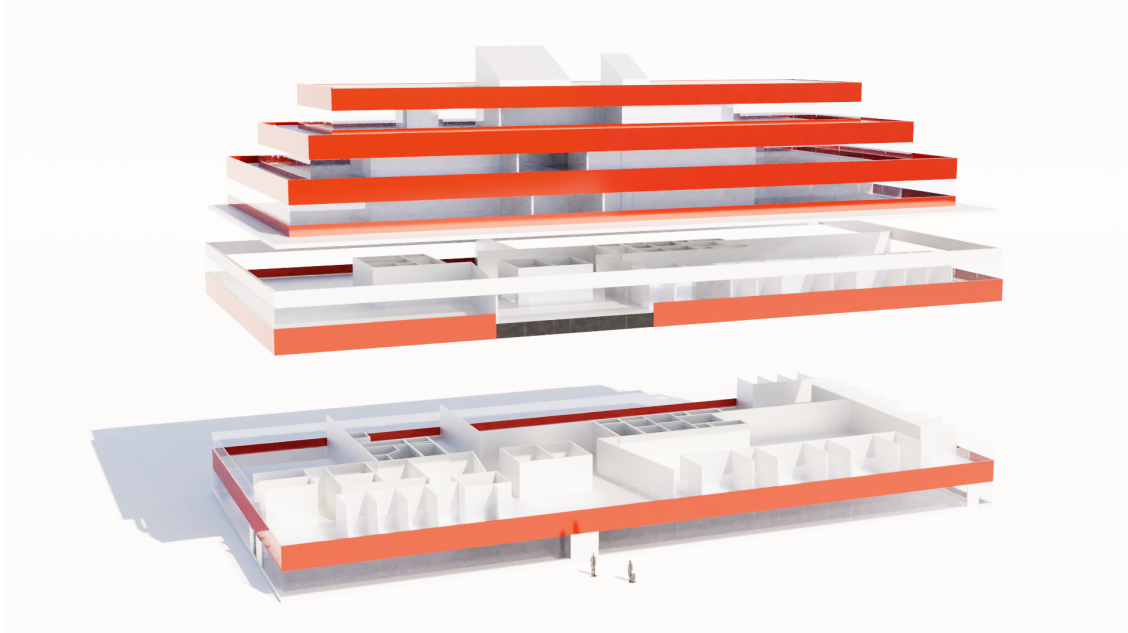




CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Digital tvilling som verktyg i fastighetsförvaltning

Studie av nyttan av användning och förbättrad kommunikation genom visualisering av rumstemperatur och tilluftsflöde applicerad i en egenutvecklad applikation

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik

JOHAN CARLSSON
AXEL HJELMQVIST
PETTER LUNDH
EMMA STRIDH
FILIPPA TINMARK

KANDIDATARBETE I SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK 2021

Digital tvilling som verktyg i förfastighetsförvaltning

Studie av nyttan av användning och förbättrad kommunikation
genom visualisering av rumstemperatur och tilluftsflöde applicerad i
en egenutvecklad applikation

Johan Carlsson
Axel Hjelmqvist
Petter Lundh
Emma Stridh
Filippa Tinmark



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Samhällsbyggnadsteknik
ACEX10
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021

Digital tvilling som verktyg i förfastighetsförvaltning

Kandidatarbete i Samhällsbyggnadsteknik 2021

Johan Carlsson
Axel Hjelmqvist
Petter Lundh
Emma Stridh
Filippa Tinmark
© 2021

Supervisor: Liane Thuvander, Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Examinator: Monica Billinger, Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

ACEX10
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg

Abstract

The property management industry is conservative and far behind in the digital development compared to many other industries. Previously, there has not been a need for property managers to be innovative or keep up with technical advancement to remain competitive within the industry. Lately the demands regarding innovation have increased because of the energy- and environmental topics that are prioritized by the society. This report investigates the pros and cons as well as the potential value of a digital twin within property management. More specifically the potential benefits a digital twin may add regarding economy, lifespan and efficiency.

To get an insight into today's property management, various companies in the industry are interviewed. The interviews focus on what challenges there are and how digital innovation could improve property management. The progress with digital twins that are brought up in the interviews are how the collection of data from sensors combined with visualisation can benefit property management from an economic and sustainable perspective. The purpose of this report is to investigate how digital property management and digital twins can be utilized and the reasons to why digital twins are not used to a greater extent. The report also examines how data from a property can be visualized to optimize property management

This report investigates the subject through literature studies, interviews with companies in the industry, a case study conducted with the digital twin A Working Lab and visualization in the program Unreal Engine 4. To delimit, the report examines only two parameters, temperature and airflow. Conclusions reached in the report are that digital twins would be a helpful tool in many aspects but it is not yet widely used by property managers cause the initial investment is considered expensive.

Sammanfattning

Fastighetsbranschen är konservativ och ligger långt efter i den digitala utvecklingen jämfört med andra branscher. Tidigare har det inte funnits ett behov för fastighetsskötare att följa med den innovativa och tekniska utvecklingen för att vara konkurrenskraftiga inom branschen. Kraven för utveckling har ökat på grund de av energi- och miljöfrågor som prioriteras av samhället. I den här rapporten så undersöks de fördelar och den potential som finns med digital fastighetsförvaltning. Mer specifikt undersöks möjligheterna till optimering av fastighetsförvaltning genom användning av en digital tvilling. De perspektiv som tas upp är ekonomi, livslängd och effektivitet.

För att få en inblick av hur fastighetsförvaltningsbranschen ser ut idag, intervjuas olika aktörer inom branschen. Intervjuerna fokuserar på vilka utmaningar det finns och hur olika digitala utvecklingar inom fastigheter skulle kunna förbättra fastighetsförvaltningen. De digitala utvecklingar arbetet främst fokuserat på i intervjuerna är hur insamling av data från sensorer i fastigheter samt digitala tvillingar kan gynna fastighetsförvaltningen ur ett ekonomiskt och hållbart perspektiv. Rapportens syfte är att utreda hur digital fastighetsförvaltning och digitala tvillingar kan nyttjas samt orsakerna till att digitala tvillingar inte används i större utsträckning. Rapporten undersöker även hur data från en fastighet kan visualiseras för att optimera fastighetsförvaltning.

Metoder använda i rapporten innefattar en fallstudie med en digital tvilling på A Working Lab, litteraturstudie, intervjuer och visualisering i programmet Unreal Engine 4. Digitala tvillingar har ett brett användningsområde för fastigheter och därför har rapporten avgränsats till digitala tvillingar inom fastighetsförvaltning. För att avgränsa undersöker rapporten endast två parametrar, temperatur och luftflöde. Slutsatser som gjorts är att en digital tvilling kan vara hjälpsam i effektiviseringen och optimeringen av fastighetsförvaltning. Däremot är det i dagsläget inte vanligt att förvaltare använder digitala tvillingar eftersom den initiala investeringen anses kostsam trots att det på lång sikt kan löna sig.

Ordlista

API - Application Programming Interface

AR - Augmented Reality

AWL - A Working Lab

BIM - Byggnadsinformationsmodellering (Building Information Modelling)

CFD - Computational Fluid Dynamics

OSBSS - Open Source Building Science Sensor

VOC - Volatile Organic Compund

VR - Virtual Reality

Förord

Detta kandidatarbete blir gruppens avslutande del av kandidatexamen inom Samhällsbyggnad på Chalmers Tekniska Högskola. Kandidatarbetet är även relaterat DTCC, Digital Twin Cities Centre. Vi vill först och främst tacka vår examinator Monica Billinger och handledare Liane Thuvander som varit till stor hjälp under arbetets gång. Liane har tagit sig tid att stötta oss, kommit med konstruktiv kritik och väglett oss genom hela arbetet. Vi vill även tacka Thorbjörn Persson och Ebba Kullin på Akademiska Hus då de har gett oss en inblick i hur Akademiska Hus ser på framtidens fastighetsförvaltning. Sist men inte minst vill vi tacka de personer på Skanska, Finnvedsbostäder, Higab, Stena Fastigheter och Västerstaden som ställde upp på intervjuer där vi fick en god inblick i fastighetsbranschens syn på fastighetsförvaltning och dess framtid.

Johan Carlsson, Axel Hjelmqvist, Petter Lundh, Emma Stridh och Filippa Tinmark
Göteborg, Maj 2021.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	2
1.1	Fördjupad bakgrund	3
1.1.1	Digitalisering inom fastighetsförvaltning	3
1.1.2	Digital tvilling	3
1.1.3	BIM - Building Information Modelling	4
1.1.4	Visualisering	4
1.1.5	Akademiska Hus - A Working Lab	5
1.2	Utmaningar som hindrar digitalisering	6
1.3	Syfte	7
1.4	Samhälliga och etiska aspekter	8
1.5	Arbetsfördelning	9
2	Metod	10
2.1	Intervjuer	10
2.2	Visualisering	11
2.3	Data	11
3	Resultat	12
3.1	Intervjuer	12
3.1.1	Utmaningar med fastighetsförvaltning i dagsläget	12
3.1.2	Digital fastighetsförvaltnings appliceringsområden	12
3.1.3	Digitala tvillingar i fastighetsbranschen	13
3.1.4	Sensorer för insamling av data i fastigheter	14
3.1.5	Användning av AR och VR i fastighetsbranschen	15
3.1.6	Digitala tvillingar och digitala fastighetsförvaltningens ekonomiska nytta	15
3.2	Datavisualisering i Unreal Engine 4	17
3.2.1	Visualisering av temperatur	17
3.2.2	Visualisering av temperatur och tilluftsflöde	21
3.3	Jämförelse av detaljnivå för en 3D modell	23
4	Diskussion	27

4.1	Nyttan av digital fastighetsförvaltning	27
4.1.1	Digitala tvillingars nytta	27
4.1.2	Ekonomisk vinning	28
4.1.3	Optimering av livslängd genom digitala tvillingar	29
4.1.4	Utmaningar för digital fastighetsförvaltning	30
4.1.4.1	Digitala tvillingars utmaningar	30
4.2	Kommunikationen av datan i 3D modellen	32
4.3	Jämförelse mellan BIM och förenklad 3D-modell	35
4.3.1	BIM och dess användning inom fastighetsförvaltning	36
4.3.2	Sensorer och datainsamling	36
5	Slutsats	37
6	Referenser	39

1

Introduktion

Fastighetsbranschen är konservativ och ligger efter många andra branscher i den tekniska utvecklingen. Fastighetsskötare har inte tidigare behövt vara innovativa eller hänga med den tekniska utveckling som funnits i många branscher för att kunna vara konkurrenskraftiga på marknaden (Kytömäki, 2020). Dock ökar kraven och förväntningarna på innovation och digitalisering inom fastighetsförvaltningen i takt med samhällets prioritering av energi- och miljöfrågor. (Reuter Dahl, 2014)

I och med samhällets ökade krav är det dags för fastighetsbranschen att hitta nya innovationer för att minska sitt klimatavtryck och samtidigt vara konkurrenskraftiga på marknaden. Digital fastighetsförvaltning och digitala tvillingar kombinerat med data-set från sensorer skulle kunna vara ett kraftigt verktyg för fastighetsförvaltare att lyckas med just detta. Digitala system kan optimera energiförbrukning för både ekonomisk vinning samt minskat klimatavtryck. Även digitala tvillingar skulle ge fastighetsförvaltare en ekonomisk fördel på marknaden då det kan minska ledtider och fortskynda problemlösning.

I detta kandidatarbete undersöks därför hur digitalisering i fastigheter och hur digitala tvillingar kan göra fastighetsförvaltningen bättre med avseende på ekonomi och effektivitet. Arbetet möjliggörs med hjälp av litteratur, intervjuer med olika aktörer inom branschen och en egenutvecklade digital tvilling av byggnaden AWL, A Working Lab, i Johanneberg. Byggnaden AWL har utplacerade sensorer vars uppgift är att informera fastighetsförvaltaren om hur byggnaden presterar. Sensorerna samlar in mätvärden i form av rumstemperatur, närvaro, tilluftsflöde, kanaltemperatur, koldioxidhalt, luftfuktighet (inomhus) och VOC-halt. Placeringen av sensorerna är utspridda över hela byggnaden på varje våningsplan och i olika rum. Totalt samlas det in cirka 2100 olika mätvärden i AWL byggnaden.

Den egenutvecklade digitala tvillingen av AWL gjordes i en renderingsmotor som heter Unreal Engine 4. Syftet med en egenutvecklade digital tvilling var att kunna experimentera med visualisering av data från en fastighet i en 3D-modell och få en känsla av hur en digital tvilling skulle kunna användas inom fastighetsförvaltning.

1.1 Fördjupad bakgrund

Byggnation av nya fastigheter medför stor miljöpåverkan i form av utsläpp från materialtillverkning, transport och konstruktion (Gustafsson, Heiker, Sjöstedt, Strutz, 2019). Därför är det viktigt att sträva efter att ha en så lång livstid för fastigheter som möjligt. Förvaltning behövs för att en fastighet ska vara funktionell och lönsam under en längre tid. Utan drift och underhåll kan stora ekonomiska och funktionella konsekvenser tillkomma. Underhåll försäkrar att fastigheten kommer att vara i funktion under hela sin förväntade livslängd.

1.1.1 Digitalisering inom fastighetsförvaltning

Fastighetsbranschen är ofta förknippad med att vara långsam och konservativ i många avseenden, framförallt när det kommer till att implementera digitalisering (Carlsson, Johansson, 2018). Branschen var till exempel sist med att implementera 3D modeller i sin verksamhet (Ahlqvist, 2018). Yrkesområdet har utvecklats i flera tusen år vilket förklarar varför den är präglad av normer och traditioner. Inom fastighetsförvaltningen finns en utbredd uppfattning av att förändring inte behövs vilket är ett problem eftersom det lämnar lite utrymme för utveckling. Historiskt sett har byggföretag därför gjort relativt små investeringar på digitalisering i jämförelse med andra branscher. Ett exempel är bilindustrin som i många år har satsat på digitalisering, detta har gett upphov till en industri där både produktionen samt produkterna är högt digitaliserade (Olson och Ruzixka, 2019). När det kommer till implementering av digital fastighetsförvaltning är det kundernas efterfrågan som styr den digitala utvecklingen. Historiskt sett har ingen efterfrågan funnits för digital fastighetsförvaltning. Låg efterfrågan tillsammans med en konservativ byggbransch har gett upphov till långsam utveckling av digital fastighetsförvaltning (Ahlqvist, 2018).

1.1.2 Digital tvilling

Digital tvilling är en digital kopia av något som finns i verkligheten, det kan vara en kopia på allt från en hel stad till ett litet fordon. Digitala tvillingen används för att kunna visualisera samt simulera händelser, till exempel luftflöde eller hållfasthet. Detta för att spara tid och pengar då digitala tvillingar kan optimera en produkt eller objekt tidigt i projekteringsfasen. Första digitala tvilling-konceptet introducerades 2002 av Michael Grieves (Grieves, Vickers, 2016). Begreppet har innan dess även hittats redan på 1990-talet i flertalet medicinska och ingenjörssapplikationer.

Ursprunget till en tvilling var till en början ofta i pappersform och användes främst i syfte för produktdesign och produktion. Informationen var begränsad men i takt med teknikens utveckling blev det möjligt att göra digitala tvillingar av objekt istället för fysiska. Den digitala tvillingen blev ett effektivt verktyg för att modellera objekt och köra simulationer (Ketzler, Latino, Logg, Naserntin, Thuvander, Zangeldis, 2020).

1.1.3 BIM - Building Information Modelling

BIM är en form av digital tvilling som aktörer inom byggbranschen har börjat använda, exempelvis Skanska (Trimble/Tekla, 2020). Med hjälp av BIM-tekniken kan digitala modeller av byggnadsverk skapas där exakt information om exempelvis geometri och material lagras. Alla 3D-modeller av byggnader är dock inte BIM-modeller. Det som utmärker en BIM-modell är att det ska stödja konstruktion, inköp och tillverkning. I och med att modellen kan förses med olika typer av information och egenskaper kan modellerna användas till flera ändamål och gynna olika typer av aktörer.

BIM används dock inte överallt i projekteringen av nya byggnader och det beror till stor del på den bristande kunskapen och viljan för implementering (Trimble/Tekla, 2020). Detta gör det ännu svårare för fastighetsförvaltare att få tillgång till BIM-modellen och nyttja den i förvaltningen. Det uppkommer även problem att hålla informationen tillgänglig då programvaran ständigt uppdateras. Nya uppdateringar leder till nya filtyper som kan leda till missvisande kommunikation eller ingen alls.

1.1.4 Visualisering

Bra visualisering är essentiellt för att kunna analysera data på ett effektivt sätt. Det är väsentligt att den som analyserar datan enkelt kan förstå den. Viss data kan vara svårtolkad och kräver förkunskaper vilket gör den mindre tillgänglig (Jaber Carolin, 2020). Visualiseringen av data i en digital tvilling bör ha ett enkelt användargränssnitt eftersom det är menat att vara ett verktyg som kan användas utan förkunskaper. Om visualiseringen är svår att förstå försvinner syftet med visualisering av data i en digital tvilling.

Visualisering av data i 3D eller 2D kräver ofta omfattande förkunskaper inom området. Båda dessa kräver en dator för att processa data samt ett program som visualiserar det. VR, Virtual Reality är en datorsimulerad verklighet där användaren kan interagera med virtuella miljöer. AR, Augmented Reality är när virtuella objekt tillförs till en befintlig miljö genom att tillföra 3D objekt till en fysisk miljö.

VR och AR är plattformar för visualisering men kräver ytterligare hårdvara i form av VR/AR glasögon eller en surfplatta/mobiltelefon. Mjukvaran för dessa visualiseringsmetoder är välutvecklad (Al-Adhamia, Maa, Wua, 2018). Det som saknas är en mer utbredd applicering av tekniken i byggbranschen för vidare utveckling. Motiveringen för användandet av visualisering genom VR, AR och 3D är att dessa gör data-analyser enklare för alla användare. Varje tillförd dimension underlättar användarens förmåga att tolka data (Yan, Kensek, Konis, Noble, 2019). En graf på ett luftflöde är tydligare än mätdata, en 3D simulering är tydligare än en graf och en VR upplevelse är tydligare än en 3D simulering.

1.1.5 Akademiska Hus - A Working Lab

Akademiska hus är ett statligt bolag vars uppgift är att äga, utveckla och förvalta fastigheter vid landets högskolor. Bolaget inriktar sig på både byggnation och förvaltning av studentbostäder men även andra byggnader i anslutning till högskolor.

Akademiska hus är med i projektet “A Working Lab” som är ett kontorshus och en innovationsarena på Chalmers campus i Johanneberg (Akademiska Hus, 2020). AWL är Akademiska hus nationella koncept för co-working och flexibla mötesplatser där idéer och kunskapsbyte mellan näringsliv, akademiker och samhällsaktörer uppstår. I denna fastighet finns det olika sensorer utsatta som samlar in data-set. Data som samlas in är rumstemperatur, närvaro, tilluftsflöde, kanaltemperatur, koldioxidhalt, luftfuktighet (inomhus) och VOC-halt.

Data som samlas in med hjälp av sensorerna kan användas för att påvisa exakt hur fastighetens status är i dagsläget. Att kunna hantera information digitalt är ett behov som ökar (Sveriges kommuner och regioner (SKR, 2017). Det ställs också höga krav på att informationen ska vara sökbar och möjlig att nå var man än befinner sig, något som är långt från implementerat i fastighetsbranschen. För att detta ska bli möjligt krävs en gemensam strategi och struktur för digitalisering. I dagsläget används inte data från AWL i särskilt stor utsträckning. Kandidatarbetet skrivs därför tillsammans med Akademiska Hus eftersom de är intresserade av att få input hur data skulle kunna appliceras och användas i större omfattning.

Akademiska hus har haft som mål att halvera mängden levererad energi till Chalmers från år 2000 till 2025 (Akademiska Hus, 2020). Detta mål uppnåddes redan år 2020 alltså fem år tidigare än det uppsatta målet. Akademiska hus lokaler på campus är nu nere på 120 kWh/m² vilket är en halvering jämfört med år 2000. Målet har kunnat uppnås genom en rad olika energiförbättringsåtgärder och satsningar på campus, bland annat med hjälp av ett ventilationssystem och belysning som regleras baserat på närvaro. Ett tydligt exempel på hur digital fastighetsförvaltning kan användas för att minska energiförbrukningen i en fastighet.

Gruppen har även fått tillgång till applikationen ReSpace som tar 3D-data från en BIM-modell och realtidsdata från sensorer. ReSpace kan användas inuti AWL där en digital tvilling överlappar med verkligheten via AR teknologi på en smartphone eller surfplatta med kamera.

1.2 Utmaningar som hindrar digitalisering

A Working Lab, AWL, har sensorer som täcker hela byggnadens prestation angående inneklimat och nyttjandegrad. I nuläget är det otydligt hur data från dessa sensorer ska utnyttjas på bästa sätt, vad den kan användas till och hur det ska kommuniceras. För tillfället finns data tillgänglig via API:er, application programming interface, som fastighetsförvaltaren Akademisk Hus använder för att konstruera grafer av datan som matchar datan med tid. Varje datatyp används enskilt för att styra inneklimatet av byggnaden, exempelvis så används temperaturen för att automatiskt styra värmen i byggnaden. Det som ska undersökas är vad AWLs dataset ytterligare kan användas till och hur det kan optimera fastighetsförvaltningen för Akademiska Hus.

AWL är ett av fåtal byggnader i Sverige som har en digitaliserad fastighetsförvaltning. En undersökning av branschens arbete och syn på digital fastighetsförvaltning ska göras för att se ifall det finns en anledning varför flera aktörer inte är digitaliserade. Teknologin som möjliggör en digital fastighetsförvaltning ska analyseras för att determinera ifall teknologins mognad är en hindrande faktor.

Data är ämnad att förvandlas till information vilket endast kan ske vid effektiv kommunikation. Utan en tydlig kommunikation av datan så kan inte fastighetsförvaltningen göra informerade beslut. Det finns ett behov att kommunicera data på ett användarvänligt sätt för att kunna informera interna och externa användare. ReSpace är en applikation som kan användas inuti AWL där en digital tvilling överlappar med verkligheten via AR teknologi på en smartphone eller surfplatta med kamera. Applikationen är väl utvecklad men kommunicerar data i enbart siffror och visar bara den lokala data där användaren befinner sig. ReSpace möjliggör däremot en tydlig koppling mellan data och dess verkliga insamlingsplats. Det finns alltså tomrum att fylla i den kommunikativa delen av data mellan rådata i form av grafer från API:er och fokuserad lokal data i ReSpace applikationen.

Ett av problemen inom fastighetsförvaltning är att “felanmälan-processen” är ineffektiv (Logren, Thillberg, 2020). Det upplevs ta lång tid från anmälan till att problemet är löst. Det går att undersöka ifall processen kan göras effektivare med hjälp av en digital tvilling. Ytterligare en utmaning är ifall det går att visualisera två datatyper samtidigt för att upptäcka möjliga samband mellan fel i felsökningen.

1.3 Syfte

Syftet med kandidatarbetet är att utforska och redovisa för vilka sammanhang och användningsområden en digital tvilling tillsammans med fastigheters information kan vara behjälplig i förvaltning och underhåll av en byggnad. De parametrar som tillämpas i rapporten innefattas i form av rumstemperatur och tilluftsflöde. I rapporten redogörs det även hur denna data kan kommuniceras och visualiseras för att optimera fastighetsförvaltning. Det ska också undersökas hur visualiseringen av datan kan förbättras i syfte att vara mer användarvänlig och tillgänglig för inblandade parter. Här används parametrarna temperatur och luftflöde.

Förutom en effektiviserad och mer användarvänlig fastighetsförvaltning kan en digital tvilling också vara gynnsam med avseende på ekonomi och livslängd, vilket också undersöks i rapporten.

I detta kandidatarbete kommer därför dessa tre frågeställningar att utredas:

- Hur kan digital fastighetsförvaltning och digitala tvillingar nyttjas inom fastighetsförvaltningen?
- Vad är orsaken till att digitala tvillingar inte används i större utsträckning?
- Hur kan data från en fastighet visualiseras för att optimera fastighetsförvaltning?

1.4 Samhälliga och etiska aspekter

Data vi har tillgång till kan innehålla personlig eller känslig information vilket är viktigt att ta hänsyn till för att säkerhetsställa att ingens integritet kränks vid hantering av sådan data. Den största utmaningen ligger i att se till så att insamlad data används på det sätt den är tänkt. Den ska behandlas konfidentiellt och lagras och hanteras enligt överenskommelser.

Trots integritetsfrågan leder insamlingen av data till fördelar. Genom att undersöka digitala tvillingar och dataset för datainsamling i byggnader kan projektering av framtidens byggnader utvecklas i avseende på energibesparingar, nyttjandegrad och livslängd.

Insamlingen leder till utveckling av effektivare styrsystem men också energibesparing. Vid användning av AR applikationer för datainsamling och förståelse för programmets utformning, ska det säkerhetsställa att videor eller skärmdumpar inte används i rapporten för att inte kränka någon person eller företags integritet. Det finns en stor nytta i att använda AR applikationerna trots utmaningen av integritet. Nyttan består av resultaten som kommer utifrån möjlighet att fysiskt använda samt utforska och analysera digitala medel i förvaltningen.

Den digitala förvaltningen kan teoretiskt leda till en förbättring i hur man mäter och analyserar förbrukad energi, tex värme, vatten och ventilation. Detta skapar fördelar utifrån ett hållbarhetsperspektiv. Implementeras detta i stora skalor i framtiden kommer också stora besparingar på miljön vara möjlig, eftersom det ligger i både hyresgästens och förvaltarens intresse att spara pengar. Däremot om hyresgästen inte är intresserad av någon besparing kan resultatet bli det motsatta.

I det stora hela är de negativa sidorna av att fortsätta utforska ämnet inte stora nog att de kränker eller har ett negativt inflytande på vare sig individ eller samhälle. Genom att undersöka digitala tvillingars nytta för fastighetsförvaltningen kan det belysa en optimeringsmöjlighet för branschen och hur det kan öka hållbarheten och effektiviteten i förvaltningen av strukturer och byggnader.

1.5 Arbetsfördelning

Gruppens medlemmar har haft olika ansvarsområden under arbetets gång för att uppnå ett så bra resultat som möjligt. Emma Stridh har varit kontaktansvarig vilket innebär att hon har kontaktat företag för bokning av intervjuer och möten. Axel Hjelmqvist främsta uppgift var att utveckla den digitala tvillingen i Unreal eftersom Axel har stor erfarenhet av Unreal sedan tidigare. Petter Lundh, Filippa Tinmark och Johan Carlsson har alla haft liknande uppgifter där de har hållit och skött intervjuerna med de olika företagen och personerna. Gemensamt för alla gruppmedlemmar har varit att planera, strukturera och skriva arbetet.

2

Metod

Kandidatarbetet bygger på litteraturstudier, intervjuer och visualiseringar i en digital modell. Litteraturstudien är ämnad att undersöka och analysera implementering av en digital tvilling i reflektion till fastighetsförvaltning samt projektets frågeställning. Intervjuer med relevanta aktörer ska vara grundkällan i rapporten för att få en god uppfattning av branschens bild av digitala tvillingar och dess användningsområden. Visualiseringen är gjord från en egen producerad 3D modell och renderas i Unreal Engine 4.

2.1 Intervjuer

I syfte att jämföra hur digitalisering appliceras i verkliga sammanhang har semistrukturerade intervjuer genomförts med sex olika aktörer i fastighetsbranschen. Intervjuerna är tänkta att ge ett verkligt och nutida perspektiv på digitala tvillingar från branschens håll för att förstå hur efterfrågan ser ut och i vilken omfattning digitala tvillingar används idag. Främst har fastighetsföretag intervjuats för att få olika perspektiv på digitalisering inom förvaltning med avseende på storlek av företaget, huruvida de förvaltar kommersiella fastigheter eller privatbostäder med mera.

Längden på intervjuerna var mellan 30-60 min långa och gjordes via Microsoft Teams. Frågorna för intervjuerna utformades för att undersöka existerande användning av digitala tvillingar i fastighetsförvaltningen och även ekonomiska drivkrafter till användningen. De frågor som ställdes anpassades också utifrån vilket företag som intervjuades.

De företag vi valde att intervjua under arbetet var Skanska, Higab, Stena Fastigheter, Finnvedsbostäder, Akademiska Hus och Västerstaden. Skanska är ett bygg- och projekteringsföretag som är verksamma i Norden, Europa och i USA. Higab ägs av Göteborgs Stad är ett fastighetsbolag som äger cirka 300 fastigheter runt om i Göteborg. Stena Fastigheter är ett av Sveriges största privatägda fastighetsbolag som fokuserar på uthyrning och förvaltning av fastigheter samt utveckling av städer. Finnvedsbostäder ägs av Värnamo kommun och är ett fastighetsbolag som äger och förvaltar cirka 2700 fastigheter i Värnamo kommun. Även Västerstaden är ett fastighetsbolag som hyr ut och förvaltar fastigheter. I 100 olika fastigheter utspritt i åtta olika städer hyr de ut cirka 3500 lägenheter och 300 lokaler. Akademiska hus intervjuades också för att få deras uppfattning om hur Akademiska Hus använder sensorer och hanterar datan.

2.2 Visualisering

Test av existerande applikation ReSpace har gjorts för att få en uppfattning om hur en digital tvilling kan användas för att representera data av en byggnad. ReSpace använder en lokal vy genom att stå i byggnaden. Efter att ha testat ReSpace valde vi att vår applikation skulle använda sig av en 3D modell och istället ha en överblickande vy över byggnaden.

För att undersöka hur ett data-set från AWL kan visualiseras så valdes att skapa en 3D modell av byggnaden för att kunna visualisera datan i rätt kontext. Visualiseringen av datan utförs därav som en verklig representation av data-set och verkligheten, i form av en applikation skapad i Unreal Engine 4. Unreal valdes som renderingsmotor på grund av gruppens programmeringskunskaper och erfarenheter med programmet.

En förenklad modell av AWL byggnaden skapades i Autodesk Revit baserat på planlösningen från AWLs projektering. Endast enkla innerväggar, tak, golv, ytterväggar och fönster inkluderades för att minimera påfrestningen av prestandan för applikationen. Vi fick även tillgång till den riktiga BIM-modellen från ReSpace av AWL men valde att inte använda den då den var väldigt detaljerad och komplex vilket tog mycket på prestandan. En jämförelse av detaljnivå mellan de två modellerna genomfördes.

För att få en så bra överblick av varje våningsplan som möjligt, gjorde vi att användaren kan välja vilket våningsplan den vill visa. Modellen importerades till Unreal och första iterationen för att visualisera data skapades genom att placera ut 3D objekt som representerade sensorer i huset. Vi valde att bara fokusera på en våning, våning 4, eftersom funktionen i programmet av varje våning är densamma. I början av skapandet utav programmet såg vi en stor vikt i att ha en god grund för att visualisera en typ av data först för att sedan kunna utforska möjligheter att visualisera två stycken samtidigt. Vi testade olika färgskalor och bearbetade fram en metod för att visa sensors utslag i både text och färgkarta.

2.3 Data

AWL har sensorer som mäter flera olika parametrar. Via Akademiska hus:s data-system, som har sammanställt parametrarna till API:er, var tanken att manuellt hämtade önskad data för att sedan sättas in i modellen i Unreal. På grund av sen access till datan och positionering av sensorerna användes fiktiv data. För att ändå undersöka visualiseringen begränsades modellen till manuell input av data istället för realtids-kopplad data då det ger samma utfall för förståelsen av visualiseringen.

3

Resultat

3.1 Intervjuer

3.1.1 Utmaningar med fastighetsförvaltning i dagsläget

Att driva en god fastighetsförvaltning är mer än bara erbjuda ett acceptabelt boende åt en hyresgäst. Fastighetsförvaltare ställs idag inför en rad utmaningar om de ska kunna konkurrera på marknaden. Västerstaden menar att en stor utmaning idag är när ytor eller planlösningar ändras i en befintlig fastighet. Om exempelvis ett kontor delas upp i två separata kontor uppkommer problem med ventilationen och värmeomvandlingen. Ursprungligen dimensioneras det för ett kontor och en lokal, när det sedan delas in i två separata delar är inte alltid ventilationsrören dimensionerade för två lokaler. Detta leder till dyra installationer. En lösning enligt Västerstaden är att vid projekteringen av en ny fastighet försöka förutse eventuella förändringar och då göra en mindre investering redan vid projektering för framtida förändringar. På så sätt kan en mindre investering i tidigt skede bespara större ekonomiska kostnader längre fram i fastighetens livslängd.

Finnvedsbostäder lyfter en annan utmaning inom fastighetsförvaltning. Det är vikten av god planering och struktur vid renovering och underhåll. Med en väl utförd planering av exempelvis renovering av badrum kan man förutse kostnader och göra ekonomiska kalkyler över en längre tid. På så sätt undviker man sporadiska och oförutsägbara kostnader. Det ska dock understrykas att det alltid uppkommer enstaka fall som inte går att förutse där renovering kommer ske utanför planeringen.

3.1.2 Digital fastighetsförvaltnings appliceringsområden

Västerstaden påpekar att det område som skulle göra mest nytta inom fastighetsförvaltningen är värme och ventilation. Detta grundas i att värme och ventilation ofta är den största driftkostnaden för fastighetsförvaltare. Ett smart digitalt system där värme, kyla och luftflöde regleras för att hålla en god temperatur och luftkvalité skulle göra stor nytta för fastighetsförvaltningen eftersom det är där de större kostnaderna finns. Vatten som är förhållandevis billigt jämfört med värme och ventilation inte är lönt att mäta data på och optimera eftersom troligtvis kostnaden är större än nyttan.

I dagsläget dras värme och luftflödet ner på natten för att sedan starta tidigt på morgonen så lokalen har en behaglig miljö när personer kommer tillbaka till lokalen. Denna rutin skulle kunna optimeras genom sensorer och data för att dra ner på kostnader och energiförbrukningen. Det ska dock tas i hänsyn att en behaglig innemiljö är en subjektiv fråga som skiljer sig från individ till individ och det kan vara svårt för en begränsad mängd data att lösa denna uppgift i dagsläget. Stora mängder data krävs för att få ett bra resultat.

Stena Fastigheter vill ha ett gemensamt system för alla fastigheter i hela landet. Genom en nätinsamlingsenhet i varje fastighet skulle data kunna sammanställas i en huvuddator. Detta skulle ge en fullständig överblick över fastigheternas status.

Energieffektivisering är det Skanska har sett hittills ha den största nyttan, dvs klimatdata, avtryck och använt material från byggnaden. De tror även att fastighetsägare kommer behöva erbjuda fler tjänster och nya innovativa sätt att bedriva verksamheterna för att hålla kvar och locka hyresgäster. Frågan de på Skanska alltid ställer sig är: "Kan vi göra något med digitalisering eller utöka sin verksamhet som gör att hyresgästerna behåller sitt kontrakt istället för att dra sig tillbaka eller minska?"

3.1.3 Digitala tvillingar i fastighetsbranschen

En projektledare och en utvecklingsledare inom digital innovation på Skanska berättar att Skanska numera jobbar med digitala tvillingar, tidigare har det inte behövts vid utveckling av fastigheter. På Skanska handlar den digitala tvillingen om att göra information enklare att förstå och mer användbar. Att koppla fastighetsdata till en 2D eller 3D modell är ett kraftigt verktyg då tillgängligheten och förståelsen för data ökar betydligt.

Vid intervjun med Skanska framgår det att de är positiva till digitaliseringen och de förmåner som den kan medföra. Däremot påpekar de att det måste finnas en efterfrågan hos kunden, tillika beställaren, för att det ska implementeras i större utsträckning på nya projekt. En digital tvilling med data om en fastighet skulle vara en del av slutprodukten som levereras till beställaren och därmed också något som beställaren är villig att betala för. Vidare säger utvecklingsledaren att hen tror att den digitala tvillingen och dess data kommer tillhöra fastigheten och inte nödvändigtvis de som samlat in datan.

I dagsläget använder sig Skanska av digitala förvaltningsmetoder på vissa projekt men menar på att det är en omfattande omställning att gå från BIM till digitala tvillingar. Framförallt trycker Skanska på att det är viktigt att datan i en digital tvilling är färsk och uppdaterad i realtid i den mån det går så att den digitala tvillingen är en sann representation av den fysiska fastigheten och tvärtom.

Fastighetsbolaget Higab har ett projekt på Postgatan i Göteborg där de använder sig av en digital tvilling i syfte att undersöka hur en digital tvilling kan användas i framtida projekt. Higab menar att en digital tvilling är ett bra verktyg för att få en god överblick över en fastighets funktioner, exempelvis vilka ventilationssystem som gör vad och hur fastigheten presterar. Största nyttan en digital tvilling bidrar med enligt Higab är att fastighetsköpare kan se felanmälningar från kontoret och inte behöver åka ut till fastigheten.

Problem som finns med digitala tvillingar idag enligt Higab är att synka och hålla system uppdaterade med varandra. System som inte har samma version av programvaran samt använder olika enheter har svårt att synka med varandra. En bra digital tvilling kräver synkade system som är kompatibla med andra mjukvaror.

Fastigheters komplexitet och variation är också en utmaning vid utveckling av digitala tvillingar enligt Stena Fastigheter. Byggnader och fastigheter är aldrig likadana jämfört med exempelvis bilar där modellerna nästan är identiska. Även två fastigheter som är identiska kommer bete sig olika beroende på var de byggs, olika temperatur, vind osv. Detta leder till att en standardisering och utveckling av digitala tvillingar är betydligt dyrare jämfört med andra branscher enligt Stena.

3.1.4 Sensorer för insamling av data i fastigheter

Enligt Skanska finns det risk att montera sensorer om de inte används fullt ut. Detta eftersom sensorer som monteras idag kan vara utdaterade om fem år när de sätts i bruk. Dock kan det projekteras för sensorer vid byggnation av fastigheter för att det ska vara enkelt att montera vid ett senare skede i förvaltningen.

Stena fastigheter har idag alla sina fastigheter uppkopplade. Mätningar på vatten, värme och el görs för att kunna få en överblick över förbrukningen och kunna debitera hyresgäster för exakt den mängd de använder. Idag jobbar Stena med att bygga ett eget system där sensorer ska samla in data som de lagrar själva för att inte vara beroende av en annan part.

På Higab Fastigheter används en del sensorer men de har fyra olika system som redan fanns installerat i fastigheterna vid inköp. De hade dock önskat att ha all data på samma ställe från egna sensorer för att jämföra men eftersom de inte äger datan har det ingen tillgång till exempelvis energidata som hade varit den mest intressanta.

I byggnaden AWL som akademiska hus förvaltar så tillkom sensorerna i huset redan i projekteringen. Sensorerna samlar in data var 5:e minut och används för att i stora drag se hur lokalerna används. Akademiska hus utnyttjar datan internt för att undersöka hur det går att bygga om i lokaler eller våningsplan istället för att bygga ett nytt hus för att fylla ett specifikt syfte. Tanken är att istället använda existerande lokaler och bygga om dem för att uppfylla en ny funktion.

AWL är inte det enda huset med liknande sensorer utan även Örebro campus har

över 4000 sensorer som installerats i efterhand. Det anses dock vara effektivare att projektera för att ha sensorer inbyggt från början istället för att tillsätta i efterhand då det blir enklare med bland annat namngivning och fysisk installation.

I nuläget så sammanställs all data för hand men i framtiden så ser Akademiska hus möjligheter att implementera AI system som automatiskt analyserar datan och korrigerar husets system för att optimera förvaltningen och prestandan.

3.1.5 Användning av AR och VR i fastighetsbranschen

Skanska har använt sig av AR på iPads vid några större projekt som underlag istället för klassiska ritningar vid produktion. Vid mer avancerade installationsarbeten eller montage av armering där geometrin varit komplex har det visat sig vara användbart för korrekt montering. VR-modeller har också använts för att brukare av anläggning ska få ha synpunkter om design tidigt i projekteringskedet innan kostnaderna för ändringar blir för stora. Projektledaren på Skanska berättar även att det är en stor skillnad på att visa VR-modeller för kunder jämfört med 3D-modeller eller klassiska ritningar. Användaren kan ofta komma med direkt feedback på VR-modellen och kan tydligare få en uppfattning om modellen. Hen menar på att alla inte förstår BIM-modeller tillräckligt väl, exempelvis läkare eller sjuksköterskor.

De berättar även om hur de själva varit med i utveckling från 2D till 3D och nu går de från BIM till VR. Man kan se erfarna människor utföra arbete snabbare och med mindre fel vid VR-modeller. Även helt oerfarna människor kunde få en förståelse snabbare och utföra arbete snabbare i VR-modeller jämfört med andra ritningar och modeller. Projektledaren berättar att detta beror på att i VR och AR behöver inte hjärnan översätta skala eller liknande utan det upplevs som verklighet och kan därför bearbetas snabbare av hjärnan.

Vid intervjun med Skanska lyfts även problemen med AR och VR i dagsläget. Tekniken har en del brister då det krävs kraftfulla datorer för att hantera tunga modeller samtidigt som VR och AR är begränsat utomhus då funktionen är sämre i solljus. Det är även ett dyrt verktyg i förhållande till den nytta som medförs.

Stena Fastigheter använder inte AR- eller VR-applikationer i dagsläget men tror det kommer användas inom en närmare framtid. I och med att 20 procent av alla fastigheter är kommersiella tror man att VR är en bra metod för att visualisera lokalerna för kunden och därmed ur försäljningssynpunkt ett bra verktyg för att attrahera hyresgäster.

3.1.6 Digitala tvillingar och digitala fastighetsförvaltningens ekonomiska nytta

Energi- och miljöchefen på Stena Fastigheter i Skåne tror på digitala tvillingar och att de kommer vara en lönsam investering i framtiden men påpekar även att det är

3. Resultat

en kostsam och lång utvecklingsprocess. De vill också ha ett enhetligt system på alla sina fastigheter nationellt vilket gör att processen blir längre. Förutsättningen för att en digital tvilling ska vara lönsam är att en AI ska kunna kopplas och hantera datan. I dagsläget kanske ett fastighetsbolag går break even på en sådan satsning.

Med avseende på den tuffa konkurrensen i fastighetsbranschen tror Higab Fastigheter att en digitalisering av fastigheter är oundviklig. Det är en stor utmaning att digitalisera fastigheter men ju fler aktörer inom branschen som utvecklas digitalt desto viktigare blir det att ligga i framkant inom området. Higab menar att en bra digital förvaltning och digital tvilling skapar en stor konkurrenskraft eftersom det kan bidra till minskad felhantering inom förvaltning.

En gemensam faktor för digitalisering inom fastighetsbranschen som alla intervjuade enas kring är att i slutändan är det kundens efterfrågan som avgör huruvida det finns ett behov av digitalisering inom fastighetsbranschen. Om inte digitaliseringen ger kundnytta för den kostnad som medförs är det inte en lönsam investering för förvaltarna eller de som producerar fastigheterna.

3.2 Datavisualisering i Unreal Engine 4

3.2.1 Visualisering av temperatur

Modellen är skapad från planritningar från projekteringen av AWL, A Working Lab, men representerar inte den slutgiltiga planlösningen. Modellen innehåller inte några strukturella komponenter och består endast av en simpel fasad och enkla innerväggar. I modellen går det att ändra vilket våningsplan som visas, se figure 3.1. Det möjliggör att de fyra olika planen kan visualiseras var för sig, se figure 3.2 och 3.3. I programmet sker bytet mellan planen direkt utan någon animation eller övergång. Planen är positionerade förhållande till verkligheten och bildar tillsammans en komplett byggnad. Skifte mellan varje plan gör att det valda planet visas och alla andra plan i byggnaden göms. I figure 3.2 visas endast plan 1 och alla andra plan är gömda. I figure 3.3 visas endast plan 2, alltså är plan 1 samt alla andra plan gömda. För att kunna iterera effektivt väljer vi att endast fokusera på våning 4:a, se figure 3.4.



Figure 3.1: Vy för att välja plan för modellen av AWL-huset visualiserad i Unreal Engine 4

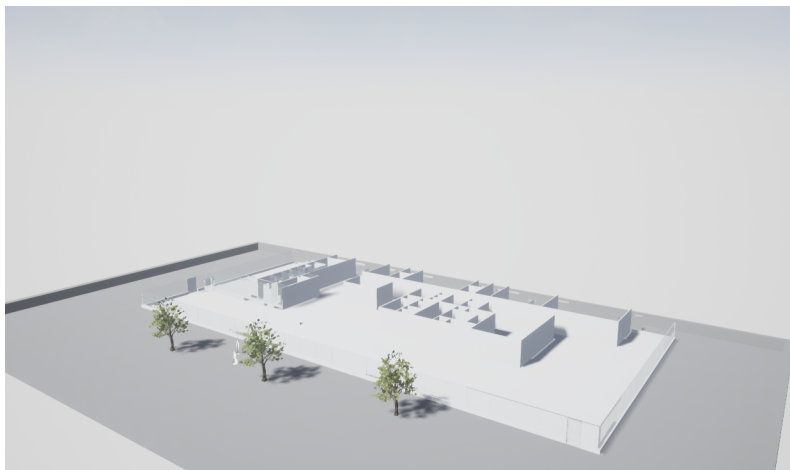


Figure 3.2: Plan 1 av AWL-huset visualiserad i Unreal Engine 4



Figure 3.3: Plan 2 av AWL-huset visualiserad i Unreal Engine 4



Figure 3.4: Plan 4 ovanifrån av AWL-huset visualiserad i Unreal Engine 4

På plan 4 finns det sensorer för insamling data för olika parametrar, dessa sensorer är kopplade till arean runtomkring sensorn. Sensorerna och arean konceptualiseras för att sedan korrigeras till att representera verkligheten. Sensorerna påverkar den arean, som är färgkodad, under sensorn och dess färg samt ändrar siffervärdet på sensorikonen. I första prototypen går det att manuellt ändra sensorerna med test-rutan längst ned på skärmen, se figure 3.5.



Figure 3.5: Plan 4 med sensorikoner, synlig User Interface och test-ruta längst ner i bilden

Första parametern som implementerades var temperatur och det är vad som demonstreras i figure 3.6. Temperaturen för sensorn representeras av siffror i sensorikonen och marken nedanför ändrar färg beroende på ifall det är varmare eller kallare runtomkring sensorn, se figure 3.7. Temperaturen på sensorn visas i grader Celsius.



Figure 3.6: Plan 4 med visualisering av olika temperaturer på sensorikonerna

3. Resultat

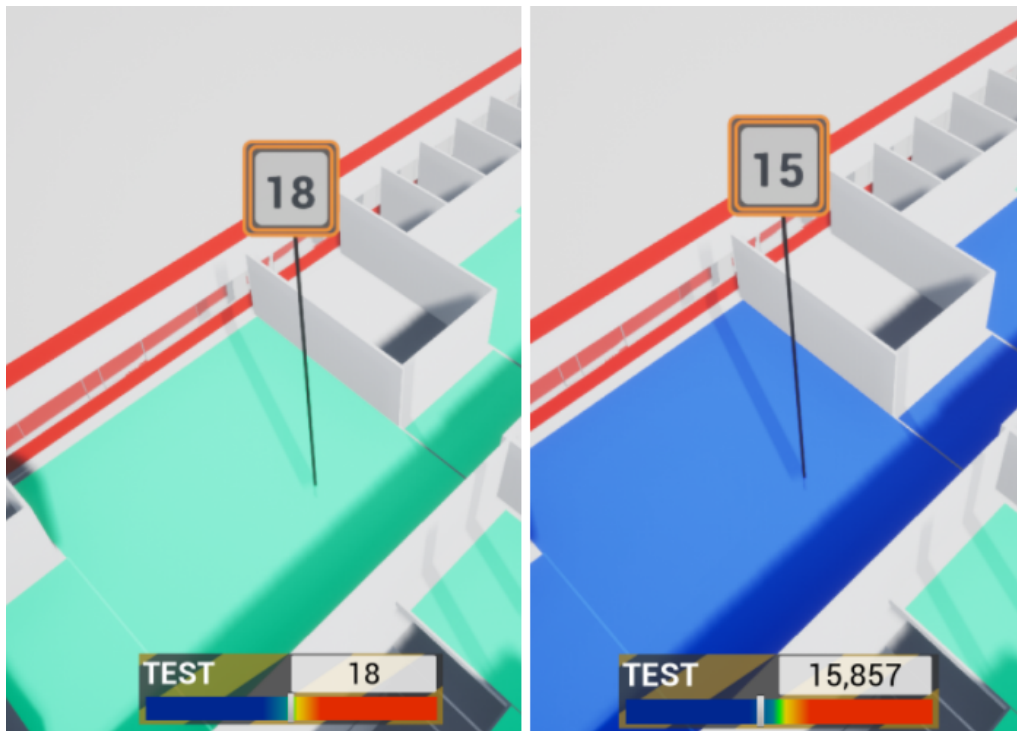


Figure 3.7: Vy av en sensorikon som ändrat temperatur

Andra parametern som implementerades var luftflöde som demonstreras i figure 3.8. Det representeras av en annan färgskala och är i enheten $[l/m^2]$. Det går att välja vilken parameter som ska visualiseras i modellen.

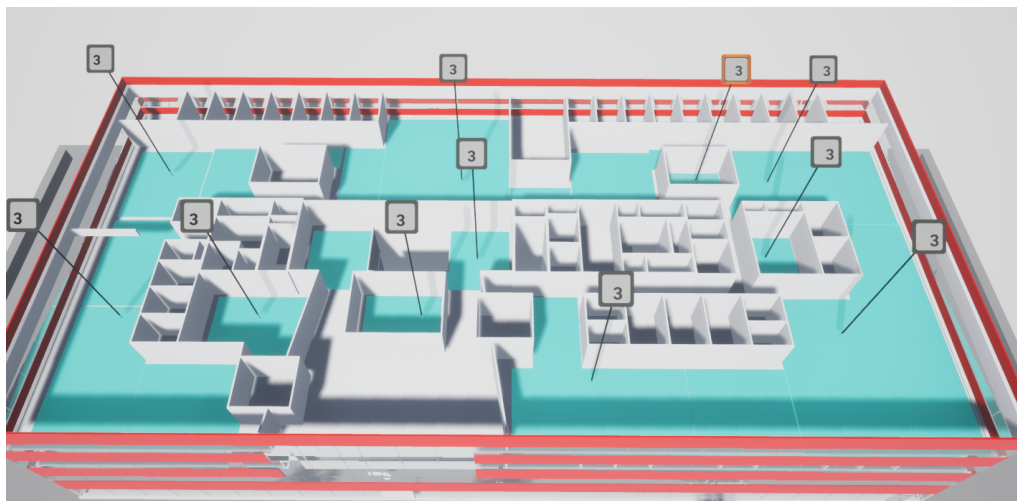


Figure 3.8: Vy av en sensorikoner som visualiserar luftflöde $[l/m^2]$

3.2.2 Visualisering av temperatur och tilluftsflöde

För att visualisera två datatyper samtidigt skapade vi ett mönster och en error ikon som visas ifall en parameter är utanför specifikation. Ikonen och mönstret syns på respektive sensor. Det gör att vid granskning av temperatur kan ett mönster under en sensor visas ifall luftflödet ger ett felmeddelande. Färgen under mönstret syns fortfarande och ändras beroende på värdet för sensorn, men mönstret och ikonerna ovanför sensorn indikerar endast att en annan parameter på sensorn är utanför önskat värde, se figure 3.9, 3.10 samt 3.11.

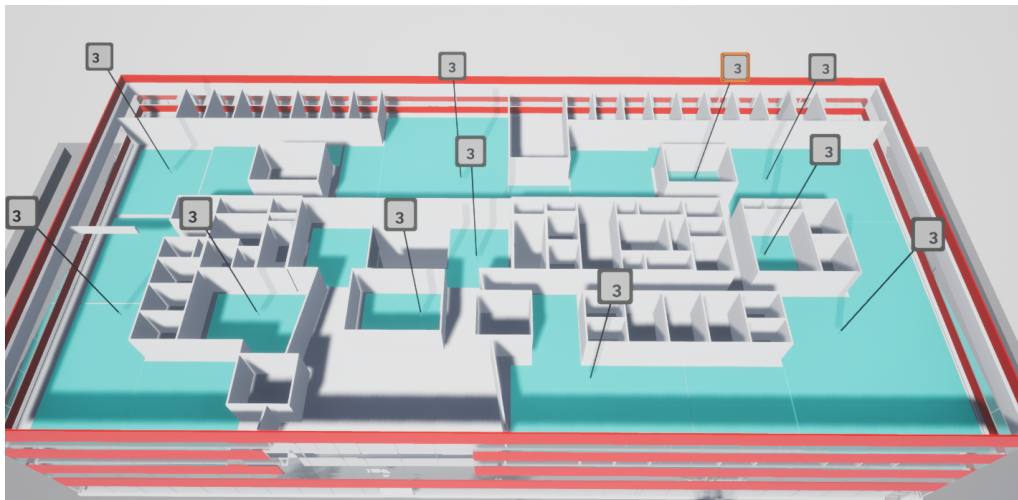


Figure 3.9: Visualisering av luftflöde med felsökning avstängt

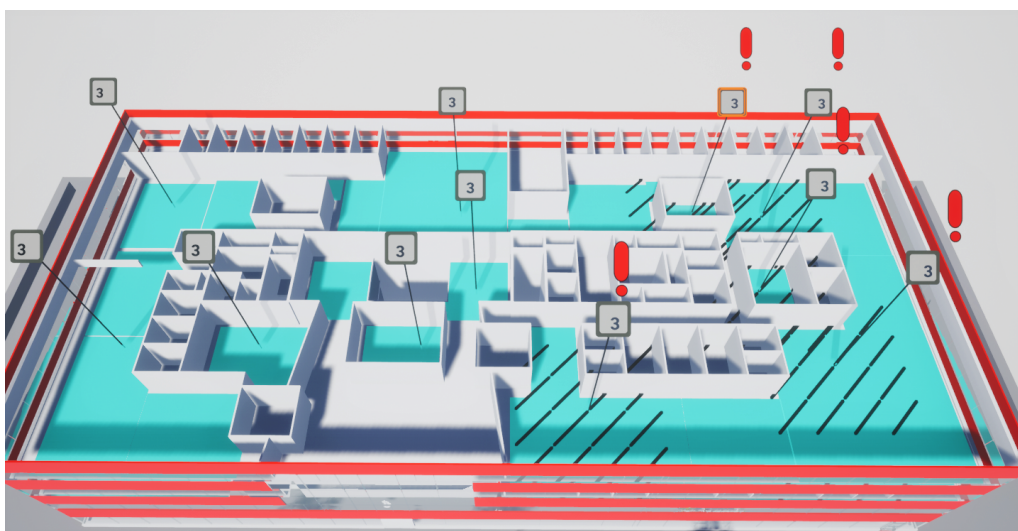


Figure 3.10: Visualisering av luftflöde med felsökning aktiverat. De röda utropstecknen indikerar att någon parameter är avvikande i det mönstrade området.

3. Resultat

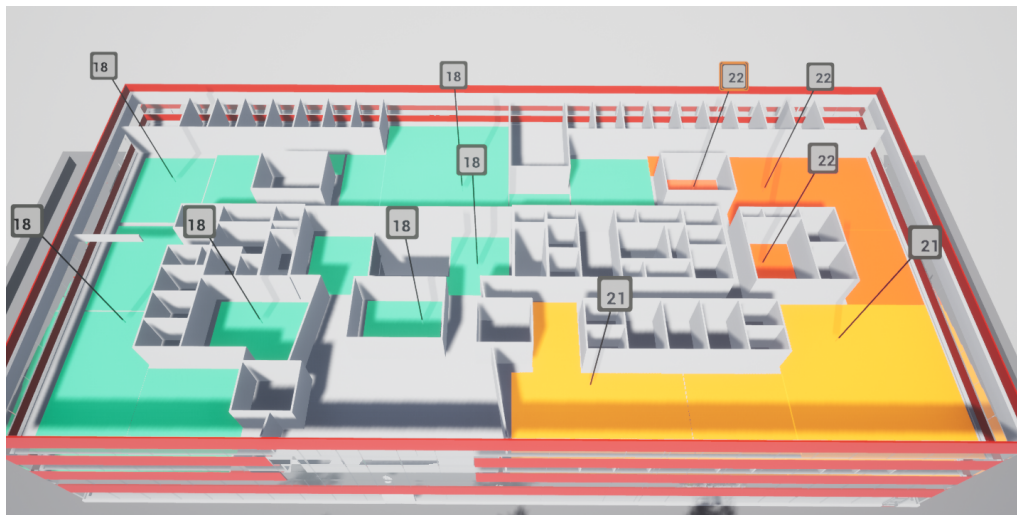


Figure 3.11: Visualisering av temperatur och felmeddelandet som figure 3.10 visade

Mönstret under sensorn lades till för att tydligare förklara att det är en annan parameter än den aktiva parametern som betraktas som ger felmeddelandet. Skulle sensorn bara ha ikonerna ovanför så kan det tolkas som att sensorn för den aktuella parametern är fel. Mönstret valdes efter att ha testat olika storlekar och även andra varianter såsom stora och små prickar, se figure 3.12. Strecken utgör tydligare en area än prickarna och skymmer inte den aktiva parametern som visas.

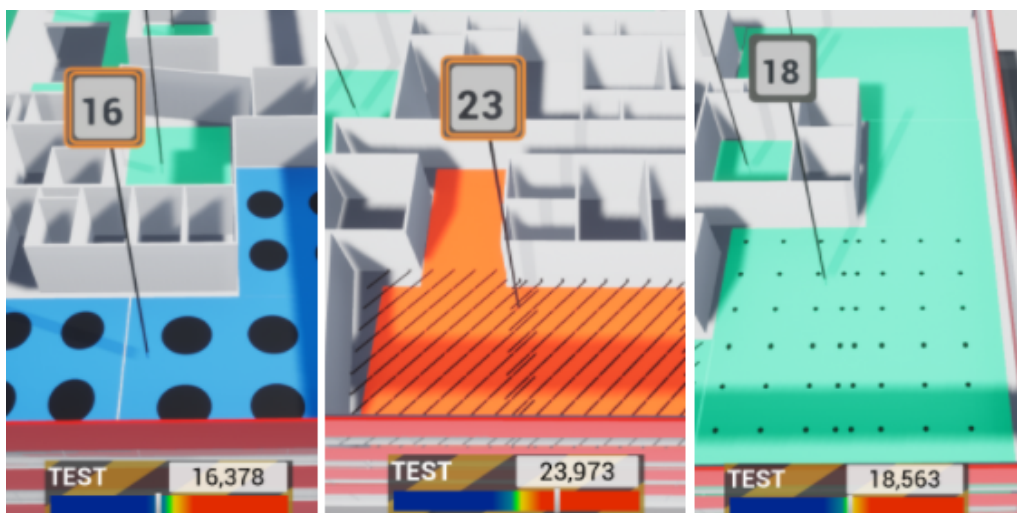


Figure 3.12: Tre olika förslag för mönster

3.3 Jämförelse av detaljnivå för en 3D modell

I och med samarbetet med ReSpace har vi fått tillgång till deras BIM modell som är väldigt detaljerad, se figure 3.13. Den består utav 50 000 individuella delar. Vår förenklade modellen består utav 10 stycken delar, se figure 3.14. BIM modellen har alla rör, väggar och även möbler vilket gör att det krävs mycket processorkraft för att rendera modellen, se figure 3.15 och 3.16. Däremot har den en korrekt planlösning.

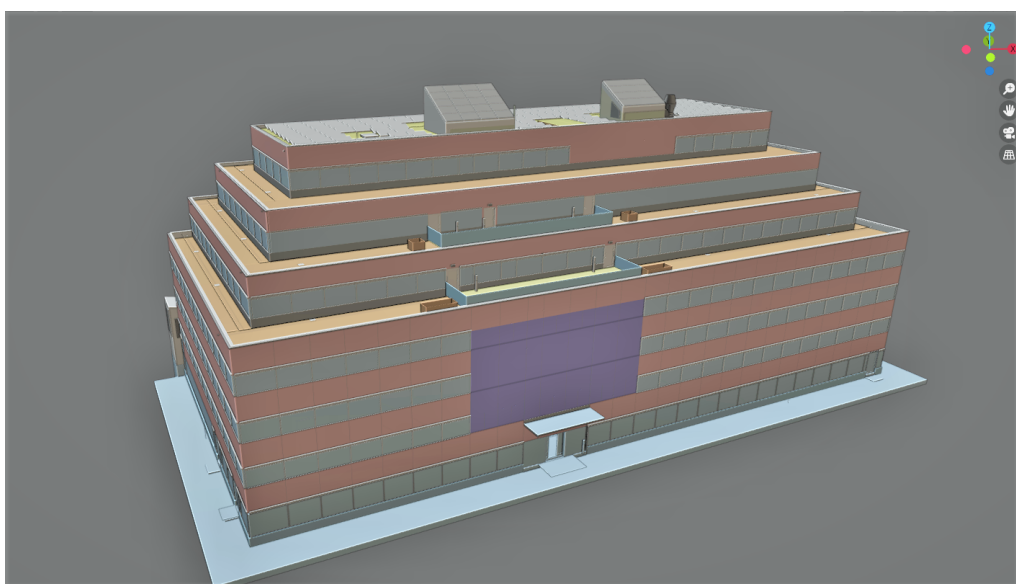


Figure 3.13: BIM-modell av AWL med mycket detaljer



Figure 3.14: AWL förenklad modell med mindre detaljer än BIM-modellen i figure 3.13

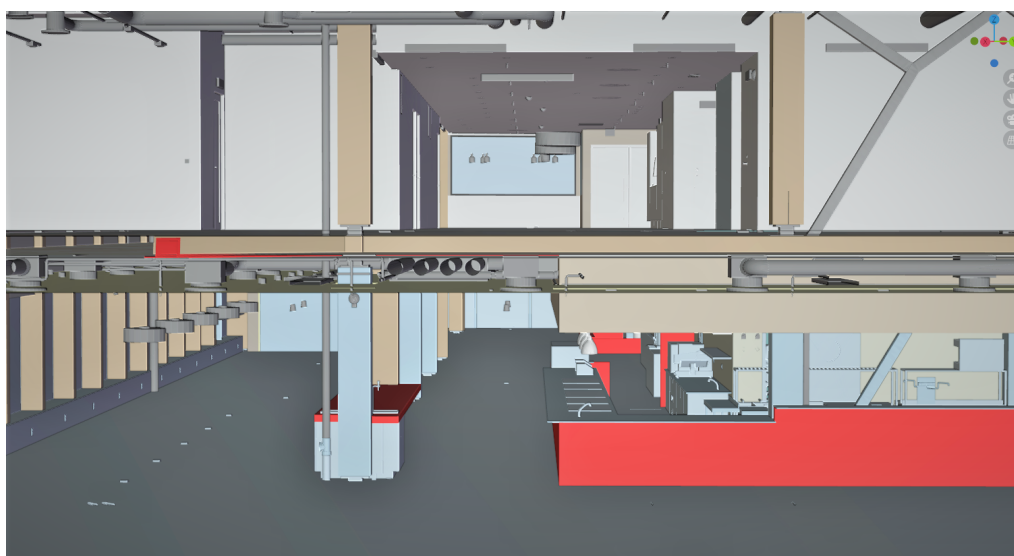


Figure 3.15: BIM-modell med mycket detaljer

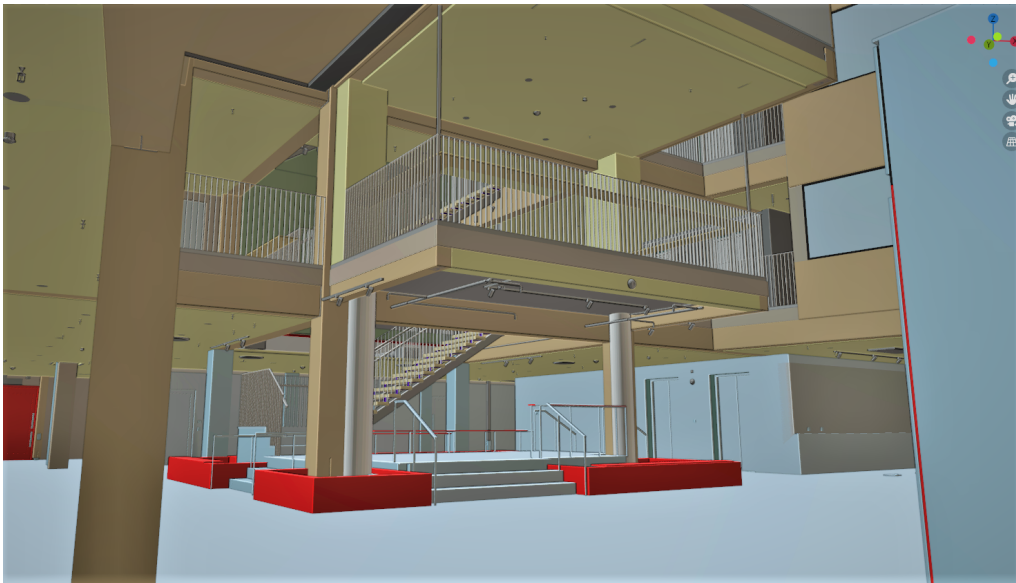


Figure 3.16: BIM-modell med mycket detaljer

BIM-modellens struktur innebär också att varje våningsplan innehåller våningens väggar och tak, vilket inte var kompatibelt med vårt syfte att betrakta våningens golv och väggar då vi ville se våningsplanet ovanifrån, se figure 3.16 och 3.17. Anledningen till denna utformning av modellen är att i applikationen betraktas modellen från ett perspektiv som motsvarar att stå inuti byggnaden.

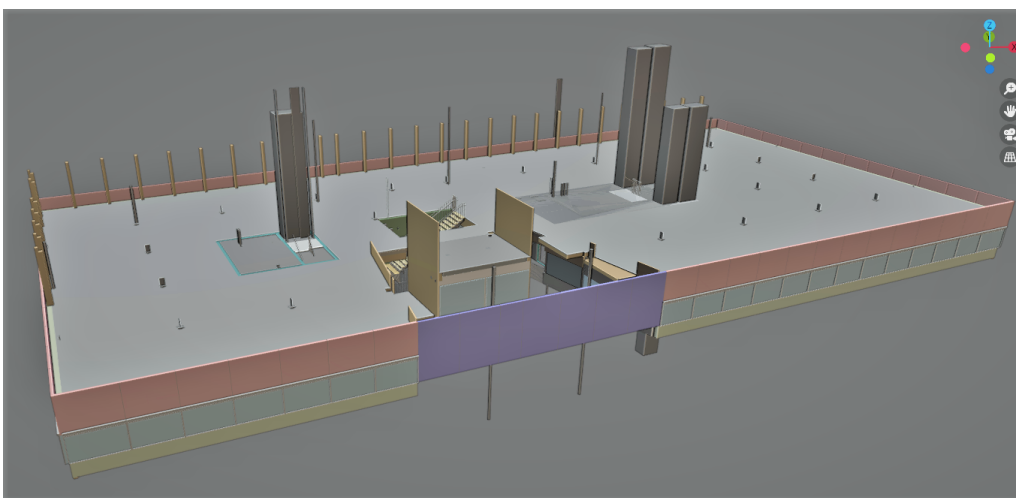


Figure 3.17: Plan 4 i BIM-modellen ovanifrån

3. Resultat

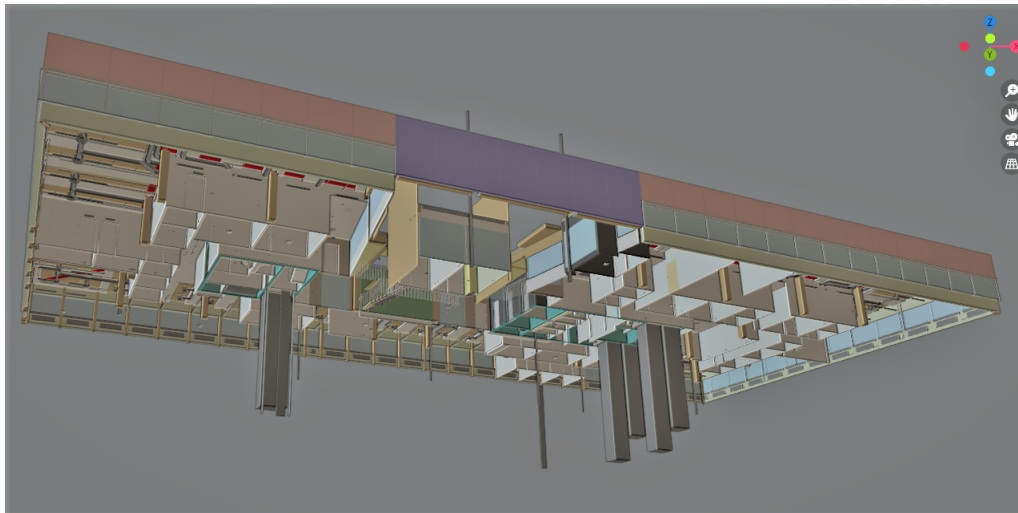


Figure 3.18: Plan 4 i BIM-modellen underifrån

4

Diskussion

4.1 Nyttan av digital fastighetsförvaltning

4.1.1 Digitala tvillingars nytta

Vid en intervju med konsultbolaget Tyréns påpekar de att flera områden inom fastighetsförvaltningen idag är redo att utvecklas med hjälp av en digital tvilling (Logren, Thillberg, 2020). Områdena omfattar service, underhåll och klimatanpassning efter önskat inneklimat. Tyréns menar att välutvecklade 3D-ritningar av fastigheter enkelt kan kompletteras med logiskt utplacerade sensorer som samlar in önskvärd data. Datan kan sedan kopplas i realtid till den digitala tvillingen och uppdateras ständigt. Nyttan med konceptet fås genom anpassning av bland annat temperatur och luftflöden som leder till energibesparing i fastigheten. Energibesparingen leder till mindre miljöpåverkan och driftkostnader.

Tyréns menar också att den digitala tvillingen med hjälp av sensorerna kan uppmärksamma avvikande värden i specifika rum eller lokaler. På så sätt kan fastighetsförvaltare enkelt identifiera var i fastigheten problemet är och vilka verktyg eller reservdelar som behövs tas med. Genom användning av denna teknik kan tid och på så sätt pengar besparas. Idag är ofta detta en process som fungerar mindre bra och är ineffektiv. Processen genomförs på följande vis, en fastighetsskötare åker ut till rummet där problemet har uppstått och försöker identifiera problemet på plats. I vissa fall hittar fastighetsskötaren problemet men måste då åka tillbaka och hämta verktyg eller liknade för att åtgärda problemet. Det inträffar också att problemet inte identifieras och det behövs sätta in mer resurser för vidare undersökning.

Vidare berättar Tyréns om ett framtidsscenario där den digitala tvilling inte bara identifierar problem utan även gör automatiska beställningar på material som behövs för att åtgärda problem, tar fram de ritningar som är relevanta osv. Fastighetsskötseln skulle effektiviseras markant då flera ärenden skulle kunna utföras under samma runda och att onödiga resor mellan fastighet och kontor skulle minimeras. Fastighetsbolaget Higab berättade även i vår intervju att en stor nytta hos digitala tvillingar ligger just i att fastighetsskötare inte behöver lämna kontoret för att identifiera ett problem och på så sätt besparas tid och onödiga resor.

Skanska menar att styrkan hos en digital tvilling ligger i att öka förståelsen för informationen sensorer samlar in och göra den mer användbar. Att visualisera fastighetsdata i en digital modell är ett kraftigt verktyg eftersom just förståelsen och tillgängligheten för data ökar betydligt.

I vår egenutvecklade digitala tvilling av AWL-huset i Unreal Engine 4 påvisar vi ett liknande koncept som Tyréns, Higab och Skanska berättar om. Tanken om realtidsdata synkat och visualiserat i den digitala tvillingen kombinerat med problemidentifiering har varit ett koncept vi har strävat efter att få fram i vår modell. I figure 3.9 och 3.10 visualiseras vår idé och är ett exempel på hur detta skulle kunna se ut.

4.1.2 Ekonomisk vinning

För att digital fastighetsförvaltning ska ha en mer utbredd implementering i verkliga fastigheter behöver företag se ekonomisk nytta i investeringen. Energi- och miljöchefen på Stena Fastigheter i Skåne menar att digitala satsningar inte är lönsamma idag. Stena fastigheter tror däremot att digitala satsningar kommer vara lönsamma för framtiden, framförallt när AI kan implementeras till de digitala systemen.

En stor del av digital fastighetsförvaltnings ekonomiska nytta finns inom optimering av fastigheters energiförbrukning. Fastighetsbolaget Västerstaden menar att största nyttan ligger inom optimering av värme och ventilation eftersom det är den största driftkostnaden hos fastighetsförvaltare. De menar att andra driftkostnader såsom vattenförbrukning inte är lönsamt att optimera eftersom vatten är relativt billigt i jämförelse. Digitala värme- och ventilationssystem håller på att utvecklas idag, det som saknas för väl fungerade system är stora mängder data menar Västerstaden. Ett exempel är Bolaget Skolfastigheter i Stockholm som var först i Sverige med att implementera AI-baserad styrning av värme- och ventilationssystem (Logren och Thillberg, 2020).

Optimering av fastigheters nyttjandegrad har ekonomisk nytta för fastighetsföretag. Det är ett problem att fastigheters lokaler har låg nyttjandegrad under kontorstid i Sverige (Axelsson och Saleh, 2016). Ur ett ekonomi- och hållbarhetsperspektiv är en låg nyttjandegrad negativt. Det beror på att byggnation av fastigheter har stora kostnader och medför stora utsläpp av växthusgaser. Därför är det viktigt att fastighetsföretag ser till att optimera sina fastigheters nyttjandegrad. Fastighetsföretag kan göra detta genom hyra ut de lokaler i fastigheterna som har låg nyttjandegrad. Bevakning av nyttjandegrad genom digital fastighetsförvaltning underlättar denna process. Genom sensorer som känner av närvaro i fastigheter kan nyttjandegrad beräknas och därmed användningen av fastigheten optimeras (Axelsson och Saleh, 2016).

Som tidigare nämnt var alla intervjuade företag enade om att det i slutändan är kundens efterfrågan som styr den digitala utvecklingen inom fastighetsbranschen. Om inte digitaliseringen ger tillräcklig kundnytta för dess kostnad kommer inte företag vilja investera sina pengar inom detta område. För att digitalisering ska utvecklas snabbare krävs därför en större efterfrågan hos kunderna. Företagen tror på en ökad efterfrågan på digitaliserade fastigheter och gör därför investeringar inom digitaliseringen för att kunna ligga i framkant i området.

4.1.3 Optimering av livslängd genom digitala tvillingar

En byggnads största miljöpåverkan sker under produktion och därför är det åtråvärt att producera och förvalta byggnader med en lång livslängd (Reuterdaahl, 2014). En digital tvillings inverkan på livslängden hos en byggnad korrelerar till hur byggnaden förvaltas, där bra förvaltning tillåter en längre livslängd. Om en digital tvilling kan utrusta fastighetsförvaltare med nödvändig information för att på bästa sätt ta hand om byggnaden kan detta gynna livslängden hos byggnaden och därmed anses mer hållbar.

Ett exempel som tas upp vid intervju med Skanska är under projekteringsfasen då framtida brukare av lokalerna testade VR i en digital tvilling. Det bidrog till en insikt om hur det kommer se ut innan det är klart och därmed kunde återkoppla vad som behövdes justeras. De använder även den data som samlas i den digitala tvillingen för att se hur byggnader används och kan använda informationen till framtida projekt.

Från intervjun med Skanska framgår också att den digitala livslängden hos en byggnad är kort, däremot är det enligt dem själva inte en komplicerad process att utföra en digital renovering. Dock menar Västerstaden på att det är en omfattande och kostsam förändring att ställa om äldre byggnader till dagens digitala standard. Utifrån detta är det rimligt att anta att en digital renovering kan skilja sig i omfattning och pris i varje enskilt fall.

4.1.4 Utmaningar för digital fastighetsförvaltning

Fastighetsbranschen ligger efter många andra branscher när det kommer till digitalisering. Detta beror delvis på den cyniska inställningen på förändring inom branschen som uppkommit på grund av negativa utfall från tidigare förändring i historien (Carlsson, Johansson, 2018). Som tidigare nämnt i intervjuerna är en annan orsak till låg digitalisering att företag inte sett något behov. Företag styrs av kunderna och det har historiskt sett funnits låg kundefterfrågan för digitalisering inom fastighetsbranschen. Om ingen kundefterfrågan finns så kommer investeringar inte löna sig för företag. Låg kundefterfrågan har resulterat i att få satsningar gjorts på digitala förvaltningssystem. Det har i sin tur gett upphov till att digitala system inte har implementerats och utvecklats lika väl i fastighetsbranschen som inom andra branscher. En utmaning inom fastighetsbranschen är därför att få företag att implementera digitala system i deras verksamhet så att systemen kan utvecklas och skapa större kundnytta.

Fastighetsföretaget Västerstaden tror att digital fastighetsförvaltning kommer vara lönsamt för att bland annat optimera driftkostnader från värme och ventilation. Västerstaden anser däremot att sådana digitala system är svåra att utveckla. De menar att stora mängder data från fastigheter behöver samlas och analyseras för att utveckla ett bra system. Från intervjuerna framkommer det att företagen vill äga sin egen data för att vara oberoende av andra parter. Företag är inte särskilt angelägna att dela med sig av data eftersom de vill ligga i framkant inom digitalisering. Data för utveckling av system för en tredje part kan därför vara svårtillgänglig.

4.1.4.1 Digitala tvillingars utmaningar

Från intervjuer som gjorts i samband med arbetet berättar olika aktörer om de utmaningar som finns med digitala tvillingar i fastighetsbranschen. Stena Fastigheter lyfter en problematik som skiljer fastighetsbranschen från andra branscher där den digitala tvillingen är ett mer utvecklat koncept. Problemet som lyfts är fastigheters komplexitet och variation. I princip ingen fastighet är den andra lik och även om två fastigheter skulle vara identiska beter de sig olika beroende på klimatet runtomkring. I bildindustrin där bilar är mer eller mindre identiska uppstår inte samma problem. Att utveckla digitala tvillingar av fastigheter är därför en mer kostsam och komplex process än i andra branscher där varje enskild produkt är annorlunda.

En utmaning som Higab lyfter i vår intervju är att hålla system uppdaterade med varandra. Digitala tvillingar måste vara synkade med samma version av programvara och vara kompatibla med andra system för att kunna användas effektivt. Skanska berättar i intervjun om vikten av att informationen i en digital tvilling måste vara tillgänglig och enkel att förstå för att det ska bli ett effektivt verktyg.

Den stora mängd data från sensorer i en fastighet behöver också hanteras om den ska vara användbar. Akademiska Hus sammanställer i dagsläget all data för hand, en tidskrävande process. I intervjun med Akademiska hus berättar de om ett framtidsperspektiv med möjligheter att implementera AI-system som kan hantera och analysera datan. Ett AI-system skulle bespara tid och resurser vid hantering av stora mängder data.

I vår modell visualiseras fiktiv data eftersom det tog lång tid att få datan från Akademiska Hus, i form av API:er. Det finns cirka 2100 olika mätdata som mäts av olika sensorer utplacerade i AWL-huset. Placeringen av sensorerna är givna i geografiska positioner, dvs koordinater i X-, Y- och Z-led. De geografiska positionerna gjorde det problematiskt för oss att visualisera rätt data på rätt plats i den digitala tvillingen. Önskvärt hade varit att ha en slags modell av fastigheten med punkter där sensorer tillsammans med sensor-ID är markerade. På så sätt hade det blivit enklare för oss att hantera och lokalisera information från sensorerna. Precis som Skanska påpekade, stödjer vårt problem med lokalisering av sensorerna, tanken om att information och data ska vara tillgänglig och enkel att förstå för att en digital tvilling ska utformas och vara ett effektivt verktyg.

4.2 Kommunikationen av datan i 3D modellen

Visualisering av datan från sensorer i en 3D modell av en byggnad och möjligheten att betrakta den ovanifrån ger en överblick av hur våningsplanet presterar. Skulle exempelvis flera sensorer påvisa en avvikande temperatur och därmed en stor del av planet, syns temperaturskillnaden tydligare i en 3D visualisering än att titta på en tabell eller en graf. Felsökningar kan därför bli effektivare med en visuell digital tvilling som verktyg då det erbjuder en uppfattning för vart felsökningen ska börja. Att i realtid se vart och hur stort ett fel är i byggnaden kan medföra en snabb felsökning och därmed lösning på problemet.

I programmet visas endast ett plan i taget vilket koncentrerar användarens fokus på endast det planet och filtrerar bort all annan onödig information. Prestandan av programmet behålls hög genom att inte visa alla plan samtidigt utan bara ett i taget. Våningsplanen är staplade på varandra och bildar tillsammans den fulla byggnaden. Byte mellan planen sker instant utan övergång. Det går att vidare undersöka hur bäst byte av plan och presentation av plan bör ske för att tydligare berätta för användaren vilket plan som visas.

Genom att ha testat vår prototyp har vi fått en uppfattning och idé om hur modellens felsökning skulle kunna användas inom fastighetsförvaltning och den dagliga förvaltningen av byggnaden. Ett tänkbart scenario är att i början av dagen alltid gå igenom byggnadens prestation och därefter titta ifall några sensorer ligger utanför önskat värde. I dagsläget används den råa datan från AWL för felsökning som sammanställs i en lista med avvikande värden. Däremot krävs det handläggning för att ta reda på vart i byggnaden varje felmeddelande finns och ifall några andra sensorer runt omkring är påverkade. Med ett program där en 3D modell är kopplat till datan av huset sker det automatiskt och mindre tid läggs på sammanställning av data och mer på problemlösning.

En viktig del av vår visuella digitala tvilling är kommunikationen av datan till dess användare. Metoden av att visualisera data genom en färgskala på marken av ett våningsplan är effektiv men medför utmaningar. Med en visualisering av temperaturen via färger på området kring sensorn, finns det en utmaning att avgöra hur stor arean under sensorn ska vara i stora rum. Eftersom sensorn mäter en lokal punkt av temperatur betyder det inte nödvändigtvis att hela rummet upplever samma temperatur. Däremot går det att argumentera för att även fast ytan under sensorn inte är en exakt representation av temperaturen, så är temperaturförändringar i ett rum förhållandevist små och påverkar inte tydligheten av kommunikationen ifall ett rum är varmt eller kallt.

Övergången av färg på ytan från en sensor till en annan är också något som är förenklat. Det kan finnas ytterligare värde i att ha en gradientell övergång mellan ytorna för tekniska simulationer, men eftersom vår visualisering är ämnad åt felsökning och analys av en digital tvilling är det inte nödvändigt för kommunikationen. Även de färgskalor som har använts bör vid fortsatt arbete revideras och anpassas för färgblindhet och optimeras för en tydligare kommunikation av specifika parametrar.

Att försöka visualisera två olika parametrar visade sig vara en av de svåraste utmaningarna med att utforma programmet. Mönstret under en sensor som utger ett felmeddelande är bara ett sätt att kommunicera fel på. Ett problem med det är att användaren inte direkt ser båda värdena på parametrarna samtidigt i modellen, utan endast en parameter syns i modellen medan den andra syns i ett felmeddelande. Dock, ger programmet fortfarande möjligheten att korrelera parametrar med varandra för att undersöka möjliga kopplingar mellan felmeddelanden. Då vi har funnit att en av programmets lovande aspekter är möjligheten att undersöka kopplingar mellan olika parametrar, går det att argumentera för att det finns en nytta i att kunna undersöka och jämföra tre eller flera parametrar. Däremot, ytterligare visualisering av tre eller fler parametrar är svårt att avgöra om det är möjligt eller om det skapar överväldigande information till användaren. Det går att vidare undersöka felmeddelanden och visualiseringen av två eller fler typer av parametrar för att se vilka andra metoder som finns tillgängliga eller är bättre lämpade.

Eftersom 3D modellen renderas i Unreal Engine 4 finns det möjlighet att rendera skuggor och fysiskt representativa material. Skuggorna kan missvisa nyanser av färgerna men bidrar med en ökad förståelse av geometrin och uppfattningen om byggnaden. Att rendera modellen med verklig korrekt ljussättning ökar möjligen inte kommunikationen av datan men kan däremot göra det enklare att förstå modellen. Det är viktigt att vid första anblick förstå vilket rum som syns för att öka möjligheten för en användare att orientera sig i modellen.

Vår modell och utformning av verktyget är bara en prototyp och ämnar sig till att påvisa ett koncept. Mycket av UI:n, User Interfacen, är primitiv och det behövs en användargränssnittsundersökning och utförlig studie på hur användningen av programmet bäst utformas.

Att visualisera data i 3D eller 2D i form av grafer är idag endast begränsat av ekonomi och expertis inom området då både mjukvara och hårdvara finns tillgängligt. Både 3D och 2D behöver en dator för att hantera datan och ett program som visualiserar det. Därav går det att anse att visualisering av digitala tvillingar, likt den som vi har konstruerat, inte är begränsat av teknik utan snarare motivationen till att implementera det samt expertis och vetskap inom området.

Aspekter av att visualisera en digital tvilling genom 3D eller VR/AR är att det ger en tydligare kommunikation av informationen. För varje dimension så minskar kravet för mottagaren att tolka datan. En graf på ett luftflöde är tydligare än mätdata, en 3D simulering är tydligare än en graf och en VR upplevelse är tydligare än en 3D simulering. Genom tester av vårt egna program gjort i 3D visar det på god potential vad för mervärde för fastighetsförvaltaren som en visualisering av en digital tvilling kan ge. Det finns potential för en snabbare felsökning, tydligare kommunikation av data och även en effektivare byggnad. Alla dessa aspekter har tillhörande ekonomisk vinning men som behöver en tydligare implementering och standardisering för fastighetsförvaltare.

4.3 Jämförelse mellan BIM och förenklad 3D-modell

Genom att plocka ut de delarna som är relevant för respektive plan kan en exakt kopia av varje plan tas fram från en BIM-modell som redan finns. Att ta fram exakta kopior av varje plan är en tidskrävande process. Istället användes den förenklade modellen eftersom det fortfarande går utforska kommunikationen av data i en enklare modell. Fastighetsförvaltare kan alltså anpassa existerande BIM-modeller för att visualisera en digital tvilling. Vilket gör att det krävs bara sensorer och en BIM-modell för att möjliggöra en visualisering av en digital tvilling.

Anledningen till att det inte går att använda en BIM-modell utan modifieringar är att den har en väldigt hög detaljnivå. I fallet av BIM modellen för AWL huset var exempelvis alla el- och vattenledningar samt luftschakt inritade vilket tär på prestandan av Unreal Engine 4. BIM-modellen var även möblerad vilket gjorde att alla rum inte var tomma och krävde modifiering på varje plan för att rensa alla rum. För vårt ändamål var det alltså mer tidseffektivt att använda en förenklad version av AWL huset istället för att modifiera BIM-modellen. Däremot finns det en nytta i att ha en 1:1 modell som representerar verkligheten in i minsta detalj. Att kunna se vart luftschakt, fönster eller dörrar sitter kan bidra till ökad förståelse vid felsökning. I en intervju med Tyréns så förklaras hur ökad förståelse av ett problem innan åtgärder tas kan bidra till optimerad felsökning (Logren, Thillberg, 2020). Om fastighetsförvaltaren vet om vilka typer av verktyg eller materiel som behövs med hänsyn till byggnaden eller felområdet, kan mer tid spenderas på att lösa problemet istället för att undersöka hur problemet ska åtgärdas.

Applikationen ReSpace som använder den detaljerade modellen undgår problemet med att modellen är prestandakrävande genom att dela upp den i hanterbara bitar. Programmets utformning gör att hela byggnaden inte syns hela tiden då perspektivet är inuti byggnaden vilket gör att vissa delar är skymda av väggar eller liknande. Istället för att rendera hela byggnaden samtidigt visas bara det absolut nödvändigaste för användaren. Eftersom vårt program och angreppsvinkel för att visualisera data baseras på att alla delar av varje enskilt plan syns samtidigt, resulterar det i att det blir för stor del av den detaljerade modellen som visas samtidigt.

4.3.1 BIM och dess användning inom fastighetsförvaltning

BIM är ett verktyg som skulle kunna användas för att utveckla och göra fastighetsförvaltning mer digitalt. Modellen i BIM skulle kunna skapas redan i projekteringsfasen och sedan hänga med hela vägen till förvaltningsskedet.

Inom fastighetsförvaltning finns det två huvudsakliga skäl till att BIM inte används i praktiken. Det ena är ekonomiska skäl och det andra är osäkerheten av vilket kundvärde det skapar. Inom branschen är inte företag villiga att ekonomiskt satsa på en digital lösning som inte garanterar en tillräcklig stor ökning av kundmervärde. Det gäller att fastighetsförvaltarna har en god förståelse om BIM och hur det kan användas för att det ska kunna ge ekonomisk vinning. Med teknikens ständiga utveckling och prisminskning kan dock en öppning skapas för aktörer att våga satsa på en mer digital lösning inom en snar framtid.

4.3.2 Sensorer och datainsamling

För att nyttja BIM modellen av en byggnad i förvaltningen måste den matas med data som visar hur byggnaden presterar. Detta kräver sensorer för att undvika att fastighetsförvaltaren ska gå runt i en byggnad och fysiskt samla in data varje dag. Dessa sensorer samlar in olika parametrar beroende på vad som eftersöks ut av förvaltaren. Antingen är sensorerna redan planerade i projekteringen och finns färdigt i byggnaden eller så tillkommer dom vid ett senare skede.

I AWL byggdes sensorerna in redan från början vilket visar på att det är genomförbart att bygga in sensorerna. Sensorerna uppdaterar datan var 5:e minut och har ett spann på 8 parametrar. Datan från AWL tyder på att sensorerna täcker alla önskvärda parametrar och ger förvaltarna frekvent och relevant data om byggnadens prestanda.

Byggnader som inte har sensorerna inbyggda kan istället installera mobila sensorer. Exempel på kostnadseffektiva sensorer är OSBSS, Open source building science sensor, som är baserad på en Arduino (Ali, Debose, Stephens, Zansinger, 2016). Det är en trådlös sensor som kan modifieras för att täcka en mängd olika parametrar och är förhållandevis billig att implementera. All data som efterfrågas kan samlas in med OSBSS.

5

Slutsats

Det är sannolikt att digital fastighetsförvaltning blir standard i Sverige inom en snar framtid. Digitaliseringen behöver utvecklas och det behövs en större efterfrågan innan det kan implementeras som standard. Ekonomiska incitament styr efterfrågan då det är en kostsam investering att upprätta digital fastighetsförvaltning via en digital tvilling. Investeringen måste vara värdeskapande nog för fastighetsförvaltaren ur ett långsiktigt perspektiv. De gäller också att förvaltare förstår och kan se de fördelar som finns med digital fastighetsförvaltning för att maximera dess nytta.

Visualisering av data kan ge fastighetsförvaltare en tydligare bild för felsökning och problemlösning. Genom att veta vart ett problem finns, går det att ta reda på vilka verktyg och materiel som behövs för att åtgärda det. Korrelationer mellan olika parametrar och fel i en byggnad går att hitta genom en välstrukturerad visualisering. Samband är lättare att tyda i rätt kontext som till exempel en byggnad än att titta på tiotal graflinjer i samma graf.

Data som bearbetats till information ligger till grunden för en aktör att göra informerade beslut. För att kommunicera informationen på bästa sätt bör den visualiseras med ett bra användargränssnitt som gör att en oberoende part kan korrekt förstå vad som visas. Det möjliggörs genom att eliminera tolkning av data från enbart siffervärden och grafer till en mer begriplig 2D eller 3D visualisering. En metod är att använda en renderingsmotor såsom Unreal Engine 4 för att visualisera datan i 3D och ge användaren en bekant kontext i form av en 3D modell av byggnaden tillsammans med dess data.

För att visualisera informationen i den digitala tvillingen kan färger och mönster användas som var för sig representerar en typ utav data. En utmaning inom visualisering av information har varit att hitta ett sätt att visualisera två typer utav data samtidigt. I programmet som vi skapade visualiseras det genom att ha en sensorarea och sedan en indikator som säger att en annan parameter har felmeddelande. Det gör att en parameter visas åt gången men korrelationer mellan parametrarna fortfarande går att göra.

Fastighetsförvaltningen skulle gynnas av en digitalisering i dess verksamhet med hjälp av data-set och digitala tvillingar. De aktörer som har anammat digitala tvillingar förespråkar att det finns ekonomisk nytta inom en snar framtid med en digital fastighetsförvaltning. För framtiden kan system som implementeras idag användas tillsammans med kommande komplexa algoritmer och teknik för att ytterligare bidra med mervärde till förvaltningen. Genom att ha god insikt i en fastighet och dess verksamhet via information, kan informerade beslut och lösningar bearbetas snabbare och i slutändan spara tid och pengar med hjälp av en digital tvilling.

6

Referenser

Ahlqvist.T (2018). "Är det alltid negativt att vara konservativ?": En problematisering av stämplingen av byggbranschen som konservativ.Sundsvall:Avdelningen för informationssystem och-teknologi, Mittuniversitetet. Hämtad från <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1221657dswid=-6844>

Akademsika Hus (2020). Halverad energileverans till Chalmers. Hämtad 2021-03-21 från <https://www.akademiskahus.se/ditt-campus/goteborg/chalmers-campus-johanneberg/aktuellt-pa-campus/Item?id=292>.

Akademsika Hus (2020). A WORKING LAB-FRAMTIDENS SÄTT ATT MÖTAS, JOBBA OCH STUDERA. Hämtad 2021-03-21 från <https://www.aworkinglab.se/om-oss>

Al-Adhamia.M, Maa.L Wua.L (2018). Exploring Virtual Reality in Construction, Visualization and Building Performance Analysis. 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2018), School of Art, Design and Architecture, University of Huddersfield, UK. <https://pure.hud.ac.uk/en/publications/exploring-virtual-reality-in-construction-visualization-and-build>

Ali.A, Debose.D, Stephens.B, Zansinger.Z (2016). Open Source Building Science Sensors (OSBSS):A low-costArduino-based platform for long-term indoor environmental datacollection. Chicago:Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, Illinois Institute of Technology. Hämtad från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316300476>

Alkemark.E, Nilsson.C (2019). Effektivisering och optimering av fastigheter med BIM i förvaltning-En jämförelse av existerande byggnader och nyproduktion. Göteborg:Insitutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik, Chalmers Tekniska Högskola. Hämtad från <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/257227/1/257227.pdf>

Allrad.M, Kylhov.M, Tyberg.F (2007). En jämförelse av olika typer av fastighetsförvaltningsbolag. Halmstad:Sektionen för Ekonomi och Teknik, Högskolan i Halmstad. Hämtad från <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A238051dswid=8294>

Axelsson.B, Saleh.A (2016) Låg nyttjandegrad på kontorshyresmarknaden-är digitala tjänster för andrahandsuthyrning lösningen? Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan. Hämtad från

<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A956578dswid=2120>

Carlsson,J, Johansson.R (2018). Digital förändring i byggbranschen-En studie av vilka ledarskapsbeteenden chefer i byggbranschen besitter och hur dessa påverkar digitalt förändringsarbete. Halmstad: Högskolan i Halmstad.
Hämtad från <https://www.divaportal.org/smash/get/diva2:1251326/FULLTEXT02.pdf>

Gustafsson.E, Heiker.S, Sjöstedt.M, Strutz.R (2019). Byggföretags medvetenhet om byggmaterials miljöpåverkan. Göteborg:Institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Chalmers Tekniska Högskola.
Hämtad från <https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/300081>

Grieves. M, Vickers. J (2016). Digital Twin:Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. Florida:Florida Institute of Technology/-NASA. Hämtad från
https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept

Håkansson.F, Ljung.M (2020). Cirkulär ekonomi inom byggsektorn - En kvalitativ intervjustudie kring byggbranschens förhållande till cirkulär ekonomi för hållbar framtid. Malmö:Insitutionen för Urbana studier, Malmö Universitet. Hämtad från
<http://ls00012.mah.se/handle/2043/32550>

Jaber. C (2020) Big data Visualisering. [Examensarbete, Örebro universitet]. Institutionen för naturvetenskap och teknik. Hämtad från
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1393073/FULLTEXT01.pdf>

Johansson.P (2013). Energieffektivisering av Åhlénshuset i Umeå, Utredning av åtgärder för ventilation, värme och kyla. Halmstad:Högskoleingenjör i Energiteknik Utredning av åtgärder för ventilation, värme och kyla. Umeå Universitet. Hämtad från
<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A587554dswid=5602>

Ketzler.B, Latino.F, Logg.A, Naserntin.V, Thuvander.L, Zangeldis.C (2020). Built Enviroment, Digital Twins for Cities: A State of the Art Review. Storbritannien. Alexandrine Press.

Kytömaki, O. (2020). Digitalization and innovation in the real estate and facility management sectors-an ecosystem perspective. Stockholm:Department of Real worEstate and Construction Management, Kungliga Tekniska Högskolan.Hämtad från
<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1388705dswid=2912>

Logren.L, Thillberg.A (2020).Digitala tvillingar i Nordens fastighetsbransch: En kartläggning av digitala tvillingars nutida och potentiella närvaro på den nordiska fastighetsbranschen. Stockholm:Industriell ekonomi. Kungliga Tekniska Högskolan. Hämtad från
<https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1461700dswid=-6>

Olson.A, Ruzicka.S (2019). Digitaliseringens inverkan på traditionella affärsmodeller inom bilindustrin. Borås:Högskolan I Borås. Hämtad från <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1380703dswid=-6844>

Reuterdaahl.E (2014). Kunddriven fastighetsförvaltning-Effekter på fastighetsvärder av hög kundnöjdhet. Stockholm:Insitutionen för Fastigheter och Byggnade, Kungliga Tekniska Högskola.

Sveriges Kommuner och regioner (2017). BIM - digitalisering av byggnadsinformation, i offentliga fastighetsorganisationer (FoU-fonden för fastighetsfrågor). Hämtad från <https://webbutik.skr.se/bilder/artiklar/pdf/7585-513-4.pdf>

Syed Ali.A, Zanzinger.Z, Debose.D, Stephens.B (2016). Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection. *Building and Environment*, volym(100), 114-126. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316300476>

Trimble. (2020). Vad är BIM?. Tekla. <https://www.tekla.com/se/om-oss/vad-ar-bim>

Yan.J, Kensek.K, Konis.K och Noble.D (2020). CFD Visualization in a Virtual Reality Environment - Using Building Information Modeling Tools. MDPI Buildings, School of Architecture, University of Southern California, Los Angeles, CA 90007, USA. Hämtad från; <https://www.mdpi.com/2075-5309/10/12/229>

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Gothenburg, Sweden
www.chalmers.se



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY