

Typ av dokument:

Examinationsrapport

Datum och ort:

2022-05-23 Stockholm

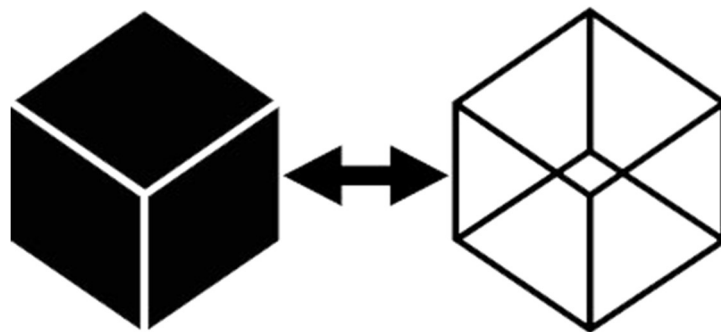
Författad av:

Louis Bewa

Magdalena Hempel

Digital enabled asset & space management

ARBETSMETODIK DIGITAL TVILLING



FÖRORD

Tack till:

Mohammed Barikan Nackademin Solna

Anna Eggebrant Ramboll Stockholm

Ksenia Zhitomirskaya Ramboll Stockholm

Veronika Petrova Ramboll Malmö

Kristoffer Jeppsson Nordic BIM group

Digital Twin Sustainable Cities (DTSC)

Kristofer Eriksson Nackademin Solna

SAMMANFATTNING

Med de allt större kraven på byggnader när det gäller energibesparing, simulering, förvaltning och användarupplevelse är digitala tvillingar idag av stort intresse på marknaden. Implementeringen kan påskyndas genom att göra informationen mer tillgänglig när det gäller tillvägagångssätt för att ta fram en äkta digital tvilling av en befintlig byggnad. Genom teoretiska och praktiska undersökningar, intervjuer och egna kunskaper testas ett urval av de verktyg som finns tillgängliga för att gå igenom de olika stegen som behövs för att ta fram en digital tvilling. De olika momenten kan sammanfattas i sju olika steg:

- Punktmolnskanning
- Punktmolnshantering
- Punktmolnmodellering
- Sensorer
- Uppkoppling till ett nätverk (Internet of Things – Sakernas internet)
- Val av processer
- Monitorering och styrning

Rapporten är teoretisk då slutresultatet inte blir en verklig produkt, utan arbetet beskriver tillvägagångssättet och utforskar programvarorna som kan användas för att ta fram en arbetsmetodik för digital tvilling.

SUMMARY

With the increasing demands on buildings in terms of energy saving, simulation, management and user experience, digital twins are of great interest in the market today. Implementation can be accelerated by making the information more accessible in terms of approaches to producing a true digital twin of an existing building. Through theoretical and practical investigations, interviews and own knowledge, a selection of tools available to go through the various steps needed to produce a digital twin have been tested. The different steps can be summarized in seven different steps:

- Point cloud scanning
- Point cloud management
- Point cloud modeling
- Sensors
- Connection to a network (Internet of Things)
- Processes selection
- Monitoring and control

The report is semi theoretical and does not become a real product in the end. This work describes a methodology and explores different software that can be used in the making of a true digital twin.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | | |
|-------|---------------------------------------|----|
| 1. | INLEDNING | 5 |
| 1.1 | Bakgrund | 5 |
| 1.2 | Frågeställning | 5 |
| 1.3 | Målformulering | 5 |
| 1.4 | Avgränsning | 5 |
| 2. | DIGITAL TVILLING | 6 |
| 2.1 | Definition | 6 |
| 2.2 | Varianter av digital tvilling | 7 |
| 2.3 | Digital tvilling idag och framåt | 10 |
| 2.4 | The Hickman building | 12 |
| 3. | DIGITAL TVILLING - METOD OCH MATERIAL | 13 |
| 3.1 | Punktmolnskanning | 13 |
| 3.1.1 | Material | 13 |
| 3.1.2 | Metod | 14 |
| 3.2 | Punktmolnshantering | 16 |
| 3.2.1 | Material | 16 |
| 3.2.2 | Metod | 20 |
| 3.3 | Punktmolnsmodellering | 23 |
| 3.3.1 | Material | 23 |
| 3.3.2 | Metod | 25 |
| 3.4 | Monitorering och styrningssystem | 27 |
| 3.4.1 | Sensorer | 27 |
| 3.4.2 | Uppkoppling till ett nätverk | 32 |
| 3.4.3 | Val av processer | 35 |
| 3.4.4 | Människor - övervakning och styrning | 35 |
| 4. | RESULTAT | 40 |
| 5. | ANALYS | 40 |
| 6. | SLUTSATS | 41 |
| 7. | REFERENSER | 42 |

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Med den allt större mängd data som genereras från samhället finns möjligheten att använda denna information till många olika ändamål. Utbildningen Byggnadsingenjör BIM har gett en större förståelse av den nytta en digital tvilling kan bidra med när det gäller både verktyg för energibesparingar, simuleringar samt att sänka underhållskostnader för en byggnad. Man kan även se byggnadens hälsostatus med hjälp av en digital tvilling som t ex fukthalt, klimat och nyttiga/permanenta laster/snölaster. Detta skapar mervärde för en byggnads ägare och förenklar arbetet för dess förvaltare som med en digital tvilling kommer kunna bevaka och även styra funktionerna i byggnaden digitalt. Vi har fått en yttlig kunskap inom ämnet och vill därför undersöka detta mer grundligt.

1.2 Frågeställning

Hur kan en arbetsmetodik se ut för att skapa en äkta digital tvilling av en befintlig byggnad?

1.3 Målformulering

Målet med studien är att undersöka hur man, med ett urval av dagens programvaror, kan ta fram en äkta digital tvilling samt beskriva processen på ett pedagogiskt tillvägagångsätt. Målet är att sammanfatta arbetsgången och göra informationen mer tillgänglig än vad som kan hittas idag, med förhoppning om att steget till att skapa en digital tvilling blir lättare för både entreprenörer, projektledare och projektörer.

1.4 Avgränsning

Ämnet digital tvilling är stort och den här studien kommer inte ta upp vilka för-/nackdelarna är med digitala tvillingar på ett djupare plan, utan studien kommer att koncentreras på arbetsprocessen för framtagandet av denna. Undersökningen avgränsas till en befintlig byggnad. Utbudet av programvaror är även begränsade på grund av limiterat tillgång till licenser.

2. DIGITAL TVILLING

2.1 Definition

En digital tvilling är en virtuell kopia av verkligheten, vanligtvis en komplex modell som kontinuerligt uppdateras med realtidsdata. Den kan användas till olika syften som till exempel simulering, analys, förvaltning, prediktion, prognos, kontroll av byggnadsverkets hälsostatus, aktivitet och kontrollera halter av olika ämnen i luften. En digital tvilling kan visualiseras i exempelvis en karta, en tredimensionell modell eller en virtuell värld beroende på användningsområde. På så sätt kan en mängd fakta göras överskådlig och förståelig som även skapar värde för användaren fullt ut, genom att denne får möjlighet att utvärdera både strategiska och operativa beslut med största precision. (Digital Twin Sustainable Cities, 2022)

Kortfattad historia

Konceptet "digital tvilling" förutspåddes av David Gelernters i boken som utgavs 1991 med namnet "*Mirror Worlds: or the day software puts the universe in a shoebox...how it will happen and what it will mean*" och konceptet sattes av Michael Grieves (Florida Institute of Technology) när han introducerade det till allmänheten på en Society of Manufacturing Engineers konferens i Michigan 2002. Grieves föreslog att den digitala tvillingen skulle vara den underliggande modellen för produktlivscykliförvaltning (Product Lifecycle Management PLM). (Wikipedia, 2022)

Det första praktiska utförandet av en digital tvilling gjorde NASA i ett försök att utveckla en fysisk modellsimulering av ett rymdskepp år 2010. Namnet "digital tvilling" sattes sedan av NASA's John Vickers i sin Roadmap rapport 2010. (Wikipedia, 2022)

Den digitala tvillingen består av tre delar:

- Den fysiska produkten
- Den digitala/virtuella produkten
- Sammankoppling mellan den fysiska och den virtuella produkten vilket består av dataflöden som genereras från den fysiska modellen med sensorer och visar informationen i den virtuella modellen. (Wikipedia, 2022)

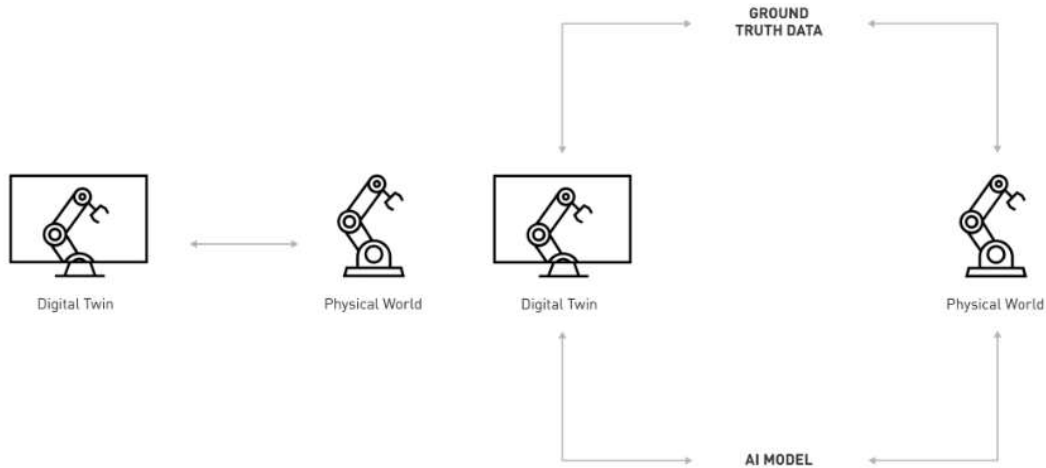


Bild omniverse.com

Konceptet delades senare in i olika delar:

Digital twin prototype (DTP)

- Design, analyser, processer
- Används för att tillverka den fysiska produkten
- Existerar innan den fysiska produkten

Digital twin instance (DTI)

- Digitala tvillingen av varje enskild instans av den fysiska produkten när den väl är tillverkad

Digital twin aggregate (DTA)

- Sammanställningen av alla DTI vars data kan användas för att interagera med den fysiska produkten
- Ställa prognoser och få lärdom om den fysiska produkten

Den digital tvillingen kan även delas in i ytterligare kategorier beroende på graden av information som flödar mellan den fysiska produkten och den virtuella kopian:

- Digital model (DM)
- Digital shadow (DS)
- Digital twin (DT) (Wikipedia, 2022)

2.2 Varianter av digital tvilling

BIM (Building Information Model)

En digital 3D modell som framtas vid projektering av ett byggnadsverk i syfte att samla all data som är nödvändig för byggnaden i de olika byggdelarna som man kan använda sig av för att bli göra avancerade tidsberäkningar (4D), kostnadskalkyler (5D), förvaltning (6D) och ekologisk hållbarhet (7D). Detta förenklar även byggprocessen genom att redan vid projekteringsstadiet kunna koordinera modellerna mellan olika discipliner och underlätta felsökning innan produktionen har startat i syfte att göra besparingar. (Wikipedia, 2022)



Bild: <https://www.pde-porr.com/en/services/bim>

FEM (Finite Element Model)

Tillåter att fysikaliska problem som värmeledning, elektriska fält, hållfasthet med mera kan analyseras i detalj, även för komplexa geometrier och för anisotropa och olinjära materialegenskaper. Inom till exempel mekanisk konstruktion används FEM bland annat för hållfasthetsanalys. FEM är integrerat i moderna CAD-system vilket tillåter konstruktörer att snabbt och realistiskt kontrollera hållfastheten på detaljer som ännu inte existerar annat än som datormodeller. Vid design av elektriska maskiner kan FEM användas för att i datormodeller beräkna elektriska fält och uppskatta förluster redan innan någon fysisk maskin har byggts. (Harish, 2020)

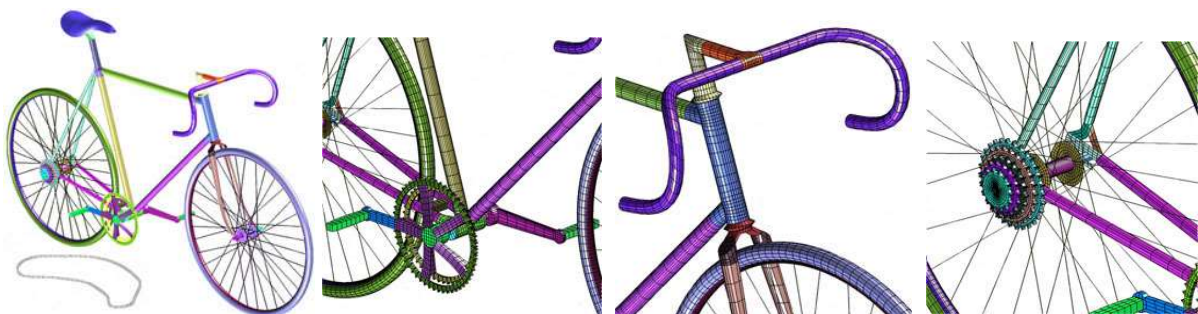


Bild: <http://truegrid.com/femgallery.html>

CFD (Computational Fluid Dynamics Model)

Flödesmekanik som använder numerisk analys och datastrukturer för att analysera och lösa problem som involverar vätskors flöden. Programvaror används för att kalkylera och sedan simulera fria strömmars flöde i vätskor (flytande och gas) samt vätskornas interaktion med ytor definierade av begränsade tillstånd.

CFD används i forskningsstudier inom flera områden såsom aerodynamisk analys inom flygindustrin, vädersimulationer, naturvetenskap, miljöteknik, industrisystemdesign och analys, bioteknik, flödesmätningar och värmeförändringar, motor och förbränningsanalys samt visuella effekter inom film och spelindustrin. (Wikipedia, 2022)

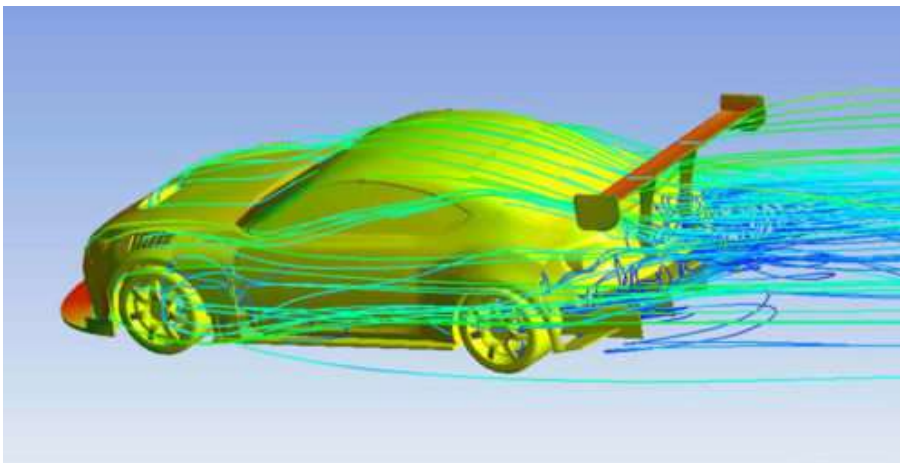


Bild: <https://www.xceed-eng.com/which-cfd-turbulence-model/>

Instrumentpanel (Dashboard)

Det är inte alltid nödvändigt att ha en 3D modell kopplad till den digitala tvillingen. Data kan i stället sammanställas i en eller flera instrumentpaneler som uppdateras kontinuerligt med informationen från sensorerna.



2.3 Digital tvilling idag och framåt

2018 var hypen kring digitala tvillingar på toppen av förväntningskurvan enligt industrianalys företaget Gartner. Intresset dalade för att sedan öka i en mer stabil takt parallellt med kunskapen inom branschen och tillämpningarna inom projekt.

En digital tvilling på en arbetsplats är oftast del av en automatiserad robotprocess. Gartner menar att detta är början på den växande hyperautomationskategorin som innebär att företagens organisation effektivt identifierar och implementerar automation i så många affärs- och IT- processer som möjligt. (Gartner, 2018)

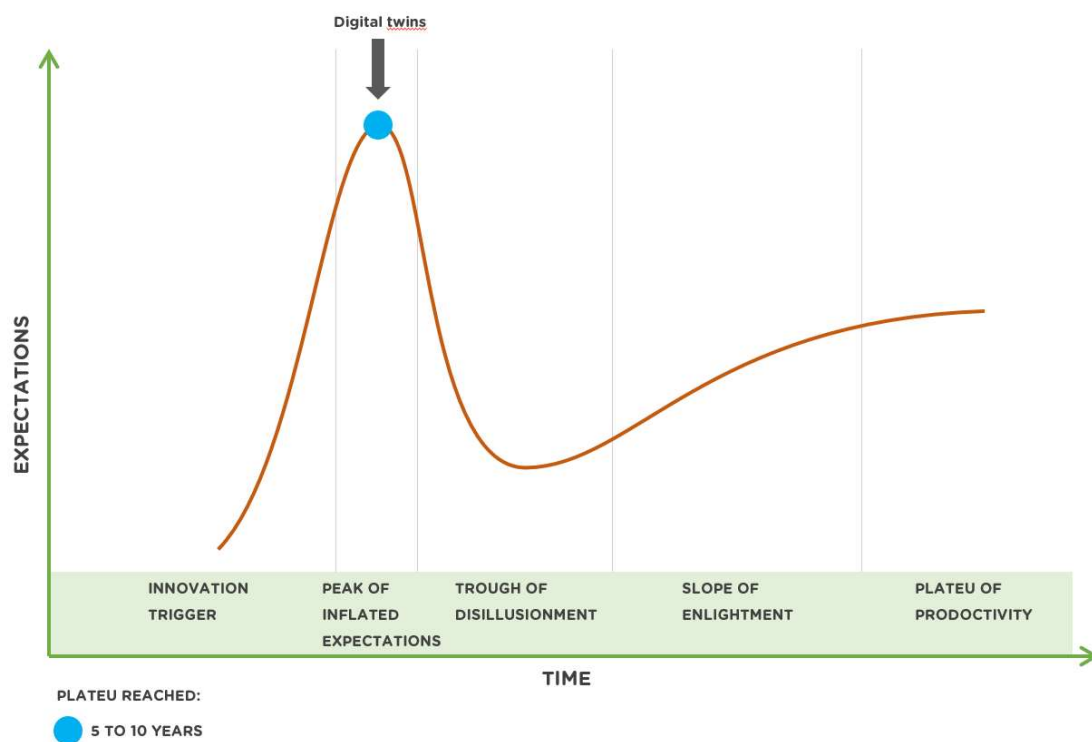
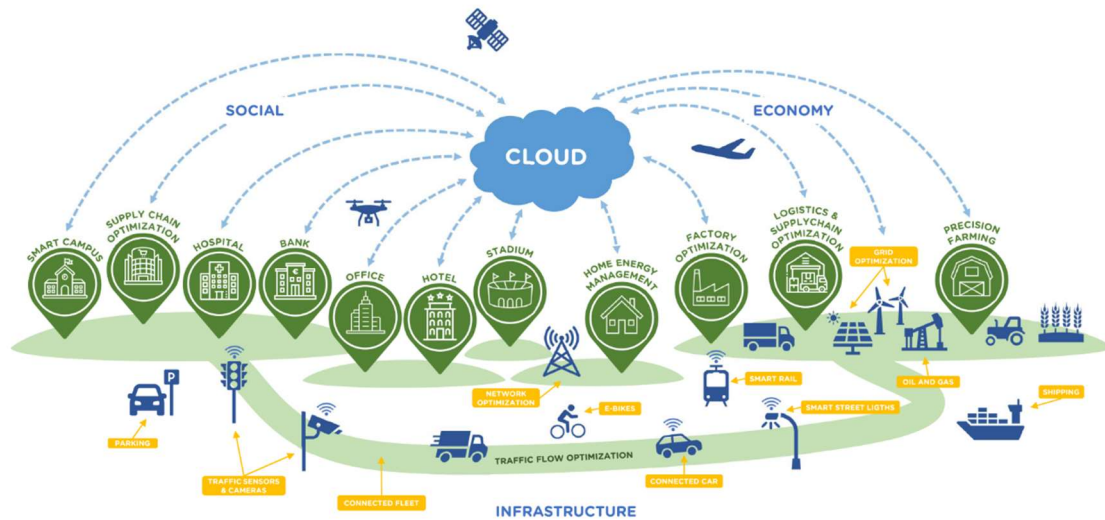


Bild: [gartner.com](https://www.gartner.com)

Den senaste tiden har utvecklingen av sensorer gjort det möjligt att använda digitala tvillingar även för underhåll och skapat nya användningsområden inom infrastrukturprojekt och byggnader. Rätt använd kan en digital tvilling bidra mycket till en effektivare förvaltning.

Idag är flera projekt under utveckling i Sverige då både Göteborg och Stockholm har för avsikt att ta fram en digital tvilling av sin stad. Främst drivs dessa i syftet att fokusera på utveckling och hållbarhet för att nå upp till kraven i klimatkontrakt 2030 för klimatneutrala och hållbara städer där 23 svenska städer och 5 myndigheter ingår. (Viablecities, 2022)

Den digitala tvillingen ger en samlad översikt om var de största energibesparingar kan göras, hur de olika tillvägagångssätten kommer påverka stadens hälsa, samt planera dessa insatser med hjälp av simuleringar i den virtuella staden. Under diskussion är hur en digital tvilling kan ge ökad förståelse för beslut, processer och åtgärder. Klimatfrågor som klimatbelastningar kan visualiseras och därmed öka medborgarengagemanget i stort. (Digital Twin Sustainable Cities, 2022)

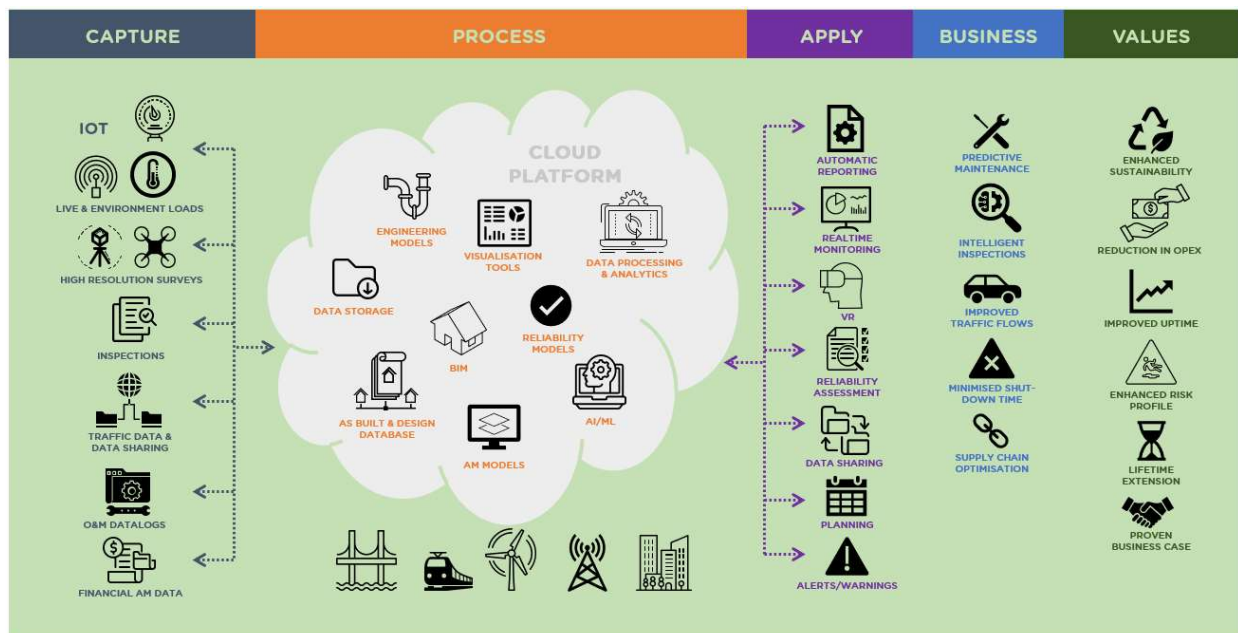


Tre huvudsakliga drivkrafter för implementering av digital tvilling på marknaden idag:

- Predikativ förvaltning - Efterfrågan på predikativ förvaltning ökar där driftstopp och underhåll kostar företagen stora summor.
- Driftprestanda - Underhåll av anläggningar och fastigheter blir mer komplexa och efterfrågan av mer datadriven optimering ökar.
- Informationshantering - Många företag på marknaden har problem att få översikt och tillgång till komplex information anpassad till olika intressenter. (Ramboll workshop, 2022)

Företagens egna intressen som driver utvecklingen av digital tvilling framåt:

- Utveckling av kundrelationer från leverantör till partner med potential av ökat kundvärde.
- Stärka och stabilisera intäkter från mindre projekt till längre samarbeten med kund.
- Återkommande inkomst.
- Skapa nya affärsmöjligheter baserat på branschens expertis inom teknik. (Ramboll workshop, 2022)



2.4 The Hickman building

The Hickman, 2 Whitechapel i London var den första byggnaden i världen att få en platinautmärkning av SmartScore som är certifieringssystemet för smarta byggnader. Den 7000 kvm stora byggnaden är konstruerad med hållbarhet och teknik i fokus där användarna har tillgång till en "smart arbetsplatsapplikation" som kan styra deras kontorsmiljö. Med hjälp av appen får man tillgång till byggnaden samt kan styra installationerna och ta del av data samt få detaljerad energianalys i realtid för att optimera utrymmena. Utöver det kan de anställda bland annat använda olika bokningssystem med appen, se över byggnadens luftkvalitet, styra lampor, värme och beställa kaffe i receptionen.

Grunden till The Hickmans teknologi är en digital tvilling som sammanställer all data från byggnadens sensorer såsom beläggning, temperatur, luftkvalitet, ljus och energikonsumtion och visar informationen på digitala dashboards. (BIMtoday, 2021)



Bild: https://www.pbctoday.co.uk/news/wp-content/uploads/2021/08/vb1769883_01-Exterior_Zishan-Kahn-Photography_EDIT.jpg

3. DIGITAL TVILLING - METOD OCH MATERIAL

3.1 Punktmolnscanning

3.1.1 Material

Utrustning:

- **Matterport Pro2 kamera**

Industriell 3D skanner som använder sig av fotogrammetriteknologin för att fånga omgivningen med en felmarginal på ca 1%.

Kamerans funktioner

- ✓ Snabb scanning som tar ca 20 sek per gång
- ✓ Kameran tar automatiskt 360 bilder av området vid varje skanning
- ✓ Punktmolnet sys ihop automatiskt i matterportmolnet
- Svårt att skanna utomhus vid soligt väder då kameran använder sig av IR ljus

| | iPhone ^{Beta} | 360 Cameras | Matterport Pro2 | Leica BLK360 |
|-----------------|--|--|---|---|
| | Mobile ready with your iPhone or iPad | Quick, portable, entry-level 3D scanning | Best-in-class all-inclusive 3D capture system | Specialized high-accuracy 3D reality capture |
| Great for | Getting 3D straight from your pocket, wherever you are Scanning small spaces or rooms | Scanning several rooms or an entire home High portability | Creating highest-quality 3D scans with unlimited 4K photography Long battery life for multiple scans per day | Scanning large or outdoor spaces in 2K Applications that need highest accuracy |
| VR | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Floorplans | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Outdoor quality | Good to great outdoor image quality (depends on device) | Good outdoor image quality | Best outdoor image quality | Best performance in sunlight, best range |

Ready when you need it



Matterport for Mobile

For single room scans, ad-hoc captures, and easy sharing

Fast & convenient



360 Cameras

Perfect for small spaces and simple scans

High-quality & accurate



Pro2 3D Camera

Best all-around camera for commercial and residential spaces

Specialized & precise



Leica BLK360

Great choice for large indoor spaces and outdoor use

Professionally captured for you



Capture Services

Expert technicians ready to scan your buildings

- Smartpad

Programvaror:

- Matterport applikation

Cloud:

- Matterport.com

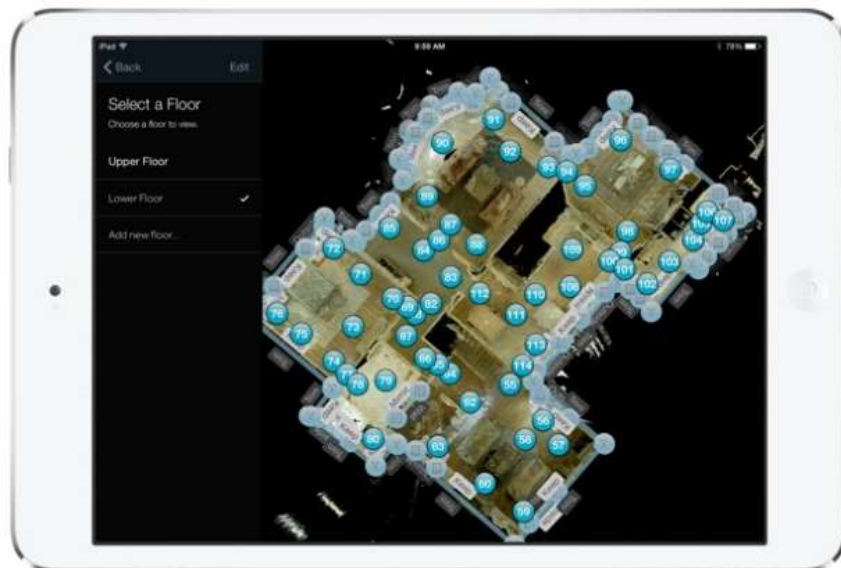
3.1.2 Metod

3.1.2.1 Punktmolnsskanning med Matterport Pro2 kamera

- Matterportkameran ställs upp med stativ och ska höjas till ögonhöjd
- På kamerahuvudet finns on-knappen

- Ipad med Matterport applikation kopplas ihop genom wifi inställningar till kameran
- I appen startas en ny skanning genom att trycka på plustecknet (+)
- Under "adress" skrivs informationen in (tex namn på utrymmet som ska skannas)
- Kameran ställs upp i mitten av utrymmet för bästa resultat och kamerahuvudet linjeras med väggarna för att få en skanning som ligger linjerat med stömlinjerna i appen
- Skanningen startas genom att trycka på den runda, vita knappen i appen
- En skanning tar ca 20 sek då kamerahuvudet roterar ett varv
- Kameran flyttas 4-5m framåt eller bakåt i en rak linje ut mot väggarna
- Sedan utgår man från startpunkten för att göra skanningar även i sidled så att man till slut har skannat som ett + i utrymmet
- De mörka områdena i rummet som ej innehåller information fylls i med fler skanningar
- Appen säger till när kameran har "low overlap" eller "no overlap".





Viktiga punkter att tänka på vid skanning med Matterport

- Gå ej för långt mellan skanningar då kameran måste hitta sina referenspunkter för att koppla ihop nästa skanning.
- Viktigt att linjera/positionera den första skanningen med väggar för att få ett rakt resultat som linjerar med referenslinjerna i programmet för att kunna avgöra om väggar börjar skeva.
- Runt hörn kan man behöva tätare skanningar.
- Objekt ska helst inte flyttas i utrymmet då kameran kanske använder dessa som referenspunkter för att koppla samman med nästa skanning.
- För att kunna koppla ihop olika utrymmen direkt i en skanning måste det skannas med öppna dörrar från start.
- Kameran måste alltid vara i våg vilket man kollar av med vattenpasset som sitter direkt under kamerahuvudet.

3.2 Punktmolnshantering

3.2.1 Material

Programvaror:

- **Autodesk ReCap pro 2021**

För att importera punktmoln i ett modellerings/koordineringsprogram behöver de ett filformat som stöds och kan hanteras av dessa mjukvaror. Ett punktmoln kan bestå av miljoner punkter som Autodesk ReCap (Reality Capture) processar. Med ReCap ges möjligheten att bland annat rensa, ändra koordinater, organisera, mäta, visualisera och

förbereda punktmolnsdatan från flera olika källor, för att sedan sparas till ett relevant format för användaren.

Filformat som kan indexeras och hanteras av Autodesk ReCap Pro:

- | | | | |
|--------|-----------|--------|----------|
| ✓ .ASC | ✓ .FWS | ✓ .PTS | ✓ .ZFS |
| ✓ .CL3 | ✓ .ISPROJ | ✓ .PTX | ✓ .ZFPRJ |
| ✓ .CLR | ✓ .LAS | ✓ .TXT | ✓ .RDS |
| ✓ .E57 | ✓ .PCG | ✓ .XYB | |
| ✓ .FLS | ✓ .PTG | ✓ .XYZ | |

Format som ReCap genererar:

- ✓ .RCS - En enda punktmolnsfil som sparas i output foldern efter indexering
- ✓ .RCP - Projektfil som refererar till .rcs filerna och innehållet i dem
- ✓ .PCG - Exporteringsformat
- ✓ .PTS - Exporteringsformat
- ✓ .E57 - Exporteringsformat

- **Bluebeam Revu 20 (eXtreme)**

Bluebeam Revu är ett programvaruverktyg som hanterar PDF:er och används till störst del av arkitekter, ingenjörer, byggarbetare, specialistentreprenörer och kalkylatorer inom byggbranschen för att samla in, utvärdera data och information genom hela byggprocessens livscykel. Bluebeam Revu finns i tre olika versioner:

Revu standard

- ✓ Markering
- ✓ Redigering
- ✓ Samarbete i PDF-filer i 2D/3D
- ✓ Toolchest
- ✓ Mätverktyg
- ✓ Möjlighet att jämföra dokument

Revu CAD

- ✓ Markering
- ✓ Redigering
- ✓ Samarbete i PDF-filer i 2D/3D
- ✓ Toolchest
- ✓ Mätverktyg
- ✓ Möjlighet att jämföra dokument
- ✓ Pluginprogram för PDF-filer i 2D och 3D

- ✓ Möjlighet att skapa batchar

Revu eXtreme

- ✓ Markering
- ✓ Redigering
- ✓ Samarbete i PDF-filer i 2D/3D
- ✓ Toolchest
- ✓ Mätverktyg
- ✓ Möjlighet att jämföra dokument
- ✓ Pluginprogram för PDF-filer i 2D och 3D
- ✓ Möjlighet att skapa batchar
- ✓ Automatiskt skapande av formulär
- ✓ Batch Link
- ✓ Batch Slip Sheet, OCR, batch-signering
- ✓ Stämpling
- ✓ Mängdlänk

- **Autodesk Navisworks Manage 2021**

Autodesk Navisworks Manage används i huvudsak för projektgranskning och koordinering i 3D miljö. Mjukvaran gör det enklare att samordna och analysera olika discipliners 3D modeller med varandra genom att kombinera dessa till en enda projektenhet. Med hjälp av verktyget "Clash Detective" kan man förutse och undvika potentiella problem innan produktionen startar och bland annat undvika så kallade ÄTA-arbeten (Ändring, Tillägg, Avgående) som tidigare har varit en stor del av kostnaderna för en byggnation.

Funktionerna i Navisworks Manage:

- ✓ Kombinera projektdata i en enda modell för översyn över hela projektet
- ✓ Granska projektmodellen ur alla vinklar
- ✓ Granska 3D-projekt, oavsett filstorlek och format
- ✓ Skapa 4D-simuleringar (tidsplanering) med verktyget TimeLiner
- ✓ Förenkla granskningsprocessen
- ✓ Publicera projektet till en komprimerad .nwd-fil som kan distribueras
- ✓ Upptäck kollisioner innan byggarbetet påbörjas
- ✓ Länka modelldata till projektförteckningar och kostnader för att simulera och planera projektaktiviteter
- ✓ Skapa realistiska bilder och animeringar för bättre förståelse
- ✓ Applicera material och ljussättning på modellen och rendera fotorealistiska bilder och animeringar
- ✓ Kvantifiering genom materialberäkningar, beräkna areor och byggkomponenter

- ✓ Skriptverktyg som tillåter användaren att skapa egna "actions"
- ✓ Animera och interagera med modellen

Filformatsshantering:

- ✓ NAVISWORKS - .NWD, .NWF, .NWC
- ✓ AUTOCAD DRAWING - .DWG, .DXF
- ✓ MICROSTATION (SE, J, V8, & XM) - .DGN, .PRP, PRW
- ✓ 3D STUDIO MAX - .3DS, .PRJ
- ✓ ACIS SAT - .SAT, .SAB
- ✓ DWF - .DWF, .DWFX
- ✓ CATIA - .MODEL, SESSION, .EXP, DLV3, .CATPART, .CATPRODUCT, .CGR
- ✓ IFC - .IFC (IFC2X_PLATFORM, IFC2X_FINAL, IFC2X2_FINAL, IFC2X3, IFC4)
- ✓ IGES - .IGS, .IGES
- ✓ INFORMATIX/MICROGDS - .MAN, .CV7
- ✓ INVENTOR - .IPT, .IAM, .IPJ
- ✓ CIS/2 - .STP (STRUCTURAL_FRAME_SCHEMA)
- ✓ JT OPEN - .JT
- ✓ NX - .PRT
- ✓ REVIT - .RVT
- ✓ RVM - .RVM
- ✓ SKETCHUP - .SKP
- ✓ PDS DESIGN REVIEW - .DRI
- ✓ STL - .STL
- ✓ VRML - .WRL, .WRZ
- ✓ PARASOLID - .X_B
- ✓ FBX - .FBX
- ✓ PRO/ENGINEER - .PRT, .ASM, .G, .NEU
- ✓ STEP - .STP, .STEP
- ✓ SOLIDWORKS - .PRT, .SLDPRT, .ASM, .SLDASM
- ✓ PDF - .PDF
- ✓ RHINO - .3DM
- ✓ SOLID EDGE - .STP, .PRT

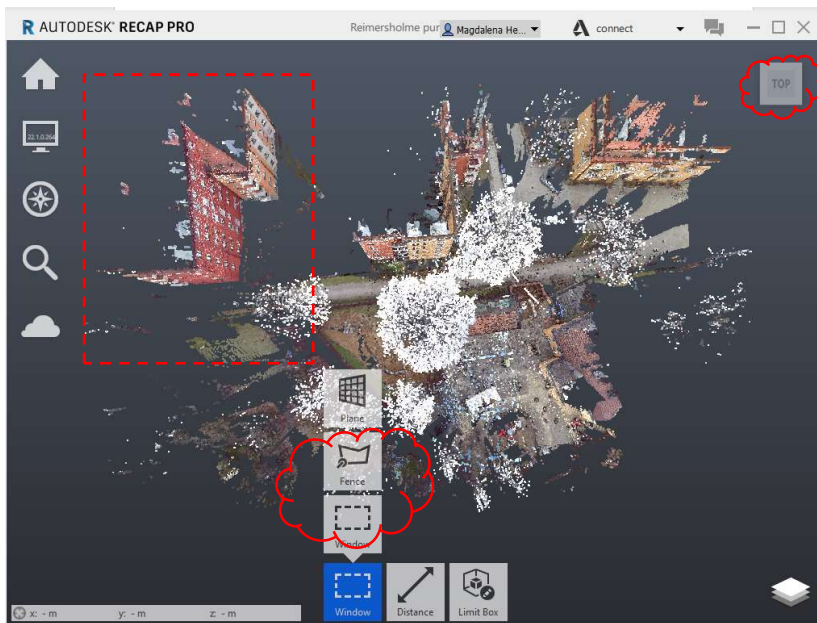
Cloud:

- **Matterport.com**

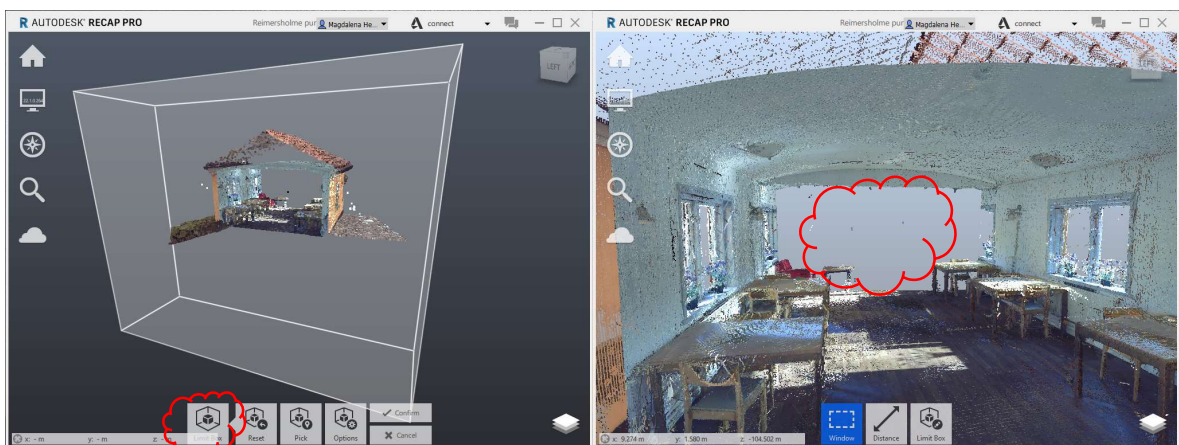
3.2.2 Metod

3.2.2.1 Rensning/förberedelse av punktmoln i Autodesk ReCap Pro

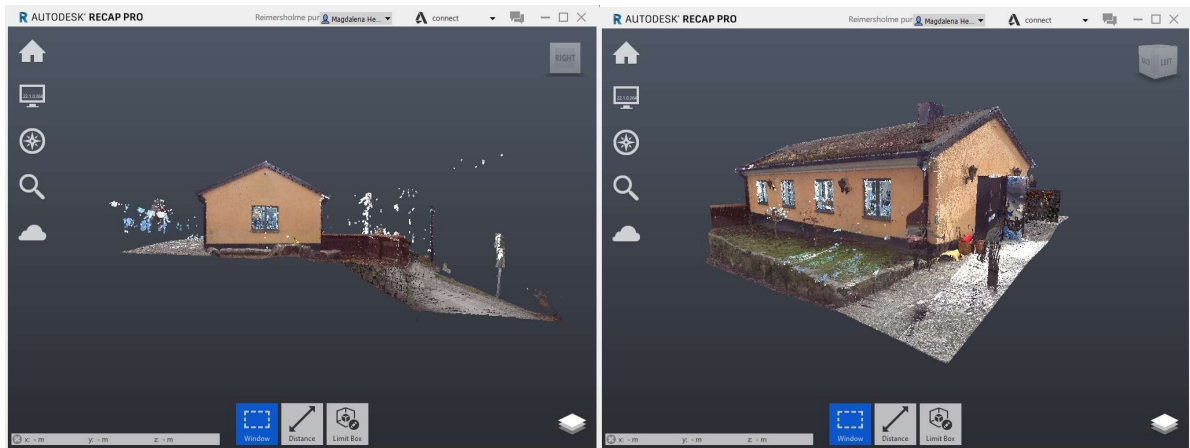
- Starta ett nytt projekt, namnge och välj vilken mapp punktmolnsfilerna ska sparas i
- Välj filen med punktmolnet som ska rensas och importeras
- Gå vidare genom att trycka på index scans för att visa punktmolnet i Recap
- Tryck på TOP för att visa planvy och välj window eller fence-verktyget för att välja de delar av punktmolnet som ska raderas



- Alternera mellan planvy och elevationsvy och välj punkterna i de olika vyerna som behöver rensas



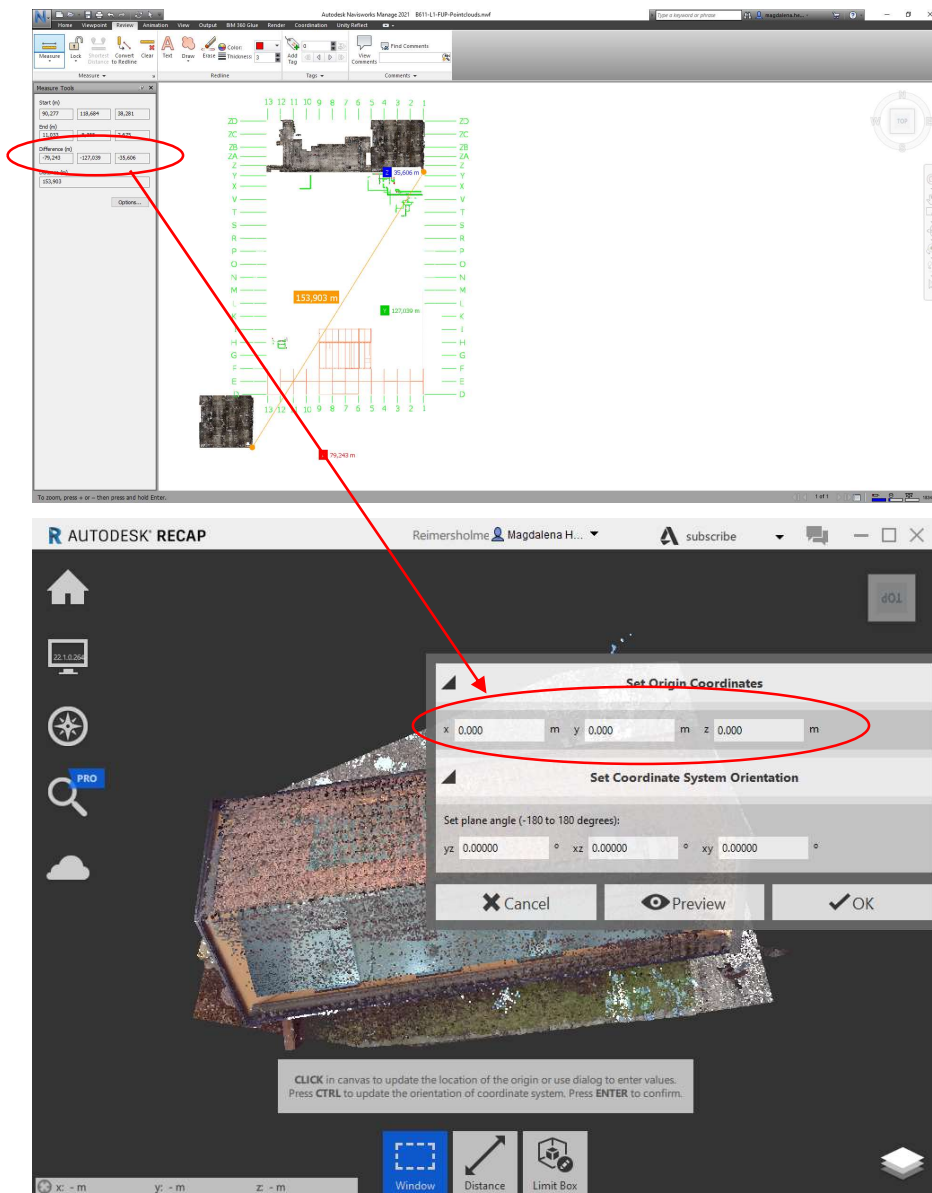
- Gå igenom insidan av byggnaden där "skräpppunkter" kan finnas framför fönster i form av speglingar och solljus, genom att sektionera med limitbox verktyget för att bara välja de punkterna som behöver tas bort
- När punktmolnet är rensat exporterar man molnet till en .rsc fil för att få all data samlad i en enda fil som sedan kan användas för att importeras i Revit eller Navisworks manage
- För att importera till Archicad behöver man exportera till filformatet .e57



3.2.2.2 Tillverkning av punktmolnskarta i Bluebeam Revu

Att göra en punktmolnskarta med hjälp av Bluebeam Revu kan underlätta för projektörer och även övriga i projektet för enklare orientering och överblick i de olika punktmolnen om byggnaden är av större variant och det ej är möjligt att "sy ihop" hela byggnadsverket i ett enda punktmoln.

I planlösningssritningen markeras de *areor* upp där skanningarna har gjorts med hjälp av Tools-area verktyget. Namnge de areor som markerats med samma namn som punktmolnsskanningen och lägg till hyperlänkar som öppnar punktmolnen direkt från Matteredport molnet. I molnets planvy kan man även ta en skärmdump så det kan passas in direkt i planritningen. På detta sätt kan man se med största noggrannhet vilka areor som blivit skannade i byggnaden.



3.3 Punktmolnsmodellering

3.3.1 Material

Programvaror:

- Autodesk Revit 2021

Autodesk Revit är en avancerad BIM baserad programvara som används inom projektering, design och visualisering av byggprojekt som är anpassad för arkitektur, vvs, el och konstruktion. Revit är uppdelad i flera delar då disciplinerna har olika behov inom programvaran:

Autodesk Revit Architecture

- ✓ Fullständig associativitet
- ✓ Parametriska komponenter
- ✓ Förteckningar
- ✓ Detaljritning
- ✓ Samarbete
- ✓ Designvisualisering
- ✓ Kompatibilitet
- ✓ Revit building maker
- ✓ Stöd för punktmoln
- ✓ Bygghandlingar
- ✓ Revit server
- ✓ Citrix ready-status
- ✓ Komponenter som består av flera olika material

Autodesk Revit Structure

- ✓ Integrerar fysiska och analytiska konstruktionsmodeller
- ✓ Simplifierar skapandet av konstruktionskomponenter från modellvyer i 3D
- ✓ Förenklar arbetet vid konstruktionsmodellering och gör det lättare att härleda information direkt från designmodellerna

Autodesk Revit MEP (el, vvs)

- ✓ Modellering av rörsystem
- ✓ Verktyg för konstruktion av installationssystem
- ✓ Förteckningar över elcentraler
- ✓ Energidataanalys
- ✓ Dokumentation
- ✓ Automatiserar tillverkningsmodellayouten

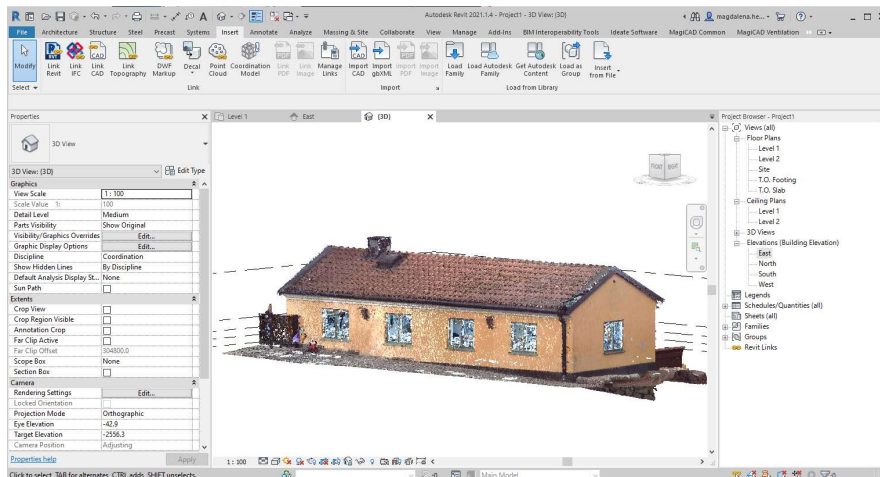
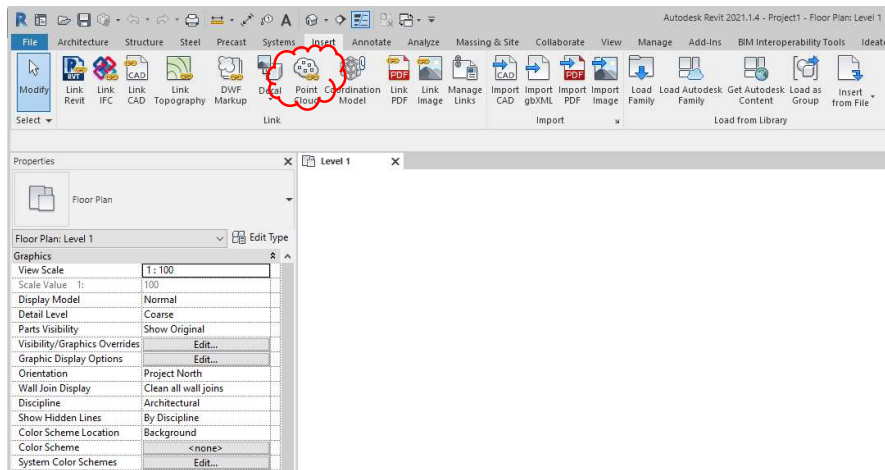
Filformatshantering

- ✓ Revits egna format: RVT, RFA, RTE, RFT.
- ✓ CAD format: DGN, DWF, DWG, DXF, IFC, SAT, and SKP.
- ✓ Bildformat: BMP, PNG, JPG, JPEG, and TIF.
- ✓ Övriga format: ODBC, HTML, TXT, and gbXML.

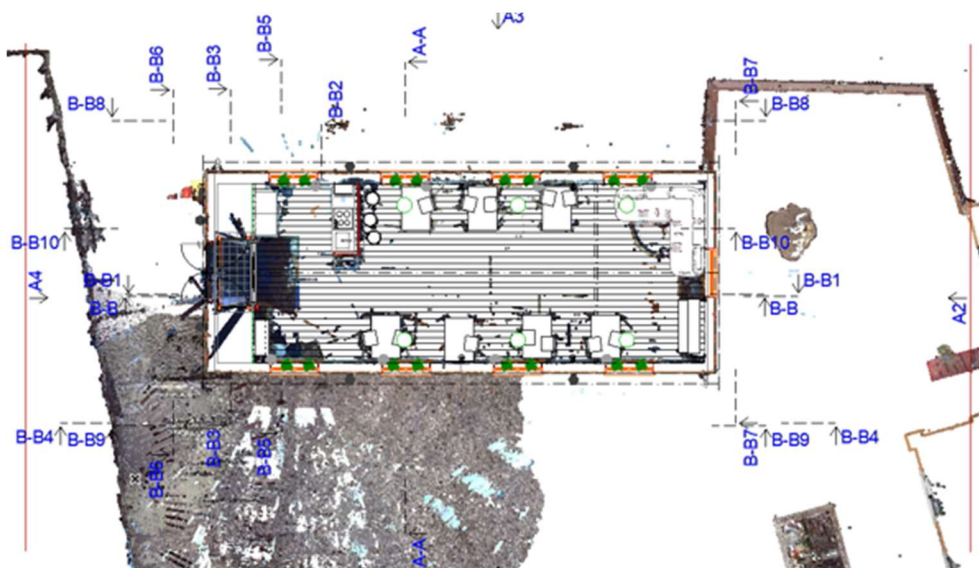
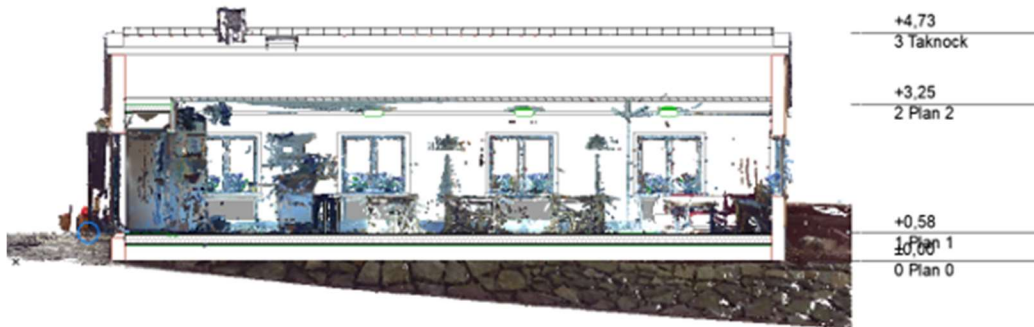
3.3.2 Metod

3.3.2.1 Modellering i Autodesk Revit

- Ladda in punktmolnet i Revit genom att länka in punktmolnet under fliken "insert"



- Börja med att flytta punktmolnet till rätt elevation genom att göra en sektion genom byggnaden
- Sätt sedan ut resterande elevationsplan baserat på byggnadens våningar som syns i sektionen
- Byt till planvy och använd slab tool för att rita ut golvet i markplan
- Fortsätt sedan att rita ut ytterväggar genom att mäta tjocklek på väggarna i punktmolnet och därefter välja wall tool där rätt inställningar kan fyllas i för väggens egenskaper



- Repetera för byggnadens innerväggar
- Gör sedan sektioner från olika håll av fasaden för att placera ut fönster, dörrar, ventiler, stuprör e t c
- För att modellera insidan fortsätter man att göra sektioner och från olika håll inuti byggnaden och alternerar mellan sektionssvy och planvy beroende på vad det är man modellerar

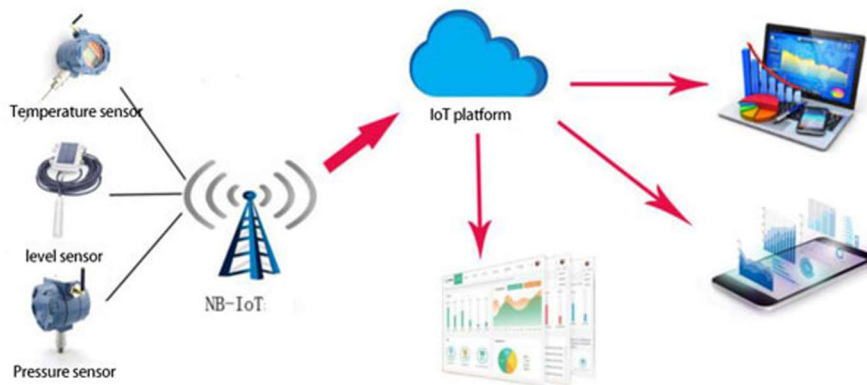


3.4 Monitorering och styrningssystem

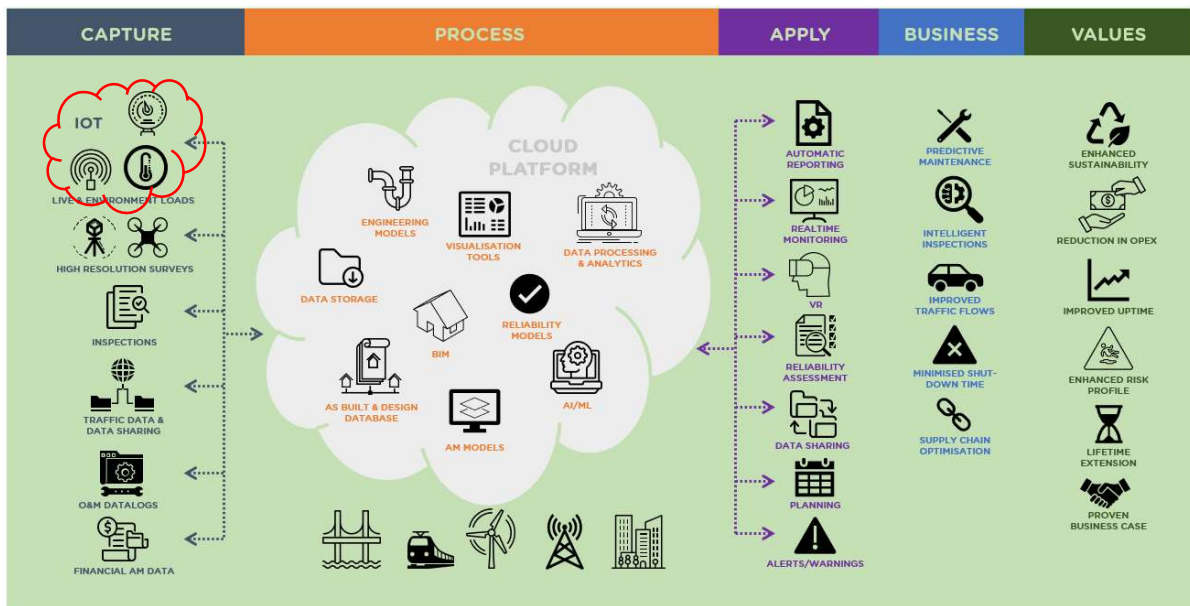
Ett fungerande övervakning och styrningssystem består av fyra komponenter:



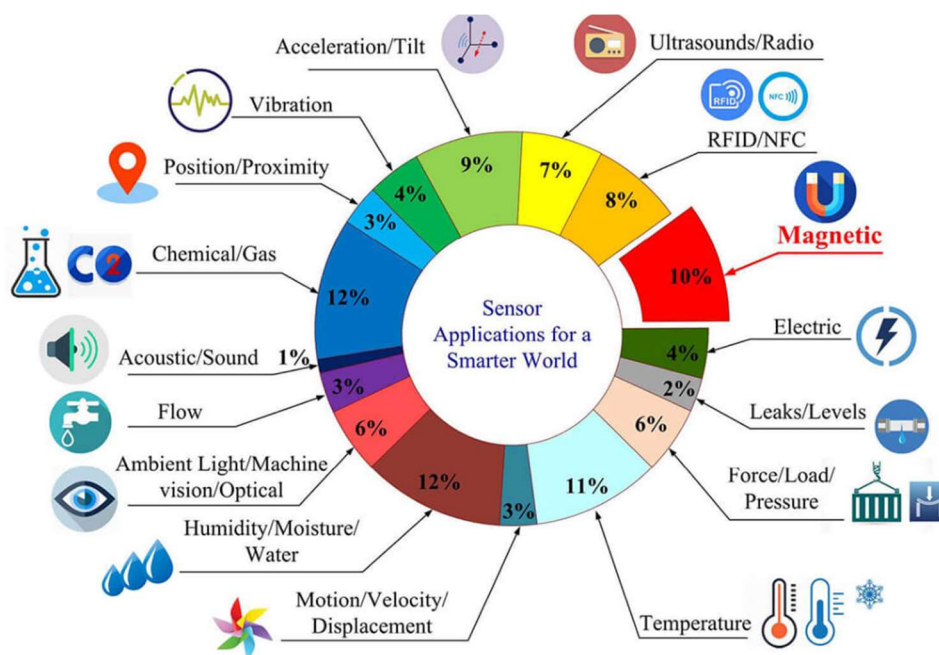
- Sensorer/utrustning för att förse data
- Uppkoppling till ett nätverk för att skicka data till användargränssnittet
- Processer för att hantera och analysera data
- Människor som slutanvändare för att styra och hantera utrustningen



3.4.1 Sensorer



Sensorer är utrustning som kan läsa av och bevaka en egenskap i en viss omgivning. Enkelt beskrivet fungerar de som sinnen hos en människa. De kan till exempel känna av temperatur, fuktighet, lufttryck, halter av ämnen i luften och samtidigt samla in data från omgivningen. Sensorer kan arbeta tillsammans eller finnas i en del av en utrustning som då även ha andra funktioner t ex en mobil eller ett kylskåp. I mobilen finns GPS och kamera vilket är sensorer, men mobilen är inte bara en sensor det är också en telefon!

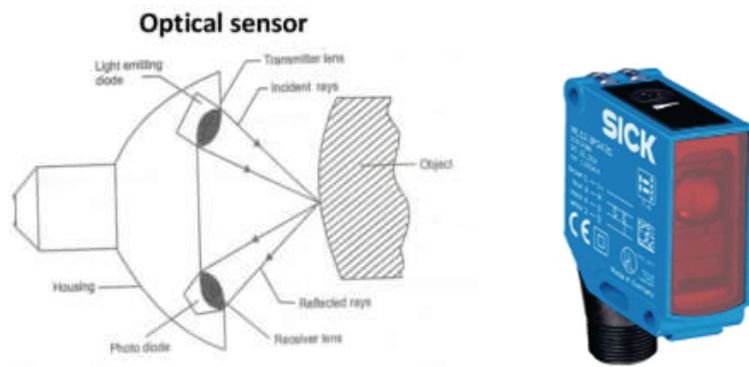


Man kan dela in IoT sensorerna i två grupper:

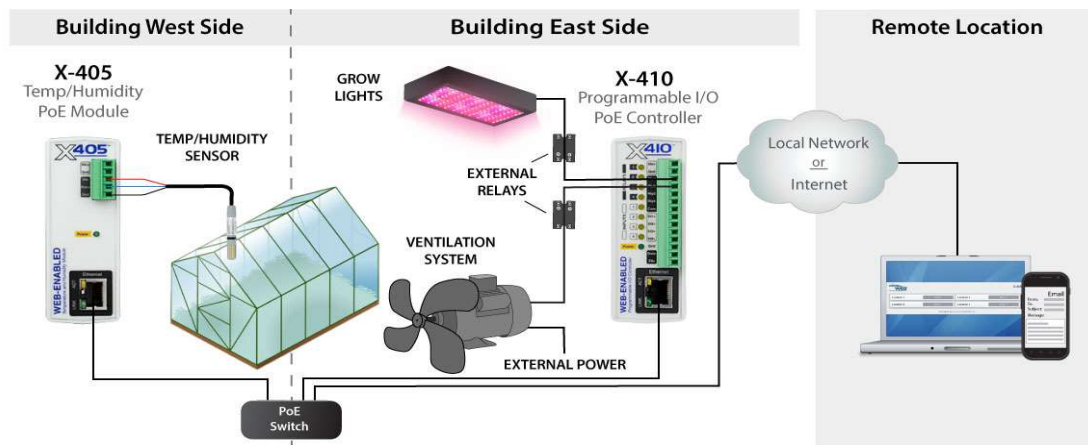
- De sensorer man använder för utrustningar i en byggnad
- Sensorer som kan användas tillsammans med de första och som används till störst del i industrimiljö

Sensorer som ofta används i byggnader:

- **Ljussensorer** - De kallas för fotosensorer och är skapade för privatkonsumenter och industrin. De kan användas i många olika områden från bilindustrin till jordbruk och bevakning



- **Temperatur och fuktighetsmätare** - Kallas också för hygrometer. Temperatur och fuktighetsmätning används oftast tillsammans. Det är viktigt att kunna styra temperaturen i en industriell miljö där maskiner kräver en viss temperatur för att kunna fungera långsiktigt. VVS system i byggnader använder sensorer för att upptäcka förändringar i luften. Vanliga ställen dessa används är i matindustrin, sjukhus samt i datacentraler.



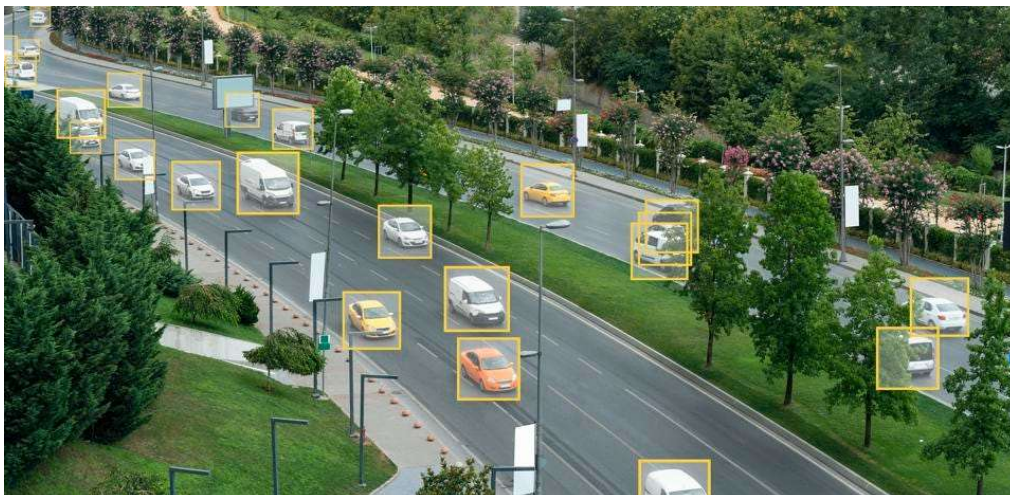
- **Rörelsedetektorer** - Det finns flera sorters rörelsedetektorer med sensorer som använder olika tekniker för att uppnå sin funktion. Alla dessa kan användas som rörelsedetektorer beroende på budget och funktionen den är vald till.
 - ✓ **Proximity sensor** - sensor som upptäcker föremål i närheten och utan kontakt. De används i tusentals IoT applikationer som mätningssystem.
 - ✓ **Positionssensor**
 - ✓ **Rörelsesensor**



- **Ljudsensorer** - Med en ljudsensor kan man upptäcka ljud i utrymmen och bevaka intensitetsändringar i ljudnivån för t ex en apparat. Det finns även sensorer som har inspelningsfunktion och sådana med mer komplexa funktioner som ljudmätarapplikationer.

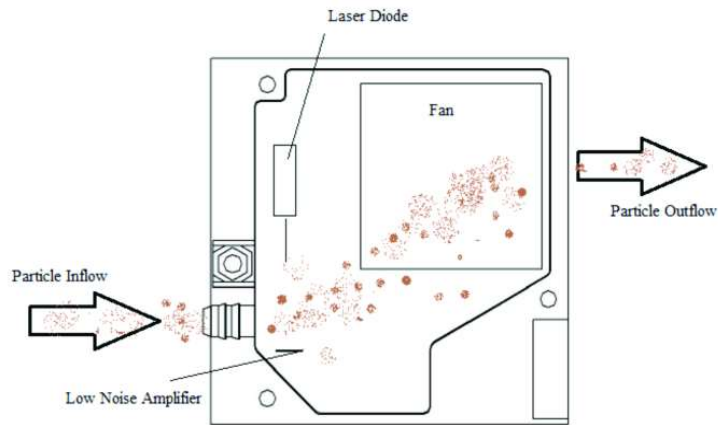


- **Bildsensorer** - Kameran är kanske den mest kända sensorn som kan användas från att räkna människor till AI applikationer med mönsterigenkänningsfunktion.



Mönsterigenkänning med hjälp av AI

- **Luftkvalitetssensorer** - Luftkvalitetssensorer används ofta i industrin och i privata områden. De mäter luftföroreningar genom att fånga partiklar i luften och mäta partiklarnas densitet och storlek. Det kallas för "particulate matter" sensorer.



- **Vattenkvalitetsensorer** - Det finns många olika vattenkvalitetsensorer. Med pH-sensor, turbiditetsensor (grumlighet) och redoxsensor (oxidations reduktion) kombinerade kan man få en bra bild av vattnets kvalitet.



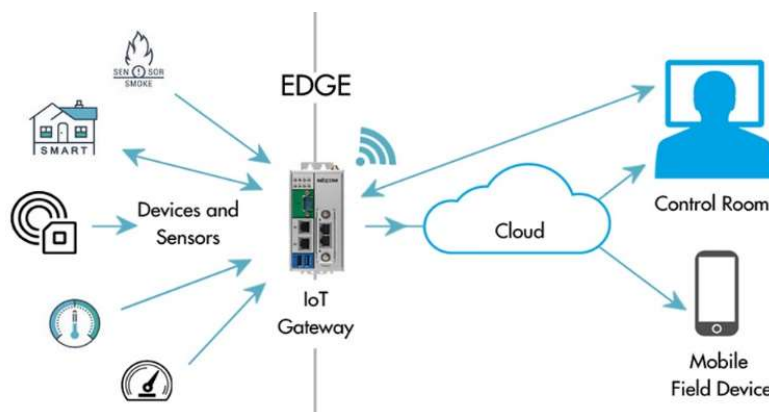
https://www.s-can.at/wp-content/uploads/2021/12/pipescan_image.jpg

Sensorer och apparater gör det möjligt att känna av hur byggnader och installationer "mår" genom att samla data som sedan skickas för bearbetning och analys. För att skicka data måste de vara kopplade till ett nätverk.

3.4.2 Uppkoppling till ett nätverk

Syftet att koppla apparaterna till ett nätverk är att de ska kunna skicka informationen som de upptäcker/bevakar till användaren. För att göra det krävs dessa steg:

- Apparatregistrering och aktivering
- Apparatautentisering/auktorisering
- Apparatkonfiguration
- Apparatförberedelse: Utveckla apparaten så den kan styras av en slutanvändare
- Koppla sensorerna/apparaterna till användargränssnittet:
 - Via en API (Application Programming Interface)
 - Direkt

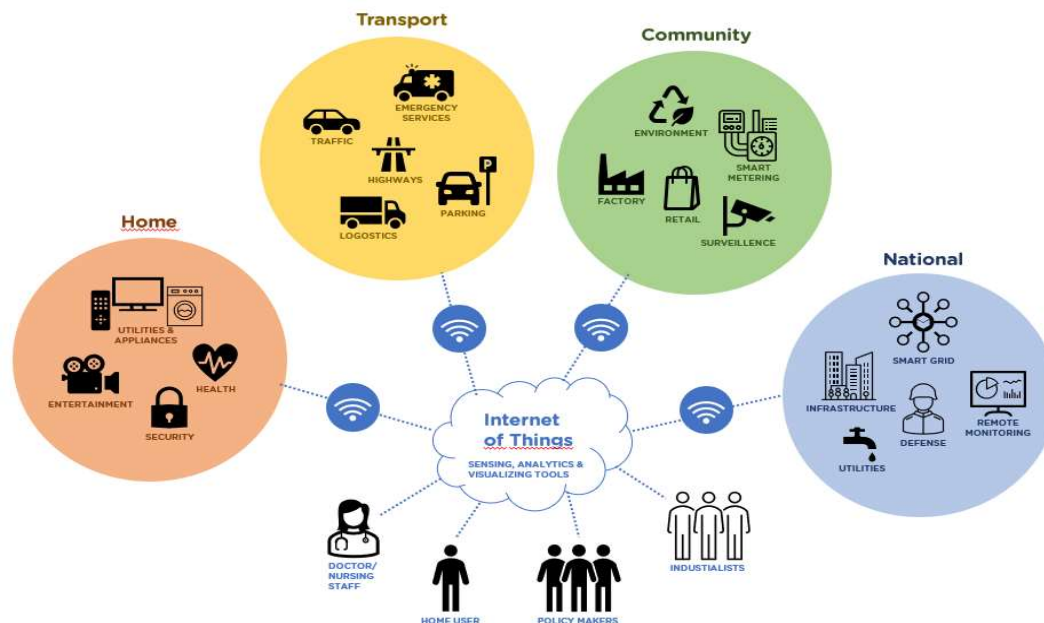


3.4.2.1 Internet of Things

All utrustning som är kopplad till internet tillhör konceptet Internet of Things. Inom detta område kan man hitta sensorer och IoT apparater. Enligt internationella teleunionen (International Telecommunication Union, ITU) som är ett specialorgan inom Förenta nationerna och är specialiserade inom informations och kommunikationsteknologier:

“The Internet of Things (IoT) has been defined in Recommendation ITU-T Y.2060 (06/2012) as a global infrastructure for the information society, enabling advanced services by interconnecting (physical and virtual) things based on existing and evolving interoperable information and communication technologies. “ (ITU, 2012).

I praktiken är Internet of Things en konstellation av objekt som är länkade, analyserade och styrda genom "molnen" och via olika tjänster.



3.4.2.2 Kommunikationsprotokoll

Man kan koppla apparaterna/sensorer med hjälp av olika kommunikationsprotokoll. Kommunikationsprotokoll är som en överenskommelse mellan två eller flera parter om hur man ska kommunicera. Det är ett slags "språk" som maskiner och programvaror använder för att kommunicera med varandra.

Det finns flera olika kommunikationsprotokoll på grund av att varje protokoll har sina för- och nackdelar beroende på energianvändning, frekvenser, pålitlighet i datakvalitéöverföring och nätverkets topologi.

Protokollerna har flera egenskaper och kan samlas in i tre huvudgrupper:

- Hög energiförbrukning, stor räckvidd, stor bandbredd: cellular and satellite.
- Låg energiförbrukning, Liten räckvidd, stor bandbredd: WiFi, Bluetooth och Ethernet
- Låg energiförbrukning, stor räckvidd, Liten bandbredd: övriga

Om internetuppkopplingen skulle sluta att fungera kan det lösas med andra kommunikationsprotokoll.

Exempel på kommunikationsprotokoll:

- XMPP open source - instant messaging, närvaroinformation
- MQTT-SN (MQ Telemetry Transport) open OASIS standard
- Standard för IoT Messaging,
- Samla in data och skicka till servrar, många sensorer → en mottagare
- AMQP server till server protokoll överföring utan dataloss- bank
- DTLS
- DDS

Trådlösa protokoll:

- Zigbee -Personal Area Network (PAN), styrning och övervakning av utrustning
- Z-Wave
- Bluetooth Low Energy
- Olika LPWAN (low-power-wide area network)
- RFID och NFC

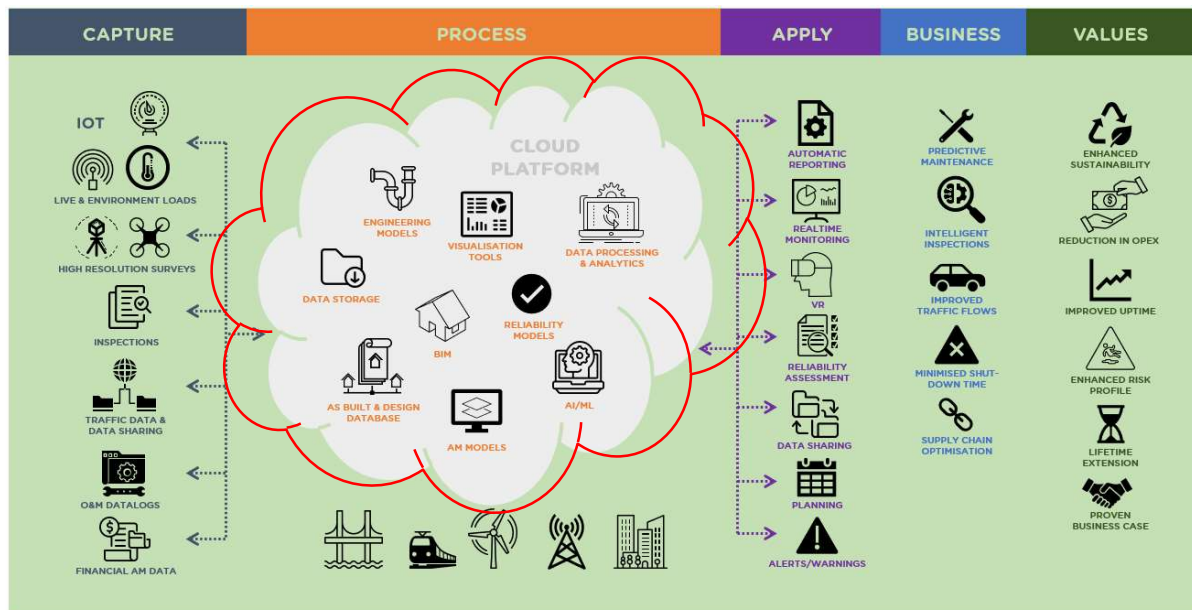
En del apparater kan hantera data så de endast skickar en viss utvald mängd data med hjälp av maskininlärningsteknologi.

En resursbehovsjämförelse mellan olika protokoll:

| Egenskaper | Zigbee | Bluetooth Low Energy | Bluetooth | Wi-Fi | Z-Wave |
|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------------------------------------|----------------|
| IEEE | 802.15.4 | | 802.15.1 (BT 1.x) | 802.11a/b/g/n/ac | |
| Ram förbr. | 4-32 ko | | 250 ko + | 1 Mo + | |
| batteritid | År | År | månader | dagar | |
| Antal noder | 65 000+ | obegränsat | 255 | 256+ | |
| överföringshastighet | 20-250 kb/s | 1 Mb/s | 1-3 Mb/s | 11-54-108-320-1000 Mb/s | 9 à 100 kbit/s |
| Räckvidd | 10 m ² | 10 m | 10 m | 10 m (802.11a) à > 300 m (802.11b) | 50 m |

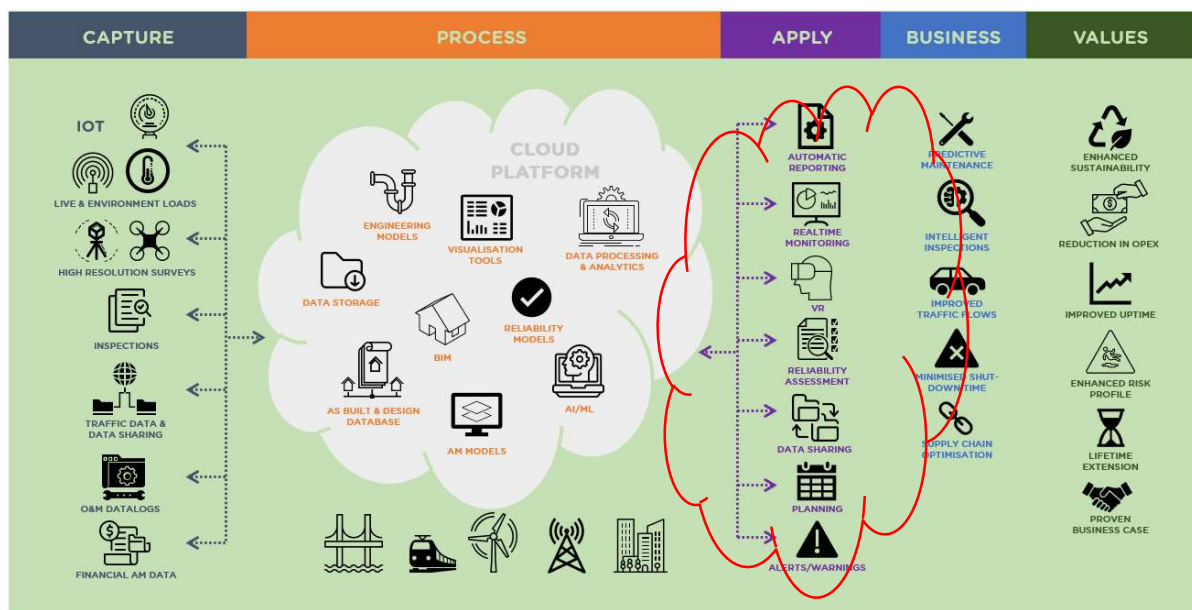
<https://fr.wikipedia.org/wiki/ZigBee>

3.4.3 Val av processer



Processer som datalagring, dataanalys, statistik och AI maskininlärning ger möjlighet att organisera data så man kan ta till åtgärder beroende på resultat. AI maskininlärning är ett verktyg för att automatisera ändringar på IoT apparater för att behålla ett stabilt läge för byggnadens drift. Det finns tusentals olika processer. Det kan vara allt från att titta på ett datacenters temperatur till datorseende program som kan känna igen rörelser i en live video.

3.4.4 Människor - övervakning och styrning



Ett användargränssnitt låter fastighetsägaren, fastighetsförvaltaren eller med andra ord den slutgiltiga användaren, möjligheten att visualisera, diagnostisera, felsöka, uppdatera fast programvara, styra och monitorera genom att ändra parametrar på apparaterna i olika grader beroende på deras funktioner och viktighetsgrad. Användaren kan ändra ljusets styrka i sitt vardagsrum men har inte möjlighet att ändra ventilationens luftflöde som fastighetsförvaltaren kan göra. Det är också möjligt att få ett meddelande på mejl eller SMS när ett fel eller en ändring i systemet uppstår.

3.4.4.1 Instrumentpanel (dashboard)

Instrumentpanelen gör det möjligt att visualisera all data som har blivit bearbetad. Det är ett grafiskt användargränssnitt där data sammanställs. Det kan finnas flera instrumentpaneler som uppdateras kontinuerligt med informationen från sensorerna. Allting sker i realtid och kan spelas in och lagras.

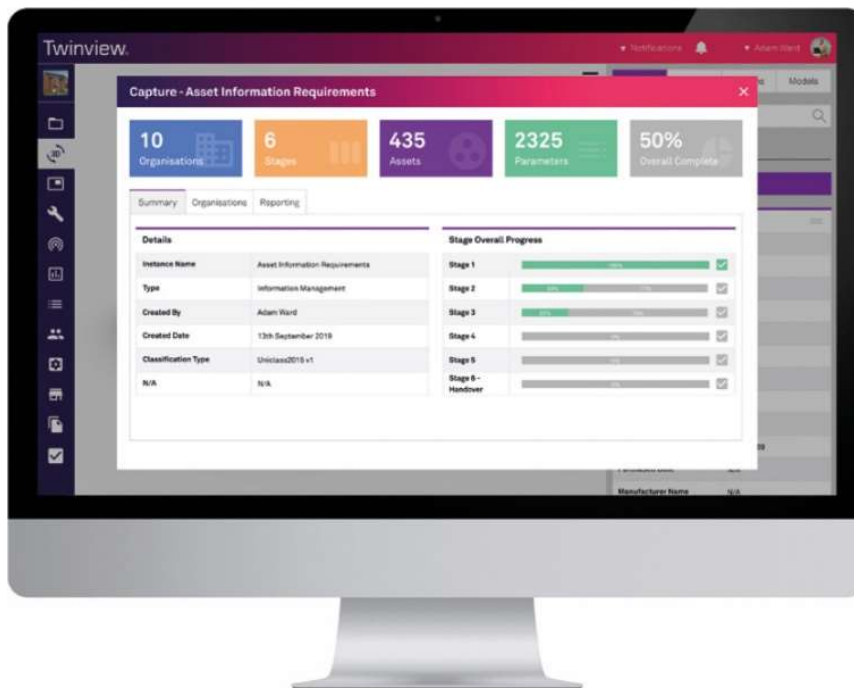


Bild: <https://www.elastic.co/blog/visualizing-security-data-canvas>

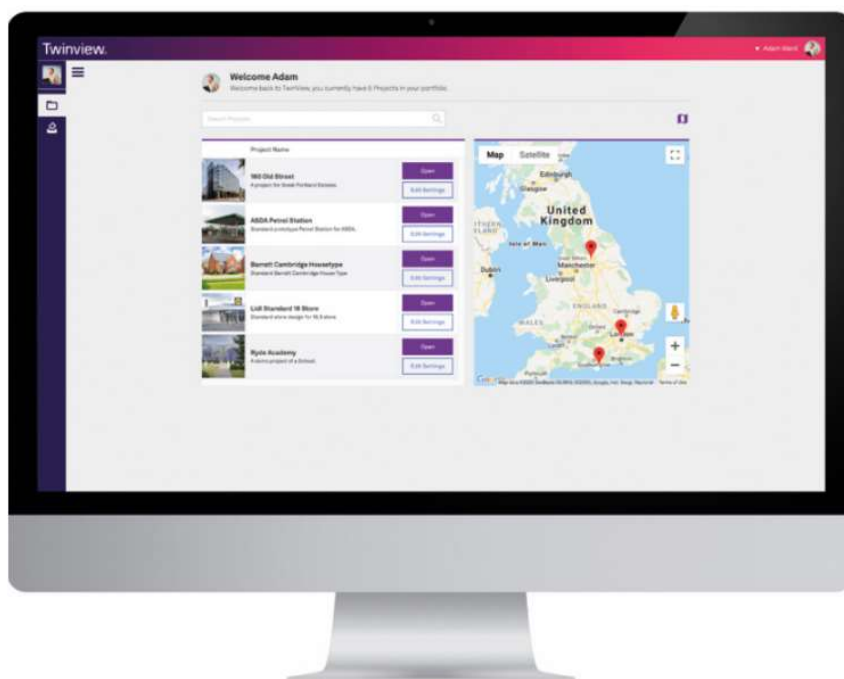
3.4.4.2 Monitoreringsplattform

En monitoreringsplattform är en "allt-i-ett" lösning där man kan se modellen, all data som ingår samt data från IoT utrustningen på ett och samma ställe. Det finns flera sådana plattformar på marknaden bland annat Twinview, Nvidia Omniverse, Amazon Web Services AWS IoT, Microsoft Azure IoT och Google Cloud platform.

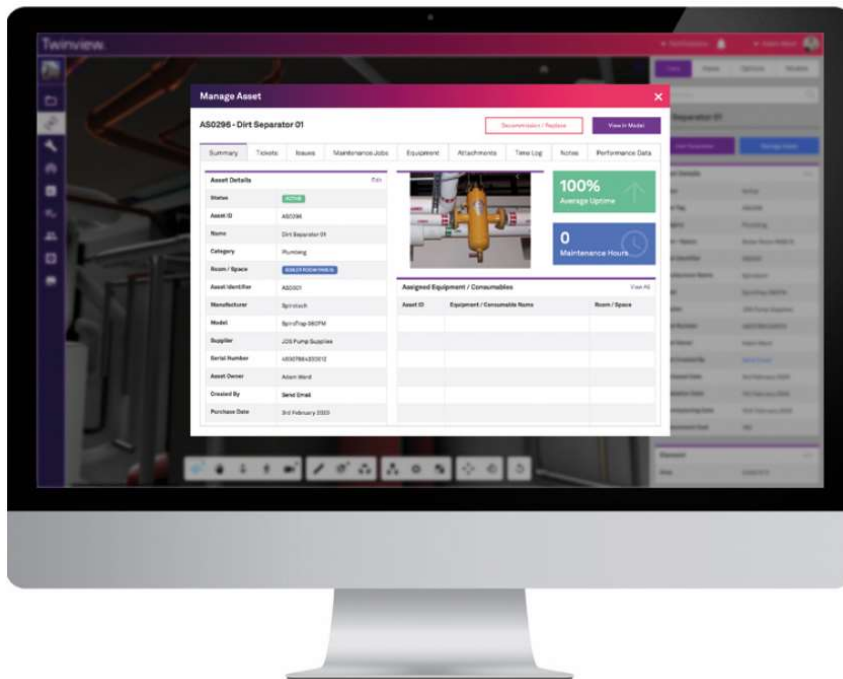
Några exempel från Twinview-plattformens grafiska användargränssnitt (GUI):



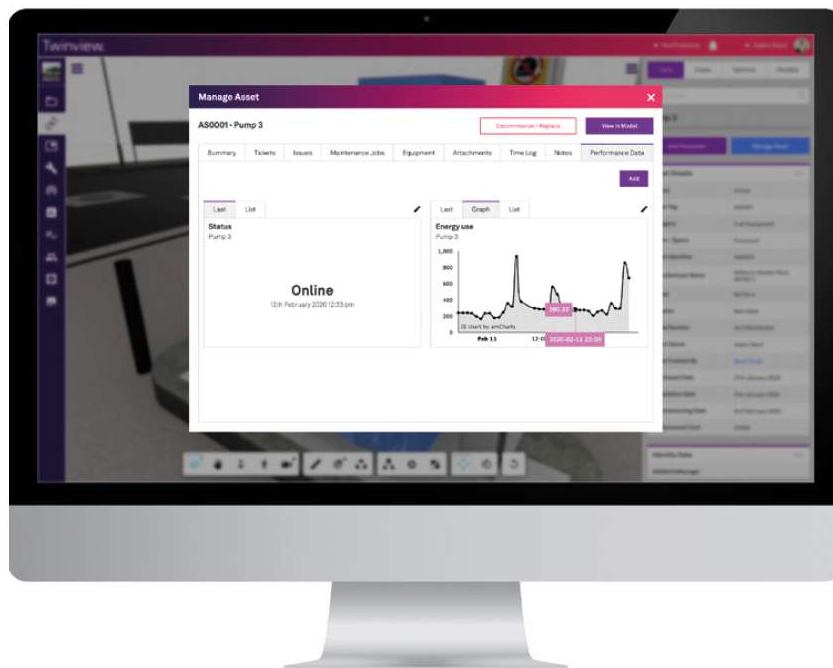
Capture gränssnittet hjälper att välja vem som är ansvarig för vilken data och i vilken omfattning i projektet.



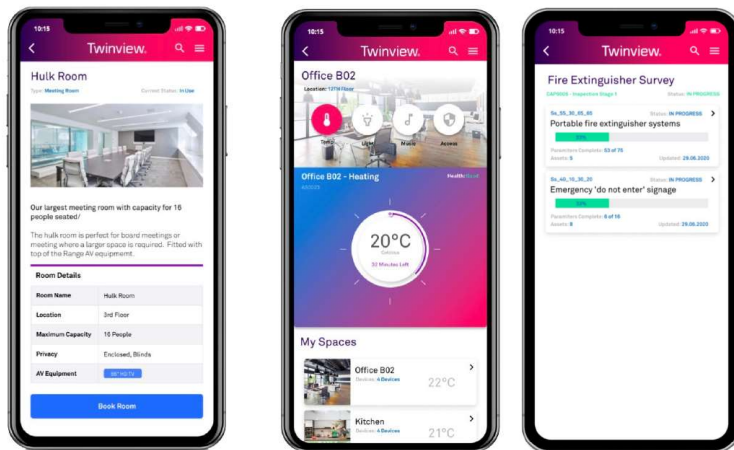
Access ger möjlighet att visualisera byggnadens 3Dmodell, 2D ritningar och all data som ingår i byggnaden.



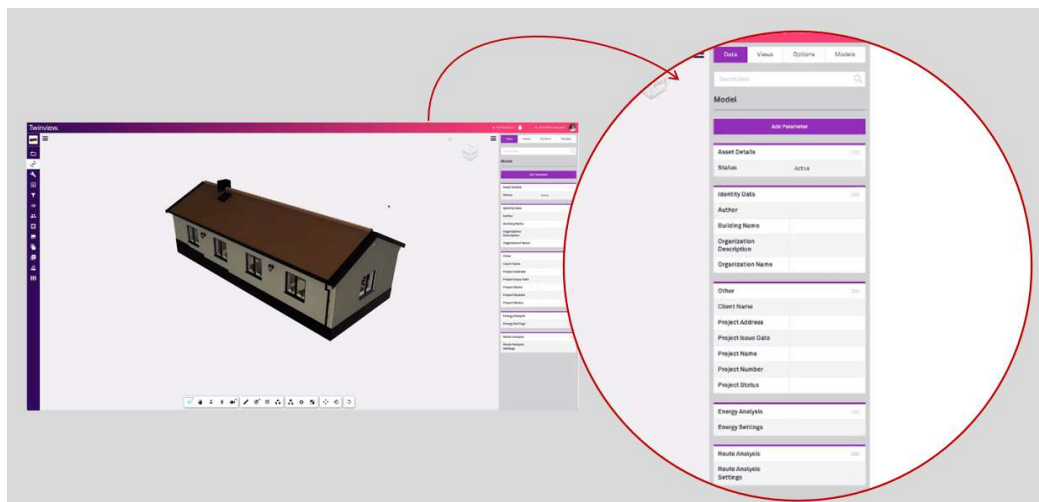
Manage modulen har skapats för att samla in all information om en apparat som till exempel underhållservice, ärenden, historik. Där kan man också övervaka IoT utrustning i realtid.



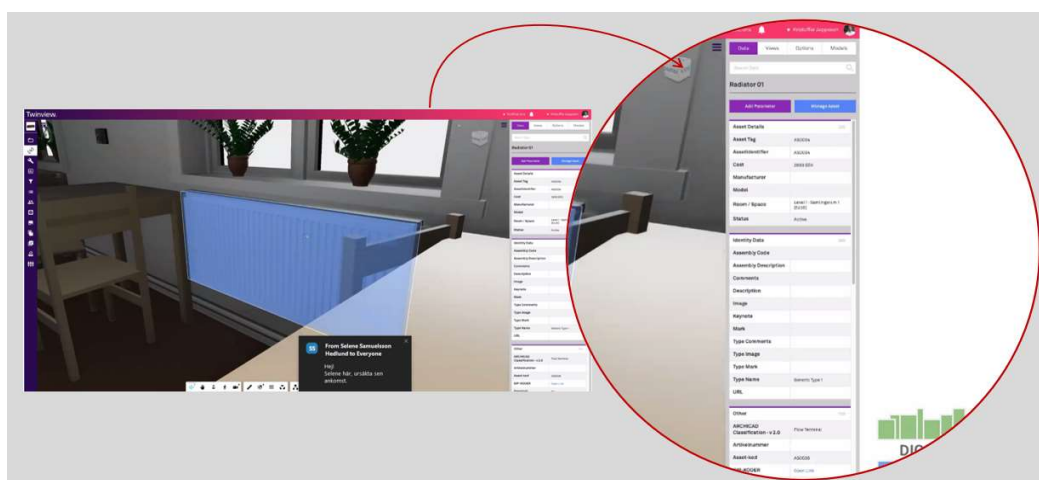
Realtidsövervakning i Manage.



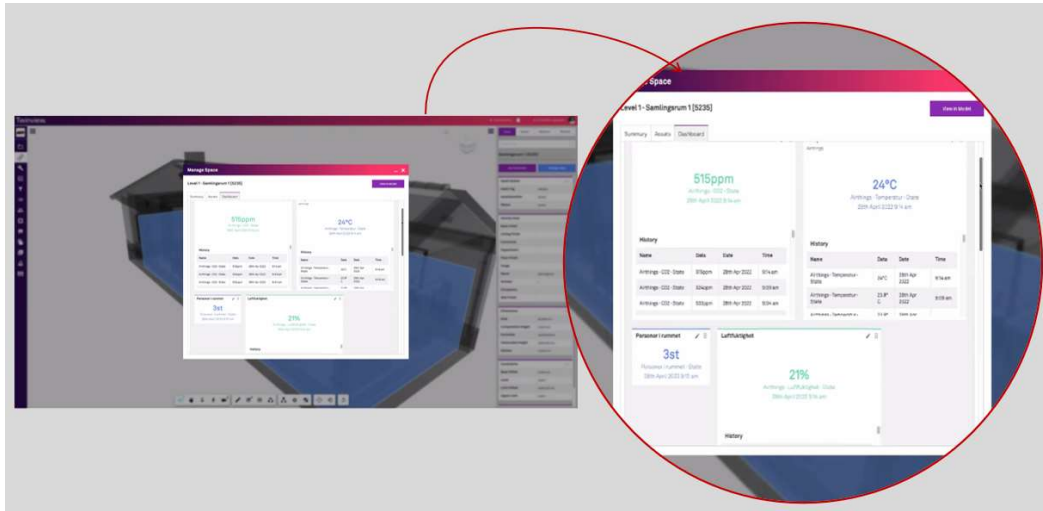
Via en dedikerad applikation kan man få tillgång till alla funktioner och även möjligheten att styra de smarta apparaterna "on the fly".



Exempel på en 3d- modell vars värmesystem är kopplad till plattformen i realtiddatavflöde.



IoT apparats (radiator) egenskaper.



Övervakning av luftkvalitet, temperatur och människor i rummet.

4. RESULTAT

Avsikten med rapporten var att undersöka hur en arbetsmetod kan se ut vid framtagandet av en äkta digital tvilling. Enligt undersökningen kan arbetsflödet se ut så här:

1. Punktmolnscanning
2. Punktmolnsrensning
3. Koordinathantering
4. Punktmolnsmodellering
5. Utplacering av sensorer
6. Uppkoppling till ett nätverk (internet of things)
7. Val av processer
8. Monitorering, övervakning och styrning

5. ANALYS

Programvarorna är valda utifrån tillgången till dessa genom studentlicenser samt jobblicenser. Det finns andra varianter av programvaror som har samma eller liknande funktioner och kan ersätta de i rapporten.

Gällande en befintlig byggnad blir det mer komplext att implementera en digital tvillings hanteringssystem. Först kan man fundera på om det är nödvändigt att ha sensorer eftersom man skulle kunna använda data från det aktuella byggnadshanteringssystemet. Det kan vara så att den befintliga datan från ventilationssystemet, el-centralen, undercentralen och brandsystemet inte används till sin fulla funktion. Att använda de

befintliga systemen och komplettera med sensorer vid behov skulle kunna vara en effektiv lösning för att förvaltaren/ägaren ska kunna få en överblick av byggnadens hälsotillstånd och status. Dock behöver man även konfigurera apparater som inte har ett kommunikationsgränssnitt.

En digital tvilling kräver uppkoppling till ett nätverk och det betyder att IT säkerheten kommer i spel. Säkerhetsfrågan måste ingå i en rejäl IT-strategi för att försäkra sig om att inget intrång eller "loss av data" kan ske.

6. SLUTSATS

Vi har med hjälp av research, intervjuer och eget experimenterande tagit fram en arbetsmetod för en äkta digital tvilling. Eftersom rapporten är halvteoretisk så kan vi dock inte bevisa att arbetsmetoden är helt felfri. Arbetsflödet är testad praktiskt tills utplacering av sensorer, metodiken efter detta är teoretisk. Dock kan man konstatera att i andra projekt som DTSC har det varit möjligt att koppla och övervaka realtiddata från IoT-apparater på det sättet rapporten är skriven. The Hickman buildning är ett bra exempel på att det fungerar praktiskt då Twinview ligger till grund som plattform till denna.

7. REFERENSER

Anon., 2022. <http://www.ciy-led.com>. [Online]

Available at: http://www.ciy-led.com/new_show.php?id=29&lm=2

[Använd 14 juni 2019].

Anon., u.d. [Online]

Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_twin

BIMtoday, 2021. www.pbctoday.co.uk. [Online]

Available at: <https://www.pbctoday.co.uk/news/bim-news/the-hickman-digital-twin/98474/>

[Använd 21 5 2022].

Digital Twin Sustainable Cities, 2022. dtsc.se. [Online]

Available at: <https://dtsc.se/digital-tvilling/>

[Använd 21 5 2022].

Gartner, 2018. www.gartner.com. [Online]

Available at: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-12-13-gartner-2018-hype-cycle-for-it-in-gcc-identifies-six-technologies-that-will-reach-mainstream-adoption-in-five-to-10-years>

[Använd 21 5 2022].

Harish, A., 2020. www.simscale.com. [Online]

Available at: <https://www.simscale.com/blog/2016/10/what-is-finite-element-method/>

[Använd 21 5 2022].

internet, S., u.d. wikipedia. [Online]

Available at: https://sv.wikipedia.org/wiki/Sakernas_internet

ITU, 2012. [Online]

Available at: <https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>

Pelaez, A., 2020. Ubidots.com. [Online]

Available at: <https://ubidots.com/blog/iot-sensor-types/>

[Använd 16 04 2020].

Posey, B., u.d. www.techtarget.com. [Online]

Available at: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/IoT-device>

[Använd mars 2022].

Ramboll workshop, 2022. ramboll.com. [Online]

Available at: <https://se.ramboll.com>

[Använd 21 05 2022].

RBERLIA, 2015. [https://learn.sparkfun.com](http://learn.sparkfun.com). [Online]

Available at: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/connectivity-of-the-internet-of-things>

Stigendal , S., u.d. *se.ramboll.com/*. [Online]

Available at: <https://se.ramboll.com/press/artiklar/vad-ar-en-digital-tvilling>

Twinview.Pdf, u.d. *Twinview_Platform_E-document_Extended_Edition_Spreads*, u.o.: u.n.

Twinview, u.d. *www.twinview.com*. [Online]

Available at: <https://www.twinview.com/>

Viablecities, 2022. *www.viablecities.se*. [Online]

Available at: <https://www.viablecities.se/klimatkontrakt-2030>

[Använd 21 5 2022].

Wikipedia, 2022. *en.wikipedia.org*. [Online]

Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling

[Använd 21 5 2022].

Wikipedia, 2022. *en.wikipedia.org*. [Online]

Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_fluid_dynamics

[Använd 21 5 2022].

Wikipedia, 2022. *www.wikipedia.com*. [Online]

Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_twin

[Använd 21 5 2022].