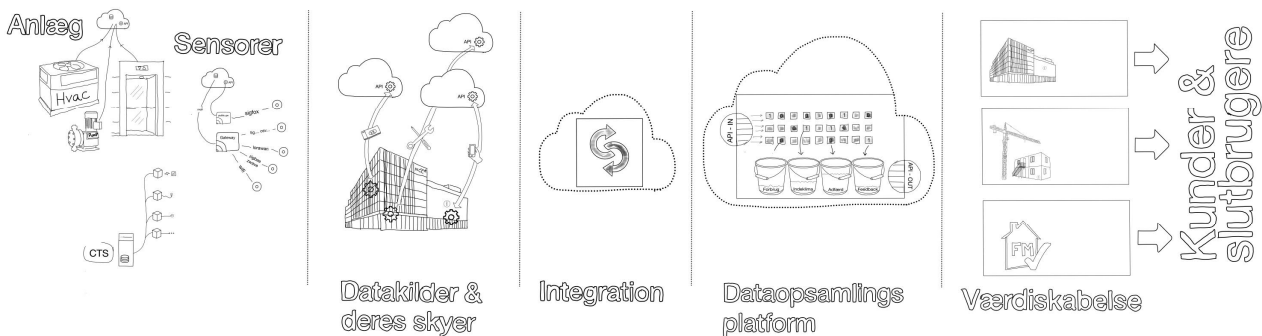


350-037 Slutrapport

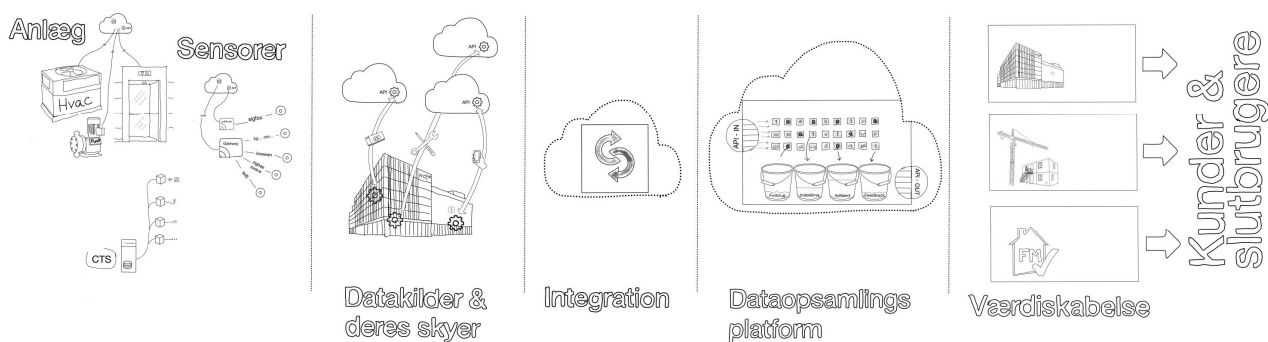
Den datadrevne bygning til bedre design og drift



Peter Weitzmann, Lars Andersen, Martin Langkjær, Donya Sheikh Khan, Martin Hansen, Hans Andersen, Thomas Jacobsen, Peter Gravesen, Jonas Valbjørn Andersen, Lærke Møller Toftlund

30-11-2019

Brug af IoT i byggeriet til bedre bygningsdrift og-design



Indhold

1	Introduktion.....	4
2	Sammenfatning	6
3	Abstract	10
4	Derfor indsamler vi data	14
4.1	Trends.....	14
4.2	Udfordringer og muligheder.....	15
4.3	De grundlæggende regler for dataindsamling	18
5	Sådan indsamler vi data	20
5.1	Teknisk opbygning af platform	20
5.1.1	Gennemgang af de forskellige service-delivery modeller for IT/cloud services.....	20
5.1.2	Vigtige valg i forhold til skalerbarhed	21
5.1.3	Datakilder & sensorplatforme.....	22
5.1.4	Leverandørens sky	23
5.1.5	Integration.....	23
5.1.6	Dataopsamlingsplatformen	24
5.1.7	Adgang til brug af data og deling for alle interessenter (værdiskabelse).....	24
5.2	Faktisk implementeret platform i projektet.....	24
5.2.1	Sensorplatforme og adgang til data	25
5.2.2	Integration mellem platforme og API'er	26
5.2.3	IoT Platform.....	26
5.2.4	Analyseplatforme.....	27
6	Det har vi målt og det har vi lært.....	28
6.1	Usecases i projektet	28
6.1.1	Usecase 1 - driftsoptimering baseret på hovedforbrugsmålere	29
6.1.2	Usecase 2 - dimensionering og brug af mødecenter	30
6.1.3	Usecase 3 - dimensionering og brug af kontorarealer	32
6.1.4	Boligusecase.....	33
6.2	Datadrevet drift.....	34
6.2.1	Det hurtige overblik – som nemt kan kommunikeres	36
6.2.2	Fejl der blev opdaget med appen.....	37
6.2.3	Sammenligning af to bygninger.....	38
6.2.4	Drift af kølemaskine.....	39
6.2.5	Konklusion på datadrevet overvågning.....	41

6.3	Design og drift af mødecenter	41
6.3.1	Tilstedeværelse/space management	42
6.3.2	Indeklima og styring	45
6.3.3	Konklusion på usecase om mødelokaler	49
6.4	Kontorareal	49
6.4.1	Tilstedeværelse	49
6.4.2	Indeklima	52
6.4.3	Konklusion på kontorarealsusecase	54
6.5	Boligusecase	54
6.5.1	Konklusion på boligusecase	56
6.6	Rightsizing af teknisk udstyr	57
6.6.1	Eltavler	57
6.6.2	Ventilation	58
6.6.3	Kølemaskiner	59
6.6.4	Input til krav, design og designprocessen	60
6.6.5	Konklusion på rightsizing	61
7	Sådan kan man lave forretning	62
7.1	Værdisætningsworkshop	63
7.2	Omkostninger ved den datadrevne bygning	64
7.2.1	Forskellige pakker for kontorer	65
7.2.2	Forskellige pakker for etageboliger	66
7.3	Mulige gevinster på kort sigt	67
7.3.1	Kontorbygninger	67
7.3.2	Boliger	68
7.4	System dynamics	69
7.5	Kravsstillelse i nybyg og større renoveringer	71
8	Sådan ser vi fremtiden	72
8.1	Yderligere udvikling af platformen (NCC skriver)	72
8.2	Anvendelsesmuligheder	73
8.3	Perspektivering – fremtiden af den datadrevne bygning	74
9	Referencer	77

1 Introduktion

Denne er rapport udgør slutrapporteringen til projektet "IoT-baseret dataopsamling til bedre bygningsdrift og -design". Projektet er støttet af Elforsk og forløbet i perioden 1. marts 2018 til 1. december 2019. I projektet har følgende seks partnere med en række nøgledeltagere deltaget:

- NCC Danmark A/S; Peter Weitzmann, konceptudviklingschef (projektleder), Lars Andersen, IoT udviklingschef, Donya Sheikh Khan, Ph.d.-studerende og Martin Langkjær, senior projekteringschef
- DEAS A/S, Martin Hansen, energiingeniør og Hans Andersen, energichef
- PensionDanmark, Thomas Jacobsen, projektleder
- PKA, Peter Gravesen, porteføljemanager
- IT Universitetet, Jonas Valbjørn Andersen, adjunkt
- Gate 21, Lærke Møller Toftlund, projektleder

Visionen har været at tage et vigtigt og konkret skridt henimod den datadrevne bygning og det intelligente bygningsdesign. I projektet har vi således vist, hvordan det er muligt at implementere en operationel og systematisk dataopsamlingsplatform der muliggør;

- en helt simpel og relevant kommunikation med bygningens brugere og driftspersonale
- en bedre og mere informativ dialog mellem byggeriet partnere omkring bygningens performance og bæredygtighed
- en effektiv og realtidsstyret driftsoptimering, som fanger fejl og præcist kommunikerer potentialer for energi- og ressourcebesparelser samt forbedret indeklima
- en indsigt i brug af bygningens lokaler og faciliteter, som kan bruges til bedre og mere optimeret indretning og space management
- en indsigt i bygningens brugsmønstre og behov, der kan bruges til at optimere projektering og dimensionering af fremtidige byggerier.

Vi har bestræbt os på at etablere en dataopsamlingsarkitektur, som er baseret på velafprøvede og tilgængelige metoder og komponenter fra IT-verdenen, som samtidigt er modulær og kan bruges til alle typer nye og eksisterende bygninger (boliger, offentlige bygninger og erhverv).

I rapporten har vi valgt at være åbne også omkring fejl og u hensigtsmæssigheder som er opdaget i egne bygninger eller driftsprocedurer. Vores udgangspunkt er at en forandring i branchen, også forudsætter åbenhed – ikke kun i de digitale systemer - men også i den måde vi deler erfaringer og indsigter om vores bygninger! Håbet er at vores erfaringer og resultater kan finde direkte anvendelse blandt byggeriet partnere, i kommende projekter og ude i bygningerne, sådan at vi kommer et skridt nærmere mod at realisere byggeriet nødvendige bidrag til en bæredygtig og fossil fremtid.

Erfaringerne, resultaterne, overvejelserne, besværlighederne og de mange gode råd kan I finde i den efterfølgende tekst.

Projektet har en hjemmeside, som kan findes på <https://www.gate21.dk/iot-i-bygninger/>

Den efterfølgende rapport er bygget således op:

- Kapitel 2 og 3 indeholder den korte sammenfatning af projektet og dets resultater beskrevet på dansk og engelsk
- I kapitel 4 - Derfor indsamler vi data: her kommer vi med en kort introduktion til området og mulighederne for at anvende IoT og intelligent data i bygninger. Vi skitserer kort de trends, som har sat skub i udviklingen og kommer ind på de udfordringer der også eksisterer. Endelig gennemgår vi de overordnede dataindsamlingsprincipper, som har været styrende for vores overordnede tilgang.
- I kapitel 5 – Sådan indsamler vi data: her præsenterer vi de overvejelser og beslutninger, som vi har valgt at lægge til grund for projektets arbejde med at udvikle den konkrete dataarkitektur, eksempelvis den tekniske opbygning, servicemodeller, valg af sensorer, integration og cloudløsninger.
- I kapitel 6 – Datadrevet overvågning og drift: i det kapitel videregives de konkrete erfaringer og resultater med brug af datadrevne bygningsdrift fra vores fire forskellige use cases. Her kan man eksempelvis se, hvordan simple fejl i systemopsætning og udstyr er blevet opdaget og medført store økonomiske besparelser. Vi peger også på de potentialer og perspektiver som har vist sig, både for bedre dimensionering og udnyttelse af bygninger, energibesparende drift og bedre indeklima.
- I kapitel 7 – De forretningsmæssige perspektiver: her behandles kort de overvejelser som projektets partnere og samarbejdspartnere har gjort sig i forhold til at udvikle et forretningsdrevet træk mod flere datadrevne bygninger. Herunder berøres hvordan værdiskabelse, økonomi, samarbejde og ejerskab kan spille ind på de forskellige interessentgruppers involvering i enten at udvikle, eje, udbyde eller indkøbe datadrevne services og systemer til byggeriet.
- I kapitel 8 – Sådan ser vi fremtiden: i det afsluttende kapitel peger vi i retningen af de mange udviklingsperspektiver og nye anvendelsesmuligheder, som har udkrystalliseret sig undervejs i projektet.

God læselyst!

Forfattere til rapporten; Peter Weitzmann (NCC), Lars Andersen (NCC), Martin Langkjær (NCC), Donya Sheikh Khan, Martin Hansen (DEAS), Hans Andersen (DEAS), Thomas Jacobsen (PensionDanmark), Peter Gravesen (PKA), Jonas Valbjørn Andersen (IT Universitetet), Lærke Møller Toftlund (Gate 21)

Dato for udgivelse: December, 2019

2 Sammenfatning

I 2018 gik et hold på seks firmaer; en entreprenør, to investorer, en ejendomsforvalter, et universitet og et firma med speciale i strategiske partnerskaber sammen om et projekt med det formål at undersøge mulighederne for at bruge IoT-baseret dataindsamling til at sikre bedre drift af aktuelle bygninger og bedre design af kommende bygninger. Firmaerne er NCC (projektleder), PensionDanmark, PKA, DEAS, IT-Universitetet og Gate 21. Projektet blev støttet af ELFORSK.

Den oprindelige idé var at ved systematisk at indsamle data fra bygninger i drift og lægge dem i en bygningskontekst på tværs af datakilderne ville føre til bedre drift og bedre design af den næste bygning. Vi er overbevist om at data fra bygninger i drift i de kommende år, vil blive ekstremt vigtige. Med udgangspunkt i den oprindelige idé og erkendelsen om vigtigheden af data, er vores ønske at skabe den datadrevne bygning. Igennem projektet er vi blevet bekræftet i dette udgangspunkt

I projektet er der blevet opbygget et dataindsamlingsystem – eller rettere en platform – baseret på sensorer med åbent design, som kan gøre data tilgængeligt for en bred kreds af interessenter, som kan gives adgang til data fra dataejereren ud fra et dokumenteret behov for adgangen. Ud fra adgangen til data kan de enkelte interessenter bruge data til at generere viden baseret på deres specifikke behov via placering i værdikæden.

De data der indsamles, er forbrug af fjernvarme, vand, elektricitet på hovedforbrugsniveau, sammen med data for tilstedeværelse på zone- og skrivebordsniveau og indeklima på zoneniveau, suppleret med øvrige driftsdata for fx ventilationsluftmængder. Alle data gemmes i en opløsning på 5 minutter. Hypotesen er at når alle data samles i kontekst af bygningen, vil det danne grundlag for vidensopbygningen for både drift og design. Vi er i projektteamet overbevist om at vi ud fra projektets resultater har bekræftet denne hypotese.

I forbindelse med projektet er der udført et eksamensprojekt og samtidig er udføres der hos NCC et erhvervs-Ph.d.-projekt med samme emne, som har bidraget til forståelsen af emnet.

Indledningsvis i projektet blev der formuleret fem leveregler for den dataindsamling vi ønskede at basere projektet på.

1. Ejeren af data er bygningsejeren eller lejeren – altså den som genererer data
2. Adgang til data skal gives af dataejereren baseret på et dokumenteret behov, og skal give en værdiskabelse til ejeren. Værdiskabelse kan enten være direkte eller i form af afledte effekter
3. Data skal placeres i kontekst af bygningen, som betyder at data kan sammenlignes på tværs af kilde til data og derved give indsigt
4. Det samlede dataindsamlingsystem skal være åbent og ikke være baseret på proprietære løsninger. I stedet ønsker vi at indsamle fra sensorer med et åbent api-interface. Data kan komme fra mange forskellige kilder – også nogle som vi ikke endnu har set eller hørt om. Det er derfor vigtigt at der løbende kan tilføjes nye datakilder, som kan tilføjes den eksisterende kontekst
5. Det må ikke være et IT-udviklingsprojekt, nærmere et implementeringsprojekt. De valgte løsninger skal være baseret på kendt teknologi der nemt kan gentages og som kan skaleres til mange bygninger

Målet er at skabe den datadrevne bygning. Kort sagt er målet at skaffe data så nemt som muligt, så vi kan bruge det til værdiskabelse i projektet og forøget viden. Vi overlader trykt datatransmissionen fra sensor til platform til leverandøren af sensoren, der også har ansvar for sikkerhed.

I projektet har vi sat dataindsamling op i to kontorbygninger, hvor vi har samlet data sammen i over et år – for nogle sensorer i op til tre år – og på baggrund af det har vi fundet en række interessante resultater, som forklares efterfølgende. Herudover har vi indsamlet i én etageejendom i en kortere periode.

Datadrevet driftsovervågning

I projektet har vi sat en driftsovervågning af bygningens overordnede forbrug, som kan bruges til at skabe en hurtigt overblik over driften. Overvågningen er baseret på data med høj opløsning. Dette kan bruges af driftspersonalet til at se om bygningens tekniske systemer overordnet fungerer som forventet i forhold til ventilation, køling, forbrug i køkken, kontorarealer, solcelleproduktion og elbilsladestandere såvel som vandforbrug og fjernvarme. Alt dette præsenteres i et simpelt og let overskueligt dashboard (skærmbillede).

Tanken har været at driften med et sådant hurtigt overblik, kan se om alt er som forventet, eller om noget "ser forkert ud". Er det tilfældet kan kilden til den unormale driftssituation hurtigt findes, og der kan ringes til den relevante tekniker, der kan afhjælpe problemstillingen. På den måde kan driftspersonalets tidsforbrug optimeres og uhensigtsmæssig eller fejlagtig drift kan hurtigt opdages og udbedres.

Denne overvågning gav et godt udgangspunkt for en bedre drift af den enkelte ejendom. Men det var først da vi så samme data for to bygninger, at den fulde værdi af værktøjet blev opdaget. På baggrund af visualiseringerne kan forskelle i driften hurtigt findes og korrigeres på tværs af en bygningsportefølje.

Tilstedeværelse, space management og indeklima

Der blev også foretaget indsamling af data for tilstedeværelse og indeklima i både kontorarealer og møderum i begge bygninger. Og i én af bygningerne blev der også spurgt om tilfredshed med det opnåede indeklima via knapper til feedback.

Formålet var at få indblik i brugen af bygningen og det tilhørende indeklima. Dette kan bruges af driften til at optimere indeklimaet og af firmaets ledelse til at optimere pladsforbruget i bygningen.

Blandt andet har vi fundet ud af at på en normal dag, bliver de skriveborde vi har sat tilstedeværelsessensorer op på kun brugt omkring tre timer. Men samtidig har vi set, at der er en stor varians, så de mest brugte borde benyttes op til seks timer om dagen, mens de mindst brugte, kun benyttes få minutter om dagen. På samme måde er møderummene i mødecentrene i begge bygninger i brug ca. 20-30% af tiden, men der er store variationer på både tid på dagen og dag på ugen. Denne information kan bruges til at optimere brugen af arealerne.

Indeklimaet i bade storrumskontorer og møderum er også blevet målt og generelt har vi set at begge bygninger er fuldt ud i stand til at overholde den maksimalt tilladte temperatur om sommeren og den minimalt tilladte temperatur om vinteren. Faktisk er den typiske rumtemperatur om vinteren omkring 23-24 °C, som er ret tæt på det maksimalt tilladte om vinteren, hvis den aktuelle indeklimanorm, skal overholdes. Det bemærkes, at denne høje temperatur er som følge af krav fra brugeren. På samme måde kan vi se at krav til frisk luft fint overholdes i alle rum med en maksimal CO₂-koncentration på omkring 900 ppm. Kun i mødelokaler overskrides denne kortvarigt i enkelte situationer.

Der er flere andre "brikker i puslespillet" for bygningsdrift, som vi har fundet, men endnu ikke sat sammen med de øvrige brikker. Men helt overordnet har projektet givet en væsentlig indsigt i hvordan data kan hjælpe til at reducere det faktiske energiforbrug – og dermed sænke det såkaldte performance gap mellem designet og faktisk energiforbrug – og stadig sikre overholdelse af krav til indeklima.

Måling af indeklima i boliger

Måling af indeklimaet og tilstedeværelse i boliger er også undersøgt. Til dette er der udviklet et indeklimakit, som er baseret på sensorer, der kun er batteridrevne. Rent teknisk er de baseret på Sigfox-netværket. Det vil sige, at de blot kan sendes til beboeren, som selv kan sætte sensoren op efter en medfølgende anvisning. Det kræver ikke trådløst netværk eller strømudtag. Det er fundet at data kan hentes uden problemer og ud fra dette kan indeklimaproblemer nemt registreres og der kan hurtigere sættes ind med hjælpeforanstaltninger.

Rightsizing af teknisk udstyr

Med næsten to hele års data fra den ene af bygningerne og omkring et års data fra den anden bygning kan data også bruges til at vurdere om dimensioneringen af bygningerne har været korrekt.

I rapporten er der vist tre konkrete eksempler hvor systematisk indsamlet data fra længere perioder kan bruges som udgangspunkt for vurdering af dimensionering af teknisk udstyr. Disse kan kort beskrives som

- Eltavler er generelt overdimensioneret med måske 30%. Dette gælder både hovedtavler og undertavler som fx køkkentavler
- Kølekompressoren kan være overdimensioneret med 50% - i hvert fald i den ene bygning, som vi har data fra
- Ventilationsanlæg og hovedkanaler kunne være mindre – måske op til 10%, som formentlig vil føre til mere effektiv drift ved dellast. Men omvendt er prisen for denne mere effektive drift større tryktab og større risiko for støj ved store luftmængder. Disse to krav skal i praksis balanceres mod hinanden

Ud over dette kan data fra bygninger i drift bruges som udgangspunkt for at optimere designet af den næste kontorbygning. Dette kunne fx være i en skarpere angivelse af samtidigheder baseret på erfaringer fra faktisk brug i tilsvarende bygninger. Der mangler stadig konkrete eksempler som kan bruges. Men det må være interessant at vide at et skrivebord kun bruges i gennemsnit 3 timer om dagen, mens over halvdelen af bordene højst bruges én time om dagen. Det må kunne have indflydelse på tilgangen til bygningens design for både arkitekter og ingeniører hvad angår plantegninger, anvendelse af rum og dimensionering af systemer.

Forretningsmodeller og tilgang til værdiskabelse

Der er flere interessenter i en bygning som hver har deres eget unikke behov for at bruge data. Tillagen til dataindsamling og -lagring i dette projekt sikrer at alle relevante interessenter kan gives adgang af dataejeren, så de kan generere deres egen indsigt og viden baseret.

Det er samtidig dualiteten – nemlig at data kan bruges både til bedre drift og til bedre design af den næsten bygning, som er en ny tilgang i dette projekt sammenlignet med andre projekter. Dette forøger den samlede værdi af dataindsamlingen, men giver samtidig en meget kompleks værdiskabelse.

Men med det meget komplekse billede af værdiskabelse, er det samtidig også sådan at det ikke altid er den som betaler for dataindsamlingen der også er den som får den største værdi. I projektet har vi kigget på både kortsigtet og langsigtet værdiskabelse og delt det ind i de enkelte interessenter. Det er der i projektet blevet skrevet en artikel på baggrund af, som foreslår at den bedste måde at optimere værdiskabelsen, er gennem partnerskaber mellem interessenterne. Men projektet er ikke nået så langt, at der er udarbejdet egentlige forretningsmodeller for dette partnerskab.

Det overordnede resultat i forhold til forretningsmodeller er derfor at mens det er tydeligt, at der er værdi for interessenterne i en bygning, er der ikke foreslået forretningsmodeller. I projektholdet kan vi se flere potentielle produkter baseret på dataindsamlingen, som kan bruges til forretningsmodeller for den datadrevne bygning.

Potentialet for den datadrevne bygning og anbefaling af videre arbejde

Så hvordan vil projektholdet så anbefale at data fra bygninger i drift kan bruges til bedre drift og design. Først og fremmest mangler vi stadig data fra flere bygninger, så vi kan bekræfte og tilpasse den læring vi har opnået. Dette vil være en løbende proces, som ikke vil slutte. Det vigtigste er at data har en høj opløsning både i forhold til tid og antal målepunkter.

For kunden (ejer eller lejer i bygningen) kan vi se; at det er dem som umiddelbart har størst værdi i form af indsigter som kan udnyttes til en bedre og mere effektiv bygning. Driften kan blive mere præcis og der vil være færre problemer med fejl i systemer, der som en konsekvens vil give lavere forbrug og mere tilfredse brugere. Der er samtidig et stort potentiale i at faktisk forbrug og emissioner kan dokumenteres meget nøjagtigt til fx CSR-regnskaber.

For driftherren er potentialet, at de kan holde en tættere kontakt til kunden ved at give dem mere nøjagtige og opdaterede informationer fra den faktiske drift, som kan bruges som udgangspunkt for lavere forbrug og CO₂-udledninger. Og i en ikke så fjern fremtid kan data også bruges til datadrevne servicekontrakter og fejlfinding af systemer.

For designer og entreprenør er der et potentiale i at en datadrevet bygning giver mulighed for at holde kontakten til bygningsejer, baseret på viden fra data, som kan bruges til nye services og produkter. På samme tid giver adgangen til data fra driften mulighed for bedre design af næste bygning, som især udmøntes i bedre dimensionering af tekniske anlæg og input til kravsspecifikationer i den tekniske beskrivelse af et nybyggeri eller en større renovering. Men faktisk kan det også bruges til arkitekturen, størrelse af fx kantine og antal og størrelse af møderum og generelt hvordan bygningen programmeres.

For producenten af teknisk udstyr giver et datadrevet produkt mulighed for at der dels kan laves datadrevne servicekontrakter (blandt andet predictive maintenance), men også at producenten får indsigt i hvordan deres produkter faktisk benyttes og fungerer i en bygning i drift.

For universiteter (og myndigheder) giver data fra bygninger i drift mulighed for at der kan udvikles nye designmetoder og værktøjer baseret på den faktiske brug, som efterfølgende kan overtages af designere og driftsherrer. Og endelig kan denne viden bruges som udgangspunkt for fremtidens bygningsreglementer, normer og standarder.

3 Abstract

In 2018, a team of six companies from contracting, building investors, facilities management, strategic public/private partnership company and university formed an alliance with the purpose of investigating the use of IoT enabled monitoring devices for achieving better building operation and design. The companies are NCC (project manager), PensionDanmark, PKA, DEAS, the IT University of Copenhagen and Gate 21. The project has been funded by the Danish research fund ELFORSK.

The original idea was that collecting and storing data in a common context for the building would lead to insights that would enable better operation and better design of the next building. We are confident that data from buildings in operation will be extremely important in the coming years. In other words, we want to create the data driven building. This idea has been confirmed throughout the project.

In the project, we set up a data acquisition system – or platform – based on sensors with open design, which could be made available for a wider range of stakeholders, where access is granted by the data owner according to need. The different stakeholders can therefore use the data to form the basis for insights based on their specific business cases and position in the value chain.

The data we are collecting is district heating, water, electricity on a building level together with presence/occupancy and indoor climate and a feedback system on room and zone level as well as monitoring of the air supplied to the zones in the building. All data is stored in a resolution of 5-minute values. The main hypothesis is that putting the data from all the different sources in a common repository, will enable the generation of insights for both operation and design. We believe that this hypothesis has been proven correct, as the results in the project shows.

The project has supported one Master Thesis and is loosely connected to an ongoing PhD-project at NCC as well.

Initially we decided on a number of dogmas or rules that we wanted to base the project on. The point being that this would lead to fulfilling our vision of the data driven building.

1. The owner of the data is the building owner or tenant of the building. That is the stakeholder that generates the data
2. Access to the data is granted by the owner based on a documented need – and should deliver some sort of value to the owner. That is, it should either generate value directly for the owner or the owner should in other ways see a benefit in sharing the data.
3. The data should be placed in context of the building, which means that data can be compared directly to give deep insights.
4. The system should be open and not be based on closed wall-to-wall solutions. Instead, we want to collect data from sensors with an api-interface. Data can come from a large number of sources, some of which we have not yet seen. Therefore, it is important that new data can be added into the existing context without relying on other suppliers.
5. And finally, the project is not IT development project but rather an implementation project of existing technology, which can be easily replicated and scalable for several buildings.

The goal is to create the data driven building. In short, we are only interested in easily getting data to be made available in context of the building, not how it is transported from the building to the cloud platform, where it can be analyzed.

After setting up a data platform in two office buildings, where we have collected data for around one year – and in some cases up to three years – we have found some very interesting results, that are explained below. Besides from this, we have also been monitoring in a dwelling for a shorter period.

Data driven building operation monitoring

We set up a data monitoring system which can be used to easily get an overview of the consumption and operating schedule with a high granularity of data. This can be used by FM to see if the building is operating as expected in terms of data from ventilation, cooling, kitchen, main office areas, PV production and EV consumption as well as water consumption and district heating consumption. This was presented in a simple dashboard with information from the operation.

The idea was that for the facilities management being able to see this overview of the building would help the facilities management in their daily job. Using this approach, we found several interesting learning points for both finding errors and optimizing operation.

However, it was not until we saw the same data from both buildings together, that we realized the full potential. The data can be used to pinpoint differences, which can in turn be used to optimize the operation of both buildings. Or a complete portfolio of buildings.

Occupancy, space management and indoor climate

We also collected data for occupancy and indoor climate in both office areas and meeting rooms. And in some cases, also included user satisfaction of the achieved indoor climate.

The purpose has been to get insights of the use of the building and the related indoor climate. This can be used by the facility management team to verify the indoor climate and act according to the findings. And by the company management to optimize the use of space

Among others we have found that on a normal day, a desk in the investigated areas is only used around 3 hours, but with a very large variation, so that some desks are used 6 hours a day, and some only minutes. In the same way meeting rooms in the meeting centers in both buildings are occupied around 20-30% of the time overall, but there are large variations in time of day and day of week. This information can be used for optimizing the use of the spaces.

Indoor climate has been investigated, and as a general finding, both buildings are able to keep the temperature below the maximum allowed temperatures during summer and above minimum during the winter. In fact, the typical room temperature is around 23-24 °C during the winter period – which is actually very close to the maximum allowed winter temperature according to indoor climate standards. Similarly keeping the CO₂-level has also been possible almost at all operating hours, and only exceeding 900 ppm in meeting rooms.

There are numerous other “pieces to the overall jigsaw puzzle of building operation”, which have been found, but not yet combined sufficiently. But overall, using this insight can help reduce the overall performance gap of energy consumption and indoor climate in office buildings.

Monitoring of indoor climate in dwellings

Monitoring of the indoor climate and presence in dwellings has also been investigated. For this the project developed an indoor climate sensor kit, based only on battery enabled sensors. These are based on the Sigfox-network. This means that the sensor can be sent directly to the inhabitant in the dwelling, who can

place the sensor using a supplied description. No wireless network or power outlet is necessary. It has been found that data can be collected without problems and based on this indoor climate problems can easily be found. This means that a faster follow up can be initiated.

Rightsizing of technical equipment

After getting almost two full years of data from one of the buildings and around one year from the second, we can also use the data to see if the dimensioning of systems is actually correct.

In the report three examples where data from extended periods can be used to find evidence of sizing of technical equipment. These are

- Electrical switchboards where we can see that in both buildings there was a potential of up to perhaps 30% smaller total size of the switchboards.
- The cooling compressor which could be as much as 50% over dimensioned in the one building where we did the analyses
- The air handling unit and main ducts could be smaller, by perhaps up to 10%, which would most likely lead to more efficient operation at part loads. However, the price is conversely higher pressure losses and noise propagation in periods with maximum loads. The balance of these two priorities are still being analyzed.

Besides from this, the data from operation which is presented above can also be used to optimize the design of the next office buildings. We are however still a little way from finding concrete use cases for the insights that this has given us. But for instance, we are sure that knowing that the average daily use time of a desk is around 3 hours, while more than half the desks are used less than one hour can be used for a different design approach for both architect and engineer in terms of floor plans, use of rooms and dimensioning of systems.

Business models and approach to generating value

There are several stakeholders in a building; each of whom have different unique needs for using data. The approach to collecting and storing data ensures that all relevant stakeholders can be granted access by the data owner, and extract their own insights and knowledge based on the data.

Also, the duality in the approach to using and analyzing data – both for improving operation of the current building – while at the same time enabling better design for the next building is a novel idea in this project compared to other similar projects. This increases the overall value of the data collection, while at the same time generating a very complex value generation landscape.

However, the same approach also means that the main value generation is not always extracted by the owner of the data or whomever pays for the collection. In the project, we have looked at both short term and long-term value from the data and the split into the different stakeholders. A paper has been written on these findings – which actually suggests that a way of an overall optimization of the value of the data is through partnerships between the stakeholders. But applying this finding to concrete business models has not been in the scope of the project.

The overall result in terms of business models is therefore, that while using data surely gives value for the stakeholders, no business models have been proposed in this project. The project team can see the outline of several new potential products based on the data, that can be used to develop business models for the

data driven building. But no concrete models have as of yet been defined. However, for each of the stakeholders we can add more details based on the result in this project.

Potential for the data driven building and assessment of further work

So how will we proceed in using data from buildings in operation and for better design? We want to get more data from more buildings so that we can confirm and adjust the findings. This will be an on-going process, which will not end anytime soon. The data should have a high level of granularity both in terms of time scale and spatial scale.

For the Client (tenant or building owner) we see that they will benefit mostly from getting a better building and getting insights on better use of the premises. They can get more precise and better operation of the building and less time with faulty systems, and consequently lower consumption and more satisfied users. Also, there is a large potential in in documenting actual consumptions and emissions.

For the FM operator the potential in both keeping a closer contact to the Clients by giving them facts on the actual observed operation, which can be used to lower energy consumption and lower CO₂-emissions. And in the not so distant future also to better maintenance by fault detection.

For the contractor and designer there is a huge potential in keeping a closer contact to the Client by giving them facts on the operation and creating new services and products. At the same time getting access to data from buildings in operation means that it is possible to make better dimensioning of the next building based on the actual observed use. This is especially in better dimensioning of technical equipment and input for requirements in the technical brief of a new building or major renovation of an existing building. But actually, it can also be used by the design team – mainly the architect – in defining size of e.g. canteen and size and number of meeting rooms as well as the general programming of the building functions.

For the producer of technical equipment, a data driven product can be used for setting up predictive maintenance service contracts, making apps for users and finally giving insights on how the products are actually used and functioning in a real-life setup.

For academia (and authorities) the availability of data from buildings in operation presents a possibility to making new methods for building design tools based on experience from actual buildings, where experience from real life can be included and at the same time use this knowledge as input to the data driven building codes of the future.

4 Derfor indsamler vi data

Byggeindustrien er typisk ganske traditionel i tilgangen til design og implementering af nye løsninger, ikke mindst når det kommer til digitalisering. Således viser undersøgelser at byggebranchen endnu er blandt de mindst digitaliserede sektorer i Danmark (Danmarks Statistik, 2017). Et af problemerne er mangel på digitale kompetencer i byggeriet og brug af samarbejdsformer, som understøttes af det digitale¹.

Bygninger bliver teknisk set mere og mere komplekse, hvilket gælder både nye og eksisterende bygninger. I den forbindelse generes en masse data især fra de tekniske installationer, som i dag ikke udnyttes – hvis de overhovedet gemmes. Ofte lander data i en "silo" hos producenten af den tekniske installation, som i nogle tilfælde yder en særlig service på baggrund af data og i andre tilfælde ikke bruger det til noget. Kun i sjældne tilfælde stilles data til rådighed i et format, hvor det for alvor er tilgængeligt for bygningsejeren.

Et godt eksempel på dette er indenfor brugen af data fra bygninger i drift, hvor den viden, som kan trækkes ud herfra, kun i meget begrænset omfang bliver benyttet – hvis overhovedet. I praksis er det kun bygningens driftsansvarlige, der via CTS-anlæggets database har adgang til data fra driften, hvis data overhovedet bliver gemt eller delt. Det er ærgerligt for driftsdata fra bygninger er faktisk en uudnyttet guldgrube, som vi vil eftervise i dette projekt. Det kræver dog en bevidst tilgang at sikre at data kan bruges og af de rigtige aktører, som ikke skal være en travl driftsmand, der har mange andre opgaver.

I dette projekt er det vores ønske at vise at en systematisk og konsekvent dataopsamling, hvor data bliver tilgængelig for flere interessenter og genstand for et samarbejde, giver stor værdi. Målet er at vise hvordan dataindsamling og den efterfølgende analyse af den indsamlede viden, kan udfordre "plejer". Dette gælder både i forhold til drift og design af bygninger.

Andre projekter har også været i gang med tilsvarende, herunder Bygningsstyrelsen som har arbejdet med databaseret energiledelse af el- og varmekonsumet. Det har givet besparelser på 9 pct. af energiforbruget i 114 kontorbygninger svarende til en besparelse på varmeregningen på 10 mio. kr. per år².

Vores projekt går skridtet videre ved blandt andet at have fokus på højtopløste data for forbrug og indeklima, som går tættere på både det enkelte forbrug og på den enkelte bruger af bygningerne. Det gør det muligt at kunne lave en mere grundlæggende årsagsanalyse til at sikre en bedre drift. Samtidig giver det samme datagrundlag mulighed for opsamling af viden, der kan bruges til bedre design af næste bygning.

4.1 Trends

Vores projekt er på mange måder en reaktion på en række udviklingstendenser og udfordringer i samfundet, som projektets partnere har sat sig for at gribe og sætte handling bag. Her nogle af de væsentligste kort listet;

- Klima og bæredygtighed. Tiltag som bidrager med at indrette vores samfund på en mere bæredygtig og fossilfri måde vil kun blive yderligere aktuelle i de kommende mange år. Hvis vores målsætninger om at hindre temperaturstigninger og ressourceknaphed skal indfries, så må og skal byggeriet spille en helt central rolle. Byggeriet i Danmark står for 40% af samfundets energiforbrug, 35% af materialeforbruget og 30% af affaldsproduktionen, så branchen har et stort ansvar.
- Data som fremtidens råstof. Den forventede mængde af anvendt data vil stige med 500% i 2025 i forhold til niveauet i 2018 (Reinsel et al, 2018). En analyse viser at danske data alene er 63 milliarder kroner værd i 2019 – 3% af hele bruttonationalproduktet. Så der er enorme perspektiver i at udvikle en

¹ <https://brandogsikring.dk/forskning-og-udvikling/byggeri/digital-tryghed/>

² Energibesparelser for 10 millioner kr., Nyhed fra Bygningsstyrelsen, 14/6 2016

produkter og skabe innovation på området (Dansk Erhverv, 2019). Data tegner derfor til at blive en hastigt voksende kilde til viden og ligeledes få stor økonomisk og jobmæssig betydning for stort set alle aktører i byggebranchen.

- Databeskyttelse og -rettigheder. Data fra bygninger generes allerede i stor stil. Mange installationer leverer således allerede data op i skyen eller tilbage til producent eller bygningsejer. CTS-systemer opsamler tværgående data om bygningen drift og det offentlige udstiller data om energimærker mv. Men byggebranchen er midt i en proces med at finde ud af hvordan disse data skal håndteres, hvem der skal eje og have rettighederne til data, hvad det skal koste at tilgå data, hvem man skal dele dem med, om de skal stilles til rådighed for eksterne, hvordan de skal beskyttes, etc. Tendensen går i retning af et opgør med tidligere praksis, hvor det meste bygningsdata har været lagret i proprietære lukkede protokoller. Lukkede systemer og svært tilgængelige protokoller har gjort det svært og ofte dyrt at få adgang til data og dele dette. Det betyder at aktører i byggeriets værdikæde; eks. entreprenøren, driftspersonale, leverandører og IT-rådgivere har haft begrænsede muligheder for at lære af og nyttiggøre den essentielle information om hvordan vores bygninger performer.
- Teknologisk udvikling Inden for de sidste år er der sket en billiggørelse af sensorer og målere til registrering af energiforbrug, indeklima og aktivitet i bygninger. Derfor er teknologien nu tilgængelig for de mange og det er ikke som tidligere økonomi og pris som bremser udviklingen. Samtidigt er systemer til trådløs datakommunikation også blevet billigere, fået mere kapacitet og kan derfor benyttes i stadig mere udstrakt grad til styring af stadig flere funktioner i bygninger. Endelig ser vi også frem imod udvikling af kunstig intelligens og selv-lærende systemer, der kan bidrage til at give data værdi ved at overtage dele af styringen af en bygning indeklima, energiforbrug og andre funktioner i bygning.
- Totaløkonomi og den menneskelige faktor. Det store fokus på anlægsomkostninger udfordres, således har eksempelvis de offentlige bygningsejere siden 2013 skulle anlægge totaløkonomiske betragtninger. Formålet er at undgå incitamentet til at minimere anlægsudgifterne på bekostning af senere forhøjede driftsudgifter. Set i lyset af klimakrisen og samfundsøkonomisk fornuft i øvrigt er der en bevægelse på vej i retning af et mere helhedsorienteret syn på økonomien i et byggeri. Afledte udgifter over tid fra dårligere løsninger i reglen er større end selve anlægsudgiften. Det gælder ift. de tekniske løsninger, men i særdeleshed i forhold til løsninger som påvirker indeklimaet og trivsel. Af udgiften forbundet med at drive et kontorbyggeri er ca. 90% relateret til omkostninger forbundet med medarbejderne (Alker et al, 2014). At slække på indeklimaet er derfor en rigtig dårlig forretning, idet sygdom og mistrivsel koster på bundlinjen. I den proces er data et rigtig godt værktøj, som kan fortælle os om faktorer, som luftkvalitet, støjniveauer, temperaturer, rengøring, rumanvendelse, etc. – alt sammen noget der er en direkte forudsætning for trivsel og produktive medarbejdere.
- Partnerskaber og samarbejde. Vores komplekse miljøproblemer og udfordringer kan kun løses ved samarbejde og partnerskaber, hvilket også tilskyndes af Verdensmål 17. I byggebranchen er dette endnu mere aktuelt end andre steder. Branchen er kompleks: rigtig mange fagligheder og forskellige interesser er i spil i en byggeproces og under driftsfasen. Branchen er godt i gang men mere forpligtigende samarbejder i forhold til bygningsperformance, den cirkulære dagsorden, energi og klima, arbejdsmiljø, data, mv. Kun ved at samarbejde, dele erfaringer og udvikle fælles visioner på tværs af hele værdikæden er det muligt at udvikle de løsninger som skal til.

4.2 Udfordringer og muligheder

Helt grundlæggende ser vi at fremtidens bygningsdrift vil blive kendetegnet ved følgende tre observationer

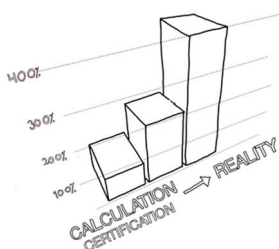


Data danner grundlag for spørgsmål

Demokratiseret tilgang til data

I dag kan en IoT sensor, der er ganske nøjagtig købes billigt. Disse kan måle temperatur, CO₂, organiske forbindelser, partikler, energiforbrug, vandforbrug, tilstedeværelse, om vinduerne er åbne, om katten er hjemme med mere.

Disse data kan bruges til at sandsynliggøre om designforudsætninger og driftsforudsætninger er opfyldt. Dette er alle aktører i byggebranchen nødt til at forholde sig til. Hvilket gælder både designere (arkitekter og ingeniører), producenter, entreprenører, driftsorganisationer, forsikringsselskaber, forsyningsselskaber med flere.



Performance Gap Forbrug og indeklima

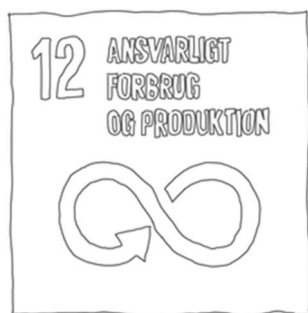
Performance gap

I nye bygninger er der normalt altid en stor forskel mellem det forventede eller beregnede forbrug og det faktiske forbrug. Dette er det såkaldte performance gap, som er velbeskrevet i videnskabeligt arbejde. Se fx https://en.wikipedia.org/wiki/Performance_gap

Det er ikke unormalt at det faktiske energiforbrug er op til 2-3 gange større end det beregnede/forventede. Der er mange årsager til dette, som skyldes både forudsætninger, faktisk drift, brugstid forventninger til funktion m.m.

I virkeligheden kan man også tilsvarende tale om et performance gap inden for indeklima, som nu også kan måles og dokumenteres.

I forhold til brugen af data fra driften, er det væsentligt at bemærke, at med forskellige samtidige datakilder for fx energi og indeklima, er det pludseligt muligt meget bedre at kunne forklare disse "performance gaps".



Bæredygtighed og klimamålsætninger

Bæredygtighed og klima

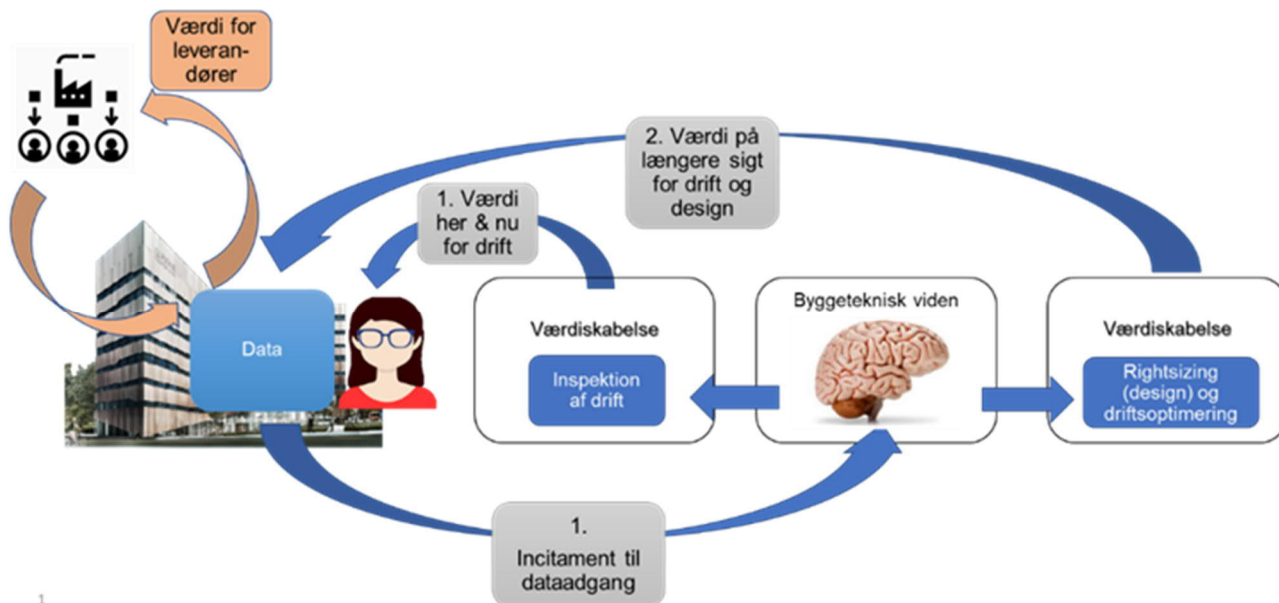
Bæredygtighed og klima vil i de kommende år formentlig blive en endnu større og vigtigere diskussion end den allerede er.

Igen er det vigtigt at holde for øje at data fra faktisk bygningsdrift kan bruges til at kvalificere, dokumentere og forbedre forbruget i en bygning.

Herudfra kan der opsættes budgetter for forbrug og mål for forbedringer, som efterfølgende kan eftervises.

Sagt på en lidt anden måde, er udfordringen at data kommer til at være til rådighed. Data skal og kan bruges – og på flere forskellige måder. Både på kort sigt og på lidt længere sigt – og med fokus på

forskellige aktører. Dette er illustreret i figuren nedenfor. Det giver helt nye muligheder, som vi skal være klar til at udnytte.



Figur 1 Kredsløb for anvendelsen af data.

I figuren vises hvorledes data fra bygningen i drift giver anledning til at der kan skabes flere værdiskabende kredsløb baseret på data.

Det første kredsløb er producentens dataindsamling af deres egne produkter i drift. Her er der umiddelbart to formål til indsamlingen. For det første kan der skabes en tillægsværdi for brugeren i form af fx servicekontrakter baseret på predictive maintenance eller forbrugerrettede apps, der fortæller om brugen af produktet. For det andet kan producenten få information om hvordan deres produkt faktisk fungerer i drift, som kan bruges til firmaets produktudvikling. Dette kredsløb, som kun fokuserer på det enkelte produkt, forventes i de kommende år at blive introduceret på rigtig mange tekniske produkter. Med andre ord har dette kredsløb – eller rettere disse, der kan være ét pr. produkt – ikke direkte fokus på hele bygningen. Samtidig er det leverandøren af produktet, der er ansvarlig for at der leveres værdiskabelse for producenten, der modsvarer omkostningerne til udvikling af ydelsen.

Det andet kredsløb gælder bygningens drift. Her samles data for hele bygningen for at kunne sikre den nødvendige værdiskabelse. Her er der to fokusområder; kort og længere sigt. På kort sigt gælder det om at der skal leveres en værdi baseret på adgangen til data. Hvis en bygningsbruger (ejer eller lejer) skal give adgang til data, skal der på kort sigt og løbende leveres en værdi, der gør at bygningsbrugeren ser et formål i at fortsætte med at betale for ydelsen. Dette kan fx være i form af en overvågning eller optimering af driften, som gøres nemmere eller mere effektiv gennem adgang til og fx visualisering af data. For at data skal give mening, skal der tilføres en form for byggeteknisk viden, der kan tilføres af forskellige aktører baseret på tilgang til det samme data. På længere sigt er formålet at data kan bruges til at optimere designet af bygninger og en mere sammenhængende drift, som sikres gennem en mere grundlæggende analyse af de data, der kommer ind fra bygningens drift, som endvidere kan sammenlignes med tilsvarende data fra andre bygninger og tilsættes viden og erfaring herfra.

4.3 De grundlæggende regler for dataindsamling

På baggrund af ovenstående definerede vi i projektet en række dogmer eller leveregler, som vi har taget udgangspunkt i gennem projektet.



kunden ejer data!

Kunden ejer data

Helt grundlæggende er basis for hele dette projekt, at det er kunden som ejer data, og som kan give de øvrige aktører adgang til data – og fjerne adgangen igen, hvis det ikke længere tjener et formål at give adgang.

Kunden er i denne sammenhæng normalt bygningssejer eller lejer.

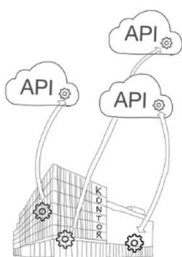


aktører skal gøre sig fortjent til kundens data

Aktøren skal gøre sig fortjent til at få adgang til data

For at få adgang til data, skal en aktør have en grund til at få adgang, som skal accepteres af ejer efter en konkret vurdering.

Det vil sige, at dataejer har en umiddelbar grund til at stille data til rådighed for driftsherren – for at sikre bedre drift. Men i forhold til designeren, som har næste bygning i tankerne er det væsentligt at få adgang til data, som ikke umiddelbart giver mening for dataejer – de får jo ikke en bedre nuværende bygning. Men samtidig kan ejer være indforstået med at data stilles til rådighed som en del af en generel udvikling, der i sig selv er værdiskabende.



**leverandøruafhængighed,
åbne systemer og indbygget
IT-sikkerhed**

Leverandøruafhængighed

Det sensorsystem der benyttes, skal være i form af åbne systemer, hvor data nemt kan hentes fra. Ønsket er at undgå såkaldt "vendor lock-in", hvor sensor, dataplatform og mulighed for analyse foregår i samme system, hvor det ofte i praksis er dyrt og besværligt at tilføje nye funktioner.

Samtidig er det væsentligt at de anvendte løsninger er sikre, så det ikke er muligt at hacke. Det sikres fx via api-nøgler



Data skal i en bygningskontekst

For at data mere generelt skal give en værdiskabelse, er det vigtigt at data er i kontekst af bygningen, så data der indsamles i forskellige platforme kan analyseres og visualiseres samlet. Det giver en fælles mulighed for at forstå sammenhæng mellem fx energi og indeklima eller tilstedeværelse.



Det er ikke et IT-projekt

Endelig er det vigtigt at dataindsamlingen ikke bliver til et IT-projekt, hvor der fx opsættes lokale dataservere i bygningen, som efterfølgende skal serviceres og vedligeholdes, som er en tidskrævende proces, der samtidig ofte resulterer i perioder med manglende dataindsamling.

Med andre ord skal sensorer og infrastruktur være tilgængelig som en service, der købes hos leverandøren/producenten som har ansvaret for at sikre at sensoren leverer data i skyen. Data skal kommunikeres i et format der kan påvirke adfærd hos brugere

5 Sådan indsamler vi data

Der er mange måder at indsamle data på, som kan være alt fra håndholdte månedlige (eller årlige) aflæsninger af hovedmålere over mere eller mindre automatiserede dataindsamling af mere detaljerede data af forbrug evt. baseret på CTS til en egentlig automatiseret systematisk dataindsamling, hvor også energi, indeklima og tilstedeværelse inddrages.

I dette projekt er formålet at foretage en systematisk dataindsamling baseret på sensorer og platforme, der kan automatisere og forenkle processen så meget som muligt og som generelt lever op til de grundlæggende regler beskrevet i afsnit 4.3.

5.1 Teknisk opbygning af platform

I projektet ønskes det at dataindsamlingen så vidt muligt foregår via eksisterende data og sensorplatformsløsninger leveret som serviceleverancer (også kaldet SaaS eller Software-as-a-Service).

Baggrunden for dette er den grundlæggende fokus på at projektet ikke er et IT-udviklingsprojekt men derimod en fokus på at anvende og analysere den opsamlede data.

De løbende omkostninger ved anvendelse af SaaS vil isoleret set virke højere end for både IaaS- og PaaS-løsninger (hhv. Infrastructure og Platform as a service). Men kompleksiteten og udgifterne i opstartsfasen vil være mindre. Men det er særligt i den løbende drift, support og skalering hvor SaaS bliver interessant. IaaS og PaaS løsninger skalerer ikke lineært men derimod i trin hvor kunden skal hoppe trin for trin på i performance på de enkelte servere eller services i løsningen. Ved anvendelse af SaaS løsninger skaleres der lineært hvor antallet IoT enheder og nødvendige antal server sammen da det er leverandøren som er ansvarlig for at skalere antal servere og databaser "behind the lines", men har samtidig mulighed for at dele kapacitet mellem kunderne og optimere på denne måde.

Denne tilgang skal sikre at det er nemmere at gå til for brugeren og frigiver fokus til selve dataanalysen og visualiseringen.

5.1.1 Gennemgang af de forskellige service-delivery modeller for IT/cloud services

I dag leverer både store og små cloud-leverandører direkte til slutbrugere i form af standardiserede og automatiserende leverancepakker. Cloud-leverandøren tager et stigende ansvar for driften og garanti for opetid. I "gamle dage" havde virksomheder serverne stående i kælderen og varetog selv driften og investeringer i fornyelse af software og hardware med passende mellemrum.

I dag køber mange virksomheder i stigende grad veldefinerede og standardiserede serviceleverancer direkte fra cloud-leverandører som Google, Amazon, Microsoft eller mindre regionale hosting firmaer, medmindre der er særlige regulatoriske krav som gør, at data skal placeres inden for virksomhedens område.

Hvis ikke virksomheden, af den ene eller anden årsag er nødt til selv at indkøbe server og netværkshardware for derefter at indkøbe og installere software for at skabe et IT-miljø, hvor de kan dække deres eget behov for IT-tjenester, køber virksomhederne i dag en standardiseret, enkel og transparent serviceleverance i form af følgende 3 IT-serviceleveranceformer: Infrastructure-as-a-service (IaaS), Platform-as-a-service (PaaS) eller Software-as-a-service (SaaS), som enkelt kan beskrives på følgende måde

5.1.1.1 Infrastructure-as-a-service (IaaS)

Dækker dybest set over at man køber adgang til hostet hardware i form af dedikerede servere, netværksudstyr samt datalagring i skyen. Herefter kunden selv installerer applikationer og konfigurerer den ønskede løsning.

5.1.1.2 Platform-as-a-service (PaaS)

PAAS er et skridt op fra IAAS. Her sikrer leverandøren at servere og netværksudstyr er konfigureret med operativsystemer samt ønskede applikationsservere og databaseserverer samt at leverancen har en garanteret opetid på fx 99,5% af timeren på en måned eller et år.

Herefter skal kunden selv konfigurere den ønskede funktionalitet og er selv ansvarlig for funktionen og supporten af denne.

5.1.1.3 Software-as-a-service (SaaS)

SAAS dækker grundlæggende over at man som slutbruger køber adgang til en fuldt konfigureret platform med database og software, som der egentlig blot skal fyldes med data og analyse. Leverandøren sørger for skalering til den datamængde og det analysearbejde, der er krævet.

5.1.1.4 Platform of platforms.

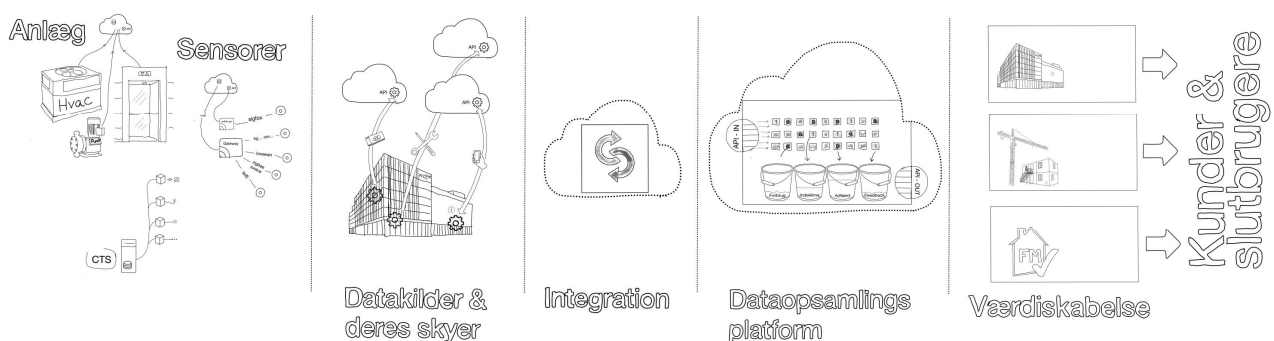
I projektet ønskes det at dataindsamlingen så vidt muligt foregår som software as a service. For at kunne holde fokus på de værdiskabende dele af IoT som selve dataanalysen og datavisualiseringer og ikke hvordan de enkelte it-tjenester bliver produceret?

Behovet for IT-kompetencer bør kunne begrænse sig til en forståelse af de forskellige leveranceformer, for på en intelligent måde at kunne definere og stille krav til snitflader mellem forskellige SaaS leverancer. Derved kan der opbygges en IoT "Platform of platforms" leverance hvor dataopsamlingen er opdelt i hovedfunktionerne leveret som skalerbare enkeltstående men integrerede services med mulighed at udskifte enkelt leverance uden at skade selve data opsamlingen.

5.1.2 Vigtige valg i forhold til skalerbarhed

Følgende afsnit beskrives hvordan vi i projektet har delt IoT dataopsamlingen ind i hovedfunktioner som enkeltvis kan udskiftes eller køres parallelt i en overgangsfase hvis det er nødvendigt.

Nedenstående figur viser hvilke logiske hovedfunktioner som vi har valgt at dele vores IoT dataopsamlingsmetode ind i, som beskrives i følgende afsnit.



Figur 2 Hovedelementer i dataindsamlingsmetoden med angivelse af dataflow

5.1.3 Datakilder & sensorplatforme

Der er et stærkt stigende antal sensorplatforme og forskellige teknologivalg, som de enkelte leverandører vælger, samt en stigende mængde produkter som har en integreret dataopsamling, der kan danne grundlag for merværdi. Disse kan tilbydes til slutkunden i form af nye serviceleverancer som "predictive maintenance" eller medfølgende apps, hvor kunden kan se/overvåge og måske styre det enkelte produkt. Leverandørernes løsninger vil helt sikkert ikke ligne hinanden og det kan blive kompliceret at skabe en ensartet integration i sensorer/data og dermed dataopsamling.

Vi har i projektet valgt at dæmme op for denne kompleksitet, ved at kigge på, hvordan dette problem bliver løst i IT verdenen. Hvor det efterhånden er en "hygiejne faktor" for valg af platforme at disse tilbyder adgang til data via et API (beskrevet i følgende afsnit), hvor kunden selv kan integrere til sine data, udover selvfølgelig at anvende platformens standardinterface i form af et website, app eller klientapplikation.

5.1.3.1 Hvorfor har vi haft fokus på API'er?

API betyder direkte oversat applikationsprogrammeringsgrænsefladen og kan kort beskrives som en mekanisme, der tillader interaktion mellem to platforme eller apps, ved hjælp af et sæt regler. Der findes ikke et fast regelsæt for API'er, men mange sensorudbydere implementerer deres API'er ud fra sammenlignelige designvalg.

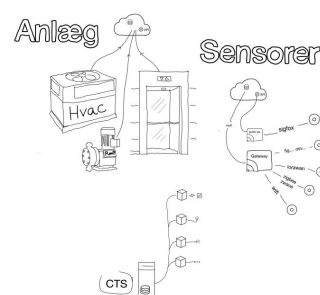
API'et er fordelagtigt, fordi det giver mulighed for standardisering, kryptering, forenkling og automatisering af adgangen til data for brugere eller platforme.

Vigtigst er dog at API'et drives og skales af sensorudbyderen, det vil sige at integrationen forgår via et API kald fra kunden til sensor platformen via kundens brugernavn og adgangskode eller en sikker nøgle som er udstedt fra sensorudbyderens platform.

5.1.3.2 Kriterier for vores valg af sensorer i projektet

Vi har forsøgt, så vidt muligt at vurdere vores sensorvalg i projektet efter følgende 4 grund spørgsmål/krav.

- Kan sensorløsningen levere slutbrugerværdi som stand-alone? Det vil sige giver løsningen kunden adgang til en app eller et website, hvor kunden kan tilgå sine data, f.eks. for at kunne se grafer eller værdier, som bliver samlet op.
- Vi har ikke stillet specifikke krav til teknologivalg. Det påhviler selvfølgelig sensorproducenten/leverandøren af servicen at vælge hvordan de bedst og billigst flytter data fra sensor til sky. Det vigtige er at sensorleverandøren transparent vedligeholder software/firmware på selve sensor og gateway (hvis en sådan anvendes), samt at sensorleverandøren vedligeholder det API og App, som der tilbydes. Simple opgaver som batteriskift og sikring af tilgængelig internetforbindelse kan godt varetages af kunden.
- Adgang til data i et åbent og sikkert API som tillader kunden at styre API adgang og retten til at dele adgangen med 3. part. Dette kan lyde som et "stort" krav, men i praksis er dette efterhånden standard hos mange sensorproducenter. API adgang er ofte et tilkøb som kunden kan vælge.
- Vi har ønsket at de sensorløsninger vi har valgt, ikke har været bundet op på specifikke produkt valg i bygningens tekniske systemer. Helt enkelt fordi sensorerne skal kunne fjernes igen uden

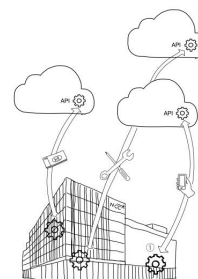


at have nogen effekt på bygningens drift, samt at potentialet for at kunne eftermontere eksisterende i bygninger vil være væsentligt større og billigere.

Hvis vi kigger lidt ud i fremtiden, vil data ikke kun komme fra sensorplatforme med også fra bygningens systemer som f.eks. elevatorer, pumper, ventilationsenheder og måske videoovervågning. Vi ser egentligt at ovenstående krav kan anvendes som input til løsningsvalg i nybyggeri og renoveringsprojekter, på når det sidste krav selvfølgelig.

5.1.4 Leverandørens sky

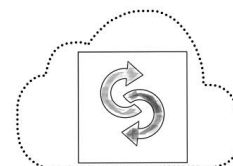
Som beskrevet i foregående afsnit ser vi egentlig skyen som en del af sensor eller komponent leverandørens leverance. Det er her at data gemmes og behandles så data giver værdi for komponentproducenten og eller sensorejer via f.eks. apps eller mere avancerede leverancer som predictive maintenance.



5.1.5 Integration

Da sensor og komponent producenter vil have fokus på deres eget produkt, kommer data til at blive indsamlet i siloer som udgangspunkt. For at kunne se på data i en bygningskontekst, vil der være et behov for at kunne automatisere og administrere dataindsamlingen struktureret.

Konkret vil der være behov for at anvende et værktøj eller integrationsplatform, som kan håndtere automatiserede API forespørgsler til de i bygningen valgte sensor- og komponentplatformes API'er og derefter sende data ind i en platform hvor data kan behandles i en bygningskontekst.



Der findes allerede platforme som tilbyder denne funktionalitet som f.eks. Dell Boomi eller Mulesoft's Anypoint Platform.

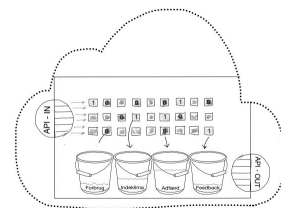
I praksis har vi i projektet selv udviklet denne funktionalitet via automatiseringer programmeret i node-baseret programmering som open-source projektet Node-Red.

Det er ikke utænkeligt at denne funktionalitet kommer til at være indbygget i IoT platforme. I projektet har vi endnu ikke fundet et produkt som prismæssigt har været interessant i forhold til projektet.

5.1.6 Dataopsamlingsplatformen

Meget bred definition og mange forskellige løsninger i markedet allerede. Vi har haft fokus på følgende grund funktionalitet

- Fleksible muligheder for at modtage data eg. HTTPS, RestAPI eller MQTT
- Simple device management muligheder eg. Kommer der data ind
- En "pr. device" afregningsmodel
- Indbygget data Storage
- Mulighed for at tilgå data fra eksterne analyseværktøjer.



5.1.7 Adgang til brug af data og deling for alle interessenter (værdiskabelse)

Adgangen til den opsamlede data i én og samme kontekst og frihed til at vælge værktøj, er formodeligt det vigtigste element i at kunne skabe værdi fra data.

I praksis er det meget op til hvilke muligheder som IoT platformen giver i forhold til analyseværktøjer.

Hvis vi bruger Microsoft Azure IoT Central som eksempel, giver den mulighed for automatiseret eksport af data til SQL database med tilhørende PowerBI rapporttemplate. Samtidigt med at data kan eksporteres i open source data formatet AVRO, som sideløbende kan anvendes til f.eks. grundlag for machine learning projekter etc.



5.2 Faktisk implementeret platform i projektet

I den faktisk implementerede platform vi har anvendt i projektets forløb, har de enkelte komponenter ændret sig løbende under projektet.

Baggrunden for ændringerne har været forskellige, bla. fokus skifte fra IoT Platform leverandør, specifikt valgte Ericsson at udfase AppIoT, da de skiftede fokus fra bygninger til teleoperatør IoT.

Ændringerne har ikke været velkomne i projektet, men har på den anden side vist at den indbyggede fleksibilitet i data opsamlingsmetoden, har en væsentlig værdi.

Helt praktisk har vi midt i projektet været nødt til at skifte IoT platform fra AppIoT, som var leveret af Ericsson til IoT Central fra Microsoft. Den skarpe leveranceadskillelse har gjort, at vi at kunne nøjes med kun at skifte platformen til en lignende leverance uden at skulle udskifte sensorer, integration eller analyseplatform. Platformudskiftningen skete ved at vi parallelt have både AppIoT og IoT Central kørerende samtidigt i en periode indtil opsamlingen i IoT Central var stabil.

Nedenstående beskrivelse omfatter kun beskrivelse af de komponenter, som er i brug ved afslutningen af projektet.

5.2.1 Sensorplatforme og adgang til data

NorthQ

Vi har i projektet anvendt NorthQ's - Q-Reader product samt NorthQ's cloud og API. Q-Reader er en multisensor med mulighed for at udskifte "sensorhoved" til det ønskede formål. I praksis har vi anvendt sensorplatformen til at opsamle fjernvarme og vandforbrug.



NorthQ platformen tilbyder kunden et avanceret webinterface og platform samt at tilgå egne data via et API

Netatmo

Netatmo er en IoT indeklimasensorplatform til registrering af indeklimaparametrene temperatur, relativ luftfugtighed, barometrisk tryk, lyd tryk målt i dB samt CO2 niveau målt i PPM.



Netatmo platformen tilbyder kunden et webinterface samt en mobiltelefon app med også at hente data via et API hver 5 min.

Foobot

Foobot er ligeledes en IoT indeklimasensorplatform til registrering af indeklimaparametre. Sensoren opsamler temperatur, relativ luftfugtighed, partikel forurening (pm2,5) samt flygtige organiske forbindelser i luften, også kaldet TVOC'er fra det rum som den er monteret i.



Foobot-platform tilbyder kunden et webinterface samt en mobiltelefon app med også at hente data via et API hver 10 min.

Smappee

Smappee er en kommerciel IoT platform til detaljeret registrering af elforbrug.

Hver Smappee sensor kan måle 7 stk. 3-fasede afgange i f.eks. hovedtavle eller undertavler. Den opsamlede data analyseres lokalt i sensoren og sendes til Smappees cloudplatform. Vi har i projektet hentet 5 min. gennemsnitsværdier fra Smappee API



SmartThings

Samsung SmartThings er formodentligt verdens største smarthome-platform, og Samsungs bud på at kunne binde hjemmets internetforbundne enheder sammen via en SmartThings Hub placeret i hjemmet.



Det interessante ved SmartThings-platformen er at den ud over smarthome app'en på mobiltelefonen og tilbyder at kunden kan anvende et forholdsvist avanceret API til at tilgå data fra enheder som er tilsluttet.

I projektet har vi konkret anvendt bevægelsessensorer til registrering af tilstedeværelse ved skriveborde og i møderum samt smarthome knapper til at opsamle feedback fra brugere.

Brickstream

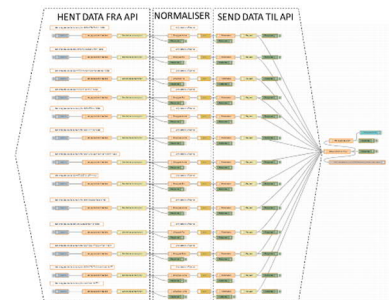
Brickstream sensoren anvendes primært i forbindelse med butikker og storcentre. I praksis er dette ikke som sådan en IoT enhed, men mere et smart netværkskamera, som anonymt kan tælle personer som passerer ind og ud af områder. Brickstream har endnu ikke en cloud service som tilbyder en API grænseflade. Derimod kan kameraet konfigureres sådan at det sender beskeder til IoT platformen løbende.



5.2.2 Integration mellem platforme og API'er

I projektet har vi foretrukket sensorer som tilbyder data via enten Restful API eller et såkaldt Webhook.

Skal der hentes data via et Restful API, findes der i reglen en API dokumentation på sensor producentens website. Dokumentationen beskriver metode og regler for anvendelse af API'et. Når et Restful API anvendes, er det kunden som periodevis forespørger sensor leverandørens cloud efter ny data.



Eksempel fra faktisk kode som hhv. henter og sender smappee data

En Webhook løsning et lidt anderledes, da det er leverandørens cloud, som aktivt sender data til en aftalt adresse på internettet.

I projektet har den grundlæggende tilgang til dataopsamling været at integrere sensorleverandørens API'er med IoT platformenes API'er. Som udgangspunkt har vi ønsket at anvende en færdig integrationsplatform, leveret som en service. Dette viste sig hurtigt ikke at kunne lade sig gøre. Da det prismæssigt ikke var muligt at få adgang til en platform med de nødvendige kapabiliteter. I projektet har vi løbende afprøvet forskellige metoder og anvender ved projektets afslutning et integrationsjob pr. sensorplatform skabt i den nodebaserede programmerings platform Node-Red. Platformen af vist sig at være meget fleksibel til formålet.

Den ideelle løsning vil dog være en færdig integrationsløsning leveret som en service af én eller flere udbydere.

5.2.3 IoT Platform

I projektet har vi udelukkende haft fokus på færdige IoT platforme leveret som SaaS, da vi ikke har ønsket at bruge ressourcer på drift af IT.

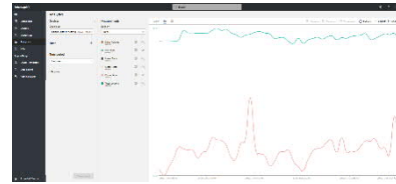
Med drift mener vi at IoT platformsløsninger som f.eks. Microsoft IoT Suite, kræver en mængde ressourcer på konfiguration af platforms komponenter samt løbende drift af hele løsningen. En IoT Platform leveret som SaaS er en færdigbagt løsning som tilbyder dokumentation af tilgængelige funktioner i servicen, samt



Dashboard eksempel fra IoT Central

at leverandøren skalerer løsningen automatisk op og ned alt efter kundens behov.

Ved projektets afslutning anvender vi Microsoft Azure IoT Central som netop er en løsning som tilbyder bla. datalagring, IoT enhedshåndtering samt simple data visualisering og automatisering af alarmer.

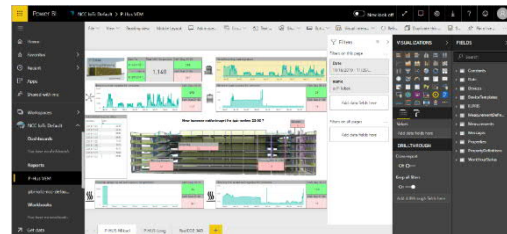


Mulighed for at se indkommende data i IoT Central

5.2.4 Analyseplatforme

Vi har ønsket maksimal fleksibilitet i forhold til valg af analyseværktøjer, men samtidig også en mulighed for at tilbyde adgang til data i en SaaS platform som giver mulighed for at 3. Part kan tilbydes adgang til data.

Mange af visualiseringerne i rapporten er skabt i Microsoft PowerBI som er Microsofts bud på analyseværktøj leveret som SaaS eller lokalt på brugerens computer. PowerBI har vist sig at være et stabilt værktøj som har kunne løfte en stor del af vores behov. Men fleksibiliteten er yderst vigtig, da det også har vist sig at vi havde behov for mere avancerede værktøjer, som fx programmeringssproget R, som er fokuseret på statistisk analyse af store datamængder.



Eksempel fra PowerBI

6 Det har vi målt og det har vi lært

I dette kapitel beskrives de resultater, der umiddelbart kan udtrages på baggrund af det data, som er indsamlet og de usecases, der er beskrevet. Det er meget væsentligt at pointere, at det kun er eksempler på analyse af de foreliggende data. Det indsamlede data kan i praksis kombineres på et meget stort antal måder og give grundlag for et tilsvarende stort antal mulige konklusioner.

Ligeledes er der i resultaterne stor forskel på hvor modne resultaterne er i forhold til om de kan danne grundlag for bedre design og drift. Fælles for alle resultaterne er dog, at de viser et potentiale for at data kan bruges til bedre drift og design.

Det noteres i indledningen til dette afsnit, at nogle af de resultater, der præsenteres, kan tolkes som værende dårlige i forhold til både den dimensionering, der er foretaget og den drift, der er i bygningerne. Det er vores påstand, at både design og drift er mindst på niveau med normale danske kontorbygninger. Når vi kan vise uhensigtsmæssigheder skyldes det især, at vi måler på det og sammenholder data. Noget som i rammerne af dette projekt faktisk er muligt – og som har været svært tidligere.

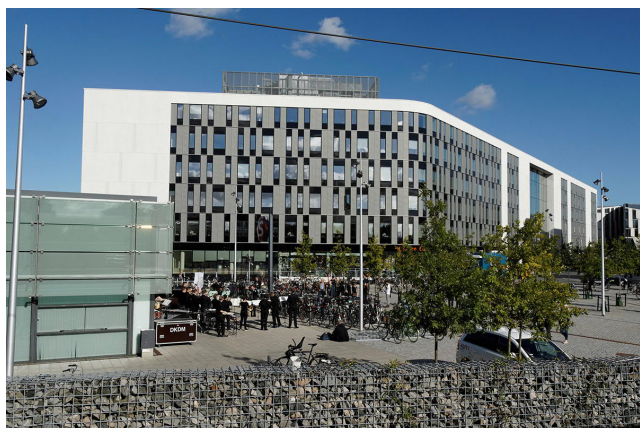
Indledningsvis beskrives dog de usecases som projektets resultater er baseret på

6.1 Usecases i projektet

I projektet blev der valgt et fælles fokus på kontorbygninger. To kontorbygninger blev udvalgt til forsøgene.

Det drejer sig om Gladsaxe Company House, som er ejet af PensionDanmark og Flintholm Company House, som er ejet af PKA. Samtidig bor NCC i Gladsaxe Company House og DEAS i Flintholm Company House. Begge bygninger er opført af NCC og begge bygninger er drevet af DEAS. Det gjorde det nemt at gennemføre dataindsamlingen og gjorde det nemt at få adgang til data.

Derudover er der udført en separat dataindsamling på bygningen The Hill, som er en boligejendom i Hillerød, som beskrives separat nedenfor.



I projektet er der udvalgt usecases, der i forhold til anvendeligheden af dataindsamlingsmetoden skal kunne vise

- Reproducerbarhed
- Sammenligning af insights

Det første punkt skyldes, at det er et mål i projektet, at det skal være nemt og tilgængeligt at samle data fra bygninger i drift i en samlet kontekst for den enkelte bygning. Dette hænger sammen med de leveregler,

der er beskrevet i afsnit 4.3, hvor det ønskes at lave en dataindsamling, hvor der er tydeligt ejerskab for data som samtidig ikke kræver særlige IT-kompetencer, for at få det til at virke.

Det andet punkt skyldes, at for at kunne høste den fulde gevinst af de indsamlede data, er det vigtigt at kunne sammenligne på tværs af bygninger, hvor værdien ligger i den læring der ligger ved at se på trends og nøgletal. Det har især vist sig at være vigtigt i dette projekt.

Generelt indsamles data med en opløsning på femminutters-niveau.

I praksis er det valgt at lave tre usecases som skal benyttes til at eftervise potentialet for den datadrevne bygning.

Tabel 1 Usecases i de to kontorhuse, Gladsaxe Company House (GCH) og Flintholm Company House (FCH)

Driftsmæssig brug	Designmæssig brug	Specifik dataopsamling	Omfang GCH	Omfang FCH
Usecase 1 Forbrugsovervågning/ driftsoptimering	Rightsizing af udstyr	Varmeforbrug (hovedmåler) Vandforbrug (hovedmåler) Elforbrug til ventilation, køl, fælles m.m.	Hele bygningen	Hele bygningen
Usecase 2 Samtidigheder, belastning og indeklime i mødecenter	Dimensionering af mødecenter	PIR, indeklime (T, CO ₂ , TVOC, pm2.5, dB) i hvert rum luftmængde i seks rum (kun GCH) Persontælling med kamera i hele mødecenter og to rum (kun GCH)	9 møderum	4 møderum
Usecase 3 Bedre drift af mødecenter				
Tilstedeværelse i kontor og måling af indeklime	Design/brug af kontorarealer og samtidigheder i dimensionering	PIR og temperatur ved hvert skrivebord Indeklima i zone (T, CO ₂ , dB) Data fra CTS (kun GCH)	~20 skriveborde	32 skriveborde

Tabel 1 viser de tre usecases, som er defineret i projektet med en angivelse af formål og den specifikke dataopsamling, som er benyttet til hver af dem. Der er især to ting, som er vigtige at bemærke.

- I opsætningen af de udvalgte usecases, udføres de samme undersøgelser så vidt muligt i begge de to kontorhuse. Dels for at vise at det er muligt at indhente de samme data på lidt forskellig vis, som der uundgåeligt er i de to bygninger og dels for at resultater i hvert fald i et vist omfang kan sammenlignes
- Der er i alle usecases mindst to forskellige måder data kan bruges til analyse. I tabellen vises både en driftsmæssig og en designmæssig tilgang til læring som følge af data. Som eksempel kan data fra mødecenter både bruges som input til dimensionering af mødecentre i "næste bygning" men også til en mere optimal drift og brug i det aktuelle byggeri.

6.1.1 Usecase 1 - driftsoptimering baseret på hovedforbrugsmålere

Det primære driftsmæssige formål med denne usecase, er at kunne bruge data fra hovedforbrug i bygningen til at kunne få et samlet overblik over den aktuelle drift af bygningen og derigennem lave en

vurdering af bygningens energiforbrug og tilstand. Herunder kan brugstid af bygning og driftstid af anlæg vises. Herudover kan data bruges til at lave en analyse af styringen af anlæg, som efterfølgende kan kontrolleres i CTS-anlægget. Resultaterne fra driftsdelen af denne usecase beskrives i afsnit 6.2.

Den sekundære designmæssige målsætning med usecasen er, at de samme data samtidig kan bruges til en vurdering af dimensioneringen af de anlæg, der er i bygningen. I praksis kan de dimensionerede værdier sammenlignes med den faktiske drift. I praksis kan denne sammenligning ske fx via varighedskurver for brugen af anlæggene, som sammenlignes med den dimensionerende tilstand. Resultaterne fra denne del af usecasen kan ses i afsnit 6.6

Der måles i begge bygninger på eltavlerne, hvor forbrug måles på hovedforbrugere, som etager, ventilation, solcelleproduktion, køkken, fællesarealer samt vand- og fjernvarmeforbrug på hovedmålerniveau.

De målinger der foretages i denne usecase er baseret på Smappee og NorthQ.

6.1.2 Usecase 2 - dimensionering og brug af mødecenter

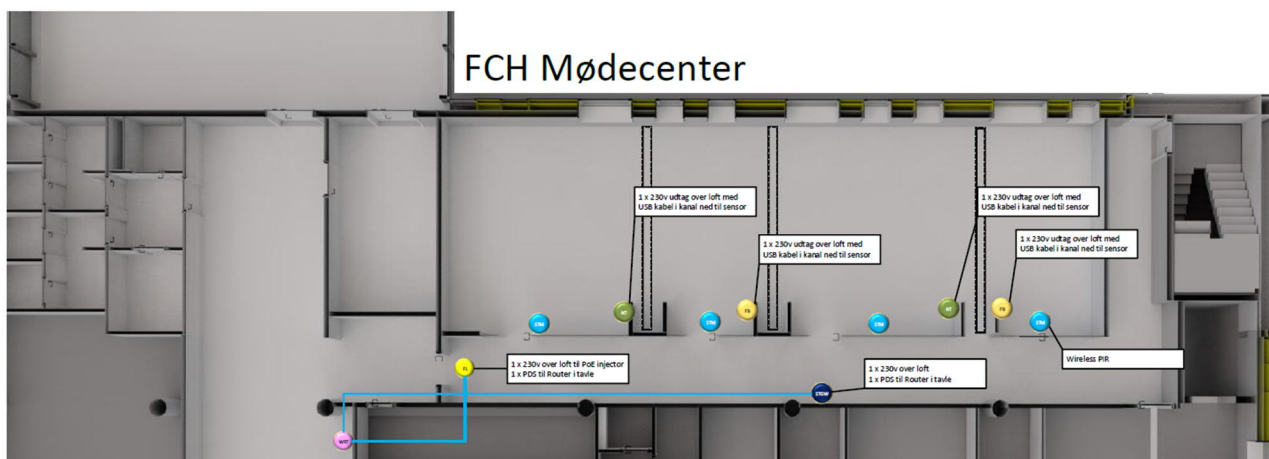
Et mødecenter repræsenterer en betydelig investering for bygningen, og en effektiv brug af mødecenteret er derfor vigtigt. Det skal ikke være for stort, da pladsen i så fald kunne være brugt bedre til andre formål. Er det omvendt for småt, vil det give en fornemmelse af at bygningen er underdimensioneret. Ud over antallet af møderum er størrelsen også vigtig i denne sammenhæng, og resultaterne fra den faktiske brug er væsentlig i forhold til optimering af både drift og design og drift.

Den primære designmæssige idé i denne usecase er at undersøge hvor stor en del af tiden rum i mødecenteret er i brug – og i nogle tilfælde – hvor mange personer, der er i rummene. Dette skal bruges som input til om mødecentret har den rigtige størrelse og om dimensionering af de tekniske installationer giver et tilstrækkeligt indeklima.

Den sekundære driftsmæssige anvendelse af usecasen er at data derudover også bruges til at optimere brugen af mødecenteret i den daglige drift. Det vil sige, at hvis man kan se, at der er stor forskel på brugen, kan man fx iværksætte tiltag, der giver en mere jævn fordeling af brugen af mødecentret eller ændre på de politikker, der er angivet for booking af lokaler.

De to mødecentre beskrives i nedenstående.

Mødecentret i Flintholm er på 4 møderum og er dimensioneret til mellem 8 og 18 personer. I hvert rum måles tilstedeværelse og indeklima.



Figur 3 Mødecenter i Flintholm

Mødecentret i Gladsaxe er på 8 møderum til mellem 4 og 18 personer, samt et auditorium, som er dimensioneret til ca. 50 personer, men hvor der ofte er flere.



Figur 4 Mødecenter i Gladsaxe med angivelse af rumnummer og størrelse af de enkelte rum.

Ud over tilstedeværelse måles indeklimaparametre i de enkelte møderum. I Gladsaxe foretages endvidere måling af luftmængden til seks af rummene og via 3D kameraer tælles antal personer, der går enten ind eller ud af to rum.

Ventilationen i de to bygninger styres ud fra CO₂-koncentration af hensyn til luftkvaliteten og temperatur i forhold til det termiske indeklima. I forhold til luftkvaliteten er CO₂ den indikator, der benyttes. Dette ud fra at den er nem at måle og fordi den er direkte relateret til menneskelig aktivitet. I virkeligheden er der mange andre kilder til forurening, som fx afgang fra bygningen og inventaret, og som er mindst ligeså vigtige for at fastlægge ventilationsraten. Dette giver anledning til flygtige organiske forbindelser (VOC'er eller TVOC'er) i indeklimaet. Desværre er disse svære at måle, og der er først nu ved at komme sensorer på markedet, der kan måle på dette, som ikke er i form af ekstremt dyrt laboratorieudstyr. Desværre er målingerne af TVOC ikke endnu heller særligt gode eller præcise. Alligevel er det valgt i projektet at måle på TVOC koncentrationen i bygningerne sammen med CO₂, alene for at kunne få et bud på om de kan bruges til styring i stedet for CO₂. Dette er undersøgt i detaljer i en rapport fra Teknologisk Institut udgivet i 2018 (Lyng og Witterseh, 2018)

De målinger der foretages i denne usecase er baseret på Netatmo, Foobot, FlowXact, NorthQ, Flir

6.1.3 Usecase 3 - dimensionering og brug af kontorarealer

I denne usecase undersøges brugen af og indeklimaet i udvalgte kontorarealer i de to bygninger. Det primære formål med usecasen er at undersøge i hvor stort omfang kontorarealerne bruges som tiltænkt. Den læring der er her, kan bruges til optimering af arealer i den daglige drift. Fx kan områder med meget lav belastning ændres til en anden funktion. Især hvis der på arbejdspladsen enten er free seating eller et ønske om at skifte til det. Her analyse af brugen af bygningens i forhold til samtidig af brugere og opnået indeklima, bruges til at kunne optimere brugen af det samlede lejemål. Der kan laves apps med målrettede informationer om fx hvor der er ledige skriveborde, hvad temperaturen er i et givet område. Det kan så udvides med fx en "vejrudsigt" for et skrivebord i løbet af dagen. Det kan også bruges som input til at optimere brugen af lokaler, hvis der er for mange personer i et område, men færre i et andet.

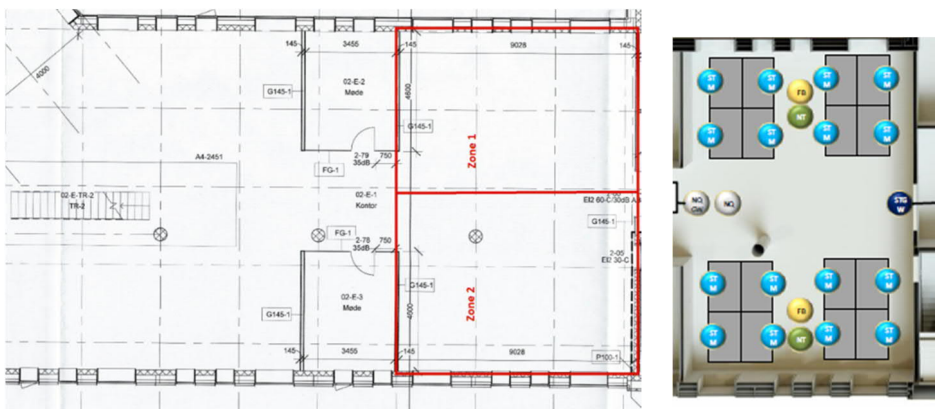
Samtidig kan det samme data sekundært bruges som input til designet af "næste kontorhus". Årsagen til denne undersøgelse er, at der i de tidlige designfaser altid er fokus på persontæthed og samtidighed i forbindelse med programmering af bygningens layout, som har stor betydning for dimensioneringen af bygningens tekniske anlæg. Det er endvidere en væsentlig økonomisk forudsætning, hvor mange personer, der kan være i bygningen. Især i forhold til den termiske simulering, er personantal og samtidighed meget væsentlige. Det er derfor ønsket med denne usecase at kvalificere de forudsætninger der benyttes.

I usecasen måles tilstedeværelse med PIR-sensorer på hvert skrivebord og indeklima i form af temperatur, CO₂, TVOC, støj. Det bemærkes her, at det er vigtigt med tilstedeværelsessensorer på hvert skrivebord, kan data gøres personhenførbare, hvilket der bør tages hånd om.

Hertil er der i Gladsaxe lavet forsøg på at spørge brugerne til deres tilfredshed med indeklimaet, hvor de har mulighed for at kunne svare på om de mener at indeklimaet er tilfredsstillende, for koldt, for varmt, indelukket eller om det trækker. Alle brugere kan svare så mange gange om dagen, som de ønsker. Denne analyse foretages som en del af et igangværende Ph.d.-studie, så her angives kun overfladisk, hvordan resultaterne kan bruges i forbindelse med drift og design.

I Gladsaxe har der været lavet målinger på tilstedeværelse i flere forskellige kontorområder over en periode på ca. 3 år og har været udgangspunkt for to eksamensprojekter (Ly, 2019) og (Clausen, 2017). Resultaterne der rapporteres, er delvist taget fra disse projekter. Målingerne har været i områder på mellem 20 og 50 personer i forskellige arbejdsfunktioner; HR, engineering og projekteringsledelse. De udvalgte områder vises ikke i rapporten. Der henvises til Figur 26 for et eksempel på et af de områder, der er målt på.

I Flintholm har der været målt i to ens områder på to forskellige etager.



Figur 5 Layout af måleområder i Flintholm med angivelse af placering af måleudstyr. Kun vist for 2. etage. Det er samme layout på 3. etage

De målinger der foretages i denne usecase er baseret på Samsung SmartThings PIR, Netatmo, Foobot

6.1.4 Boligusecase

I denne usecase er der fokus på hvordan man med et indeklimakit let kan modtage målinger af indeklimaet i en bolig.

Til dette er der udvalgt en lejlighed i boligejendommen The Hill, som skal være testlejlighed for opsætning af et indeklimakit, for at se hvordan man nemmest muligt kan indsamle og analysere data fra IoT sensorer. Data skal være tilgængelig via en platform som ikke kræver en stor og kompliceret opsætning.



Figur 6 Billede af The Hill i Hillerød

Der er følgende interessepunkter i forbindelse med dataindsamlingen

- Hvordan ser indeklimaet og aktivitet ud i en boligejendom?
- Kan man bruge dette indeklima-kit til at lave en analyse eller verificering i forbindelse med en commissioning?
- I tilfælde af klager over indeklimaet i en bolig, kan dette indeklimakit så bruges til at fejlsøge med og lave en hurtig analyse?

I

Tabel 2 vises de målinger der foretages.

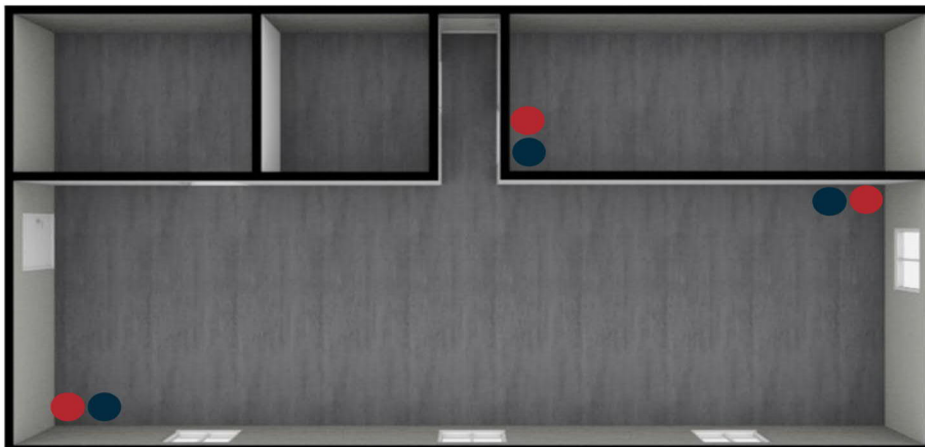
Tabel 2 Beskrivelse af boligusecase

Driftsmæssig brug	Designmæssig brug	Specifik dataopsamling	Omfang "The Hill"
Tilstedeværelse i bolig og måling af indeklima	Brug af lejlighed og visualisering af indeklima	PIR, temperatur og CO ₂ i køkken/alrum, stue og værelse Indeklima i zone (°C, CO ₂)	1 Lejlighed

Opsætning og platform

Data for indeklimakit kommunikerer via SIGFOX som er et radionetværk som er tilgængeligt mod betaling, man er ikke afhængig af internet eller andre netværk ved opsætning. Der er opsat 6 følere i alt, 3 PIR følere som registrerer bevægelse og 3 indeklimate følere som registrerer temperatur, Co2 og relativfugtighed. Se Figur 5

Disse følerenheder kører udelukkende på batteri og efter aktivering kalibrerer de sig selv. Placering af måleenhederne er aftalt med beboeren og er opsat af beboer, derved er der lidt usikkerhed omkring den helt præcise placering, dog giver det en fornuftig indikation af indeklimaet.



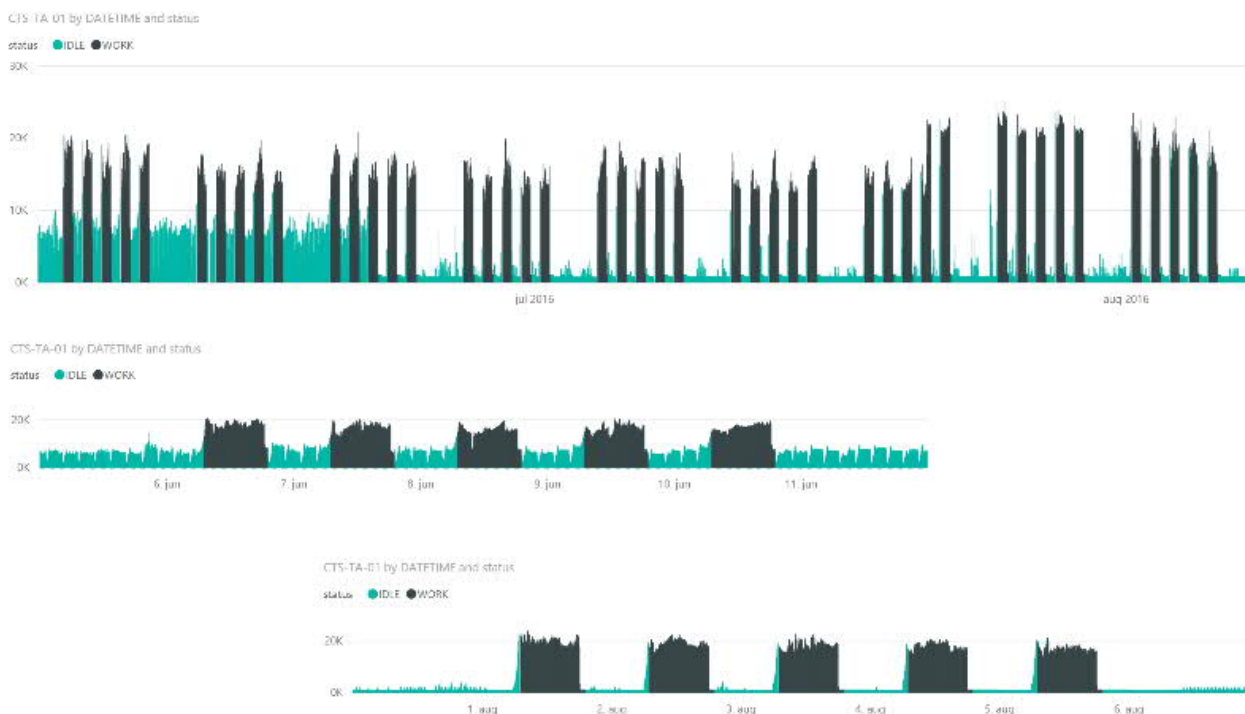
Figur 7 Layout af målelejlighed samt angivelse af målepunkter for hhv. PIR og indeklimate

Ved brug af et indeklimakit er det muligt at eftervise indeklimaet i en almindelig bolig i forbindelse med en commissioning af bygningen. Det giver en bedre mulighed for at verificere det byggeri som bliver opført.

Ved hjælp af IoT-følere som måler i en eller flere boliger, vil man kunne se via den indkommende data hvordan indeklimaet fremstår. Det giver ejer/administrator en mulighed for at verificere indeklimaet overfor lejer, på den måde ville man hurtigere kunne lukke ned for eventuelle klager og på den opå en besparelse i mandetimer og eventuelle dyre konsulenttimer.

6.2 Datadrevet drift

Basis for den første usecase tager sin begyndelse inden projektstarten, men danner basis for udviklingen af overvågningen af den datadrevne drift, som beskrives her. NCC installerede en Smappee elmåler på ventilationstavlerne i Gladsaxe Company House. Resultatet fra dette kan ses på nedenstående Figur 8, hvor der var et konstant og højt forbrug uden for brugstiden på ca. 8 kW. Da måledata var til rådighed i en høj opløsning på 5 minutters værdier, kunne det konstateres, at der var en defekt "forlænget drift" knap, som hele tiden kaldte på ventilation. Efter reparation af knappen faldt forbruget til under 1 kW. Det svarer til en besparelse på mindst kr. 80.000 om året, alene til elforbrug.



Figur 8 Elforbrug på ventilationstavle i Gladsaxe. Sort viser brugstid mens grønt viser uden for brugstid.

Dette førte til konklusionen at der var værdi i at have adgang til data i høj opløsning fra driften og at bruge tid på at analysere det. Samtidig var det tydeligt, at hvis der kun havde været adgang til månedsdata for forbrug, ville denne fejl nok ikke være fundet.

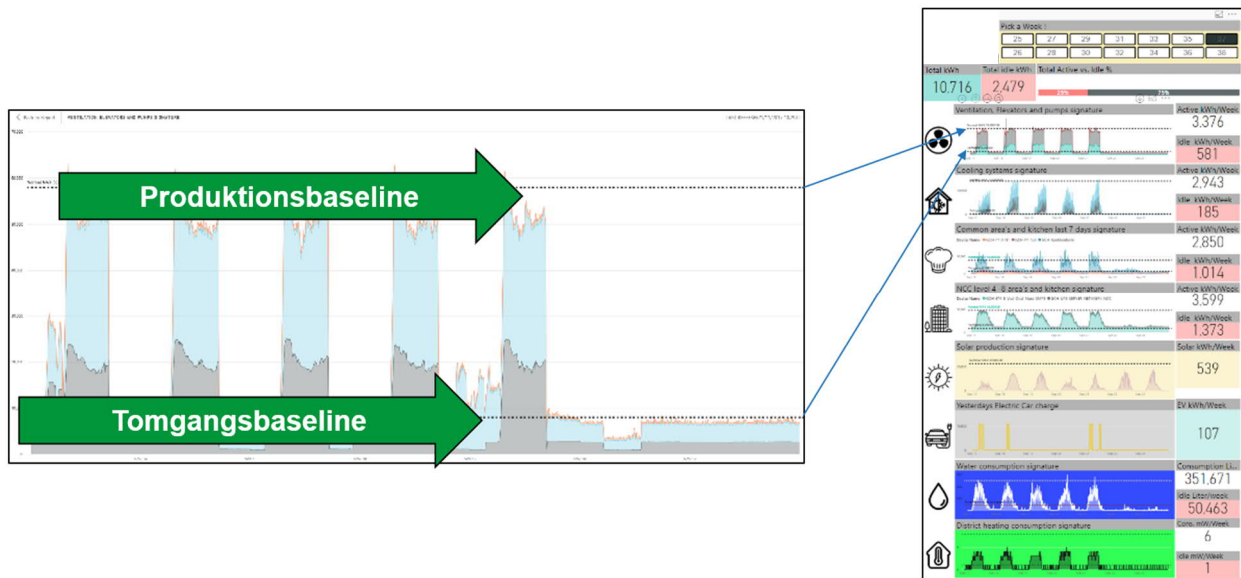
Useasen med forbrugsmåling på hovedforbrugsniveau har dannet grundlag for udviklingen af en app til datadrevet drift af bygninger. Appen har til formål at kunne sikre at anlæggene kører som programmeret og ikke over tid forbruger mere end forventet. Ønsket med appen har indledningsvist været at kunne sikre mod at der opstår en lignende situation som vist på Figur 8.

På Figur 9 ses overvågningen af bygningen i drift. Den er opbygget ved at det øverst er muligt at vælge rapporteringsperiode – i dette tilfælde én uge ad gangen. Herefter vises det samlede forbrug af el fordelt på brugstid og udenfor brugstid. Herefter er der følgende grafer

- Elforbrug til ventilation opdelt i to teknikrum med tre anlæg i hver (markeret med hhv. blå og grå)
- Elforbrug til kølemaskiner, igen opdelt i de to teknikrum
- Elforbrug til køkken
- Elforbrug til etager, her dog kun NCCs andel af bygningen
- Produktion fra solceller
- Elforbrug på elbilsladestandere
- Vandforbrug på hovedmålniveau
- Fjernvarmeforbrug på hovedmålniveau

Det vigtigste er at der kan gives et visuelt overblik, der er dannet på baggrund af ganske store mængder data, som ikke vil kunne skabes via fx Excel – alene på grund af datamængden.

6.2.1 Det hurtige overblik – som nemt kan kommunikeres

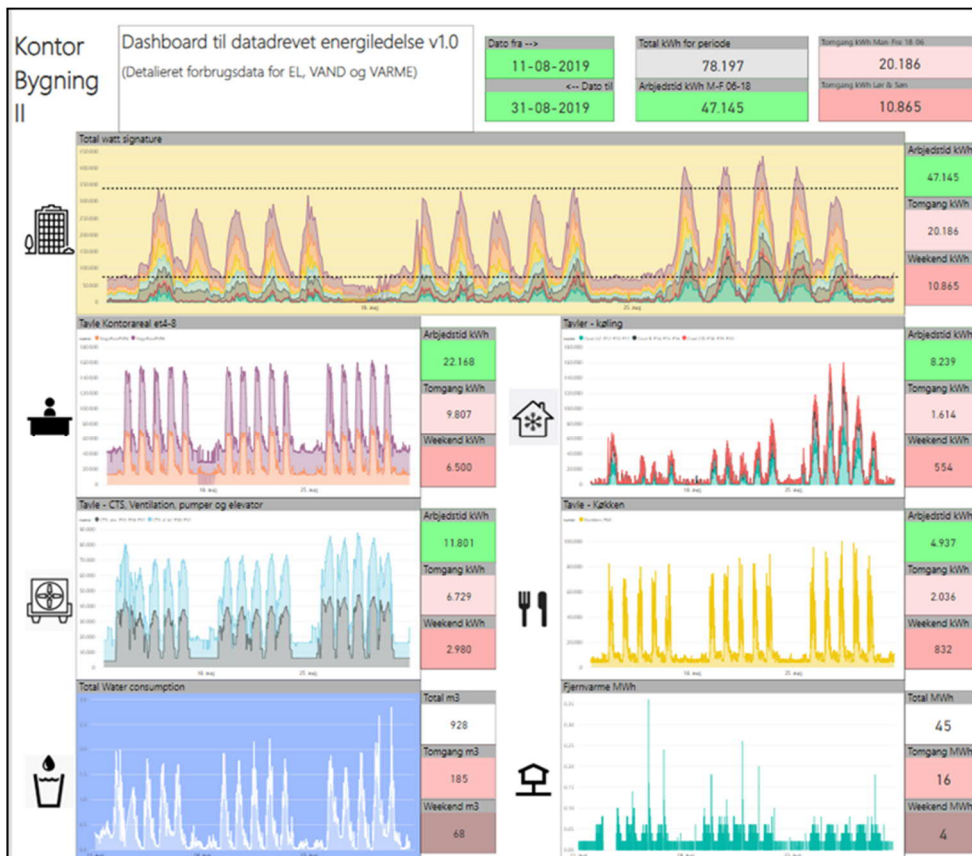


Figur 9 Datadrevet drift, app til overvågning af systemer i bygningen. Version 1 baseret på første generation af dataindsamlingsplatformen

I det store udsnit er der zoomet ind på elforbruget til ventilation. Her er der angivet to baselines – én for tomgang og én for produktion. Altså angives hvordan forbruget typisk er i brug og udenfor brugstid.

Det er tanken med appen, at den skal give driftspersonalet det hurtige overblik, over om driften af bygningen er som forventet. Det vil altså sige at, hvis fx forbruget uden for driftstiden er for højt, kan det være tegn på at noget ikke er som det skal være – hvorefter der kan sættes ind for at løse problemet, men ud fra en konkret viden om, hvor der er noget galt.

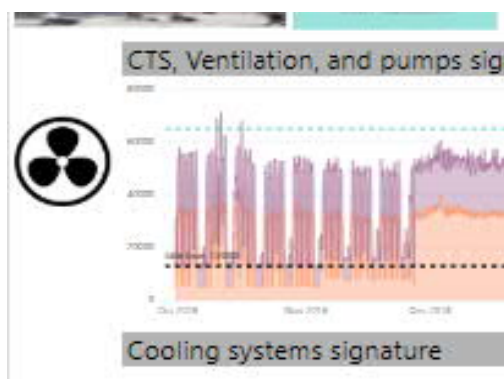
I løbet af projektet blev der lavet forskellige versioner af den datadrevne overvågning. Et andet eksempel kan ses på Figur 10. Dette havde den primære årsag, at halvvejs gennem projektføreløbet blev den dataplatform, hvor data lå på lukket ned. Altså var der behov for at data blev flyttet til en anden platform. Denne overførsel lykkedes på grund af den arkitektur, der er beskrevet i afsnit 5.1 og afsnit 4.3. Igen er datapunkter og grafer de samme, dog vises en længere periode end én uge.



Figur 10 Ny version af overvågningsapp, der viser hovedforbrug af el, vand og varme

6.2.2 Fejl der blev opdaget med appen

Som eksempel på at appen kan bruges i praksis, blev set i en af bygningerne, hvor ventilationsanlægget skulle serviceres. Her blev anlægget sat i manuel drift mens serviceringen blev udført. Desværre blev det så ikke efterfølgende sat tilbage i automatisk drift. Det gjorde at ventilationen kørte på 100% hele døgnet. Denne fejl kunne tydeligt ses på Figur 11, der viser elforbruget til ventilation, som er et udsnit af appen.



Figur 11 Overgang til 100% drift på ventilation

Hvis denne fejl ikke var opdaget og rettet, vil den alene i ekstra elforbrug have medført en ekstra årlig omkostning til el på ca. kr. 300.000. Hertil kommer ekstra udgifter til varme og ekstra slid på anlæg. Det bemærkes samtidig, at overvågningen via CTS-anlæg ikke entydigt har givet en alarm, der kunne handles ud fra.

6.2.3 Sammenligning af to bygninger

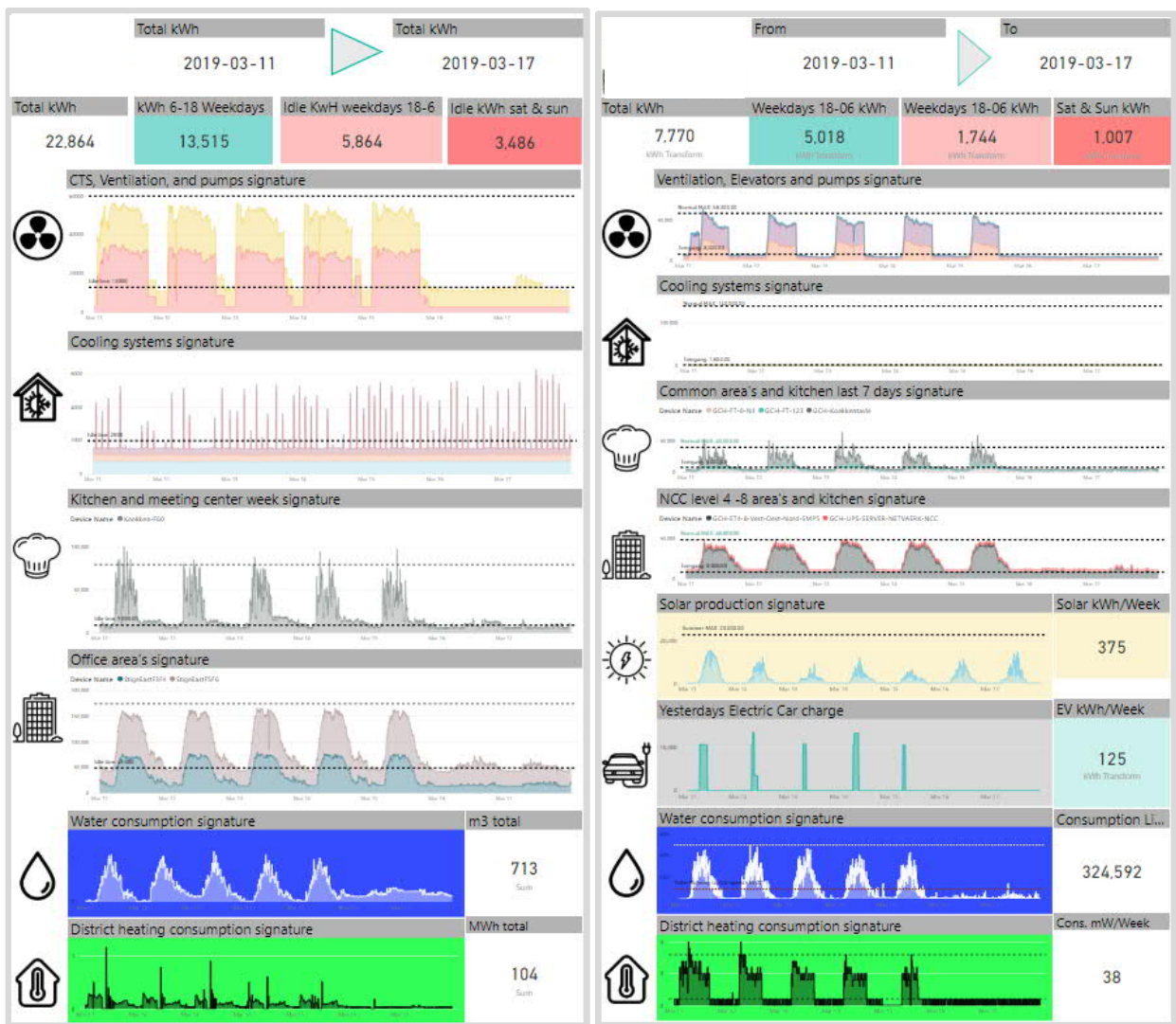
Det var dog først da data fra de to bygninger i usecasen blev sammenlignet, at værdien af værktøjet for alvor blev tydeligt. På Figur 12 ses sammenligningen mellem de to bygninger. Ud fra figuren kan der umiddelbart skabes et overblik over forskelle i de to bygningers drift.

Ses på ventilationen, kan det ses, at der er stor forskel på driftstider. Hvor den ene bygning har en tydelig signatur for dag og nat, har den anden bygning en meget kortere periode, hvor der er lukket ned om natten.

Ses på elforbruget på kontorarealer, kan der observeres en stor forskel på tomgangsforbruget i både absolutte værdier og W/m^2 . I den ene bygning er det ca. $1,2 W/m^2$ og i den anden $2,1 W/m^2$. Altså en forskel på næsten 70%. Der er ikke set mere detaljeret på årsagen til den store forskel, men det konstateres her blot, at der er gode muligheder for at handle på baggrund af denne forskel, hvis det ønskes.

Omvendt er fx elforbrug til køkken sammenligneligt.

Vandforbruget er også væsentligt større i den ene bygning end den anden. Igen er der ikke søgt efter en årsag, men sammenligningen viser et potentiale for at undersøge hvor forskellen kommer fra – og om forbruget i bygningen med det høje forbrug, kan sænkes via en adfærdsændring – eller ved at gennemgå installationen for at finde evt. fejl, der er skyld i det store forbrug.



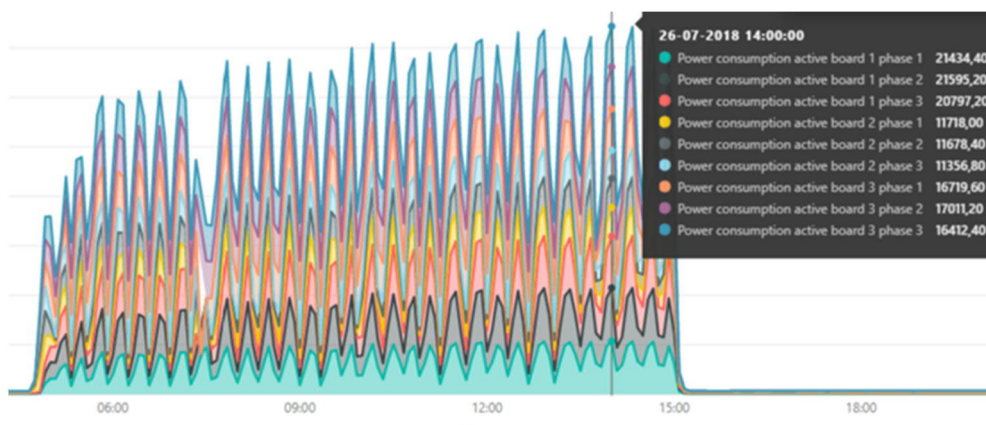
Figur 12 Datadrevet drift. Sammenligning af de to bygningers drift

6.2.4 Drift af kølemaskine

Som et eksempel på en mere detaljeret brug af data, vises hvordan driften af kølemaskinen kan analyseres gennem måling på elforbrug.

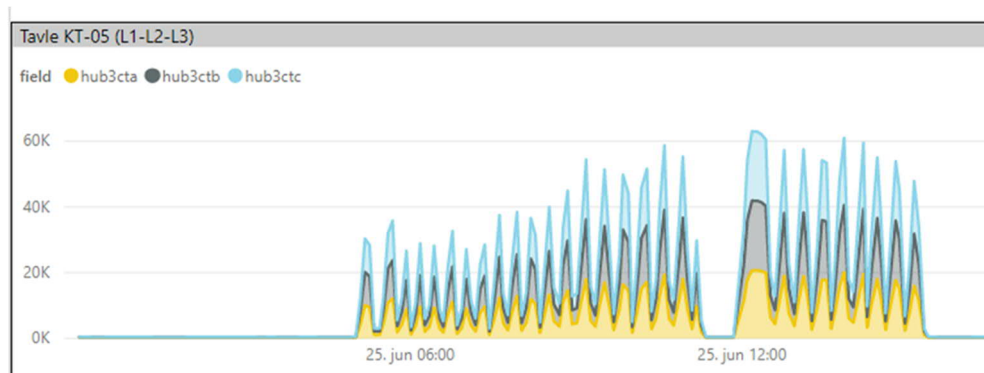
Først lidt detaljer om driften af kølemaskinerne, som har indbygget styring. Det eneste signal den får fra CTS er når der frigives til at køle. Hver maskine består af 4 kompressorer, og har derved 4 trin, 25%, 50%, 75% og 100%. Kølemaskinen starter når kølevæsken er 3 °C over setpunkt. Når maskinen når sit setpunkt udvides temperaturbåndet til ± 5° C. Dette gøres for at minimere start/stop til under 8 gange i timen. Hvert 180 sekunder, hvis temperaturen ikke har nået sin laveste temperatur, tændes en ekstra kompressor. Dette gentages indtil alle kompressorer er tændte eller temperatur er opnået.

På Figur 13 vises et eksempel på driften af kølemaskinerne målt på en varm sommerdag, d. 26. juli 2018. Det ses at kølemaskinerne i løbet af dagen kører på 100%, for derefter at slukke, og derefter at gå på 100%, mange gange i løbet af dagen. Da det hverken er optimalt for de mekaniske dele, ej heller for COP at køre med alle 4 kompressorer tændt, er der blevet kigget på den indbyggede styring for at se om den kan gøres bedre, som baseres på elmålingen.

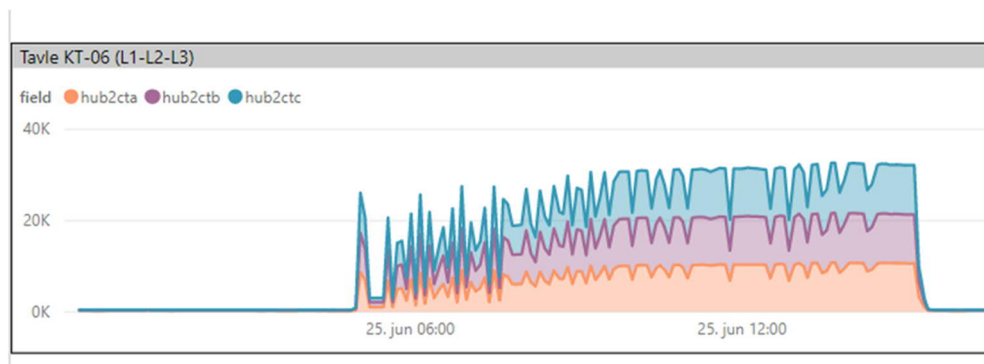


Figur 13 Eksempel på drift af kølemaskiner på d. 26. juli 2018

Som en konsekvens er der implementeret en PI regulering, som sikrer en mere stabil drift og meget færre start/stop cykler. I praksis er det undersøgt ved at de to kølemaskiner i det ene teknikrum (tavler KT6 og KT7) ændret, mens den gamle styring er beholdt for de to øvrige kølemaskiner (tavler KT4 og KT5). Data vises kun for KT5 og KT6. De to øvrige tavler samt de tilknyttede kondensatorer, viser samme udvikling



Figur 14 Styring af kølemaskine på køletavle KT5 – uden ændring af styring en varm sommerdag 25. juni 2019. Desværre er der dataudfald i en periode fra omkring kl. 11.00 til 11.30



Figur 15 Styring af kølemaskine på køletavle KT6 – med ændret styring en varm sommerdag 25. juni 2019.

Ved en visuel sammenligning kan der ses en stor forskel i driften af de to, hvor Figur 15 kører meget mere stabilt og uden de mange start/stop cykler. Samlet set er det vurderet at der er en energibesparelse på ca. 13 %, samt mindre slid på de mekaniske dele i anlægget. Samtidig bemærkes også at det maksimale effektoptag sænkes i dette tilfælde fra omkring 60 kW til under 40 kW som følge af den nye styring.

6.2.5 Konklusion på datadrevet overvågning

Det er med appen vist, at det er muligt at overvåge bygningsdriften i den enkelte bygning og derigennem kunne finde de fejl, der løbende opstår.

Helt basalt er det vigtigt, at data vises opdelt i hovedforbrugere – og ikke bare på hovedmålerniveau – og at data er angivet på femminutters-niveau.

Appen giver et visuelt overblik, der er nemt og hurtigt at afkode for bygningsdriften, og som sparer adskillige skærbilleder i CTS-anlægget. Systemet er på nuværende tidspunkt ikke udviklet til automatisk at give advarsler ved fx opståede fejl, men det vil være en naturlig næste udvikling. Ligeledes er det heller ikke udviklet til at kunne hjælpe driftspersonalet til en årsagsanalyse. Men på grund af de mange detaljer, forventes det, at der gives et indblik, der er stort nok til at driftspersonalet kan træffe nødvendige foranstaltninger.

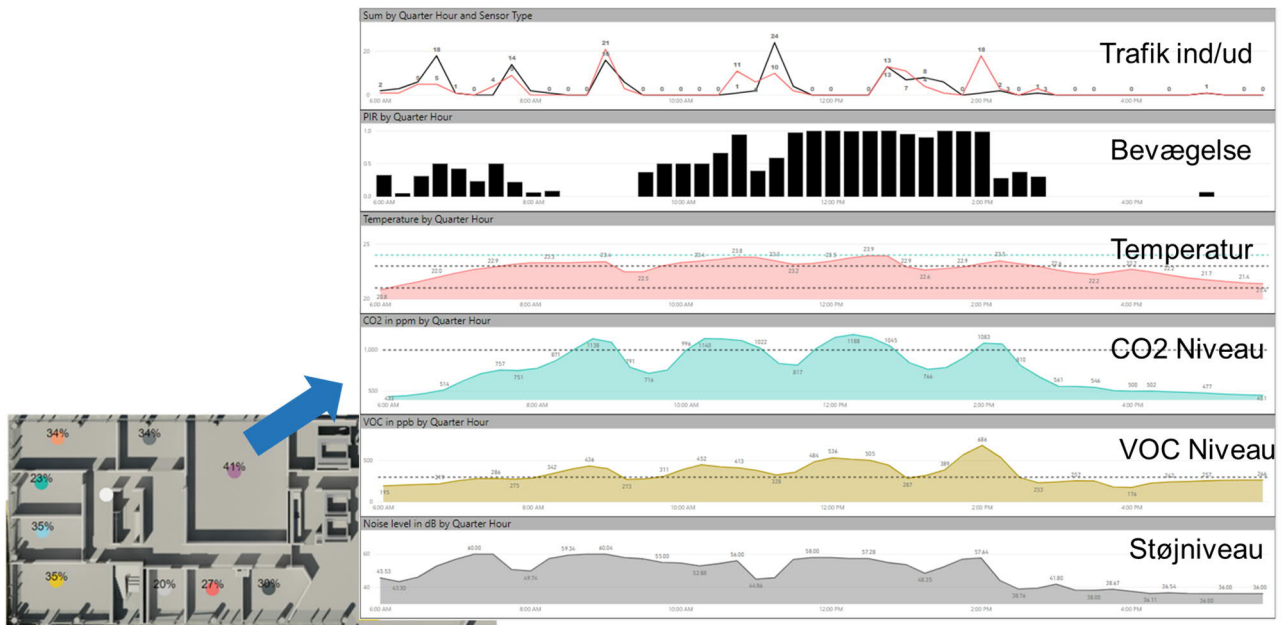
Samtidig er det tydeligt, at overvågningen giver store muligheder for samtidig drift af flere bygninger i en bygningsportefølje. Her kan den indsigt som det giver bruges til helt overordnet at kunne afsløre unødigt forbrug. Altså kan indsigten bruges som grundlag for handling til en aktuel indsats i den enkelte bygning. Men samtidig kan det også bruges som indikator for hvornår der skal iværksættes en større renovering eller udskiftning af de tekniske anlæg. Her skal der dog laves en yderligere metodemæssig udvikling, inden værktøjet er klar til det.

Næste naturlige skridt i udviklingen af værktøjet, vil være at indbygge intelligens i overvågningen af den enkelte bygning, så systemet selv advarer, hvis noget ikke er som det plejer. I forhold til samtidig overvågning af flere bygninger, vil det være naturligt at lave en række nøgletal baseret på den detaljerede overvågning, der kan bruges som basis for handling i de bygninger, der har en dårlig ydelse.

6.3 Design og drift af mødecenter

Formålet med opsamling af data i mødecenteret har været at få viden om brugen som kan bruges til dels bedre design af fremtidige mødecentre og dels til bedre drift af det nuværende.

Til det er der målt på en lang række forskellige parametre i de enkelte rum. Indledningsvis vises på Figur 16 et udsnit af de parametre der måles på. Figuren viser forløbet af disse parametre over dagen, og der kan udledes sammenhænge ud fra dette, som beskrives i det følgende.



Figur 16 En dag i et mødelokale, med fokus på persontælling ind og ud, tilstedeværelse samt indeklimamåling

Resultaterne i dette afsnit er for en stor dels vedkommende baseret på et eksamensprojekt, der er udarbejdet af Jeffrey Ly ved DTU (Ly, 2019), som har benyttet data fra dataopsamlingen. Dette eksamensprojekt er vedlagt som bilag til rapporten og der kan findes flere detaljer end beskrevet her.

6.3.1 Tilstedeværelse/space management

En vigtig del af usecasen har været at kvantificere

- hvor ofte mødelokalerne i mødecenteret var i brug
- hvor mange personer der var til stede

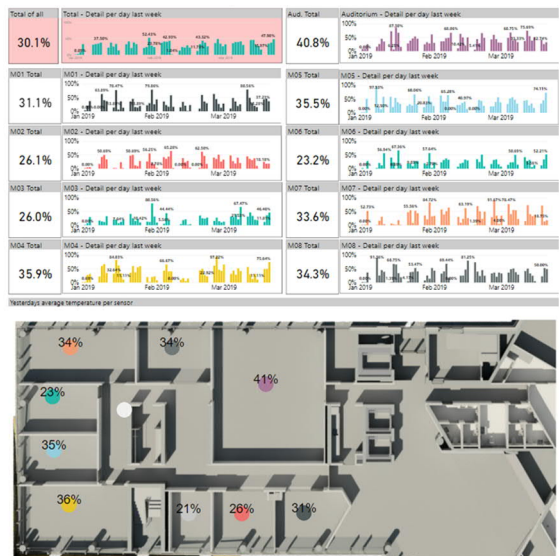
Dette blev gjort ved en kombination af PIR-sensorer og 3D kameraer.

Tilstedeværelse

På Figur 17 vises den gennemsnitlige daglige brug af mødelokalerne i de to bygninger over en periode på ca. en måned. Brugen måles i forhold til tidsrummet fra 7 til 17. Det ses at i Gladsaxe er brugen mellem 23% og 36%, mens brugen af auditoriet ligger på ca. 40%. Det svarer altså til at mødelokalerne har tilstedeværelse mellem 2,5 og 3,5 timer om dagen. Men det ses også, at der er store udsving i den procentvise benyttelsesgrad. Tallene i Flintholm er sammenlignelige med Gladsaxe.



VS



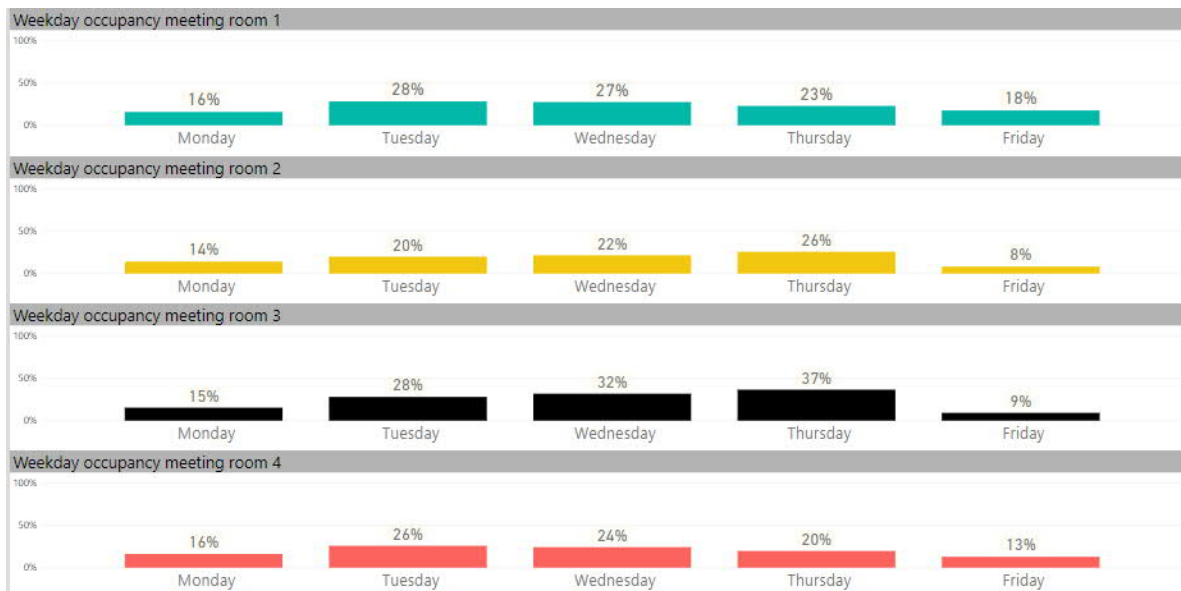
Figur 17 Tilstedeværelse i mødecenter i hhv. Flintholm og Gladsaxe. Figuren viser gennemsnit pr. dag i en måned og den gennemsnitlige brug i hele perioden

Figur 18 viser data specifikt for de fire mødelokaler i Flintholm, hvor der i stedet for at se på dage ses på gennemsnitlig brug fordelt på tid. Det ses fx at mødelokale 1 i gennemsnit er optaget 38% af tiden mellem kl. 9 og 10. Helt generelt ses i de fire mødelokaler, at der er en større brug fra kl. 9 til 14 end inden kl. 9 og efter 14.



Figur 18 Tilstedeværelse i mødecenter i de fire møderum i Flintholm over 1 måned. Figuren viser gennemsnitlig tilstedeværelse over dagen i en måned

Ses i stedet på brugen, som angivet i Figur 19 pr. dag i perioden, ses det at tirsdag, onsdag og torsdag er mest benyttet, mens især fredag stort set er mødefri.



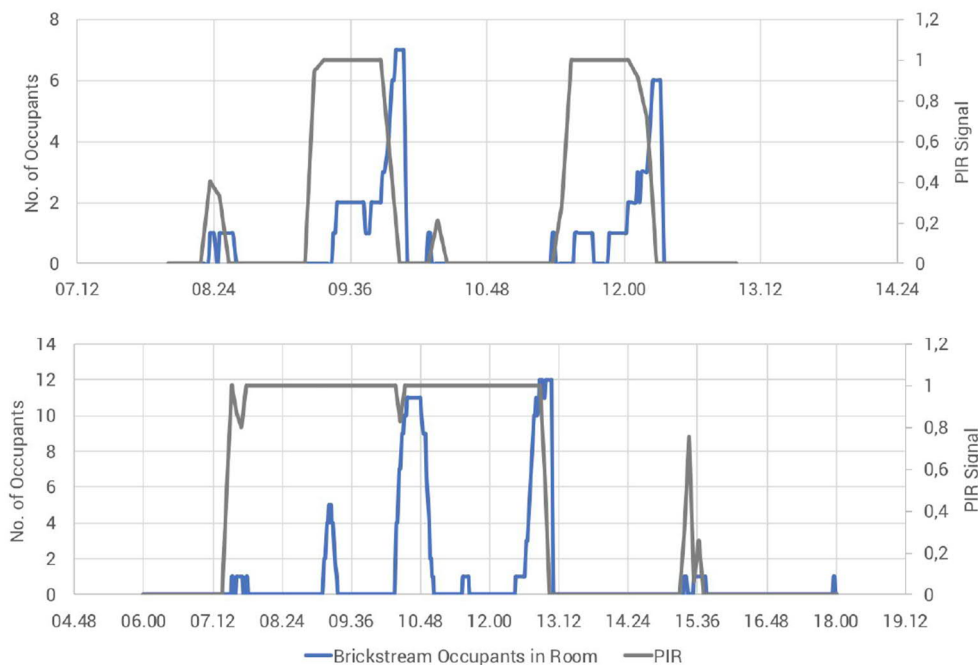
Figur 19 Tilstedeværelse i mødecenter i de fire møderum i Flintholm over 1 måned. Figuren viser gennemsnitlig tilstedeværelse opdelt pr. ugedag i en måned

Overordnet kan det altså siges, at brugen af mødelokaler er koncentreret omkring formiddag fra 9 til 14 i dagene tirsdag til torsdag.

Persontælling

Endelig er det blevet undersøgt om det har været muligt at tælle antal personer, der har været i udvalgte mødelokaler i mødecenteret. Tælling af personer ind og ud er vist øverst i Figur 16. På Figur 20 vises på to forskellige dage sammenhængen mellem persontælling via kamera og tilstedeværelse via PIR.

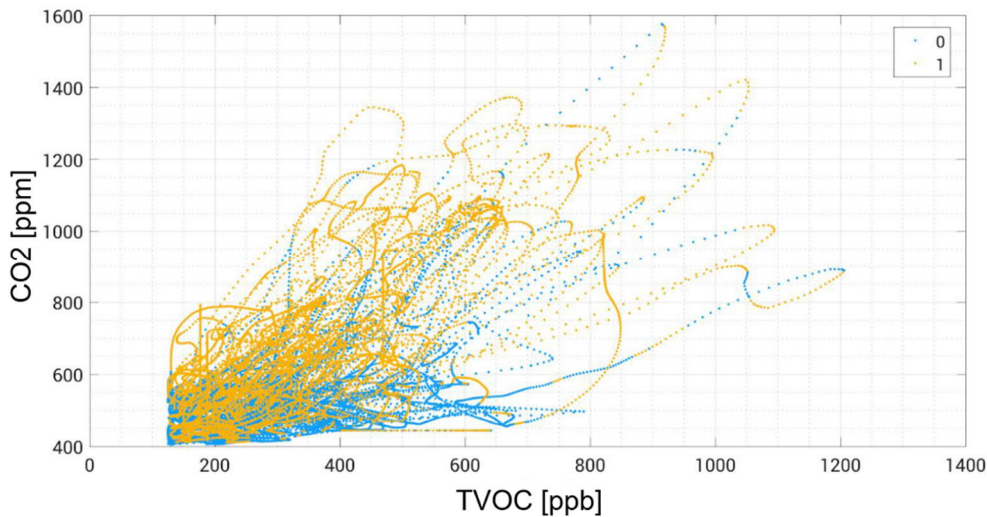
Indledningsvis skal det siges, at kameraet ikke tæller antal personer i rummet men antallet af gange en defineret linje er blevet krydset inkl. den retning, det er sket i. Denne linje er placeret i døråbningen. I praksis er antal af personer altså bestemt af forskellen mellem gange der er gået personer ind og ud af døren. Manglende nøjagtighed i tællingen har gjort at det har været svært at få en tælling i personer i mødelokalet. Det ses da også på figuren, at der ikke er god sammenhæng mellem PIR og beregnet tilstedeværelse i rummet. Desværre vil det altså sige, at den valgte metode ikke kan bruges til tælling af personer i et mødelokale. I hvert fald ikke med den tilgængelige teknologi, hvor især lofthøjde og plads, har været kritisk.



Figur 20 Persontælling med Brickstream/Flir kamera og tilstedeværelse med PIR

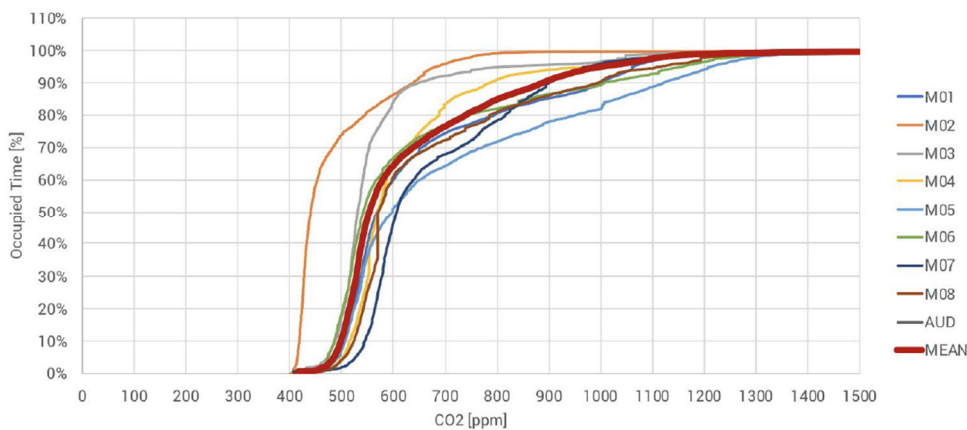
6.3.2 Indeklima og styring

Ud over tilstedeværelse og persontælling måles indeklimaet også i mødelokalerne. På Figur 21 vises et såkaldt carpet-plot af temperaturen i en længere periode. Hver søjle er én dag mens rækkerne viser tid på dagen. De tre plot viser hhv. temperatur, CO2 og TVOC i et mødelokale. Ses fx på temperaturplottet, hvor rød er varm og blå er kold, er hverdage og weekender tydeligt markeret og tidsrum, hvor der er møder er også tydelige. Tilsvarende ses CO2-koncentrationen også at være høj i samme perioder. Der er altså en sammenhæng mellem temperatur og CO2. Det tredje plot viser TVOC koncentrationen, som slet ikke på samme måde viser en sammenhæng med de to øvrige. Her er koncentrationen faktisk lavest i perioder med tilstedeværelse, hvor der også er ventilation – som jo styres ud fra temperatur og CO2 – mens der er afgasning fra materialer hele døgnet, hvor ventilationen omvendt ikke er aktiv. Og formentlig er niveauet uden for brugstiden også bestemt af rengøringsmidler.

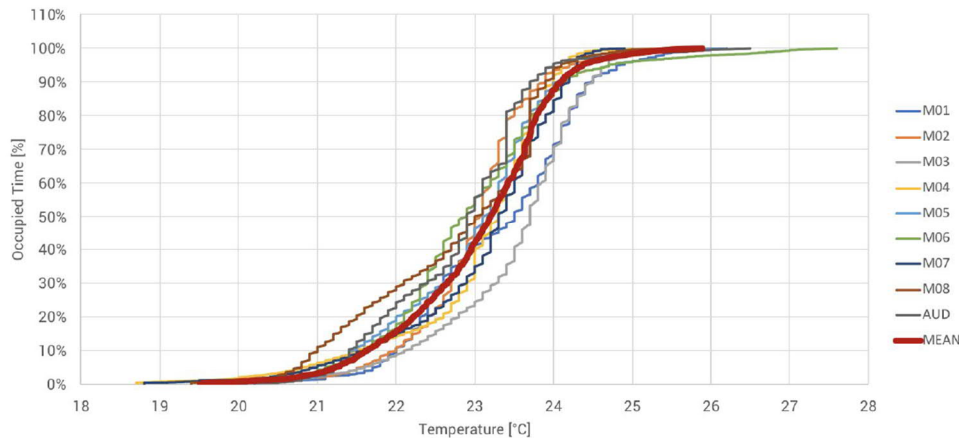


Figur 22 Eksempel på multiparameteranalyse til sammenhængen mellem CO2 og TVOC i et møderum. "1" angiver tilstedeværelse mens "0" angiver at der ikke er personer i rummet. Data kun fra brugstid (Ly, 2019)

En anden måde at vise indeklimaet på er vist på Figur 23 og Figur 24, som er varighedskurver over CO2 og temperatur i hvert møderum og som gennemsnit. Data er kun for første kvartal i 2019, men viser, at der generelt er god overholdelse af indeklimaet. Dog er der især i M05 over 20% af tiden, hvor CO2-niveauet overstiger 900 ppm, som er målsætningen i designet. Samtidig er dette lokale generelt lidt koldere end de øvrige rum. Igen konkluderes der ikke på indeklimaanalysen her, men det konstateres, at den nemme tilgængelighed af data, gør at denne type analyse er nemmere at gennemføre end hvis data først skal trækkes ud af CTS-anlæg

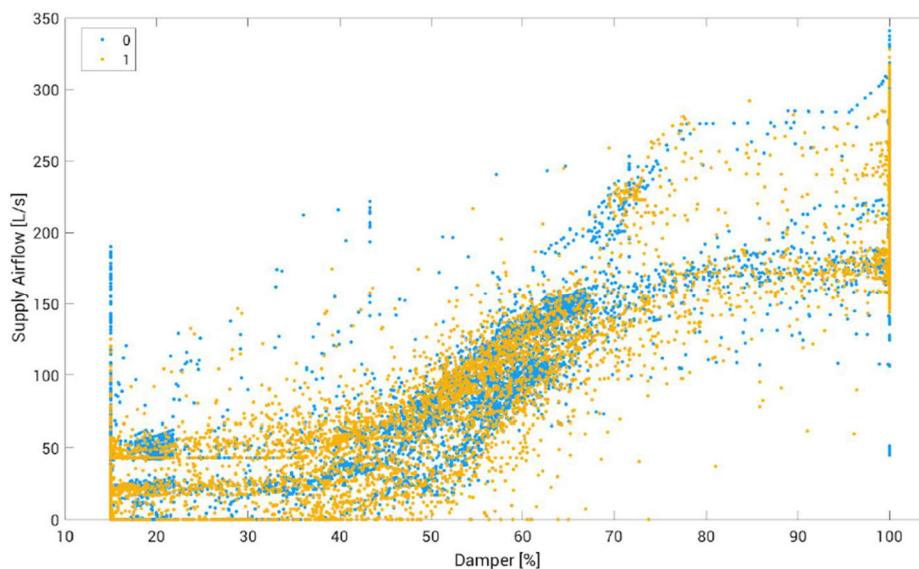


Figur 23 CO2-koncentration i mødecenteret i Gladsaxe vist som varighedskurve. Data fra Q1 i 2019 (Ly, 2019)



Figur 24 Temperaturer i mødecenteret i Gladsaxe vist som varighedskurve. Data fra Q1 i 2019 (Ly, 2019)

Ud over selve målingen af indeklimaet kvalitet og dermed behov for ventilation, er det også interessant at se om der faktisk er kommet den luftmængde ind i rummet, som ønskes via styringen. Derfor måles luftmængden til flere af rummene også. Dette kobles sammen med spjældindstillinger, som hentes fra CTS-anlægget. Dette vises i Figur 25. Ideelt set burde der være en lineær sammenhæng mellem spjældindstillingen og luftmængden til rummet. I praksis er der mange andre faktorer, der har indflydelse på det, herunder især at der også er andre rum, som forsynes fra samme ventilationsaggregat.



Figur 25 Eksempel på styringen i møderummet, der viser luftmængden til rummet som function af spjældindstillingen til lufttilførslen til rummet. "1" angiver tilstedeværelse mens "0" angiver at der ikke er personer i rummet. Data kun for brugstiden (Ly, 2019)

Der ses en generel pæn sammenhæng mellem åbning af spjæld og luftmængde, som danner en s-kurve, der viser at ændringen i luftmængde især sker fra ca. 40% til ca. 70% åbning af spjældet. Over og under disse, sker der ikke så meget rent styringsmæssigt. Igen kan der udledes en del flere detaljer fra denne figur, som dog ikke gøres i forbindelse med dette projekt. Omvendt kan det dog undre, at der ved 100% spjældåbning er en varians i luftmængden mellem 150 l/s og 350 l/s, som må skyldes rummenes indbyrdes "kamp" om luften.

6.3.3 Konklusion på usecase om mødelokaler

Tælling af personer med kamera ikke tilfredsstillende. Der skal ny teknologi til. Der findes allerede kameraer på markedet som kan dette, men de er stadig meget dyre. Men det kan også estimeres ud fra andre parametre i indeklimaet – dog med en væsentlig usikkerhed

Muligt at bruge den opsamlede viden til at lave politikker for hvordan mødelokaler skal bruges. Det ligger dog udenfor dette projekts rammer at foreslå dette

Samtidig ses et behov for både store og små mødelokaler i mødecenteret.

Er 30% i gennemsnit så højt eller lavt? Det skal holdes sammen med oplevelsen af at det er til at få et mødelokale, når det ønskes.

Styring ud fra CO2 stadig mest relevant – TVOC ikke troværdig nok og billig nok (endnu)

Styring af luftmængde ser egentlig fornuftig ud.

6.4 Kontorareal

Som udgangspunkt kontorarealet i begge bygninger i projektet designet ud fra et krav om overholdelse af indeklimaklasse B/II jf. DS/EN 15251 (i dag afløst af DS/EN 16798-1). Det vil sige at der forventes mellem 15% og 20% utilfredse med indeklimaet. Til dette er der for temperatur givet en tolerance på 100 timer over 26 °C og 25 timer over 27 °C.

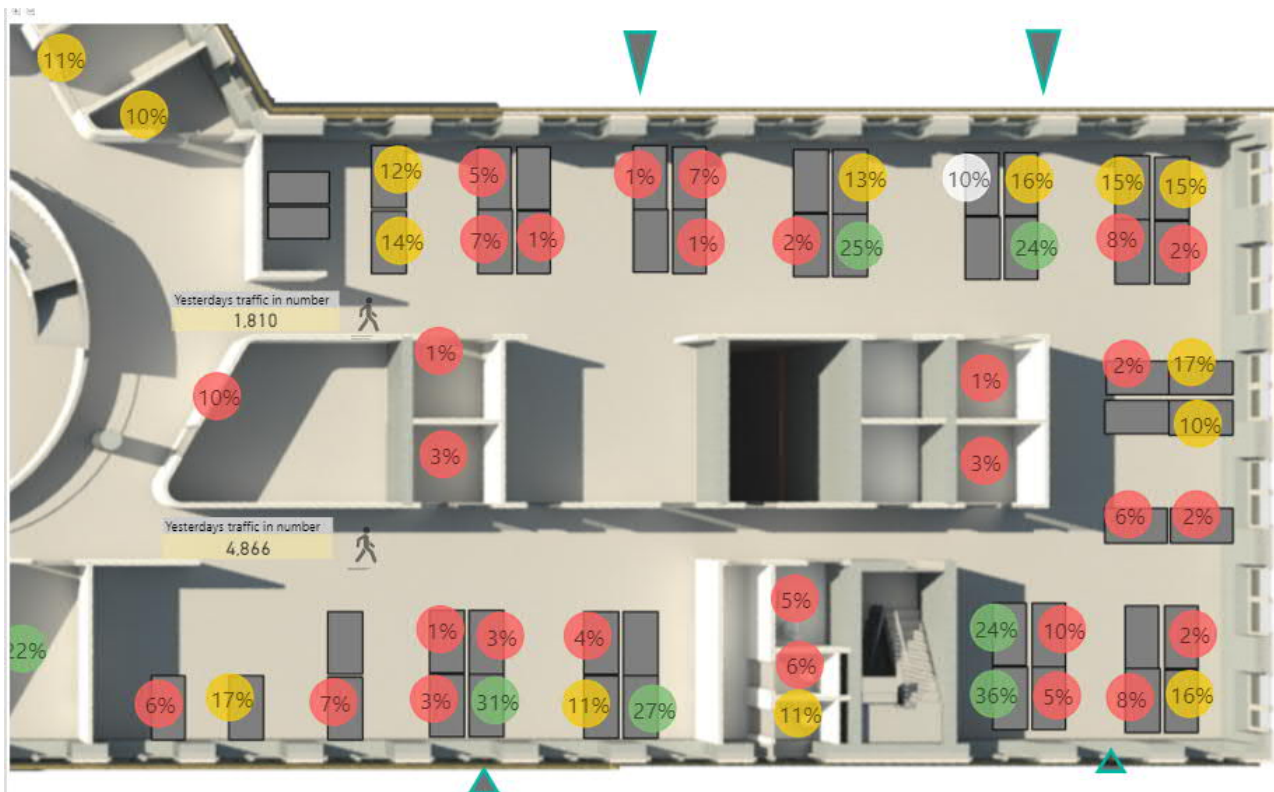
Begge bygninger er endvidere designet med udgangspunkt i givne brugstider og samtidigheder, der sammen med er brugt til den endelige dimensionering af ventilation og køl. Varme er alene baseret på det dimensionerende varmetab.

Det har været ønsket med analysen dels at kunne måle den faktiske brug af bygningen og dels at kunne måle det faktiske indeklima, som metodemæssigt gennemføres helt analogt til analysen for mødelokaler.

6.4.1 Tilstedeværelse

Indledningsvis er der lavet målinger på tilstedeværelse i de to bygninger.

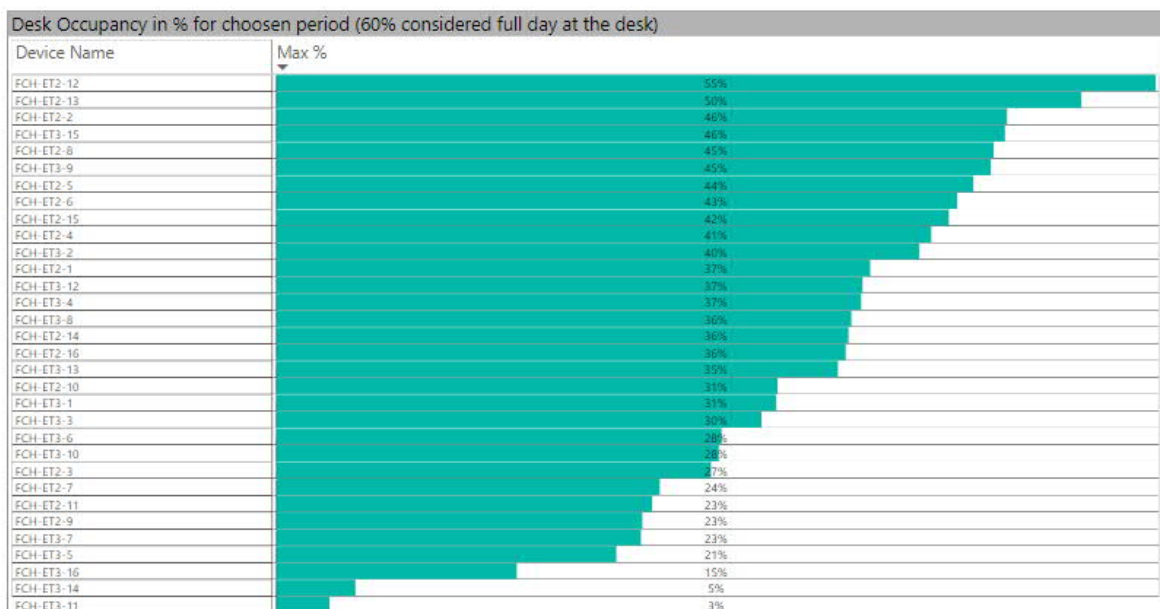
En visualisering af brugen kan fx ses på Figur 26, der viser belastningen af de enkelte skriveborde, møderum og toiletter over en periode på en uge.



Figur 26 Kontorareal i GCH med angivelse af brug i en periode på en uge. Der er målt på både skriveborde, mødelokaler og toiletter

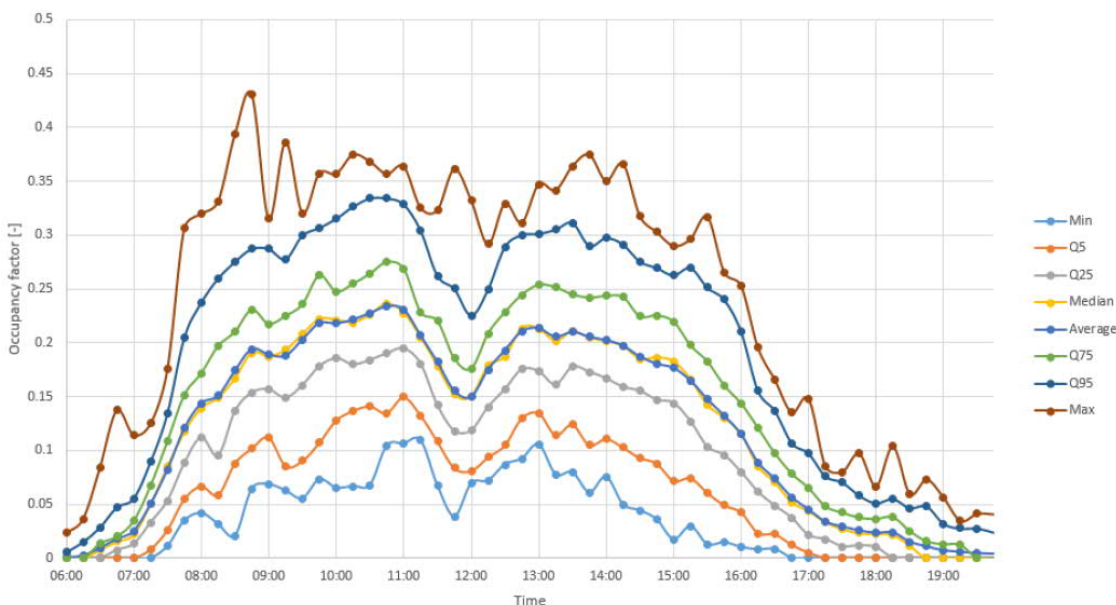
Som eksempel på tilstedeværelse, er der vist en figur fra Flintholm, hvor der i en periode på ca. 14 dage har været målt på 32 skriveborde. Dette er vist på Figur 27. Udgangspunktet er en daglig brugstid på 10 timer. Med en arbejdsdag på 7,5 timer, hvor der skal trækkes kaffepauser, toiletbesøg, møder, m.m., vil en brug på 60% være at betragte som maksimum. Det ses på figuren, at der er to skriveborde, der har en tilstedeværelse over 50%, mens der omvendt er tre, som benyttes 15% eller mindre.

Den gennemsnitlige belægning er for de 32 skriveborde omkring 30%, svarende til omkring 3 h om dagen, som samtidig har en ganske stor spredning mellem dem som er der mest og mindst.



Figur 27 Brug af skriveborde i en periode på ca. to uger.

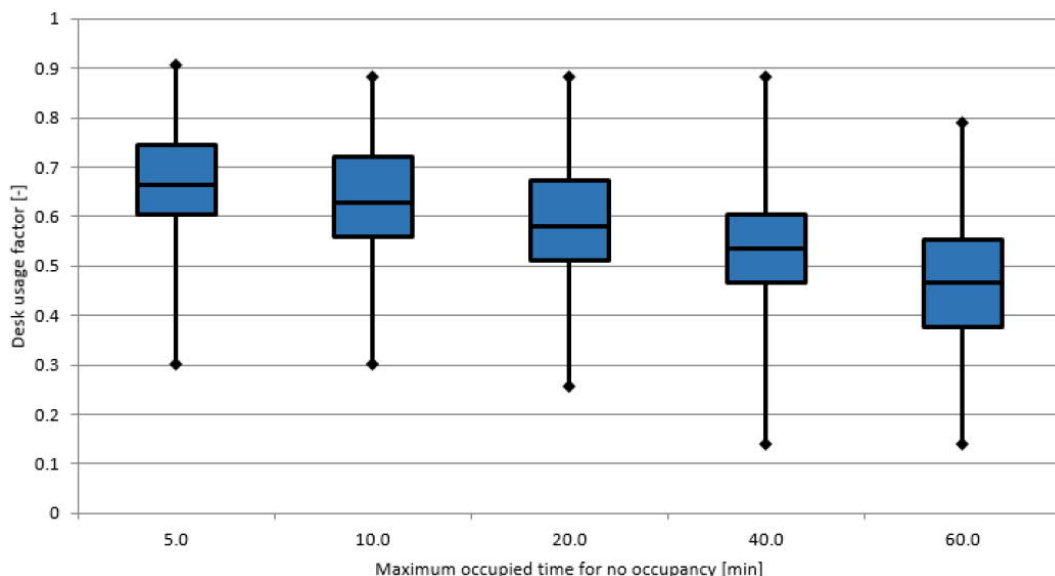
Tilstedeværelsen kan også opgøres pr. kvarter, som angivet i Figur 28, der er opgjort i Gladsaxe. Her ses at gennemsnittet for brug er omkring 20%-25% med en maksimal brug på omkring 35% og en minimal på 5%. Det bemærkes dog, at denne opgørelse efterfølgende har vist sig at være for lav på grund af beregningsmetoden, men måden at vise data på er interessant og kan bruges som input til at fastlægge samtidigheder i brugen.



Figur 28 Gennemsnitlig tilstedeværelse i kontorareal i periode på ca. 6 måneder. Figuren viser tilstedeværelse i gennemsnit på alle skriveborde (ca. 50 totalt) pr. 15 minutter. Det ses altså at gennemsnitlig brug er højst ca. 25%. Det bemærkes, at den benyttede metode har en tendens til at underestimere tilstedeværelsen, som i praksis er højere – måske 10%-point højere. (Clausen, 2017)

Hvis i stedet data bliver opgjort på hvor lang tid et skrivebord har været i brug pr. dag, fås Figur 29. Her vises hvor stor en andel af bordene, der har været i brug i over en given mængde tid, hvorefter bordet så

regnes som værende "i brug" den dag. Fx er det kun ca. 55% af bordene, der har været i brug over 20 minutter som gennemsnitsværdi. Medregnes variansen er det mellem ca. 50% og ca. 65%.

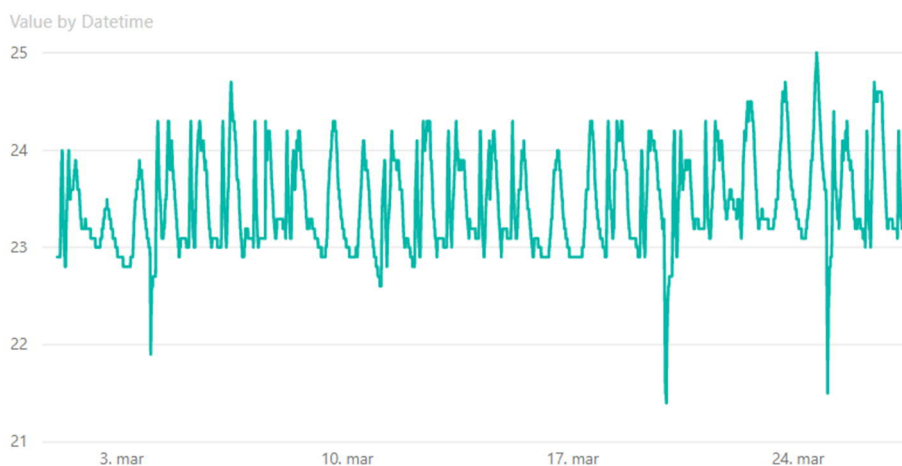


Figur 29 Brug af skriveborde i gennemsnit pr. dag målt i over periode på ca. et halvt år. Figuren viser at hvis der tages udgangspunkt i 20 minutter har ca. 55% af bordene været i brug mindst så længe den dag. Altså har 45% af bordene været benyttet mindre end 20 minutter. Boksplot viser i øvrigt en spredning til hver side og ekstremværdi (Clausen, 2017)

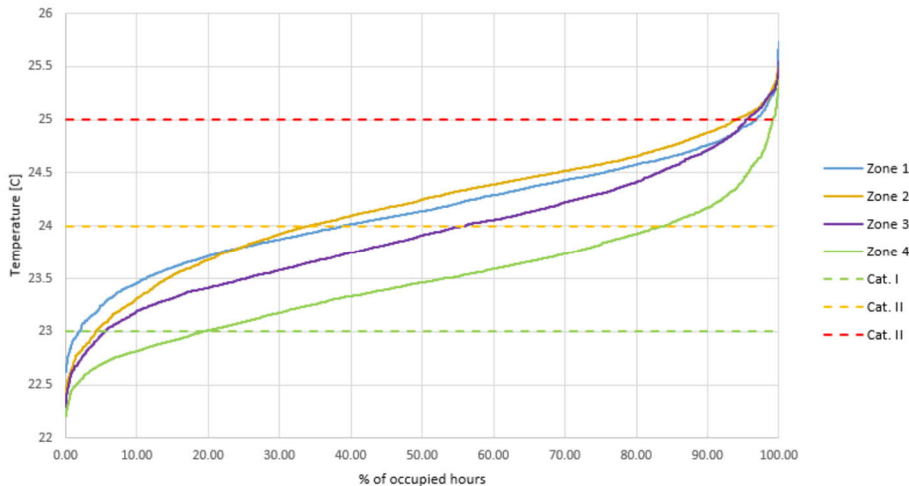
Denne viden kan bruges som udgangspunkt for valg layout af faktisk antal skriveborde i kontorarealer, især hvis det ønskes at skifte til free seating i visse kontorarealer. Her bør det dog tages med i betragtningen, at der er stor forskel på hvor meget de enkelte borde bruges, så det kan overvejes at lade de medarbejdere, der bruger deres skriveborde mest, kan beholde et fast skrivebord.

6.4.2 Indeklima

Samtidig med måling af tilstedeværelse er der også målt på indeklimaet og brugertilfredsheden med indeklimaet. Som et eksempel vises et simpelt temperaturforløb i FCH fra én af kontoretagerne i Figur 30 i en periode på tre uger i marts 2019.



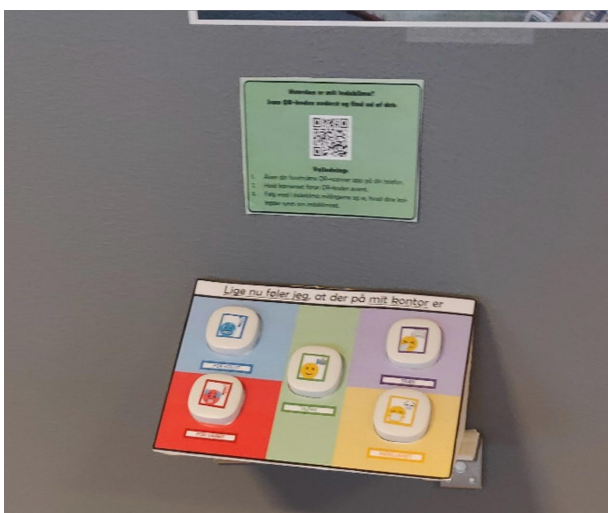
Figur 30 Temperaturforløb i kontorareal i FCH



Figur 31 Varighedskurve over indeklima i kontorareal i vinterperiode i brugstiden (Clausen, 2017)

Ses på Figur 31 ses det at der generelt i de fire zoner, der måles på, er en høj temperatur, der er over 24°C i mellem 20% og 70% af brugstiden. I CTS-anlægget er temperatur-setpunktet sat så højt, på baggrund af klager fra en eller flere brugere.

Ud over det målte indeklima, undersøges brugertilfredsheden med indeklimaet også. Her er tanken, at ved at give alle mulighed for at svare på deres oplevelse af indeklimaet, vil det vise et bredere billede af brugernes tilfredshed, end når det kun er dem, som klager til driften over temperaturen. Der er derfor, som det kan ses på Figur 32, lavet et panel, som brugerne kan bruge til at give tilbagemelding om deres aktuelle oplevelse. Der er fem svarmuligheder, "tilpas", "for koldt", "for varmt", "det trækker", "indelukket". Alle brugere må stemme så mange gange om dagen, som de har lyst til. Panelerne er ophængt ved indgangen til kontorarealerne. Der måles på fire etager i én af de tre fløje. På grund af bygningens layout betyder det, at der er to paneler pr. etage.

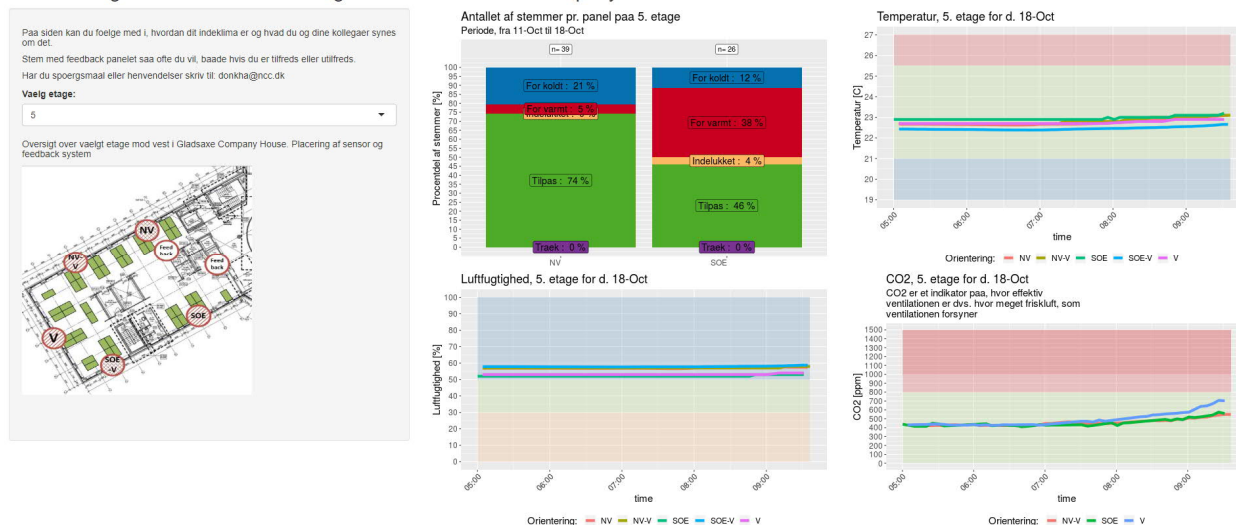


Figur 32 Feedback-knapper til brugertilfredshed i kontorarealer. Der er fem svarmuligheder "tilpas", "for koldt", "for varmt", "indelukket" og "det trækker".

Ud over panelet er det muligt for brugerne at scanne en QR-kode og derigennem få adgang til en hjemmeside med oplysninger om afgivne stemmer i løbet af ugen samt dagens aktuelle temperatur, CO₂ og luftfugtighed. Et eksempel på hvordan det ser ud, er vist på Figur 33, der viser data for 5. sal i Gladsaxe. Det

ses at der i den pågældende uge har været 65 afgivne stemmer, der generelt viser både tilfredshed med indeklimaet (grøn), at det er for varmt og koldt. Der er kun ganske få stemmer på indelukket og slet ingen på træk. Der foretages ikke en egentlig analyse af resultatet i dette projekt.

Indeklima og feedback data for en dag mod vest i Gladsaxe Company House



Figur 33 Undersøgelse af brugertilfredshed med indeklimaet i Gladsaxe <https://qchphdncc.shinyapps.io/qchwest/>

6.4.3 Konklusion på kontorarealsusecase

Langt hen ad vejen er konklusionen på denne usecase den samme som for mødelokalerne, nemlig at det er muligt at måle på det og at der derigennem sikres en indsigt, som kan bruges til optimering af arealerne i den daglige drift.

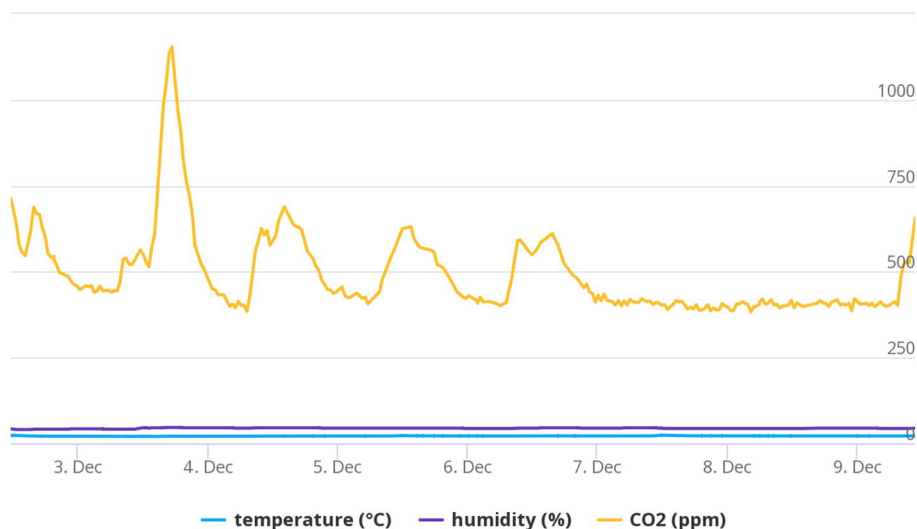
6.5 Boligusecase

Resultatanalysen baseres her på boligusecasen, som er beskrevet i afsnit 6.1.4.

Platformen er ved opstart af måleperioden parat til at modtage data og kan give en visualisering af data, hvilket gør at man hurtigt kan få et indblik i indeklimaet. Herved kan der hurtigere reageres ved klager eller andre indeklimamæssige udfordringer.

Figur 34 viser indeklimaet målt i en lejlighed i The Hill over én uge i december 2019.

003487E1 - Temperature, Humidity, CO2

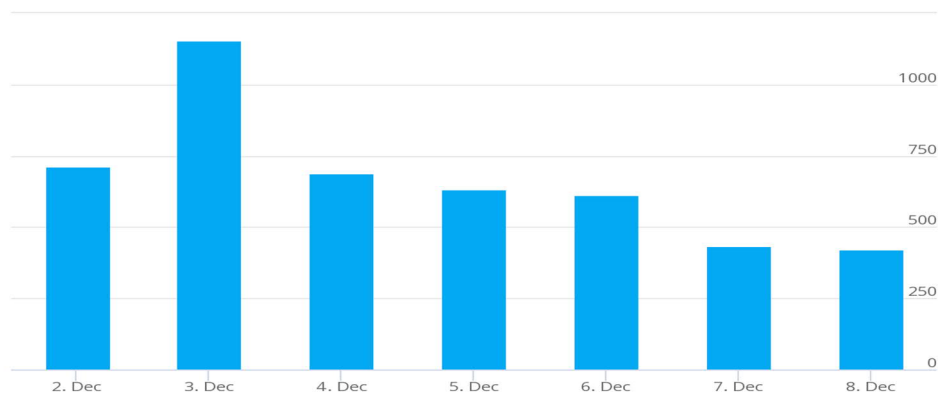


Figur 34 Målte indeklimaparametre i bolig i The Hill

Indledningsvis kan det først og fremmest konstateres, at det er muligt på en nem måde at indsamle data og lave analyse på baggrund heraf.

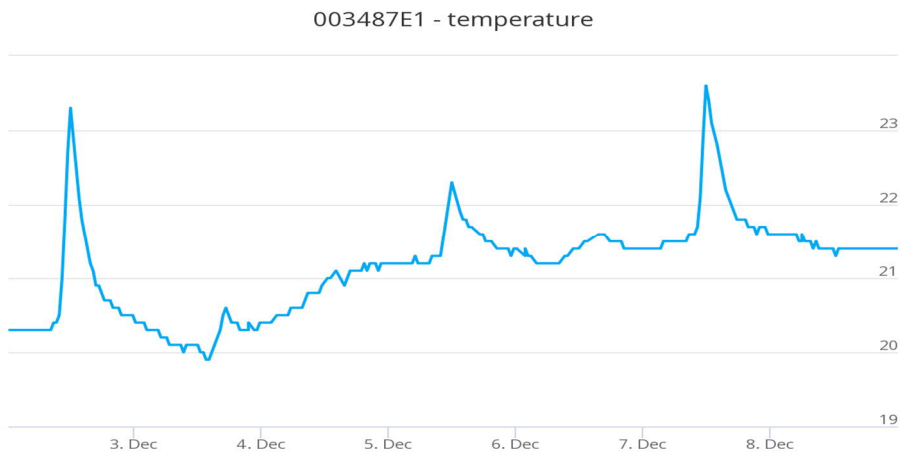
I Figur 35 ses den maksimale daglige CO₂-koncentration i samme periode som i Figur 34. I perioden er det kun d. 3. december hvor CO₂-niveauet er over 1000 ppm. Der kan være to grunde til at indeklimaet ser fornuftigt ud; enten at ventilationssystemet fungerer fornuftigt eller der er en fornuftig udluftningsrutine.

003487E1 - CO2



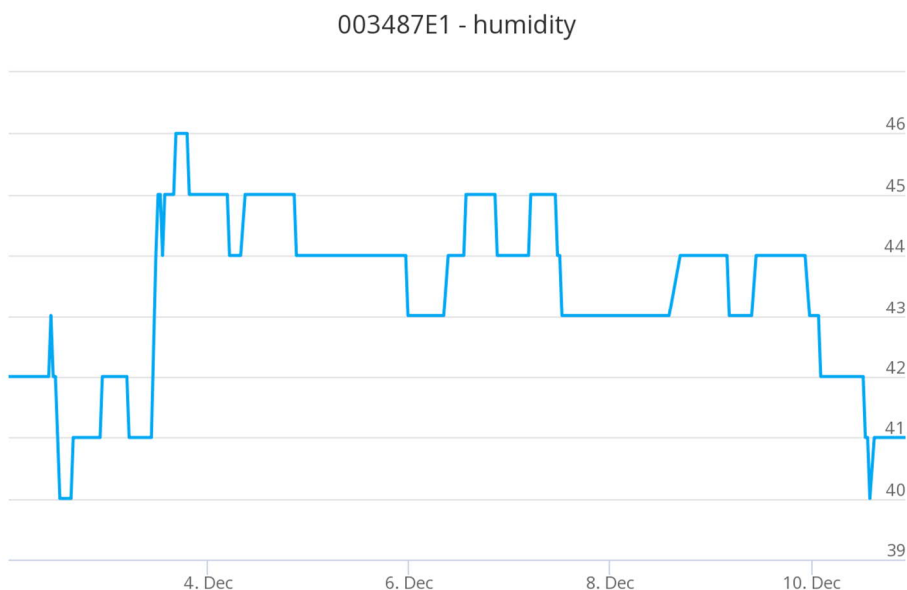
Figur 35 Maksimal CO₂-belastning i indeklimaet pr. dag

Figur 36 viser samtidig at temperaturen i lejligheden ligger fornuftigt og uden store daglige udsving. Dette indikerer ikke særlige udfordringer med at holde temperaturen på et ønsket niveau.



Figur 36 Temperaturforløb i lejlighed i The Hill over 1 uge

Det andet interessante parameter er den relativfugtighed, som kan have stor indflydelse på indeklimaet, i dette tilfælde er der ikke de store problemer, som det kan ses på Figur 37



Figur 37 Fugtighed i lejligheden i samme periode

6.5.1 Konklusion på boligusecase

I boligusecasen har der været brugt en lidt anden datatransmission end i de to kontorbygninger. Her er der i stedet for at samle data ind via trådløst netværk eller via 4G opkoblet udstyr, benyttet den batteridrevne og helt trådløse Sigfox-protokol, som gør at sensoren kan sendes med posten til beboeren, der selv placerer udstyret i lejligheden. Herefter sender sensoren selv data så længe der er batteri i sensoren. Det er der overslagsmæssigt i mindst 5-8 år. Det giver god mening at man bruger denne slags sensorer til at analysere indeklimaet i boligejendomme, da det er nemt at tilgå udefra og hente data hjem uden at man skal være til gene for beboeren. Desuden er man ikke afhængig af netværk og strømforsyning, det gør at man let kan placere enhederne rundt omkring i boligen.

Ved hjælp af et indeklimakit vil man kunne reagere hurtigere i forbindelse med en klage eller komme med en hurtigere konklusion på dårligt indeklima og måske undgå yderligere skade på ejendommen, samt levere en bedre og hurtigere service overfor beboeren.

Som angivet var der også installeret PIR-sensorer i bygningen. Desværre har det vist sig, at denne metode ikke har givet brugbare resultater. Det indikerer at det er nødvendigt at sikre en god placering af sensoren i boligen – og at beboeren selv måske ikke er i stand til at vurdere dette. Eller at sensoren ikke er egnet til den ønskede dataindsamling.

6.6 Rightsizing af teknisk udstyr

Som angivet under beskrivelsen af de tre usecases i Tabel 1, har der været to uafhængige målsætninger med dataindsamlingen. Den ene har haft fokus på drift og den anden har haft fokus på design.

Som det ses af teksten i det efterfølgende, er der ikke endnu så mange resultater at vise på designsiden. Det skyldes, at der skal data fra flere bygninger og i længere tid inden der kan være faste konklusioner. Alligevel er der dog mindst tre relevante resultater, som alle udspringer fra forbrugsovervågningen, der vil blive beskrevet i det efterfølgende.

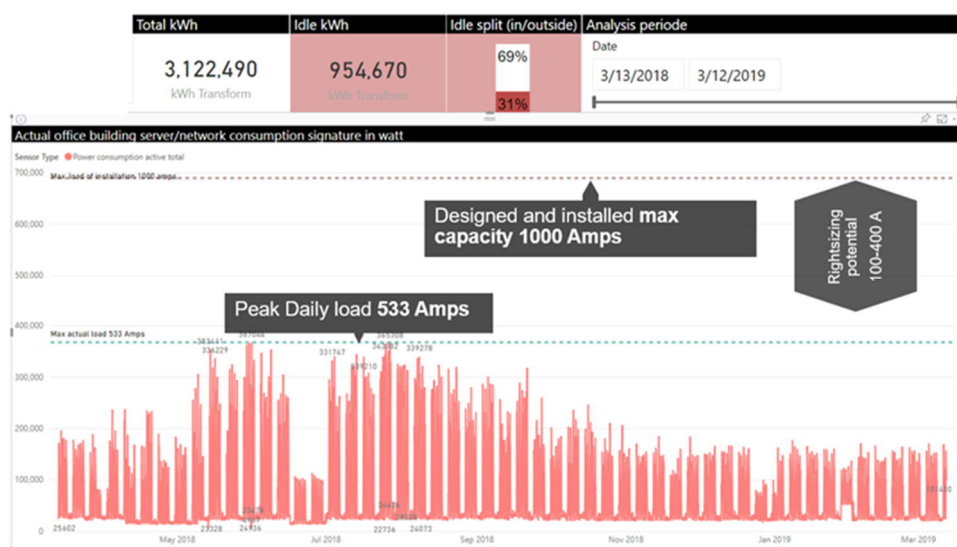
Hertil kommer at data kan bruges som relevant input til designforudsætninger i forhold til brugstid, personbelastning, dimensionering af mødecenter m.m.

6.6.1 Eltavler

I designet af begge bygninger, har der været en idé om at eltavler har været overdimensioneret. Dette har i øvrigt medført overdimensionering af kabler og indkøb af for meget kapacitet fra forsyningsselskabet.

Som eksempel vises på Figur 38 forbruget på hovedtavlen i forhold til den dimensionerede kapacitet. Data viser en periode på ca. 15 måneder. Der har i perioden ikke været en belastning på over 533 Ampere, mens der er installeret 100 Ampere i eltavlen. Det vil sige, at der er et potentiale for at tavlen kan gøres mindre.

Der sættes ikke umiddelbart økonomi på den potentielle besparelse, men det bemærkes, at indkøb af kapacitet hos elforsyningsselskabet koster ca. kr. 1.100 pr. Ampere i installeret kapacitet. Altså vil en besparelse på måske 200-300 Ampere alene her give en besparelse på måske kr. 300.000. Hertil kommer besparelse på mindre tavler og mindre kabler, som i øvrigt kan udføres hurtigere.



Figur 38 Elforbrug over ca. 15 måneder i forhold til installeret kapacitet på eltavle.

Samme billede er set på den anden bygning, hvor der er installeret 1.600 Ampere, men hvor der ikke har været brugt over ca. 800 Ampere i en periode på ca. 8 måneder.

Data er her kun vist på hovedtavleniveau, men konklusionen er den samme på undertavle-niveau, hvor fx især køkkentavlen er meget overdimensioneret.

6.6.2 Ventilation

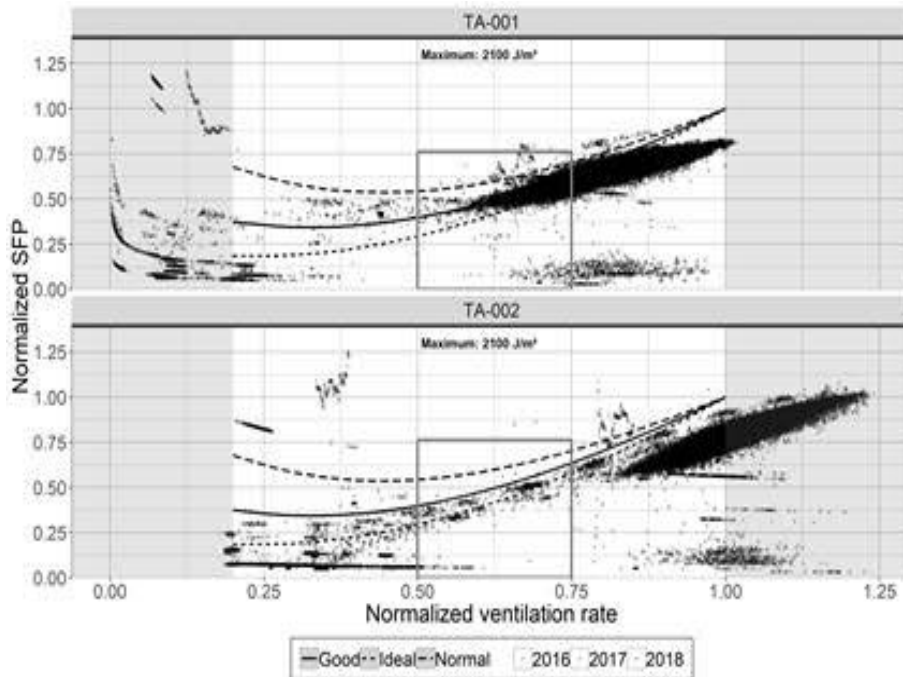
Et andet sted, hvor der er en stor potentiel besparelse i anlægsomkostninger og mindre pladsbehov er vist i nedenstående Figur 39, som gælder for dimensionering af ventilationen i bygningen. I figuren er samtidige værdier elforbrug (omregnet til SEL-værdi) og luftmængde i forhold til dimensionerende luftmængde vist. Hver prik på figuren svarer til 5 minutter. Der er data for et helt år. Hver delfigur repræsenterer tre ventilationsanlæg.

Indledningsvis henvises til en konferenceartikel med titlen "Method identifying oversizing of mechanical ventilation systems in office buildings using airflow and electrical power measurements", der er udarbejdet på basis af data, hvor resultaterne behandles i flere detaljer. (Khan et al, 2019)

Ses på den øverste figur (TA-001), kan det ses, at den maksimalt anvendte luftmængde passer med den dimensionerende luftmængde, hvorimod elforbruget er noget lavere end forventet, da den relative SEL-værdi (kaldet SFP i figuren) er ca. 0,75. På figuren er indtastet kurver for forventet SEL-værdi ved delast ud fra styringens kvalitet, som kan være "normal", "good" eller "ideal" som defineret i Schild og Mysen, (2009). I artiklen er det fundet at styringen passer bedst med kurven for ideel styring, som er fundet via en kurvefit baseret på Root Mean Square metoden. Det betyder blandt andet at dette input kan bruges til energirammeberegning.

Yderligere ses det, at der kun er ganske få timer, hvor systemet kører over ved maksimal belastning. Man kan altså overveje om der i stedet for at dimensionere kanalsystem og aggregat til 100% luftmængde måske tages udgangspunkt i 90%. Der skal dog laves en mere detaljeret analyse her, for at kunne det nærmere.

Samtidig ses at for TA-002, er det egentlig samme konklusion, men det kan ses, at anlægget har en maksimal luftmængde, som er ca. 20% større end det blev forventet ved dimensionerende tilstand. Det er dog interessant, at den normaliserede SEL-værdi ikke kommer over den forventede værdi.



Figur 39 Sammenhæng mellem ventilationsrate og elforbrug. Figureerne er baseret på en igangværende analyse fra Khan et al (2019)

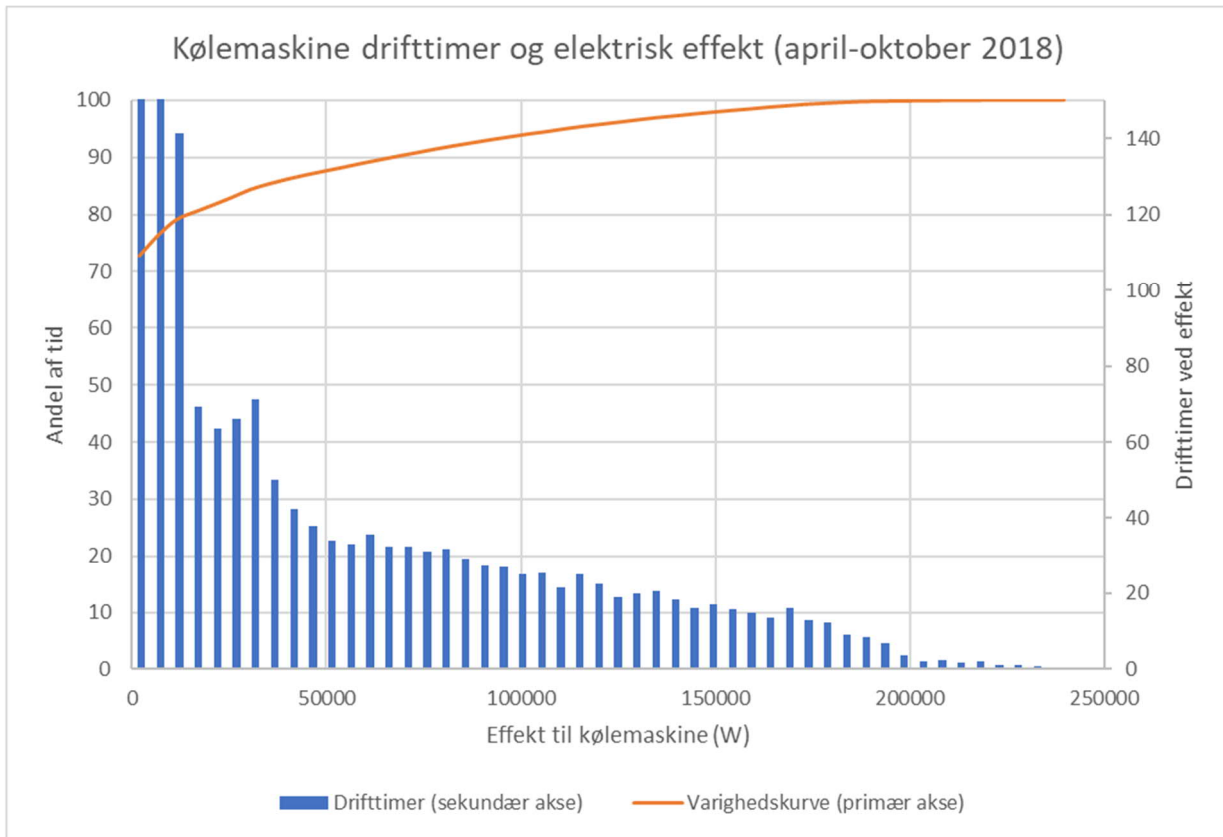
Samlet set, er det for tidligt at komme med meget faste konklusioner baseret på ventilationsanlæg i én bygning, men det konstateres, at der er potentiale for at kunne skære den dimensionerende luftmængde – og som set i afsnit 6.4.2 også potentiale for at lave en bedre styring

6.6.3 Kølemaskiner

Som beskrevet i afsnit 6.2.4 har den detaljerede måling på kølemaskinerne givet anledning til en ændret styring, som har medført en vurderet energibesparelse på 13%.

Men samtidig har det også givet anledning til et lavere løbende effektforbrug. Indledningsvis vises på Figur 40 kurver over drifttimer ved en given effekt og tilhørende varighedskurve. Kurven viser det totale effektoptag for alle fire kølemaskiner og kondensatorer i en periode på syv måneder fra april til og med oktober 2018. Varighedskurven viser, at der kun i meget begrænset omfang at den installerede kapacitet benyttes. Faktisk benyttes der kun over 75% af den maksimalt målte kapacitet i ca. 40 timer. I forvejen er den målte kapacitet mindre end den installerede mærkepladeeffekt, som faktisk totalt er på ca. 350 kW.

Analysen tager udgangspunkt i at der måles på alle fire kølemaskiner på én gang. Der er altså en samtidighed der ikke medtages.



Figur 40 Kølemaskiner og kondensator drift april-oktober 2018

Totalt set er der med baggrund i dette et stort potentiale for at der kan installeres mindre køleeffekt i bygningen end det, som der er regnet med her. Måske så meget som 50%. I praksis dog nok mindre.

Der er dog flere forbehold til dette, som skal tages med i overvejelserne.

- Typisk bestemmes køleeffekten ud fra ganske få kritiske rum, der efterfølgende ses som repræsentative.
- Der er væsentligt lavere samtidigheder i personbelastning end forudsat i beregningerne.
- Der "rundes op" i forhold til størrelsen af kølemaskinen
- Der måles ikke på den leverede køleeffekt, så det kan også være, at kølemaskinen i praksis er mere effektiv end forudsat
- Der måles på fire kølemaskiner inkl. tørkølere på én gang. Det vides ikke om der er ens belastning på dem

6.6.4 Input til krav, design og designprocessen

Endelig er der en lidt mere løst formuleret mulig gevinst at hente ud fra de tilgængelige bygningsdriftsdata, nemlig i forhold til at stille programmeringsmæssige krav til bygningen samt dens design og brug. Fx kan den indsigt der opnås benyttes til at opstille et antal scenarier, som kan benyttes til at undersøge fleksibilitet og den tilhørende pris for de krav der stilles.

Det er dog vigtigt at anføre, at de forslag til anvendelse af data, der anføres her, ikke er samtidig uden for målsætning af dette projekt at komme det nærmere end beskrevet her.

Ad programmeringsmæssige forhold

I den tidlige programmering af en bygning, er der generelt rigtig mange forhold, der skal være fokus på. Hvis der blot fokuseres på energi og indeklima er det især forhold om brugstid, samtidighed og forventninger til kvaliteten af indeklimaet. Normalt sættes kravene meget højt for at være sikker på at der opnås en så fleksibel og brugbar bygning som muligt. I praksis sættes samtidigheder og personbelastning højt. Det medfører generelt at køleanlæg, ventilationsanlæg får en stor kapacitet, bliver pladskrævende – og dyre. Men det er ikke sikkert at det også medfører en god og efterfølgende driftbar bygning.

Som eksempel forudsættes i de fleste tilfælde en personbelastning på fx 8 m²/person i kontorarealer og en samtidighed på omkring 80% fra 8 til 17. I mødelokaler er det ofte 100% samtidighed i tilsvarende tidsinterval. Men som det ses i resultaterne ovenfor, er samtidigheden en del lavere end det som der dimensioneres efter. Selvfølgelig skal der være en sikkerhedsmargen, men i mange tilfælde er den voldsomt stor. Samtidig kan data bruges til at vurdere antallet af skriveborde og ultimativt størrelsen af bygningen.

I forhold til temperaturer, designes bygningen typisk efter klasse II i DS/EN 16798, som medfører en temperatur om vinteren mellem 20-24 °C og om sommeren mellem 23-26 °C, hvor der tillades en tolerance med 100 timer over 26 °C og 25 timer over 27 °C. I praksis ses at især temperaturer ret meget under 22 °C og nogle gang endda 23°C medfører klager over kulde. Dermed kan der argumenteres for at bygningen bør designes med en noget højere temperatur og mindre temperaturbånd i mente.

Ad design af bygningens layout

Ud over at brugen af samtidigheder i programmeringsfasen er væsentligt for den endelige dimensionering af bygningens anlæg, er de også et væsentligt input til antallet af arbejdspladser og antallet af mødelokaler og størrelsen af dem. Det gælder i virkeligheden også for kantinens størrelse og en lang række andre størrelser.

6.6.5 Konklusion på rightsizing

Som det ses i de resultater der præsenteres her, er der et væsentligt potentiale for at benytte data fra driften af tidligere bygninger til designet af den næste. På nogle punkter, fx eltavler, er det umiddelbart tydeligt at der er et potentiale, men på de fleste andre er det dog tydeligt, at der er behov for at der "graves lidt dybere" i data inden indsigten umiddelbart kan omsættes til en ny designpraksis. I mange tilfælde er det dog et spørgsmål om at indsigten kan bruges til at lave en trinvis optimering af designet.

7 Sådan kan man lave forretning

Formålet med dette kapitel er at beskrive de muligheder, der er for at udvikle forretningspotentialer i en datadrevet bygning. Udgangspunktet er den metode for dataindsamling, som er beskrevet i dette projekt.

Det er dog et meget komplekst billede, hvor der er mange forskellige muligheder for både drift og design, hvor omkostninger til dataindsamlingen, lagring og visualisering også skal med i regnestykket. Som det også er beskrevet tidligere, er der stor forskel på omkostningerne afhængig af om data indsamles som stand-alone datapunkt, der således har en begrænset værdi i sammenligning med en indsamling, hvor data fra forskellige kilder sammenholdes.

Boston Consulting Group og Microsoft har i rapporten "Beyond Predictive Maintenance – the art of the possible with IoT" (Bhatia et al, 2019) følgende seks punkter, der skal være styr på, for at maksimere chancen for at et IoT projekt bliver en succes.

- Forretningsstrategi og begrundelse
 - o Klar business case, værdiskabelse og levedygtig forretningsmodel
- Forankring i ledelse og organisation
 - o Firmaets øverste ledelse skal tage ejerskab og forretningsenheder skal samarbejde
- Talent
 - o Tværgående kompetencer og oplæring
- Forankring i processer og forretning
 - o IoT skal inkluderes i kerneforretningen
- Partnerskaber
 - o De rigtige partnerskaber skal skabes inden for teknologi og forretningsmuligheder
- Teknologi
 - o Skalerbarhed, integration, sikkerhed med mere

Det er vigtigt at bemærke, at det er vigtigt at der arbejdes med alle seks punkter for at få det implementeret i den enkelte virksomhed.

På IOTSWC2019 fortalte Rami Avidan fra Deutsche Telecom fra scenen, at de ikke tror på at der findes "one shop" leverandører af hele værdikæden fra sensor, transmission, lagring og visualisering. Det er nødvendigt at man som kunde er opmærksom på dette og sørger for at designet af netop ens egen løsning tager højde for de behov man har.

Samtidig det beskrives nedenfor i afsnit 7.4, er værditilvækst meget kompleks for de forskellige aktører, som er involveret i en bygning, som gør at det ofte ikke er den som betaler, der høster gevinsten – hvilket gælder både på kort og længere sigt. Samt at man måske i virkeligheden skal se på om dataindsamlingen skal foregå i et partnerskab. Dette skyldes at alle aktører i princippet kan have glæde af dataindsamlingen, men også at det er nemt at afspore et projekt, når alle skal være enige.

Det betyder, at det ikke er ligetil at formulere business cases for hvordan investeringerne skal foretages og fordeles og tilsvarende hvordan gevinsterne skal høstes.

I dette afsnit beskrives indledningsvis den værdisætningsworkshop, som har været grundlaget for arbejdet. Herefter beskrives for hhv. boliger og kontorbygninger, omkostninger og gevinster på kort sigt. Dette danner sammen med et afsnit om værdiskabelse i forbindelse med anvendelsen af systematisk dataindsamling via IoT-forbundne sensorer.

Endelig vil forretningsperspektiver i et længere sigt blive beskrevet i afsnit 8.2, hvor det hænger sammen med perspektivering og forventningerne til fremtidig udvikling.

7.1 Værdisætningsworkshop

For at tage hul på mulighederne for at udvikle forretningsmodeller, blev der i projektet afholdt en workshop med 20 personligt inviterede deltagere, der repræsenterede hele værdikæden med både byggherre, bruger, drift, entreprenør, rådgivning, forskning og platformsudbyder. Workshoppen havde fokus på værdisætning, forstået på den måde, at når vi nu har muligheden for at indsamle data på denne måde, hvilken værdi kan vi så høste fra det, set fra de forskellige interessenter, der var med til mødet.

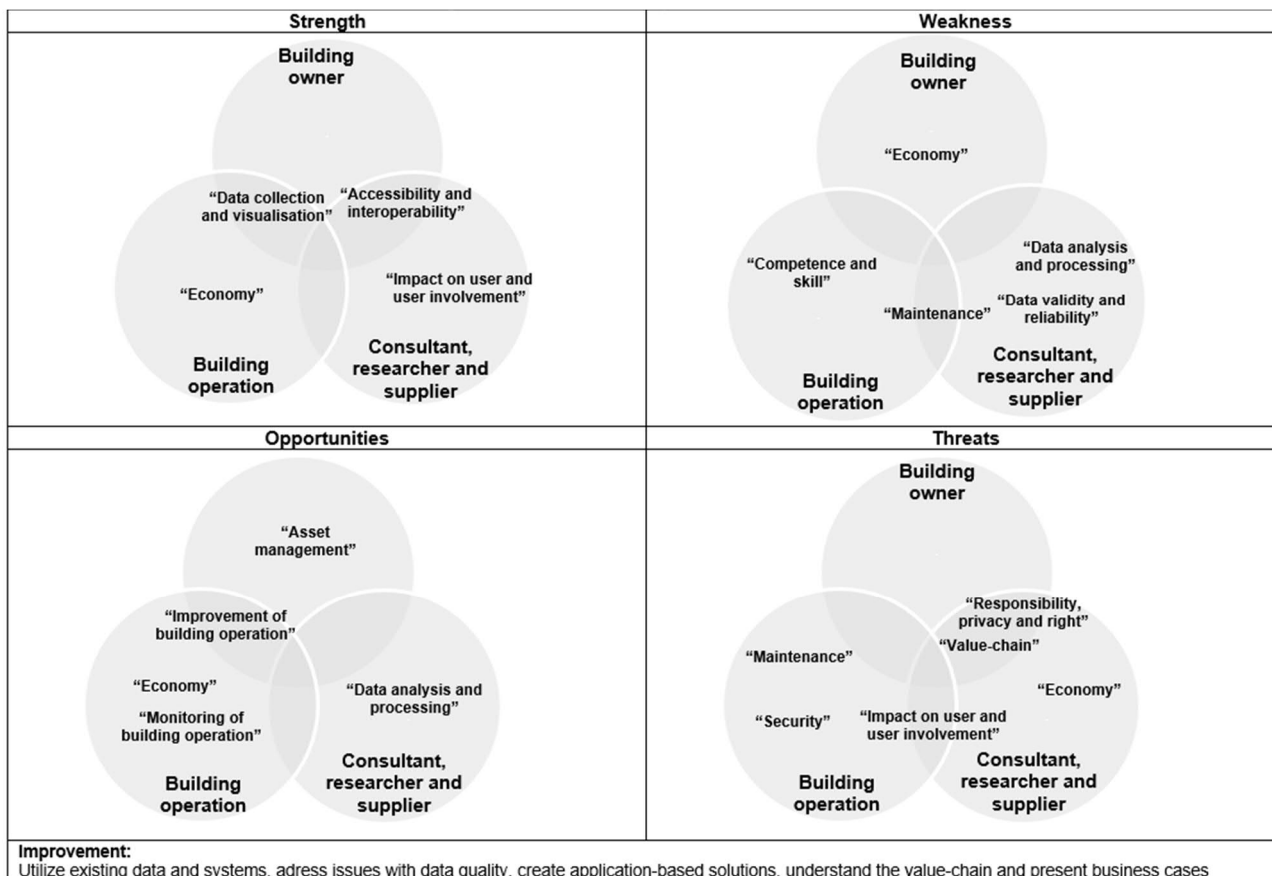
I praksis inddelte vi deltagerne i tre grupper ud fra deres baggrund i branchen.

- Bygningsejer
- Drift
- Konsulent, forskning og leverandører

Der var to formal med workshoppen, som blev brugt som udgangspunkt i dagen. Det ene var en SWOT-analyse af dataindsamlingsmetoden, hvor hver gruppe kom med deres bud på styrker, svagheder, muligheder og trusler. Den anden opgave var at undersøge hvilke data, de især kunne tænke sig at indhente – og hvor mange og hvor ofte.

Hovedresultatet fra den første opgave, er vist på Figur 41, hvor de mest fremherskende pointer er vist og sammenlignet på tværs af gruppe. Som eksempel ses at en styrke som deles af både bygningsejer og drift er muligheden for at indsamle data og visualisere det. Samtidig er en styrke som deles af både bygningsejer og konsulent/forsker/leverandør at data er tilgængelig og kan bruges på tværs.

Helt generelt er styrkerne at data fra bygningsdrift bliver gjort tilgængelig og at det kan bruges til at forbedre drift. Svaghederne er at det er for dyrt (når gevinsten ikke a priori er kendt), at der mangler viden og kundskaber til at bruge data aktivt, at det skal vedligeholdes og at det er endnu en omkostning, der skal regnes med i regnskabet. Mulighederne er der kan opbygges en måde at administrere en bygningsportefølje på en økonomisk effektiv måde, samtidig med at der kan skabes indsigter på en række områder for både producenter, designere, rådgivere og driftspersonale. Endelig er truslerne at billedet bliver for komplekst til at det i praksis vil blive brugt som ønsket her, hvor data kan bruges af alle og på tværs af sensorer.



Figur 41 Fællesnævnerne for de tre interessenttyper der deltog i værdisætningsworkshoppen

I den anden del af workshoppen var formålet at få en idé om hvilke data de tre forskellige aktørgrupper anså som mest relevante og i hvilken tidsmæssig opløsning og hvor detaljeret (altså antal målere), der skal benyttes. Det viste sig dog svært at få en konklusion ud fra dette, da det i meget høj grad afhænger af omkostningerne ved at få fat i data. Der var dog ingen tvivl om at der vil være en værdi i dataindsamlingen og den viden og indsigt som den vil medføre.

7.2 Omkostninger ved den datadrevne bygning

Dataindsamling er (selvfølgelig) ikke omkostningsfrit. Der er i hvert fald tre separate udgifter, der skal tages i betragtning i projekteringen.

- Udgifter til indkøb af udstyr (samt evt. infrastruktur)
- Løbende udgifter til datatransmission, evt. abonnementer samt lagring af data i platform
- Løbende udgifter til fysisk drift af hardware fx skift af batterier, omkonfigurering af udstyr, hvis indretning ændres,

Alle disse omkostninger er i øjeblikket meget svære at forudsige på grund af stor konkurrence i markedet for både sensorer, dataplatforme og forskellige måder at transmittere data på. Det er også tilfældet, at der er mange forskellige omkostningsmodeller fra alle aktører i markedet.

Hertil kommer udgifter til dataanalyse. Sidstnævnte kan være en besparelse, når bygningsdriften bliver mere effektiv.

7.2.1 Forskellige pakker for kontorer

I projektet er der arbejdet med fire forskellige niveauer af dataindsamling som spænder fra en forbrugsovervågning på hovedforbrugsniveau over indeklimate på zoneniveau til tilstedeværelse på skrivebordsniveau og afspejler de muligheder for dataindsamling, som er benyttet i dette projekt. Disse pakker har forskellige formål og kan give forskellig indsigt.

I det følgende beskrives de fire pakker og de muligheder de hver især giver. Det er vigtigt at huske at

Pakke 1: Hovedforbrugsmåling

Med de sensorer der indbygges i denne pakke, vil det være muligt at lave den indsigt som opnås med driftsovervågningen, som beskrives i den første usecase i projektet. Det vil sige måling af elforbrug på hovedforbrugsniveau samt varme og vand på hovedmålniveau. Evt. kan kombineres med bimålere for vand og varme, som kan give en større indsigt i fordelingen fx af koldt og varmt vand, forbrug fordelt på stigstrengene, varmekonsum i forskellige dele af bygningen med mere.

Samtidig kan data bruges til design i forhold til dimensionering af eltavler og sættes i relation til den tidsmæssige belastning på – men ikke begrænset til – ventilation og kølemaskiner, som vist her.

Pakke 2: pakke 1 + indeklimate på zoneniveau

I denne pakke tilføres måling af indeklimate på zoneniveau i bygningen. Det vil sige temperatur, CO₂, relativ fugtighed og evt. støj, partikler og flygtige organiske forbindelser (TVOC).

Med data fra denne pakke kan analyse og indsigter rettes mod overholdelse af designkriterier, om bygningens styring fungerer som ønsket, vurdering af brugerklager med mere.

Pakke 3: pakke 2 + tilstedeværelse i møderum

I denne pakke tilføres desuden tilstedeværelse i møderum, som kan bruges til en vurdering af anvendelsen af møderum – både i forhold til bedre udnyttelse af møderummene og evt. vurdering af om der skal tilføjes flere eller færre møderum. Dette gælder i øvrigt også i forhold til design af næste kontorhus.

Pakke 4: pakke 3 + tilstedeværelse på skrivebordsniveau

Endelig dækker pakke fire over at der yderligere sættes tilstedeværelsessensorer på samtlige skriveborde, som i øvrigt også måler temperatur. Det giver indsigt i brugen af bygningen og kan anvendes til en detaljeret space management. Samtidig åbner det for at informationen om ledige/optagne skriveborde kan bruges af nyankomne medarbejdere til en bedre pladsudnyttelse.

Omkostninger

I nedenstående Tabel 3 vises et overslag omkostningerne for de fire pakker, hvis de installeres i en kontorbygning på ca. 10.000 m² med 500 medarbejdere. Der regnes med 50 zoner i kontorarealer, 50 små og 15 store mødelokaler. I omkostningerne er medtaget omkostninger til hardware og montering samt den årlige driftsudgift. Derimod er udgifter til den fysiske drift af sensorerne ikke medtaget. Det gælder fx batteriskift, flytning af sensorer ifm. intern flytning og omrokering med mere. Denne udgift afhænger i meget stort omfang af hvordan den enkelte virksomhed vælger at drifte systemet, og den faktiske anvendelse af data – altså hvor aktivt data bruges, så derfor er den ikke medtaget her.

Det bemærkes endvidere, at omkostninger er vurderet ultimo 2019 med de på det tidspunkt tilgængelige sensorer og platforme og med udgangspunkt i de omkostningsmodeller, der var gældende her. Det er

ekstremt vigtigt at bemærke, at disse omkostninger ændrer sig meget, og derfor er data i tabellen i virkeligheden nok ikke brugbare som andet end en indikation.

Tabel 3 Overslagsomkostninger for den datadrevne bygning baseret på fire pakker med stigende antal sensorer og muligheder for dataanalyse. Omkostninger er anslået ud fra en kontorbygning på ca. 10.000 m² og 500 medarbejdere

Pakke	Hardware+montering+1. års drift	Drift af platform pr. år
Pakke 1	70.000	10.000
Pakke 2	190.000	100.000
Pakke 3	240.000	120.000
Pakke 4	550.000	530.000

Helt generelt ses, at jo mere data der ønskes inkluderet og jo tættere det kommer på medarbejderen, jo dyrere bliver både hardware og drift. Den største udgift er forbundet med tilstedeværelsessensorer på selve skrivebordet. Samtidig er det også her, at den helt store potentielle gevinst er, idet blot en lille forbedring i tilfredsheden og produktiviteten hos den enkelte medarbejder giver en stor værdistigning i virksomheden. Problemstillingen er omvendt, at det er meget sværere at "oversætte" bedre indeklima til større værdiskabelse, end det er at dokumentere et lavere energiforbrug, som omvendt kun berører en ganske lille del af virksomhedens samlede økonomi.

7.2.2 Forskellige pakker for etageboliger

På tilsvarende vis opstilles der pakker for etageboliger. For boliger er der to forskellige tilgange til dataindsamling, som ikke på samme måde som for kontorer kan summeres. I stedet er der mulighed for fælles måling og individuel måling. Her er fællesmålingen i virkeligheden den samme som pakke 1 for kontorbygninger, mens de individuelle målinger i form af et indeklimakit, kan tilkøbes individuelt af beboeren. Det bemærkes især her, at der er problemstillinger omkring GDPR.

Pakke 1: hovedforbrugsmåling (herunder især måling af uønsket vandforbrug)

Denne pakke indeholder elmåling af hovedforbrug til ejendommen, som kan underopdeles i ventilation, elevatorer, produktion fra solceller, belysning med mere, som afhænger af den aktuelle faseopdeling af tavlen. I alt kan op til ni forskellige forbrug måles. Derudover måling af varme fra fjernvarme og vandforbrug på hovedmåler. Derudover er der mulighed for at inkludere opdeling på stigstrengene, der kan afsløre om der er løbende toiletter eller andre brud. Denne pakke giver mulighed for at lave en datadrevet overvågning af hovedforbruget i bygningen.

Bemærk individuel måling af elforbrug til den enkelte lejlighed er ikke inkluderet.

Prisen for dette vil være ca. kr. 45.000 for hardware og første års drift. Efterfølgende er omkostningen ca. kr. 6.000 om året. Forventeligt vil denne pris kunne dække op til måske 4-5 opgange i en boligforening. Er der tale om en større etageejendom, vil prisen selvfølgelig stige afhængig af antal opgange og kompleksitet.

Pakke 2: Indeklimamåling på lejlighedsniveau (indeklimakit)

Denne pakke kan sammensættes på mange forskellige måder. Grundlæggende består den af en indeklimasensor, som kan måle temperatur, CO₂, relativ fugtighed, støj. I sit udgangspunkt vil den mest rationelle løsning være en sensor, som beboeren selv tilslutter til sit trådløse internet. Denne kan enten stå

alene, og dermed kun koste installationsomkostningen, eller den kan kobles sammen med overvågningen fra pakke 1, og dermed give en yderligere driftsomkostning.

Giver beboeren en administrator eller vicevært adgang til data fra sensorerne, kan denne oplysning bruges til hurtigere at hjælpe fejlfinding på anlæg – og kan være udgangspunkt for rådgivning omkring anvendelse af boligen.

En indeklimasensor som den, der beskrives her, kan købes i elektronikbutikker til ca. kr. 1.200.

Pakke 3: Pakke 2 + tilstedeværelse og indikation af åbne vinduer/døre

Indeklimakittet kan udvides med flere funktioner som fx tilstedeværelse, indikation af åbne vinduer og døre, røgalarm, digital styring af termostater, individuel måling af risiko for utætte rør og/eller løbende toiletter med mere. Igen kan data tilkobles en fælles overvågning eller det kan fungere individuelt.

Der laves ikke overslag på priser for denne pakke. Men det er klart, at det kan bruges til at optimere både indeklima og energiforbrug og minimere risiko for vandskader eller unødigt forbrug.

7.3 Mulige gevinster på kort sigt

7.3.1 Kontorbygninger

Datadrevet driftsoverblik

Værktøjet er usecase 1, som er beskrevet i afsnit 6.1 og 6.2

Værktøjet kan installeres i både nye og eksisterende bygninger. Ved at overvåge energiforbruget har man mulighed for at fange de udslag, som kunne opstå fx ved et overforbrug på et ventilationsanlæg. Det ville give driftsadministrator mulighed for at reagere hurtigere og opdage fejlen. Værdisætning af denne ydelse er svær at gøre op, men der ville være mulighed for at stille et værktøj til rådighed som ikke kræver dent store tekniske baggrund og det ville være lettere for driftsmanden at sætte sig ind i systemet. Derved vil man ikke bruge så mange driftstimer på at sætte sit personale ind i denne værktøjsmodel.

Værktøjet vil fungere godt i (eksisterende) bygninger, hvor man ikke har mulighed for at opsætte nye alarmer eller etablere overvågning af energiforbruget på bygningens CTS-anlæg.

Tilstedeværelse i mødelokaler

Det giver bedre mulighed for at koordinere sin dag i forbindelse med at man skal finde et mødelokale som er ledigt, så ville man kunne se hvilke mødelokaler er optaget eller hvor der er booket, men ikke er aktivitet. Det vil give mere fleksibilitet både for møde booker og dem som skal finde lokalet.

Space management i kontorarealer

Ved at registrere tilstedeværelsen ved de enkelte borde har man mulighed for at lave et koncept med fleksible pladser, så man kan se hvor der er ledige pladser i et stort kontormiljø.

Det kunne så udvides til at man måler på det termiske indeklima i kontorområderne, derved kunne den enkelte medarbejder selv vælge det område med den fortrukne termiske temperatur som passer til den enkelte medarbejder. Det samme vil gælde for det atmosfærisk indeklima, som man kunne visualiser og derved synliggøre hvor der er den største belastning og derved vælge sin plads på baggrund af det atmosfæriske indeklima.

Optimering af drifttid

Ved hjælp af data fra PIR-sensor (tilstedeværelse) på kontorpladserne i kontorområder, vil man kunne registrere et driftsmønster omkring de ansattes mødetider og tilpasse de enkelte tekniske anlæg til de aktuelle driftsmønstre. Det giver muligheden for at man kan få en mere tilpasset driftstid og på den måde en optimeret drift.

7.3.2 Boliger

For et beskedent beløb vil det være muligt at lave en analyse over den enkelt bolig eller lejlighed, et indeklimakit ville kunne bruges i flere stadier af byggeriet.

Overlevering af byggeri

Ved overlevering af et byggeri med beboelse, vil man kunne udføre commissioning ved hjælp af et indeklimakit. Med hjælp fra IoT-komponenter som måler CO₂, temperatur og aktivitet (PIR) vil man kunne verificere at der er det luftskifte som der skal være i boligen. Derved sikrer bygningsejer sig at, myndighedskrav og det som er projekteret overholdes.

Med hjælp fra et indeklimakit vil man kunne opdage de fejl og mangler som der måtte være, inden der opstår klager eller graverende fejl pga. for høj/for lav temperatur eller manglende luftskifte. Ved at stille krav til rådgiver om en dynamisk commissioning, kan man spare mandetimer på at lave kontrolmålinger på installationer som fungerer som de skal og i stedet målrette sin fejlsøgning og udbedring, på baggrund af de målinger som man modtager fra det opsatte udstyr.

Eksisterende byggeri

På et eksisterende byggeri vil man kunne lave en analyse af de nuværende forhold og bruge data til at kortlægge forholdene, inden man påbegynder en større renovering. Det sikrer at man får brugbare data som man kan holde op mod de nye forhold. På den måde vil man kunne fremlægge data og retfærdiggøre den renovering, som er udført og eftervise et bedre indeklima for ejer eller lejer.

I forbindelse med driftsadministration af en ejendom med lejelejligheder, vil man i tilfælde af klager over indeklimaet, kunne opsætte et indeklimakit. I løbet af kort tid ville man kunne melde tilbage til lejer om deres formodning omkring dårligt indeklima er korrekt, og man ville kunne målrette fejlsøgningen. Det ville skabe en større effektivitet af denne fejlsøgning og på den måde skabe en reducere af fejlsøgningstid.

Indeklimakit vil kunne skabe en forretning, både for administrator og bygningsejer.

Administrator

- Besparelse af mandetimer på fejlsøgning
- Mere målrettede løsninger
- Et fleksibelt værktøj, som både kan bruges i erhverv og beboelse

Bygningsejer

- Sikre sig en bedre commissioning af beboelsesejendomme
- Et mere tilfreds lejersegment pga. effektiv fejlsøgning og udbedring på baggrund af data
- Nemmere udlejning, da man vil kunne fremlægge indeklimaverificering af bygningen via målinger af boligens indeklima, ved fremvisning eller i annonce.

I forbindelse med dette værktøj er der et vigtigt element som man skal være opmærksom på og det er GDPR. Hvis der opsættes måleudstyr i en bolig hvor der er en beboer, skal man sikre sig at der er accept omkring brug af data, da man i forbindelse med måling af CO₂ og aktivitet kan kortlægge hvornår der er en person tilsted i den enkelte bolig.

7.4 System dynamics

Som vist tidligere i rapporten, har projektet påvist at IoT og datainfrastrukturteknologien er tilgængelig og på et modenhedsniveau, hvor det er muligt at implementere og anvende den i bygninger. Men når det kommer til værdiskabelse fra de data der indsamles, må man gentænke traditionelle forretningsmodeller. Det er der en række årsager til:

- IoT teknologi findes i høj grad i bygninger eller kan implementeres, men integreret infrastruktur på tværs af aktører (entreprenør, bygningsejer, facility management, brugere) er ikke eksisterende og partnerskaber skal startes fra bunden.
- Data- og værdistrømme er derved begrænset til den aktør, der ejer og driver hvert delelement af infrastrukturen. Derved hindres vigtige synergier for værdiskabelse af IoT data.
- IoT-data datastrømme skaber forskellig værdi for hver enkelt aktør afhængigt af 1) forskellige behov for dataaggregering, 2) forskellige tidshorisonter og 3) forskellige forretningslogikker og -modeller.

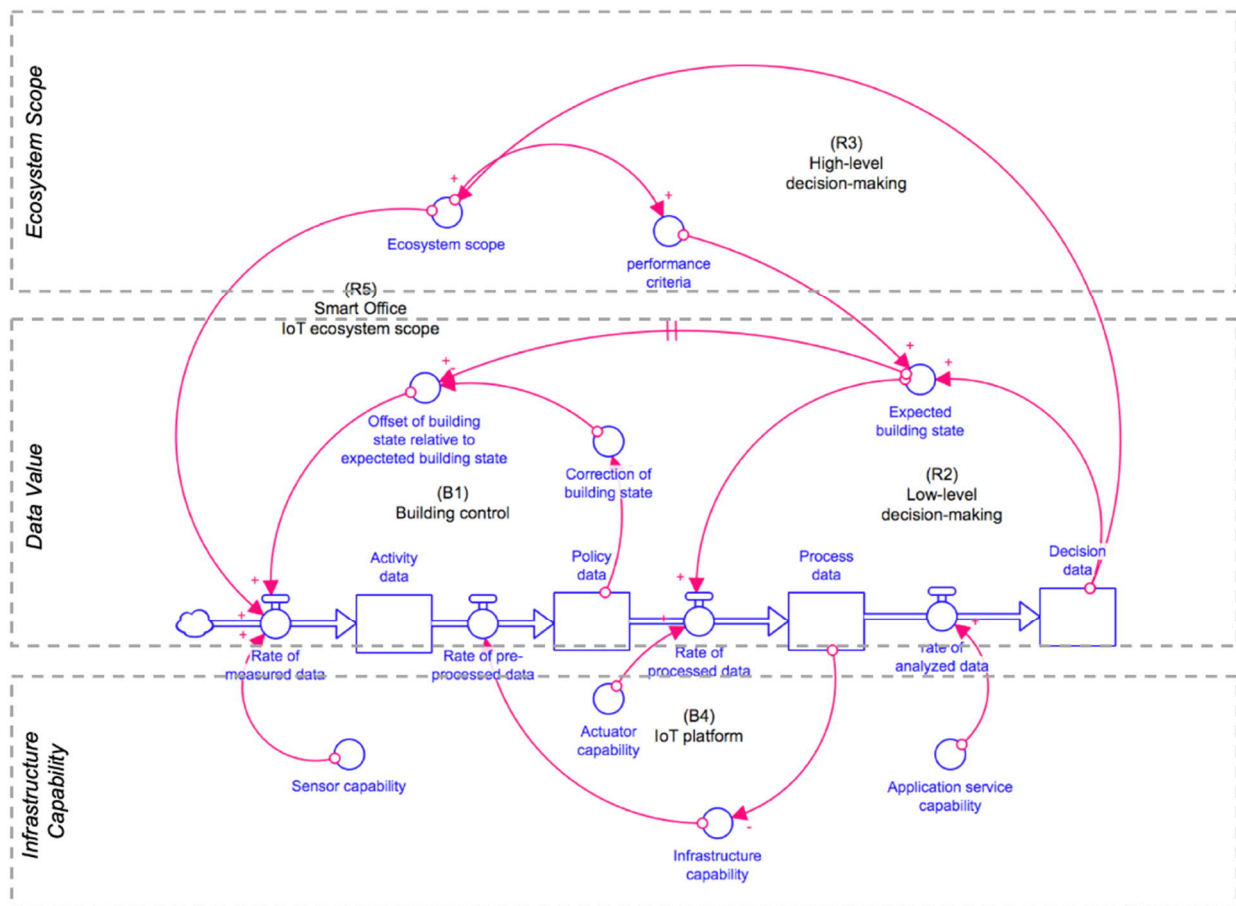
Eksisterende forskning undersøger overvejende IoT infrastrukturens arkitektur og karakteristika, og arbejdet med at undersøge værdistrømme i IoT økosystemet som helhed tilføjer dermed en dimension i forhold til værdiskabelse på baggrund af IoT data. På den baggrund har vi arbejdet ud fra at besvare hvordan værdistrømme i IoT økosystemer kan modelleres med henblik på at informere nye forretningsmodeller.

Metode - System Dynamics Simulering

For at modellere de komplekse feedbackloops, der gør sig gældende i data- og værdistrømme i IoT økosystemer, anvender vi system dynamics rammeværktøjet. System dynamics fanger vigtige karakteristika ved IoT økosystemer, der ofte er negligeret eller ignoreret af andre metoder: feedback mellem en række gensidigt forbundne systemkomponenter, der fører til ændringer i systemtilstanden over tid. Med andre ord fanger system dynamics de langsigtede konsekvenser af at forbinde aktører og teknologier på tværs af organisationer og systemer og de effekter dataopsamlingen kan have.

I økosystemer vil ændringer i én komponent påvirke de andre komponenter, der enten bliver forstærket eller dæmpet. Over tid kan disse påvirkninger mellem forskellige systemkomponenter føre til ændringer af det overordnede system.

Figur 42 viser en oversigt over forbindelser mellem forskellige komponenter i bygningsøkosystemet i relation til de datastrømme, der genereret af IoT infrastrukturen.



Figur 42 IoT økosystem til system dynamics model

Modellen opererer med tre overordnede parametre; IoT økosystem udbredelse (oversat fra scope og relaterer til graden af inddragelse af eksterne parter og aktører), IoT infrastruktur anvendelsesmuligheder (oversat fra capabilities), og IoT data værdiskabelse (refererer til typen af værdi, der skabes).

Parameter 1; IoT økosystemets udbredelse, er opdelt i tre forskellige lag, der hver især henviser til inddragelse af en gruppe af eksterne aktører:

- a) Kerneforretning bestående den forretningsenhed, der ejer og driver IoT infrastrukturen samt deres direkte kunder og leverandører. Det kan f.eks. være entreprenør samt bygherre og driftsleverandør.
- b) Udvidet forretningsnetværk bestående af den udvidede forsyningskæde samt tredjeparter, der nyder godt af IoT datainfrastrukturen. Det kan f.eks. være brugere af en bygning.
- c) Det omgivende forretningsmiljø bestående af f.eks. regulerende offentlige instanser, konkurrenter, og andre organisationer, virksomheder og aktører, der muligvis kan udlede værdi fra IoT data.

Parameter 2; IoT infrastrukturens anvendelsesmuligheder, angiver i hvor høj grad IoT infrastrukturen er i stand til at opfange og /eller respondere på aktiviteter som f.eks. bevægelse eller tryk på en knap, opstillede og faste regler såsom tilpasning af varme baseret på temperatur, eller om de kan bidrage med beslutningsstøtte for menneskelige operatører og analytikere. Denne sidste kategori omfatter også systemer, der kan tilpasse regler baseret på ændringer i overordnede datamønstre (ofte kaldt for AI).

Parameter 3; IoT data værdiskabelse, angiver hvordan værdi bliver skabt fra IoT data på tværs af aktører i økosystemet. Værdien er defineret i relation til de specifikke behov og kriterier, der opstilles af hver aktør. Således kan værdiskabelse defineres som enten direkte omsætning for kerneforretningen, generering af aktiver, der kan lede til øget omsætning eller indirekte værdi såsom branding, politisk goodwill etc.

Resultater

Da IoT infrastrukturen ikke er fuldt udrullet og har været i drift over en tilpas periode, er resultaterne ikke endeligt valideret og baserer sig på modellen som er fremkommet gennem den indledende analyse. Der kan siges at være følgende overordnede indsigter:

- IoT økosystemer i smarte bygninger omfatter en række aktører, der skal samarbejde for at maksimere værdiskabelse af IoT-baserede datastrømme.
- Det kræver nye forretnings- og partnerskabsmodeller, der ikke er defineret endelige udrullet.
- Store anvendelsesmuligheder af IoT infrastrukturen (avanceret funktionalitet) hæmmer på kort sigt aktivitetsbaserede datastrømme. Skal der udelukkende logges sensordata er det derfor hensigtsmæssigt at bygge en simpel IoT infrastruktur med basal funktionalitet.
- Omvendt giver store anvendelsesmuligheder i IoT infrastrukturen en højere grad af beslutningsstøtte og dermed højere grad af opbygning af værdigenererende aktiver såsom overvågningssystemer, analyser til bygningsudnyttelse osv.
- At implementere IoT infrastrukturen for kerneforretningen og udelukke eksterne aktører hæmmer datadrevet beslutningstagning, hvilket på sigt også resulterer i lavere direkte værdi af de aktivitetsbaserede sensordata.

Studiet er publiceret i artiklen "Value flows in IoT Ecosystems: Towards and IoT Data Business Model" (Andersen og Khan, 2019) der blev kåret til 'Best Research-in-Progress Paper' på European Conference of Information Systems 2019. Yderligere publikationer er under udarbejdelse.

7.5 Kravsstillelse i nybyg og større renoveringer

Som et udkomme af projektet, har projektet arbejdet med at investor/bygningsejer begynder at stille krav til at data fra driften skal indsamles. Dette gøres indledningsvis i forbindelse med nybyg og større renoveringer, hvor det er muligt at stille krav til entreprenøren om at der indkøbes udstyr, der sikrer at det er muligt at foretage en systematisk dataindsamling. I praksis gøres dette ved at der i den tekniske beskrivelse indføres krav om udstyr. Ideelt set, skal det gøres som beskrevet i dette projekt, men i praksis vil det i hvert fald indledningsvis nok udelukke en del aktører fra at kunne deltage.

Ligeledes skal dataindsamling afklares med interessenter i de enkelte projekter. Interessenter i form af virksomheder og deres medarbejdere i kontorejendomme, og beboere i boligbyggeri. Da interessenter i de enkelte projekter vil have forskelligt fokus og behov, så vil dette også betyde, at de enkelte bygninger i praksis vil få et skræddersyet projekt ift. målere.

Den tekniske beskrivelse vil få indarbejdet en standard for dataopsamling, og vil ifm. med udvikling af de enkelte ejendomme blive tilpasset det enkelte projekt.

8 Sådan ser vi fremtiden

Som skrevet i indledningen har visionen i projektet været at lave den datadrevne bygning. Eller i hvert fald specificere grundlaget for den datadrevne bygning. Det mener vi er lykkedes.

Samtidig mener vi i projektteamet at have vist, at der er store muligheder for både forbedret drift og forbedret design, som kan høstes ved en systematisk dataindsamling fra bygninger i drift.

I dette kapitel vil vi se fremad og vurdere, hvor vi ser fordele og udfordringer ved systematisk dataindsamling. Eller rettere ved den datadrevne bygning.

Altså hvordan vil vi i projektteamet komme videre med både teknik, omkostninger og værdiskabelse. Kapitlet vil beskrive både praktiske og mere "filosofiske" forhold, som skal med i fremtidens datadrevne bygning.

Helt overordnet kan vi konstatere, at der stadig er et vist skridt fra visionen og opbygning af konceptet for dataindsamlingsplatformen over de testede usecases med tilhørende eftervisning af potentialer og hen til en situation, hvor den datadrevne bygning baseret på tankerne i dette projekt, er en realitet. Især er det forretningsmodeller – eller rettere partnerskaber for dataindsamling og analyse – der skal defineres bedre.

Samtidig repræsenterer den datadrevne bygning grundlæggende en demokratisering af data, hvor ejer har mulighed for at kunne give adgang til (dele af) data til aktører og tredjeparter – og fjerne det igen, når deling ikke længere er relevant eller ønskværdig. Forskellige værktøjer til forskellige aktører.

8.1 Yderligere udvikling af platformen (NCC skriver)

Den i projektet udviklede platform, eller måske rettere kaldet platformsmetode (platform of platforms), har vist sig at have en lang række fordele i forhold til fleksibilitet, skalerbarhed og implementerbarhed i de bygninger den er testet på.

Det vil være helt naturligt at tænke fremtidige udvidelser af dataindsamlingen ind. Dette gælder både andre typer af eksisterende sensorer, som fx en ny billigere/bedre indeklimasensor, eller helt nye sensorer. Her gælder, at de nye sensorer bør overholde de leveregler, som tidligere er præsenteret, hvilket især vil sige, at der skal være et åbent api til rådighed. Dette gælder især også producenter af teknisk udstyr som fx elevatorer, ventilationsanlæg, varmepumper, kølemaskiner, spjæld, ventiler, pumper med flere. I projektet har der været dialog med producentforeningen VELTEK, og afholdt et møde med ca. 15 medlemmer om hvordan kravene kan implementeres.

Det er tydeligt, at metoden kan benyttes til mange andre bygningstyper end angivet i projektet. Der er i princippet ikke noget til hinder for at metoden kan bruges på alle bygningstyper – endda også byggepladser – men selvfølgelig skal dashboards og øvrig datapræsentation tilpasses til de aktuelle forhold.

I princippet kan der allerede nu i dataindsamlingsplatformen tilknyttes AI-algoritmer (artificial intelligence), som kan bruges til fx analyse af unormale forhold og give alarmer. Eller til at spore uhensigtsmæssige styringer. I projektet har vi dog valgt ikke at fokusere på denne mulighed. Men det vil være et naturligt næste skridt at bygge denne mulighed ovenpå.

Derudover er det en interessant tanke at udvikle platformen hen mod styring. Det ses allerede at der i branchen er tanker om at benytte data til aktiv styring. Det er dog valgt ikke at fokusere på dette i udviklingen af platformsmetoden (endnu).

8.2 Anvendelsesmuligheder

Dette afsnit er skrevet ud fra forventninger om hvordan det forretningsmæssige potentiale kan udvikle sig baseret på at de mere kortsigtede potentialer bliver indløst. Afsnittet tager udgangspunkt i dagens teknologi, så ikke kendte teknologier eller metoder medtages ikke. Så der er i princippet udelukkende tale om en mere fremsynet anvendelse af det som allerede findes i dag.

Bygningstyper

Der er i princippet ingen forhindringer for at installere sensorplatformen i alle bygninger; altså både i forhold til bygningstype og alder. Det kan installeres i nye bygninger og i forbindelse med større renoveringer – men også i eksisterende byggerier. Faktisk kan dataindsamlingen benyttes som udgangspunkt for at kvalificere en renovering. Selvfølgelig skal visualiseringen af data tilpasses til den faktiske bygning og til de ønsker der er for resultater fra dataindsamlingen.

Rightsizingprocedurer

For bygningsdesignere, kan analyse af længere driftsperioder i flere bygninger give input til optimeret sizing (eller rightsizing) af de tekniske installationer i bygninger.

Dette er dog ikke umiddelbart et produkt, man som bygningsdesigner kan sælge. Men værdien i analyse af data gør, at det vil være muligt med større vægt at kunne påpege at traditionelle designmetoder fører til en generel overdimensionering af fx ventilation, kølemaskiner og eltavler.

Udvidet datadrevne driftsovervågning

Den datadrevne driftsovervågning, der er beskrevet ovenfor under de kortsigtede potentialer, kan udvides løbende (organisk) med flere funktioner, som fx KPI/benchmarking af driften mod andre bygninger, space management, løbende commissioning/kontrol af CTS-anlæg, predictive maintenance af hele bygningen og ikke bare tekniske komponenter med mere. Flere af disse er beskrevet i de efterfølgende punkter.

Space management

På længere sigt kan man som driftsselskab tilbyde forskellige services til lejere. Det kunne blandt andet være at man via visualisering viser, hvor der er ledige mødelokaler, så man ikke skal bruge sin tid på at søge dem frem i sit kalendersystem.

Ved at udnytte tilstedeværelsesfølere og indeklimate målinger i de enkelte områder i en kontorbygning, vil man kunne tilbyde en service til sin lejere, hvor de har mulighed for at tilpasse deres hverdag på baggrund af indeklimaet.

Det vil også være muligt for at implementere et bookingsystem som er koblet sammen med de tilstedeværelsesfølere der er placeret under medarbejdernes borde. Så ville man kunne booke sig ind på en bestemt plads inden man ankommer til sit arbejde.

Styring af bygninger (alternativ til CTS – nu og i fremtiden)

I projektet fravalgte vi tidligt at se dataindsamlingen og platformen som en ny måde at lave styring af bygningen. Dels var der ikke da vi startede teknologi, der umiddelbart kunne bruges til dette. Omvendt har vi set at udbydere af CTS-anlæg er begyndt at tilbyde dataindsamling via skyen. Vi ser absolut muligheden som værende til stede, men er stadig ikke overbevist om, at vores fremgangsmåde kan udgøre fremtidens styring af bygninger.

Commissioning

I forbindelse med indregulering af bygningen, vil det være muligt tidligt at kunne starte en datadrevet tillægsydelse til den normale commissioningproces, hvor formålet vil være at kvalificere og assistere den 10 måneders driftsgennemgang, der ifølge DS3090 skal gennemføres via en række tests. Formålet i en normal commissioningprocedure er at eftervise compliance (overholdelse) med designkriterier.

Desværre siger de samme tests erfaringsmæssigt ikke ret meget om, hvorvidt bygningen faktisk fungerer i den efterfølgende drift. Her afviger brugen af bygningen ofte væsentligt fra de designkriterier, der er benyttet i projekteringen. Her er erfaringen, at leverandørerne har svært ved at få CTS-anlægget til at håndtere dette med et rimeligt omkostningsniveau.

Datadrevet funktionsanalyse (continuous commissioning)

I driftsfasen er det normalt bygningens CTS-anlæg, der står for styring og regulering af de tekniske anlæg. Det er dog ofte set, at data fra CTS-anlægget faktisk ikke er troværdige, eller at styringen af forskellige årsager ikke virker efter hensigten. Her bliver en egentlig kontrol af anlægget svært, da man så at sige kontrollerer styringen med styringen selv. Det gør fejlfinding besværlig eller umulig.

Her kan et af bygningsstyringen uafhængigt lag af sensorer bruges til overvågning og relevant indledende fejlfinding af bygningens indeklima/energiforbrug, som vil være mere effektiv end via CTS-anlægget. Denne fremgangsmåde er inspireret af den måde IT-systemer overvåges som kan kaldes datadrevet funktionsanalyse.

Driftsbudgetter (i nye og renoverede bygninger)

Det vil på baggrund af erfaringer fra faktisk drift være muligt at opstille et bedre bud på driftsbudgetter, end der gøres i dag. Det vil gøre det muligt at give et skarpere bud på både lejers faktiske udgifter i et givet lejemål, men også et bedre bud på, hvor tilbagebetalingstid eller forrentning af tiltag i projekteringen, der har som mål at give en bedre og mere effektiv drift.

Værdiskabende produkter baseret på tredjepartsadgang til data

Det er også en mulighed, at tredjeparter som får adgang til data, kan levere værdiskabende produkter, som kan sælges til lejer/ejer som fx abonnement. Det kunne fx være bedre rengøringservice, mere effektiv udnyttelse af kontorarealer med mere.

CSR for virksomheder

Det er endvidere muligt at benytte dataindsamlingen som grundlag for en meget mere detaljeret CSR-rapportering omkring virksomhedens udledninger, tilfredshed, med mere.

Forskning

Endelig kan data (i anonymiseret form) bruges til forskning med de resultater og den nye viden, som det kan give anledning til.

8.3 Perspektivering – fremtiden af den datadrevne bygning

I det helt store perspektiv har projektet vist, at der er helt nye muligheder i brugen af systematisk indsamlede data fra bygninger i drift. Vi er i dette projekt kun netop begyndt at finde brikkerne til puslespillet. Men helt overordnet har projektet vist, at der er så store perspektiver, at det er en potentiel "gamechanger" inden for den måde vi tænker drift og design.

Dataindsamlingen er muliggjort af den generelle udvikling inden for IoT-sensorer og den tilhørende infrastruktur. Dertil kommer at teknikproducenter er begyndt at berige deres produkter med datadrevne services. Men som det er beskrevet løbende gennem rapporten, er der endnu ikke nogen som har taget opgaven på sig at lave en dataindsamling for hele bygningen. Det er dog på vej, er vi sikre på.

I løbet af de små to år, som dette projekt har været, er der kommet flere nye leverandører på banen og flere af de første leverandører af dataindsamlingsydelser, er begyndt at levere højopløste data fra mange kilder.

Der hvor vores projekt adskiller sig fra de øvrige spillere, der tilbyder systematisk dataindsamling – på nuværende tidspunkt – er dog tilgangen med fokus på kun at benytte produkter med åbne api'er, som sikrer, at det er muligt at udskifte leverandører i alle led af dataindsamlingsmetoden; både sensorer med tilhørende cloud, integration til platformsudbydere, platformsudbydere og visualiserings- og analyseværktøj. Det er altså mere en metode end et produkt, vi har udviklet. En "platform of platforms". Det er dog samtidig også det som gør, at løsningen i praksis kan være lidt mere krævende i de faktisk valg, der træffes.

Vi stødte også løbende på at de løsninger vi valgte, ikke var modne endnu til det vi gerne ville have. Det betød blandt andet, at den dataindsamlingsplatform vi startede med, blev udfaset. Samtidig har det været en udfordring – eller måske i virkeligheden en kamp – at få systemerne til at være stabile. Det viser jo så også at der stadig er noget vej at gå inden dataindsamlingen er pålidelig.

Men vi er dog samtidig også overbevist om, at den måde som projektets tilgang til "platform of platforms", vil vinde frem i de kommende år, hvor det netop er muligt at shoppe rundt mellem forskellige udbydere. Dette også ud fra en erkendelse af at det ikke er muligt at få "det hele" i ét produkt. Overordnet er vi ret sikre på at der kommer kommercielt tilgængelige platforme, der kan det samme, som vi har udviklet. Fx kan vi se, at produktet Microsoft IoT Central meget langt hen ad vejen kan det vi har efterspurgt. Her er der blandt andet en tilgang, hvor der indbygget i IoT central er udviklet en api-integration, som gør at man ikke skal bruge tid og ressourcer på det.

Vi har set, at den viden man kan høste fra dataindsamling, er relevant for stort set alle aktører i en bygning. Og vi kan se, at det er stort set det samme data, der er vigtigt for alle aktører – men hvor analysen adskiller sig væsentligt for de forskellige aktører. Det betyder altså at den åbne tilgang og mulighed for deling er vigtig i forhold til at kunne give tredjeparter adgang til data, som de kan bruge til at levere nye værdiskabende ydelser og services. Og samtidig er det i øvrigt lige så vigtigt at dataejereren kan fjerne adgangen til data for de øvrige aktører.

I projektet har vi kaldt det for at vi "demokratiserer data". Vi mener sådan set at dette gennembrud i muligheden for dataindsamling er relevant i forhold til stort set alle lag i en virksomheds organisation; økonomi, HR, kommunikation. Det kræver at det ikke kun er teknikere, hvis faglighed skal i spil. Det skal antropologer, økonomer og humanister også. Men det kræver selvfølgelig en del mere arbejde at tilpasse de muligheder der ligger her. Som eksempel vil en overgang til free seating i en virksomhed kræve at alle de førnævnte kompetencer kommer i spil. Men nu suppleret med et meget mere konkret vidensniveau, der kan træffes beslutninger ud fra. Ultimativt er dataindsamling i projektholdets øjne en nødvendig forudsætning for at kunne udvikle fremtidens kontorarbejdspladser.

Tilbage i teknikken, kan vi se at opløsning af data betyder noget. Overgangen fra månedsaflysninger på hovedmålniveau til femminutters-data fra hovedforbrugere giver meget mere viden, som kan omsættes til konkret handling. Lidt retorisk kan man spørge, hvad der så ikke kan ske, når der kommer endnu mere detaljeret viden for både energi, indeklima, tilstedeværelse, driftsvariable, systemovervågning (fx af pumper)? Helt konkret har udviklingen af den datadrevne driftsovervågning givet et fantastisk overblik over

hovedforbrugerne i bygningen. Det giver basis for handling i form af en mere effektiv drift. Og samtidig kan vi med samme data designe næste bygning mere effektivt. I projektet kaldte vi produktet for "Michael-appen", fordi den ansvarlige driftsmand i Gladsaxe hed Michael.

Indtil videre har vi truffet to valg i projektet. Den ene er, at vi ikke vil bruge data til styring. Altså vi ser ikke umiddelbart dataindsamlingen som en erstatning for bygningens CTS-anlæg. I stedet så vi CTS-anlægget som én af de potentielle kilder til data. Det skyldes, at vi som udgangspunkt ikke kunne se dataindsamlingsplatformen som et alternativ til et traditionelt CTS-anlæg. Men vi har været fuldt ud bevidste om at det har kunnet bruges til at gøre det traditionelle CTS-anlæg mindre – altså fx behøver det ikke indsamle data fra energimålere eller lagre data i længere tid. Denne beslutning mener vi stadig er rigtig, men vi kan godt se potentialet i at de to på længere sigt vil smelte sammen. Den anden beslutning har været ikke at anvende Machine Learning (ML) og Artificial Intelligence (AI) i analysen af driftsovervågningen. Det skyldes især et ønske om at vi selv skal kunne se problemstillinger og muligheder inden vi så at sige "overdrager ansvaret" for læringen til en computer. Denne beslutning var også rigtig set i forhold til projektets gang og læring. Men vi er klar til at inkludere dette ekstra lag i arbejdet i fremtiden. Fx kan man forestille sig at driftsovervågningen selv kan give alarmer til driftspersonalet, når der var noget, som ikke er som det plejer, i stedet for at det er driftspersonalet der kigger på data.

Med den systematiske dataindsamling har vi fået et værktøj, som kan bruges til at udfordre "plejer". Vi vil gerne gå fra at dimensionere til at optimere designet af en bygning, så vi ikke spilder unødige ressourcer, både miljømæssige og økonomiske. Det kan aktørerne i projektet bruge i både drift og design. Men vi kan også bruge det samme datasæt til at hjælpe myndighederne med at opdatere krav i Bygningsreglementet, normer og standarder, så de bliver "klogere" og mere fleksible. Uden at det går ud over kvaliteten i byggeriet.

Endelig ser vi, at data kan bruges i forbindelse med fx DGNB-certificeringer, hvor der i dag kun stilles krav til designværdien for energiforbrug – og ikke det faktiske energiforbrug fra driften. Det vil være en væsentlig yderligere værdiskabelse at få dette med.

Der hvor vi mødte de største problemer i projektet var i forbindelse med vores ønsker om at udvikle forretningsmodeller for dataindsamlingen. Men billedet viste sig at være meget komplekst med en erkendelse af at værdiskabelsen sker mange forskellige steder. Til alt held kunne vi forklare den manglende succes med at formulere business cases med den store kompleksitet. Det er så at sige ikke nødvendigvis den som betaler, der høster gevinsten. Det er lidt samme problemstilling som ved energirenovering, hvor det er bygningsejer, der betaler, men lejer der sparer energiomkostninger. Her er det ovenikøbet yderligere kompliceret af at der først rigtigt kommer værdi af data, når der er flere brugere, der leverer data ind i platformen. Så dette område er næste store hurdle, der skal arbejdes med. I projektet så vi faktisk, at dataindsamlingen i virkeligheden burde ses som et partnerskab. Præcis som det projekthold vi har sammensat.

Altså vil vi opfordre alle til at starte med at stille krav om at data bliver indsamlet systematisk, så vi kan begynde at høste den værdi, der ligger i data. Om det så er bygherre, myndigheder, lejere eller designere.

9 Referencer

Alker, John (redaktør) med flere: Health, Wellbeing & Productivity in Offices. 2014. World Green Building Council. 2014

Andersen, Jonas Valbjørn og Khan, Donya Sheikh: Value flows in IoT Ecosystems: Towards an IoT Data Business Model. Twenty-Seventh European Conference on Information Systems (ECIS2019), Stockholm-Uppsala, Sweden. 2019

Bhatia, Akash; Yusuf, Zia; Misra, Nipun; Andersen, Phillip; White, Julia, Nandi, Shawn; Subramania, Jaishree og Bhat, Nikhila: Beyond predictive maintenance The 'art of the possible' with IoT. Boston Consulting Group og Microsoft. April 2019

Clausen, Tore: Potential for building operation optimisation of intensive IoT based building monitoring. Eksamensprojekt fra BYG.DTU, juni 2017

Danmarks Statistik. It-anvendelse i virksomheder 2017 – virksomheders digitalisering. Danmarks Statistik. Januar 2017 (<https://www.dst.dk/pubfile/20742/itvirk2017>)

Dansk Erhverv: Er Danmark klar til "Giganternes tid"? Dansk Erhverv, maj 2019 (<https://www.danskerhverv.dk/siteassets/mediafolder/downloads/analysenotater-2019/giganternes-tid-analyser.pdf>)

Khan, Donya Sheikh; Kolarik, Jakub; Hviid, Christian Anker; Weitzmann, Peter: Method identifying oversizing of mechanical ventilation systems in office buildings using airflow and electrical power measurements. 10th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings - Bari, Italy. 2019. Ikke udgivet endeligt endnu ved publikation af rapport

Ly, Jeffrey: Optimized operation of buildings using occupancy and real-life load data. Eksamensprojekt fra BYG.DTU, juni 2019

Lyng, Nadja og Witterseh, Thomas: TVOC-føleres anvendelse i vurdering af luftkvalitet. Teknologisk Institut, april 2018

Reinsel, David; Gantz, John; Rydning, John. The Digitization of the Work. From Ede to Core. IDC Whitepaper, November 2018 (<https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>)

Schild, P. G og Mysen, M: AIVC Technical Note 65. Recommendations on Specific Fan Power and Fan System Efficiency. International Energy Agency. December 2009