekommendationer tolkats). En risk som då kan uppstå är att byggprojekt runtom i landet stöter på och upprepar samma typ av sena byggändringar när krav och råd ska tolkas för olika typrum.

Utifrån ovanstående utmaningar kan det argumenteras att med användning av AI-språkmodeller så finns det en möjlighet att tillgängliggöra mycket av de befintliga råd och rekommendationer som i dagsläget är utspridda, till ett och samma användargränssnitt. Ett användarvänligt gränssnitt för AI-språkmodeller, som exempelvis ChatGPT, möjliggör för fler parter än endast de ansvariga för utformningen, dvs. lokalutformare och arkitekter, att ta del av vilka råd och krav som gäller för olika typrum. Istället skulle verksamheten själva informeras om vilka råd och krav som gäller

och på så sätt få en mer medbestämmande roll i utformningen av deras lokaler. Ett exempel på ett sådant sammanhang där verksamhetens kan ha en medbestämmande roll och där deras kunskap och erfarenheter kan översättas till frågeställningar för användning i AI-språkmodellens användargränssnitt, är tidiga projektskeden. I tidiga skeden, då bärande struktur som exempelvis placering av innerväggar och fönster inte är bestämda, kan även hus- och inredningsarkitekter nyttja språkmodellens rekommendationer för att få till bättre beslutsunderlag och under ViCoDE workshops, tillsammans med verksamhet, få till mer träffsäkert diskussionsunderlag. Med andra ord kan det argumenteras att de svar språkmodellen ger, bör spegla projektets avgränsningar och mer specifikt fas i projektet.

Fråga till OpenAI: (1) "En ny intensivvårdsavdelning (IVA) ska tas fram, ge mig referensmått som jag bör ha i åtanke samt generella rekommendationer." (2) "Vart bör IVA placeras i förhållande till övriga vårdavdelningar?"		
Typrum	Rekommendation och riktlinjer (AusHFG/iHFG)	Rekommendation (OpenAI – ChatGTP)
IVA	För att få referensmått måste dessa hämtas från ritningar dvs. specifika illustrationer av specifika typrum (AusHFG). (Mått: ca. 1,2–1,5 m runt säng) Siktlinje till personalrummet krävs Naturligt ljus mot patientsängar krävs Då mobil röntgen förekommer, behöver medicinsk utrustning kunna skyddas från strålning (2) Placera IVA i samma ytor som specialintensivvårdsavdelningar för att nyttja verksamhet med likartade färdigheter (iHFG)	(1) 1,5–2 m runt säng för att möjliggöra lätt tillgång från alla sidor (1) Teknisk utrustning: elektriska uttag på strategiska platser för anslutning av medicinsk utrustning (2) Placera IVA-sal nära centrala enheter som operationssalar, röntgenrum och akutmottagning för snabb åtkomst
Fråga till OpenAI: (1) "Vart bör operationsrummet placeras i förhållande till övriga vårdavdelningar?" (2) "Vad är viktigt att ha i åtanke när jag utformar ett nytt operationsrum?"		
Typrum	Rekommendation och riktlinjer (AusHFG/iHFG)	Rekommendation (OpenAI – ChatGTP)
Operationsrum	(1) Placera dedikerade operationsrum bredvid varandra, kopplade till olika former av vård. Gemensam medicinsk utrustning som delas emellan ytorna kan vara fast eller mobil (iHFG) (1) Placering nära IVA, CIVA och slutenvårdsenheter (2) Externa fönster är önskvärt (AusHFG) (2) Patientsäng bör ha 1,2 m fritt runt säng samt 30 cm mellan fast inredning och vägg (iHFG)	(1) Placera operationsrum nära sterilcentralen och IVA för effektiv patientvård (2) Fönster naturligt ljus, om möjligt, med mörkläggningsmöjligheter (2) Justera arbetsytorna och stolar så att de passar olika användare (2) sidopassage på 1,2 m är ofta rekommenderat för att personal ska kunna röra sig fritt runt sängen och nå patienten från olika vinklar

Tabell 5: Jämförelse av de formuleringar tillgänglig i diverse föreskrifter för typrum i vårdmiljöer och det underlag som genereras av AI-språkmodellen.

Utifrån ovanstående tabell kan det ses hur AI-språkmodellen genererade råd och rekommendationer för olika vårdrelaterade typrum går i linje med de formuleringar som finns tillgängliga i befintliga föreskrifter. Dessa nationella föreskrifter har hämtats från bland annat Australien (AusHFG) (*Standard Components / AusHFG*, n.d.) och föreskrifter som är en internationell sammanslagning av föreskrifter från olika länder (iHFG) (*Home - International Health Facility Guidelines*, n.d.). I detta sammanhang skiljer sig råd och rekommendationer för vårdmiljöer åt från skolmiljöer. För vårdmiljöer finns de nationella råd och riktlinjerna, exempelvis som PTS i Sverige eller AusHFG i Australien, varvid för utformning av skolmiljöer är råd och rekommendationer begränsade till olika städers egna funktionsprogram. För både vård- och skolmiljöer behöver dock nationella byggkrav uppfyllas och i ett svenskt sammanhang innefattar detta bland annat BBR, PBL och PBF. Lik föreskrifterna för typrum i skolmiljöer är även råd och rekommendationerna för olika vårdmiljöer inte samlade på samma plats, utan behöver hämtas i olika delar av den nationella databasen. Ett exempel är mått hämtade i specifika illustrationer av typrummet, riktlinjer för hur rummet bör placeras i förhållande till övriga vårdtyr i ett separat dokument och byggkrav kopplat till typrummet som ska följas i ytterligare ett separat dokument. Detta gör att det blir svårt att ta till sig alla rekommendationer och krav.

Ytterligare en likhet med de råd och rekommendationer som ges för skolmiljöer, är att AI-språkmodellen besvarar användarens frågeställningar med svar som kan anses vara generiska och inte kontextuella. Den stora spridningen i svar beror huvudsakligen på en bristande kontextuell information, då språkmodellen är tränad på textbaserade föreskrifter från olika källor som exempelvis internationella föreskrifter för utformning av skol- och vårdmiljöer. För att därmed få användning av mer kontextuellt diskussionsunderlag, t.ex., frågor kopplat till det specifika typrum som arkitekter och verksamhet utformar och granskar tillsammans med verksamheten, krävs det att språkmodellen genererar mer precisa rekommendationer. I bakgrund mot detta har multimodala stora språkmodeller (MLLM) utforskats i detta projekt. Detta har skett i syfte att skapa en ökad förståelse för hur AI-språkmodeller som nyttjar mer än bara textbaserade filformat, som exempelvis bilder, kan generera rekommendationer som är mer sammanhangsbundna, t.ex., om huruvida det finns tillräckligt mycket avstånd mellan möbleman och hur det påverkar flödet för den specifika verksamhetslokal som granskas i ett projekt.

4.2.1 Multimodala AI-språkmodeller

För att adressera utmaningen med att generera mer kontextuella och precisa rekommendationer användes en multimodal modell i samband RAG-metoder. I ovan resultat presenterades generiska svar då språkmodellen fick fritt komma med rekommendationer utan att ha tillgång till de föreskrifter som gäller för rummet och med relativt lite information kring rummet. Därmed för att integrera extern kunskap till den multimodala språkmodellen kunde vidare information i form av föreskrifter och vyer av rummet i form av skärmdumpar användas.

Mer specifikt utvärderades användningen en multimodal språkmodell genom att utgå från byggnadsutformningen av en NO-sal i en svensk F-6 skola. För att integrera extern kunskap kring de specifika föreskrifter som gäller användes funktionskrav från

Stockholm stads funktionsprogram. En språkmodell fick därefter fritt analysera dessa föreskrifter för att hitta de som är mest applicerbara för rummet och sammanställa dessa till en lista. Eftersom de funktionskrav som var specificerade var aningen vagt formulerade fick modellen även tillägga egna rekommendationer till denna lista. Denna sammanställning av rekommendationer kombinerades sedan med skärmdumpar av NO-salen, tagna från olika vinklar med programvaran ViCoDE /BIMXplorer, se Figur 16. Detta gjordes för att skapa hela kontexten till modellen då den blir frågad att antingen generera relevanta frågor eller svar på frågor givet rummet och rekommendationerna.

Denna kombination av extern kunskap och visuella indata i form av bilder på rummet ger en mer träffsäker svarsqualité i samband med att användare ställer frågor kring utformningen av NO-salen. Exempel på dessa frågor som ställs till språkmodellen kopplat till NO-salen redogörs i nedanstående tabell (Tabell 6).

Fråga	Modellens svar
Hur många sittplatser innehåller klassrummet?	Baserat på listan över objekt i rummet och bilderna av klassrummet, innehåller klassrummet 28 stolar, vilket anger antalet möjliga sittplatser.
Ser alla tavlan och skärmen? Eller är det några stolar som har ryggen mot tavlan?	Alla stolar är placerade så att de är vända mot whiteboard-tavlan och TV-skärmen, vilket gör att alla elever kan se dessa.
Finns det tillräckligt med förvaring i klassrummet enligt föreskrifterna?	Baserat på bilderna och listan över objekt i rummet ser det ut att finnas tillräckligt med förvaring med tanke på högskåp, förvaringsskåp och köksskåp, vilket borde vara adekvat för klassrumsbehov enligt listan över bestämmelser.
Är det tillräckligt med utrymme runt bänkar och stolar för att kunna röra sig fritt i klassrummet enligt de bestämmelser som finns?	Ja, det verkar vara tillräckligt med utrymme runt borden och stolarna för att röra sig fritt, med tanke på layouten som visas i bilderna och mängden möbler som anges i listan.

Tabell 6: Svar genererade av AI-språkmodellen utifrån frågor ställda av användaren.

Utifrån tabellen ovan blir det tydligt att dessa har en relevans till klassrummets utformning på ett annat sätt än om AI-modellen endast fått indata i form av text och även en relevans till de föreskrifter som finns. Utifrån de bilder som AI-språkmodellen analyserade (se Figur 14) så kan mer kontextuellt relevanta svar genereras, jämfört med de mer generiska svaren som genereras när externa indata, dvs. föreskrifter, relevanta bilder, saknas.

Utöver att få svar på frågor kopplat till utformningen av rummet kan även språkmodellen generera relevanta frågor som användare kan tänkas utgå från i samband med en ViCoDE workshop. Dessa redogörs i tabellen nedan (tabell 7).

Genererade frågor med hjälp av MLLM för NO-sal (figur 14)
<i>“Har vi säkerställt tillräckligt med avstånd mellan bord och väggar för att underlätta säker rörelse och nödutrymning i enlighet med säkerhetsföreskrifterna?”</i>
<i>“Har vi tillräckligt med utrymme mellan borden för att upprätthålla rörelsefrihet och säkerhet, samt möjliggöra flexibel omkonfigurering av klassrumsuppställningen?”</i>
<i>“Har vi övervägt risken för reflektioner eller bländning som kan uppstå från placeringen av de stora fönstren i förhållande till de digitala skärmarna och elevernas sittplatser, och vilka åtgärder kan vi vidta för att minimera detta problem?”</i>
<i>“Har vi övervägt tillräcklig och ergonomiskt anpassat lagringsutrymme för både elever och lärare, med tanke på att det inte tycks finnas individuella skåp och att lärarens lagringsutrymmen verkar begränsade?”</i>

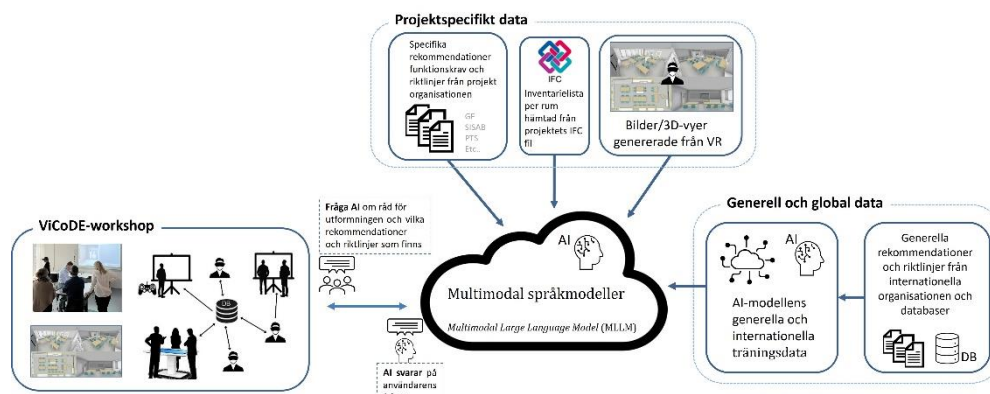
Tabell 7: Exempel på diskussionsunderlag som genereras av den multi-modala språkmodellen efter att analyserat typrummet.

Ovanstående frågor har språkmodellen genererat utifrån att kombinera föreskrifterna den fått analysera tillsammans med de befintliga föreskrifter den redan har. Resultatet blir skapandet av nya föreskrifter. I dessa nya föreskrifter har språkmodellen säkerställt att det inte finns några överlappande formuleringar i råd och rekommendationerna. I de fall där språkmodellens egna föreskrifter är ofullständiga och/eller saknas, prioriteras de importerade föreskrifterna, dvs. i detta fall formulering kopplat till olika delar av utformningen (t.ex., rumsstorlek, flöde) listade i Stockholm utbildningsförvaltnings funktionsprogram. På så sätt blir de importerade föreskrifterna som hjälper språkmodellen ha ett sammanhang att utgå från, viktiga. I syfte att bättre förstå hur dessa importerade föreskrifter kan hjälpa språkmodellen generera mer kontextuella svar har en jämförelse gjorts mellan språkmodellen som endast har stöd för text-baserat filformat (LLM) och språkmodellen som även har stöd för bilder som filformat (MLLM). Dessa skillnader redogörs i tabellen nedan (se Tabell 8).

NO-sal – jämförelse av svarsqualité mellan LLM och MLLM för NO-sal årskurs F-3			
LLM		MLLM	
Fråga	Svar	Fråga	Svar
Vad bör jag tänka på för att få ett bra logistikflöde i ett klassrum jag utformar för F-3 elever i en NO-sal?	Organisera och placera material så att de är lättillgängliga för eleverna. Skapa olika arbetsstationer för olika aktiviteter, som experiment eller grupparbete	Vad bör jag tänka på för att få ett bra logistikflöde i denna NO-sal?	Bordens och stolarnas nuvarande uppsättning verkar organiseras i grupper vilket främjar samarbete. Utrustning och material bör förvaras nära experimentområdet för att minimera rörelse för att hämta och lämna tillbaka saker
Vad är viktigt att tänka på i möblering av en NO-sal för F-3 elever ifall jag vill ha olika typer av verksamhet i samma lokal?	Placera bord och stolar i grupper eller par för att främja samarbete och interaktion mellan eleverna, men lämna tillräckligt med utrymme för att göra olika konfigurationer möjliga	Hur bör skrivborden i denna NO-sal vara placerade för att möjliggöra olika typer av verksamhet i lokalen?	För att möjliggöra samarbete kan bord grupperas i kluster om fyra (två bord bredvid varandra och två framför) för att skapa små arbetsstationer där elever kan arbeta i grupper. Alternativt kan man placera sex bord i en hexagonal formation.
Vad är viktigt att tänka på för att få till naturligt ljus i en NO-sal för årskurs F3?	Se till att det finns tillräckligt med välplacerade fönster i NO-salen för att maximera mängden naturligt ljus. Fönster bör placeras så att de sprider ljuset jämnt i rummet och minimerar bländning	Är placeringen och mängden naturligt ljus tillräcklig bra i detta klassrum för att ha positiv effekt på elevernas välbefinnande?	På de två högra bilderna syns flera fönster placerade högt upp på två av rummets väggar. Detta är positivt det tillhandahåller naturligt ljus. Takfönstren släpper in ljus utan att orsaka bländning på skrivborden

Tabell 8: Jämförelse av svar för samma typrum mellan de olika AI-språkmodellerna.

I tabell 8 ovan syns skillnaden i svar mellan de två olika typerna av språkmodeller. Även om frågorna som ställs till de olika språkmodellerna är likartade, genereras det mer nischade svar med MLLM. De ställda frågorna har varit förekommande under ViCoDE workshops, varför dessa valts. I detta sammanhang har det varit viktigt med att formulera frågorna på ett sådant sätt som är relevant för typrummets utformning. Här kan användarens egen kunskap om hur rummet bör utformas, styra hur de vill nyttja språkmodellen. Med andra ord styr användarens kunskap om rummets utformning vad för typ av underlag de vill få ut av AI-språkmodellen, vilket också påverkar hur användaren väljer att formulera frågorna. Med LLM kan frågorna vara mer generiskt formulerade, varvid för MLLM där skärmdumpar från VR-miljön analyserats, har frågorna formulerats utifrån specifika aspekter av rumsutformningen, t.ex., placering av skrivbord i andra frågan (tabell 8). I detta avseende blir det viktigt att formulera frågeställningarna på ett sådant sätt där användaren tydligt formulerar sig utifrån specifika aspekter av lokalutformningen, t.ex. specifika möbler, placering av fönster. I figuren nedan (se Figur 24) illustreras hur användningen av MLLM språkmodeller kan vara en del av framtida ViCoDE workshopar.



Figur 24: Visionsbild av hur multimodala AI-språkmodeller kan användas i ViCoDE workshops. Diskussionsunderlag kan då genereras i form av frågeställningar kopplat till de typrum som granskas i VR.

I och med att det är större spridning i svaren med LLM och mer projektbundna frågeställningar som genereras av MLLM språkmodeller, kan det argumenteras att de olika typerna av språkmodeller kan nyttjas i olika skeden av projektet. Med tidigare skeden av projektet kan mer generiska frågeställningar användas av arkitekten för att bättre förstå hur verksamheten jobbar och ta hänsyn till detta i samband med att förslag på lokalutformningen tas fram. Ett exempel på sådan förståelse för lokalutformningen kan vara hur och när specifika typrum i vårdmiljöer används och vart patienter brukar hamnar efter att besökt dessa olika typrum. Ett annat exempel är förståelse för vilken typ av utrustning som olika typrum (ex. triagerum, undersökningsrum) bör innehålla. Denna förståelse som fås via språkmodellen skulle då kunna utgöra en del av det diskussionsunderlag som arkitekten har när de presenterar olika förslag på lokalutformningen för verksamheten. På så sätt skulle en ökad förståelse för hur verksamheten jobbar i olika typrum, bidra till att mindre missförstånd uppstår kring exempelvis vad för utrustning olika typrum behöver men även hur befintliga ytor skulle kunna användas för olika typer av verksamhet.

I senare skeden av projekteringen, då möblering har lagts till i arkitektens förslag, skulle användningen av MLLM språkmodeller kunna bidra till ännu mer projektspecifikt diskussionsunderlag. Ett exempel är när arkitekten i ombyggnationer av befintliga lokaler vill veta av verksamheten hur olika rumsfunktioner kan lyftas ur under projektering, i syfte att frigöra utrymme eller omlokalisera olika delar av verksamheten. Samtidigt skulle verksamheten kunna använda MLLM språkmodeller för att själva bilda sig en bättre uppfattning för hur deras egna lokaler bör och kan påverkas. Med en ökad förståelse för vad som är möjligt att påverkas, får verksamheten bättre förutsättningar för att komma till tals i diskussioner med arkitekterna. Konsekvensen av detta skulle kunna bli att den typiskt förankrande roll verksamheten har i utformningen av de egna lokalerna, skulle skiftas över till en mer medbestämmande roll. Med en medbestämmande roll under projekteringen kan verksamhet få ökat ägandeskap i de beslut som tas och berör utformningen av deras framtida lokaler. Samtidigt innebär språkmodellens användning av föreskrifter tillsammans med vybilder av lokalerna att de råd och rekommendationer som genereras är relevanta utifrån projektets förutsättningar. Med en ökad förståelse för vad som går att påverka i utformningen av lokalerna och dessutom ha föreskrifter tillgängliga i ett och samma användargränssnitt, får verksamheten bättre förståelse för hur egna, personbundna preferenser förhåller sig gentemot projektets förutsättningar. En konsekvens av detta är att arkitekten får mer träffsäker och relevant återkoppling från verksamheten i samband med att exempelvis förslag ska granskas. En annan konsekvens är att verksamhetens användning av språkmodeller som stödjer text såväl som bildformat som filformat, skulle medföra ytterligare ett sätt att tillhandahålla återkoppling till arkitekten. Då ritningar kan upplevas som utmanande att granska, kan användning av språkmodellens användarvänliga gränssnitt vara ytterligare ett sätt för verksamheten att granska och ge återkoppling till arkitekten. Sammanfattningsvis kan det sägas att användningen av LLM och MLLM AI-språkmodeller möjliggör för ett mer inkluderande beslutsfattande, där verksamheten kan få en mer medbestämmande roll samtidigt som hänsyn till projektets förutsättningar kan tas.

5 Slutsats

Målet med detta forskningsprojekt har varit att skapa förutsättningar och en förståelse för brukarinvolvering i virtuella kollaborativa miljöer under projektering. För det första visar resultatet att det finns ett behov av nya arbetssätt då förutsättningarna för kollaborativt arbete mellan designansvariga och brukare i dagsläget är begränsade utan VR-system som ViCoDE. Båda typerna av aktörer upplever utmaningar med formuleringarna av dessa råd och rekommendationer för verksamhetslokaler, vilket försvårar tolkningen och dess användning i samband med lokalutformningen. För både skol- och vårdprojekt visar resultaten att det är svårt för både arkitekter och verksamhetsrepresanter att konkretisera vad effektiva verksamhetslokaler innebär utifrån de textbaserade föreskrifter som används som underlag. Ytterligare en anledning är bristen på användarvänliga användargränssnitt som möjliggör en gemensam förståelse för lokalutformningen mellan designansvariga och brukare. Ett sådant exempel är hur råd och rekommendationer såväl som byggkrav är inte samlade på en och samma plats och kan dessutom vara svårtillgängliga, vilket kan bland annat

leda till att förstå huruvida utformningen av verksamhetslokaler följer tillgängliga råd och rekommendationer.

Vidare visar resultaten att kvantitativa kravformuleringar för tytrum i PTS (dvs. krav på rumsstorlek, exakt avstånd mellan möbler/medicinsk utrustning, etc.) är datorkompatibla och därför möjliggör helt automatiserade kontroller. Genom att utnyttja ett regel-språk (dvs. språk som bygger på matematiskt logiska resonemang) kan detta koncept – i alla fall teoretiskt – även göra det möjligt för automatgenererade planlösningar. När de gäller de allmänt formulerade krav och riktlinjer (ex. beskrivningar som "tillräckligt bra") är det däremot svårt att enbart förlita sig på kvantitativa och logiska resonemang, och det är just kring dessa utmaningar som VR och ViCoDE erbjuder nya möjligheter att konkretisera dessa allmänt formulerade krav och riktlinjer i den virtuella miljön. Genom att utvärdera dessa allmänt formulerade krav och riktlinjer i VR kan det dessutom bildas en bättre förståelse för hur pass aktuella formuleringarna är i dessa krav och riktlinjer.

Ytterligare en slutsats är att VR-system som ViCoDE med stöd för VR-glasögon och interaktiv pekskärm såväl som enbart VR-glasögonen, ger upphov till frågor bland brukare som inte uppkommit i samband med att traditionella informations- och visualiseringsmedier har använts (t.ex., 2D ritningar, 3D modeller). Detta gäller brukare i både vård- och skolmiljöer med tidigare erfarenhet av att tolkat ritningar och som granskat utifrån 3D modeller (t.ex., lokalplanerare och projektledare) såväl som brukare som exempelvis verksamheten med bristande erfarenhet av att granskat och arbetat med dessa traditionella informations- och visualiseringsmedier. I dessa granskningssammanhang har befintligt, möblerade virtuella miljöer och interaktiva funktioner i VR (t.ex., flertal personer i samma VR-modell och möjligheten att möblera direkt i den virtuella miljön) lett till en ökad förståelse för hur byggnadsutformningen kan påverka verksamheten. Mer specifikt hämtas denna förståelse utifrån det scenario-baserade tillvägagångssättet som tillämpas vid dessa granskningssammanhang och som möjliggörs framförallt av de interaktiva funktionerna. Med scenario-baserad granskning i VR kan verksamheten få en medbestämmande och medskapande roll under projekteringen till skillnad från den typiskt förankrande roll de har i traditionella designprocesser. Följden av detta blir att verksamheten får ökat ägandeskap i utformningen av deras framtida lokaler.

En avslutande slutsats är att användningen av AI-språkmodeller i kombination med VR kan skapa projektspecifikt diskussionsunderlag i form av relevanta frågeställningar men även svar på användarfrågor kopplat till möblering och utformning av olika tytrum som förekommer i skolmiljöer. Den inputdata (dvs. föreskrifter i form av riktlinjer och råd, inventarielista för tytrummet hämtad från IFC-fil) som AI-språkmodellen i detta forskningsprojekt utgick ifrån för att generera projektspecifikt diskussionsunderlag, finns tillgängligt i både vård- och skolprojekt. Från detta följer att användningen av AI-språkmodeller under ViCoDE-workshops kan nyttjas i båda dessa typer av projekt, förutsatt att föreskrifter och IFC-fil finns tillgängligt. Med diskussionsunderlag och frågor som användaren ställer kring lokalutformningen kan AI-språkmodeller facilitera verksamhetens medbestämmande roll under projektering och därmed ägandeskap i frågor som berör utformningen av deras framtida verksamhetsytor.

5.1 Framtida arbete

I och med att målet med projektet har varit att skapa en förståelse för brukarinvolvering i virtuella kollaborativa miljöer i projekteringen så har sjukhusprojekt samt skolprojekt studerats. Dessutom, då detta arbete huvudsakligen haft verksamheten och dess representanters perspektiv när brukarinvolvering studerats, kan det vara av intresse hur designansvariga ser på brukarinvolvering (t.ex., arkitekter, BIM-koordinatorer). Exempelvis hur kan arkitekter få en ökad förståelse för vilken nivå av brukarinvolvering som är lämplig när VR används? Hur kan interaktiva funktioner i VR-modellen (ex. flytt av innerväggar, möblemang och flertal användare i samma VR-modell) skapa förutsättningarna för kollaborativa designprocesser där verksamheten kan få en medbestämmande, om inte en medskapande roll?

Det kan också vara av intresse att genomföra uppföljning på de sjukhusprojekt som studerats i detta projekt. Genom att utföra uppföljning på de studerade projekten kan det valideras huruvida återkoppling som arkitekt och BIM-koordinatorer fick från verksamheten faktiskt införlivades i den slutgiltiga lokalutformningen och ifall det inte gjordes, vilka faktorer som kan ha förhindrat det. Generellt finns det flera olika riktningar som framtida arbete kan ta när brukarinvolvering i virtuella kollaborativa miljöer studeras. Nedanstående punkter är några punkter av intresse:

- **AI som gränssnitt och hjälpmedel för att facilitera kollaborativa designprocesser:** Hur kan AI-språkmodeller användas under projekteringen av verksamhet såväl som arkitekter för att få en bättre förståelse för hur verksamhetslokaler bör utformas? I detta projekt observerades hur AI-språkmodeller kan generera projektspecifikt diskussionsunderlag när föreskrifter och vypunkter tagna från VR, tillsammans med projektets IFC fil analyseras av språkmodellen. Kan språkmodellens API kopplas upp mot VR-gränssnittet för att låta användare ta del av språkmodellens svar direkt i den virtuella miljön? Skulle detta i sin tur kunna möjliggöra granskning av tillgänglighetskrav för rullstol eller dagsljus i ViCoDE workshops? Samtidigt kan användningen av olika typer av AI-språkmodeller innebära olika typer av arbetssätt för användning av LLM respektive MLLM modeller. Exempelvis ett scenario-baserat tillvägagångssätt kan vara mer lämpligt i samband med utformningen av lokaler när MLLM används. Därmed kan det vara intressant att studera i riktiga projekt hur en integration av AI-språkmodeller i ViCoDE systemet kan skapa bättre förutsättningar för att låta verksamheten vara medskapare av de egna verksamhetslokalerna.
- **Detaljeringsgrad under designgranskning:** Utifrån den forskning som gjorts, argumenterar en del för hur verksamheten och dess representanter kan bli distraherade av VR-modeller med hög detaljeringsgrad och inte granskar de avsedda designfelen som är på agendan. Detta är en kontrast från de resultat som observerades i delstudie 1 och 2 där möblerade VR-modeller gav verksamheten och dess representanter en bättre förståelse för hur de olika lokalerna kunde komma att se ut. Vidare kunde det observeras i delstudie 1 hur VR-systemet ViCoDE hjälpte användarna att själva, med hjälp av interaktiva funktionen objektmanipulation, kunna lägga till och ta bort möblemang och därmed kunna bestämma den egna detaljeringsgraden. På så sätt kan det vara

av intresse att förstå hur en sådan interaktiv funktion påverkar designgranskning när den är tillgänglig i VR-glasögonen istället på pekskärmen.

- Datorgenererad möbleringsförslag:** I detta forskningsprojekt har möblerade VR-modeller observerats bidra till ökat diskussionsunderlag vid granskningstillfällen. Kan då automatiskt datorgenererade möbleringsförslag införlivas under projekteringen för att generera liknande diskussionsunderlag under ViCoDE-workshops? Med andra ord, kan de automatiskt datorgenererade möbleringsförslagen granskas av verksamheten i VR-gränssnittet? Hur hade en sådan automatiskt datorgenererad utformning av möblerade verksamhetslokaler kunnat korta ned projekttiden? Samtidigt kan det innebära att arkitektens typiska ansvar som byggnadsutformare övergår till en situation där dessa istället faciliterar ViCoDE-workshops när automatiskt datorgenererade möbleringsförslag genereras. I detta sammanhang kan det vara av intresse att förstå hur utvärdering av de datorgenererade förslagen i VR kan frigöra tid till fånga verksamhetens behov och hur detta kan resultera i att verksamheten får en mer medbestämmande roll.
- Granskning på fysiskt skilda platser VS samlokalisering:** i samtliga sjukhus- och skolprojekt detta forskningsprojekt studerat, har samtliga fall ägt rum i samlokaliseringssammanhang, med alla deltagare närvarande på samma fysiska plats. Hur hade granskningsarbetet påverkats ifall samtliga deltagare var på fysiskt skilda platser? Hur kan interaktiva funktioner då som objektmanipulering och flertal personer i samma VR-modell hjälpa deltagare att identifiera designfel och testa exempelvis flödet i samband med lokalutformningen? Kan verksamhet ha en medbestämmande eller medskapande roll även då olika parter befinner sig på fysiskt skilda platser? En del forskning har visat att designgranskning i VR på distans inte har någon påverkan på hur effektivt deltagarna identifierade designfel och kommunicerade med varandra (Johansson & Roupé, 2022). Därmed kan det vara av intresse att utreda hur interaktiva funktioner och granskning av lokalutformningen med VR på distans påverkar kollaborativa designprocesser.
- Framtagning av referensmodeller i VR:** I dagsläget är det underlag som arkitekter jobbar med för vård- såväl som skolmiljöer huvudsakligen textbaserade föreskrifter i form av råd och rekommendationer, t.ex., funktions- och lokalprogram för skolmiljöer och PTS för vårdmiljöer. Med främst textbaserat underlag som utgångspunkt får arkitekter sämre förutsättningar för att mer träffsäkert tolka de formuleringar som finns i dessa underlag. Detta blir särskilt påtagligt när det exempelvis saknas verksamhetsbeskrivningar för skolmiljöer. Kan då verksamhetens kunskap och erfarenheter tillgängliggöras i dessa underlag på ett mer effektivt sätt? Hur kan referensmodeller för olika typer, framtagna i VR av verksamheten förse arkitekter med bättre underlag när tidiga förslag på lokalutformningen tas fram? I ett sådant sammanhang kan verksamheten få möjligheten att ha en direkt inverkan på de föreskrifter som

arkitekter utgår från och därigenom få en mer medbestämmande och medskapande roll för de egna verksamhetslokalerna. I framtagningen av dessa referensmodeller så kan även de allmänt formulerade krav (t.ex. "tillräckligt bra", "flexibel för olika typer av verksamheter") bli konkretiserade. Följden av detta kan vara att skolans byggnadsutformning mer sannolikt följer de övergripande mål och riktlinjer som formuleras i läroplanen.

6 Referenser

- Al Zayer, M., MacNeilage, P., & Folmer, E. (2020). Virtual Locomotion: A Survey. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(6), 2315–2334.
<https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2887379>
- Arias, E., Eden, H., Fischer, G., Gorman, A., & Scharff, E. (2000). Transcending the individual human mind—creating shared understanding through collaborative design. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7(1), 84–113.
<https://doi.org/10.1145/344949.345015>
- Arnstein, S. R. (1969). A ladder of citizen participation. *Journal of the American Institute of Planners*, 35(4).
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*, 3(1), Article 1.
<https://doi.org/10.1609/icwsm.v3i1.13937>
- Baxter, P., & Jack, S. (2008). Qualitative Case Study Methodology: Study Design and Implementation for Novice Researchers. *The Qualitative Report*, 13(4), 544–559.
<https://doi.org/10.46743/2160-3715/2008.1573>
- Bjørn, P., Wulff, M., Peträus, M. S., & Møller, N. H. (2021). Immersive Cooperative Work Environments (CWE): Designing Human-Building Interaction in Virtual Reality. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 30(3), 351–391.
<https://doi.org/10.1007/s10606-021-09395-3>
- Bouchlaghem, D., Shang, H., Whyte, J., & Ganah, A. (2005). Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC). *Automation in Construction*, 14(3), 287–295.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.012>
- Bowen, G. A. (2009). Document Analysis as a Qualitative Research Method. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27–40. <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- Caixeta, M. C. B. F., Tzortzopoulos, P., & Fabricio, M. M. (2019). User Involvement in Building Design: A State-of-the-Art Review. *Pós. Revista Do Programa De Pós-Graduação Em Arquitetura E Urbanismo Da FAUUSP*, 26(48), 1–23.
- Capolongo, S., Gola, M., Brambilla, A., Morganti, A., Mosca, E. I., & Barach, P. (2020). COVID-19 and Healthcare Facilities: A Decalogue of Design Strategies for Resilient Hospitals. *Acta Bio Medica : Atenei Parmensis*, 91(9-S), 50–60.
<https://doi.org/10.23750/abm.v91i9-S.10117>
- Carreiro, M., & Pinto, P. (2013). *The Evolution of Representation in Architecture*. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Evolution-of-Representation-in-Architecture-Carreiro-Pinto/d0605326f41d7728df82e42a596b8cd374aef107>
- Carthey, J. (2021a). *Interprofessional user groups and the design of healthcare facilities* [Professional_doctorate, Queensland University of Technology].
<https://eprints.qut.edu.au/208078/>

- Carthey, J. (2021b). Participatory Design, Project Clients, and Healthcare User Groups. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 14(2), 96–108. <https://doi.org/10.1177/1937586720948462>
- Castronovo, F., Nikolic, D., Liu, Y., & Messner, J. (2013). *An evaluation of immersive virtual reality systems for design reviews*. <https://www.semanticscholar.org/paper/An-evaluation-of-immersive-virtual-reality-systems-Castronovo-Nikolic/dc89608cd0a1c3777acd8ee1d6bcd9942f045d2>
- Choguill, M. B. G. (1996). A ladder of community participation for underdeveloped countries. *Habitat International*, 20(3), 431–444. [https://doi.org/10.1016/0197-3975\(96\)00020-3](https://doi.org/10.1016/0197-3975(96)00020-3)
- Coburn, J. (2017). An Analysis of Enabling Techniques for Highly-Accessible Low-Cost Virtual Reality Hardware in the Collaborative Engineering Design Process. *Theses and Dissertations*. <https://scholarsarchive.byu.edu/etd/6804>
- Donetto, S., Penfold, C., Anderson, J., Robert, G., & Maben, J. (2017). Nursing work and sensory experiences of hospital design: A before and after qualitative study following a move to all-single room inpatient accommodation. *Health & Place*, 46, 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2017.05.001>
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building Theories from Case Study Research. *The Academy of Management Review*, 14(4), 532–550. <https://doi.org/10.2307/258557>
- Elf, M., Lindahl, G., & Anåker, A. (2019). A Study of Relationships Between Content in Documents From Health Service Operational Plans and Documents From the Planning of New Healthcare Environments. *HERD*, 12(3), 107–118. <https://doi.org/10.1177/1937586718796643>
- Feldstein, I. T., Kölsch, F. M., & Konrad, R. (2020). Egocentric Distance Perception: A Comparative Study Investigating Differences Between Real and Virtual Environments. *Perception*, 49(9), 940–967. <https://doi.org/10.1177/0301006620951997>
- Few, R., Brown, K., & Tompkins, E. L. (2007). Public participation and climate change adaptation: Avoiding the illusion of inclusion. *Climate Policy*, 7(1), 46–59. <https://doi.org/10.1080/14693062.2007.9685637>
- Fischer, G., Giaccardi, E., Eden, H., Sugimoto, M., & Ye, Y. (2005). Beyond binary choices: Integrating individual and social creativity. *International Journal of Human-Computer Studies*, 63(4), 482–512. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2005.04.014>
- Frelin, A., & Grannäs, J. (2022). Teachers' pre-occupancy evaluation of affordances in a multi-zone flexible learning environment – introducing an analytical model. *Pedagogy, Culture & Society*, 30(2), 243–259. <https://doi.org/10.1080/14681366.2020.1797859>
- Fröst, P., Gustavsson, A., Eriksson, J., & Bohlin, I. (2017). *Designdrivna dialoger för arkitektur och samhällsbyggnad*. <https://research.chalmers.se/en/publication/253630>
- Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., & Wang, H. (2023). *Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey* (arXiv:2312.10997). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.10997>

- Gîrbacia, F., Beraru, A., Talabă, D., & Mogan, G. (2012). Visual Depth Perception of 3D CAD Models in Desktop and Immersive Virtual Environments. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTERS COMMUNICATIONS & CONTROL*, 7(5), Article 5.
- Granath, J., Lindahl, Göran, & Rehal, Saddek. (1996). From Empowerment to Enablement—An evolution of new dimensions in participatory design. *Logistik Und Arbeit*.
- Hartmann, T., Gao, J., & Fischer, M. (2008). Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(10), 776–785. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2008\)134:10\(776\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:10(776))
- Heath, C., Hindmarsh, J., & Luff, P. (2010). *Video in Qualitative Research: Analysing Social Interaction in Everyday Life*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781526435385>
- Hermund, A., Klint, L., & Bundgård, T. S. (2017, November). *Speculations on the representation of architecture in virtual reality*. <https://www.dropbox.com/s/7v0it1riy0dw734/Back%20to%20the%20Future-The%20Next%2050%20Years.pdf?dl=0>
- Hevner, A. (2007). A Three Cycle View of Design Science Research. *Scandinavian Journal of Information Systems*, 19(2). <https://aisel.aisnet.org/sjis/vol19/iss2/4>
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148625>
- Home—International Health Facility Guidelines. (n.d.). Retrieved February 6, 2024, from <https://www.healthfacilityguidelines.com/>
- Horvat, N., Kunnen, S., Štorga, M., Nagarajah, A., & Škec, S. (2022). Immersive virtual reality applications for design reviews: Systematic literature review and classification scheme for functionalities. *Advanced Engineering Informatics*, 54, 101760. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101760>
- Johansson, M. (2016). *From BIM to VR – the Design and Development of BIMXplorer* [Ph.D., Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden)]. <https://www.proquest.com/docview/2402508405/abstract/2DCFCC287A74EEDPQ/1>
- Johansson, M., & Roupé, M. (2022). VR in Construction – Multi-User and Multi-Purpose. *Proceedings of the 22nd International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 2022)*, 22, 248–259. <https://research.chalmers.se/en/publication/533824>
- Johansson, M., & Roupé, M. (2024). Real-world applications of BIM and immersive VR in construction. *Automation in Construction*, 158, 105233. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105233>
- Kim, T. W., Cha, S. H., & Kim, Y. (2016). A framework for evaluating user involvement methods in architectural, engineering, and construction projects. *Architectural Science Review*, 59(2), 136–147. <https://doi.org/10.1080/00038628.2015.1008397>

- Kvale, S. (2007). *Doing Interviews*. SAGE Publications, Ltd.
<https://doi.org/10.4135/9781849208963>
- Lapointe, J.-F., Vinson, N. G., Katsuragawa, K., & Emond, B. (2021). A Review of Distributed VR Co-design Systems. In J. Y. C. Chen & G. Fragomeni (Eds.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality* (Vol. 12770, pp. 499–510). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77599-5_34
- Larsen, A. S. A., Karlsen, A. T., Andersen, B., & Olsson, N. O. E. (2021). Exploring collaboration in hospital projects' front-end phase. *International Journal of Project Management*, 39(5), 557–569. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2021.04.001>
- Lin, W. Y. (2023). Prototyping a Chatbot for Site Managers Using Building Information Modeling (BIM) and Natural Language Understanding (NLU) Techniques. *Sensors*, 23(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/s23062942>
- Lindahl, G., Phiri, M., Mills, G., Fröst, P., Strid, M., & Price, A. (2010). Quality Innovation & Evidence in Healthcare Physical Environments in England & Sweden—Establishing a Collaborative Roadmap. *Better Healthcare through Better Infrastructure, 3rd Annual Conference of the Health and Care Infrastructure Research and Innovation Centre, 22-24 September 2010, Edinburgh, Scotland*.
<https://research.chalmers.se/en/publication/132223>
- Liu, H., Cheng, J. C. P., Gan, V. J. L., & Zhou, S. (2022). A knowledge model-based BIM framework for automatic code-compliant quantity take-off. *Automation in Construction*, 133, 104024. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104024>
- Liu, Y., Castronovo, F., Messner, J., & Leicht, R. (2020). Evaluating the Impact of Virtual Reality on Design Review Meetings. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(1), 04019045. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000856](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000856)
- Lockley, S., Benghi, C., & Černý, M. (2017). Xbim.Essentials: A library for interoperable building information applications. *The Journal of Open Source Software*, 2(20), 473. <https://doi.org/10.21105/joss.00473>
- Mastrolembu Ventura, S., Castronovo, F., Nikolic, D., & Ciribini, A. L. C. (2019). A framework of procedural considerations for implementing virtual reality in design review: 2019 European Conference on Computing in Construction. *European Conference on Computing in Construction*, 442–451.
<https://doi.org/10.35490/EC3.2019.160>
- Mills, G. R. W., Phiri, M., Erskine, J., & Price, A. D. F. (2015). Rethinking healthcare building design quality: An evidence-based strategy. *Building Research & Information*, 43(4), 499–515. <https://doi.org/10.1080/09613218.2015.1033880>
- Morgan, H. (2022). Conducting a Qualitative Document Analysis. *The Qualitative Report*, 27(1), 64–77. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2022.5044>
- Mourshed, M., & Zhao, Y. (2012). Healthcare providers' perception of design factors related to physical environments in hospitals. *Journal of Environmental Psychology*, 32(4), 362–370. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2012.06.004>

- Nikolić, D., & Whyte, J. (2021). Visualizing a New Sustainable World: Toward the Next Generation of Virtual Reality in the Built Environment. *Buildings*, 11(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/buildings11110546>
- Nordstrand, U. (2000). *Byggprocessen*. Liber.
- Olsson, N. O. E., Hansen, G. K., & Blakstad, S. H. (2022). Who are the users? User categorisations and implications on building performance measurement. *International Journal of Public Sector Performance Management*, 10(4), 566–579. <https://doi.org/10.1504/IJPSPM.2022.126408>
- Paes, D., Arantes, E., & Irizarry, J. (2017). Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. *Automation in Construction*, 84, 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.016>
- Paes, D., Irizarry, J., Billingham, M., & Pujoni, D. (2023). Investigating the relationship between three-dimensional perception and presence in virtual reality-reconstructed architecture. *Applied Ergonomics*, 109, 103953. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103953>
- Paes, D., Irizarry, J., & Pujoni, D. (2021). An evidence of cognitive benefits from immersive design review: Comparing three-dimensional perception and presence between immersive and non-immersive virtual environments. *Automation in Construction*, 130, 103849. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103849>
- Pandey, N., Kaushal, V., Puri, G. D., Taneja, S., Biswal, M., Mahajan, P., Guru, R. R., Malhotra, P., Sehgal, I. S., Dhoooria, S., Muthu, V., & Agarwal, R. (2020). Transforming a General Hospital to an Infectious Disease Hospital for COVID-19 Over 2 Weeks. *Frontiers in Public Health*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2020.00382>
- Pemsel, S., Widén, K., & Hansson, B. (2010). Managing the needs of end-users in the design and delivery of construction projects. *Facilities*, 28(1/2), 17–30. <https://doi.org/10.1108/02632771011011378>
- Phiri, M., & Chen, B. (2014). Conclusions. In M. Phiri & B. Chen (Eds.), *Sustainability and Evidence-Based Design in the Healthcare Estate* (pp. 259–268). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39203-0_6
- Preidel, C., & Borrmann, A. (2016). Towards code compliance checking on the basis of a visual programming language. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 21(25), 402–421.
- Qu, S. Q., & Dumay, J. (2011). The qualitative research interview. *Qualitative Research in Accounting & Management*, 8(3), 238–264. <https://doi.org/10.1108/11766091111162070>
- Roupé, M. (2013). *Development and Implementations of Virtual Reality for Decision-making in Urban Planning and Building Design* [Ph.D., Chalmers Tekniska Högskola (Sweden)]. <https://www.proquest.com/docview/2422164522/abstract/9BB4FC36D46D4860PQ/1>

- Roupé, M., Johansson, M., Maftai, L., Lundstedt, R., & Viklund-Tallgren, M. (2020). Virtual Collaborative Design Environment: Supporting Seamless Integration of Multitouch Table and Immersive VR. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(12), 04020132. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001935](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001935)
- Roupé, M., Johansson, M., Miedema, E., Karlsson, S., Tan, L., Lindahl, G., & Hammarling, C. (2019). *Exploring different design spaces—VR as a tool during building design*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Exploring-different-design-spaces-VR-as-a-tool-Roup%C3%A9-Johansson/2bb6c64f7d9927bf181b3651535216bfcd596aa2>
- Saka, A. B., Oyedele, L. O., Akanbi, L. A., Ganiyu, S. A., Chan, D. W. M., & Bello, S. A. (2023). Conversational artificial intelligence in the AEC industry: A review of present status, challenges and opportunities. *Advanced Engineering Informatics*, 55, 101869. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101869>
- Saka, A., Taiwo, R., Saka, N., Salami, B. A., Ajayi, S., Akande, K., & Kazemi, H. (2023). GPT models in construction industry: Opportunities, limitations, and a use case validation. *Developments in the Built Environment*, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100300>
- Saka, A., Taiwo, R., Saka, N., Salami, B. A., Ajayi, S., Akande, K., & Kazemi, H. (2024). GPT models in construction industry: Opportunities, limitations, and a use case validation. *Developments in the Built Environment*, 17, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100300>
- Salonen, H., Lahtinen, M., Lappalainen, S., Nevala, N., Knibbs, L. D., Morawska, L., & Reijula, K. (2013). Physical characteristics of the indoor environment that affect health and wellbeing in healthcare facilities: A review. *Intelligent Buildings International*, 5(1), 3–25. <https://doi.org/10.1080/17508975.2013.764838>
- Sateei, S. (2023). *Virtual Collaborative Design Environment: Information structure and interfaces* [Chalmers University of Technology]. <https://research.chalmers.se/en/publication/535923>
- Sateei, S., Eriksson, J., Roupé, M., Johansson, M., & Lindahl, G. (2021). How Virtual Reality is used when involving healthcare staff in the design process. *Proceedings of the Conference CIB W78*, 38, 419–428. <https://research.chalmers.se/en/publication/530022>
- 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>
- Sateei, S., Roupé, M., & Johansson, M. (2022, July 24). *An ontological approach for a recommendation system of a requirement tool: The case of a national standard framework for hospital design*. 2022 European Conference on Computing in Construction. <https://doi.org/10.35490/EC3.2022.205>
- 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

Sateei, S., & Sundquist, V. (2022). Knowledge Integration Through Resource Combining: The Case of a National Standard Framework for Hospital Design. *Proceedings 38th Annual ARCOM Conference*. 38th Annual ARCOM Conference, Glasgow. <https://research.chalmers.se/en/publication/535144>

Soliman-Junior, J., Tzortzopoulos, P., & Kagioglou, M. (2022). *Automated Regulatory Compliance towards Quality Assurance in Healthcare Building Projects*. 1101(8). Scopus. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/8/082012>

Standard Components / AusHFG. (n.d.). Retrieved February 6, 2024, from <https://healthfacilityguidelines.com.au/standard-components>

Steuer, J. (1992). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73–93. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>

Tétreault, M.-H., & Passini, R. (2003). Architects' Use of Information in Designing Therapeutic Environments. *Journal of Architectural and Planning Research*, 20(1), 48–56.

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>

Tzortzopoulos, P., Cooper, R., Chan, P., & Kagioglou, M. (2006). Clients' activities at the design front-end. *Design Studies*, 27(6), 657–683. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2006.04.002>

Uddin, S. M. J., Albert, A., Ovid, A., & Alsharef, A. (2023). Leveraging ChatGPT to Aid Construction Hazard Recognition and Support Safety Education and Training. *Sustainability*, 15(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/su15097121>

You, H., Ye, Y., Zhou, T., Zhu, Q., & Du, J. (2023). *Robot-Enabled Construction Assembly with Automated Sequence Planning based on ChatGPT: RoboGPT* (arXiv:2304.11018). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.11018>

Zhang, R., & El-Gohary, N. (2022). Natural language generation and deep learning for intelligent building codes. *Advanced Engineering Informatics*, 52, 101557. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101557>

Zhong, B., He, W., Huang, Z., Love, P. E. D., Tang, J., & Luo, H. (2020). A building regulation question answering system: A deep learning methodology. *Advanced Engineering Informatics*, 46, 101195. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101195>

SMART BUILT
ENVIRONMENT

Med stöd från



Strategiska
innovations-
program