

Visualisering af sensordata

”Proof of concept” for visualisering af sensordata i digitale tvillinger.

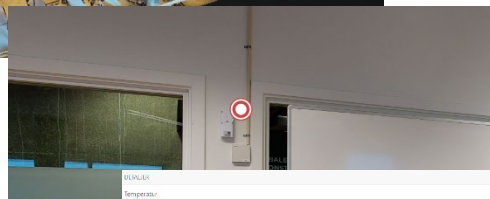
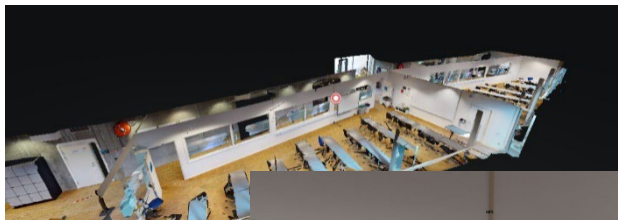
Workingpaper udarbejdet af

Jacob Christensen, Lektor

Mathias Munkholm Jensen, Adjunkt (co-writer)

Casper C. Hviid Retlef, Studerende (Dataindsamling og tests)

21. december 2022



Sjælland	
Temperatur	24°C
Luftfugtighed (RH%)	59%
CO2	800 ppm
VOC	335 ppb
Lydniveau	38 lux
Lydforurening	0 K
Trykniveau	97 mB
Udtaget	Opstartet
Endret	2023 mV
MSL	80 dB

Indholdsfortegnelse

Abstract	2
1 Introduktion	2
1.1 Indledning	2
1.2 Hypotese	2
1.3 Afgrænsning	2
1.4 Opbygning	2
2 Litterature Review	3
2.1 Litteratur research	3
2.2 Litteraturgennemgang	3
2.3 Konklusion på Litterature Review	4
3 Metode	4
4 Resultater	4
4.1 Adgang til sensordata	4
4.2 Visualisering af sensordata	5
5 Analyse/diskussion	8
5.1 Adgang til sensordata	8
5.2 Visualisering af sensordata	8
6 Konklusion	9
7 Referencer	9

Abstract

Arbejdet i dette workingpaper har til formål at afdække, om vi med nuværende software til at skabe en digital tvilling med "live" sensordata. Workingpaperet beskriver et "Proof of concept" af aktuel teknologi på markedet og er en afsøgning og afprøvning af udvalgte teknologier til visualisering af sensorplacering og sensordata. Denne visualisering har til hensigt at gøre data tilgængelige og forståelige for lægmand. Resultaterne viser, at der er flere forskellige tilgange til visualisering, som alle har fordele og ulemper. Den overordnede konklusion er, at vi på nuværende tidspunkt kan få live sensordata koblet sammen med 3D-bygningsmodeller og at det videre arbejde kalder på en kommercialisering, hvor valget af visualiseringstilgangen afhænger af, hvem der er målgruppen for visualiseringen

1 Introduktion

1.1 Indledning

En "digital tvilling" er et begreb der benyttes om en digital klon af en virkelig bygning. Al viden og information om den virkelige bygning er tilgængelig på de bygningsobjekter, som den digitale model består af. Suppleres denne information med historisk og "realtime" sensordata fra bygningen, åbner det for en model, der kan bruges til at forudsige og planlægge ud fra.

En digital tvilling åbner for enorme optimeringspotentialer for driften og automatiseringen af bygninger.

- Bygningens CTS¹/BMS² -anlæg og tekniske installationer kan sammenkobles så bygningen automatisk bliver behovsstyret.
- Driftspersonale vil have adgang til al den nødvendige viden, så de har mulighed for at tilgodese den samlede bygning når de vedligeholder bygningen.
- Ved at samle al data i én samlet model og visualisere den på en forståelig måde, vil man kunne åbne for, at brugerne af bygningen inddrages aktivt i driften og brugen af bygningen.

1.2 Hypotese

Projektet blev fra starten opdelt i to hovedhypoteser, da man ved denne opdeling kan fokusere på de forskellige potentialer som hypoteserne hver især giver.

1: Indeklimaet kan optimeres hvis sensordata kan snakke sammen med bygningernes CTS/BMS anlæg. En samling af data i en digital tvilling vil kunne smidiggøre dette.

2: Brugere og driftspersonale kan være med til at optimere på indeklimaet, hvis de bliver bevidste omkring aktuelle forhold og data bliver formidlet på en forståelig måde.

1.3 Afgrænsning

Dette workingpaper vil afdække mulighederne inden for den anden hypotese. Første hypotese viste sig i undersøgelserne at være et meget datateknisk problem, som meget forenklet "bare" handler om at få forskellige digitale systemer til at "tale" flydende sammen. Her vil en digital tvilling ikke bidrage banebrydende til problemløsningen, men blot være en god samlende database.

Projektet viste, at der stadig er et stykke vej til at data kan komme helt ud til brugerne som hermed vil kunne interagere. Tilgængeligheden af data er stadigvæk målet med de undersøgelser som dette workingpaper omhandler. Emnerne omkring den direkte brugerinddragelse er blevet nedtonet og fokus er på visuel og forståelig datavisning for lægmand.

1.4 Opbygning

Workingpaperet er opbygget med en praksisnær tilgang. I afsnittet "Litterature Review" går vi i dybden med eksisterede litteratur for at bygge videre på de erfaringer som allerede er i branchen. I afsnittet "Metode" forklares, hvordan vores tilgang til undersøgelserne har været. I resultatafsnittet beskrives, hvordan vores test og afprøvninger et blev udført for at vi i analyseafsnittet kan diskutere fordele, ulemper, samt sammenstille resultaterne. I de empiriske afsnit vil der være små delkonklusioner som forklarer hvilke fordele og udfordringer der vil være ved de enkelte teknologier. Slutteligt konkluderes og perspektiveres på projektet.

¹ Central Tilstandskontrol og -Styring

² Building Management System

2 Litterature Review

2.1 Litteratur research

Vi har valgt at bruge ResearchGate og EBSCO-databaserne til at afsøge området for relevante artikler inden for projektets afgrænsning.

Vi har søgt artikler inden for 2 emneområder:

1. IOT og anvendelse af data
2. Formidling af data – Digital Twin, visualisering af data.

Indenfor emneområde 1 er der kun sparsomt udgivne artikler med et scope om sensordata formater, sprog, komponenter og adgang. Til dette emneområde har vi medtaget følgende artikel, der behandler sensoradgang:

"IoT Sensors and Protocols" Shubhrata Mahajan, Kaveri Deshmukh, Prof. Uday Patkar (Shubhrata Mahaja, 2016)

Indenfor emneområde 2 findes en del artikler på området, men ofte med et helt anderledes scope. Det er et emne, der for tiden udgives en stor mængde artikler om, hvilket bevidner om emnets aktualitet.

Til dette emneområde har vi valgt at anvende følgende artikler: *"A digital twin framework for improving energy efficiency and occupant comfort in public and commercial buildings"* Anders Clausen, Krzysztof Arendt, Aslak Johansen, Fisayo Caleb Sangogboye, Mikkel Baun Kjærgaard, Christian T. Veje and Bo Nørregaard Jørgensen (Anders Clausen, 2021) *"Data formatting and visualization of BIM and sensor data in building management systems"* Ivaylo Ignatov Ignatov, Peter Nørkjær Gade (Ivaylo & Peter, 2019) *"Digital Twin: Bringing MEP Models to Life"* David Fink, Alejandro Mata (David & Alejandro, 2019) *"Automated mapping from IFC data model to relational database model"* Hongling Guo, Ying Zhou, Xiaotian Ye, Zhubang Luo, Fan Xue (Hongling Guo, 2020)

2.2 Litteraturgennemgang

I artiklen *"IoT Sensors and Protocols"* beskrives forskellige metoder til at overføre data fra en sensor til et styresystem. Den kablede forbindelse er at foretrække, men artiklen lister også fordele/ulemper ved at anvende forskellige trådløse teknologier (Wi-Fi, Bluetooth, Zig-Bee, Z-wave, GSM+3G+4G+5G, NFC osv).

Afstanden og mængden af data, der skal transporteres, har stor indflydelse på hvilken trådløs forbindelse man anvender. Ved valg af sensor bør man være opmærksom på disse faktorer.

Artiklen *"A digital twin framework for improving energy efficiency and occupant comfort in public and commercial buildings"* handler om et forsøg ved SDU i Odense, hvor man vha. sensordata og bygningsautomatik vil kunne regulere indeklimaet bedre i lokalerne. Man anvendte sensordata på en fremsynet metode, så man kunne forudse, hvornår de tekniske anlæg skulle justeres op og ned i drift frem for at de først aktiveres, når lokalet allerede er ved at være overophedet eller CO₂ mættet. Arbejdet er ikke baseret på en BIM-model, men ren dataformidling mellem sensorer og de tekniske installationers styresystemer, der overrules af den nye programmering.

I artiklen *"Data formatting and visualization of BIM and sensor data in building management systems"* er der set på muligheden for at visualisere sensordata i en 3D-model. Workflowet indebar sensorer, JSON, Revit, Rhino og grasshopper og endte ud i 3D planer med farveskala.

I artiklen *"Digital Twin: Bringing MEP Models to Life"*, Artiklen er baggrundsmateriale for en "talk" afholdt ved AutoDesk University Las Vegas 2019. David Fink og Alejandro Mata ser på, hvordan sensorer opbygges og programmeres i Arduino, så data gøres tilgængeligt online. I deres tilfælde uploades til IoT Cloud, hvorfra det eksporteres videre til Google Sheets i Real-Time. Derfra arbejdede de videre med dataene i en Dynamo-graph med et raindrop plug-in installeret. For at få dynamo til at hente data i Real-Time, måtte de sætte "noden" til at køre i loop, hvilket forklares hvordan man løser i artiklen. For at få data ind i 3D-modellen udarbejdes en sensor-family, der indeholder alle de parametre, der læses fra den virkelige sensor, der sidder i rummene. Dynamo-scriptet overfører i realtime data til de forskellige parametre fra den fysiske sensor ind i den virtuelle sensor i Revit. Visualiseringen i Revit bestod i et "tag" af sensoren, der viste sensordata som f.eks. temperatur, luftfugtighed osv. Slutteligt forsøges med en visualisering i PowerBI og Tableau. Ingen af delene viste i Real-Time, men ved opstart af programmet hentes de nyeste data, men opdateres så ikke før genstart af programmet.

I artiklen *"Automated mapping from IFC data model to relational database model"* ser de på hvordan data transmitteres til og fra en IFC-model. De er i virkeligheden ikke tilfredse med formatets muligheder for at lagre data om bygningen og ser på muligheden for at udtrække de basale geometriske og parametriske data fra IFC-modellen videre over i en MySQL database i et JSON format med alle de geometriske data overført i et

geografisk system. Dette muliggør tilbageføringen af yderligere data til IFC på et senere tidspunkt, hvis dette skulle være nødvendigt. De har mest interesse i at gøre al data tilgængeligt og har mindre fokus på, at det skal visualiseres i en 3D-model.

2.3 Konklusion på Litterature Review

På baggrund af vores research valgte vi sensoropsætning og et setup som beskrevet i resultatafsnittet.

I udvælgelsen af sensorer benyttede vi os af erfaringerne og viden fra (Shubhrata Mahaja, 2016). Vi overvejede nøje vores behov for at få data fra sensor til sky. Den kablede forbindelse var at foretrække, men var også dyrere og mere besværlig at installere end en trådløs forbindelse. I overvejelserne omkring en trådløs forbindelse var parametre som afstand og mængden af data afgørende for placering af systemets komponenter samt typen af den trådløse forbindelse. Vi overvejede forbindelsestypen NB IoT (Narrow Band Internet of Things), der ikke nævnes i (Shubhrata Mahaja, 2016). Denne forbindelse har en utrolig lang rækkevidde dog på bekostning af datastørrelsen, der kan transmitteres. Datamængden er dog ikke et problem, da det ofte er meget lav mængde data, der udveksles fra sensorer, jf. (Hongling Guo, 2020)

Vi benyttede erfaringerne fra (Anders Clausen, 2021) for at sikre os, at vi kunne levere data til hypotese 1. Vi ønskede at have mulighed for, at overtage styringen af bygningers tekniske installationers styresystemer pba. sensordata, som det sås ved testen i Odense.

I forbindelse med betragtningerne omkring anden hypotese underbyggede artiklerne, at der var forskelligartede visualiseringsformer, men at der samtidigt var et stort potentiale for at udforske dette område.

Der er generelt forskellige holdninger til, hvordan formatet til at visualisere data skal være. (Hongling Guo, 2020) vil gerne formidle data fra en database, hvor (Ivaylo & Peter, 2019) hellere ser det visualiseret i en 3D-model. Ift. vores hypotese 2 vil vi forsøge os med en blanding af begge dele for at brugere og driftspersonalet kan være med til at optimere på indeklimaet, hvis de bliver bevidste omkring aktuelle forhold. Metodisk gav (David & Alejandro, 2019) os grundlaget til, at kunne få data til at flyde mellem de forskellige modeller og platforme.

3 Metode

Som beskrevet under hypotesen, har vi valgt at angribe dette projekt fra to vinkler, som hver især bidrager forskelligt til projektet.

Vi ønskede at få hands-on erfaring og viden omkring sensordata. På denne baggrund installerede vi virkelige sensor i vores egen undervisningsbygning, så vi kunne opnå kendskab og adgang til data via case.

Med denne case afsøgte vi forskellige af de problemstillinger som beskrives i artiklen *"IoT Sensors and Protocols"* (Shubhrata Mahaja, 2016)

- Udfordringer ved valg af sensorsprog
- Trådløst vs. kabel system
- Udfordringer ved at få "realtime" adgang til vores egen data
- Fordele og ulemper ved trådløse systemer og tilgængeligheden af data via åben API.

Anden hypotese blev afdækket via forskellige forsøg på visualisering af data via en digital tvilling. Vi afprøvede flere forskellige tilgange for at opnå et sammenligningsgrundlag der kunne konkluderes og perspektiveres ud fra. Vi afsøgte følgende muligheder for datavisualisering og digitale tvillinger:

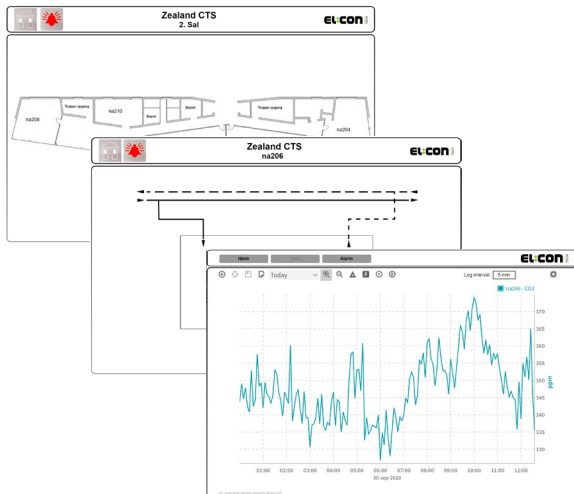
- Afsøgte mulighed for visualisering uden 3D-model via Power BI og Azure.
- Vi benyttede erfaringer fra artiklen "Digital Twin: Bringing MEP Models to Life" (David & Alejandro, 2019). Gentog deres forsøg med andet filformat og arbejdede videre med resultaterne med henblik på at få data visualiseret i virtual reality.
- Afsøgte muligheden for at få livedata ind i kendt facility management software.
- Afsøgte hvordan fotogrammetriske modeller kan bruges som en digital tvilling via Matterport.

4 Resultater

4.1 Adgang til sensordata

Projektet indledes med indkøb og installation af sensorer på en etage af Zealands undervisningsbygning "Aquahuset". Vi samarbejdede med virksomhederne Enitek og Trend for at få den bedste installation og de bedste komponenter. Der blev valgt kablede sensorer med data gemt på vores egen server, for at sikre bedst

mulig datakvalitet og stabilitet på baggrund af erfaringerne beskrevet i (Shubhrata Mahaja, 2016). Sensordata kunne herefter tilgås via Elcons online platform. (Figur 1)



Figur 1: Dataudtræk fra Elcons online platform.

Systemet fik lov til at indsamle data i et halvt års tid for at vi havde en mængde data at arbejde ud fra. I den mellemliggende tid gik vores samarbejdspartner Enitek konkurs og al kommunikation skulle herefter gå med Elcon, som ikke kendte til den konkrete opsætning. Her erfarede vi, at en sådan løsning ikke altid har sin fordel da vi nu ikke selv kunne tilgå vores data. Yderligere erfarede vi, at det "live data plugin" som vi var blevet stillet i udsigt, var et tilkøbsabonnement, som gjorde det både dyrt og besværligt at tilgå vores data. I samme periode som vi monitorerede indkøbte og opsatte driftsafdelingen på Zealand IOT Fabrikkens sensorsystem Roomalyzer.



Figur 2: Sensorenhed fra Roomalyzer

Gennem deres platform kunne vi pludselig tilgå vores data via et åbent API og med god support af en dansk-talende udviklingsafdeling.

Da vores primære fokus, som før beskrevet, var visningen af data fremfor rigtigheden af data og datakvalitet, besluttede vi at skifte til Roomalyzers data for vores videre arbejde. Dette velvidende at denne beslutning gjorde, at det ville blive endnu svære at forfølge vores første hypotese, da vi ikke længere ejer og har vores data liggende på en lokal server, som kan tale sammen med bygningens CTS-anlæg.

4.2 Visualisering af sensordata

Da der var styr på adgangen til sensordata, flyttedes fokus over på behandling af det, så det sprog sensorerne skabte kunne oversættes til en digital tvilling og herved en forståelig formidling for lægmand.

Jf. metodeafsnittet havde vi forskellige tilgange til datavisning som førte os videre til de konkrete afprøvninger. Følgende afsnit er på denne baggrund opbygget med samlende overskrifter, for anskueliggøre de forskellige tilgange.

4.2.1 - Visning af sensordata via Roomalyzers

4.2.2 - Download og visualisering af data via Azure og Power BI.

4.2.3 - Livedata til Revit og VR via JSON-format og Dynamo

4.2.4 - Data til FM-Model via URL-string.

4.2.5 - Livedata i fotogrammetrisk 3D-model med tags og hyperlinks.

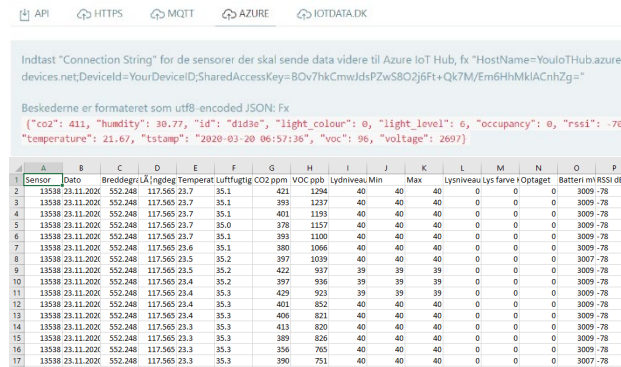
4.2.1 Visning af sensordata via Roomalyzers browserløsning

Med udgangspunkt i Roomalyzers proprietære online-software, kunne vi modtage og aflæse livedata fra ca-sens sensorer. Udfordringen ved denne visning var at den ikke var forholdsvis til, hvor i bygningen sensoren sidder udover et sensorID og et navn. Denne visning er fin til en driftsafdeling med ikke forståelig for lægmand.

4.2.2 Download og visualisering af data via Azure og Power BI.

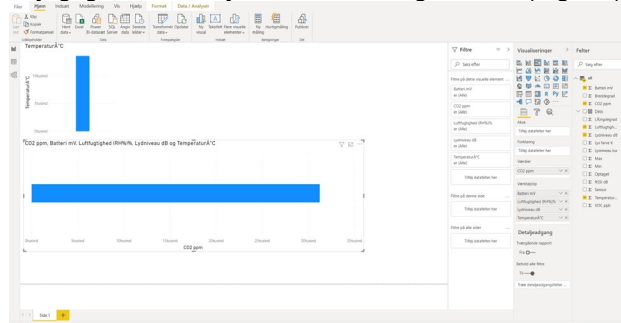
En anden mulighed i Roomalyzers platform var eksport af livedata til Azure, hvilket kunne flytte behovet fra Roomalyzers software, der begrænser anvendelsen, over til Microsofts økosystem, der har bedre værktøjer til at behandle data. Igennem Azure oprettedes en IoT-hub, hvortil Roomalyzers data kunne visualiseres.

Azure udtrak sensordataene i JSON-format og oversatte formatet til Excel. (Figur 3)



Figur 3: Data fra Roomalyzer til Excel

Parametrene fra JSON-formatet fordeltes her i excelarkets spalter, hvilket muliggjorde en visualisering. Til dette anvendtes Microsofts PowerBI, der lige nøjagtig har værktøjer til visualisering af data. (Figur 4)



Figur 4: Datavisning i PowerBI

Dataen kunne hermed flyde fra sensor og over i et andet datamiljø. Udfordringen er at kommunikationen fra Azure til Excel er et øjebliksbillede, og arket opdateres ikke automatisk med sensorens målinger. Derfor vil denne metode ikke være anvendelig til en digital tvilling, da vi netop har brug for live data for bygningen.

4.2.3 Livedata til Revit og VR via JSON-format og Dynamo

For at tydeliggøre sensorplacering og sikringen af live data ændrede vi strategien for at visualisere dataen så den var tilknyttet en 3D-model. Dette var allerede forsøgt jf. (David & Alejandro, 2019). Vi ønskede at replikere workflowet og ændre stierne så det læste vores sensordata fra Roomalyzer. For at dette kunne lykkes fik vi en udvidet adgang til data fra Roomalyzer, så deres onlinedata kunne deles gennem en API.(Figur 5)

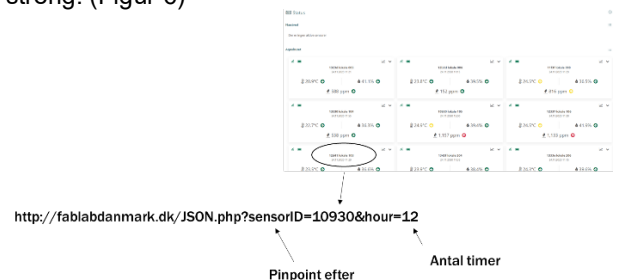
Kommunikation

- API
- HTTPS
- MQTT
- AZURE
- IOTDATA.DK



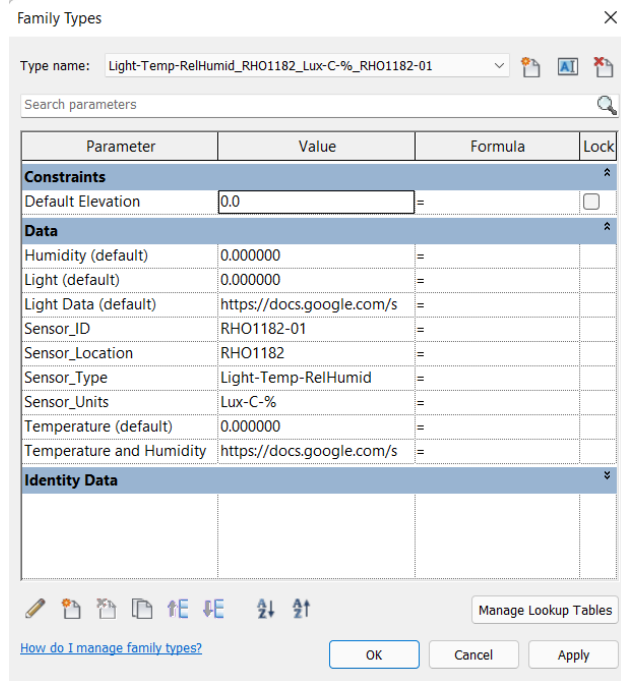
Figur 5: Data via API

På denne måde fik vi adgang til den helt rå data, der ligesom til Azure, blev leveret i et JSON-format. Vores FABLAB oprettede en webbaseret JSON-læser for os, der pinpointede hver enkelte parameter i JSON-formatet og oprettede et google spreadsheet med et URL, der skabte adgang til at læse hver enkelte parameter for sig selv. På denne måde fik vi adgang til let læselige data, der var sorteret for os modsat det rå JSON-format, der havde al data samlet i en lang streng. (Figur 6)



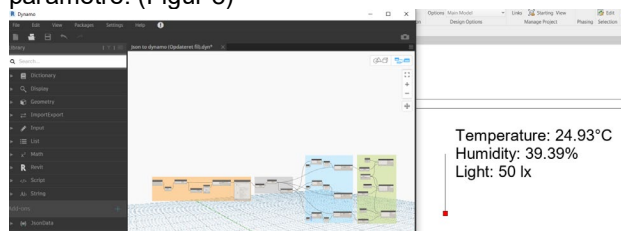
Figur 6: Konvertering af JSON-data

For at følge (David & Alejandro, 2019)s workflow, måtte vi udarbejde et objekt i Revit med tilhørende parametre, hvori data fra URL kan indlæses. (Figur 7)



Figur 7: Revitobjekt med sensorparametre.

Med objektet og parametrene oprettet, var det et spørgsmål om at indføre data fra URL til værdien i parametrene. Til dette anvendtes Dynamo – Visual Programming. Kodningen sørger for, at opdatere sig jævnligt, så den henter livedata. Derudover følger den URL'en til det oprettede google spreadsheet til de relevante parametre og udfylder værdierne i objektet. For nemhedens skyld oprettede vi et "tag", der gjorde at man kunne se værdierne i viewet, uden at man skulle trykke sig ind på objektet, for at aflæse dets parametre. (Figur 8)



Figur 8: tv. Dynamo graph, th. Revit tag

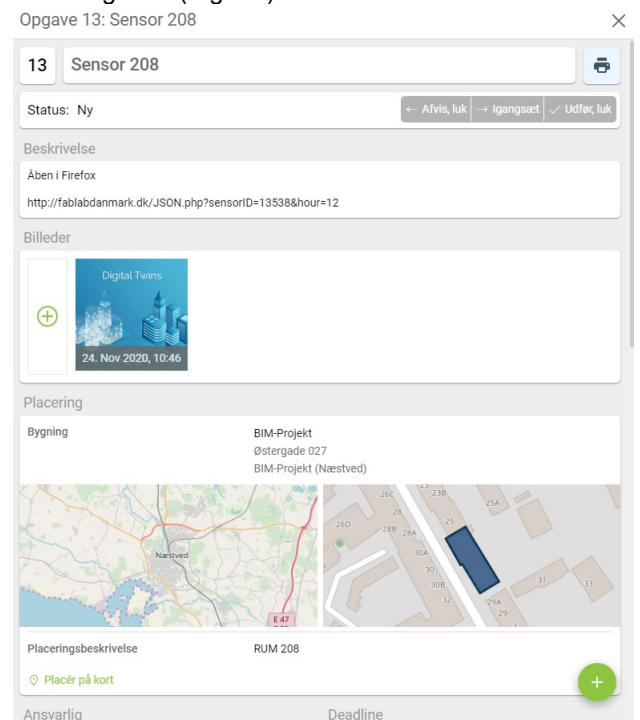
Med livedata i Revit afsøgte vi mulighederne i at få dataene vist i virtual reality via plugin'et Enscape. På denne måde kunne sensordata vises for brugere i et VR-miljø som er intuitivt lettere for lægmand at forstå. Udfordringen ved denne visning var at Enscape loader

al data på en gang når VR headsetet aktiveres. Hermed blev vores livedata igen statisk og derfor afsøgte vi ikke denne mulighed yderligere.

Første del af dette workflow endte ud med en rigtig digital tvilling, men anvendelsen af modellen kræver Revit-adgang og revit kompetencer, hvilket driftspersonel ikke normalvis har. Derfor afsøgte vi andre 3D-miljøer hvor data kunne vises.

4.2.4 Data til FM-Model via URL-string.

Vi valgte at undersøge en mere simpel 3D-metode, baseret på det arbejde, der allerede var lavet af FABLABS JSON-læser i spreadsheetet. Et kendt og efterhånden bredt anvendt FM-værktøj inden for bygningsdrift er DALUX FM. En visualisering af vores sensordata i dette, ville gøre funktionen bedre anvendelig. Det er muligt at inddatere URL-strengen i DALUX FM, men der er pt. ingen mulighed for at visualisere de data, der ligger deri. Hermed kom vi tættere en driftmodel men igen længere væk fra forståelig data.(Figur 9)

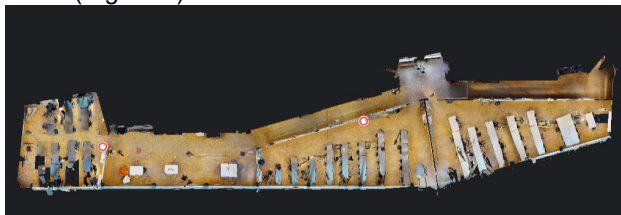


Figur 9: Visning af URL-streng i Dalux-FM

4.2.5 Livedata i fotogrammetrisk 3D-model med tags og hyperlinks.

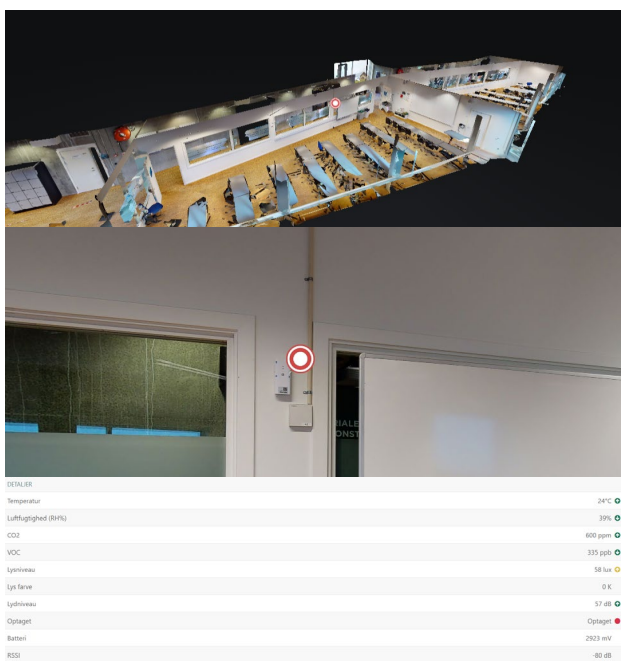
Vi benyttede noget af den erfaring vi har med fotogrammetriske modeller og skabte herved et andet workflow med en simpel tilgang. Vi scannede etagen,

som sensorerne var placeret på vha. softwaret Matterport, der laver en fotogrammetrisk model ud fra 2D-billeder. (Figur 10)



Figur 10: Visning af 3D-model i Matterport

I den fotogrammetriske 3D-model havde vi mulighed for at indsætte et tag/objekt og i objektet indførte vi en URL direkte til FABLABs JSON-læser, der visualiserede alle sensorens data. Hermed havde vi skabt en sammenhæng mellem sensorplacering og live sensordata. (Figur 11)



Figur 11: Visning af tag/objekt i Matterport med visning af livedata

Matterport kan bruges med flere forskellige stykker scanningsudstyr, som gør at man kan skabe et 3D-miljø med alt fra en mobiltelefon til en laserscanner. En af fordelene med softwaren, er at modellen kan tilgås via webbrowser, og man har ikke behov for særlig hard- og software for at arbejde med det.

5 Analyse/diskussion

Som i foregående afsnit har vi valgt at opdele vores analyse og diskussion i to dele, den første omhandler sensordata og den anden del omhandler visualiseringen af data.

5.1 Adgang til sensordata

Som beskrevet i første del af resultatafsnittet, havde vi en del udfordringer med at vælge og få adgang til sensordata. Udfordringerne bestod i første omgang i at begge vores hypoteser skulle tilgodeses og hermed skulle der både være fokus på sensorkvalitet, stabilitet og adgang til data.

Vi har fundet det meget fordelagtigt at samarbejde med Roomalyzer der er professionelle inden for valget af sensorer samt formidling og kodning af data. På denne måde kunne vi bruge vores ekspertviden inden vor 3D-modeller og visualisering og i samarbejde med dem skabe de nødvendige data flow.

5.2 Visualisering af sensordata

I vores undersøgelser er vi kommet frem til, at det er muligt at få visualiseret sensordata i en digital tvilling på flere måder.

Vores test med browserløsning og rå data i Excel, Azure og PowerBI åbner ikke umiddelbart for nye måder at formidle data på en forståelig måde til lægmand. Her skal arbejdes meget mere med at gøre data flowet flydende, så der ikke vises historisk data. Samtidigt er det, efter vores opfattelse, ikke en intuitiv måde at forstå data på, når den ikke er visuel og tilknyttet et 3D-miljø.

Revit-metoden kræver kendskab til visuel programmering via Dynamo fra brugerens side, samt selvfølgelig erfaring med programmet Revit, for at kunne genskabe resultatet. Mulighederne i VR er en spændende mulighed at arbejde videre med, hvis udfordringerne med live data løses.

Matterport-workflowet er et noget simplere workflow, og vil ikke kræve højere BIM-kompetencer.

Til fælles for begge metoder kræves der kendskab til JSON-format samt værktøjer til at sprede informationerne i strengen ud, hvis det skal visualiseres. Dette arbejde udelegerede vi til kollegaer med kodnings- og IT-kompetencer over vores norm. Vi vurderer dog, at resultatet er muligt at genskabe for personer i byggebranchen med høje BIM-kompetencer, hvis man afsætter tid af til selvstudie inden for området.

Markedet og den tilgængelige software kan i skrivende stund godt lave en digital tvilling i flere forskellige workflows, men ingen af workflowsene ser vi blive anvendt som en naturlig del i bygningsdrift eller af brugere af bygningen. For at opnå dette, skal softwaren udvikles i FM- eller CTS-systemer, så det potentielt kan visualiseres i deres respektive software og evt. vises på lille skærm placeret i lokalerne. Man kom i Odense (Anders Clausen, 2021) frem til, hvordan sensorværdier kunne anvendes til at påvirke CTS-systemerne, men det er ikke altid at systemerne påvirker indeklimaet tilstrækkeligt, og derfor vil en visualisering i selve rummet kunne inddrage brugerne til at hjælpe til. Vi forestiller os, at man ved at indføre en grænseværdi for forskellige parametre, som f.eks. CO₂-niveau, der skal udløse en alarm, hvis denne overskrides. Alarmen skal følges med en vejledning til brugeren om hvordan denne skal forholde sig. Det kunne være at man bliver bedt om at åbne et vindue, for at sænke CO₂-niveauet i lokalet.

6 Konklusion

I forbindelse med valg af sensorer og sensorsystem må vi konkludere, at vi var for overambitiøse set i lyset af afgrænsningen af dette working paper. Grunden til at vi kunne skifte til Roomalysen så sent i processen var, at arbejdet med første hypotese blev lagt på is, da der var skift i medarbejderstaben og de personer der skulle forfølge første hypotese, ikke længere havde brug for sensor kvaliteten, stabiliteten og at dataene var på egne servere.

Der er stadig et stykke vej fra vores "proof of concept" til virkelige skærme/ modeller der viser sensordata på en forståelige måde for lægmand. Arbejdet i dette working paper viser dog, at vi er kommet så lang med sensordata og uafhængige 3D-modeller, at der kan arbejdes med en kommercialisering af workflowet til et produkt. Her vil der skulle overvejes nøje hvilken platform man skal satse på, samt hvilken data der skal formidles til brugere og driftspersonale for at de bedst kan interagere. Vi ser det som et spændende udviklingsprojekt for FM-softwareudbydere at inddrage dette working papers tanker og erfaringer i deres udviklingsarbejde, med henblik på at skabe en levende digital tvilling med live sensordata.

Vores resultater peger på at der med fordel kunne arbejdes videre med et meget større projekt med antro-

pologer og holistiske eksperter, som vil kunne bearbejde brugernes mulighed for inddragelse meget dybere.

Vi følger nøje med i udviklingen inden for software til digitale tvillinger og ser her en spændende udvikling i branchen. En af branchens største softwareudbydere AutoDesk arbejder på at "frigøre" sig fra programmer og platforme og gøre deres 3D-modeller til fri og tilgængelig data. På denne måde bliver modeller, data og informationer det bærende element, fremfor platforme og sensorsprog. Gennem denne frigørelse bliver det lettere at kombinere data, som igen åbner for mere flydende data, hvor de udfordringer vi er støt på i dette working paper vil blive minimeret.

7 Referencer

- Anders Clausen, K. A. (2021). *A digital twin framework for improving energy efficiency and occupant comfort in public and commercial buildings*. Odense: SDU.
- David, F., & Alejandro, M. (2019). *Digital Twin: Bringing MEP Models to Life*. AutoDesk University.
- Hongling Guo, Y. Z. (2020). *Automated mapping from IFC data model to relational database model*. Tsinghua : Tsinghua University.
- Ivaylo, I., & Peter, G. N. (2019). *Data forming and visualization of BIM and sensor data in building management systems*. Aalborg: UCN.
- Shubhrata Mahaja, K. D. (2016). *IoT Sensors and Protocols*. Lavale: Department of Computer Engineering, Bharti Vidhyapeeth's College of Engineering, Lavale.