

08/2018  
ELFORSK

# FAIR COMMISSIONING

SLUTRAPPORT





08/2018  
ELFORSK

# FAIR COMMISSIONING

SLUTRAPPORT

PROJEKTNR.

A074798

DOKUMENTNR.

1.0

VERSION

1.1

UDGIVELSESDATO

31.08.2018

BESKRIVELSE

MNSC/EMZI/SGON/MSSO

UDARBEJDET

MNSC

KONTROLLERET

MGCH

GODKENDT

SGON



# INDHOLD

1	Indledning	7
2	Sammendrag	8
3	English summary	9
4	Baggrund	10
4.1	Beskrivelse af problemstilling	10
4.2	Formål med projektet	11
5	Behovsafklaring og pre-screening	13
5.1	Beskrivelse af koncept for fjerndiagnose af bygningers faktiske indeklime og energiforhold	13
6	Udvælgelse og test af målere samt udvikling af målepakker	20
6.1	Beskrivelse af sensorer, måleudstyr mv.	20
6.2	Energimålere	28
6.3	Varmemålere	29
6.4	Elmålere	31
6.5	Dataopsamling	32
6.6	Kombineret dataopsamling	35
7	FAIR COM - fra Proof of Concept til Standard koncept	38
7.1	Brugerinvolvering og snitflade	38
7.2	Måling af indeklime	39
7.3	Opsamling af data og dataudveksling	40
7.4	Visualisering via standardrapporter og brugere der selv ønsker at designe visning og analyser	41

7.5	Fra målinger og brugeroplysninger til analyse resultater	41
7.6	Viden om indeklima og energi som led i aftaler	42
8	Beskrivelse af cases og målinger	43
8.1	Casebygningerne og problemer	43
8.2	Anvendt hardware og software	46
8.3	Anvendt metode til udregning af energisignatur	46
8.4	Analyse af målinger på cases	51
8.5	Opsætning og vurdering af pris på målerpakker til FAIR COMopgaver	70
9	Konklusion samt perspektivering og anbefalinger til videre arbejde	72
9.1	Vurdering af besparelser på energiforbrug, driftsøkonomi mm ved fremtidig anvendelse af de udviklede metoder og måleinstrumenter	72
9.2	Udbredelse til andre bygningstyper	74
9.3	Reduktion i pris for energimærke og udbredelsen af samme	74
10	Udbredelse af projektets resultater	75
10.1	Anvendelse i aktuelle projekter	75
10.2	Præsentationer	75
10.3	Publikationer	75
11	Bilag 1 - individuel case beskrivelse	76
11.1	Villa i Fløng	76
11.2	Rækkehus i Stenløse	93
11.3	Børnehaven Kogletræet	104
11.4	Vuggestuen Kogletræet	122
12	Bilag 2 - Udbredelse og synergi med andre projekter	140
13	Referencer	142

# 1 Indledning

Denne rapport beskriver resultaterne af ELFORSK projektet FAIR Commissioning (Projektnr. 349-007), som blev gennemført i perioden 1.1.2017-31.8.2018.

I løbet af projektet er der udviklet et koncept for brug af trådløse sensorer og energimålere til gennemførelse af FAIR-commissioning af mindre bygninger, f.eks. daginstitutioner og boliger. Konceptet er udviklet med udgangspunkt i to daginstitutioner i Høje-Taastrup Kommune, et parcelhus- og et rækkehus.

Resultatet af projektet er, at der nu er udviklet et koncept for commissioning ved brug af trådløse energi- og indeklimamålere. Konceptet kan anvendes til flere typer af konkrete commissioning opgaver, f.eks. verifikation af indeklimakvalitet, energipræstation på tekniske installationer, herunder ventilationsanlæg, varmepumper, samt samlet bestemmelse af normaliseret u-værdi for klimaskærmen på baggrund af måledata.

Projektet blev ledet af DTU ved Bjarne W. Olesen og daglig koordineret af Ongun Berk Kazanci og Rune Korsholm Andersen fra DTU. DTU har særligt gennemført test af tilgængelige trådløse indeklimamålere og sensorer. Göran Wilke fra EXERGI har særligt medvirket til at udvikle og forberede selve FAIR-COM konceptet mhb. på klargøring til kommercialisering. Morten Koed Rasmussen fra Høje Taastrup Kommune har bidraget til at kommunens tekniske personale og brugergrupper har fået viden og erfaring med FAIR-Commissioning. Steen G. Olesen fra COWI, har på vegne af DTU stået for den praktisk del af projektledelsen i partnerkredsen samt Morten Stender Christensen og Emanuele Zilio, som har varetaget opgaven med dataopsamling og analyse af målinger fra casebygninger.

Disclaimer: Projektgruppen påtager sig intet ansvar for den videre anvendelse af projektets resultater.

Lyngby, august 2018

## 2 Sammendrag

I afsnit 4 bliver baggrunden for projektet beskrevet og hvorfor der ikke bliver foretaget commissioning på mindre bygninger. Dette skyldes mangel på økonomiske midler, viden, ingen tradition for at udføre commissioning og bekymring om juridiske forhold. Derefter bliver formålet med projektet beskrevet – nemlig at tilvejebringe og behandle nødvendige måledata for indeklima og energiforbrug med trådløse målere på en omkostningseffektiv måde. Dataene skal anvendes til at kortlægge årsagen til afvigende energiforbrug og dårligt indeklima i bygninger

Afsnit 5 beskriver – trin for trin – et koncept for fjerndiagnose af bygningers indeklima og energiforbrug. Det beskrives detaljeret, hvordan trådløse målere kan anvendes til at dokumentere og kortlægge afvigelser i indeklima og energiforbrug med et minimum forbrug af arbejdstid.

Afsnit 6 fortæller om DTU's test af trådløse målere og sensorer og en vurdering af, om de overholder fabrikanternes specifikationer og anvendeligheden af målerne. Derudover beskrives forskellige sensorer, varmemålere, elmålere samt dataopsamlingsystemer til trådløse målinger.

Afsnit 7 er en diskussion om, hvordan FAIR COM kan anvendes som et standardkoncept, hvordan brugere skal involveres og hvilke aftaler, der skal laves.

Afsnit 8 beskriver de case-bygninger, der er målt på og resultaterne af målingerne. Resultaterne er blevet anvendt til at bedømme indeklimaet samt udarbejde energisignatur og energimærke for hver af de 4 case-bygninger og sammenligne varmekonsumet med lignende bygninger. Derudover er der sat priser på målerpakker til undersøgelse af indeklima, energiforbrug, drift af varmepumpe samt udarbejdelse af energi-signatur og energimærke.

Afsnit 9 konkluderer på de opnåede resultater og kommer med anbefalinger til det videre arbejde.

Afsnit 10 fortæller om udbredelse af projektets resultater, der allerede nu har fundet anvendelse i et andet Elforsk projekt og et EUDP projekt.



### 3 English summary

Chapter 4 describes the background for the project and why commissioning is not used on smaller buildings. The reasons are lack of funds, knowledge, no tradition for commissioning in general and worries about legal issues. After describing the background, the purpose of the project is described: To provide and process the necessary measuring data for indoor climate and energy consumption with wireless in a cost efficient way. The data will be used to identify the causes of deviating energy consumption and insufficient indoor climate.

Chapter 4 describes – step by step – a concept for remote diagnosis of the indoor climate and energy consumption of buildings. Furthermore it is described how wireless sensors can be used for documenting and identify deviations in the indoor climate and energy consumption with a minimum use of labour hours

Chapter 6 elaborates on DTU's test of wireless sensors and meters with an assessment of whether the sensors and meters can meet the specs of the manufacturers and whether the sensors and meter are adequate. After that different sensors, calorimeters, electrical meters and data collecting systems are described for wireless measurements.

Chapter 7 is a discussion on how to use FAIR COM as a standard concept, how to involve the users and which contracts to include.

Chapter 8 describes the casebuildings used for measurements and the results of the measurements. The results have been used to assess the indoor climate and produce an energy signature and energy label for each of the 4 casebuildings. The measured heat consumption has been compared to the heat consumption of similar buildings. Furthermore costs have been assessed for different configurations of meters and sensors, that can be used for assessing the indoor climate and energy consumption, the operation of the heat pump and for producing the energy signature and energy label.

Chapter 9 concludes on the achieved results and provides recommendations for further work.

Chapter 10 describes the dissemination the project results which already now are being used in another Elforsk project and an EUDP project.

## 4 Baggrund

### 4.1 Beskrivelse af problemstilling

Både ifm. renovering og nybyggeri observeres ofte problemer med utilfredsstillende indeklima og/eller energiforbrug, der er markant afvigende fra det beregnede. Og ofte er problemet svært at kortlægge for byggeprocessens parter (brugere, bygningsejer, rådgiver og entreprenør): Er klimaskærmen eller de tekniske installationer projekteret og udført korrekt? Er det brugerne, der anvender huset forkert? Eller noget helt tredje? Skyldes det mangelfulde indeklima eller det høje energiforbrug, bygningens klimaskærm, driften af de tekniske installationer eller brugernes adfærd?

Brugen af målinger før og efter på lokalt vejr, energi, indeklima samt bruger/beboer brugsmønster kan i høj grad dokumentere og kortlægge problemernes omfang og årsag. Ved brug af avancerede analysemodeller er det muligt at adskille effekten af klimaskærm, teknik og brugeradfærd. Det betyder endvidere at det er muligt at udpege de reelle årsager til, at en bygning ikke opfører sig hensigtsmæssigt og placere ansvaret.

Målinger på disse parametre bliver ofte udført i større byggerier, f.eks. kontorbyggeri og produktionsfaciliteter, og typisk via et CTS anlæg. Sådanne målinger kan yderligere understøtte brugen af commissioning, som er et vigtigt værktøj til at identificere og eliminere problemer tidligt i byggeprocessen. Der kan yderligere banes vej for commissioning-aftaler ift. såvel entreprenører som Facility Management-selskaber og driftsorganisationer.

Der er dog visse bygningskategorier, hvor det ikke er normalt med disse målinger og/eller commissioning af flere grunde:

- > Der er ikke penge til det i budgettet
- > Der er ikke tradition for at gøre det
- > Der kan være juridiske udfordringer (GDPR) ift. at overvåge brugernes adfærd
- > Det er ikke udbredt kontraktformer og succeskriterier der kan anvendes til at vurdere, om de enkelte delleverancer rent faktisk er leveret
- > Det er uklart om der skal en 3. part til at stå for uafhængig vurdering af forhold, som skal løse evt. tvister mellem udbydere og kunde.

Der er ofte tale om små bygninger (Typisk op til 2.000 m<sup>2</sup>), hvor indpasning af et CTS-anlæg vil være for stor en udgiftspost på anlægsbudgettet og derfor bliver fravalgt. To af disse bygningskategorier er boliger og mindre institutioner (f.eks. børnehaver, plejeboliger, vuggestuer, SFO og lign.), der typisk ikke eller kun i begrænset omfang anvender CTS og commissioning – hverken ved renovering eller nybyggeri. Men disse to bygningstyper har ligeså mange problemer med indeklimate og/eller energiforbruget som andre bygningstyper f.eks. kontorbyggeri. Mere konkret er problemstillingerne:

- > Ved *renovering* af energimæssige årsager (f.eks. merisolering, indførsel af balanceret mekanisk ventilation mm.) forekommer der ofte den problemstilling, at de opnåede energibesparelser ikke opnås – og det er ofte svært, at klarlægge om årsagerne er brugernes/beboernes skyld (om de f.eks. har åbne vinduer og anvender en højere rumtemperatur eller benytter

bygningen mere end antaget ved projekteringen) eller mekaniske (f.eks. at en ventilationsveksler i drift ikke er så effektiv som beregnet). En undersøgelse udført af Niras for Energistyrelsen konkluderer, at den faktiske energibesparelse ved større energirenoveringer typisk udgør 50 % af den besparelse, som kunden blev stillet i udsigt.

- > Ved *nybyggeri* af disse bygningstyper forekommer der ofte lignende problemstillinger. Allerede nu kan der ses problemer med nyopført lavenergibyggeri, der overskrider det beregnede energiforbrug. En af årsagerne er brugerne, der skruer op for indetemperaturen (som beskrevet i <https://ing.dk/artikel/sparekrav-flopper-vi-skruer-op-varmen-i-lavenergihuse-181364>), hvilket kan forøge energiforbruget væsentligt. I tilfælde af uoverensstemmelser mellem bruger, entreprenør og bygherre/developer, angående et for stort energiforbrug, kan det være svært at placere ansvaret uden målinger på indeklima, energiforbrug og adfærd. Hver grad giver et ekstra energiforbrug på op til 25 %, men de store overskridelser ift. det beregnede varmefforbrug kan ikke alene forklares med en højere stuetemperatur.

For såvel renoveringsprojekter som nybyggeri er det således et stort behov for nogle måle- og aftalekoncepter, som klart og entydigt kan udpege årsagerne til manglende målopfyldelse, og som samtidig kan være grundlaget for commissioning og servicekontrakter.

## 4.2 Formål med projektet

Dette projekt har som overordnet formål at tilvejebringe og behandle nødvendige måledata på en omkostningseffektiv måde, således at disse data kan anvendes til at reducere og kortlægge årsagen til unødigt energiforbrug og dårligt indeklima. Der fokuseres på renovering og nybyggeri indenfor boliger og mindre institutionsbyggeri.

Dette gøres ved at:

- > Identificere målere til undersøgelse af indeklima og kortlægning af energiforbrug. Målerne skal være i stand til at kortlægge brugeradfærd, indeklima og energiforbrug så nøjagtigt, at årsagerne til afvigelser mellem beregnet og reelt indeklima og energiforbrug, indeklima og adfærd kan identificeres og kortlægges. Målerne skal endvidere kunne underbygge brug af eksisterende CTS, hvor der er visse målinger der mangler til at lave en fuldstændig analyse
- > Identificere og teste trådløse og prisbillige målere for at analysere, om de kan analysere data med tilstrækkelig god kvalitet. Der vælges trådløse målere, idet disse efterhånden er blevet så billige og teknisk af en så høj kvalitet, at de kan konkurrere med stationære målere. Endvidere kan trådløse målere nemt flyttes, i fald at en permanent måling og logning ikke er nødvendig
- > Udarbejde processer og opstille beregningsmetoder for anvendelse af data fra trådløse målere til vurdering af indeklimaparametre som temperatur og CO<sub>2</sub>. Derudover vil der opstilles processer og beregningsmetoder for anvendelse af data til at vurdere varmefforbruget opdelt i rumvarme og varmtvandsforbrug. Det vil endvidere blive undersøgt, hvordan disse data kan anvendes til udarbejdelse af energimærke og generelt en vurdering af, om varmefforbruget er acceptabelt for en bygning med denne funktion og alter. Endvidere vil data for elforbrug blive anvendt til at vurdere driften af en varmepumpe.

Projektet understøtter og komplementerer på god vis Elforsk projekter som "Energirigtig drift af det rette indeklima i bygninger" (ELFORSK 348-006), der fokuserer på CTS og commissioning i kommercielt byggeri (kontor og indkøbscentre) samt uddannelse af driftspersonalet. Derudover har projektet god synergieffekt med Elforsk projektet "Adfærd- og forbrugsmønstre ved energirenovering af boliger" (ELFORSK 347-025), der fokuserer på brugeradfærdens betydning for energibesparelser og indeklimateforbedringer ved energirenovering af etageejendomme.

*(Akronymet "FAIR-Commissioning" står for Ejernovervågning til Adfærds- og Indeklima Registrering, som en integreret del af energi & indeklima commissioning processen. Derudover har FAIR en overført betydning af korrekt og rimeligt).*

## 5 Behovsafklaring og pre-screening

Før man beslutter sig for at analysere en bygnings faktiske driftsforhold, er det vigtigt at fastlægge, hvad der skal fokuseres på, samt det valgte ambitionsniveau. Med dagens teknologi er det ikke særlig omkostningsfuldt at etablere faste eller midlertidig måling af indeklima og brugsadfærd. Lokale vejrdata er til rådighed fra vejtjenester og der findes IT-værktøjer, der kan analysere det faktiske brugsmønster. Tilsvarende findes der Cloud-tjenester der kan samle alle målinger og levere analyser, der udpeger årsagerne til evt. mangler.

I relation til renoveringsprojekter er det afgørende, at der gennemføres før-målinger, der beskriver de faktiske forhold suppleret med interviews af udvalgte brugere og driftspersonale. Det giver en nødvendig reference, når den renoverede bygnings driftsforhold skal renoveres. Samtidig giver denne slags før-målinger et godt grundlag for rådgiveres og entreprenørers vurderinger af den eksisterende bygnings faktiske forhold. Registrering af basale forhold såsom indendørstemperatur og faktisk luftskifte kan give en god forklaring på, hvorfor varmekonsumet er som det er før renovering.

Endelig kan pre-scanning være et fritstående værktøj/ydelse, som ejendommejer generelt bruger ift. sine ejendomme for at skabe et overblik over de faktiske forhold og som prioriterings-grundlag, når der skal udvælges, hvilke ejendomme der skal renoveres og i hvilket omfang.

I det efterfølgende afsnit beskrives et ressourceeffektivt koncept, hvor analyse- og rådgivningsindsatsen afhænger af, hvad den indledende pre-screening og kunderespons giver. Formålet er her helt bredt, nemlig at få en viden om en bygnings aktuelle tilstand. Om dette fører til en energirenovering, udskiftning af tekniske anlæg, vejledning af brugeren om god adfærd eller blot et energi- og indeklimamærke, der fortæller at ejendommen drives vel, er her ikke afgørende.

Essensen er, at selv om Danmarks ejendomme har en værdi på størrelse med de største firmaer i verden, så ved vi grundlæggende ganske lidt om deres faktiske tilstand og brug.

### 5.1 Beskrivelse af koncept for fjerndiagnose af bygningers faktiske indeklima og energiforhold

I det følgende beskrives et koncept for screening af en vilkårlig bygning et vilkårligt sted *uden* konsulentbesøg. Udgangspunktet er, at myndigheder, rådgivere, forsikringselskaber, finansieringsinstitutter skal kunne tilbyde sine kunder en ressourceeffektiv screening baseret på faktiske målinger af en bygnings indeklima og energiforhold. Analyser, rådgivning etc. formidles via web, mails og telefonsamtaler.

I dag er det omkostningsfuldt at sende energiekspertes ud til at gennemgå bygninger med henblik på at udpege evt. fejl og mangler. Løsningen er at introducere en indledende screening *uden* kundebesøg, som skal udpege de 'syge' bygninger, dvs. der hvor det er noget at komme efter.

Det betyder, at den ressourcekrævende rådgivningsindsats kan fokuseres på de bygninger, hvor klimaskærm, de tekniske anlæg eller brugernes adfærd er mangelfuld, og afføder et ringe indeklima og/eller et højt energiforbrug.

Screeningen skal tilmed udpege, hvad der er galt og derved hvilken type ekspert som kan sikre en hensigtsmæssig 'behandling'. Hvis hovedproblemet er brugernes adfærd, skal der ikke sendes en isoleringsekspert.

Tilsvarende skal fjerndiagnosen give de 'raske' bygninger en melding om, at bygning og drift er i orden, og at det ikke er nødvendigt med supplerende analyser. Denne viden kan have stor værdi for såvel nuværende som fremtidige brugere af ene ejendom.

Konceptet er imidlertid ikke blot egnet til at afklare om eksisterende og/eller nye bygninger lever op til forventningerne og et godt indeklima samt et lavt ressourceforbrug. Konceptet er også udfordret som et commissioning værktøj, hvor energiforbruget sættes i relation til inde- og udeklima samt det aktuelle brugsmønster.

Tanken er, at entreprenør ifm. en aftale om et nybyggeri eller en større renoveringen vedlægger en række simuleringer, som beskriver indeklima og energiforbrug under *varierende* forudsætninger vedr. vejrforhold og brugsmønster.

Tilsvarende kan konceptet bane vej for forskellige former for Facility Management, hvor services firmaer overtager ansvar for varme- og indeklima, hvor aftalen sikrer, at kunden får et ønsket indeklima og en lav varmeregning.

I måleperioden sammenlignes de faktiske forhold med de simuleringer, der matcher virkeligheden mht. vejr, brugsmønstre og indeklima. Perioden kan gå fra en enkelt måned til f.eks. 3-4 måneder.

Konceptet baseres på et Cloud-baseret værktøj, der kan sikre en ressourceeffektiv håndtering af målinger, analyser såvel som kommunikationen med brugerne.

Der stilles ingen krav til brugerne om særlig viden om energi- og indeklima. Omvendt skal brugerne deltage i en dialog med eksperterne samt sikre, at disse får relevant viden om bygning og brugsmønstre. Her er mobiltelefon og web-service gjort til omdrejningspunkt for vidensdeling.

Kravet til brugerne er, at de afsætter nogle ganske få timer til at indhente og kontrollere oplysninger fra offentlige registre, besvare almindelige spørgsmål om bygningens indretning og brug, samt tage fotos med smartphones af relevante bygningskomponenter og uploade disse til rådgiverens webservice.

Omdrejningspunktet i konceptet og kommunikationen med kunden er en scannet plantegning for bygningen, som samler al information med links til fotos, dokumenter, måleudstyr og analyser. Det er også via en plantegning, som selve afrapporteringen vil blive bygget op omkring.

Forløbet kan betragtes som en trappe med flere trin. Bemærk dog at ved for mange brugere vil det dog ikke være aktuelt eller nødvendigt at gå hele vejen.

### **Trin 1: Kundekontakt og udtræk af offentlige data**

Første trin er, at der etableres kontakt til en interesseret kunde. Det kan være en husejer, der henvender sig med et ønske om at få kontrolleret sin bygning. Omvendt kan det være en kommune eller et forsikringselskab, der skal kontakte udvalgte kunder i bygninger, som typisk har et behov for eftersyn eller renovering.

'Rådgiveren', dvs. den person der står for fjerndiagnosen, indhenter data fra offentlige registre om den pågældende bygning. Det drejer sig om data fra OIS/BBR om bygningens materiale og arealforhold, tekniske installationer, faktisk energiforbrug samt evt. energimærke.

Samtidig bedes kunden scanne sende/scanne en plantegning af bygningen. Tegningen bruges til den videre dokumentation og formidling.

Kunden præsenteres via Web for offentlige data om bygning, forsyning, arealer og evt. eksisterende energimærkerapport.

I Web-formular bedes kunden kommentere evt. fejl i de viste offentlige data, samt supplere med fotos og evt. dokumenter om varmeanlæg, gennemførte renoveringer, aktuelt brugsmønstre samt en subjektiv vurdering af det oplevede indeklima.

Kunden forventes ikke at være ekspert på indeklima og energi, men en god beskrivelse af de faktiske forhold samt fotos af tekniske installationer m.v. skal netop give rådgiveren mulighed for at få indsigt i de faktiske forhold, uden at være til stede.

*Resultat: Rådgiveren præsenterer det indsamlede materiale, suppleret med kommentarer og gode råd fra rådgiver.*

*Oplægget afsluttes med et forslag til kunden, om de bør gå videre og måle det faktiske indeklima og/eller energiforbrug - eller ej.*

## Trin 2: Måling af indeklima

Hvis begge parter vurderer, at det vil være formålstjenligt at måle det faktiske indeklima i en kortere periode, fremsendes indeklimatemålere med automatisk upload af data til en Cloud-tjeneste.

Ved at måle temperatur, fugt, CO<sub>2</sub> og støj og sammenholde dette med lokale vejrdata kan det faktiske indeklima vurderes såvel som bygningens tæthed, behov for mekanisk ventilation osv. Hertil kommer muligheden for at vurdere virkningen af bygningens faktiske brugsmønstre.

Variationer i indeklimatet afhængig af samtidige variationer i udetemperatur, vind- og solforhold kan give en indikation af bygningens isolering – se mere herom i Trin 3.

Det umiddelbare formål med at måle indeklima her er at få kortlagt kvaliteten af det faktiske indeklima samt brugsmønstre. Bygninger bygges jo for at få plads, gode funktioner, design og et godt indeklima. Det er særlig vigtigt at indeklimatet er i orden, mens der er personer tilstede.

Kunden placerer én indeklimatemåler midt i boligen, hvorefter rådgiver og kunde begge har adgang til online-visning af målinger. De hyppige målinger – hvert 5. min. – gør det muligt at lave dynamiske analyser af luftskifte, tilstedeværelsen af personer etc.

*Det bemærkes, at der er tale om personfølsomme oplysninger, hvor rådgiveren skal behandle data fortroligt, samtidig med at kunden har givet skriftlig tilladelse til rådgiveren om at få adgang til måledata.*

I forbindelse med dette trin bedes kunden om at tage fotos med mobilen af forhold, der kan have betydning for indeklima – f.eks. utætte vinduer, ventilationsriste, fugtpletter etc.



Figur 1: Eksempel på dokumentation af målinger





Figur 2: Eksempel på skærmbillede med visning af måling og pågældende rum, der er er målt på

Ud fra hyppige målinger af variationer i indeklimaet kan den menneskelige aktivitet beregnes, dvs. om det er meget høj, høj, lav eller slet ingen aktivitet.

Denne type 'Activity Index' kan dernæst anvendes til at beskrive det faktiske indeklima i perioder med mange, få eller ingen personer til stede. Se nedenstående eksempel.

Activity class	Time %	Temp. °C	Humidity %	CO <sub>2</sub> ppm	Noise Avg. dB(A)
Very High	10	23.4	37	1,076	35.4
High	15	23.2	37	963	35.8
Low	22	23.1	36	893	32.5
Very Low	52	22.5	35	478	32.1
Average	100	22.8	35	692	33.4

Week 17 (23.04 - 29.04)

Resultat: Kunden kan efter en uge modtage en rapport om det faktiske indeklima. Efter én måned kan der leveres en udvidet rapport med nøgletal for indeklima og tilstedeværelse. Rådgiver kan derefter supplere med kommentarer til viden om bygningen og give gode råd om tiltag der kan forbedre indeklimaet.

Rådgiver og kunde afgør om dette trin analyser og afdækker de mulige udfordringer og/eller om det er relevant at udføre en fjerndiagnose af bygningens energiforbrug.

### Trin 3: Måling af energiforbrug m.v.

Oplysning om en bygnings samlede energiforbrug på årsbasis kan give en indikation på, om bygningens klimaskærm og de tekniske anlæg er i orden. Vejret har selvsagt en stor betydning, hvor en koldt vinter typisk kan forøge varmemeforbruget med 10 % ift. et gennemsnitsår.

Tilsvarende er bygningens indendørs temperatur afgørende. En ændring på blot én grad °C ændrer varmemeforbruget med 7 % i ældre byggeri. I den lovpligtige energimærkeberegning antages bygningen at have en temperatur på 20 °C i fyringsperioden. Hvis der i virkeligheden er 23 °C, så er det faktiske forbrug ca. 20 % højere.

Hvis man ønsker at få et mere præcist billede af en bygnings behov for at få tilført varme, og mulighed for at besvare spørgsmålet, *hvorfor* en bygning har et højt varmeforbrug, er det nødvendigt at have hyppige målinger af det faktiske varmeforbrug, suppleret med målinger af indeklima og lokale vejrdata. Det er forskellen i klimaet inde og ude som er styrende for, hvor meget energi en bygning skal tilføres.

I dette trin analyseres en bygnings varmetab for hvert døgn, evt. hver time. Disse målinger stilles overfor timeværdier for lokalt vejr samt 5. min. værdier for indeklima.

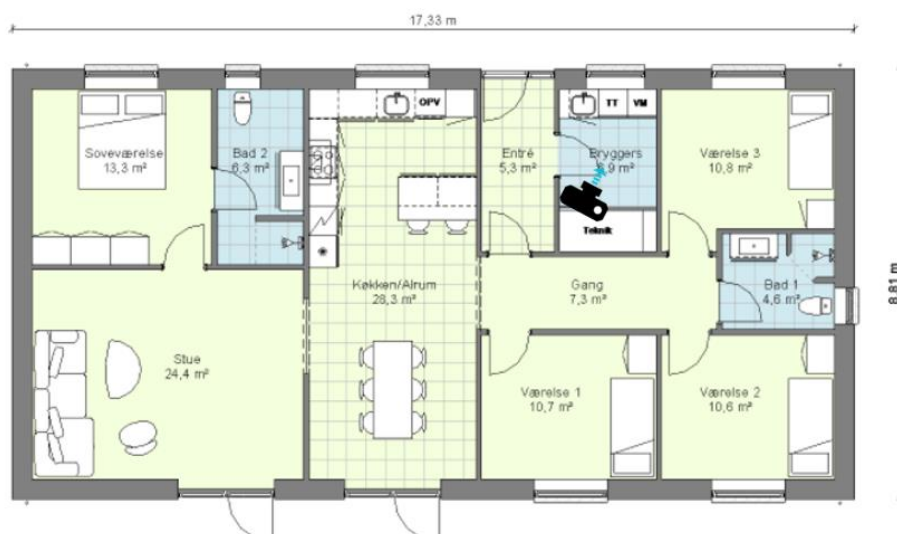
Data om det faktiske varme-, el- og vandforbrug kan tilvejebringes på følgende tre måder:

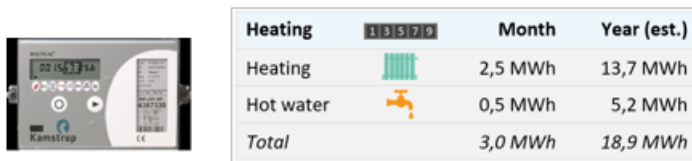
- Direkte træk fra forsyningselskab i områder med fjernaflæste målere. *Kunden tager et billede af måler (-ID) og uploader dette til Web-tegning suppleret med accept af, at data leveres til rådgiver.*
- Digital aflæsning af eksisterende varmemåler. *Kunden får tilsendt udstyr, som monteres direkte på måler, og som registrerer enten blink eller den faktiske displayvisning. Installation dokumenteres med foto.*
- Opsætning af en midlertidig varmemåler med data upload-funktion. *Dette forudsætter kundesøg af installatør.*

Dette datasæt gør det muligt at analysere varmetab samt evt. variationer i effektiviteten i de tekniske anlæg. Sidst, men ikke mindst, kan der beregnes et automatisk energimærke, hvor der tages højde for de faktiske vejrforhold og indeklima. For at gøre resultatet sammenligneligt med det traditionelle energimærke, kan der her korrigeres for såvel afvigelser ift. til standardantagelser om 20 °C og et luftskifte på 0,5/h.

Kunden/forsyningen supplerer med info om, hvad der måles, f.eks. varmeforbrug på *rumvarme* og/eller *varmt brugsvand*.

Kunden modtager først en ugerapport, som viser varmeforbruget i en uge og dernæst over 3–4 måneder mhp. en efterfølgende opskalering til et helt år.





Figur 3: Eksempler på overordnet beskrivelse af målerplacering og output

Ud fra oplysninger om vejrdata (temperatur og solstråling), indeklima samt tilført varme i hvert døgn beregnes en række nøgletal for bygningen samt energiforbrug afledt af brugsmønstre, f.eks. varmt brugsvand.

Ved at kombinere de beregnede nøgletal med vejrdata for hhv. de aktuelle måneder og det danske normalår kan estimeret årsforbrug beregnes. For at gøre dette kompatibelt med det traditionelle energimærke, kan der korrigeres for afvigelser ift. 20 °C.

### Energy label and yearly consumption



**Energy label:** A 2010 (Calculated after BE10 - Denmark)



**Energy Supply:** 12,555 kWh/year (42 kWh/m<sup>2</sup>\*year)

- Measured data calibrated to 20 °C indoor and standard DK-Weather conditions

Rådgiveren sammenfatter energianalyserne og indarbejder resultaterne i en samlet infomappe med anbefalinger om evt. yderligere tiltag, herunder evt. kundebesøg. Alt materiale tilhører kunden.

Screeningen afsluttes med et telefonmøde med kunden, hvor den fremsendte rapport gennemgås og anbefalinger drøftes.

I tilfælde af at kunden ønsker at gå videre med afsæt i den samlede dokumentation af bygningens faktiske indeklima og energimålinger, modtager kunden information om efterfølgende tiltag.

## 6 Udvælgelse og test af målere samt udvikling af målepakker

### 6.1 Beskrivelse af sensorer, måleudstyr mv.

#### 6.1.1 Introduktion

Antallet af trådløse og billige indeklimasensorer stiger i takt med at de elektroniske komponenter forbedres og bliver billigere. Denne udvikling gør det muligt at anvende et stort antal sensorer i bygninger for at forbedre idriftsættelsen og styringen af indeklimaet. Disse sensorer kan muligvis erstatte de sensorer, der er integreret i CTS anlæg i bygningen, som ofte er dyre at installere. I bygninger uden CTS kunne sensorerne bruges til at udvikle en ekstern og billigere driftsproces til mindre bygninger. Men hvis disse sensorer bliver brugt til idriftsættelse og diagnosticering af bygningsdriften, er det afgørende at bestemme deres målenøjagtighed og begrænsninger.

Inden for rammerne af denne undersøgelse blev der foretaget en grundig analyse af de kommercielt tilgængelige trådløse indeklimasensorer og seks sensorer fra forskellige producenter blev valgt. Disse sensorer blev testet i et klimakammer under strengt kontrollerede temperatur- og CO<sub>2</sub> koncentrationer (temperaturer på 16, 20, 25 og 30 °C og CO<sub>2</sub> koncentrationer på 400, 800, 1200, 1600 og 1930 ppm, hvilket resulterede i 20 kombinationer). Tre identiske sensorer for hver af de seks udvalgte sensortyper blev testet. Derudover blev virkningerne af kalibreringstemperaturen på nøjagtigheden af CO<sub>2</sub> målingerne og virkningerne af forskellige fugtighedsniveauer på CO<sub>2</sub> målingerne undersøgt. Målingerne af temperatur, relativ fugtighed og CO<sub>2</sub> koncentration fra sensorerne blev sammenlignet med referenceinstrumenter for at kvantificere afvigelserne fra de faktiske forhold i klimakammeret.

At bestemme mulighederne og begrænsningerne for trådløse indeklimasensorer (kvantificering af afvigelserne fra de aktuelle forhold) gør det muligt at studere virkningerne af hver af disse sensorer på driften af bygningernes klimasystem, energiforbrug og indeklima, hvis f.eks. sensorerne bruges til at styre ventilationssystemet.

Tilgængelighed af trådløse, billige indendørs overvågningsenheder stiger med den forbedrede måleteknologi. Denne udvikling åbner muligheden for at anvende et stort antal af disse sensorer i bygninger for at forbedre idriftsættelsen og styringen af indeklimaet.

Disse sensorer kan muligvis erstatte de kablede sensorer integreret i bygningens CTS system, som ofte er for dyre at installere, eller kunne bruges til at udvikle en ekstern og billig proces til mindre bygninger (der typisk ikke har CTS systemer). Men hvis disse sensorer skal bruges til idriftsættelse og diagnosticering af bygningsdriften, er det afgørende at bestemme deres styrker og begrænsninger.

En nylig undersøgelse sammenlignede to trådløse indeklimasensorer i et klimakammer under forskellige temperatur- og CO<sub>2</sub> koncentrationskombinationer og identificerede en afhængighed mellem temperatur og CO<sub>2</sub> koncentration (Petersen et al. 2018). Kolarik og Olesen (2015) studerede indflydelsen af måleusikkerhed på klassificering af termisk indeklima i bygninger baseret på feltmålinger, og Kazanci et al. (2018) rapporterede for nylig en række feltmålinger fra bygninger med ter-

misk aktive byggesystemer. De sidste to undersøgelser kunne have haft gavn af trådløse indeklimasensorer til udførelse af feltmålinger. Målingernes nøjagtighed er imidlertid en afgørende faktor, hvis de trådløse indeklimasensorer skal erstatte nogle af de mest anvendte sensorer.

Hovedformålet med denne undersøgelse var at bestemme nøjagtigheden af temperatur-, relative fugtigheds- og CO<sub>2</sub>-koncentrationsmålinger fra de valgte trådløse indeklimasensorer. Derudover blev virkningerne af kalibreringstemperaturen på nøjagtigheden af CO<sub>2</sub>-målingerne og virkningerne af forskellige fugtighedsniveauer på CO<sub>2</sub>-målingerne undersøgt for at bestemme, hvilke parametre der påvirker nøjagtigheden af CO<sub>2</sub>-koncentrationsmålingerne. Under undersøgelsen blev afhængigheden af lufttemperaturen på CO<sub>2</sub>-koncentrationsnøjagtigheden for de testede sensorer undersøgt. Det blev også undersøgt, hvordan måleusikkerheden af CO<sub>2</sub> koncentrationen afhang af selve CO<sub>2</sub> koncentrationen.

Lineær regressionsanalyse blev brugt til at finde den dominerende faktor, der påvirker CO<sub>2</sub>-målingsnøjagtigheden af hver sensor. De betragtede parametre var: temperaturen, CO<sub>2</sub>-koncentrationen, relativ fugtighed og kalibreringstemperatur for de sensorer, hvor manuel kalibrering var muligt.

### 6.1.2 Metode

I begyndelsen af projektet blev der udført en markedsundersøgelse for at bestemme de kommercielt tilgængelige trådløse indeklimasensorer. 44 sensorer blev i alt identificeret.

Baseret på et sæt af kriterier (temperatur, relativ luftfugtighed og CO<sub>2</sub>-koncentrationsmåling, internetforbindelse, mulighed for realtids-tracking, nem adgang til målte data, tilgængelighed og pris) blev listen indsnævret til seks sensorer fra forskellige producenter. Tre identiske sensorer for hver af de seks udvalgte sensortyper blev testet.

Tabel 1 opsummerer temperaturmålinger, relativ luftfugtighed og CO<sub>2</sub>-koncentrationsmålinger af de valgte sensorer og Tabel 2 sammenligner nogle af sensorernes tekniske funktioner.

Sensors	Temperature [ <sup>0</sup> C] (range and accuracy)	Relative Humidity [%] (range and accuracy)	CO <sub>2</sub> concentration [ppm] (range and accuracy)
A	20 – 80 <sup>0</sup> C, ±0.3	0 – 95, ±2	380-10000, ±30
B	-40 – 100 <sup>0</sup> C, ±0.3	0 – 100, ±3	0-3000, ±30
C	-10 – 85 <sup>0</sup> C, ±0.4	0 – 100, ±3	400-2000, ±50
D1	0 – 50 <sup>0</sup> C, ±0.3	0 – 100, ±3	0-5000, ±50
D2	0 – 50 <sup>0</sup> C, ±0.3	0 – 100, ±3	0-5000, ±50
E	-10 – 40 <sup>0</sup> C* <sup>1</sup>	0 – 100, ±10	400-5000, ±50
F	-40 – 85 <sup>0</sup> C, ±0.5	0 – 100, ±3	0-10000, ±50

Tabel 1: Måleusikkerhed

<sup>1</sup> The manufacturer indicated an accuracy of ±10 % for temperature measurements.

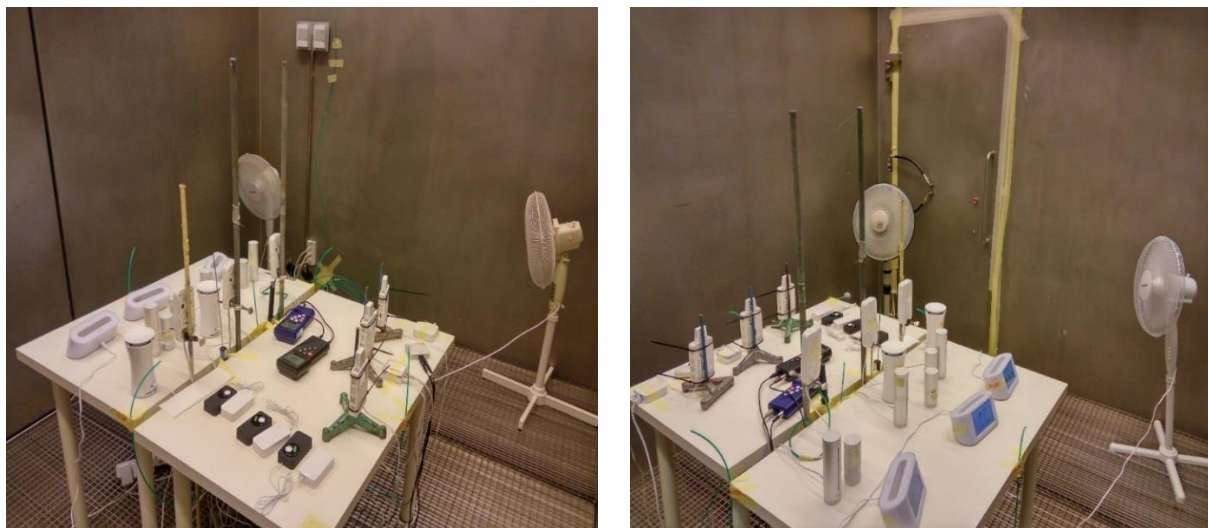
Sensor	#Units	Power	Age	Monitoring	Calibration	Internal Memory	Sampling Interval
A	3	Wall Plug	Used	Portal	Auto&Manual	Yes (7 days)	5 minutes
B	3	Wall Plug	Factor new	Portal & Phone App	Auto&Manual	No	1 minute
C	3	Battery (6 months)	Factor new	Portal & Phone App	Auto&Manual	Yes (72hours)	15 Minutes
D1	2	Wall Plug	Used	Portal & Phone App	Auto&Manual	Yes (7 days)	5 minutes
D2	2	Battery (1 year)	Used	Portal & Phone App	Auto	Yes (7 days)	5 minutes
E	3	Wall Plug & Battery (5 hours)	Factor new	Phone App	Auto	Yes (3GB capacity)	10 Seconds
F	2	Wall Plug	Factor new	Phone App	Auto	No	1 minute

Tabel 2: Oversigt over funktionerne for hver sensor

### 6.1.3 Forsøgssetup

Forsøgene blev udført i et klimakammer ved Center for Indeklima og Energi på Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet. Klimakammeret havde dimensionerne 3,6 m x 2,5 m x 2,5 m (L x B x H) og alle overflader var af rustfrit stål. Forsøgene blev udført i et klimakammer ved Det Internationale Center for Indendørs Miljø og Energi, Institut for Byggeri og Anlæg, Danmarks Tekniske Universitet. Klimakammeret havde dimensionerne 3,6 m x 2,5 m x 2,5 m (L x B x H) og alle overflader var rustfrit stål. Temperaturen og den relative luftfugtighed i klimakammeret kan indstilles mellem henholdsvis 10-40 ° C og 10-90 %. Det er muligt at levere op til 70 luftskifter pr. time ved fortrængningsventilation fra klimakammerets gulv. Luften leveres i klimakammeret fra hele gulvfladen gennem perforerede metalplader.

Alle de valgte sensorer blev anbragt inde i kammeret. Deres respektive positioner (dvs. vandret eller lodret) fulgte anbefalingerne fra producenterne. CO<sub>2</sub> blev doseret gennem forsyningsventilationskanalen og fire ventilatorer blev brugt i hvert hjørne af kammeret for at sikre fuld opblanding og ensartet CO<sub>2</sub>-koncentration i kammeret. Målingerne blev udført under steady state betingelser for temperatur og CO<sub>2</sub> koncentration. Figur 4 viser forsøgsopsætningen.



Figur 4: Forsøgssetup

Hovedformålet med forsøgene var at kvantificere målefejlene i temperatur, relativ fugtighed og CO<sub>2</sub>-koncentration af hver sensor og at bestemme virkningerne af forskellige parametre på CO<sub>2</sub>-koncentrationsmåling af hver sensor.

Sensorerne blev testet under strengt kontrolleret temperatur og CO<sub>2</sub>-koncentration. Hver kombination af temperatur og CO<sub>2</sub>-koncentration blev holdt konstant i kammeret i mindst 2 timer for at sikre en tilstrækkelig mængde af indsamlede data til senere analyse. Under målingerne var det ikke muligt at styre den relative luftfugtighed og den relative fugtighed under målingerne var således en funktion af den absolutte fugtighed udendørs og temperaturen i kammeret. Begge parametre var under de enkelte målinger nogenlunde konstante, hvilket resulterede i at den relative fugtighed kun svingede med 4 %-point under de enkelte målinger. Under den første fase af forsøgsproceduren blev virkningen af forskellige temperaturer og forskellige CO<sub>2</sub>-koncentrationer på CO<sub>2</sub>-måle nøjagtigheden af hver sensor undersøgt. Tabel 3 opsummerer forsøgsbetingelserne i forsøgets første fase (CO<sub>2</sub>-sensorer blev kalibreret ved 20 ° C før disse målinger).

	Test Temperatures [°C]		Test CO <sub>2</sub> Concentrations [ppm]					
	16	20	400	800	1200	1600	1930	
	32.8% RH	27.7% RH	38% RH	27.1% RH	51% RH	29.7% RH	42.4% RH	23.2% RH
	21.9% RH	8.3% RH	21.7% RH	7.9% RH	19.5% RH	8.2% RH	10.6% RH	7% RH
							12.9% RH	4.7% RH

Tabel 3: Eksperimentelle forhold i den første fase af forsøgene

I anden fase af forsøgene blev det undersøgt, om kalibreringstemperaturen påvirker sensorernes CO<sub>2</sub>-præcision. I løbet af dette trin blev de sensorer, der kan kalibreres manuelt, undersøgt (A, B, C, D1). På grund af tidsbegrænsning var det ikke muligt at undersøge alle de temperatur-CO<sub>2</sub>-

koncentrationskombinationer, der blev betragtet i forsøgets første fase. Tabel 4 opsummerer forsøgsbetingelserne i anden fase af forsøgene (CO<sub>2</sub>-sensorer blev kalibreret ved 30 ° C før disse målinger – i første del af forsøgene blev sensorerne kalibreret ved 20 °C).

Calibration Temperature		30 [°C]			
Sensors		A, B, C, D1			
Test Temperatures [°C]	Test CO <sub>2</sub> Concentrations [ppm]				
	400	800	1200	1600	1930
16	32.8% RH	Not Conducted	Not Conducted	Not Conducted	Not Conducted
30	8.3% RH	7.9% RH	8.2% RH	12.9% RH	4.7% RH

Tabel 4: Eksperimentelle forhold i anden fase af forsøgene

I den sidste fase af forsøgene blev virkningen af relativ luftfugtighed på CO<sub>2</sub>-målefejlen for hver sensor undersøgt. Alle eksperimenterne i første fase af målingerne blev udført mellem 5 og 50 % relativ fugtighed, så et højt niveau af relativ fugtighed ville give en god indikation af, om relativ fugtighed påvirker CO<sub>2</sub>-sensorernes præcision. Et niveau på 88 % af relativ luftfugtighed blev opnået i kammeret ved at befugte luften og gav således mulighed for at undersøge virkningen af relativ fugtighed på sensorens CO<sub>2</sub> målefejl.

Tabel 5 opsummerer forsøgsbetingelserne i den tredje og sidste fase af forsøgene (CO<sub>2</sub>-sensorer blev kalibreret ved 20 ° C før disse målinger).

Test Concentrations [ppm]	A, B, C, D1, D2, E, F	
400	Calibration Temperature 20 [°C]	Relative Humidity 88 %
1600		

Tabel 5: Eksperimentelle forhold i forsøgets tredje fase

Målingerne af temperatur, relativ luftfugtighed og CO<sub>2</sub>-koncentrationerne fra sensorerne blev sammenlignet med referenceinstrumenter for at kvantificere afvigelserne fra de faktiske forhold i klimakammeret. Lufttemperaturen, relativ luftfugtighed og CO<sub>2</sub>-koncentration i klimakammeret blev målt med referenceinstrumenter. Lufttemperaturmålinger havde en nøjagtighed på ± 0,03 °C inden for intervallet -100 til 150 °C, relativ luftfugtighedsmålinger havde en nøjagtighed på ± 1,5 % i området fra 0 til 100 %, og CO<sub>2</sub>-koncentrationsmålinger havde en fejl på 3 % af læsning.

### 6.1.4 Resultater og diskussion

Tabel 6 viser resultaterne fra målingerne. Tabellen viser mindste og største afvigelser i forhold til referenceinstrumenterne for temperatur, relativ luftfugtighed og CO<sub>2</sub>-koncentration.



**Table 6.**

Temperature [°C]	Relative Humidity [%]	CO <sub>2</sub> concentration [ppm]
A, -0.3 – 0.1 °C	A, -2.1 – 4.2	E, -271 – 55
B, -0.2 – 0.5 °C	B, -2.3 – 4.2	A, -310 – 161
D2, -0.2 – 0.3 °C	E, -4.3 – 7.6	F, -161 – 328
C, -0.4 – 0.2 °C	F, -7.1 – 5	B, -413 – 113
D1, -0.7 – 0.3 °C	C, -7.1 - 9.2	D1, -135 – 410
F, 0.1 – 1.5 °C	D1, -28.9 – 10.5	C, -293 – 361
E, -1.9 – 0.8 °C	D2, -38.9 – 5.5	D2, -25 – 3484

*Tabel 6: Måleresultater. Tabellen angiver største og mindste afvigelse for referencemålingerne for hver sensor.*

I Tabel 6 er resultater ordnet fra de mest nøjagtige til de mindst nøjagtige sensorer i forhold til de målte parametre.

Temperaturmålefejlene i sensorerne A, B, D2 og C var inden for acceptable områder og hovedsagelig inden for de nøjagtigheder, som fabrikanterne angiver. Hvis sensorer D1, F eller E skulle anvendes, ville ydeevnen, kontrol af systemerne og indeklimaet blive påvirket nævneværdigt på grund af den høje målefejl.

Den relative luftfugtighed blev målt, men ikke reguleret under forsøgene, derfor er det ikke muligt at nå en endelig konklusion vedrørende de valgte sensors relative luftfugtighedsmuligheder. Ikke desto mindre viser resultaterne, at sensorer, A og B havde de laveste fejl og var tættest på fabrikantens angivne nøjagtighed, selv om de oversteg de krævede nøjagtigheder. Resten af sensorerne var uden for de områder, som fabrikanterne angav.

Med hensyn til CO<sub>2</sub>-koncentrationsmålingerne opfyldte ingen af sensorerne nøjagtighederne fra fabrikanterne ( $\pm 30$  eller  $\pm 50$  ppm), og alle havde højere fejl end fabrikantens angivne værdier.

Sensorerne D1 og D2 bør overvejes omhyggeligt på grund af de høje fejl i relativ luftfugtighed og CO<sub>2</sub>-koncentrationsmålinger. Selv om der ikke blev observeret nogen funktionel fejl fra disse sensorer under målingerne, kan sensorerne have været beskadiget før eller under målingen.

Resultaterne viser, at hvis disse sensorer skulle bruges til idriftsættelse eller skulle erstatte CTS sensorer i fremtiden, bør deres virkninger på opvarmning, køling og ventilationssystem drift, indvirkning på regulering af indeklima og energianvendelse overvejes, da de har forskellige virkninger på disse funktioner. Resultaterne skal undersøges i forhold til nøjagtigheden af de CTS sensorer, som i øjeblikket anvendes i bygninger.

Den nuværende undersøgelse blev udført under steady state betingelser; Imidlertid vil disse sensorer normalt blive brugt under dynamiske forhold i bygninger, derfor ville det være gavnligt for

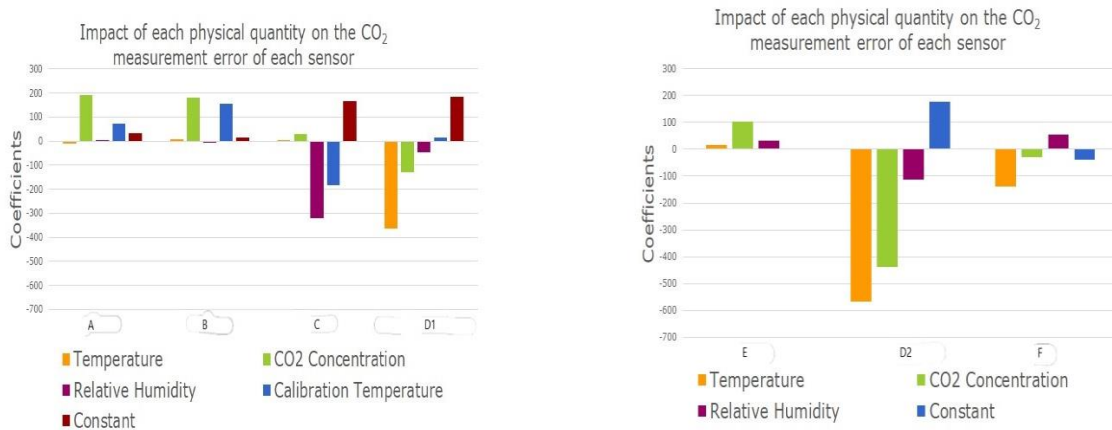
yderligere studier at også studere disse sensors dynamiske opførsel. Dette blev ikke gjort i den nuværende undersøgelse på grund af tid og budgetbegrænsninger.

Målerens nøjagtighed af sensorerne (i det mindste for lufttemperatur) kan sammenlignes med de nødvendige og ønskelige præcisioner beskrevet i ISO 7726: 2001. Det skal dog bemærkes, at temperaturfølerne er placeret i relativt store plastik eller metal-omkransninger, som bliver påvirket af strålingstemperaturen. Så det er tvivlsomt om sensorerne måler lufttemperatur uden påvirkning fra strålingstemperaturen.

Under undersøgelsen blev parametrene, der påvirker CO<sub>2</sub>-målefejlen for hver sensor, undersøgt. Resultaterne viste, at forskellige sensorer påvirkes forskelligt af de undersøgte parametre. Sensorerne A, B og E viste højere CO<sub>2</sub>-usikkerhed ved højere CO<sub>2</sub>-koncentrationen jo højere CO<sub>2</sub>-koncentrationen jo højere CO<sub>2</sub>-registrerede fejl på disse sensorer. Relativ luftfugtighed var den dominerende variabel, der påvirker CO<sub>2</sub>-nøjagtigheden af sensor C. Da niveauet for relativ luftfugtighed steg, steg CO<sub>2</sub>-målefejlen fra sensor C også. Endelig havde sensorer D1, D2 og F lavere nøjagtighed vedrørende CO<sub>2</sub> ved højere temperatur.

Disse resultater blev også bekræftet af den lineære regressionsanalyse på de foreliggende data. Analysen undersøgte parametrenes (temperatur, CO<sub>2</sub>-koncentration, relativ luftfugtighed og kalibreringstemperatur) indflydelse på CO<sub>2</sub>-målefejlen for hver sensor. For sensorerne D2, E og F blev kalibreringstemperaturen ikke inkluderet i den lineære regressionsanalyse, da disse sensorer ikke kan kalibreres manuelt.

Figur 1 viser resultaterne fra den lineære regressionsanalyse. I Figur 5 (a) præsenteres de faktorer, der påvirker CO<sub>2</sub>-målefejlen mest for sensorer A, B, C og D1, der kan kalibreres manuelt. I Figur 5 (b) præsenteres de faktorer, der påvirker CO<sub>2</sub>-målefejlen mest for sensorer E, D2 og F, der kun kan kalibreres automatisk.



(a) Sensorer, der kan blive manuelt kalibreret

(b) Sensorer, der kun kan blive automatisk kalibreret

Figur 5: Resultater af lineær regressionsanalyse.

Udover de parametre, der er undersøgt i dette studie, skal andre parametre såsom internetforbindelse, realtidsadgang til data, let adgang til historiske data, tilgængelighed og pris også tages i betragtning ved den endelige udvælgelse af sensoren.

Det skal bemærkes, at hovedformålet med denne undersøgelse ikke var at rangere eller anbefale en trådløs indendørs målesensor, men snarere at kvantificere målefejlene fra forskellige sensorer og at evaluere den nyeste teknologi for kommercielt tilgængelige sensorer.

### 6.1.5 Konklusion

Temperatur-, relative fugtigheds- og CO<sub>2</sub>-koncentrationsmålinger og begrænsninger af seks trådløse indeklimate sensorer blev kvantificeret under tæt kontrollerede forhold i et klimakammer.

Temperaturmålinger viser, at temperaturmålefejlene i sensorerne A, B, D2 og C var inden for acceptable områder og for det meste inden for de nøjagtigheder, som fabrikanterne hævder. Derfor kan disse sensorer anvendes i yderligere undersøgelser.

Sensorer A og B havde de laveste målefejl i relativ fugtighed og var tættest på fabrikantens angivne nøjagtigheder; De oversteg dog også de krævede nøjagtigheder. Resten af sensorerne var uden for de områder, som fabrikanterne hævdede.

Ingen af sensorerne opfyldte de nøjagtigheder, som fabrikanterne hævdede med hensyn til CO<sub>2</sub>-koncentrationsmålinger, og alle havde højere fejl end fabrikantens angivne værdier.

Fra analysen blev det konstateret, at forskellige faktorer påvirker CO<sub>2</sub>-nøjagtigheden af forskellige IEQ-målere. A, B og E, som alle bruger den samme CO<sub>2</sub>-sensor, havde faldende CO<sub>2</sub>-nøjagtighed med stigende CO<sub>2</sub> koncentration. Disse enheder viste sig at være de mest pålidelige CO<sub>2</sub> sensorer med E, der registrerer den mindste fejl af alle. C, der bruger en anden CO<sub>2</sub>-sensor, havde aftagende nøjagtighed med stigende relativ fugtighed. Ved lavere niveauer af relativ fugtighed nærmede den sig fabrikantens angivne nøjagtighed. D1 og D2 havde et stærkt stigende lineært sammenhæng mellem temperatur og CO<sub>2</sub>-usikkerhed. Sensor F var mest påvirket af temperatur og relativ luftfugtighed.

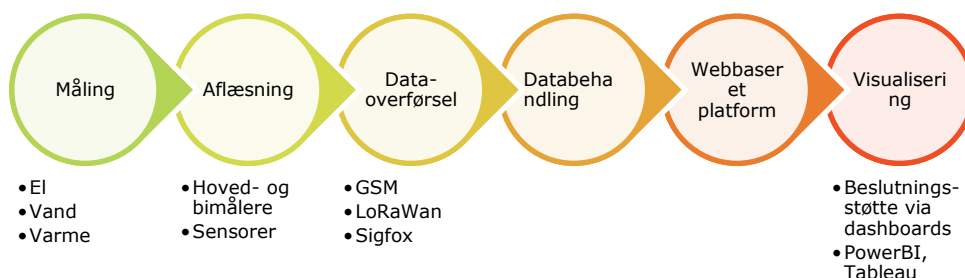
Det blev også fundet, at kalibreringstemperaturen påvirker nøjagtigheden af nogle sensorer, som A, B og C, men ikke i den grad der kunne betragtes som hovedårsagen til lavere CO<sub>2</sub>-nøjagtighed.

Hvis de trådløse indeklimate sensorer skulle bruges til at styre temperaturerne indendørs, ville de fleste sensorer give en tilfredsstillende ydelse, men hvis de skulle bruges til at styre fugtighed eller CO<sub>2</sub>-koncentration, ville det være nødvendigt med yderligere undersøgelser.

## 6.2 Energimålere

### 6.2.1 Datasamling processen

Datasamling processen er opdelt i fem trin fra måling til visualisering, som det er vist i Figur 6



Figur 6. Skematisk repræsentation af datasamling processen

Det første trin af processen er måling, hvor de relevante logninger er registreret i måleren. Forskellige typer målere kan findes på markedet og de skal vælges i forhold til den specifikke anvendelse. For at udføre en analyse af varme- og elforbrug i en bolig, er det nødvendigt at bruge varme- og elmåler.

Aflæsning af udstyret er brugt i det anden trin for at aflæse dataene fra måleren. Datakommunikation udføres af forskellige protokoller i måleren, så det er vigtigt at vælge det korrekte instrument for at få dataene. Eksempler på aflæsning af udstyr er produceret af NorthQ eller Smappee.

Den tredje trin er "Dataoverførsel", hvor dataene der var læst fra måleren, er sendt og gemt i en cloud-tjeneste. Der er forskellige måder for at sende data, og normalt anvendes en WiFi gateway, et GSM modul eller LoRaWan.

En webbaseret platform bruges i det fjerde trin for at give en oversigt over de gemte datasæt eller for at visualisere dataene i grafer. Aflæsning af udstyret er normalt knyttet til en dedikeret platform, hvor der er muligheden for at analysere data. Eksempler på webbaseret platforme er "Home-Manager" i forhold til NorthQs produkter, eller "Omega", der er en platform brugt af Vitani installationer.

Det sidste trin er "Visualisering" og er nødvendigt, hvis cloud-tjenesten ikke har en visualiserings-tjeneste. Den er også brugt for at videreanalysere data med forskellige typer grafer. Eksempler af visualiseringsværktøjer er PowerBI eller Tableau.

Det næste afsnit giver en oversigt af almindelige udstyr for at udføre de forskellige trin af datasamling processen.

## 6.2.2 Oversigt af udstyr til datasamling proces

Dette afsnit giver et overblik over det udstyr, der kan anvendes i dataopsamlingsprocessen for måling og aflæsning af energiforbruget.

### Målinger

- Varmemåling
  - Kamstrup MULTICAL® 603
  - Kamstrup MULTICAL® 402
  - Kamstrup MULTICAL® 66
- Elmåling
  - Kamstrup OMNIPOWER® trefaset (Hovedmåler)
  - Schneider Electric A9MEM2135 (Bimåler)

### Aflæsning

- NorthQ Q-Reader
- NorthQ Q-Power

### Måling og aflæsning

- Smappee Plus

## 6.3 Varmemålere

### MULTICAL® 603



Figur 7. Kamstrup MULTICAL 603

MULTICAL® 603 kan benyttes som varmemåler, kølemåler eller kombineret varme-/kølemåler. Måleren er produceret af Kamstrup og måler temperaturer og flow og beregner afkøling/opvarmning ud fra data om den målte væskes varmekapacitet og densitet.

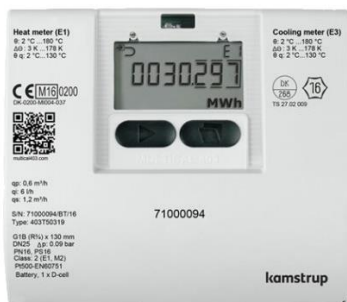
Den kan anvendes til lækeovervågning, permanent driftsovervågning (PDO), effekt- og flowbegrænsning med ventilstyring samt energimåling i både åbne og lukkede systemer.

Måleren har to indgange til flowmålere, hvor der kan bruges både elektroniske og mekaniske flowmålere. Måleren kan vise opsummerede varme-og/eller køleenergi i de følgende energienheder: MWh – kWh – GJ – Gcal. Logningsintervallet er programmerbart fra 1 minut til 1 år.

MULTICAL® 603 bruger KMP-protokol med CRC16 til datakommunikation, og den benyttes til optisk kommunikation samt til moduler. Målerens nøjagtighed følger standarden EN 1434.

Måleren kan benyttes i særlige installationer, hvor det er påkrævet at måle energiforbruget af to forskellige installationer, for eksempel køling og opvarmning.

## MULTICAL® 403



Figur 8. Kamstrup MULTICAL 403

MULTICAL® 403 er produceret af Kamstrup og er udstyret med en flowsensor og to temperaturfølere, der kan beregne varme- og køleforbrug. Måleren kan gemme data i fire forskellige energienheder: MWh – kWh – Wh – GJ.

Der er en permanent hukommelse (EEPROM) indeholdt i måleren, der gemmer resultaterne fra en række forskellige dataloggere. Det standard for datalogningsdybden er:

- > Årslogger: 20 år
- > Månedslugger: 36 måneder
- > Døgnlogger: 460 døgn
- > Timelogger: 1400 timer

KMP-protokol med CRC16 benyttes i datakommunikation, der anvendes til optisk kommunikation samt med moduler. MULTICAL® 403 tilpasses med M-Bus, wireless M-Bus og RS232-kommunikationsmoduler.

MULTICAL® 403 kan også beregne COP i huse med varmepumper, da der er muligheden for at indsætte varmepumpens elforbrug som input i måleren. Derfor er måleren anbefalet for anvendelse, hvor varmepumper skal bruges.

Måleren måling nøjagtighed følger standarden EN 1434-1.

## MULTICAL® 66



Figur 9. Kamstrup MULTICAL 66

MULTICAL® type 66 - ligeledes fra Kamstrup - er installeret i nogle bygninger i projektet. Den kan udføre varmemåling, kølemåling eller kombineret varme-/kølemåling. Den kan også benyttes til

lækeovervågning eller som effekt- og flowbegrænser med ventilstyring. Måleren kan måle temperaturer og flow.

Resultaterne er vist i 4 forskellige energienheder: kWh – MWh – GJ – Gcal.

Datakommunikationsmulighederne er forskellige, og der er to vigtige kommunikationsveje: Den første er via plug-in moduler i tilslutningsbunden og den anden er via optisk øje på målerens front. Dataene kan udlæses via optisk øje, der følger EN 61 107 dataprotokol. Dataloggerne kan udlæses via PC programmet METERTOOL LogView eller af håndterminalen MULTITERM WorkAbout.

Målerens nøjagtighed følger standarden EN 1434-1. Måleren kan benyttes i almindelige installationer, hvor varmekonsum skal måles.

## 6.4 Elmålere

### 6.4.1 Hovedmålere

#### **OMNIPOWER® trefaset - Hovedmåler**



Figur 10. Kamstrup OMNIPOWER trefaset - Hovedmåler

OMNIPOWER® trefaset er en elmåler produceret af Kamstrup, der registrerer elforbrug og måler både spænding og strøm. Måleren benytter DLMS/COSEM eller EN 62056-21 (1107) Mode A & C datakommunikationsprotokoller benyttes. Aflæsning af dataene kan opføres i forskellige måder, hvor kommunikationsmoduler benyttes:

- > Seriel RS-485- eller RS-232-kommunikation eller strømsløjfe med pulsindgange, tarifindgange eller laststyring.
- > Aflæsning via wired M-Bus-system.
- > Via GSM/GPRS-kommunikation.

Radiokommunikation kan udføres uden moduler, da et radiokommunikationsmodul er indbygget i måleren. Der er også en S0-pulsdiode, der udsender pulser af aktiv energi med 1000 pulser pr. kWh.

Der er en permanent hukommelse (EEPROM) indeholdte i måleren med forskellige programbare dataloggere:

- > Energiforbrug profil (15 minutter, 30 minutter eller 1 time datalogger).
- > Daglige, ugentlige eller månedlige debiteringslogger.
- > Analyse logger.

Måleren følger standarden EN 50470-1 og EN 50470-3 for aktiv energi og IEC 62052-11, IEC 62053-21, IEC 62053-23 for reaktiv energi og aktiv energi. Nøjagtighedsklassen er defineret af IEC standard på Klasse 2 og Klasse 1, hvor nøjagtigheden er hhv. 1 % og 2 %.

## 6.4.2 Bimålere

### Schneider Electric – A9MEM2135



Figur 11. Schneider Electric A9MEM2135 - Bimåler

Måleren kan aflæses med puls-diode. Måleren vist i Figur 11 har en puls-diode med puls-frekvens på 1000 pulse/kWh. Måleren har også muligheder for at kommunikere målinger med ModBus, der bruger M-bus protokol.

Schneider Electrics elmåler kan benyttes som bimåler i en lang række applikationer, hvor der skal måles en fase. Den kan måle aktiv og reaktiv strøm, aktiv og reaktiv energi, spænding og strøm. Resultater er registreret i kWh.

Nøjagtighedsklassen er defineret af IEC 62053-21 standard for aktiv energi på Klasse 1, og Klasse B i henhold til EN 50470-3, hvor nøjagtigheden er 1 %. Reaktiv energien er defineret på Klasse 2 i henhold til IEC 62053-23, hvor nøjagtigheden er 2 %.

## 6.5 Dataopsamling

Der findes meget forskelligt typer udstyr til dataopsamling. Da der ikke har været midler til at beskrive alt kvalificeret typer af udstyr, er det valgt at fokusere på NorthQ og Smappee.

### NorthQ – Q-Reader

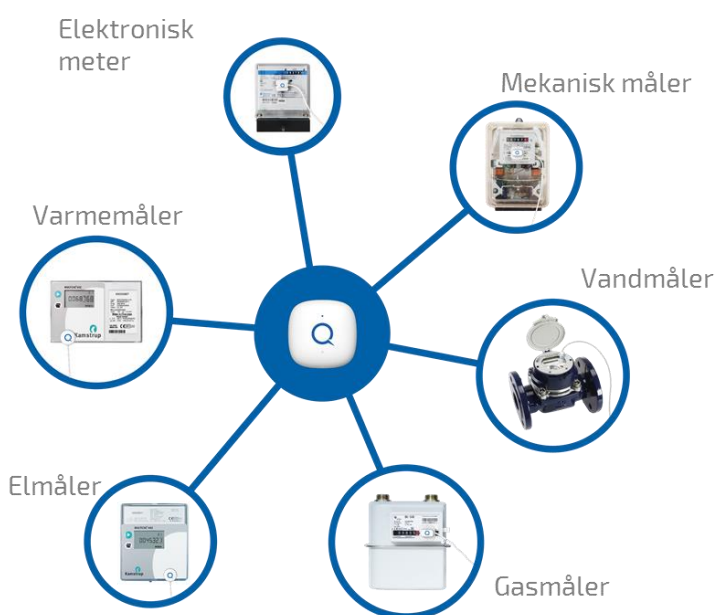




Figur 12. NorthQ Q-reader

NorthQ Q-Reader er en datalæser og - sender produceret af NorthQ. Q-Reader er meget fleksibel, da det kan aflæse data fra forskellige typer af målere (op til 80 forskellige typer); for eksempel kan det aflæse fra målere udstyret med optisk øje, blinkende led, impulsudgang eller fra mekaniske målere, som vist på Figur 13.

Sensorhoveder kan udskiftes for at aflæse de forskellige typer målere. Q-Reader kan eksportere op til 8 forskellige datasæt fra hver måler, afhængigt af konfigurationen. Datasamlingsperiode er fleksibel - fra 10 sekunder til 24 timer.



Figur 13. Typer af målere der kan måles af NorthQ Q-reader

Q-Reader har udskiftelige trådløse moduler, der bruger Z-Wave eller Wireless M-Bus protokoller for datakommunikation. Det vil også komme nye protokoller som LoRa, Sigfox og NarrowBand IoT.

Q-Reader kan gemme data i op til 5 år – dette garanterer også god backup i tilfælde af tabt data-kommunikation eller strømudfald. Q-reader kan få strøm via USB og/eller batteri med levetid op til 10 år afhængigt af, hvor hyppigt der skal måles data.

NorthQ har en webbaseret platform, der hedder HomeManager, hvor det er muligt at få dataene visualiseret med grafer, og hvis muligt eksportere dataene fra cloud-tjeneste for yderligere databehandling. NorthQ Q-reader har brug for et trådløst netværk til at overføre dataene til cloud-tjeneste eller gateway via trådløst internet.

NorthQ Q-reader er nemt at få installeret, da det bare skal være forbundet til måleren, og til sidst til strømmen. På Figur 14 er der vist installationen af en Q-Reader for at aflæse elforbrug fra en Kamstrup måler.



*Figur 14. Eksempel af elmåler aflæsning af NorthQ Q-Reader*

På samme måde viser Figur 15 installationen af en Q-Reader for at aflæse varmemeforbrug fra en Kamstrup måler.



Figur 15. Eksempel af elmåler aflæsning af NorthQ Q-Reader

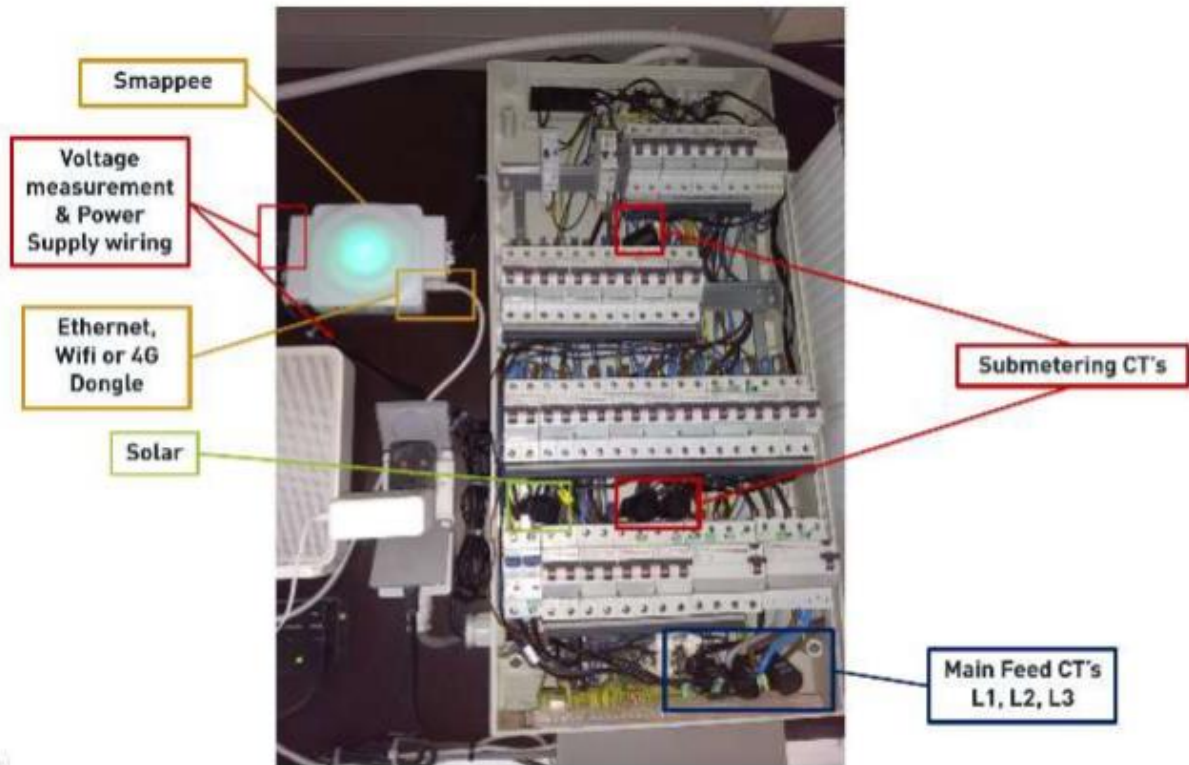
## 6.6 Kombineret dataopsamling

### Smappee Plus



Figur 16. Smappee Plus - Måling og aflæsning

Smappee Plus er et instrument produceret af Smappee, der kan måle og aflæse elforbrug i en bolig. Den giver en oversigt af det samlede elforbrug i boligen, og det kan også vise det enkelte elforbrug af de forskellige enheder i boligen. Instrumentet måler spændingen og strømmen, og det er normalt placeret ved sikringsboksen, som det er vist på Figur 17



Figur 17. Eksempel af installationen af en Smappee Pro

Figur 17 viser en Smappee Pro installeret i konfiguration med solcelleanlæg. Clamp-ons er anvendt for at måle hovedstrømmen og spænding fra én- eller trefaser, og andre el-klemmemålere er brugt for at måle strømmen for de forskellige underkredsløb. Smappee kan identificere de forskellige enheder, der er forbundet til hver underkredsløb og kan dele dem i forskellige kategorier. På Figur 18 er der vist de clamp-ons, der er brugt af Smappee. De er tilklippet til det fasekabel, der skal måles på



Figur 18. Smappees clamp-on

Smappee Pro kan måle og aflæse elforbrug, og bagefter kan det overføre dataene til en cloud-tjeneste. Der er tre forskellige muligheder for at kommunikere dataene til cloud-tjenesten, ved hjælp af Ethernet-kable, WiFi-modulen eller 4G-modulen.

Dataene er så brugt for at visualisere resultaterne af elforbrug i boligen. Smappee har en dedikeret app, der kan downloades på en mobiltelefon, og hvor dataene kan visualiseret. Visualisering-app viser både elforbrug i forskellige måde eller en omkostningsanalyse. Resultaterne kan vises med månedsbasis eller årsbasis grafer, og elforbruget kan vises for hver enkelt enhed. Smappees app er meget brugervenligt, det hjælper med at give en bedre forståelse om elforbrug i en bolig, og det kan forslå, hvordan der kan reduceres.

Smappee Pro er et meget fleksibelt instrument, da det ikke er nødvendigt at installere en elmåler for hver enhed, og den skal ikke installeres som en del af det elektriske anlæg. Der er også andre instrumenter produceret af Smappee, der kan bruges i mere enkle anlæg (én fase anlæg). Et eksempel er Smappee Energy, der er vist på Figur 19.



Figur 19. Smappee Energy

## 7 FAIR COM - fra Proof of Concept til Standard koncept

Projekt FAIR COM har dokumenteret, at det er muligt at implementere et ressourceeffektivt koncept baseret på fjerndiagnose af en bygnings indeklimate og energiforhold.

Omdrejningspunktet er,

- > at konceptet opleves som forståeligt og relevant for kunden, og hvor kundens bidrag er begrænset og uden særlige krav til teknisk indsigt, udover evnen til at betjene en mobiltelefon og logge på web
- > at fjerndiagnosen skal give *markante* ressourcebesparelser ved at minimere antal besøg fra rådgiver, hvor screening i kombination med brugerinput og analyseværktøjer gør det muligt at fra rådgiverens skrivebord at udpege forbedringsmuligheder
- > at fysiske besøg forbeholdes bygninger med oplagte mangler og løsningsforslag, hvor screeningen på forhånd giver konsulenten et godt afset for de forhold, som kræver inspektion på stedet.

*Betyder det, at ovenstående FAIR COMkonceptet umiddelbart kan omsættes til en 'standard løsning' som ejendomsadministratorer, rådgivere mv. kan tages i anvendelse?*

Svaret er desværre nej. Der skal lidt mere til for at trimme de værktøjer og processer, der indgår i konceptet før det kan rulles ud i stor skala. Men en upåagtet barriere er muligvis indgroet vane-tænkning, hvor eksperter og rådgivere har en tradition for at starte en 'sag' med en personlig besigtigelse af ejendommen. Det er imidlertid for ressourcekrævende, da det drejer sig medmindre bygninger som daginstitutioner og parcelhuse, så løsningen ligger i trimning af delprocesserne beskrevet i FAIR COM i kombination med et ændret mind set.

FAIR COMkonceptet lanceres i efteråret 2018 af IC-Meter på en standardiseret web platform. Derved er den grundlæggende IT- og analyseplatform på plads. Her er det centrale princip åbne API'er i kombination med at kunderne ejer egne data og frit kan vælge samarbejdspartnere.

Flere professionelle brugere har signaleret, at de ser en åben dataplatform som helt central, men lægger samtidig vægt på at de selv kan udvikle og implementere visualiserings- og analyse værktøjer.

Udviklingen med forskellige software pakker såsom PowerBI, Tableau, MindSphere m.v. giver i dag de større ejendomsadministratorer reelle muligheder for at udvikle egne IT-værktøjer til en overkommelig pris.

I det følgende omtales kort de potentielle 'knaster' for at konceptet kan gå fra dette projekts Proof of Concept til et standardkoncept på markedet.

### 7.1 Brugerinvolvering og snitflade

Konceptet baseres på kommunikation med brugerne via web, telefonsamtaler samt aktiv brug af smartphones. Det gælder uanset om det er ejendomsadministratorer eller almindelige 'brugere'.

Kommunikationen skal for det første sikre, at den rådgiver der står for fjerndiagnosen får et godt billede af bygningen og dets faktiske brug. For det andet skal kommunikationen samt feedback til brugerne være relevant og let forståelig.

Udgangspunktet er, at brugerne ikke har en teknisk forståelse, men evner at betjene en smartphone og kommunikere via en website. Centralt i processen er en scannet 2D-tegning af den aktuelle bygning. Brugere er vandt til at tænke i plantegninger, og denne platform giver samtidig en god indblik i rådgivernes analyse af bygning og inventar.

Brugeren bedes uploade foto af centrale forhold såsom tekniske installationer vinduer osv. Samtidig skal de svare på spørgsmål om brugsmønstre, det oplevede indeklime etc.

Ekspertens respons baseres ligeledes på brugernes 2D-tegning, hvor målinger, analyseresultater og anbefalinger knyttes til bygning og bygningskomponenter.

Endelig er der gode erfaringer med telefonrådgivning. Set i lyset af befolkningens høje IT-kendskab og udbredelsen af smartphone er det ikke en teknologisk barriere for en større udbredelse, forudsat at kommunikation via web og smartphone opleves som relevant og i øjenhøjde.

## 7.2 Måling af indeklime

I projektet er der benyttet indeklimealere fra firmaet IC-Meter, som måler temperatur, fugt, CO<sub>2</sub> og støj hver 5 min. Målingerne giver præcise data og de hyppige målinger baner vej for dynamiske analyser af såvel indeklime som varmemeforbrugets afhængighed af forskellen mellem inde- og udeklime såvel som analyser af det faktiske brugsmønstre.

For at undgå afhængighed af ejendommens adgang til internettet har projektet udlånt indeklimealere, som benytter GSM til hjemtagning af data. Dette er essentielt, da en række andre projekter har haft udfordringer med at sikre datahjemtagning via brugernes egne Internetopkoblinger.

Udbredelsen af nye trådløse koncepter for IoT såsom LoRa, Sigfox og NB vil fremadrettet gøre datahjemtagning enkelt og derved være fuldgylidige alternativer til brug af GSM, baseret på SIM-kort. Traditionelt har det været forbundet med betydelige omkostninger at etablere dataopsamling i større ejendomme, og flere teknologier har krævet aktivt medspil fra IT-afdelingen.

De nye trådløse koncepter har en række lighedspunkter med de traditionelle trådløse standarder såsom WiFi, Zigbee etc., med den afgørende forskel at de kan dække et større område. Det betyder, at gateways og routere – der skal sikre kommunikationen op til Cloud-tjenester - ikke skal placeres i de enkelte ejendomme men blot i 'nærområdet'. Det betyder, at bygninger kan analyseres helt uafhængig af bygningernes egne IT-systemer, og til en lav omkostning.

### Måling af varme

En udfordring både teknisk og kommunikationsmæssigt i projektet har været måling og hjemtagning af måledata fra varme og elmålere, hvor konceptet tilmed kræver hyppig aflæsning. Udfordringen er ikke mangel på tekniske løsninger, men at de er vidt forskellige alt efter hvilke måle målersystemer som forsyningsselskabet har etableret hos brugerne. Det har som konsekvens, at konceptet ikke kan kommunikeres med én på forhånd given proces for brugerinvolvering, da behov for evt. supplerende måleudstyr og tilhørende brugerbesøg, først kendes efter en indledende brugerdialog.

Hvis det lokale forsyningselskab allerede har etableret digitale og fjernaflæste målere med hyppig datahjemtagning, er opgaven ligetil. Her skal rådgiveren blot bede om at brugerens registrerede forbrugsdata stilles til rådighed for FAIR COM- opgaver.

Hvis brugeren har en måler med fjernaflæsningsmulighed, kan der installeres midlertidig fjernaflæsning samt udstyr der kan sende data til Cloud. En forholdsvis billig løsning, men kræver at brugeren skal have besøg af en tekniker på et relativt tidligt tidspunkt i processen, hvor brugeren ikke har fået særlig meget feedback om netop energiforhold.

Hvis brugeren ikke har en måler, der er fjernaflæst eller som kan fjernaflæses, skal der installeres en midlertidig måler suppleret med dataudstyr til fjernaflæsning. Det er lidt mere besværligt og ressourcekrævende. Her er det ud fra en økonomisk betragtning vigtigt at overveje om installation af målere står i et rimeligt forhold til de forventede gevinster som en komplet fjerndiagnose inkl. måling kan give. Opgørelser over bygningens årlige energiforbrug og energimærke kan her underbygge en beslutning om det skal installeres målere eller ej.

Måling af varmemåling har i forsøget været den største udfordring, hvorfor udvikling af færdige pakker for midlertidig aflæsning af varmemåling i de forskellige situationer er særdeles relevant.

Omvendt kan tilbud om fjerndiagnose netop i første omgang tilbydes bruger, som allerede har fjernaflæste målere. Her er den oplagte målgruppe fjernvarmeselskaber, som har etableret fjernaflæsning med hyppig datahjemtagning. Tilsvarende kan målekoncepter rettes imod særlige varmekilder såsom oliefyr, hvor f.eks. varmemåling estimeres ud fra enten driftstider eller olieforbrug. Naturgasselskaberne benytter sig af målere uden fjernaflæsning, men med mulighed for at installere udstyr som kan hente forbrugsdata fra måleren osv.

Sammenfattende er måling og hjemtagning af varmemålinger et af de punkter, hvor konceptudvikling og billiggørelse kan fjerne en oplevet barriere hos såvel rådgivere som bruger.

## 7.3 Opsamling af data og dataudveksling

For nogle år siden var fortløbende og hyppig datahjemtagning af forbrugsmålinger en betydelig udfordring. De første fjernaflæste varmemåler-koncepter var designet til at hente relativt få målinger over året. Det primære formål var forbrugsafregning.

I dag er der en række billige teknologier til at sende målinger sikkert og krypteret op til Cloud-løsninger. Så reelt burde det ikke være en barriere. Desværre er der nogle ikke tekniske forhold som somme tider kan vanskeliggøre konceptet.

Nogle fjernvarmeselskaber har været tilbageholdende med at stille brugernes egne forbrugsmålinger til rådighed i digital form. Andre selskaber har krævet en betaling, der forekommer at ligge væsentlig over selskabets faktiske udgifter.

Det findes en række aktører, der tilbyder upload af måledata samt administration og visualisering. I mange tilfælde en rigtig god løsning. Det er imidlertid eksempler på, at disse former for datahåndtering takseres relativt højt, hvilket fordyrer koncepter, hvor målinger 'blot' skal sendes videre til en aktør, der står for analyser, hvor energimålinger skal analyseres som en respons på forskel imellem inde- og udeklima samt brugernes adfærd.



## 7.4 Visualisering via standardrapporter og brugere der selv ønsker at designe visning og analyser

Der findes en række værktøjer til at visualisere energiforbrug og dets relationer til indeklima og lokalt vejr. Flere administratorer af større ejendomme ønsker dog også at selv kunne producere egne grafer og rapporter og selv have direkte adgang til alle egne data. Her er løsningen åbne API'er der betyder, at brugerne kan importere og udveksle data, og herunder levere dem til vilkårlige IT-værktøjer og konsulenter.

De hidtidige erfaringer tyder på, at brugerne i stort omfang benytter færdige visualiserings- og rapporteringsværktøjer, men lægger vægt på *muligheden* – og retten – til at selv kunne bearbejde egne data.

Det centrale forhold er, at brugerne sikres fuldt ejerskab og adgang til egne data, og at evt. omkostninger for at sikre dette gøres synlige fra start.

## 7.5 Fra målinger og brugeroplysninger til analyse resultater

Den historiske interesse for måling af energi er økonomisk, dvs. opkrævning af betaling for leveret energi. I takt med stigende energipriser og klimaudfordringer er energimålinger også blevet et middel til at udpege energispild og derved bane vej for energibesparelser.

Isolerede forbrugsmålinger siger imidlertid ikke ret meget om årsagen til at én bygning har et større energiforbrug end anden tilsvarende bygning.

I de seneste år er der udviklet en række analyseværktøjer, der analyserer varmekonsum som en afledt funktion af dels forskel imellem inde- og udeklima i kombination og dels brugsmønster og brugeradfærd.

Formålet er her, at besvare spørgsmålet om et højt varmekonsum skyldes ringe klimaskærm, en kold vinter, høj stuetemperatur, hyppig ventilation eller et meget stort forbrug af varmt brugsvand?

I dag findes der modeller som netop kan lave en opdeling, hvor det faktiske forbrug kan omregnes til nøgletal for klimaskærmens effektivitet (UA-værdier), nøgletal for de tekniske anlægs effektivitet under varierende belastninger såvel som funktion af bygningens faktiske brugsmønster.

Det baner netop vej for koncepter som FAIR COM, hvor man ikke blot opgør det faktiske forbrug, men udpeger årsagerne til at forbruget er som det er, og dermed en bygnings svage punkter, uanset det skyldes bygning, teknik eller brugeradfærd.

Men disse analyseteknikker kræver hyppige målinger på timebasis af vejr og energiforbrug – og for indeklima hyppigere, hvis brugsmønster og ventilationsforhold skal kortlægges, – som har en betydelig andel af energiforbruget i energieffektive bygninger.

## 7.6 Viden om indeklima og energi som led i aftaler

FAIR COM-projektet har haft fokus på at vise, at der kan etableres en ressourceeffektiv fjerndiagnose af indeklima- og energiforhold, hvor rådgivernes besøg hos bruger målrettes bygninger med store udfordringer og forbedringsmuligheder.

Men konceptet kan selvsagt også anvendes i en række sammenhænge, herunder ifm. entrepriseftaler om nybyggeri og energirenoveringer. De faktiske målinger fra indeklima og energi kan her stilles over for de modelsimuleringer, som en rådgiver skal udforme ifm. godkendelser og aftaler om store byggeprojekter.

Modelsimuleringerne er her *budgetterne*, der skal testes i forhold til virkelighedens målinger, som er det faktuelle *regnskab*. I praksis er denne mulighed sjældent omsat til praksis, herunder som en del af en aftales indbyggede kvalitetskontrol.

Med FAIR COM-konceptet samt krav om flere simuleringer ud fra varierende forudsætninger vedr. indeklima, vejr og brugsmønster, står konceptet med en oplagt mulighed for at sammenligne de faktiske målinger af indeklima og energiforbrug med simuleringer. Blandt de mange simuleringer for kombinationer af indeklima, vejr og brugsmønster vælges her den kombination, som bedst passer til de faktiske målte forhold.

Ovenstående betyder, at en evaluering af en bygnings faktiske driftsforhold kan påbegyndes straks efter ibrugtagning, hvor bygningens faktiske performance dokumenteres og sammenlignes med simuleringer under lignende forudsætninger, hvad angår indeklima, lokalt vejr og brugsmønster.

Set fra et aftalesynspunkt rummer dette nogle interessante perspektiver, idet den efterfølgende revision ikke bygger på andre antagelser end dem som tilbudsgiveren selv har leveret. Husejeren har blot brugt de simuleringer, der bedst matchede virkeligheden i løbet af året.

## 8 Beskrivelse af cases og målinger

### 8.1 Casebygningerne og problemer

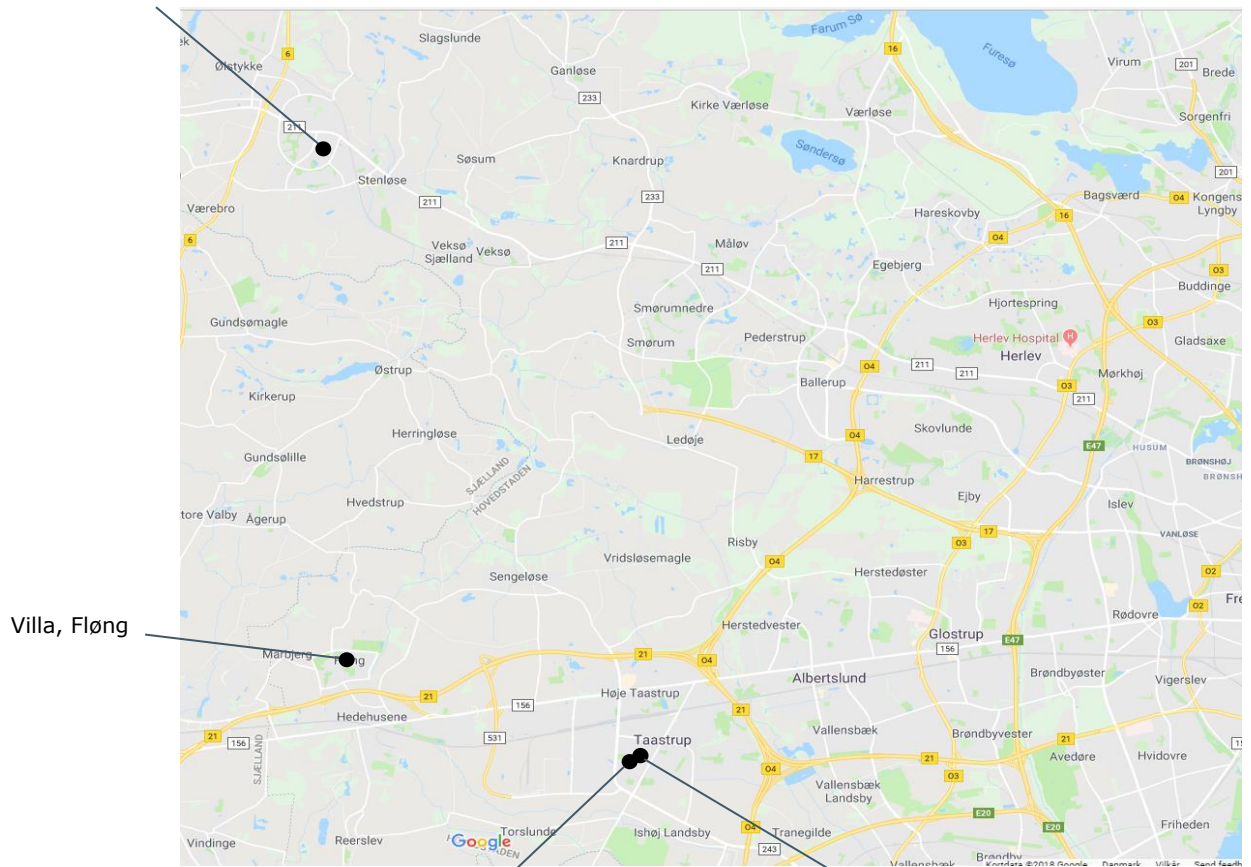
Som en del af udviklingen af FAIR COMprojektet blev der anvendt 6 bygninger på Sjælland – 2 privatboliger, 2 vuggestuer og 2 børnehaver.

Nedenstående tabel og kort opsummerer de mest væsentlige data for bygningerne samt placering

<b>Bygnings-type</b>	Bolig – villa	Bolig - rækkehus	Daginstitutionen Kogletræet - vuggestueafdeling	Daginstitutionen Kogletræet - børnehaveafdeling
<b>Placering</b>	Fløng	Stenløse	Taastrup	Taastrup
<b>Areal</b>	143 m <sup>2</sup>	101 m <sup>2</sup>	390 m <sup>2</sup> i stueplan og 108 m <sup>2</sup> kælder	365 m <sup>2</sup> i stueplan
<b>Etager</b>	2	1	2	1
<b>Byggeår</b>	1974	1983	1972, energirenoveret 2015	1972, energirenoveret 2015
<b>Antal og type brugere</b>	2 voksne og 3 teenagere	2 voksne, 2 teenagere og 1 barn	42 vuggestuebørn samt 13 ansatte	42 børnehavebørn samt 7 ansatte
<b>Brugsmønstre</b>	Beboerne er som regel væk i dagtimer på hverdage og hjemme i weekender	Beboerne er som regel væk i dagtimer på hverdage og hjemme i weekender	Mandag - fredag 06:40 – 17.00	Mandag - fredag 06:40 – 17.00

Tabel 7: Væsentlige data for case bygningerne

Rækkehus, Stenløse



Villa, Fløng

Daginstitutionen Lindetræet, Taastrup (Børnehave og vuggestue - 2 målinger hvert sted)

Kogletræet, Taastrup (Børnehave og vuggestue - 2 målinger hvert sted)

Figur 20: Placering af casebygninger

For bygningstyperne er der undersøgt følgende problemstillinger:

<b>Bygning</b>	<b>Problemstillinger</b>	<b>Måleopgaver</b>
Villa, Fløng	<p>Tvivl om kvalitet af indeklima</p> <p>Tvivl om varmekonsum er indenfor normen</p> <p>Udarbejdelse af energisignatur som basis for energimærke</p> <p>Varmepumpe kører formentligt med for højt elforbrug</p>	<p>Verificering af indeklima</p> <p>Verificering af varmekonsum</p> <p>Verificering af energisignatur som basis for energimærke</p> <p>Verificering af COP</p>
Rækkehus, Stenløse	<p>Tvivl om kvalitet af indeklima</p> <p>Tvivl om varmekonsum er indenfor normen</p> <p>Udarbejdelse af energisignatur som basis for energimærke</p>	<p>Verificering af indeklima</p> <p>Verificering af varmekonsum</p> <p>Verificering af energisignatur som basis for energimærke</p>
Daginstitutionen Kogletræet – vuggestueafdeling	<p>Dårligt indeklima.</p> <p>Højt energiforbrug i forhold til forventet energiforbrug og</p> <p>Dårlig brugeradfærd i forhold til energiforbrug.</p>	<p>Verificering af indeklima</p> <p>Verificering af varmekonsum</p> <p>Verificering af energisignatur som basis for energimærke</p>
Daginstitutionen Kogletræet - børnehaveafdeling	<p>Dårligt indeklima.</p> <p>Højt energiforbrug i forhold til forventet energiforbrug og</p> <p>Dårlig brugeradfærd i forhold til energiforbrug.</p>	<p>Verificering af indeklima</p> <p>Verificering af varmekonsum</p> <p>Verificering af energisignatur som basis for energimærke</p>

Tabel 8: Problemstillinger og måleopgaver på case bygningerne

## 8.2 Anvendt hardware og software

Nedenstående tabel opsummerer målerbestykningen på casebygningerne

Bygning	Måleudstyr, hardware			Software til aflæsning og opladning til cloud
	Indeklima måler	Energimåler	Elmåling	
Villa, Fløng	IC-Meter	Kamstrup Multical 602 til måling af varmeproduktion i kWh	2 x Kamstrup OMNIPOWER til måling af elforbrug af kompressor og hele varmepumpen	NorthQ
Rækkehus, Stenløse	IC-Meter	Kamstrup Multical 21 til varmtvandsforbrug i m <sup>3</sup> vand  Kamstrup Multical 602 til rumvarmemåling i kWh varme	Ikke anvendt	Omega Web
Daginstitutionen Kogletræet - vuggestueafdeling	IC-Meter	Kamstrup Multical 66 til måling af varmt brugsvands og rumvarme sammenlagt	Ikke anvendt	NorthQ
Daginstitutionen Kogletræet - børnehaveafdeling	IC-Meter	Kamstrup Multical 602 til måling af varmt brugsvands og rumvarme sammenlagt	Elmåling af ventilationsanlæg med med Q-239 Electronic	NorthQ

Tabel 9: Bestykning af målere

## 8.3 Anvendt metode til udregning af energisignatur

Til beregning af en graddagekorrigeret energisignatur for hver af casebygningerne er der taget udgangspunkt i metoden udarbejdet af Teknologisk Institut for Høje-Taastrup Kommune (Teknologisk Institut, 2016). Denne metode er tilpasset og udviklet i løbet af dette projekt, så den anvendes mest hensigtsmæssigt til de tilgængelige målerdata fra målerne, der er installeret i casebygningerne.

Helt grundlæggende bruges energisignaturen for en bygning til at beskrive sammenhængen mellem varmeforbruget til rumvarme i forhold til udetemperaturen og den resulterende indetemperatur:

- > Rumvarmeforbrug:  $Q$  [kWh]

- > Udetemperatur:  $T_{Ude}$  [°C]
- > Indetemperatur:  $T_{Inde}$  [°C]

Det ønskes at anvende ovenstående tre målte parametre til matematisk at kunne beregne det årlige rumvarmeforbrug. Dette ønskes opnået ved så kort måleperiode som muligt og ved en hurtig og effektiv databehandling.

I denne metodebeskrivelse antages det, at rumvarmeforbruget er målt *separat*, hvilket er tilfældet for flere af casebygningerne. Hvis der er målt et *samlet* varmeforbrug, der indeholder både rumvarme og varmt brugsvand, er det nødvendigt at anvende yderligere databehandling for at adskille disse to forbrug. Varmtvandsforbruget kan bestemmes ved at anvende varmemålinger fra sommermånederne, hvor varmeforbruget antages at bestå udelukkende til varmt brugsvand og tab fra varmtvandsinstallationer. Da varmtvandsforbruget antages at være konstant året rundt, kan dette fratrækkes varmemålingerne fra de øvrige måneder.

Første trin til at bestemme energisignaturen er at plote det ukorrigerede daglige rumvarmeforbrug fra måleren med en tilsvarende værdi for den aktuelle graddag.

Graddagen er forskellen mellem inde- og udetemperaturen, og den giver et udtryk for behovet for opvarmning den aktuelle dag, og den har °C som enhed. Er der lille forskel mellem inde- og udetemperaturen – f.eks. ved en varm dag – forventes der et tilsvarende lavt energiforbrug til rumvarme og omvendt. For at tage højde for opvarmning fra andre kilder som eksempelvis fra elektriske apparater, trækkes der 3 °C fra temperaturforskellen.

1 graddag for et døgn kan bestemmes med formlen

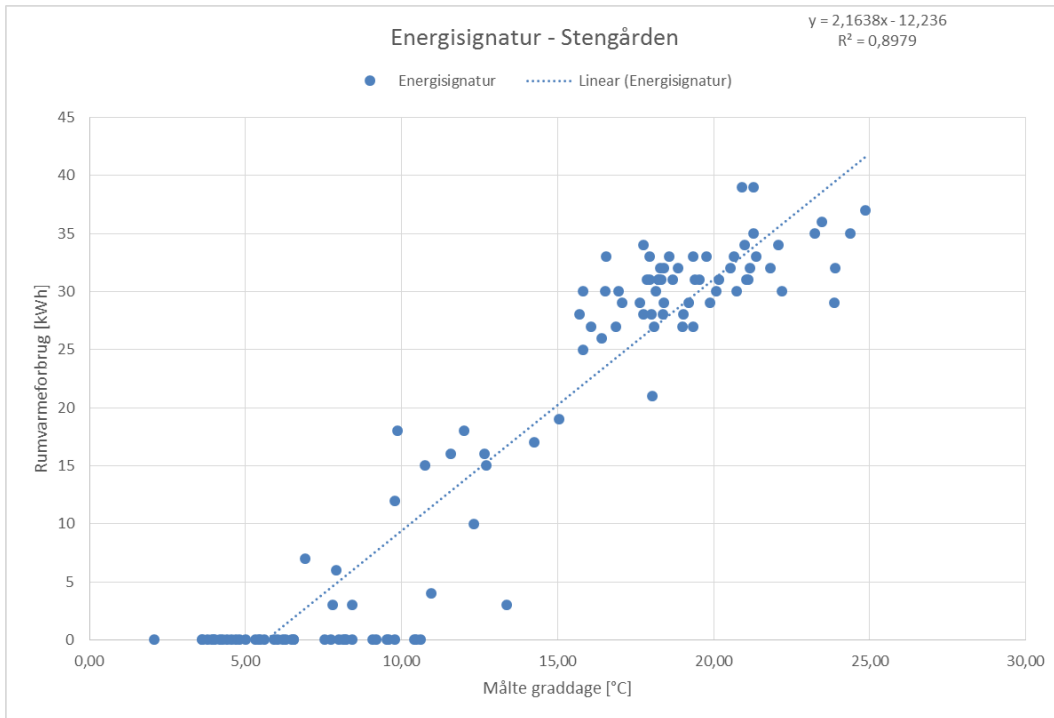
$$HDD = \text{Graddage}[\text{°C}] = (T_{\text{Inde}} - T_{\text{Ude}} - 3 \text{ °C}) \times 24 \text{ h}$$

Hvor  $T_{\text{inde}}$  og  $T_{\text{ude}}$  er den gns. temperatur målt over et døgn:

Målerne i casebygningerne loggede temperaturmålinger hver time, hvilket er oftere end målingerne for rumvarmeforbrug, som kun blev logget dagligt. Derfor er der i databehandlingen udregnet en gennemsnitlig værdi pr. dag for både inde- og udetemperaturen.

Det daglige rumvarmeforbrug fra måleren plottes herefter sammen med den samtidige graddag bestemt ud fra daggennemsnittet fra målte inde- og udetemperaturer og formlen ovenfor.

Resultatet er vist i Figur 21, som er et eksempel fra databehandlingen af målingerne i rækkehuset i Stenløse. Der er kun tilgængelige data for i alt fire måneder, februar-maj, hvilket også anses for værende tilstrækkeligt til at udarbejde en energisignatur.



Figur 21. Eksempel på det målte rumvarmeforbrug afhængig af den aktuelle graddag på baggrund af målinger.

Det antages, at der er en lineær sammenhæng mellem det målte energiforbrug til rumvarme og den aktuelle graddag. I Figur 21 ses den lineære tendenslinje fra datapunkterne, som giver en R<sup>2</sup>-værdi på 0,8979 anses for værende en tilfredsstillende og brugbar funktionsforskrift. Det vurderes, at R<sup>2</sup>-værdien ikke bør være lavere end 0,85 for denne type målinger for at opnå en brugbar funktionsforskrift. Er dette ikke opnået, er det nødvendigt med flere målinger eller målinger i andre perioder på året. Usikkerheden kan blandt andet skyldes, at graddagene udelukkende tager højde for udetemperaturen og ikke andre vejrforhold som eksempelvis vindhastighed og solindfald, som også kan påvirke rumvarmeforbruget. Måling af flere parametre vil komplicere processen, og det anses for en acceptabel simplificering kun at basere forbruget på udetemperaturen.

Den lineære sammenhæng mellem rumvarmeforbruget og graddagene er i dette tilfælde fundet ved at anvende funktionsforskriften for tendenslinjen (Udregnes automatisk i Excel):

$$Q = 2,2 \frac{\text{kWh}}{^\circ\text{C}} \cdot \text{HDD} - 12,2 \text{ kWh}$$

Formel 1:

Denne lineære funktionsforskrift giver et udtryk for, hvor stort et rumvarmeforbrug der er nødvendig ved en specifik graddag. Denne sammenhæng er uafhængig af brugeren.

Da udetemperaturen varierer fra år til år er der indført en korrigerende af graddagene så varmeforbrug målt i forskellige år med forskellige udetemperature og setpunkt fra indetemperatur kan sammenlignes.

Dette kaldes *graddagekorrigering* og denne er baseret på gennemsnitlige udetemperaturer over en årrække – kaldet normalår – samt en ønsket indetemperatur på 20 °C. I dette projekt anvendes Teknologisk Instituts EMO graddage for 1975-1985, der indeholder 3112 graddage pr. år. Antallet af graddage pr. måned i TI's EMO graddagedefinition er vist i Tabel 10.



Kolonne ID	A
Måned	Graddage (Normalår 1975-1985)
Januar	519
Februar	486
Marts	444
April	311
Maj	154
Juni	58
Juli	22
August	18
September	91
Oktober	207
November	341
December	461
<b>Total</b>	<b>3112</b>

Tabel 10: Graddage pr. måned for et normalår ved TI's EMO graddagedefinition.

Ved at anvende graddagene sammen med funktionsforskriften fra Figur 21, kan der udregnes et rumvarmeforbrug for et normalår og ved en indetemperatur på 20 °C for den givne bolig. Da tallene i funktionsforskriften har enhed "pr. dag", findes den daglige graddag for et normalår ved at dividere Kolonne A med antallet af dage i den givne måned. Når denne værdi er fundet, sættes den ind i funktionsforskriften på "HDD"s plads. Dette er vist i Tabel 11 sammen med forklaring af udregningerne i øverste række.

Kolonne ID	A	B	C = A/B	D = 2,2·C - 12,2 <sup>2</sup>
Måned	Graddage (Normalår 1975-1985)	Antal dage pr. måned	Graddage pr. dag	Graddagekorrigeret rumvarmeforbrug pr. måned [kWh]
Januar	519	31	16,7	744
Februar	486	28	17,4	709
Marts	444	31	14,3	581
April	311	30	10,4	306
Maj	154	31	5,0	0*
Juni	58	30	1,9	0*
Juli	22	31	0,7	0*
August	18	31	0,6	0*
September	91	30	3,0	0*
Oktober	207	31	6,7	69
November	341	30	11,4	371
December	461	31	14,9	618
<b>Total</b>	<b>3112</b>	<b>365</b>	<b>-</b>	<b>3398</b>

Tabel 11. Graddage for et normalår inkl. det graddagekorrigerede rumvarmeforbrug

\*Negativt udregnede rumvarmeforbrug er rundet op til 0 kWh.

Da rumvarmeforbruget rent matematisk kan udregnes til negativt ved at bruge funktionsforskriften ved graddage med lave værdier, er disse rundet op til 0 kWh.

Det ses, at rumvarmeforbruget i et normalår med en opvarmning til 20 °C for boligen i Stenløse er beregnet til 3398 kWh ud fra funktionsforskriften. Sidste trin til at bestemme den endelige energisignatur for boligen er at dividere det graddagekorrigerede rumvarmeforbrug med boligens areal samt at tillægge en værdi for varmtvandsforbruget på 15 kWh/år/m<sup>2</sup>. Dette svarer til et standard varmtvandsforbrug på 250 l/m<sup>2</sup>/år (som der altid skal anvendes ved energimærkning af boliger) plus tab fra varmtvandsinstallationerne.

Dette giver en samlet energisignatur for boligen, som i dette eksempel har et areal på 101 m<sup>2</sup>:

- Årligt rumvarmeforbrug pr. m<sup>2</sup>:  $3398 \frac{\text{kWh}}{\text{år}} / 101 \text{ m}^2 = 33,6 \frac{\text{kWh}}{\text{år} \cdot \text{m}^2}$

- Årligt varmtvandsforbrug pr. m<sup>2</sup>:  $15 \frac{\text{kWh}}{\text{år} \cdot \text{m}^2}$

- Årligt varmeforbrug pr. m<sup>2</sup>:  $33,6 \frac{\text{kWh}}{\text{år} \cdot \text{m}^2} + 13 \frac{\text{kWh}}{\text{år} \cdot \text{m}^2} = 48,6 \frac{\text{kWh}}{\text{år} \cdot \text{m}^2}$

Dette er nettovarmeforbrug, hvilket ikke er inkluderet varmekildens virkningsgasfyr. Dette er af ældre dato og antages at have en virkningsgrad på 90 %. Hermed kan bruttovarmebehovet – der anvendes til energimærket – beregnes til 54 kWh/m<sup>2</sup>/år. Antages et elforbrug på 7 kWh/m<sup>2</sup> (typisk

<sup>2</sup> Fra Formel 1

for boliger af denne størrelse og alder) kan energiforbruget til grundlag for energimærket beregnes til **72 kWh/m<sup>2</sup>/år**. Dette svarer til **energimærke B** for den pågældende bygning.

Sidste værdi er boligen i Stenløses graddagekorrigerede varmeforbrug ved opvarmning til 20 °C i et normalår, som er bestemt ud fra målinger i fire måneder af rumvarmeforbrug og dertilhørende inde- og udetemperaturer.

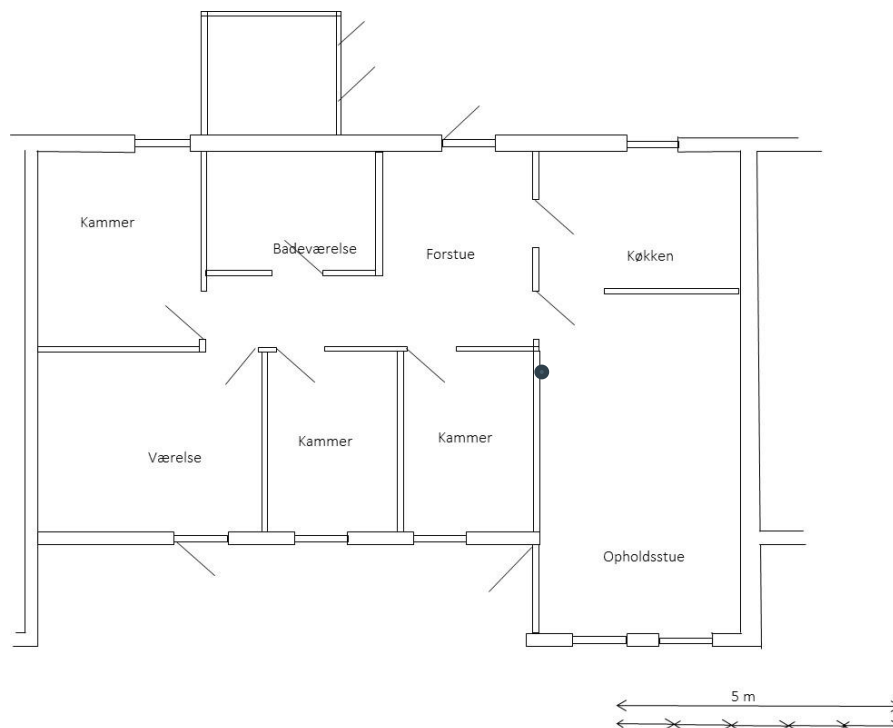
Ønskes der en vurdering af det årlige varmeforbrug i et normalår ved en anden opvarmningstemperatur end 20 °C, lægges forskellen i indetemperaturen til den daglige graddag. Hvis den ønskede opvarmningstemperatur eksempelvis er 23 °C, lægges der  $23^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 3^{\circ}\text{C}$  til graddagen. I januar giver det  $16,7^{\circ}\text{C} + 3^{\circ}\text{C} = 19,7^{\circ}\text{C}$  som gennemsnitlig graddag. Dermed fås en ny kolonne med graddage tilpasset til en ny ønsket opvarmningstemperatur, som bruges til at udregne det tilsvarende rumvarmeforbrug.

Det vurderes, at metoden beskrevet i dette afsnit giver et godt estimat for boligens energisignatur, selvom der kun er data for fire måneder. Dette forkorter dermed også den samlede tid, der benyttes til at lave boligens energisignatur, såfremt relevante og nøjagtige målinger er tilgængelige.

## 8.4 Analyse af målinger på cases

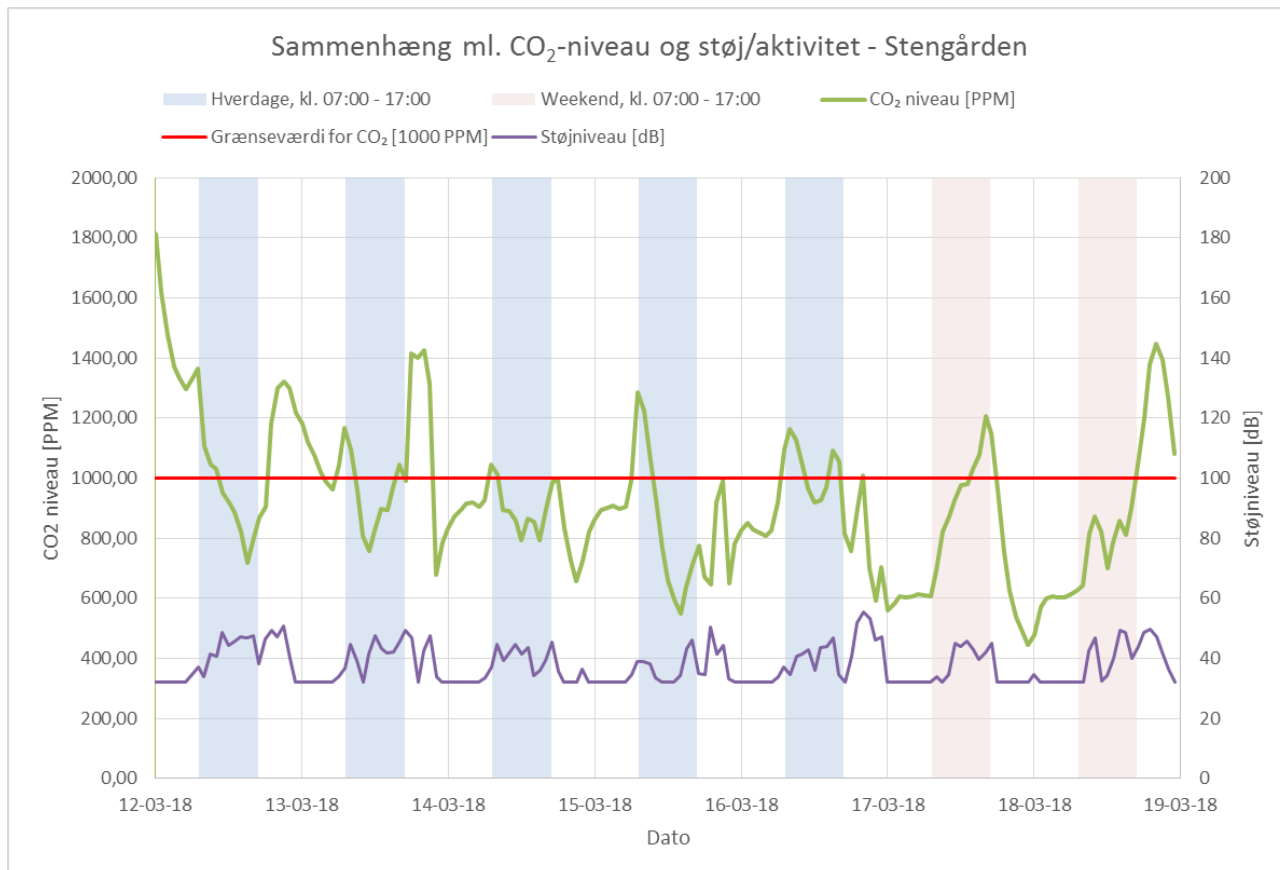
### 8.4.1 Rækkehus, Stenløse

For rækkehuset i Stenløse blev indeklimaet først undersøgt med et IC-Meter placeret i stuen:



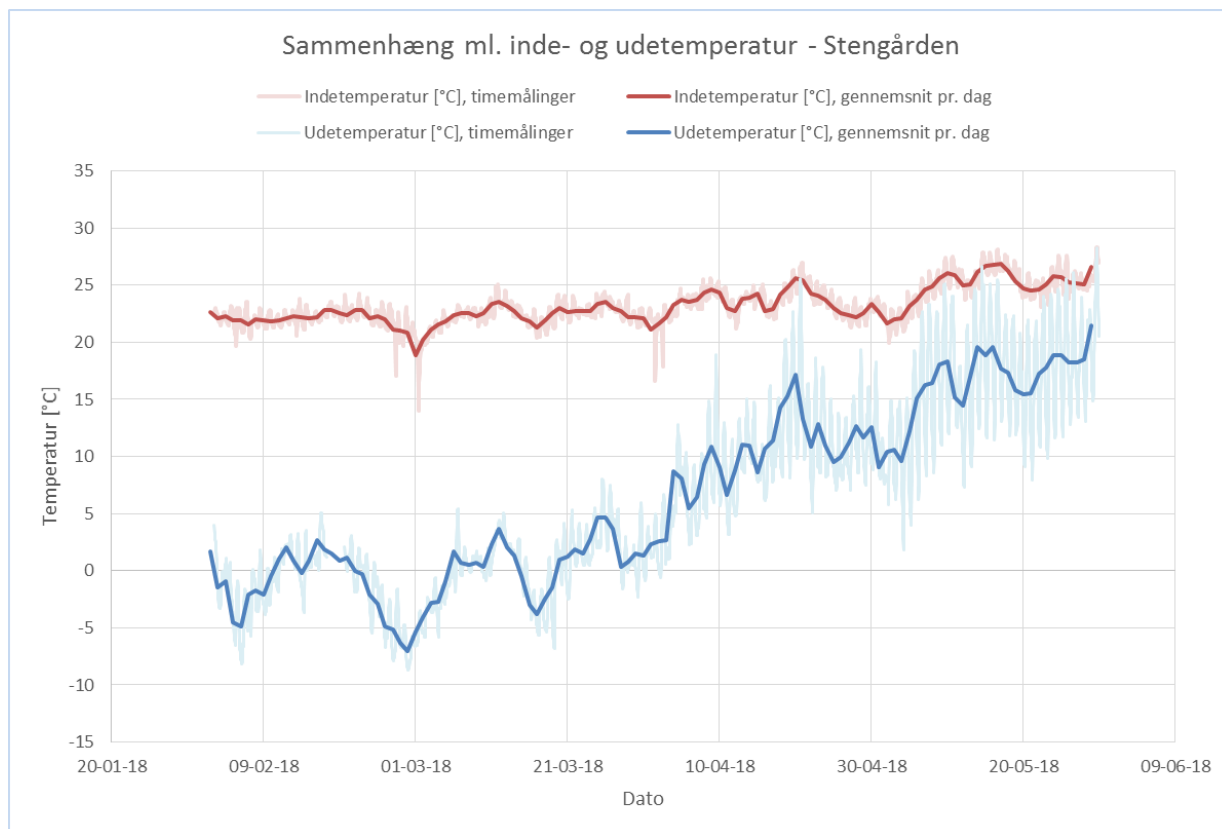
Figur 22: Grundplan af rækkehus i Stenløse med placering af måler

De væsentligste konklusioner på målingerne med IC-Meteret var, at CO<sub>2</sub> - niveauet ofte var højt, hvilket tyder på utilstrækkelig udluftning. (Da huset er naturligt ventileret, er der intet ventilationsanlæg).



Figur 23: CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i perioden mandag d. 12/3 til søndag d. 18/3-2018.

Derudover blev det observeret, at indetemperaturen er direkte påvirket af udetemperaturen, da indetemperaturen falder ved fald i udetemperaturen. Dette kan være begrundet med en dårlig isoleringsgrad.



Figur 24: Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] i perioden d. 02-02-18 til d. 31-05-2018.

På denne baggrund blev følgende konklusioner draget:

Konklusioner på indeklimamålinger
Indeklimaet er acceptabelt mht. indetemperaturer
CO <sub>2</sub> - niveauet kommer ofte over de anbefalede grænseværdier, hvilket indikerer, at luftskiftet er lavt.
Rumtemperaturen påvirkes af udetemperaturen, hvilket tyder på utilstrækkelig isolering eller problemer med rumvarmeanlæggets respons på temperaturændringer. Med det høje CO <sub>2</sub> - niveau er det formentligt ikke luftskiftet, der er problemet.
Anbefalinger til videre forløb
Mål varmekonsum og sammenlign med tilsvarende byggeri
Udarbejd energimærke

Tabel 12: Konklusioner og anbefalinger, indeklimamålinger, rækkehus i Stenløse

Derefter blev målingerne på varmekonsumet samt udetemperaturen anvendt til at beregne energisignaturen og det totale varmekonsum til brug for energimærket som beskrevet i afsnit 8.3.

Endelig kan energisignaturen også anvendes til at beregne, om rækkehuset har et normalt varmekonsum. Anvendes en indetemperatur på 23 °C, som der er blevet målt, kan det årlige varmekonsum vha. energisignaturen udregnes til 50,3 kWh/m<sup>2</sup>/år. Lægges det målte varmt brugsvandsforbrug til (7 kWh/m<sup>2</sup>/år) og et antaget varmetab fra installationerne (5 kWh/m<sup>2</sup>/år) giver dette et varmetab på i alt **62 kWh/m<sup>2</sup>/år**.

Tilsvarende huse af samme årgang og type har iflg. SBI et varmeforbrug på 97 kWh/m<sup>2</sup>/år (se Tabel 13). Dette vil sige, at varmeforbruget – uanset hvilken temperatur der regnes med – er under det forventede, hvilket indikerer, at klimaskærm og utætheder ikke har signifikante problemer.

Bygningsanvendelse	Før 1890	1890-1930	1931-1950	1951-1960	1961-1972	1973-1978	1979-1998	1999-2006	Efter 2006
Stuehus	184	171	162	151	136	117	100	81	67
Parcelhus	170	165	164	155	134	120	105	84	67
Række/kædehus	158	158	149	143	120	113	<b>97</b>	82	66

Tabel 13: Varmeforbrug fra boliger (Kilde: SBI 2014-01\_potentielle varmebesparelser ved løbende bygningsrenovering frem til 2050)

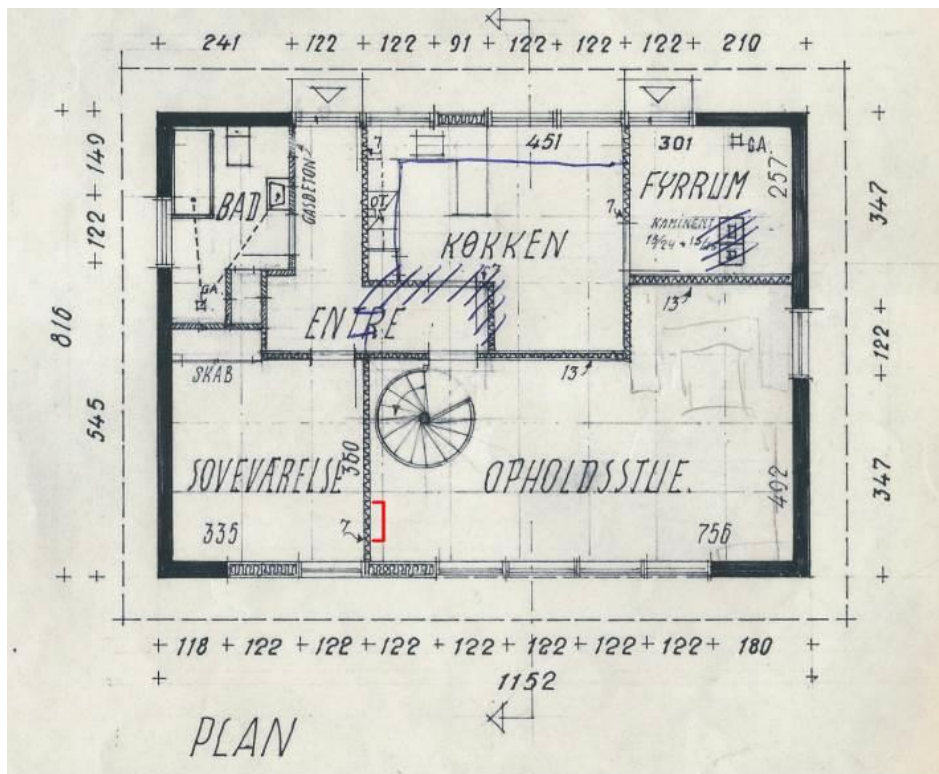
Konklusioner på varmemålinger
Det totale varmeforbrug er under det forventede for en bygning af denne type og årgang
Varmtvandsforbruget er lavt.

Tabel 14: Konklusioner og anbefalinger, varmemålinger, rækkehus i Stenløse

Yderligere uddybning af målinger kan findes i afsnit 8.4.1

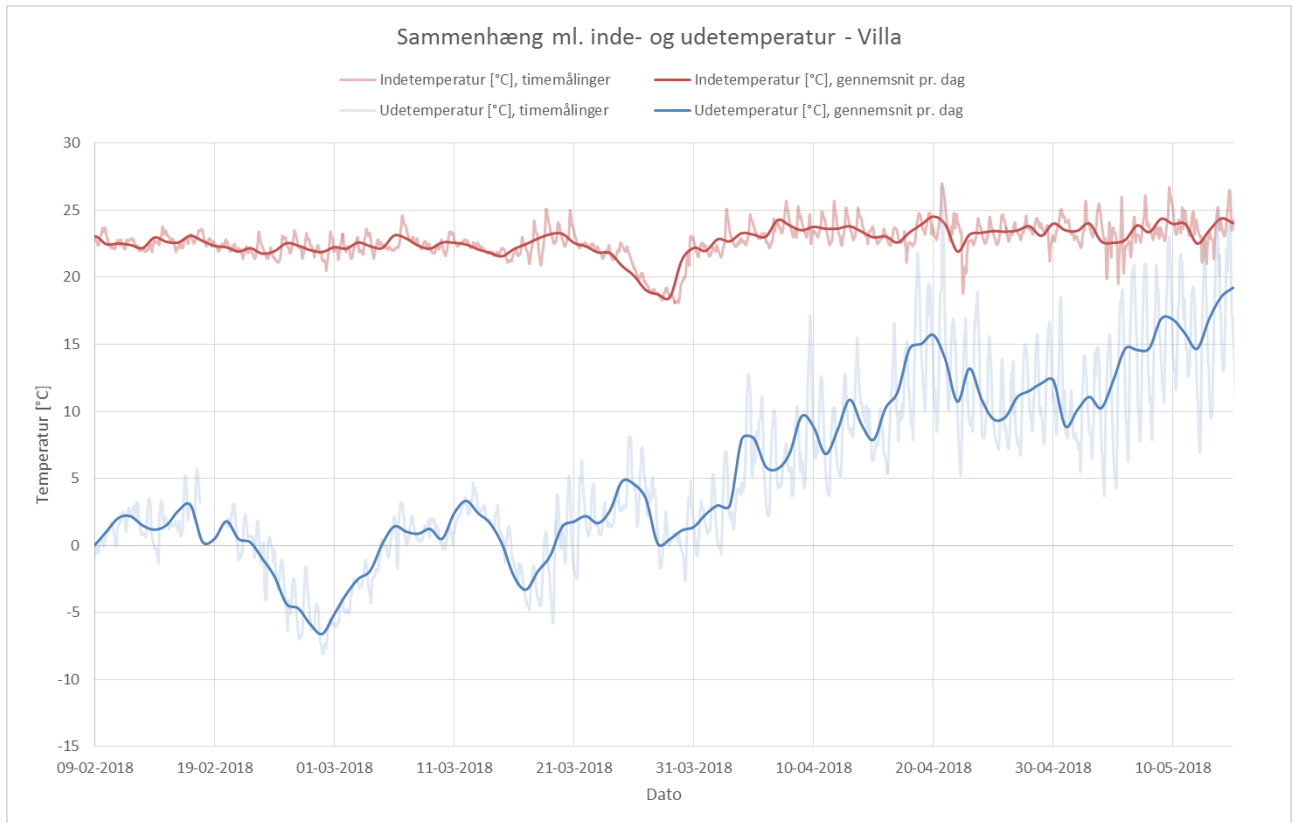
### 8.4.2 Villa, Fløng

For villaen i Fløng blev indeklimaet først undersøgt med et IC-Meter placeret i stuen:



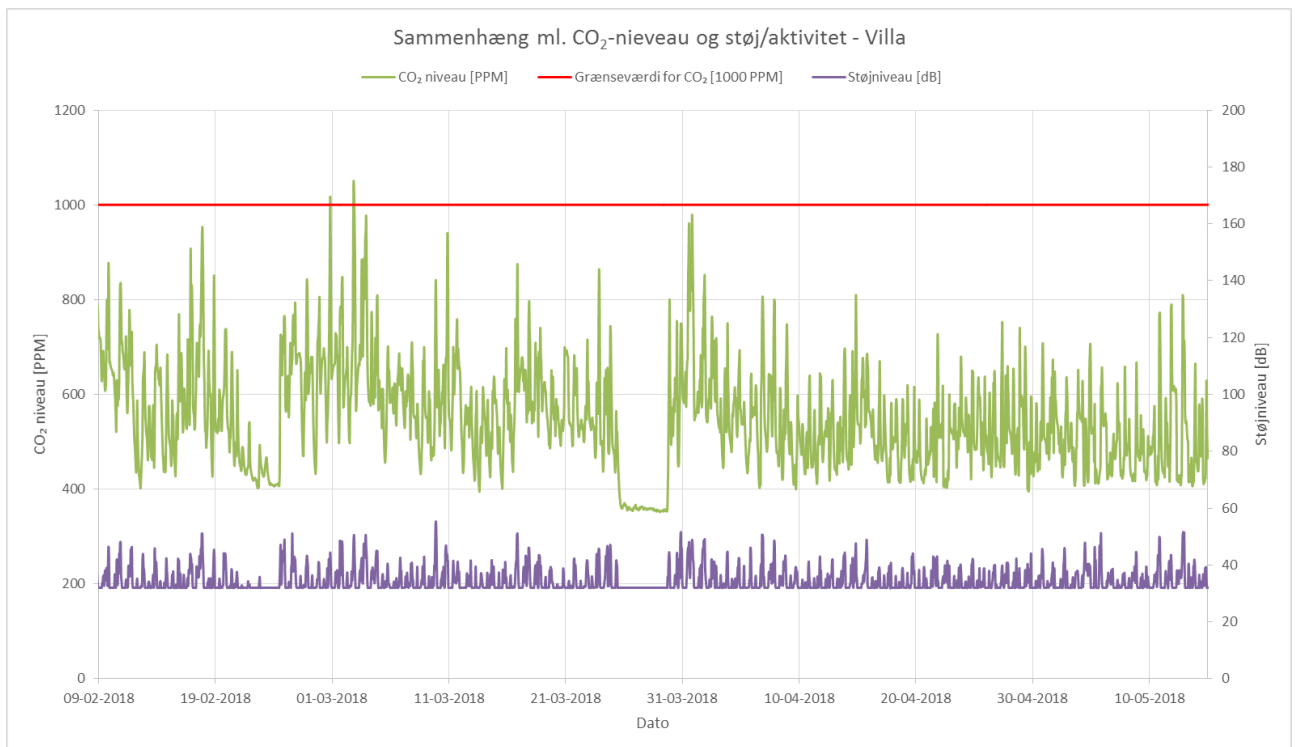
Figur 25: Placering af IC-Meter

I løbet af måleperioden fra 09/02-2018 til d. 15/05-2018 blev den gennemsnitlige indetemperatur målt til 22,7 °C. Som det kan ses af Figur 26, er indetemperaturen på et acceptabelt niveau og kommer meget sjældent over 26 °C.



Figur 26: Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] i perioden d. 09/02-2018 til d. 15/05-2018

Ligeledes bliver indetemperaturen ikke påvirket af udetemperaturen, hvilket indikerer, at der ikke er signifikante problemer med utætheder eller isolering af klimaskærmen.



Figur 27: CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i perioden fra d. 12/03-2018 til d. 15/05-2018

Målinger på CO<sub>2</sub>-niveauet viste, at niveauet er acceptabelt og sjældent overstiger den anbefalede grænseværdi på 1000 ppm, når der er personer tilstede.

Dette leder til følgende konklusioner omkring indeklimaet:

Tabel 15: Konklusioner og anbefalinger, indeklimatemålinger, villa i Fløng

<b>Konklusioner på indeklimatemålinger</b>
Indeklimaet og CO <sub>2</sub> -niveauet er begge acceptable
<b>Anbefalinger til videre forløb</b>
Mål varmekonsum og sammenlign med tilsvarende byggeri
Udarbejd energimærke

Efter at have undersøgt indeklimaet blev der foretaget en analyse af energisignaturen i villaen: Energisignaturen blev anvendt til at udregne rumvarmekonsumet ved 20 °C og det normale grad-dage efter EMO ordningen – i alt 40,7 kWh/m<sup>2</sup>/år. Antages et standard varmtvandsbehov inkl. tab på 15 kWh/m<sup>2</sup>/år fås et samlet netto varmebehov for brug i energimærket på 55,7 kWh/m<sup>2</sup>/år. Antages en COP for varmepumpen på 2,5 (se beregning længere nede) og anvendes en faktor for el på 2,5 giver dette et brutto elbehov fra varmekonsum på 55,7 kWh/m<sup>2</sup>/år. Antages som i afsnit 8.4.1 igen et elforbrug på 7 kWh/m<sup>2</sup> og anvendes en faktor på 2,5 for el fås det samlede brutto energibehov for anvendelse for energimærket på **73,2 kWh/m<sup>2</sup>/år**. Dette svarer til et **energi-mærke B**.

Det kan nu også vurderes, om varmekonsumet er rimeligt. Energimærket bliver beregnet ved en rumtemperatur på 20 °C, men beboerne havde en målt indetemperatur på 23 °C, hvilket ikke er usædvanligt. Anvendes denne indetemperatur, kan der beregnes et nyt antal graddage og efterfølgende rumvarmekonsum ud fra energisignaturen. Varmebehovet udregnet på denne måde giver et rumvarmebehov på 54 kWh/m<sup>2</sup>/år.

Varmt brugsvandsbehovet er målt på varmepumpen til gns. 90 liter pr. dag, hvilket giver et varmtvandsforbrug på 25 kWh/m<sup>2</sup>/år. Dette er noget over standarden, som der normalt regnes med i boligbyggeri – ca. 13 kWh/m<sup>2</sup>/år ekskl. tab. Forklaringen kan være, at der er en del teenagere i familien, som udøver meget sport.

Lægges varmt brugsvandsforbruget til tab fra rør, som skønsmæssigt sættes til 5 kWh/m<sup>2</sup>/år, løber det samlede varmebehov op til i alt **84 kWh/m<sup>2</sup>/år**. Sammenlignes med statistiske data for varmekonsum (se Tabel 16) kan det ses, at det samlede forbrug dog ligger væsentligt under målt forbrug for bygninger af samme type og årgang.

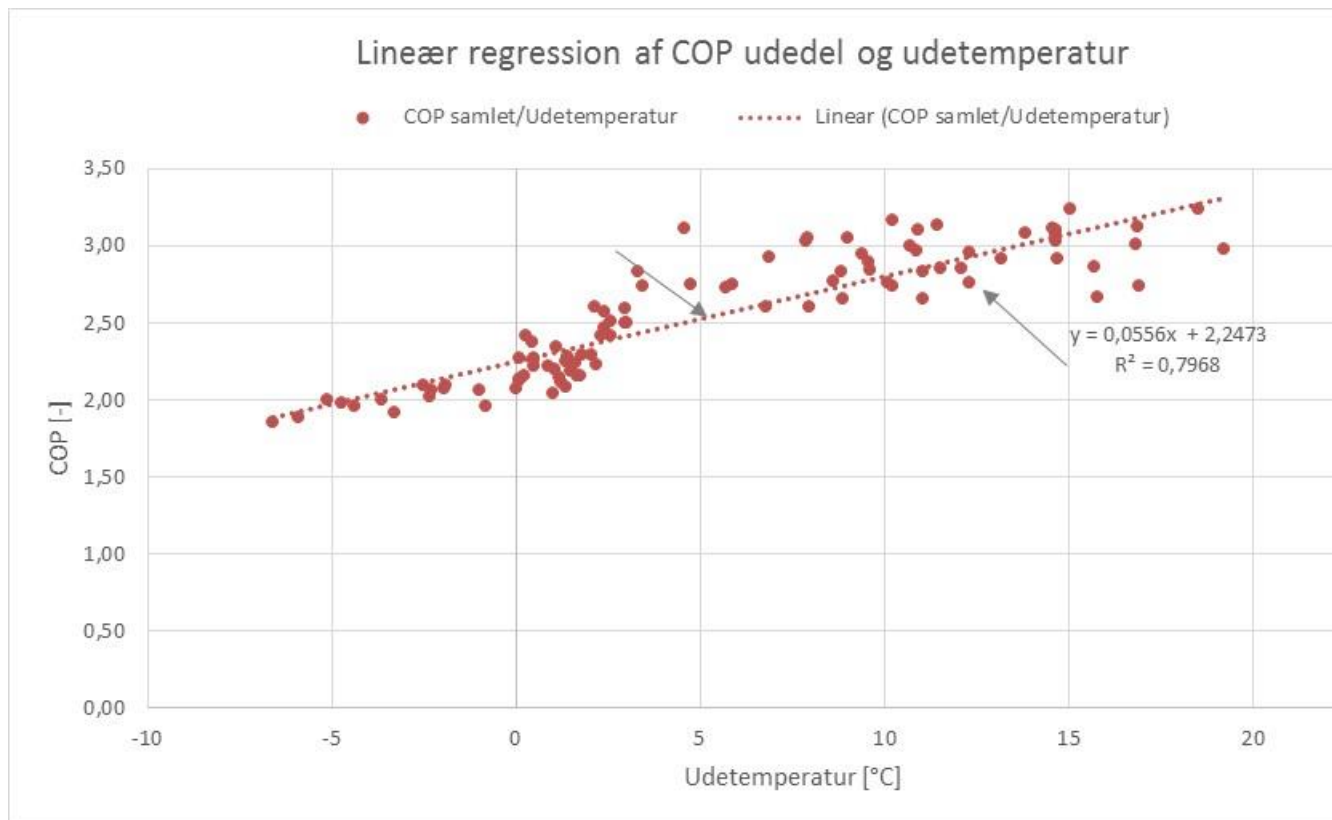
Bygningsanvendelse	Før 1890	1890-1930	1931-1950	1951-1960	1961-1972	1973-1978	1979-1998	1999-2006	Efter 2006
Stuehus	184	171	162	151	136	117	100	81	67
Parcelhus	170	165	164	155	<b>134</b>	120	105	84	67
Række/kædehus	158	158	149	143	120	113	97	82	66

Tabel 16: Varmeforbrug fra boliger (Kilde: SBI 2014-01\_potentielle varmesparelser ved løbende bygningsrenovering frem til 2050)

For yderligere dokumentation af beregningerne henvises til afsnit 11.1.2 - 11.1.4 i bilag.



Målingerne på villaen i Fløng skulle også verificere varmepumpens COP. Til det formål blev varmepumpens COP, totalt varmekonsum og udetemperatur målt fra d. 09/02-2018 til d. 16/04-2018. Dette blev gjort for at fastlægge en sammenhæng mellem udetemperatur og COP. Sammenhængen er illustreret i Figur 28:



Figur 28. Lineær regression af COP udedel og udetemperatur på varmepumpe

Med en lineær regression er det dermed også muligt at udvide og beregne en forventet COP for et helt år baseret på statistiske data for udetemperaturen. Ligeledes er det med energisignaturen muligt at beregne varmekonsumet for et helt år baseret på data for udetemperaturen. Som data for udetemperaturen anvendes timeværdier fra DRY fil (Design Reference Year), som også anvendes i energirammeberegninger.

Herved er det muligt at beregne en varmekonsumsvægtet COP ud fra formlen

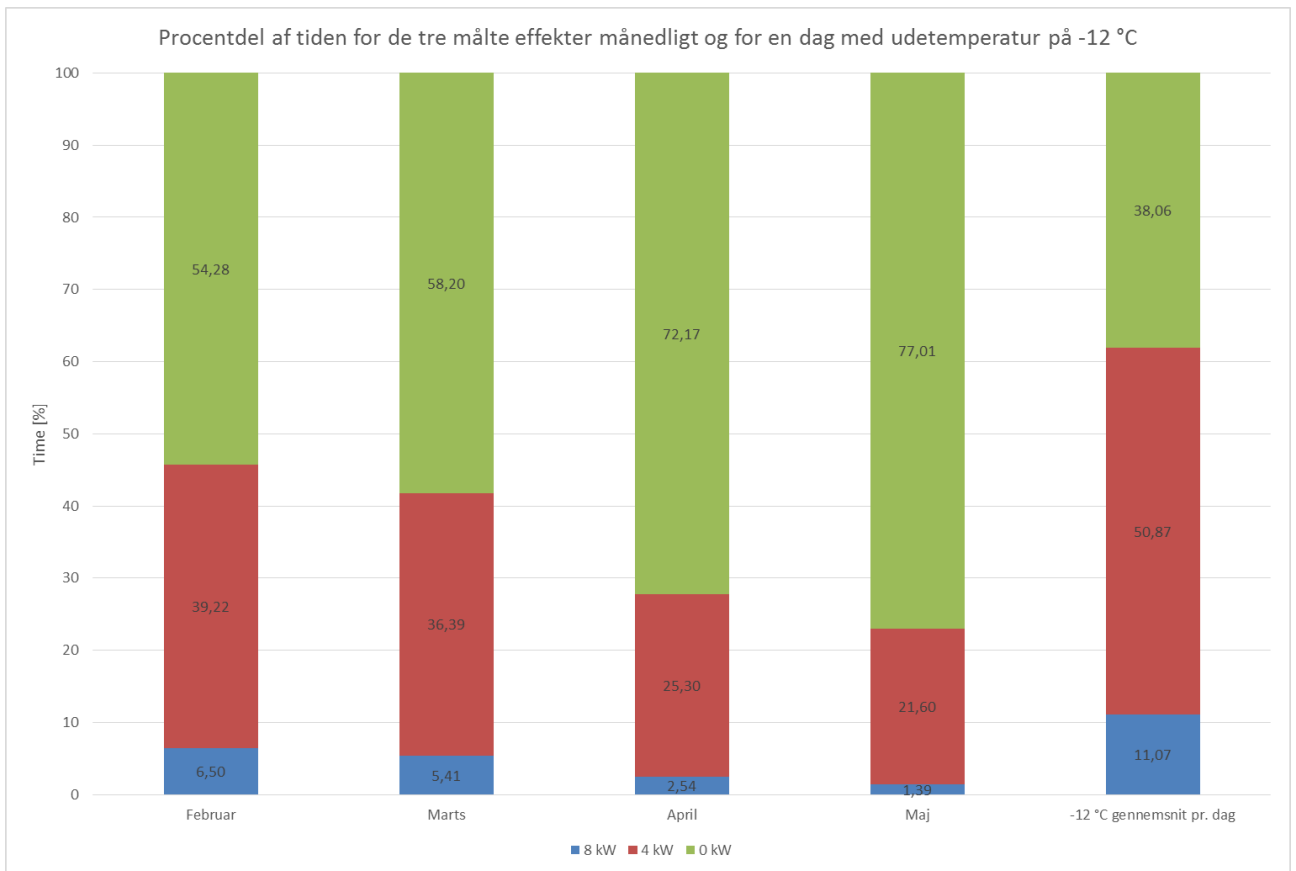
$$\text{Varmekonsumsvægtet COP} = \frac{\sum \text{Beregnet COP} \times \text{beregnet varmekonsum, timebasis}}{\text{Total beregnet varmekonsum på årsbasis}}$$

Den varmekonsumsvægtede COP er beregnet til 2,5, hvilket – sammenlignet med data for luftvarmepumperne på <https://sparenergi.dk/forbrugerværktøjer/varmepumpelisten>, virker lavt.

Figur 56 viser en anderledes opgørelse og behandling af driftsdata. Her er vist månedligt gennemsnit procentdel af tid, hvor varmepumpen virker med tre effektrin – 100 % (8 kW), 50 % (4 kW) og 0 % (0 kW).

Figuren viser, at varmepumpen i gennemsnit kører mindre end 10 % af tiden med højeste effekt i løbet af februar, der er en af de koldeste måneder. I februar kørte varmepumpen på 50 % (4 kW) omkring 39,2 % af tiden, mens den ikke kørte i omkring 54,3 % af tiden.

Procentdelen af tiden hvor varmepumpen kører, bliver mindre i de følgende måneder, da udetemperaturen er højere og varmekonsumet er mindre.



Figur 29. Procentdel af tiden for de tre målte effekter månedligt og for en dag med udetemperatur på -12 °C

På Figur 29 er der også vist resultatet for en teoretisk situation, hvor udetemperaturen er -12 °C. Dette er opnået med en lineær regression fra målingerne. Det forventes, at med -12 °C udendørs temperatur kører varmepumpen med 100 % (8 kW) i 11,07 % af tiden, mens den kører på 50 % (4 kW) i 50,87 % af tiden. Omkring 38,06 % af tiden forventes varmepumpen ikke at køre.

En varmepumpe kører med optimalt COP, når den er 80–100 % belastet. Under dette belastningsniveau falder COP væsentligt. Da varmepumpen ofte kører med 50 % belastning viser resultaterne derfor, at varmepumpen er overdimensioneret i forhold til varmekonsumet i boligen, da det er forventet, at den kører på den højeste niveau kun omkring 11 % af tiden, når design udetemperaturen overvejes i beregningen.

En mindre varmepumpe kunne med fordel benyttes i boligen, der kører længere på maks. effekt niveau og dermed opnår en bedre COP faktor.

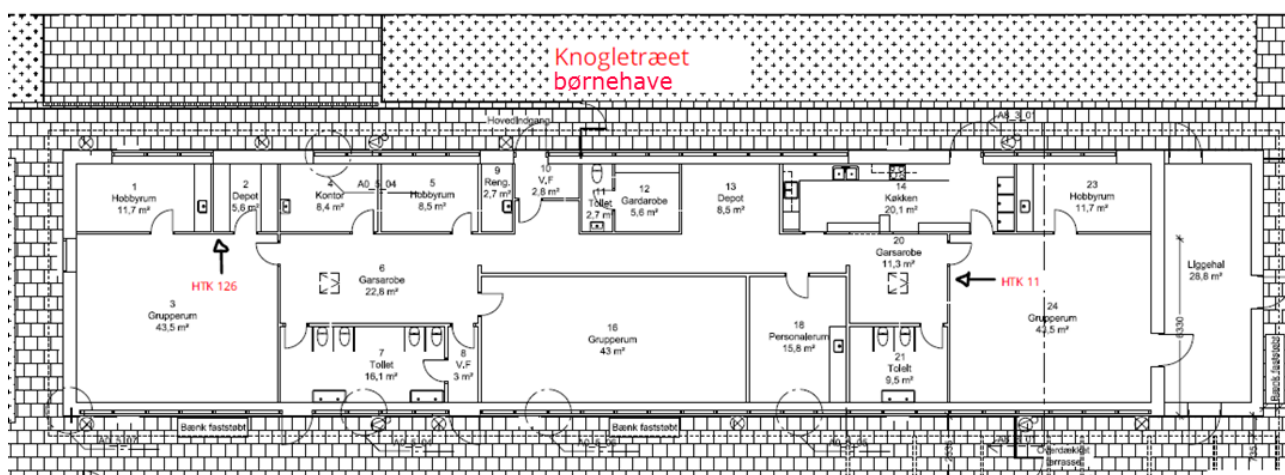
Yderligere dokumentation for måling på og beregning af varmepumpe COP er at finde i afsnit 0 og 11.1.6.

Konklusioner på el- og varmemålinger
Det totale varmeforbrug er under det forventede for en bygning af denne type og årgang
Varmtvandsforbruget er relativt højt
Varmepumpe virker overdimensioneret ift. varmebehov
Anbefalinger til videre arbejde
Undersøg årsag til højt varmtvandsforbrug (Er der læk? Skal der opsættes spare armaturer?)
Undersøg om der kan etableres en varmebuffertank til varmepumpen
Udskift varmepumpen

Tabel 17: Konklusioner og anbefalinger, el og varmemålinger, villa i Fløng

### 8.4.3 Daginstitutionen Kogletræet – børnehaveafdeling

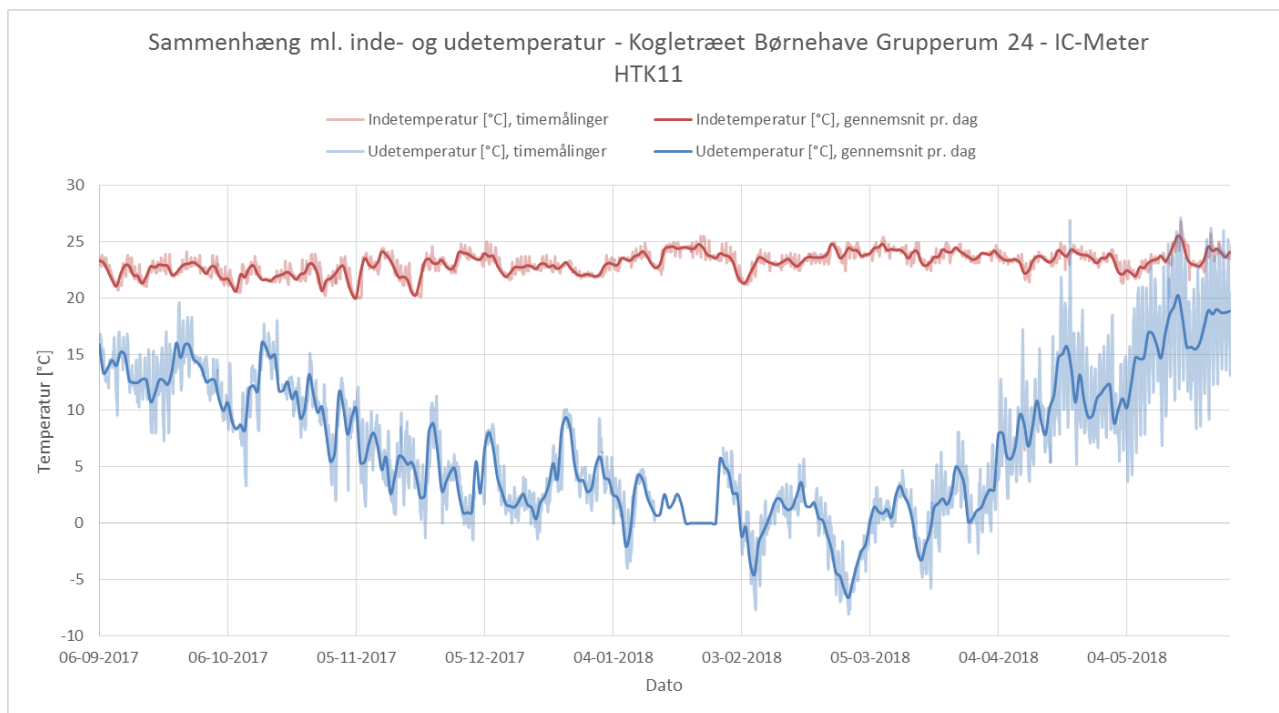
Indeklimaanalysen på Kogletræet Børnehave er udført med to IC-Meters, der var placeret i to forskellige rum i børnehaven. Figur 68. viser børnehavens grundplan og IC-Meters placering. IC-Meter var placeret i to grupperum, hvor det er forventet, at børnene bruger det meste af deres tid til at lave forskellige aktiviteter. Den første IC-Meter, HTK11, var placeret i Grupperum 24, og den anden IC-Meter, HTK126, var placeret i Grupperum 3.



Figur 30. Kogletræet børnehave grundplan og IC-Meters placering

I det følgende vil målingerne i grupperum 24 blive beskrevet – for målingerne i grupperum 3 henvises til afsnit 11.3.

Indetemperaturmålingerne er vist med rød og udetemperaturerne er blå for hver dag i måleperioden (06/09-2017 til 28/05-2018). Grafen viser både temperatur time for time samt med dagsgenomsnit for hver dag i perioden.



Figur 31. Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] i Grupperum 24 (IC-Meter HTK11) i perioden d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

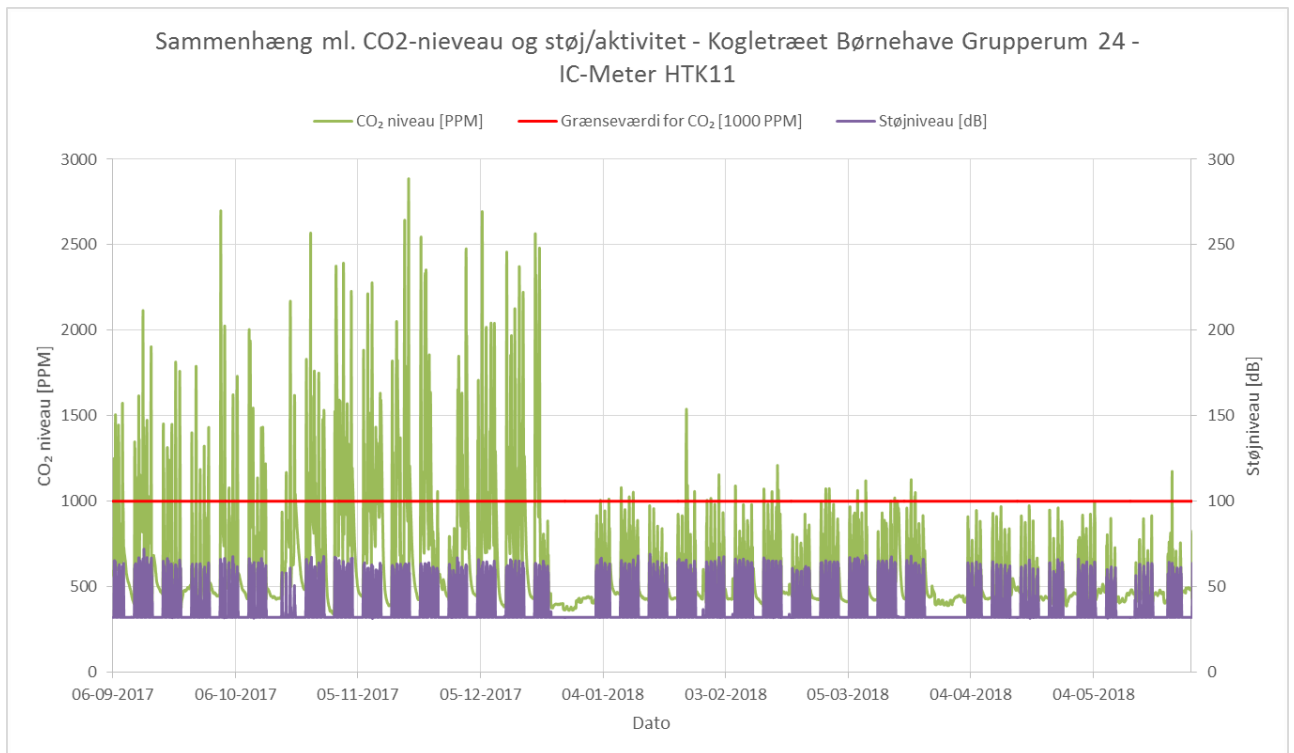
Figur 31 viser sammenhængen mellem de målte inde- og udetemperaturer. Indetemperaturerne svinger mellem 20 °C og 26,8 °C, mens udetemperaturerne svinger mellem -8,1 °C og 27,1 °C.

Indetemperaturen ser meget stabil ud i forhold til udetemperaturens variation og det kan ses, at udetemperaturen ikke påvirker indetemperaturen, da den laveste indetemperatur er nået, når udetemperaturen er ikke den laveste.

Den laveste indetemperatur er nået i november måned i løbet af weekenden, da den interne varmebelastningen var mindre, fordi børnehaven ikke havde åbent. Det kan heller ikke afvises, at sættemperaturen for varmen var sat lavere, når børnehaven ikke havde åbent.

Den gennemsnitlige indendørs komforttemperatur i hele måleperioden er beregnet til 23 °C, hvilket er normalt.

Data fra IC-Meter er desuden brugt til at vise CO<sub>2</sub>- samt støjniveauet i Grupperummet 24 på samme graf (Se Figur 32) for perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018.



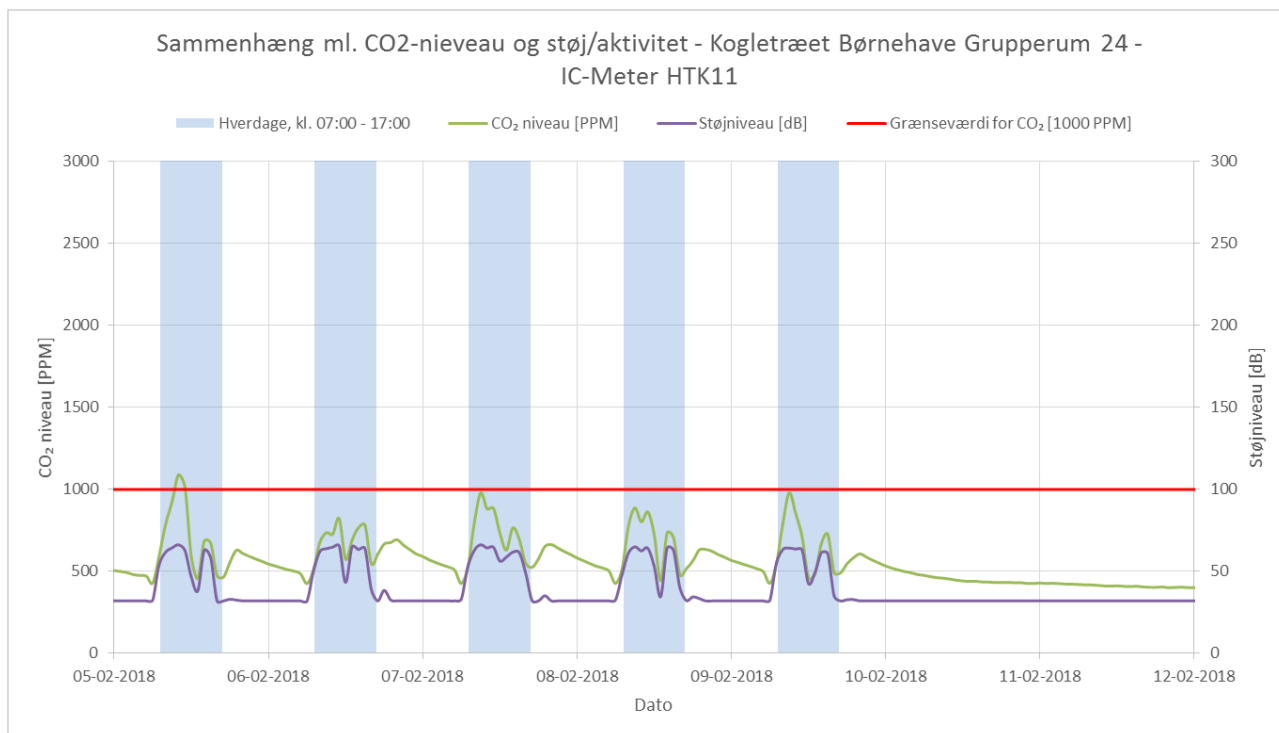
Figur 32. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum 24 (IC-Meter HTK11) i perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

På Figur 32 ses CO<sub>2</sub>-niveauet med grøn og støjniveau med lilla time for time over måleperioden. Grafen viser et højt CO<sub>2</sub>-niveau før d. 20/12-2017, mens niveauet falder efter juleferien. Støjniveau grafen viser ikke nogen variation i løbet af dage, når aktivitet er forventet (fra kl. 07:00 til kl. 17:00) i hele måleperiode.

Dette betyder, at problemet med højt CO<sub>2</sub>-niveau var relateret til ventilationsanlægget, da kun CO<sub>2</sub>-niveauet er påvirket, selvom støjniveauet viser, at der stadig er aktiviteter i rummet. Det højeste CO<sub>2</sub>-niveau før juleferien var 2855 PPM. På den anden side af juleferien var det højeste CO<sub>2</sub>-niveauet efter 1538 PPM.

Dette viser en stor forskel mellem de to perioder og en god forbedring af indeklimaet mht. CO<sub>2</sub>-niveau. Problemet blev identificeret efter at personalet klagede over et dårligt indeklima og det blev opdaget, at ventilationsanlægget var slukket.

Nærstudies CO<sub>2</sub>-niveauet efter aktiveringen af ventilationsanlægget, kan det ses, at CO<sub>2</sub>-niveauet overholdes:



Figur 33. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum 24 (IC-Meter HTK11) for en uge fra d. 05/02 til d. 11/02-2018

Gns. lå CO<sub>2</sub>-niveauet på ca. 700 ppm efter opstart af ventilationsanlægget, hvilket er tilfredsstillende og under arbejdstilsynets grænse på 1000 ppm. Der kunne potentielt være en mindre økonomisk besparelse ved at anvende behovsstyring efter CO<sub>2</sub>-niveauet.

<b>Konklusioner på indeklimamålinger</b>
Temperaturer er tilfredsstillende i måleperioden
CO <sub>2</sub> -niveauet er tilfredsstillende efter start af ventilationsanlæg
Rumtemperaturen påvirkes ikke af udetemperaturen, hvilket tyder på, at klimaskærmen og utæthed af samme er på et acceptabelt niveau.
<b>Anbefalinger til videre forløb</b>
Mål temperaturer over et helt år for at afklare om temperaturniveau er acceptabelt
Mål varmeforbrug og sammenlign med tilsvarende byggeri
Udarbejd energimærke
Undersøg om det kan betale sig med behovsstyring af ventilationen efter CO <sub>2</sub> -niveau

Tabel 18: Konklusion på indeklimamålinger, børnehaven Kogletræet

Ved beregning af energisignaturen var beregningen en anelse mere udfordrende end for de to boliger. Der blev ikke målt separat på det varme brugsvandsforbrug og derfor er der anvendt en standardværdi på 10 l/person pr. dag, svarende til et varmt brugsvandsforbrug på 14,1 kWh/m<sup>2</sup>/år<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Jf. [www.teknologisk.dk/ root/media/28376\\_VE%20%20\(Ivan%20Solvarme\).pdf](http://www.teknologisk.dk/root/media/28376_VE%20%20(Ivan%20Solvarme).pdf)

Når dette varmtvandsforbrug blev trukket fra det totale varmeforbrug, kunne energisignaturen udarbejdes og det graddagekorrigerede rumvarmeforbrug beregnes til i alt 31,2 kWh/m<sup>2</sup>/år. For at kunne udregnes det endelige varmeforbrug, anvendes standardværdien for denne type bygninger mht. varmtvandsforbrug (100 l/m<sup>2</sup>/år) og et antaget varmetab fra varmtvandsinstallationer på 1 kWh/m<sup>2</sup>/år – i alt 6 kWh/m<sup>2</sup>/år. Lægges dette til rumvarmeforbruget fås et totalt varmeforbrug på 37,2 kWh/m<sup>2</sup>/år.

Da elforbrug til lys skal medtages og der er balanceret mekanisk ventilation, som bruger mere el end udsugning, antages et elforbrug på 8 kWh/m<sup>2</sup>/år, hvilket giver 20 kWh/m<sup>2</sup>/år med en elfaktor på 2,5. I alt løber energiforbruget op i 57,2 kWh/m<sup>2</sup>/år, hvilket er **energiklasse A2010**. Dette er lavt, men det drejer sig om en ny bygning, der er velisoleret.

Derudover kan energisignaturen også anvendes til at beregne, om børnehaven har et normalt varmeforbrug. Anvendes en indetemperatur på 23 °C, som der er blevet målt i måleperioden, kan det årlige rumvarmeforbrug vha. energisignaturen udregnes til 42,3 kWh/m<sup>2</sup>/år.

Lægges det teoretiske varmtbrugsvandsforbrug til (14,1 kWh/m<sup>2</sup>/år) og et antaget tab fra installationerne (2 kWh/m<sup>2</sup>/år) giver dette et varmetab på i alt **58 kWh/m<sup>2</sup>/år**, hvis der tages udgangspunkt i 2014 som konstruktionsår, hvor institutionen blev renoveret.

Tilsvarende bygninger af samme årgang og type har iflg. SBI et varmeforbrug på 116 kWh/m<sup>2</sup>/år (se Tabel 13). Dette vil sige, at varmeforbruget er 50 % under det forventede, hvilket indikerer, at klimaskærm og utætheder ikke har signifikante problemer.

<b>Bygningsanvendelse</b>	<b>Før 1890</b>	<b>1890-1930</b>	<b>1931-1950</b>	<b>1951-1960</b>	<b>1961-1972</b>	<b>1973-1978</b>	<b>1979-1998</b>	<b>1999-2006</b>	<b>Efter 2006</b>
Daginstitution	171	182	174	172	173	166	144	134	<b>116</b>
And. institution	178	176	178	202	179	169	139	135	118

Tabel 19: Varmeforbrug fra boliger (Kilde: SBI 2014-01\_potentielle varmebesparelser ved løbende bygningsrenovering frem til 2050)

<b>Konklusioner på varmemålinger</b>
Det totale varmeforbrug er under det forventede for en bygning af denne type og årgang

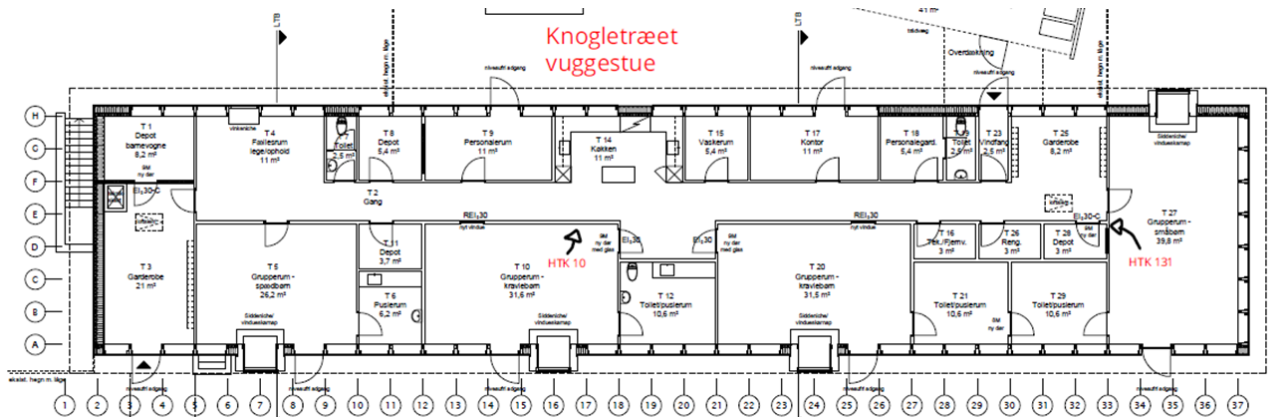
Tabel 20: Konklusioner og anbefalinger, varmemålinger, børnehaven Kogletræet

Yderligere uddybning af målinger og analyse kan findes i afsnit 11.4.5.

#### 8.4.4 Daginstitutionen Kogletræet - vuggestueafdeling

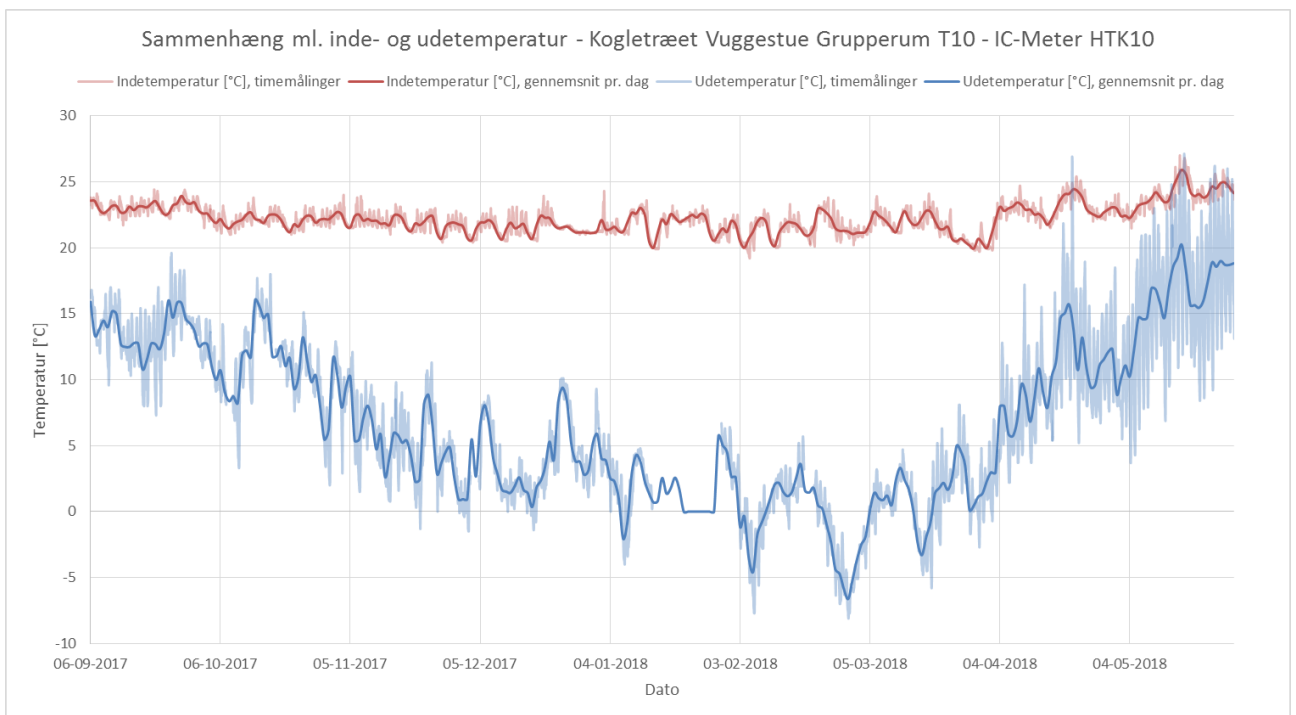
Indeklimaanalysen er udført i perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018, hvor to IC-Meter blev anvendt til at foretage indeklimamålingerne på Kogletræet Vuggestue i Høje Taastrup Kommune.

IC-Meters var placeret i to forskellige rum og Figur 89 viser vuggestuens grundplan samt IC-Meters placering. Den første IC-Meter, HTK10, var placeret i Grupperummet T10, mens den anden, HTK131, var placeret i Grupperummet T27. Det er forventet, at børnene bruger det mest af deres tid i disse rum. Der er her fokuseret på grupperum T10 – analysen af rum T27 kan findes i afsnit 11.4.



Figur 34. Kogletræet vuggestue grundplan og IC-Meters placering

Ved at eksportere rådata fra IC-Meter cloud-tjeneste er det muligt at lave en graf over sammenhængen mellem inde- og udetemperaturen, som det er vist på Figur 35. Indetemperaturene med rød, og udetemperaturerne er med blå, for hver dag i måleperioden (fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018). Graferne viser både temperaturer time for time samt dagsgennemsnit for hver dag i perioden.



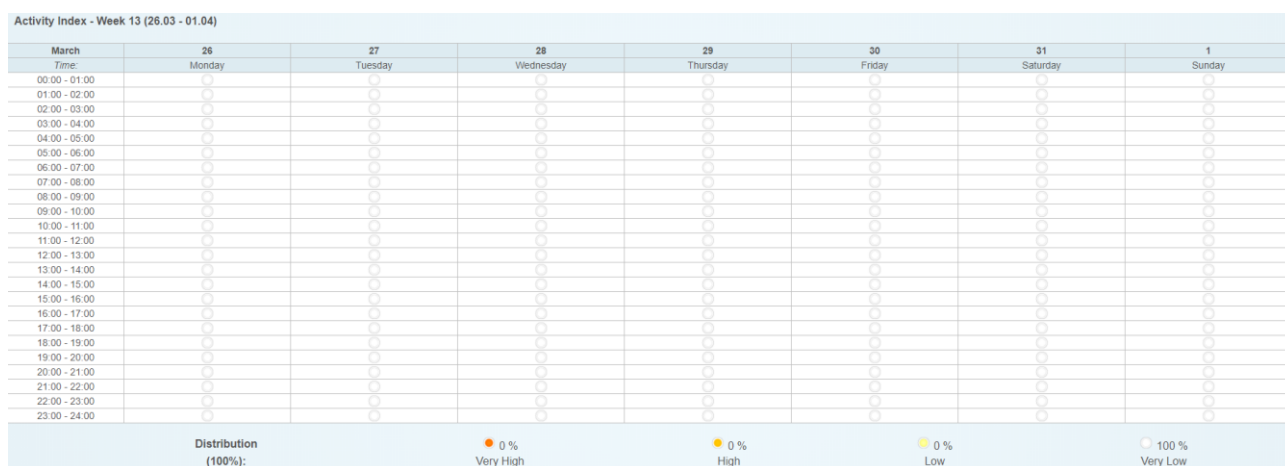
Figur 35. Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] i Grupperum T10 (IC-Meter HTK10) i perioden d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

Indetemperatur-målingerne på Figur 35 svinger mellem 19,2 °C og 27 °C over den målte periode, mens udetemperaturerne svinger mellem -8,1 °C og 27,1 °C. Den gennemsnitlige temperatur i hele måleperioden er beregnet til 22,2 °C, der er en normal indetemperatur.



Indetemperaturen i Grupperummet T10 ser ikke særlig påvirket ud af udetemperaturen, da den laveste indetemperatur ikke er nået når den laveste udetemperatur er registreret. Det er også muligt at se, som de laveste indetemperaturværdier er nået i løbet af weekender.

I den sidste uge af marts ser indetemperaturen særlig lav ud, selvom udetemperaturen ikke er den laveste målt i perioden. Forklaringen kan ses på Figur 36, hvor aktivitetsindekset er vist for ugen fra d. 26/03-2018 til d. 01/04-2018. Det er muligt at observere, at der ikke var aktiviteter inde i rummet og derfor var varmelastningen lav. Vuggestuen var måske lukket, da det var påske, og rumvarmesætpunktet har formentlig været reduceret.



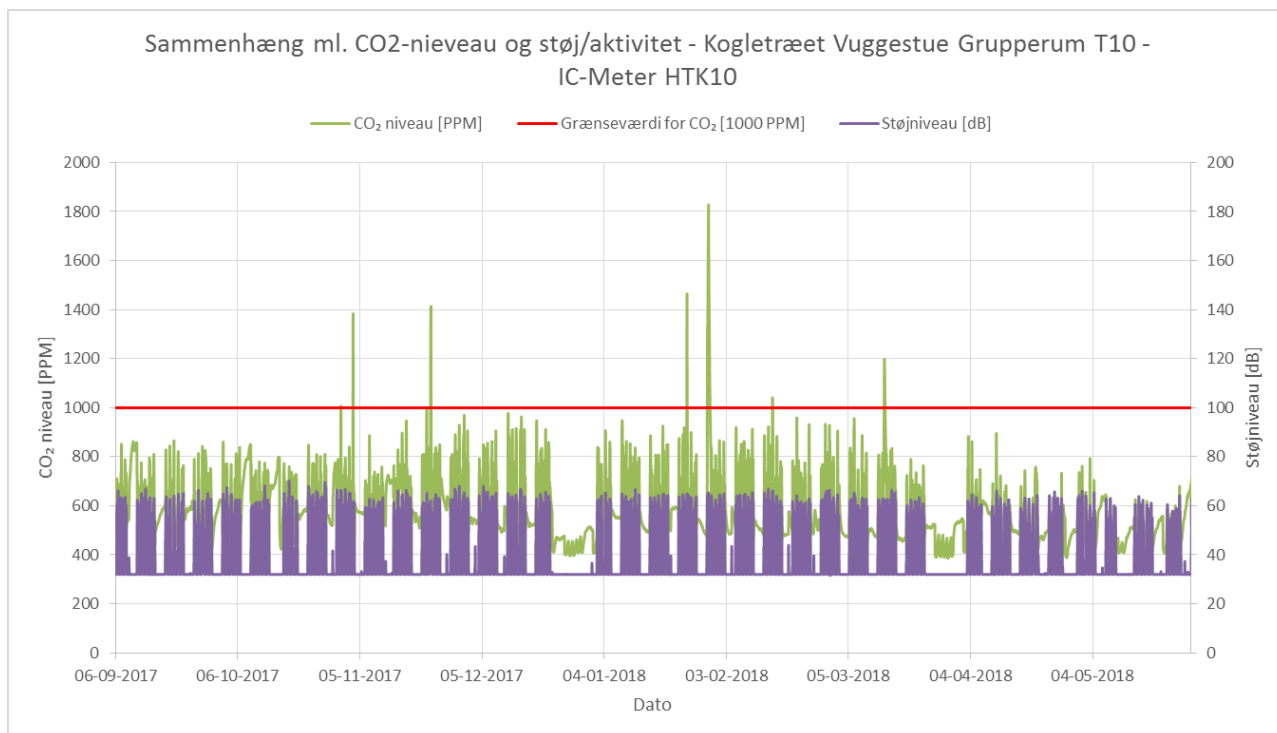
Figur 36. Data for aktivitet-indeks i Grupperum 10 (IC-Meter HTK10) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 26/03 til d. 01/04-2018

Den gennemsnitlige dagtemperatur inde og ude viser en tendens til, at rumtemperaturen påvirkes af udetemperaturen i den sidste del af måleperioden. Især fra april måned ser indetemperaturen lidt højere ud, da udetemperaturen startede med at blive højere. Dette kan skyldes, at det er ved at være sommer og der udluftes mere.

Målingerne af CO<sub>2</sub>-niveau benyttes for at analysere indeklimaet og luftkvaliteten i Grupperum T10. På Figur 37 er CO<sub>2</sub>-niveauet vist samt støjniveauet i Grupperummet T10 på samme graf for hele måleperioden.

CO<sub>2</sub>-niveauet er vist med grøn, og grafen viser målinger time for time, mens støjniveauets graf er vist med lilla. CO<sub>2</sub>-niveauet er tilfredsstillende over hele måleperioden, da der kun er få dage, hvor niveauet er højere end grænseværdien. Støjniveauet er stabilt og der er ikke bemærkelsesværdige variationer i løbet af hverdage, når aktiviteter er forventet (fra kl. 07:00 til kl. 17:00).

Figur 37 viser, at for april måned og maj måned er CO<sub>2</sub>-niveauet lavere end de tidligere måneder. Det kan forklares med en højere udetemperatur i begyndelsen af april måned, hvilket formentlig har medført, at personalet har åbnet vinduerne, og rummet er over ventileret. Det er derfor muligt at reducere den mekanisk ventilation tilsvarende.



Figur 37. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum T10 (IC-Meter HTK10) i perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

Konklusioner på indeklimate målinger
Temperaturer er tilfredsstillende i måleperioden
CO <sub>2</sub> -niveauet er tilfredsstillende
Rumtemperaturen påvirkes ikke af udetemperaturen, hvilket tyder på, at klimaskærmen og utæthed af samme er på et acceptabelt niveau.
Anbefalinger til videre forløb
Måle temperaturer over et helt år for at afklare om temperaturniveau er acceptabelt
Måle varmeforbrug og sammenlign med tilsvarende byggeri
Undersøg om det kan betale sig med behovsstyring af ventilationen efter CO <sub>2</sub> -niveau

Tabel 21: Konklusion på indeklimate målinger, vuggestuen Kogletræet

Ved beregning af energisignaturen var beregningen, som i tilfældet med børnehaven, en anelse mere udfordrende sammenlignet med de to boliger. Der blev ikke målt separat på det varme brugsvandsforbrug og derfor er der anvendt en standardværdi på 10 l/person pr. dag, svarende til et varmt brugsvandsforbrug på 14,1 kWh/m<sup>2</sup>/år<sup>4</sup>. Når dette varmtvandsforbrug blev trukket fra det totale varmeforbrug, kunne energisignaturen beregnes:

<sup>4</sup> Jf. [www.teknologisk.dk/ root/media/28376\\_VE%20%20\(Ivan%20Solvarme\).pdf](http://www.teknologisk.dk/root/media/28376_VE%20%20(Ivan%20Solvarme).pdf)

Energisignaturen blev anvendt til at udregne rumvarmeforbruget ved 20 °C og et normalt graddageår på 3112 graddage – i alt **41,1 kWh/m<sup>2</sup>/år**. For at kunne udregnes det endelige varmeformbrug anvendes – som i forrige afsnit - standardværdien for denne type bygninger mht. varmtvandsforbrug (100 l/m<sup>2</sup>/år) og et antaget varmetab fra varmtvandsinstallationer på 1 kWh/m<sup>2</sup>/år – i alt 6 kWh/m<sup>2</sup>/år, hvilket giver et samlet varmebehov på 47,1 kWh/m<sup>2</sup>/år.

Da elforbrug til lys skal medtages og der er balanceret mekanisk ventilation, som bruger mere el end udsugning, antages et elforbrug på 8 kWh/m<sup>2</sup>/år, hvilket giver 20 kWh/m<sup>2</sup>/år med en elfaktor på 2,5. I alt løber energiforbruget op i 67,1 kWh/m<sup>2</sup>/år, hvilket er **energiklasse A2010**. Dette er lavt, men det drejer sig om en bygning, der lige er renoveret.

Derudover kan energisignaturen også anvendes til at beregne, om vuggestuen har et normalt varmeformbrug. Anvendes en indetemperatur på 22 °C, som der er blevet målt i måleperioden, kan det årlige rumvarmeformbrug vha. energisignaturen udregnes til 51,5 kWh/m<sup>2</sup>/år. Lægges det teoretiske varmt brugsvandsforbrug til (14,1 kWh/m<sup>2</sup>/år) og et antaget tab fra installationerne (2 kWh/m<sup>2</sup>/år) giver dette et varmetab på ialt **68 kWh/m<sup>2</sup>/år**.

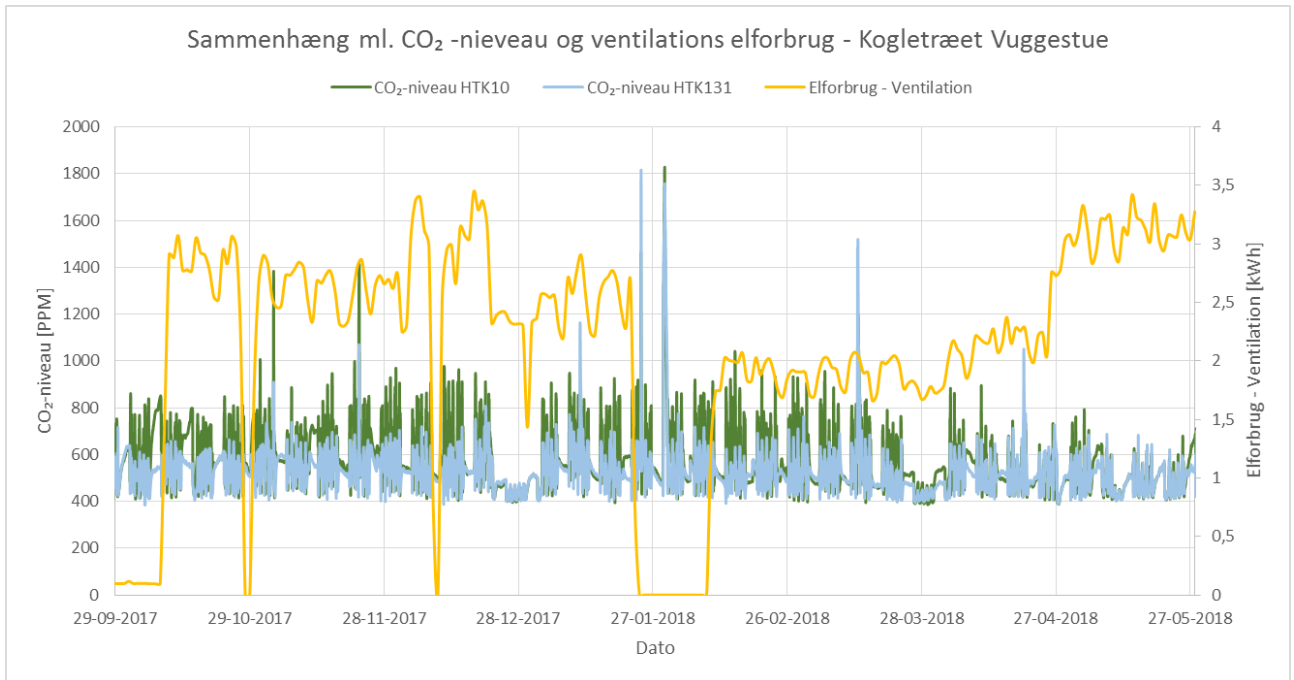
Tilsvarende bygninger af samme årgang og type har iflg. SBI et varmeformbrug på 116 kWh/m<sup>2</sup>/år (se Tabel 13), hvis der tages udgangspunkt i 2014 som konstruktionsår, hvor institutionen blev renoveret. Dette vil sige, at varmeformbruget er 40 % under det forventede, hvilket indikerer, at klimaskærm og utætheder ikke har signifikante problemer.

<b>Bygningsanvendelse</b>	<b>Før 1890</b>	<b>1890-1930</b>	<b>1931-1950</b>	<b>1951-1960</b>	<b>1961-1972</b>	<b>1973-1978</b>	<b>1979-1998</b>	<b>1999-2006</b>	<b>Efter 2006</b>
Daginstitution	171	182	174	172	173	166	144	134	<b>116</b>
And. Institution	178	176	178	202	179	169	139	135	118

Tabel 22: Varmeforbrug for institutioner (Kilde: SBI 2014-01\_potentielle varmebesparelser ved løbende bygningsrenovering frem til 2050)

Endeligt blev forholdet mellem elforbruget til ventilationsanlæg og CO<sub>2</sub>-niveauet analyseret.

Figur 38 vises energiforbruget til ventilationsanlægget med gult, og med grøn vises CO<sub>2</sub>-niveauet i Grupperum T10, og CO<sub>2</sub>-niveauet i Grupperum T27 er blå. Perioden vist på grafen er fra d. 29/09-2017 til d. 28/05-2018, da elforbruget var registreret til nul før datoen.

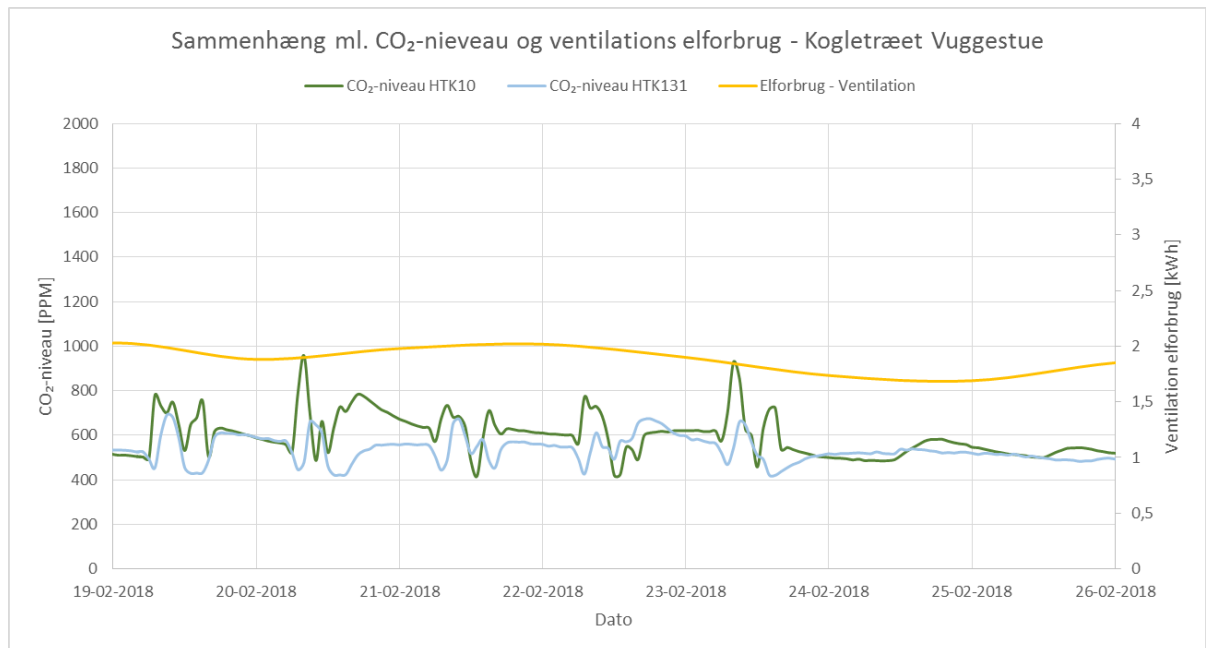


Figur 38. Sammenhæng mellem CO<sub>2</sub>-niveau og elforbrug til ventilationsanlæg i perioden d. 29/09-2017 til d. 28/05-2018

På Figur 38 ses, at elforbruget er lavere i løbet af weekenderne, når CO<sub>2</sub>-niveauet i de to rum er lavt. Det ses også, at elforbrug til ventilationsanlægget er lavere i vinterperioden end i perioden, når udetemperaturen stiger, som det er vist efter d. 27/04-2018. Elforbruget falder til nul i løbet af to weekender, omkring d. 29/10-2017 og d. 10/12-2017, og for to uger fra d. 24/01-2018 og d. 08/02-2018, hvor det ses, som ventilationsanlægget var slukket.

Efter d. 27/04-2018 ser CO<sub>2</sub>-niveauet meget lavt ud, mens elforbruget stiger til de højeste værdier. Det kan heraf konkluderes, at begge rum var overventileret, og den mekaniske ventilation kan reduceres.

Figur 39 viser sammenhængen mellem CO<sub>2</sub>-niveauet i Kogletræet vuggestue og ventilations elforbrug for ugen fra d. 19/02-2018 til d. 25/02-2018. Elforbruget ser meget stabil i løbet af ugen, og det svinger mellem 1,7 kWh og 2 kWh.



Figur 39. Sammenhæng mellem CO<sub>2</sub>-niveau og elforbrug til ventilationsanlæg i perioden d. 19/02-2018 til d. 25/02-2018

På Figur 39 ser CO<sub>2</sub>-niveauet meget lavt ud det meste af tiden, også når der er aktiviteter i vuggestuen. Derfor kan ventilationen reduceres for at opnå et lavere energiforbrug. Desuden ses det, at ventilationsanlægget næsten kører konstant, når der er ikke aktivitet. Det kan derfor være interessant at evaluere, om en variabel luftmængde kan opnå nogen energibesparelse.

<b>Konklusioner på varme og elmålinger</b>
Det totale varmeforbrug er under det forventede for en bygning af denne type og årgang
<b>Anbefalinger til videre forløb</b>
Undersøg om ventilationsmængde kan reduceres – evt. med behovsstyring

Tabel 23: Konklusioner og anbefalinger, varme og elmålinger, vuggestuen Kogletræet

#### 8.4.5 Samlet konklusion på målinger og connectivity

Der blev for alle bygningerne foretaget analyser af indeklimaet mht. temperaturniveau og CO<sub>2</sub>-niveau.

Mht. temperaturer afdækkede målingerne, at der alle steder blev opvarmet til højere temperatur (22–23 grader) end, hvad der anvendes som standard i energirammen, hvilket er vigtigt at tage i betragtning når bygningernes varmeforbrug skal vurderes. Den ideelle måleperiode vil med fordel kunne lægges i tre sæsoner – forår, efterår og sommer. Herved vil evt. problemer med overtemperaturer også kunne afklares, hvilket igen vil kunne identificere evt. problemer med ventilation og/eller solafskærmning.

Mht. CO<sub>2</sub>-niveau afklarede målingerne, at der var for højt CO<sub>2</sub>-niveau i rækkehuset og børnehaven Kogletræet, mens resten af bygningerne havde et tilfredsstillende niveau. I sidstnævnte skyldes det høje CO<sub>2</sub>-niveau, at ventilationsanlægget var slukket. Anlægget blev tændt pga. personalets klager, men her kunne CO<sub>2</sub>-målingen også have afdækket problemet.

På basis af varmemålingen og målingen af inde og udetemperatur blev der beregnet energisignatur for 4 af bygningerne, som blev anvendt til beregning af energimærket.

Bygning	Rækkehus, Stenløse	Villa, Fløng	Kogletræet Vuggestue	Kogletræet Børnehave
Energimærke	B	B	A2010	A2010

Tabel 24: Oversigt over beregnet energimærke for casebygningerne

Endvidere blev der på basis af energisignaturen og – hvor muligt – det varme brugsvandsforbrug beregnet et årligt varmeforbrug ud fra energisignaturen. Dette afklarede, at varmeforbruget var 40 – 50 % lavere end, hvad der kunne forventes og derfor ikke burde være væsentlige problemer med klimaskærm eller installationer.

	Rækkehus, Stenløse	Villa, Fløng	Kogletræet Vuggestue	Kogletræet Børnehave
Beregnet årsforbrug for varme ved målt indetemperatur	62	83	68	58
Typisk for bygningstype og årgang	97	134	116	116

Tabel 25: Beregnet årsforbrug for varme ved målt indetemperatur sammenlignet med målt forbrug i andre bygningstyper af SBI

Ideelt set kunne målingerne godt have dækket 3 sæsoner – vinter, sommer og efterår eller forår, således at det graddageafhængige forbrug kunne være separeret ud. Sammen med en separat måling af varmt brugsvandsforbruget bliver det herved muligt at fastslå størrelse af varmetab fra rør og kedel/varmepumpe/fjernvarmeveksler.

Endelig blev COP også målt på villaen i Fløng vha. udetemperatur, energisignatur samt elmåling. Her blev det afklaret, at COP var under forventet og at årsagen var, at varmepumpen var overdimensioneret.

## 8.5 Opsætning og vurdering af pris på målerpakker til FAIR COMopgaver

Nedenstående tabel opsummerer de målerpakker, der kan varetage de forskellige opgaver og problemstillinger, som der skal afklares samt anslåede priser for målerpakker ekskl. moms.

Parameter	Hvilke målinger skal der til for afklaring	Udstyr der installeres	Eksempler på fabrikat af målerpakker/sensorer	Pris for måler inkl. montage hvor nødvendigt
Tjek af indeklima	CO <sub>2</sub> - niveau, indetemperatur, relativ fugtighed, aktivitetsniveau, tilstedeværelse, støjniveau	Indeklimamåler	IC - meter	<b>3.500 kr. i alt</b>

Tjek af varmemeforbrug for sammenligning med lignende bygninger	Indetemperatur, udetemperatur, totalt varmemeforbrug, varmt brugsvandsforbrug	Indeklimamåler, energimåler samt vandmåler	IC – Meter, Kamstrup energimåler, Kamstrup vandmåler	3.500 kr. for indeklimamåler
Tjek af varmegrundlag for energimærke				4.200 for energimåler inkl. MBus modul 2.000 kr. for vandmåler <b>9.700 kr ialt</b>
Tjek af ventilationsystem – el (pr 100 m <sup>2</sup> eller pr. etage)	CO <sub>2</sub> - niveau, indetemperatur, relativ fugtighed, aktivitetsniveau, tilstedeværelse, støjniiveau. elmåling	Indeklimamåler samt elmåler	IC – meter, Smappee	3.500 kr. for indeklimamåler 4.200 kr. for clamp-on elmåler <b>7.700 kr. i alt</b>
Tjek af ventilationsystem – varme (pr 100 m <sup>2</sup> eller pr. etage)	Energiforbrug til varme, energiforbrug til køling, elforbrug til ventilation, CO <sub>2</sub> - niveau, temperatur, relativ fugtighed, aktivitetsniveau, tilstedeværelse	Indeklimamåler, energimåler samt elmåler	IC – meter, Kamstrup energimåler, Smappee	3.500 kr. for indeklimamåler 4.200 kr. for clamp-on elmåler 4.200 for energimåler inkl. MBus modul <b>11.900 kr. i alt</b>
Tjek af COP af varmepumpe	Indetemperatur, udetemperatur, totalt varmemeforbrug, varmt brugsvandsforbrug	Elmåler samt varmemåler	IC – meter, Kamstrup energimåler, Smappee	3.500 kr. for indeklimamåler 4.200 kr. for clamp-on elmåler 4.200 for energimåler inkl. MBus modul <b>11.900 kr. i alt</b>

*Tabel 26: Priser for målerpakker. Der er medregnet montage af håndværker for energimåler og clamp-on elmåler – indeklimamåler kræver ikke montage af håndværker*

Hvis der skal etableres datalogning og forbindelse til cloud tjeneste, skal der påregnes 275 kr. pr. målepunkt pr. måned plus opsætning.

## 9 Konklusion samt perspektivering og anbefalinger til videre arbejde

FAIR COMprojektet har bevist, at der er væsentlig information at hente ved brug af trådløse målere og at værdifuld viden om installationers ydeevne samt bygningens varmekonsum kan indhentes.

Projektet har gennemført følgende resultater:

- > Det er blevet beskrevet, hvorfor der ikke bliver foretaget commissioning på mindre bygninger – nemlig mangel på økonomiske midler, viden, ingen tradition for at gøre og bekymring om juridiske forhold. Derefter bliver formålet med projektet beskrevet – at tilvejebringe og behandle nødvendige måledata på en omkostningseffektiv måde, således at disse data kan anvendes til at reducere og kortlægge årsagen til unødigt energiforbrug og dårligt indeklima.
- > Der er – trin for trin – et koncept for fjerndiagnose af bygningers indeklima og energiforbrug. Det beskrives detaljeret, hvordan trådløse målere kan anvendes til at dokumentere og kortlægge afvigelser i indeklima og energiforbrug med et minimum forbrug af arbejdstid.
- > DTU har testet trådløse målere og sensorer og en vurdering af, om de overholder fabrikanternes specifikationer og anvendeligheden af målerne. Derudover beskrives forskellige sensorer, varmemålere, elmålere samt dataopsamlingsystemer til trådløse målinger.
- > Det er blevet diskuteret, hvordan FAIR COM kan anvendes som et standard koncept, hvordan brugere skal involveres og hvilke aftaler, der skal laves.
- > Der er blevet målt på casebygninger og resultaterne er blevet anvendt til at bedømme indeklimaet samt udarbejde energisignatur og energimærke for hver af de 4 casebygninger og sammenligne varmekonsumet med lignende bygninger. Derudover er der sat priser på målerpakker til undersøgelse af indeklima, energiforbrug, drift af varmepumpe samt udarbejdelse af energisignatur og energimærke.

### 9.1 Vurdering af besparelser på energiforbrug, driftsøkonomi mm ved fremtidig anvendelse af de udviklede metoder og måleinstrumenter

Bygningsreglementets stigende krav om minimering af energiforbruget i bygninger og kommende skærpede krav til indeklima – både nybyggeri og renovering – vil betyde et øget fokus på både commissioning og tilstandsovervågning af energisystemer.

FAIR COMmissioning projektet er i første omgang målrettet renovering, men kan også anvendes til nybyggeri. Renovering er et godt sted at starte, da renovering udgør pt. over halvdelen af omsætningen i byggebranchen og hvert år renoveres der for 80–100 mia. kr. ([www.bedreinnovation.dk](http://www.bedreinnovation.dk)).

Der må forventes en stigende omsætning mht. energirenovering af boliger og visse daginstitutionstyper:

- > Håndværkerfradraget er nu gjort permanent og udgør nu 12.000 kr. pr. person i husstanden og vil i højere grad understøtte grøn omstilling, øget bæredygtighed og klimaindsatsen, hvilket yderligere vil gavne markedet for FAIR COMmissioning.



- > Renoveringsrammen for Landsbyggefonden er i april 2014 blevet forhøjet med 2,2 mia. kr. til 4,2 mia. kr. i hvert af årene 2015 og 2016, og der er blevet afsat en ny ramme på 9,7 mia. kr. fordelt på perioden 2017-2020. Det vurderes, at omkring en tredjedel af pengene vil gå til energibesparende tiltag (Ministeriet for Bo, Bolig og Landdistrikter).

Commissioning-markedet er endnu ikke så udbredt i Danmark, men der vurderes at være store besparelser at hente: "Ingeniøren" bragte i maj 2015 et studie fra USA, som viste, at krav om proces til sikring af optimalt samspil mellem ventilation, opvarmning, køling og lysstyring mindsker energiforbruget. Det amerikanske studie involverede 643 bygninger - renoverede og nybyggede. Resultatet viste, at energiforbruget ved commissioning var 16 procent lavere i renoverede bygninger og 13 procent i nybyggeri i forhold til tilsvarende bygninger uden commissioning. Med udgangspunktet i Dansk Byggeris opgørelse over omfanget af nybyggeri i Danmark 2011 - 2014 overførte "Ingeniøren" de potentielle energibesparelser ved commissioning. Dette viser, at nybyggede erhvervsbygninger i Danmark kunne have sparet 86.000 MWh årligt.

Per Heiselberg fra Strategisk Forskningscenter for Energinøtralt Byggeri på Aalborg Universitet udtalte i den forbindelse, at lignende besparelser kunne forventes i andre typer byggerier ved commissioning: "Hvis man bare fokuserer på bedre kontrol i forbindelse med idriftsætningen af bygningen, kan besparelsen let være i størrelsesordenen 16-17 procent. Og hvis man også tager efterfølgende tjek med, når bygningen er i drift, er potentialet endnu større".

Overføres den anslåede energibesparelse nævnt ovenfor ved commissioning for renovering (16 %) til det samlede potentiale for energirenovering i Danmark, kan det potentielle energibesparelspotentiale ved brug af commissioning ved renovering afdækkes. Energibesparelspotentialet blot for boliger er i rapporten "Potentielle energibesparelser i det eksisterende byggeri" (SBI) opgjort til ca. 14 TWh varme pr. år og 28 GWh el pr. år. Antages det, at der ville spildes 16 % af denne energimængde uden brug af commissioning ved renovering af boliger, kan der altså spares op til 2 TWh varme pr. år og 4 GWh el pr. år ved konsekvent brug af commissioning ved renovering. Dette svarer - ved en antaget varmepris på 400 kr./MWh og elpris på 1,6 kr./kWh begge excl. moms - til en økonomisk besparelse på **806 mio. kr./år**.

Mht. om commissioning godt kan betale sig i forhold til de sparede udgifter, er dette også blevet undersøgt. En undersøgelse fra USA på commissioning af 600 bygninger har vist, at tilbagebetalingstiden for udgifterne til commissioning for nybyggeri var 4,2 år og for eksisterende bygninger 1,1 år. Projekternes besparelser udregnes, så de også omfatter ikke-energirelaterede fordele med positiv eller negativ påvirkning på performance (se <http://www.grontmij.dk/DK/Ydelser/Byggeri/-Commissioning/cost-benefit/Pages/default.aspx>).

Det er COWIs erfaring, at udgifter til commissioning traditionelt udgør 1-1½ % af anlægssummen. Antages det, at udgifterne til commissioning kan nedbringes til ca. 0,75 % af anlægssummen ved brug af intelligent fjernovervågning, og det anerkendes, at commissioning har en fordelagtigt cost-benefit, kan det åbne væsentligt for brug af commissioning. Den samlede omkostning for renovering inkl. handel og service anslås i ovennævnte rapport til maks. 697 mia. uden brug af commissioning og hvis commissioning bliver gennemført på alle projekter, ligger der et potentiale på op til 5 mia. kr.

I marts 2014 udkom den første standard i Danmark for commissioning - DS 3090:2014 "Commissioning-processen for bygninger - Installationer i nybyggeri og større ombygninger". Denne er ikke lovpligtigt at anvende, og er en koncept/framework standard, men må alligevel betragtes som et skridt fremad for brugen af commissioning i bygninger.

## 9.2 Udbredelse til andre bygningstyper

I dette projekt blev der fokuseret på daginstitutioner og boliger, men erfaringerne og metoderne kan overføres til andre bygningstyper som f.eks. kontorbyggeri, skoler mm. hvor der er interesse i at optimere indeklimaet og reducere energiforbruget og hvor der ikke altid er implementeret et CTS – anlæg eller udført commissioning.

## 9.3 Reduktion i pris for energimærke og udbredelsen af samme

Beregningen af en bygnings energisignatur afklarer bygningens rumvarmeforbrug, hvilket er den mest omfangsrige beregning ved udarbejdelsen af energimærket. Samtidig er beregningen bygget på målt forbrug, hvilket giver en mere nøjagtig beregning sammenlignet med en rent teoretisk udregning. Opsætningen af målere kan i princippet billiggøre udarbejdelsen af energimærket, idet der skal bruges færre timer på beregninger. Denne billiggørelse vil samtidig udbrede brugen af energimærket.

## 10 Udbredelse af projektets resultater

### 10.1 Anvendelse i aktuelle projekter

Projektets resultater bliver p.t. anvendt i ELFORSK-projekt 349-054 "BIPVT-E: Udvikling af styringsstrategi til fleksibelt energiproduktionsanlæg med solceller, solvarme, varmepumpe, energi-absorber og batterilager", hvor der bliver anvendt indeklimamålinger og energimålinger til bestemmelse af energiforbruget

Derudover bliver projektets resultater anvendt i EUDP – projektet "Solar Smart System Bornholm" til at bestemme energiforbruget i flere bygninger.

### 10.2 Præsentationer

Projektets resultater er præsenteret af Ongun Berk Kazanci, DTU ved University of Tokyo (Japan), Institute of Industrial Science, Kato & Ooka Lab, 12. marts 2018 og Waseda University (Japan), Tanabe Lab on 14 March 2018.

Projektets resultater er præsenteret af Ongun Berk Kazanci; DTU ved et MSc. Kursus (Sustainable Heating and Cooling of Buildings) d. 20. februar 2018.

Projektets resultater bliver yderligere præsenteret af Steen G. Olesen, COWI ved en Elforsk konference i Odense d. 8. november.

### 10.3 Publikationer

DTU planlægger at publicere mindst to artikler i internationale fagtidsskrifter og to konference artikler ved to internationale konferencer.

Et konference paper er allerede blevet afleveret d. 9. juli 2018 – detaljer nedenfor:

Mylonas, A., Kazanci, O. B., Andersen, R. K., & Olesen, B. W. (2019). Capabilities and limitations of commercially available wireless indoor environment sensors. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. *Submitted to 2019 ASHRAE Winter Conference.*

## 11 Bilag 1 - individuel case beskrivelse

### 11.1 Villa i Fløng

Bygningsdata

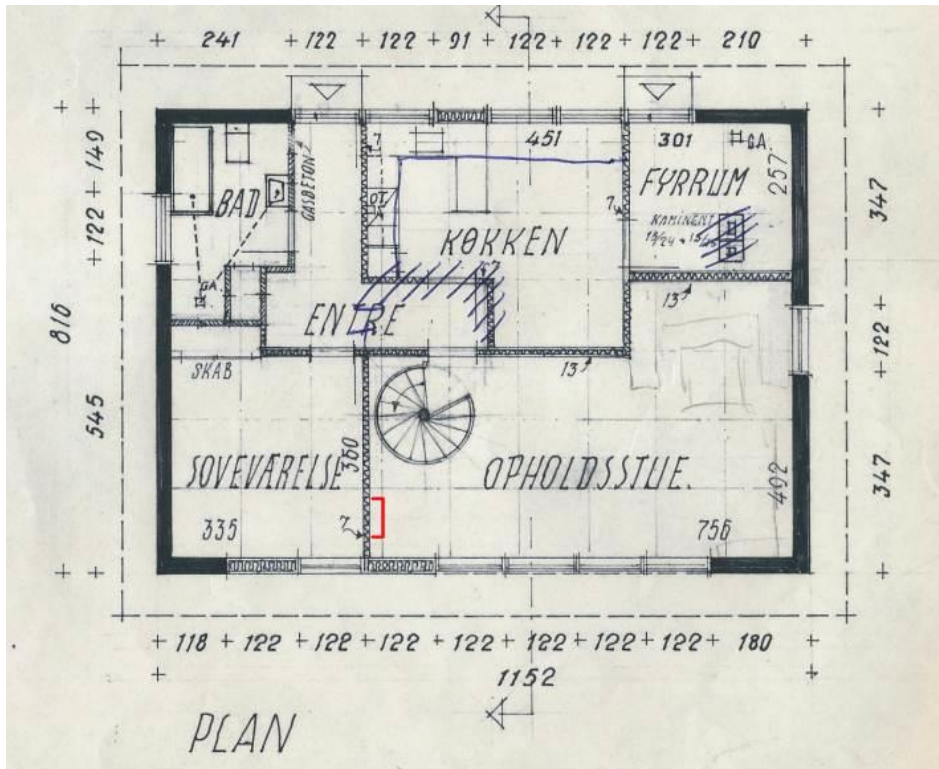
<b>Bygningstype</b>	Villa
<b>Areal</b>	174 m <sup>2</sup>
<b>Etager</b>	2
<b>Byggeår</b>	1974
<b>Antal brugere</b>	5 – 2 voksne og 3 teenagere
<b>Brugsmønster</b>	Beboerne er som regel væk i dagtimer på hverdage

Tabel 27. Oplysninger om bygningen



Figur 40: Billede af villa

Datalogninger af indeklimaet blev foretaget hver time i perioden 09-02-2018 til 15-05-2018 af et IC – Meter. Energimålinger fra en Kamstrup varmemåler og en Kamstrup elmåler er anvendt samme periode.



Figur 41: Placering af IC-Meter i stuen

Den følgende liste giver en oversigt af målingerne:

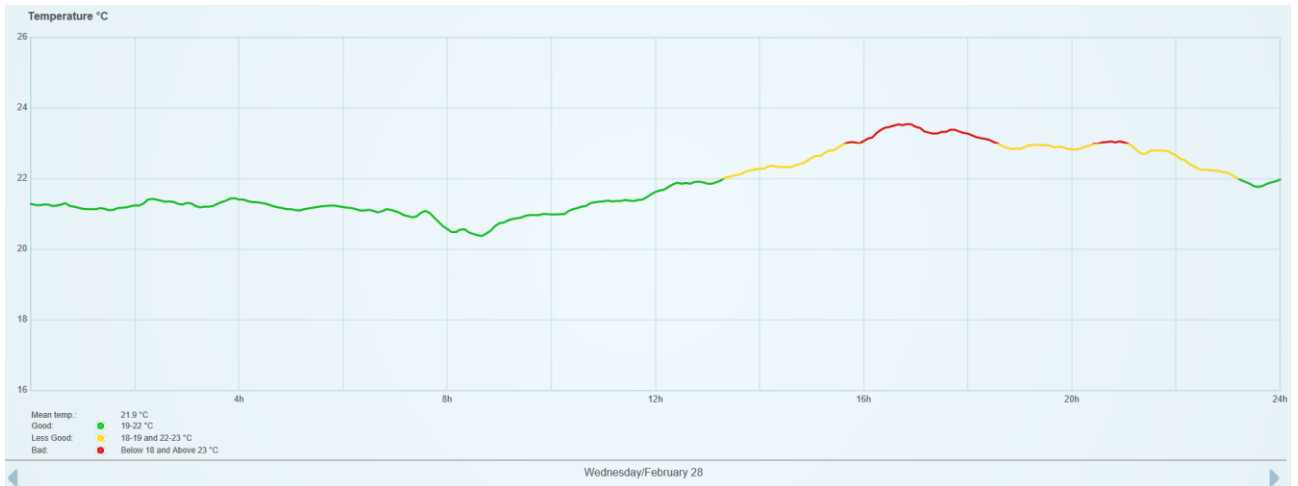
- > Dato og tidspunkt for målingen [dd-mm-yyyy, hh:00]
- > Temperatur, inde [°C]
- > Temperatur, ude [°C]
- > Luftfugtighed, inde [%]
- > Luftfugtighed, ude [%]
- > Entalpi [Wh/m<sup>3</sup>]
- > CO<sub>2</sub>-niveau, inde [PPM]
- > Støjniveau, inde [dB]

IC-Meters cloud-tjeneste har en interface webpage, hvor det er muligt at få visualiseret målinger med grafer på dagbasis samt tabelform for længere perioder på uge- og årsbasis. Som det er nævnt tidligere er der også mulighed for at eksportere målerdata ud til yderligere databehandling.

### 11.1.1 Indeklimamålinger

Temperatur visualiseringstjeneste fra IC-Meter viser rumtemperaturens graf for kun én dag af gangen som vist på Figur 42. Visualiseringstjenesten giver mulighed for at skifte fra en dag til den følgende dag eller dagen før.

Figur 42 viser temperaturergrafen fra d. 28/02-2018, hvor grafen har forskellige farver, der afhænger af, hvad temperaturen er, når den bliver målt. Intervallerne er forklaret nederst på grafen, og det skal bemærkes, at de ændres i forhold til sæsonen. For en længere periode er der mulighed for at få temperaturmålinger i tabelform som vist i Figur 43. Her er temperaturerne visualiseret time for time for en uge. Som på Figur 42 er der brugt farver for at give en oversigt over temperaturintervallerne.



Figur 42. Data for indetemperatur trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist med graf for én dag, d. 28/2-2018

Temperature °C - Week 9 (26.02 - 04.03)								
February	26	27	28	1	2	3	4	
Time:	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday	
00:00 - 01:00	22.3 °C	22.4 °C	21.3 °C	22.1 °C	21.9 °C	22.6 °C	23.1 °C	●
01:00 - 02:00	22.2 °C	22.4 °C	21.2 °C	22.2 °C	22.2 °C	22.1 °C	22.8 °C	●
02:00 - 03:00	22.2 °C	22.3 °C	21.3 °C	22.1 °C	22.3 °C	21.9 °C	22.4 °C	●
03:00 - 04:00	22.2 °C	22.3 °C	21.3 °C	22.2 °C	22.3 °C	22.0 °C	22.1 °C	●
04:00 - 05:00	22.2 °C	22.1 °C	21.3 °C	22.2 °C	22.2 °C	22.0 °C	22.0 °C	●
05:00 - 06:00	22.2 °C	22.1 °C	21.2 °C	22.0 °C	22.3 °C	22.0 °C	21.7 °C	●
06:00 - 07:00	22.0 °C	21.9 °C	21.1 °C	22.0 °C	22.2 °C	21.9 °C	21.5 °C	●
07:00 - 08:00	21.7 °C	21.8 °C	20.9 °C	21.7 °C	21.8 °C	22.0 °C	21.4 °C	●
08:00 - 09:00	21.4 °C	21.5 °C	20.5 °C	21.3 °C	21.5 °C	21.9 °C	21.6 °C	●
09:00 - 10:00	21.5 °C	21.8 °C	20.9 °C	21.5 °C	21.4 °C	21.7 °C	21.8 °C	●
10:00 - 11:00	21.7 °C	22.0 °C	21.2 °C	21.8 °C	21.5 °C	21.8 °C	22.2 °C	●
11:00 - 12:00	21.9 °C	22.0 °C	21.4 °C	22.0 °C	21.4 °C	22.1 °C	22.2 °C	●
12:00 - 13:00	22.2 °C	22.1 °C	21.6 °C	22.4 °C	21.5 °C	22.7 °C	22.3 °C	●
13:00 - 14:00	22.3 °C	22.2 °C	22.1 °C	22.5 °C	21.8 °C	22.9 °C	22.9 °C	●
14:00 - 15:00	22.7 °C	22.3 °C	22.4 °C	22.6 °C	22.0 °C	23.0 °C	22.7 °C	●
15:00 - 16:00	23.0 °C	22.4 °C	22.9 °C	22.9 °C	22.1 °C	23.3 °C	23.3 °C	●
16:00 - 17:00	23.3 °C	22.3 °C	23.4 °C	23.2 °C	22.3 °C	23.6 °C	22.8 °C	●
17:00 - 18:00	23.1 °C	22.2 °C	23.3 °C	23.2 °C	22.3 °C	23.6 °C	23.6 °C	●
18:00 - 19:00	22.9 °C	21.9 °C	23.0 °C	23.1 °C	22.3 °C	23.3 °C	22.5 °C	●
19:00 - 20:00	22.8 °C	21.8 °C	22.9 °C	22.4 °C	22.5 °C	23.3 °C	22.4 °C	●
20:00 - 21:00	22.9 °C	21.8 °C	23.0 °C	22.2 °C	22.7 °C	23.1 °C	22.4 °C	●
21:00 - 22:00	22.8 °C	21.8 °C	22.8 °C	22.3 °C	22.9 °C	23.1 °C	22.5 °C	●
22:00 - 23:00	22.8 °C	21.9 °C	22.3 °C	22.2 °C	23.0 °C	23.3 °C	22.6 °C	●
23:00 - 24:00	22.5 °C	21.4 °C	21.9 °C	21.9 °C	23.0 °C	23.3 °C	22.5 °C	●

Indoor Climate Classes >>>

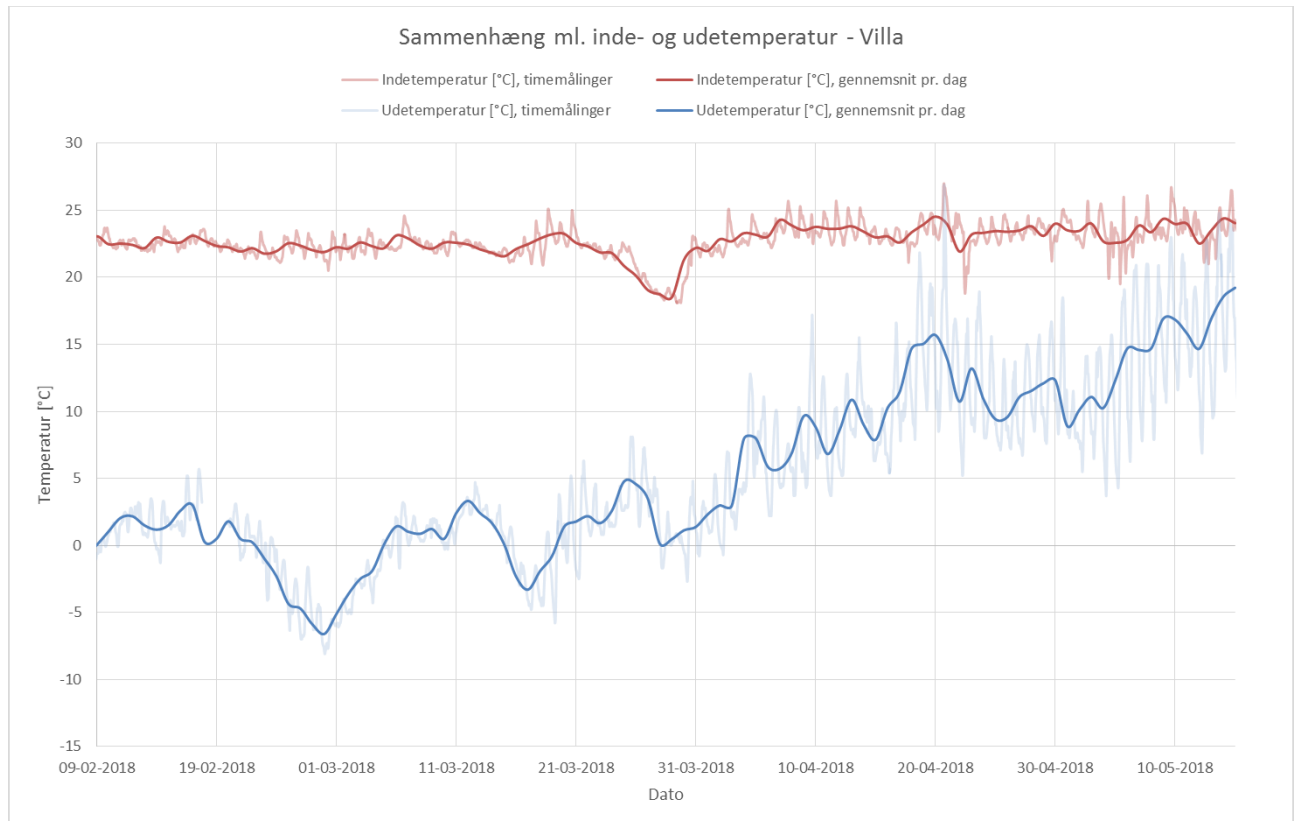
Distribution (100%): ● 0 % Bad    ● 0 % Less good    ● 76 % Good    ● 21 % Less good    ● 4 % Bad

Figur 43. Data for indetemperatur trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 26/2-2018 til d. 04/3-2018

Det er interessant at sammenligne inde- og udetemperaturer for at vise korrelation mellem de to temperaturer. Imidlertid er udetemperaturen på IC-Meters cloud-tjeneste kun visualiseret for én dag og der er ikke mulighed for at få en enkelt graf, der viser begge temperaturer.

Derfor blev IC-Meters rådata trukket ud fra cloud-tjenesten og dermed blev det muligt at vise sammenhængen mellem inde- og udetemperaturen på den samme graf.

Figur 44 viser indetemperaturmålingerne (rød) og udetemperaturerne (blå) for måleperioden fra d. 09/02-2018 til d. 15/05-2018, og både timemålingerne og gennemsnitstemperaturerne per dag er vist i grafen.



Figur 44. Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] i perioden d. 09/02-2018 til d. 15/05-2018

På Figur 44 ses sammenhæng mellem inde- og udetemperaturer. Indetemperaturerne svinger mellem 18,1 °C og 27,0 °C, mens udetemperaturerne svinger mellem -8,1 °C og 26,9 °C. Den gennemsnitlige indetemperatur i hele måleperioden er beregnet til 22,7 °C, der er gns. stuetemperatur. ([https://www.bolius.dk/fileadmin/user\\_upload/Boligejeranalyse/Rumtemperatur\\_december\\_2016.pdf](https://www.bolius.dk/fileadmin/user_upload/Boligejeranalyse/Rumtemperatur_december_2016.pdf))

Det kan ses på Figur 44 at indetemperatur ikke bliver påvirket af udetemperaturen, hvilket indikerer, at der ikke er væsentligste problemer med utætheder og/eller utilstrækkelig isolering af bygningen.

På den samme måde som med temperaturmålingerne blev CO<sub>2</sub>-niveauet analyseret på IC-Meters visualiseringstjeneste, hvor der kun er muligt at vise en dag ad gangen på en graf. For længere perioder skal tabeloversigter

Figur 45 viser CO<sub>2</sub>-niveauet for én uge løbende fra d. 31/03 til d. 01/04-2018, mens Figur 46 viser graf over CO<sub>2</sub>-niveauet for en dag d. 29/02-2018.

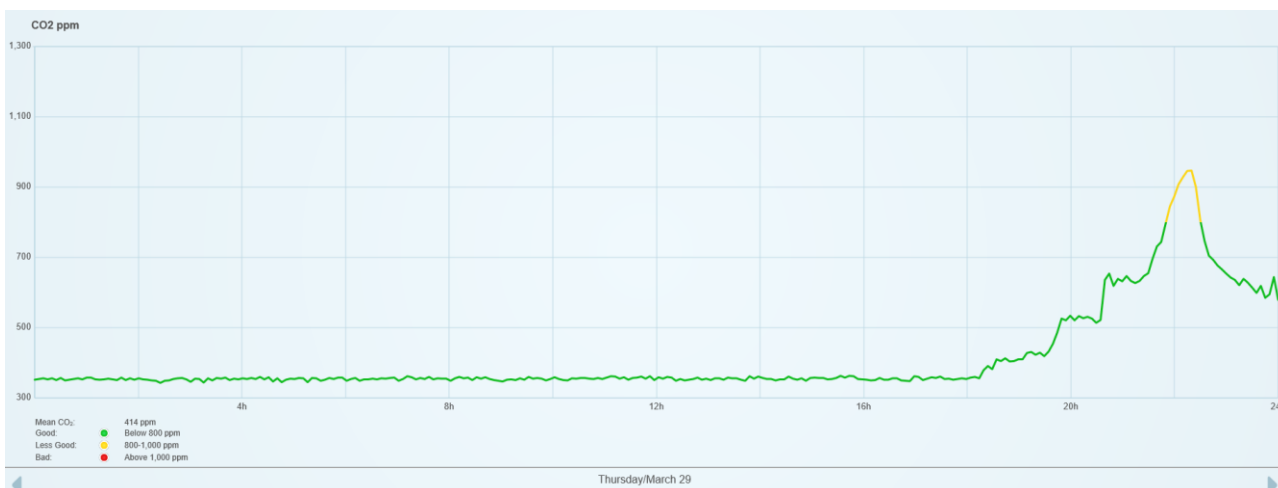
CO2 ppm - Week 13 (26.03 - 01.04)

March	26	27	28	29	30	31	1
Time:	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
00:00 - 01:00	367 ppm ●	367 ppm ●	358 ppm ●	354 ppm ●	562 ppm ●	655 ppm ●	625 ppm ●
01:00 - 02:00	371 ppm ●	359 ppm ●	359 ppm ●	354 ppm ●	494 ppm ●	593 ppm ●	546 ppm ●
02:00 - 03:00	366 ppm ●	361 ppm ●	356 ppm ●	352 ppm ●	528 ppm ●	587 ppm ●	552 ppm ●
03:00 - 04:00	368 ppm ●	358 ppm ●	359 ppm ●	353 ppm ●	572 ppm ●	585 ppm ●	553 ppm ●
04:00 - 05:00	365 ppm ●	360 ppm ●	358 ppm ●	354 ppm ●	537 ppm ●	582 ppm ●	559 ppm ●
05:00 - 06:00	364 ppm ●	358 ppm ●	360 ppm ●	354 ppm ●	515 ppm ●	603 ppm ●	561 ppm ●
06:00 - 07:00	359 ppm ●	356 ppm ●	360 ppm ●	354 ppm ●	565 ppm ●	637 ppm ●	570 ppm ●
07:00 - 08:00	355 ppm ●	357 ppm ●	360 ppm ●	356 ppm ●	592 ppm ●	647 ppm ●	580 ppm ●
08:00 - 09:00	360 ppm ●	357 ppm ●	360 ppm ●	355 ppm ●	564 ppm ●	574 ppm ●	606 ppm ●
09:00 - 10:00	359 ppm ●	362 ppm ●	356 ppm ●	354 ppm ●	635 ppm ●	637 ppm ●	562 ppm ●
10:00 - 11:00	363 ppm ●	363 ppm ●	359 ppm ●	356 ppm ●	633 ppm ●	669 ppm ●	584 ppm ●
11:00 - 12:00	358 ppm ●	362 ppm ●	357 ppm ●	358 ppm ●	605 ppm ●	676 ppm ●	583 ppm ●
12:00 - 13:00	360 ppm ●	363 ppm ●	360 ppm ●	355 ppm ●	590 ppm ●	843 ppm ●	630 ppm ●
13:00 - 14:00	360 ppm ●	363 ppm ●	359 ppm ●	355 ppm ●	755 ppm ●	888 ppm ●	619 ppm ●
14:00 - 15:00	356 ppm ●	363 ppm ●	355 ppm ●	354 ppm ●	560 ppm ●	960 ppm ●	683 ppm ●
15:00 - 16:00	357 ppm ●	361 ppm ●	357 ppm ●	357 ppm ●	463 ppm ●	815 ppm ●	604 ppm ●
16:00 - 17:00	356 ppm ●	357 ppm ●	355 ppm ●	353 ppm ●	448 ppm ●	777 ppm ●	573 ppm ●
17:00 - 18:00	356 ppm ●	358 ppm ●	356 ppm ●	356 ppm ●	456 ppm ●	873 ppm ●	586 ppm ●
18:00 - 19:00	354 ppm ●	361 ppm ●	356 ppm ●	389 ppm ●	541 ppm ●	819 ppm ●	739 ppm ●
19:00 - 20:00	358 ppm ●	360 ppm ●	353 ppm ●	458 ppm ●	596 ppm ●	829 ppm ●	677 ppm ●
20:00 - 21:00	362 ppm ●	360 ppm ●	357 ppm ●	571 ppm ●	685 ppm ●	976 ppm ●	798 ppm ●
21:00 - 22:00	360 ppm ●	359 ppm ●	354 ppm ●	711 ppm ●	750 ppm ●	922 ppm ●	819 ppm ●
22:00 - 23:00	363 ppm ●	358 ppm ●	356 ppm ●	798 ppm ●	748 ppm ●	836 ppm ●	850 ppm ●
23:00 - 24:00	364 ppm ●	357 ppm ●	355 ppm ●	617 ppm ●	714 ppm ●	750 ppm ●	746 ppm ●

Indoor Climate Classes >>>

Distribution (100%): ● 93 % Good ● 7 % Less good ● 0 % Bad

Figur 45. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 26/3-2018 til 01/4-2018.



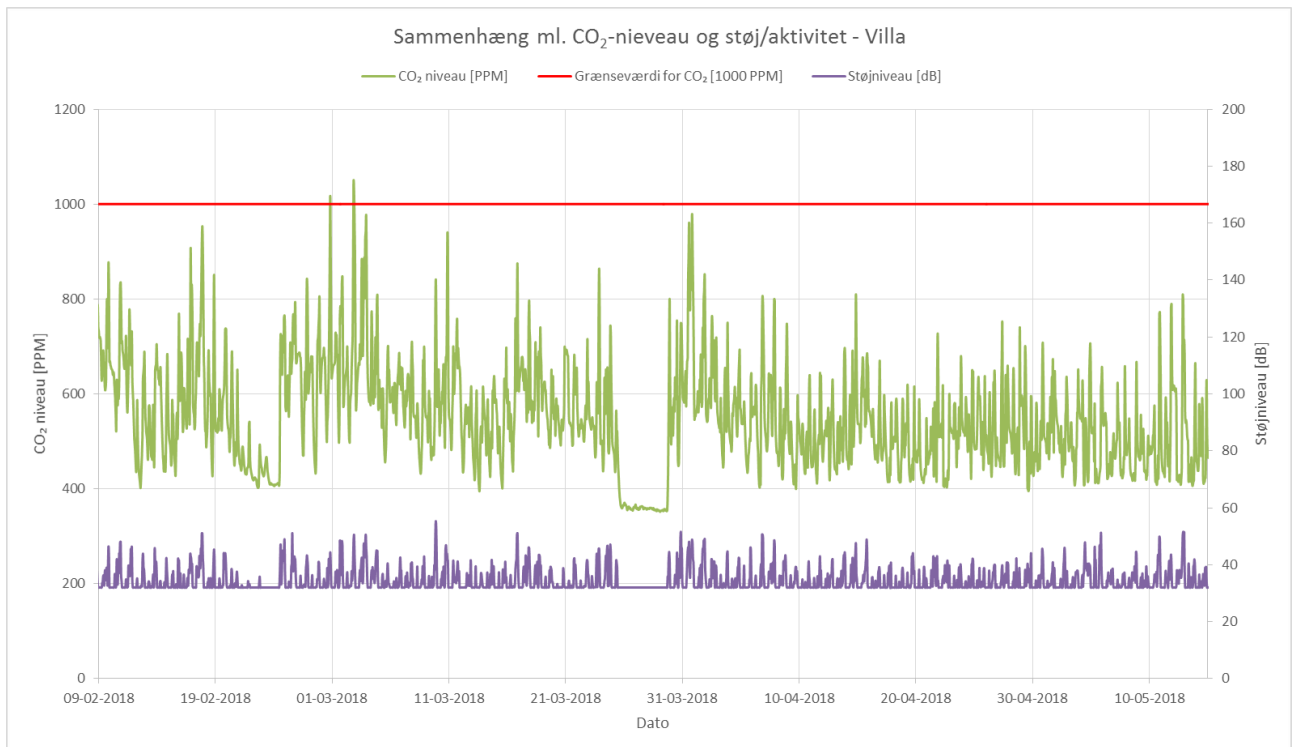
Figur 46. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist med graf for én dag, d. 29/3-2018.

CO<sub>2</sub>-niveauet er lavest på de dage, hvor indetemperaturen også når det laveste niveau. Fra CO<sub>2</sub>-niveauet er det muligt at konkludere når der ikke var nogen hjemme.

Det bekræftes også af grafen på Figur 46, hvor det kan ses at beboerne kom hjem omkring kl. 18, og CO<sub>2</sub>-niveauet stiger fra omkring 360 ppm til omkring 920 ppm. Det lave indetemperaturniveau kunne være på grund af et lavere sætpunkt, der var sat fra beboerne, ellers kunne det være på grunden af lavere varmebelastninger, da beboerne ikke var hjemme.

Denne indeklimate analyse var nemmere at gennemføre takket være den sammenholde graf med CO<sub>2</sub>-niveau og støjniveau for en lang periode. Som vist i Figur 47 blev rådataene fra IC-Meter brugt til at vise målingerne på den samme graf fra d. 09/02 til 10/05-2018.



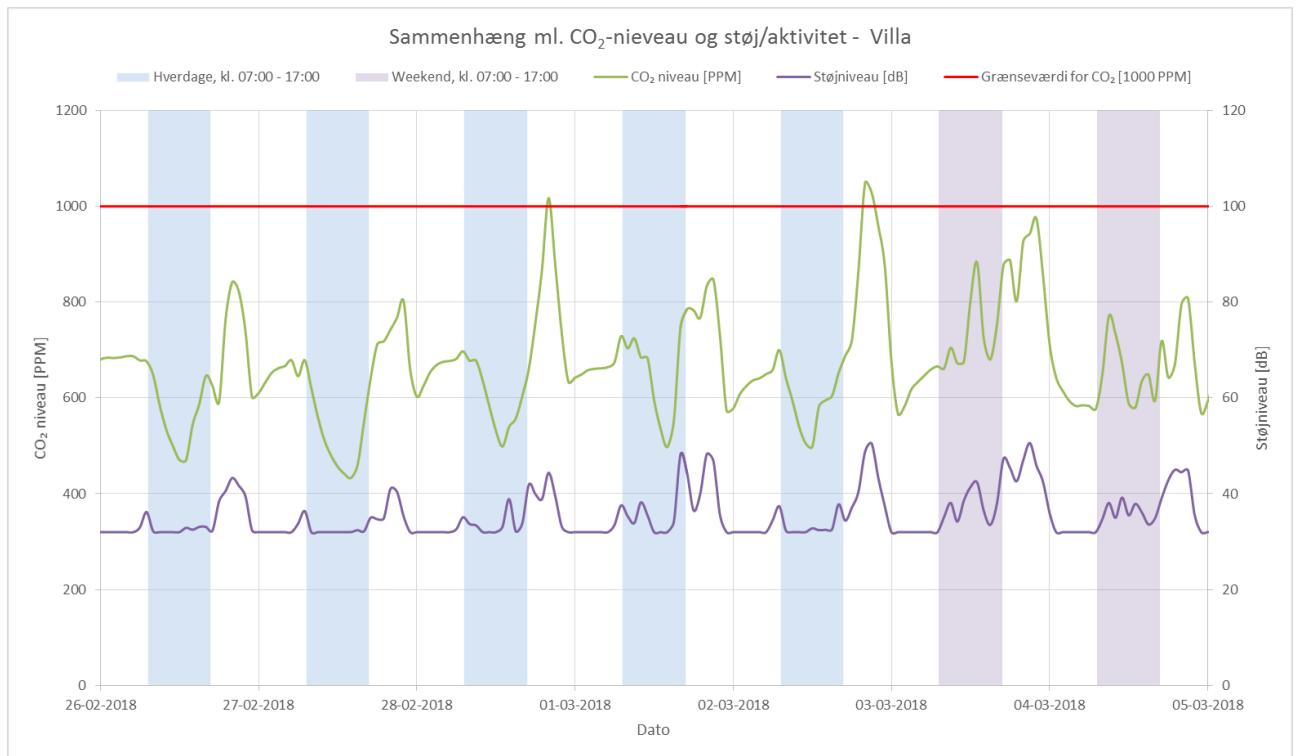


Figur 47. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i perioden fra d. 12/03-2018 til d. 15/05-2018

På Figur 47 er CO<sub>2</sub>-niveauet visualiseret med grøn graf og støjniveauet med lilla graf for hele den målte periode. Der ses en god korrelation mellem de to grafer og begge grafer er dermed gode indkser af beboernes indendørs aktivitet. Figur 47 giver en oversigt over indeklima i huset, og i forhold til udetemperaturen ses det, at det højeste CO<sub>2</sub>-niveau blev nået, da udetemperaturen var lavest. En forklaring på det kan være at beboerne holdt vinduerne lukkede, da det var koldt udenørs og herved CO<sub>2</sub>-niveauet stige.

Som allerede nævnt er CO<sub>2</sub>-niveauet og støjniveauet to gode indikatorer på aktivitet inde i huset. Når beboerne er hjemme, stiger CO<sub>2</sub>-niveauet og støjniveauet og når de er ikke hjemme, er der et fald i både CO<sub>2</sub>-niveau og støjniveau. Eksempelvis ses på Figur 47, at beboerne var ikke hjemme fra d. 26/03-2018 til d. 29/03-2018, da CO<sub>2</sub>-niveauet nåede de laveste værdier.

Figur 48 giver en bedre oversigt for ugen fra d. 26/02-2018 til d 04/03-2018, hvor udetemperaturen var den laveste, og CO<sub>2</sub>-niveauet nåede den højeste værdi. Denne periode er udvalgt, da det repræsenterer det værste scenario i den målte perioden – altså hvor CO<sub>2</sub>-niveauet var højest.



Figur 48. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] for en uge fra d. 26/02 til d. 4/03-2018.

På Figur 48 er tidsrummet mellem kl. 07 og 17 visualiseret, både for hverdage (blå baggrund) og for weekend (lilla baggrund). Graferne for CO<sub>2</sub>-niveau og støjniveau følger det samme farver, som på Figur 47.

På en hverdag stiger CO<sub>2</sub>-niveauet omkring kl. 7, hvor det må formodes, at beboerne tager til arbejde eller skole. Det ses også at CO<sub>2</sub>-niveauets højeste værdi på hverdage nås om aftenen, mens det henfalder i løbet af den første del af natten og bagefter stiger igen til morgenen. IC-Meteren var placeret i stuen, hvor det må formodes, at der ikke er personaktivitet om natten hvor beboerne er i deres soveværelser

Som nævnt før er der et godt forhold mellem CO<sub>2</sub>-niveauet og støjniveauet, og det ses bedre på Figur 48. Støjniveau grafen svarer til CO<sub>2</sub>-niveau grafen. For den udvalgte uge svingede CO<sub>2</sub>-niveauet mellem 433 ppm og 1048 ppm, mens gennemsnitsniveauet var 653 ppm. CO<sub>2</sub>-niveauet var højere end den anbefalede grænseværdi (Se (<https://www.teknologisk.dk/ydelser/indeklima/co2/22655,15>) på 1000 ppm, men kun i ganske få timer, og det betyder, at der er godt indeklima i huset, da den anbefalede grænse for CO<sub>2</sub>-indholdet er sat ved 1000 PPM

<b>Konklusioner på indeklimatemålinger</b>
Indeklimaet og CO <sub>2</sub> -niveauet er begge acceptable
<b>Anbefalinger til videre forløb</b>
Mål varmeforbrug og sammenlign med tilsvarende byggeri

Tabel 28: Konklusioner og anbefalinger, indeklimatemålinger, villa i Fløng

### 11.1.2 Energimålinger

Dette afsnit analyserer energiforbruget i huset. Energimålingerne, der benyttes i denne analyse, er både varmemålinger, foretaget med Kamstrup MULTICAL® 6M2 og elmålinge, foretaget med Kamstrup OMNIPower®. Målerne var placeret på varmepumpen. Målingerne blev foretaget hver 15 minutter for perioden fra d. 09/02-2018 til d. 15/05-2018. Det målte varmeforbrug omfatter rumvarmeforbruget og varmt vandforbruget separat.

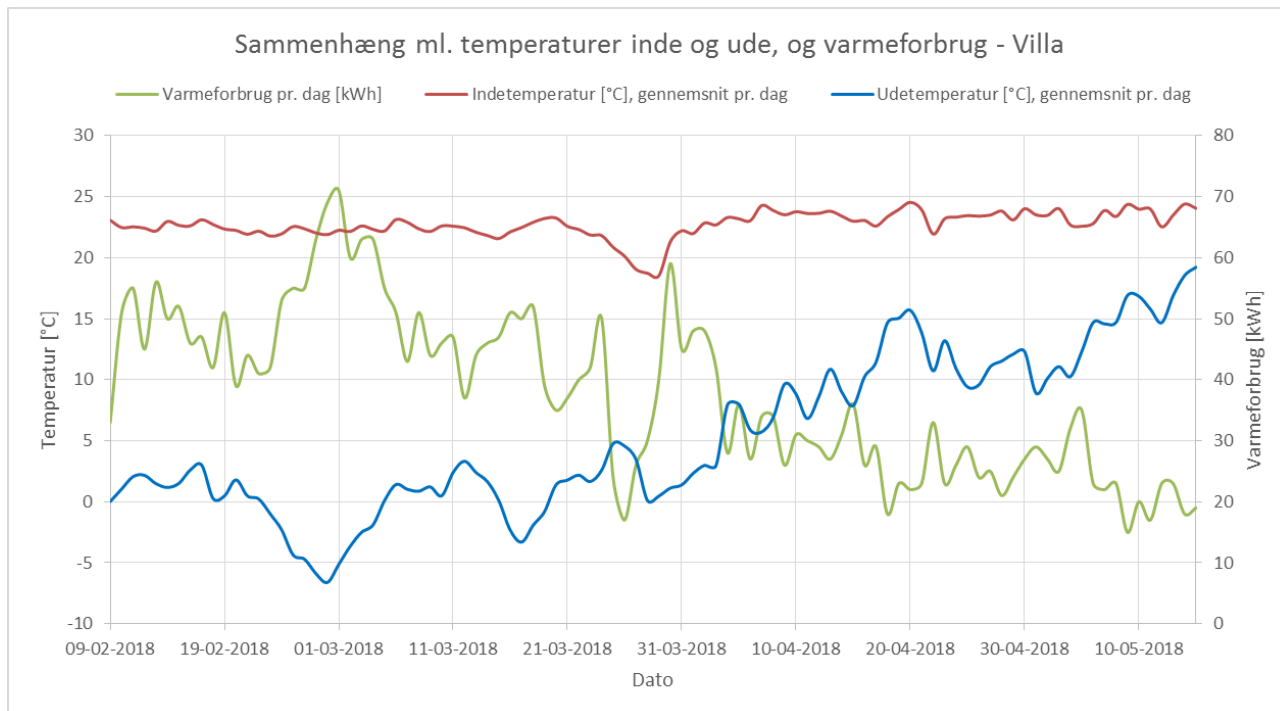
Listen nedenunder viser de benyttede målinger.

- > Delta varmeforbrug (15 minutter intervaller),
- > Delta elforbrug af varmepumpens anlæg (15 minutter intervaller),
- > Delta elforbrug af varmepumpens udedel (15 minutter intervaller),
  - Total value for heat volume consumption
  - Delta for cooling meter consumption
  - Current value for heat on outlet pipe
  - Total value for heat meter
  - Current value for heat on inlet pipe
  - Delta for heat meter consumption
  - Total value for cooling meter consumption
  - Delta for heat volume consumption
  - Battery level
  - Delta for electricity meter consumption
  - Total value for electricity meter consumption
  - Total value for electricity meter production
  - Delta for electricity meter production
  - Delta for electricity consumption on tariff 1
  - Total value for electricity consumption on tariff 1.

Aflæsning af målerne var fra NorthQ, der har en webbaseret cloud-tjeneste til at få en oversigt over, hvilke parametre der blev målt, og hvor det er muligt at eksportere data. Dataene, der eksporteres fra cloud-tjeneste fra NorthQ, skulle behandles, da tidsintervallerne af målingerne var for korte. Dataene fra 15 minutters intervaller repræsenterede netto energiforbrug i intervallet, derfor var dataene samlet i længere perioder (1 time eller en dag).

### 11.1.3 Måleresultaterne

Den første analyse der skal udføres er, at vurdere rumvarmeforbruget i forhold til inde- og udetemperaturen, som det er vist i Figur 49. På grafen er indetemperaturmålingerne vist med rød og udetemperaturerne er blå. På den samme graf er energiforbrugsmålingerne vist med grøn.



Figur 49. Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] og energiforbrug i perioden fra d. 09/02-2018 til d. 15/05-2018

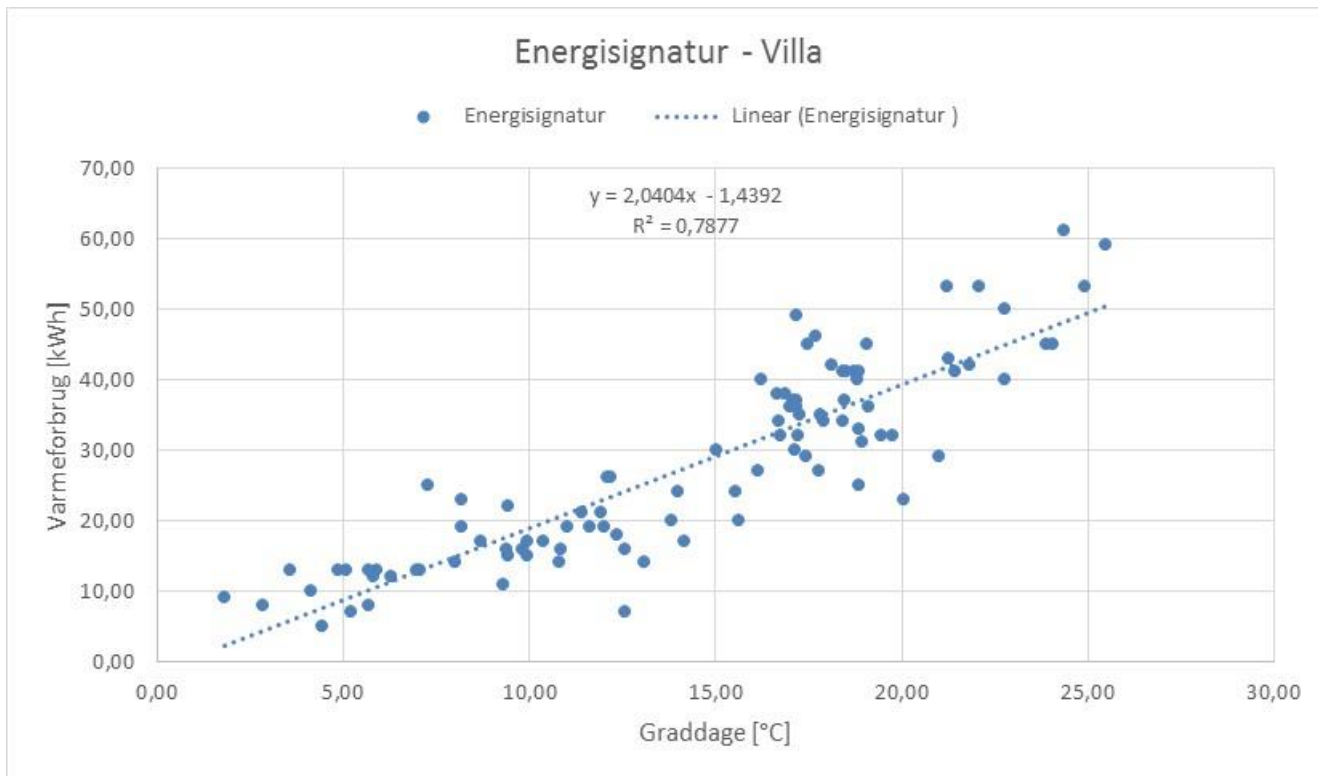
Som forventet er varmeforbruget omvendt proportionalt med udetemperaturen. Det højeste varmeforbrug blev nået, da udetemperaturen var lavest omkring d. 28/02-2018. Omkring d. 28/03-2018 er der en høj værdi af varmeforbruget, og det skyldes udetemperaturen, der nåede det laveste niveau. Varmeforbruget svingede mellem 15 kWh og 71 kWh pr. dag. Generelt viser graferne et korrekt forhold mellem temperaturer og varmeforbrug. Det skal noteres at i denne graf er varmeforbruget summen af rumvarmeforbrug og varmtvandsforbrug.

#### 11.1.4 Energisignatur

For at sammenligne bygningens rumvarmeforbrug med tilsvarende typer af boliger er der udført en energisignatur.

Figur 50 viser forholdet mellem varmeforbruget og graddagene, og da de er lineære, var varmeforbruget plottet pr. dag (Q/D) med den tilsvarende graddag den pågældende dag (HDD/D). På billedet er der også vist den lineære tendenslinje, der karakteriserer fordelingen af målepunkterne. Grafen på Figur 50 giver et udtryk af, hvor meget energi der skal bruges på rumvarme for at opnå en ønsket indetemperatur afhængig af udetemperaturen. Det skal bemærkes, at i denne analyse er kun rumvarmeforbruget anvendt

Varmtvandsforbruget er blevet trukket fra det totale varmeforbrug leveret af varmepumpen ud fra data fra varmepumpen om varmtvandsforbruget. Gennemsnittet af varmtvandsforbruget er brugt i denne beregning, og værdien er 11,3 kWh pr. dag, svarende til 28 kWh/m<sup>2</sup>/år.



Figur 50. Energisignatur for villa i Fløng baseret på målinger af rumvarmeforbrug og tilsvarende graddage fra 9/2-2018 til 15/5-2018

Ligning 4 giver funktionen af den lineære tendenslinje fra målepunkterne i Figur 50.

$$\frac{Q}{D} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \right] = 2,0404 \frac{\text{kWh}}{\text{°C}} \cdot \frac{HDD}{D} \left[ \frac{\text{°C}}{\text{dag}} \right] - 1,4393 \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \quad \text{Ligning 1}$$

Funktionsforskriften er fundet ud fra mindste kvadraters metode i Excel, og R<sup>2</sup>-værdien er 0,7877, hvilket anses for at være acceptabelt for denne type målinger.

For at udføre en generel energisignatur for et normalår benyttes graddagene for et normalår. Graddagene er bestemt af Teknologisk Institut og er anvendt for normalåret mellem år 1975 og 1985. Et normalår har totalt 3112 graddage. Tabel 29 viser graddagene, som benyttes i den graddagenormaliserede energisignatur.

Måned	Antal dage pr. måned	Graddage (Normalår 1975-1985)	Graddage pr. dag	Graddagekorrigeret rumvarmeforbrug pr. måned [kWh]
Januar	31	519	16,7	1014
Februar	28	486	17,4	951
Marts	31	444	14,3	861
April	30	311	10,4	591
Maj	31	154	5,0	270
Juni	30	58	1,9	75
Juli	31	22	0,7	0
August	31	18	0,6	0

September	30	91	3,0	143
Oktober	31	207	6,7	378
November	30	341	11,4	653
December	31	461	14,9	896
<b>Total</b>	<b>365</b>	<b>3112</b>	<b>-</b>	<b>5832</b>

Tabel 29. Graddage for et normalår inkl. det graddagekorrigerede rumvarmeforbrug for Villaen.

\*Negativt udregnede rumvarmeforbrug er rundet op til 0 kWh.

Det totale årlige rumvarmeforbrug for boligen er ca. 5,8 MWh, når et normalår overvejes og inde-temperaturens sætpunkt er 20 °C.

For at give en bedre oversigt af resultaterne kan det være interessant at sammenligne rumvarmeforbruget med andre bygninger. Det årlige graddagekorrigerede rumvarmeforbrug er derfor divideret med boligens kvadratmeter, som er 143,2 m<sup>2</sup> for villaen. Varmtvandsforbruget har en standardværdi på 15 kWh/m<sup>2</sup>/år. Det er derfor muligt at få den samlede energisignatur, som vist i Ligning 5.

$$Q_{\text{Rumvarme}} = \frac{5832 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}}{143,2 \text{ m}^2} = 40,76 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}$$

$$Q_{\text{Varmt brugsvand}} = 15 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}$$

$$Q_{\text{Varmeforbrug}} = 55,76 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}$$

Lig-  
ning  
2

Dette tal kan endvidere anvendes til at lave energimærket for bygningen, når elforbrug til ventilation, pumper mm. indregnes. Hvis bygningsejeren tager billeder af disse installationer samt kedel/veksler og rør, kan energimærket i princippet udregnes, uden at man behøver at være på stedet.

Derudover kan det også vurderes, om varmeforbruget er rimeligt. Energimærket bliver beregnet ved en rumtemperatur på 20 °C, men beboerne havde en målt indetemperatur på 23 °C, hvilket ikke er usædvanligt. Anvendes denne indetemperatur kan der beregnes nye graddage og efterfølgende rumvarmeforbrug ud fra energisignaturen.

Graddage pr. dag	Beboernes graddage pr. måned	Udregnet rumvarmeforbrug, normalt år [kWh/mandr] ved opvarmning til 23 °C
19,3	323	1176
19,9	346	1098
16,9	242	1023
12,9	134	748
7,5	37	432
4,5	0	232
3,3	0	162

3,1	0	154
5,6	17	299
9,2	62	540
13,9	158	809
17,4	259	1058
-	<b>1578</b>	7732

Tabel 30: Graddage og varmeforbrug for villa i Fløng ved 23 °C

Varmebehovet udregnet på denne måde giver et rumvarmebehov på 54 kWh/m<sup>2</sup>/år. Dertil skal lægges det målte varmtvandsforbrug på 25 kWh/m<sup>2</sup>/år og et tab fra rør, mv, som skønsmæssigt sættes til 5 kWh/m<sup>2</sup>/år – i alt **84 kWh/m<sup>2</sup>/år**.

Bygnings- anven- delse	Før 1890	1890- 1930	1931- 1950	1951- 1960	1961- 1972	1973- 1978	1979- 1998	1999- 2006	Efter 2006
Stuehus	184	171	162	151	136	117	100	81	67
Parcelhus	170	165	164	155	<b>134</b>	120	105	84	67
Række/kæ- dehus	158	158	149	143	120	113	97	82	66

Tabel 31: Varmeforbrug fra boliger (Kilde: SBI 2014-01\_potentielle varmebesparelser ved løbende bygningsrenovering frem til 2050)

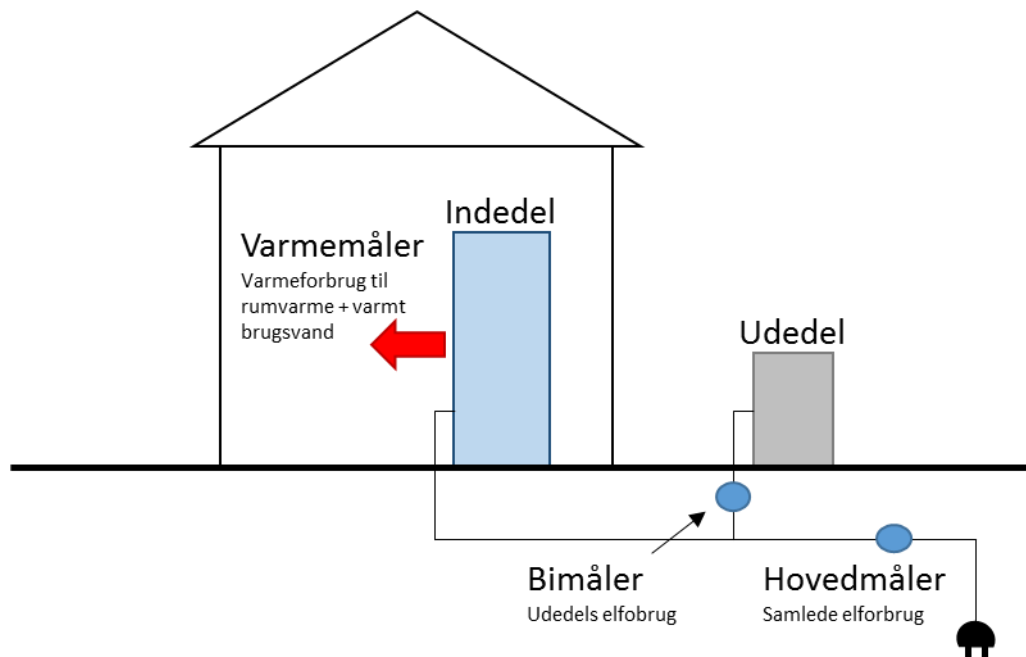
### 11.1.5 Varmepumpes COP

En del af projektets formål var at verificere varmepumpens COP og størrelsen af denne.

Varmepumpesystemet består af en indedel hvor vandbeholderen og cirkulationspumpen er placeret, og en udedel hvor kompressoren er placeret. Udedelen har det største energiforbrug og varmepumpens COP er normalt udregnet baseret på udedelens elforbrug.

Det er derfor interessant at se, hvordan elforbruget af indedelen kan påvirke COP faktoren af varmepumpen. Det var derfor nødvendigt at måle inde- og udedelens elforbrug separat. Figur 51 viser varmepumpesystemet og hvor målerne er placeret.

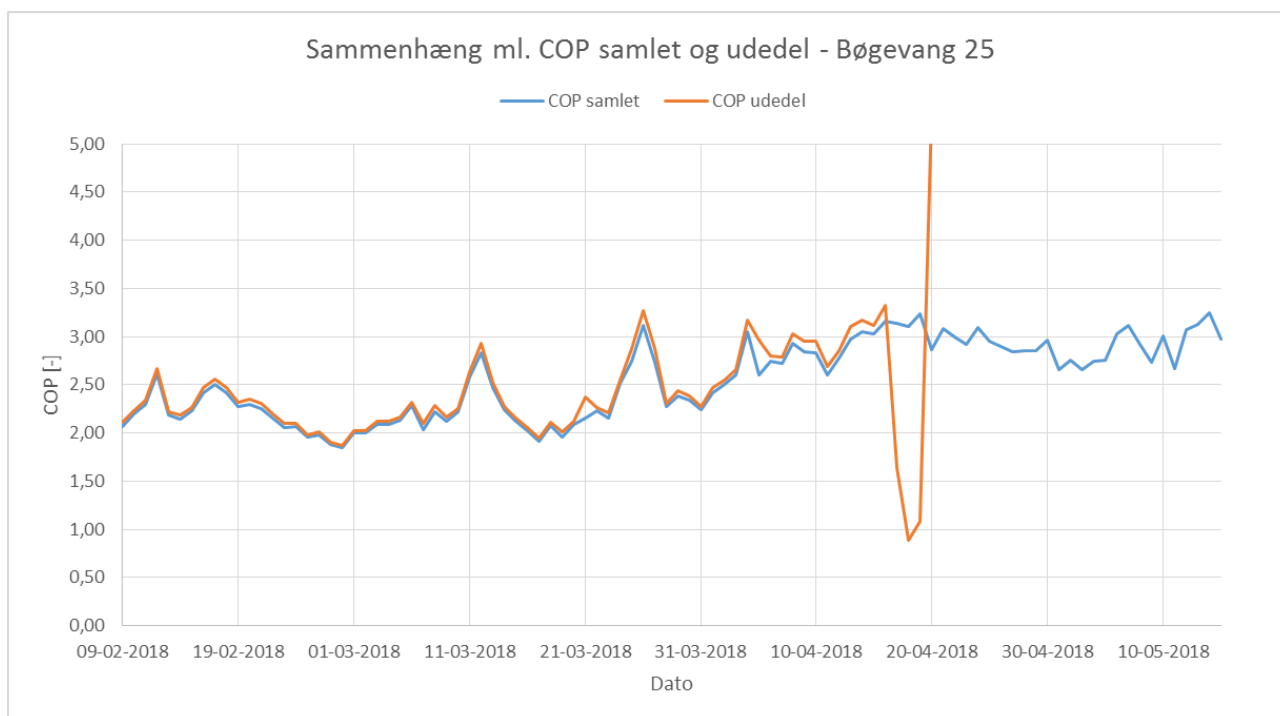
I dette projekt blev det totale varmeforbrug for rumvarme og for varmt brugsvand produktion målt med separate Kamstrup energimålere. Mht. elforbruget blev det samlede elforbrug for varmepumpen målt med en hovedmåler og udedelens elforbrug målt separat med bimåler.



Figur 51. Simpelt diagram af varmepumpe systemet

Energimålingerne er trukket ud fra NorthQ cloud-tjeneste og COP beregninger blev udført i regneark

På Figur 52 ses resultaterne af beregninger af COP beregningerne. COP samlet er beregnet med det samlede elforbrug og varmemeforbrug. Den anden COP (COP udedel) er beregnet kun for udedelen. COP for udedelen er vist med orange og samlet COP er blå.



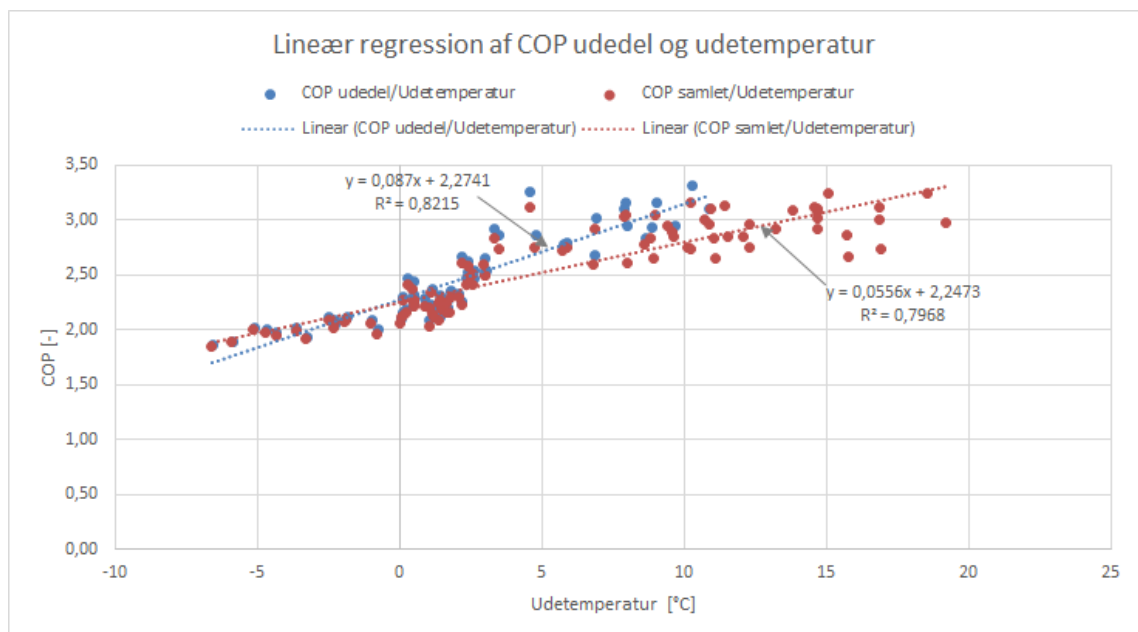
Figur 52. Sammenhæng mellem COP samlet od COP udedel i perioden fra d. 09/02-2018 til d. 15/05-2018



De to COP ligner hinanden og der er ikke en stor forskel mellem dem. Udedelens COP er lidt højere end forventet, da elforbruget er lidt lavere. Fra begyndelsen af april er forskellen mellem de to COP lidt større. Det kan forklares med en højere udetemperatur, hvilket medfører, at udedelens ydeevne er bedre, og indedelens elforbrug har en større påvirkning i beregningen af den COP samlede COP.

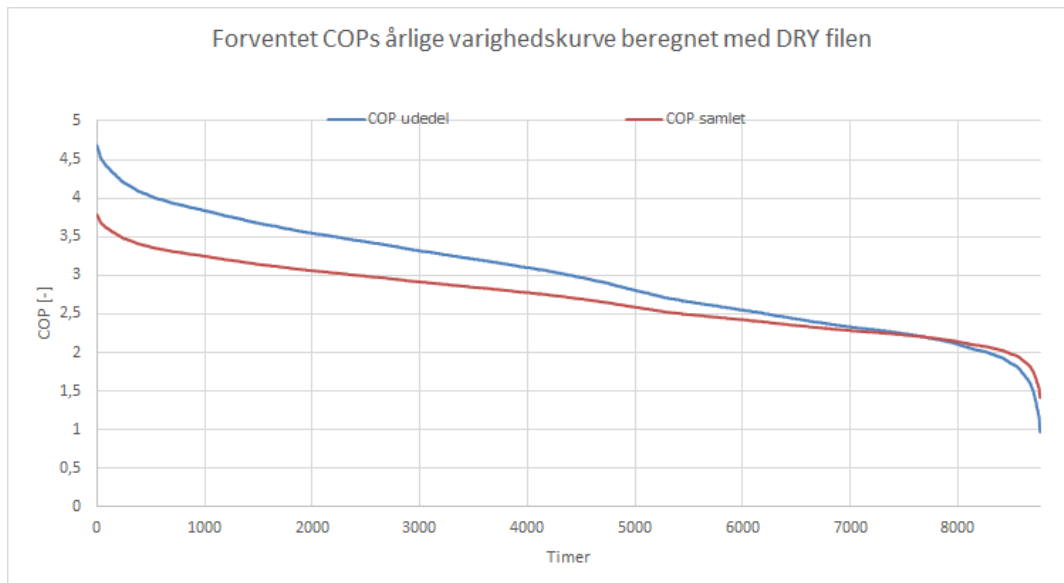
Figur 52 viser at fra d. 16/04-2018 var der en fejl i målingerne for udedel elforbrug, da COP grafen viser forkerte værdier. Derfor er målingerne for udedelen ikke brugt fra d. 16/04-2018. I den målte periode svinger COP indedel fra 1,87 og 3,32 og COP samlet svinger fra 1,85 og 3,24.

Fra hele den målte periode er det interessant at give en oversigt af, hvordan COP er forventet for et helt år. Figur 53 viser forholdet mellem udedelens COP og udetemperaturen, og den viser forhold mellem COP samlet og udetemperaturen. Grafen er opnået med dataene fra den målte periode fra d. 09/02-2018 til d. 16/04-2018. Med en lineær regression var det muligt at udvide og beregne en forventet COP for et helt år.



Figur 53. Lineær regression af COP udedel og udetemperatur

For at udregne COP for et helt år blev der anvendt data fra DRY fil (Design Reference Year. Herved var det – som vist på figuren forinden – muligt at se COP som det statistisk vil fordele sig over et helt år



Figur 54. Forventet COPs årlige varighedskurve beregnet med DRY-filen

Den gns. COP her ligger på 3 for udedelen alene og 2,7 samlet.

Dette er imidlertid *uden* at vægte COP efter varmeforbruget i bygningen og udetemperaturen. For at give en vurdering af varmepumpens gns. COP over et år blev følgende beregninger udført:

- > Det teoretiske varmeforbrug over ét år blev beregnet på timebasis på basis af energisignaturen og statistiske data for udetemperaturen i DRY
- > COP af varmepumpen blev udregnet på timebasis på grundlag af ligningen i Figur 53 og statistiske data for udetemperatur i DRY
- > COP blev tilslut udregnet ved vægte varmeforbrug og COP time på time fra de to udregninger ovenfor

Den gns. COP blev udregnet til 2,5, hvilket – sammenlignet med data for luftvarmepumperne på <https://spareenergi.dk/forbruger/vaerktoejer/varmepumpelisten> virker lavt.

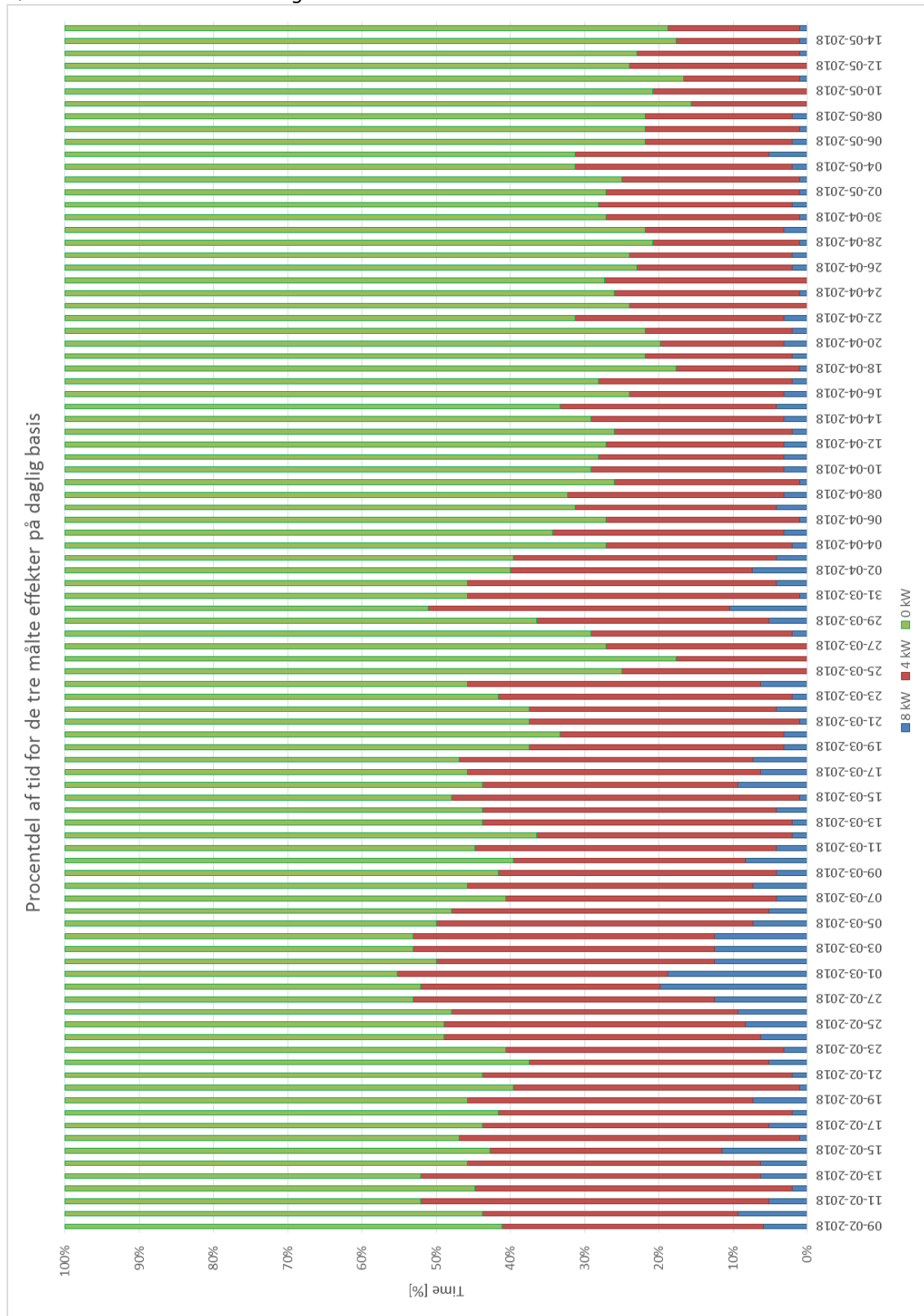
### 11.1.6 Varmepumpens effekt

En interessant analyse af en varmepumpe er at undersøge, hvor ofte den kører på fuldt effekt, halv effekt og slukket

Varmemålingerne viser, at varmepumpen leverer varme til varmt brugsvand og rumvarme på tre forskellige niveauer: 2 kWh, 1 kWh og 0 kWh over en måleperiode af 15 minutter. På den måde var det muligt at beregne varmepumpeeffekten (gennemsnit) over de 15 minutter. Derfra blev det udregnet at varmepumpen kører på tre forskellige effektrin: 8 kW, 4 kW og 0 kW.

Ud fra måledata blev det opgjort hvor mange timer varmepumpen kørte med de tre forskellige effektrin. Figur 55 viser fordelingen af tid for de tre forskellige effektrin for hver dag i løbet af måleperiode.

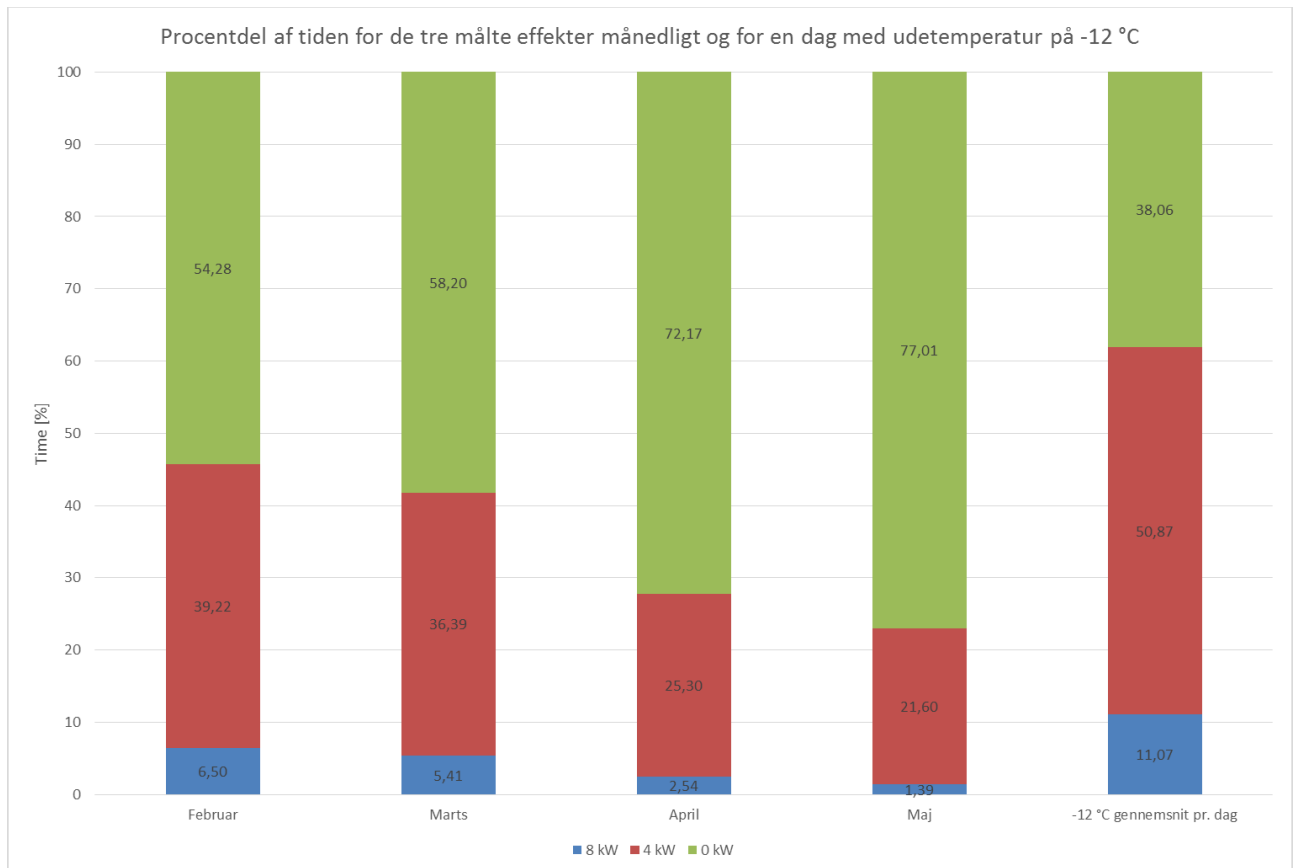
Figuren viser, at varmepumpen kører med den højeste effekt for kun en lille del af tiden, mens den kører længere på halv effekt. Den højeste procentdel af tid hvor det virker på fuld effekt (8 kW), er omkring d. 28/02-2018, da udetemperaturen var den laveste registreret og hvor varmepumpen kørte med fuld effekt omkring 20 % af tiden.



Figur 55. Procentdel af tiden for de tre målte effekter på daglig basis

Figur 56 viser et månedligt gennemsnit procentdel af tid, hvor varmepumpen virker med de tre effekter. Figuren viser, at varmepumpen kører i gennemsnit mindre end 10 % af tiden med den højeste effekt, også i løbet af februar, som må forventes at være en af de koldeste måneder. I februar kørte varmepumpen på 4 kW omkring 39,2 % af tiden, mens den ikke kørte i omkring 54,3 % af tiden.

Procentdelen af tiden, hvor varmepumpen kører blev mindre i de følgende måneder, hvor udetemperaturen var højere og varmeforbrug var mindre.



Figur 56. Procentdel af tiden for de tre målte effekter månedligt og for en dag med udetemperatur på -12 °C

Figur 56 viser også resultatet for en bestemt situation, hvor udetemperaturen er -12 °C. Dette er opnået med en lineær regression fra målingerne jf. ligningen i Figur 53. Det blev beregnet at med -12 °C udendørs kører varmepumpen med fuld effekt på 8 kW i 11,07 % af tiden, mens den kører med halv effekt i 50,87 % af tiden. Omkring 38,06 % af tiden kører den ikke

Resultaterne viser, at varmepumpen er overdimensioneret i forhold til det varmeforbrug, som boligen kræver. En mindre varmepumpe kunne med fordel benyttes i boligen, der kører længere på højeste effektniveau og som anvender en el-patron, når det er nødvendigt i spidslastsperioder.

## 11.2 Rækkehus i Stenløse

### 11.2.1 Introduktion

<b>Bygningstype</b>	Rækkehus
<b>Areal</b>	101 m <sup>2</sup>
<b>Etager</b>	1
<b>Byggeår</b>	1983
<b>Antal brugere</b>	5 – 2 voksne, 2 teenagere og 1 barn
<b>Brugsmønster</b>	Beboerne er som regel væk i dagtimer på hverdage og hjemme i weekender

Tabel 32. Oplysninger om bygningen i Stenløse



Figur 57: Billede af rækkehuset

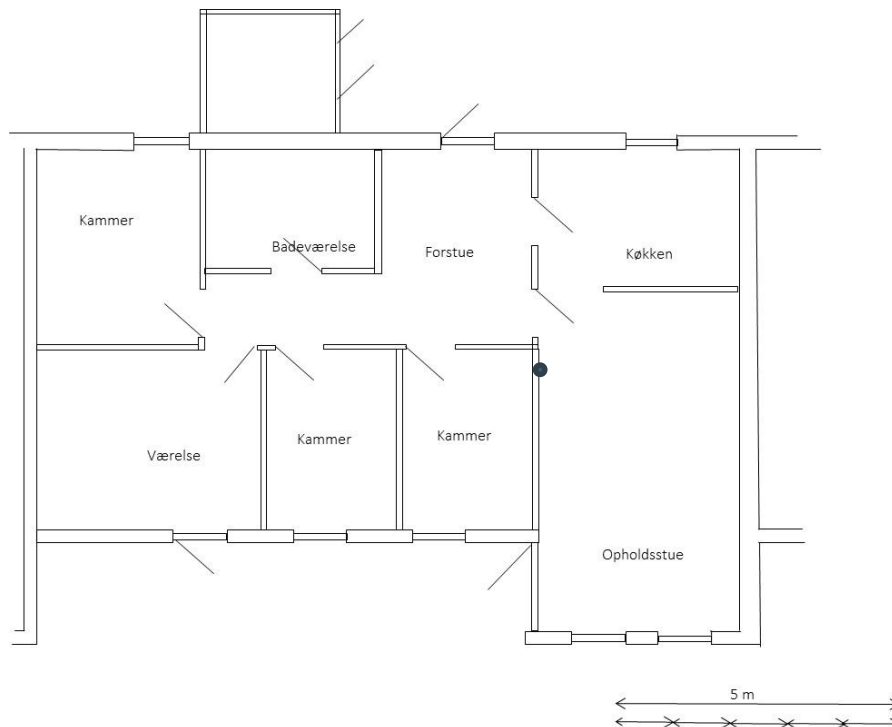
Som led i arbejdet med demonstration af BIPVT-E anlæg med solceller, solfanger og energiabsorber er der etableret energimålere i et rækkehus i Stenløse, der skal fungere som vært for forsøgsdriften gennem et års tid. Formålet er at dokumentere BIPVT-E anlæggets performance ved gennem indledende målinger at etablere en reference for eksisterende forbrug af el, varme og varmt brugsvand.

I det efterfølgende etårige måleprogram skal der tilvejebringes dokumentation for, at BIPVT-E anlægget er i stand til at dække hele boligens varmebehov, også i perioder med meget lave udetemperaturer, samt troværdige data for anlæggets evne til at spille sammen med el-systemets varierende belastning. Gennem måleprogrammet vil BIPVT-E anlæggets betydning for et tilfredsstillende indeklima også blive kortlagt.

Udvikling af BIPVT-E anlægget er blevet støttet af Dansk Energis ELFORSK-program, der også støtter måleprogrammet. Selve pilotanlægget er støttet af Boligselskabernes Landsbyggefond.

## 11.2.2 Indeklimamålinger

Indeklimamålingerne i rækkehuset er foretaget med en måler fra IC-Meter, der er placeret i stuen.



Figur 58: Grundplan af rækkehus i Stenløse med placering af måler

Nedenfor er angivet måleparametrene vedrørende indeklima, som blev målt med IC-Meter. Der er foretaget en måling hver time, hvor perioden 2/2-2018 til 30/4-2018 er benyttet i databehandlingen.

- > Dato og tidspunkt for målingen [dd-mm-yyyy, hh:00]
- > Temperatur, inde [°C]
- > Temperatur, ude [°C]
- > Luftfugtighed, inde [%]
- > Luftfugtighed, ude [%]
- > Entalpi [Wh/m<sup>3</sup>]
- > CO<sub>2</sub>-niveau, inde [PPM]
- > Støjniveau, inde [dB]

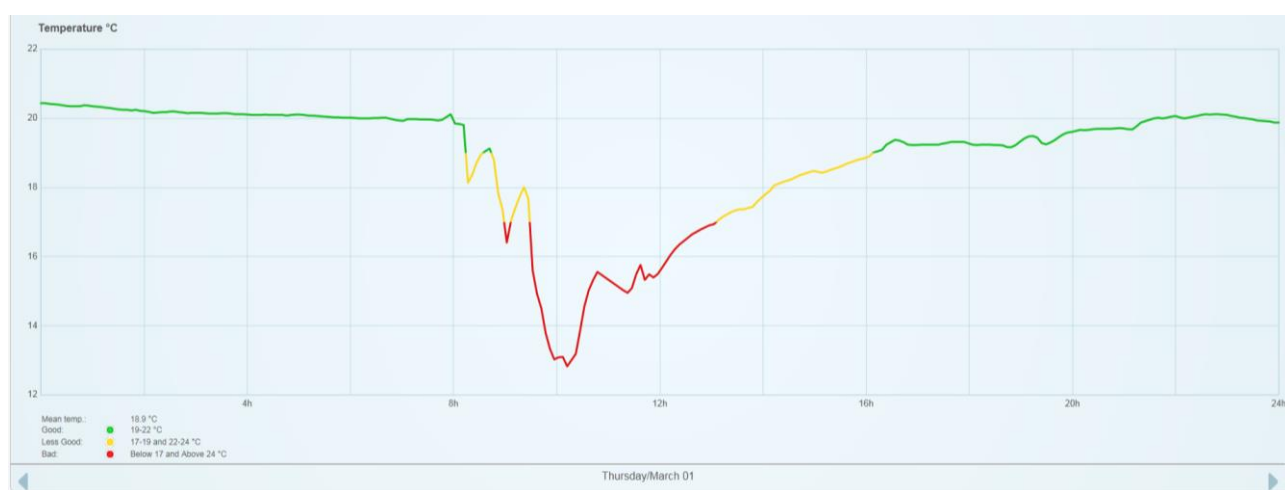
Måleren fra IC-Meter indeholder en cloud-baseret tjeneste til visning af nøgletal fra målinger. Det er muligt at få visualiseret målinger med grafer på dagsbasis, samt i tabelform for længere perioder på uge- og årsbasis. Endvidere er det muligt at eksportere målerdata ud til yderligere databehandling, hvilket er beskrevet i denne rapport. Det er undersøgt, hvordan dataene alternativt kan bruges for at forbedre den indbyggede databehandling/visning fra IC-Meter.

### 11.2.3 Måleresultater

#### Temperatur

Ved at sammenligne rumtemperaturen indenfor med den tilsvarende udetemperatur, kan der dannes et billede af, hvor følsom indetemperaturen er overfor temperaturændringer udenfor. Større udsving på indetemperaturen kan eksempelvis være et tegn på utilstrækkelig isolering.

IC-Meters visualiseringstjeneste giver mulighed for at få vist målinger af rumtemperaturen visuelt, men kun på dagsbasis, hvilket er vist Figur 59. Ønskes der målingsdata for temperaturen for længere periode, kan denne fås i tabelform som vist på Figur 60. Det er ikke muligt at få visualiseret udetemperaturen og andre vejrdata i IC-Meter direkte, og det er således heller ikke muligt at få vist både inde- og udetemperatur på samme graf.



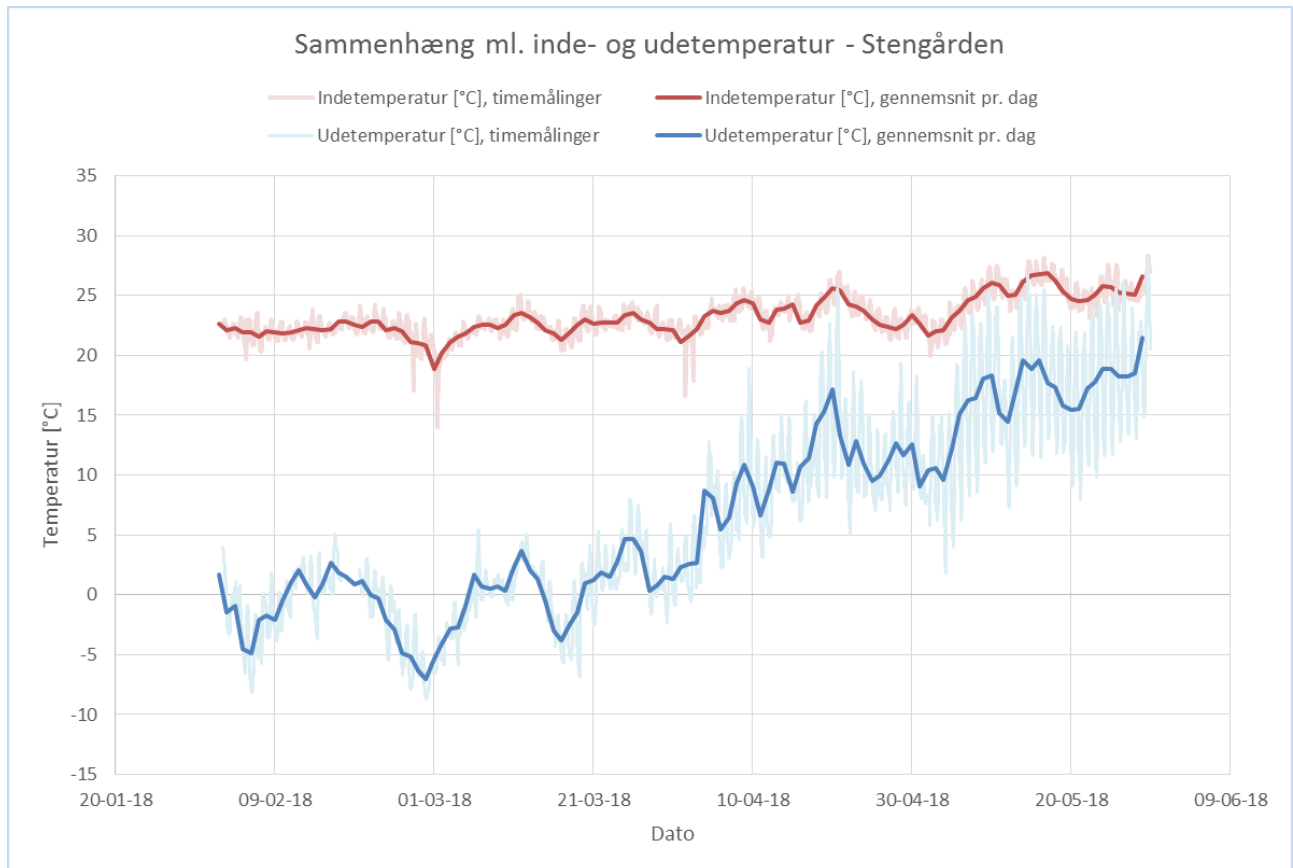
Figur 59. Data for indetemperatur trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist med graf for én dag, d. 1/3-2018.

Temperature °C - Week 9 (26.02 - 04.03)							
February	26	27	28	1	2	3	4
Time	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
00:00 - 01:00	21.9 °C ●	20.5 °C ●	21.1 °C ●	20.4 °C ●	19.8 °C ●	20.9 °C ●	21.2 °C ●
01:00 - 02:00	21.7 °C ●	20.5 °C ●	20.8 °C ●	20.3 °C ●	19.8 °C ●	20.8 °C ●	21.1 °C ●
02:00 - 03:00	21.5 °C ●	20.5 °C ●	20.8 °C ●	20.2 °C ●	19.8 °C ●	20.7 °C ●	21.0 °C ●
03:00 - 04:00	21.3 °C ●	20.5 °C ●	20.5 °C ●	20.1 °C ●	19.8 °C ●	20.6 °C ●	21.0 °C ●
04:00 - 05:00	21.2 °C ●	20.4 °C ●	20.4 °C ●	20.1 °C ●	19.8 °C ●	20.6 °C ●	20.9 °C ●
05:00 - 06:00	21.1 °C ●	20.4 °C ●	20.2 °C ●	20.1 °C ●	19.8 °C ●	20.5 °C ●	20.8 °C ●
06:00 - 07:00	21.1 °C ●	20.4 °C ●	20.1 °C ●	20.0 °C ●	19.8 °C ●	20.5 °C ●	20.8 °C ●
07:00 - 08:00	21.1 °C ●	20.5 °C ●	20.1 °C ●	20.0 °C ●	19.8 °C ●	20.5 °C ●	20.8 °C ●
08:00 - 09:00	21.1 °C ●	20.4 °C ●	20.2 °C ●	18.8 °C ●	19.9 °C ●	20.6 °C ●	20.8 °C ●
09:00 - 10:00	20.0 °C ●	20.6 °C ●	20.5 °C ●	15.8 °C ●	20.0 °C ●	20.8 °C ●	20.8 °C ●
10:00 - 11:00	17.1 °C ●	19.7 °C ●	20.7 °C ●	14.0 °C ●	19.9 °C ●	21.0 °C ●	21.0 °C ●
11:00 - 12:00	19.9 °C ●	20.3 °C ●	20.9 °C ●	15.4 °C ●	19.9 °C ●	21.1 °C ●	21.4 °C ●
12:00 - 13:00	20.8 °C ●	20.6 °C ●	21.3 °C ●	16.5 °C ●	20.0 °C ●	21.2 °C ●	21.7 °C ●
13:00 - 14:00	21.3 °C ●	20.8 °C ●	21.4 °C ●	17.4 °C ●	20.1 °C ●	21.2 °C ●	21.9 °C ●
14:00 - 15:00	21.4 °C ●	21.0 °C ●	21.5 °C ●	18.3 °C ●	20.2 °C ●	21.4 °C ●	22.1 °C ●
15:00 - 16:00	21.7 °C ●	21.0 °C ●	21.7 °C ●	18.6 °C ●	20.2 °C ●	21.5 °C ●	22.3 °C ●
16:00 - 17:00	21.5 °C ●	21.1 °C ●	21.3 °C ●	19.2 °C ●	20.2 °C ●	21.7 °C ●	22.3 °C ●
17:00 - 18:00	21.8 °C ●	21.5 °C ●	21.1 °C ●	19.3 °C ●	20.4 °C ●	21.9 °C ●	22.6 °C ●
18:00 - 19:00	22.1 °C ●	22.4 °C ●	21.0 °C ●	19.2 °C ●	20.7 °C ●	21.7 °C ●	22.8 °C ●
19:00 - 20:00	22.6 °C ●	23.1 °C ●	21.0 °C ●	19.4 °C ●	21.0 °C ●	21.6 °C ●	22.4 °C ●
20:00 - 21:00	21.5 °C ●	22.8 °C ●	21.0 °C ●	19.7 °C ●	21.2 °C ●	21.4 °C ●	21.8 °C ●
21:00 - 22:00	21.9 °C ●	22.4 °C ●	21.0 °C ●	19.9 °C ●	21.3 °C ●	21.4 °C ●	22.2 °C ●
22:00 - 23:00	19.9 °C ●	22.1 °C ●	20.8 °C ●	20.1 °C ●	21.4 °C ●	21.3 °C ●	22.2 °C ●
23:00 - 24:00	20.6 °C ●	21.4 °C ●	20.5 °C ●	20.0 °C ●	21.2 °C ●	21.3 °C ●	22.2 °C ●

Figur 60. Data for indetemperatur trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 26/2 til d. 4/3-2018.

Ved at eksportere rådata fra IC-Meters cloudtjeneste kan der laves en graf over sammenhængen mellem inde- og udetemperaturen. Dette er vist i Figur 61, hvor indetemperaturmålingerne er vist

med rød og udetemperaturerne er blå for hver dag i måleperioden (2/2-2018 til 30/4-2018). Grundet store udsving i temperaturmålingerne er der vist både temperaturer time for time (tynd linje) samt dagsgennemsnit for hver dag (fed linje) i perioden.



Figur 61. Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] i perioden d. 02-02-18 til d. 31-05-2018.

Figur 61 viser sammenhæng mellem de målte inde- og udetemperaturer på rækkehuset. Der er vist både timemålinger samt gennemsnitlige dagtemperaturer. De målte indetemperaturer svinger mellem 14,0 °C og 28,3 °C, mens udetemperaturerne svinger mellem -8,7 °C og 28,3 °C.

Den gennemsnitlige indendørs komforttemperatur i hele måleperioden er beregnet til 23,2 °C, hvilket er en smule højere end gennemsnittet for en stue/opholdsrum<sup>5</sup>.

Sammenholdes indetemperaturen med udetemperaturen i Figur 61 ses det, at indetemperaturen er direkte påvirket af udetemperaturen. Dette ses især i perioden omkring d. 1/3-2018, hvor udetemperaturen blev målt ned til -8,7 °C, og den tilsvarende rumtemperatur i én måling var på 14 °C. Indetemperaturen for d. 1/3-2018 kan også ses på grafen fra IC-Meter i Figur 59. Det formodes, at der eksempelvis har været åbne vinduer denne dag, da en rumtemperatur på 14 °C er meget lav. Dette bakkes op af et fald i CO<sub>2</sub>-indholdet i luften omkring tidspunktet for den lave temperaturmåling.

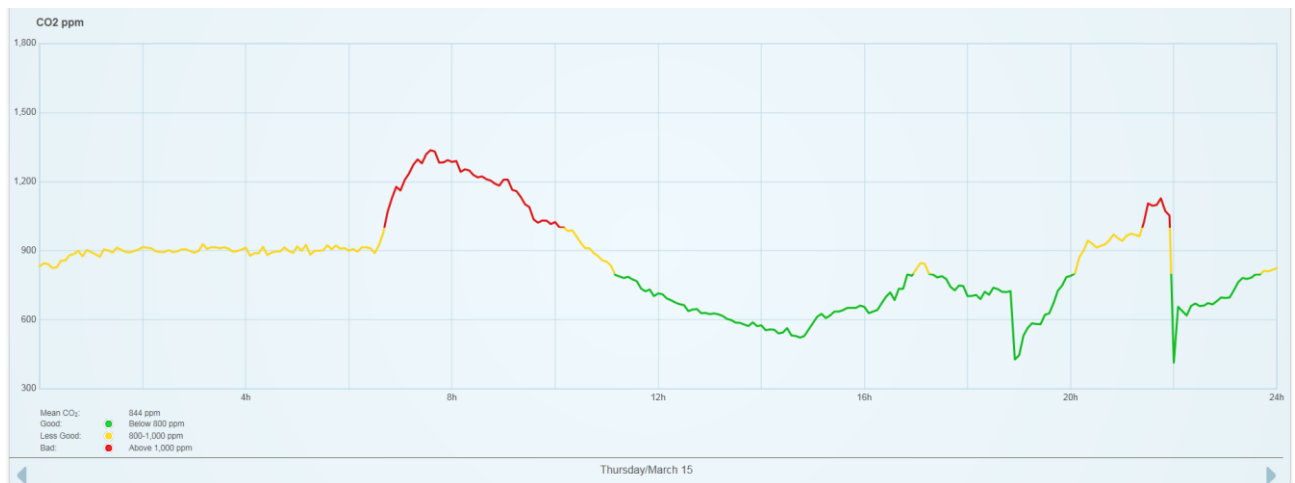
Den gennemsnitlige dagtemperatur inde og ude viser dog en tendens, at rumtemperaturen påvirkes af udetemperaturen, hvilket kunne tyde på en utilstrækkelig isolering.

<sup>5</sup> [https://www.bolius.dk/fileadmin/user\\_upload/Boligejeranalyse/Rumtemperatur\\_december\\_2016.pdf](https://www.bolius.dk/fileadmin/user_upload/Boligejeranalyse/Rumtemperatur_december_2016.pdf)



### 11.2.4 CO<sub>2</sub>-niveau

Der er også benyttet målinger af CO<sub>2</sub>-niveauet i rummet for at få et overblik over indeklimaet og luftkvaliteten. På samme måde som med temperaturmålingerne er det muligt at få vist data over CO<sub>2</sub>-niveauet direkte i IC-Meters visualiseringstjeneste, men kun for én dag af gangen, hvis det skal vises på en graf, og ellers skal det vises i tabel. Figur 62 viser graf over CO<sub>2</sub>-niveauet for d. 15/3-2018, og Figur 63 viser CO<sub>2</sub>-niveauet i tabelform fra d. 12/3 til d. 18/3-2018.

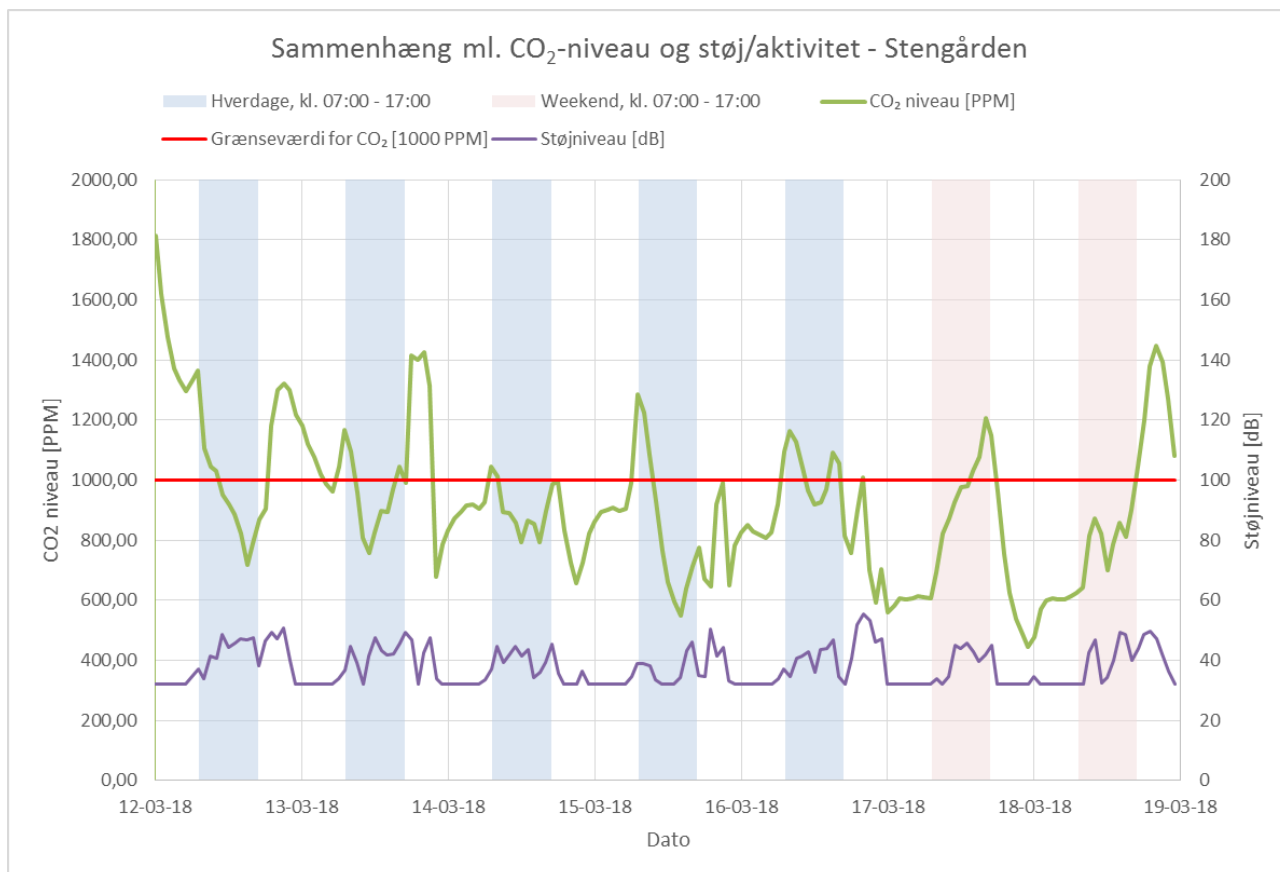


Figur 62. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist med graf for én dag, d. 15/3-2018.

CO2 ppm - Week 11 (12.03 - 18.03)							
March	12	13	14	15	16	17	18
Time:	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
00:00 - 01:00	1,814 ppm ●	1,182 ppm ●	834 ppm ●	861 ppm ●	827 ppm ●	561 ppm ●	476 ppm ●
01:00 - 02:00	1,620 ppm ●	1,119 ppm ●	872 ppm ●	895 ppm ●	850 ppm ●	582 ppm ●	570 ppm ●
02:00 - 03:00	1,474 ppm ●	1,076 ppm ●	893 ppm ●	901 ppm ●	829 ppm ●	607 ppm ●	599 ppm ●
03:00 - 04:00	1,372 ppm ●	1,018 ppm ●	916 ppm ●	909 ppm ●	819 ppm ●	604 ppm ●	607 ppm ●
04:00 - 05:00	1,332 ppm ●	988 ppm ●	918 ppm ●	897 ppm ●	807 ppm ●	606 ppm ●	604 ppm ●
05:00 - 06:00	1,296 ppm ●	963 ppm ●	904 ppm ●	907 ppm ●	825 ppm ●	614 ppm ●	602 ppm ●
06:00 - 07:00	1,331 ppm ●	1,045 ppm ●	926 ppm ●	991 ppm ●	918 ppm ●	610 ppm ●	613 ppm ●
07:00 - 08:00	1,366 ppm ●	1,168 ppm ●	1,043 ppm ●	1,284 ppm ●	1,095 ppm ●	606 ppm ●	625 ppm ●
08:00 - 09:00	1,104 ppm ●	1,095 ppm ●	1,013 ppm ●	1,226 ppm ●	1,162 ppm ●	694 ppm ●	644 ppm ●
09:00 - 10:00	1,044 ppm ●	959 ppm ●	894 ppm ●	1,086 ppm ●	1,128 ppm ●	823 ppm ●	816 ppm ●
10:00 - 11:00	1,030 ppm ●	806 ppm ●	890 ppm ●	931 ppm ●	1,042 ppm ●	873 ppm ●	871 ppm ●
11:00 - 12:00	953 ppm ●	758 ppm ●	858 ppm ●	766 ppm ●	967 ppm ●	927 ppm ●	821 ppm ●
12:00 - 13:00	919 ppm ●	825 ppm ●	792 ppm ●	659 ppm ●	917 ppm ●	978 ppm ●	700 ppm ●
13:00 - 14:00	886 ppm ●	896 ppm ●	866 ppm ●	596 ppm ●	925 ppm ●	979 ppm ●	787 ppm ●
14:00 - 15:00	822 ppm ●	892 ppm ●	856 ppm ●	548 ppm ●	968 ppm ●	1,031 ppm ●	857 ppm ●
15:00 - 16:00	717 ppm ●	970 ppm ●	795 ppm ●	639 ppm ●	1,093 ppm ●	1,078 ppm ●	813 ppm ●
16:00 - 17:00	790 ppm ●	1,044 ppm ●	896 ppm ●	719 ppm ●	1,057 ppm ●	1,207 ppm ●	902 ppm ●
17:00 - 18:00	869 ppm ●	993 ppm ●	989 ppm ●	776 ppm ●	814 ppm ●	1,147 ppm ●	1,047 ppm ●
18:00 - 19:00	906 ppm ●	1,416 ppm ●	994 ppm ●	671 ppm ●	758 ppm ●	962 ppm ●	1,201 ppm ●
19:00 - 20:00	1,180 ppm ●	1,402 ppm ●	833 ppm ●	645 ppm ●	902 ppm ●	754 ppm ●	1,378 ppm ●
20:00 - 21:00	1,298 ppm ●	1,425 ppm ●	727 ppm ●	920 ppm ●	1,009 ppm ●	626 ppm ●	1,447 ppm ●
21:00 - 22:00	1,320 ppm ●	1,315 ppm ●	658 ppm ●	991 ppm ●	701 ppm ●	539 ppm ●	1,382 ppm ●
22:00 - 23:00	1,299 ppm ●	679 ppm ●	727 ppm ●	650 ppm ●	592 ppm ●	487 ppm ●	1,271 ppm ●
23:00 - 24:00	1,219 ppm ●	786 ppm ●	821 ppm ●	782 ppm ●	705 ppm ●	446 ppm ●	1,083 ppm ●

Figur 63. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 12/3 til 18/3-2018.

Rådata fra IC-Meter er brugt til at vise CO<sub>2</sub>- samt støjniveauet i rummet på samme graf, og dette er vist i Figur 64. Grundet de store udsving i denne type målinger, er der kun vist resultater fra én uge: fra d. 12/3-2018 til d. 18/3-2018. Denne periode er tilfældigt udvalgt, men tendenserne i perioden er vurderet repræsentative for hele måleperioden.



Figur 64. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i perioden mandag d. 12/3 til søndag d. 18/3-2018.

CO<sub>2</sub>-niveauet i rummet er vist med den grønne graf i Figur 64, og den viser målinger time for time over en tilfældigt udvalgt uge. Tidsrummet mellem kl. 7 og 17 er markeret på Figur 64 med blå baggrund for hverdage og med rød baggrund for weekend. Støjniveauet registreret af måleren er desuden vist med den lilla graf.

Det ses på Figur 64, at CO<sub>2</sub>-niveauet i hverdagen stiger op til klokken 8 om morgenen, hvorefter den typisk falder de efterfølgende timer. Dette hænger fint sammen med beboernes aktivitet, hvor hele familien står op kl. 6.30 og tager af sted kl. 8.

Den omvendte situation er tilfældet lørdag og søndag, hvor CO<sub>2</sub>-niveauet siger fra omkring klokken 8 om morgenen, hvor beboerne står op.

Sammenholdes CO<sub>2</sub>-niveauet i rummet med støjmålingerne, som er et udtryk for aktivitet, ses det som forventet, at CO<sub>2</sub>-niveauet stiger, når beboerne opholder sig i rummet.

CO<sub>2</sub>-niveau for den udvalgte uge svingede mellem 446 PPM og 1814 PPM, og med et gennemsnit på 921 PPM. Gennemsnittet for hele måleperioden var 919 PPM. Generelt er CO<sub>2</sub>-niveauet højt i rummet, og for hele måleperioden viser 37 % af målingerne værdier højere end 1000 PPM, hvilket er fastsat som grænseværdi af Arbejdstilsynet<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> <https://www.teknologisk.dk/ydelser/indeklima/co2/22655,15>

<b>Konklusioner på indeklimatemålinger</b>
Indeklimaet er acceptabelt mht. indetemperaturer
CO <sub>2</sub> - niveauet kommer ofte over de anbefalede grænseværdier, hvilket indikerer, at luftskiftet er lavt.
Rumtemperaturen påvirkes af udetemperaturen, hvilket tyder på utilstrækkelig isolering eller problemer med rumvarmeanlæggets respons på temperaturændringer. Med det høje CO <sub>2</sub> - niveau er det formentligt ikke luftskiftet, der er problemet.
<b>Anbefalinger til videre forløb</b>
Mål varmeforbrug og sammenlign med tilsvarende byggeri

Tabel 33: Konklusioner og anbefalinger, indeklimatemålinger, rækkehus i Stenløse

### 11.2.5 Energimålinger

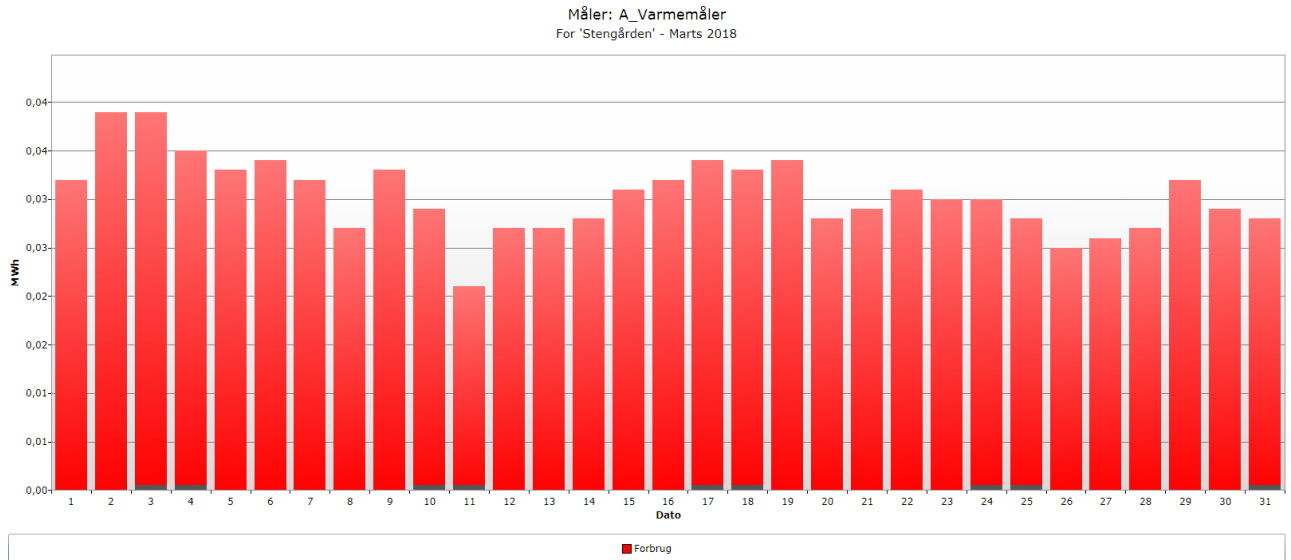
Energimålingerne for varme- og vandforbrug i huset er foretaget med Kamstrup målere. Der er foretaget en måling dagligt, hvor perioden 2/2-2018 til 31/5-2018 er benyttet i databehandlingen vist i dette notat:

- > Dato for målingen [dd-mm-yyyy]
- > Koldtvandsbeholder, vandforbrug [m<sup>3</sup>]
- > Koldtvandsbeholder, temperatur [°C]
- > Varmtvandsbeholder, vandforbrug [m<sup>3</sup>]
- > Varmtvandsbeholder, temperatur [°C]
- > Rumvarmemåler, energiforbrug [kWh]
- > Rumvarmemåler, vandforbrug [m<sup>3</sup>]
- > Rumvarmemåler, fremløbstemperatur [°C]
- > Rumvarmemåler, returløbstemperatur [°C]

Energimåleren fra Kamstrup har en webbaseret platform til visning og eksport af målerdata. Det er muligt at se plot målerdata via platformen for brugerdefinerede perioder helt ned til hvert kvarter. Dog er måleenhederne ikke af tilstrækkelig opløsning til at dette er anvendeligt ved så lave tidsintervaller.

### 11.2.6 Energisignatur

Det er ønsket at bestemme en energisignatur for boligen for at fastlægge varmeforbruget og sammenligne med tilsvarende typer af boliger. Som nævnt i forrige afsnit, er rumvarmeforbruget målt adskilt fra varmtvandsforbruget. Denne kan vises på søjlediagram via den webbaserede platform, hvor enheden er MWh, og et eksempel på dette er vist i Figur 65.



Figur 65. Data for rumvarmeforbrug [MWh] visualiseringstjenesten for marts måned.

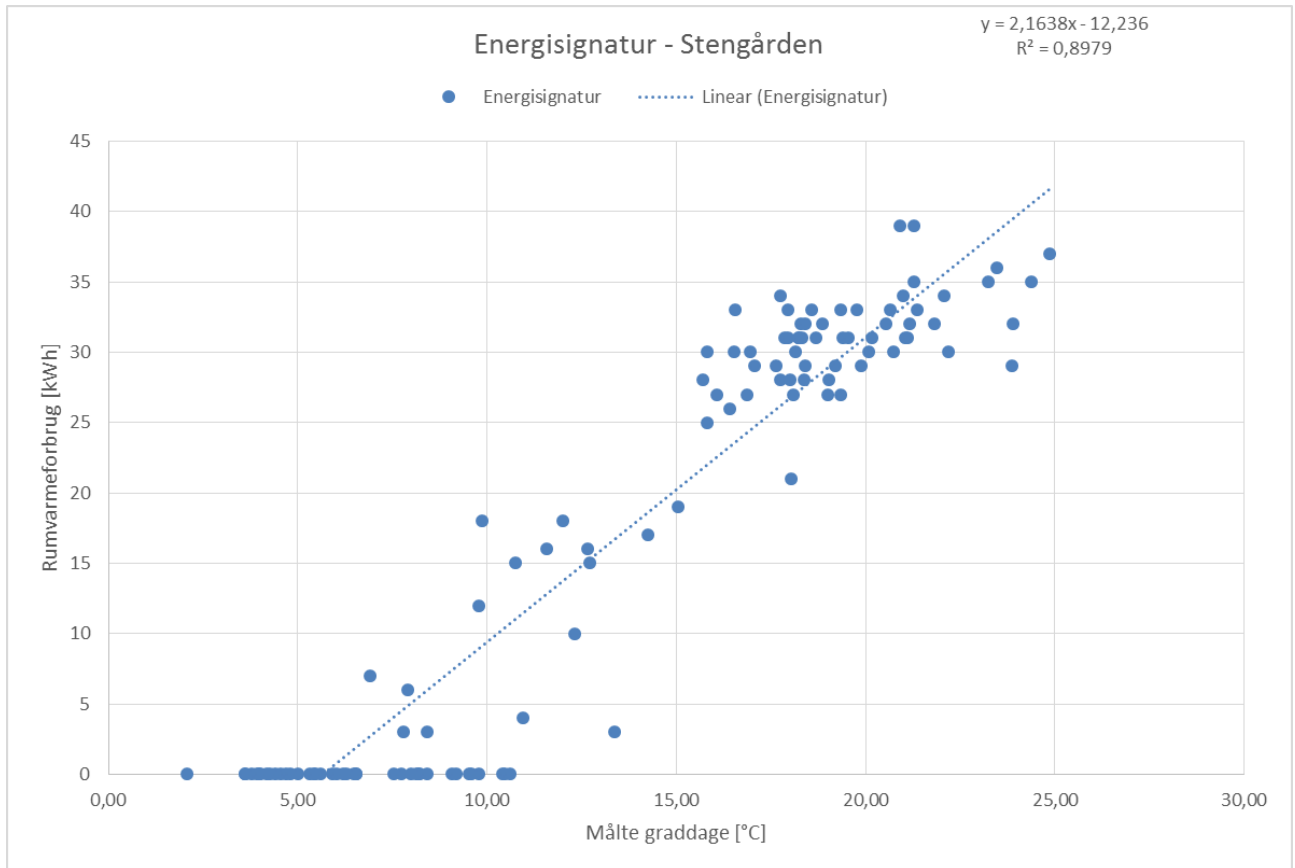
Rumvarmeforbruget i Figur 65 for marts måned er vist i MWh, hvilket gør det svært at aflæse præcist på y-aksen. For at kunne bestemme energisignaturen for boligen og sammenligne den med andre boliger er det nødvendigt at normalisere forbruget ved at inkludere graddagekorrigering, hvilket heller ikke er muligt direkte via den webbaserede platform. Rådataforbruget er derfor eksporteret for at kunne bestemme den ønskede energisignatur. Den graddagekorrigerede energisignatur bestemmes ved hjælp af Ligning 3 (Teknologisk Institut, 2016).

$$\frac{Q}{D} = K1 \cdot \frac{HDD}{D} + K2$$

Ligning 3

$$\begin{aligned} \frac{Q}{D} &= \text{Varmeforbrug pr. dag} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \right] \\ \frac{HDD}{D} &= \text{Graddage pr. dag} \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{dag}} \right] = (T_{\text{Inde}} - T_{\text{Ude}} - 3^\circ\text{C}) \text{ (fra IC - Meter)} \\ K1 &= \text{Hældning} \left[ \frac{\text{kWh}}{^\circ\text{C}} \right] \\ K2 &= \text{Skæring med y-aksen} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \right] \end{aligned}$$

På grund af det lineære forhold mellem varmeforbruget og graddagene, plottes varmeforbruget pr. dag ( $Q/D$ ) med den tilsvarende graddag den pågældende dag ( $HDD/D$ ) for at finde energisignaturen ved hjælp af en lineær tendenslinje. Dette vil give et udtryk for, hvor meget energi, der skal bruges på rumvarme, for at opnå en ønsket indetemperatur afhængig af udetemperaturen. Dette er vist på Figur 66.



Figur 66. Energisignatur for Rækkehuset i Stenløse baseret på målinger af rumvarmeforbrug og tilsvarende graddage fra 2/2 til 31/5-2018.

Den lineære tendenslinje fra målepunkterne i Figur 66 giver funktionsforskrift for rumvarmeforbruget afhængig af graddagen, som er vist i Ligning 4.

$$\frac{Q}{D} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \right] = 2,1638 \frac{\text{kWh}}{^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{HDD}{D} \left[ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{dag}} \right] - 12,236 \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \quad \text{Ligning 4}$$

Funktionsforskriften er fundet ud fra mindste kvadraters metode i Excel, hvor måledataene kan afvige betydeligt fra linjen. R<sup>2</sup>-værdien er 0,8979, hvilket anses for at være acceptabelt for denne type målinger.

For at finde den graddage-normaliserede energisignatur benyttes graddagene, som er vist i Tabel 34. Graddagene er bestemt af Teknologisk Institut og er fundet for normalåret mellem år 1975 og 1985, hvor det er ønsket at varme boligen op til 20 °C. Det årlige antal graddage er 3112 for et normalår.

Da bygningens energiforbrug afhængig af graddagene er fundet ud fra målingerne ved Ligning 4, kan bygningens årlige rumvarmeforbrug bestemmes ud fra graddagene i Tabel 34. Resultatet herfra er vist i den yderste højre kolonne i Tabel 34.

Måned	Graddage (Normalår 1975-1985)	Antal dage pr. måned	Graddage pr. dag	Graddagekorrigere- ret rumvarmefor- brug pr. måned [kWh]
Januar	519	31	16,7	744
Februar	486	28	17,4	709
Marts	444	31	14,3	581
April	311	30	10,4	306
Maj	154	31	5,0	0*
Juni	58	30	1,9	0*
Juli	22	31	0,7	0*
August	18	31	0,6	0*
September	91	30	3,0	0*
Oktober	207	31	6,7	69
November	341	30	11,4	371
December	461	31	14,9	618
<b>Total</b>	<b>3112</b>	<b>365</b>	-	<b>3398</b>

Tabel 34. Graddage for et normalår inkl. det graddagekorrigerede rumvarmeforbrug for bygningen på Rækkehuset.

\*Negativt udregnede rumvarmeforbrug er rundet op til 0 kWh.

Det totale årlige energiforbrug til rumvarme for boligen er ca. 3,4 MWh, såfremt det er et normalår, og at boligen kun opvarmes til 20 °C.

Det målte rumvarmeforbrug for boligen i februar, marts, april og maj 2018, hvor målingerne blev foretaget, er hhv. 855 kWh, 943 kWh, 269 kWh og 0 kWh, hvilket er højere end det graddagekorrigerede forbrug i februar og marts, men lavere i april og maj. Årsagen til forskellen findes både i bygningens indetemperatur ved opvarmning samt i det aktuelle antal graddage for 2018, som kan variere fra normalåret. Boligens målte indetemperatur i måleperioden er i 98,6 % af målingerne over 20 °C, hvilket bl.a. kan ses i Figur 61, og dette betyder et højere rumvarmeforbrug. Derudover var graddagene for april og maj 2018 væsentligt lavere end i normalåret.

For at kunne sammenligne rumvarmeforbruget med andre bygninger, divideres det årlige graddagekorrigerede rumvarmeforbrug med boligens kvadratmeter, som er 101 m<sup>2</sup> for rækkehuset.

Ved også at lægge en standardværdi for varmt brugsvand kan bygningens samlede energisignatur beregnes. Som værdi for varmt brugsvand anvendes som standard et varmtvandsbehov på 250 l/m<sup>2</sup>/år (svarende til 13,1 kWh/m<sup>2</sup>/år) samt et tab fra rørvarmeinstallationer og brugsvandsbeholdere/veksler. Sidstnævnte afhænger af tilstand, rørføring og type af installationerne, men vil typisk ligge på 2 – 8 kWh/m<sup>2</sup>/år. Sættes forbrug af varmt brugsvand og tag til 15 kWh/m<sup>2</sup>/år fås det samlede varmeforbrug:

$$Q_{\text{Rumvarme}} = \frac{3398 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}}{101 \text{ m}^2} = 33,6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}$$

$$Q_{\text{Varmt brugsvand}} = 15 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}$$

Ligning 5

$$\underline{Q_{\text{Varmeforbrug}} = 48,6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}}$$

Dette tal kan videre anvendes til at lave energimærket for bygningen, når elforbrug til ventilation, pumper mm. indregnes. Hvis bygningsejeren tager billeder af disse installationer samt kedel/veksler og rør, kan energimærket i princippet udregnes uden at man behøver at være på stedet.

Det kan nu også vurderes, om varmemeforbruget er rimeligt. Energimærket bliver beregnet ved en rumtemperatur på 20 °C, men beboerne havde en målt indetemperatur på 23 °C, hvilket ikke er usædvanligt. Anvendes denne indetemperatur, kan der beregnes et nyt antal graddage og efterfølgende rumvarmeforbrug ud fra energisignaturen.

Udetemperatur normalår	Beboernes graddage pr. dag ved 23 °C	Beboernes graddage pr. måned	Udregnet rumvarmeforbrug, normalt år [kWh/mdr] ved opvarmning til 23 °C
0,3	19,9	618	959
-0,4	20,6	576	903
2,7	17,5	543	797
6,6	13,6	407	514
12,0	8,2	253	169
15,1	5,1	154	0
16,3	3,9	121	0
16,4	3,8	117	0
14,0	6,2	187	38
10,3	9,9	306	284
5,6	14,6	437	579
2,1	18,1	560	833
-	-	<b>4283</b>	<b>5076</b>

Tabel 35: Graddage og varmeforbrug for rækkehus i Stenløse ved 23 °C

Dette giver et korrigeret rumvarmeforbrug på 50,3 kWh/m<sup>2</sup>/år. Det målte varmt brugsvandsforbrug ligger i måleperioden på gns. 90 liter pr. dag, hvilket over et helt år vil give 7 kWh/m<sup>2</sup>/år, hvilket er ret lavt for en beboelse (standardværdi er som nævnt foroven 13,1 kWh. Antages der et tab fra gaskedel og rør på 5 kWh/m<sup>2</sup>/år, giver dette i alt **62 kWh/m<sup>2</sup>/år**.

SBI har målt varmeforbrug målt på en række bygningstyper af forskellig årgang og sammenlignes dette tal med deres målinger kan det ses at varmemeforbruget faktisk er relativt lavt:

<b>Bygningsanvendelse</b>	<b>Før 1890</b>	<b>1890-1930</b>	<b>1931-1950</b>	<b>1951-1960</b>	<b>1961-1972</b>	<b>1973-1978</b>	<b>1979-1998</b>	<b>1999-2006</b>	<b>Efter 2006</b>
Stuehus	184	171	162	151	136	117	100	81	67
Parcelhus	170	165	164	155	134	120	105	84	67
Række/kædehus	158	158	149	143	120	113	<b>97</b>	82	66

Tabel 36: Varmeforbrug fra boliger (Kilde: SBI 2014-01\_potentielle varmebesparelser ved løbende bygningsrenovering frem til 2050)

Omend indeklimamålingerne indikerede, at der potentielt kunne være utætheder i klimaskærmen, utilstrækkelig isolering eller problemer med rumvarmeanlægget (Se Tabel 33: Konklusioner og anbefalinger, indeklimamålinger, rækkehus i Stenløse viser det målte varmförbrug, at rækkehuset ligger et godt stykke under tilsvarende bygninger.

Hvad der kan trække ned i rumvarmförbruget er en forholdsvis stor persontæthed (5 beboerne på 101 m<sup>2</sup>) samt det faktum, at det er et indeliggende rækkehus uden varmetab gennem gavlene.

<b>Konklusioner på varmemålinger</b>
Det totale varmförbrug er under det forventede for en bygning af denne type og årgang
Varmtvandsforbruget er lavt.
<b>Anbefalinger til videre forløb</b>
Beregn energimærke på baggrund af varmförbrug beregnet efter energisignatur og billeder af installationer

Tabel 37: Konklusioner og anbefalinger, varmemålinger, rækkehus i Stenløse

### 11.3 Børnehaven Kogletræet

<b>Adresse</b>	Sankt Bendts Allé 6, 2630 Taastrup
<b>Bygningstype</b>	Daginstitution, børnehave
<b>Areal</b>	365 m <sup>2</sup> i stueplan
<b>Etager</b>	1
<b>Byggeår</b>	1972, energirenoveret 2015
<b>Antal brugere</b>	42 børnehavebørn samt 7 ansatte
<b>Brugsmønster</b>	06:40 – 17.00

Tabel 38. Oplysninger om børnehaven Kogletræet

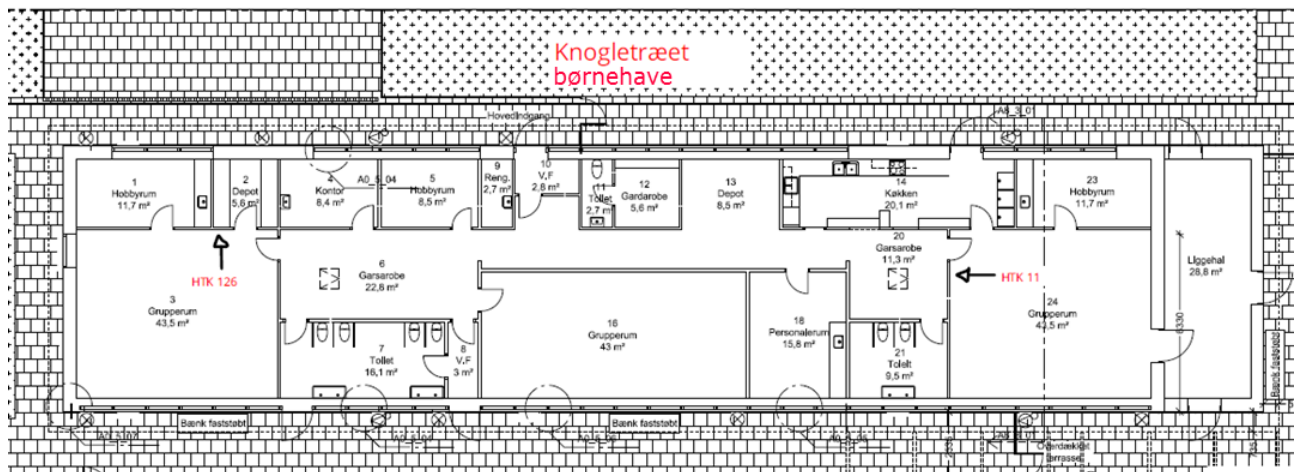


Figur 67: Billede af daginstitutionen Kogletræet – Vuggestueafdeling er nærmest i billedet



### 11.3.1 Indeklimamåling

Indeklimaanalysen på Kogletræet Børnehave er udført med to IC-Meters, der var placeret i to forskellige rum i børnehaven. Figur 68 viser børnehavens grundplan og IC-Meters placering. IC-Meter var placeret i to grupperum, hvor det er forventet, at børnene bruger det meste af deres tid til at lave forskellige aktiviteter. Den første IC-Meter, HTK11, var placeret i Grupperum 24, og den anden IC-Meter, HTK126, var placeret i Grupperum 3.



Figur 68. Kogletræet børnehave grundplan og IC-Meters placering

Nedenfor er angivet en oversigt af indeklimaparametrene, der blev målt med IC-Meters. Måleperioden var fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018, og der er foretaget en måling hver time.

- > Dato og tidspunkt for målingen [dd-mm-yyyy, hh:00]
- > Temperatur, inde [°C]
- > Temperatur, ude [°C]
- > Luftfugtighed, inde [%]
- > Luftfugtighed, ude [%]
- > Entalpi [Wh/m<sup>3</sup>]
- > CO<sub>2</sub>-niveau, inde [PPM]
- > CO<sub>2</sub>-niveau, ude [PPM]
- > Støjniveau, inde [dB]

IC-Meter giver mulighed for at visualisere målingerne i en cloud-baseret tjeneste, med grafer på dagsbasis, samt i tabelform for længere perioder på uge- og årsbasis. I denne rapport benyttes screenshots fra IC-Meters visualiseringstjeneste for at analysere indeklimaet i børnehaven, sammen med grafer fra en Excel-databehandlingsproces, da det også er muligt at eksportere data fra IC-Meter-tjenesten. Det er så undersøgt, hvordan dataene kan bruges for at få en bedre visualisering af målingerne, og hvordan IC-Meters databehandlings/visualiseringstjeneste kan forbedres.

### 11.3.2 Måleresultater - Grupperum 24 - IC-Meter HTH11

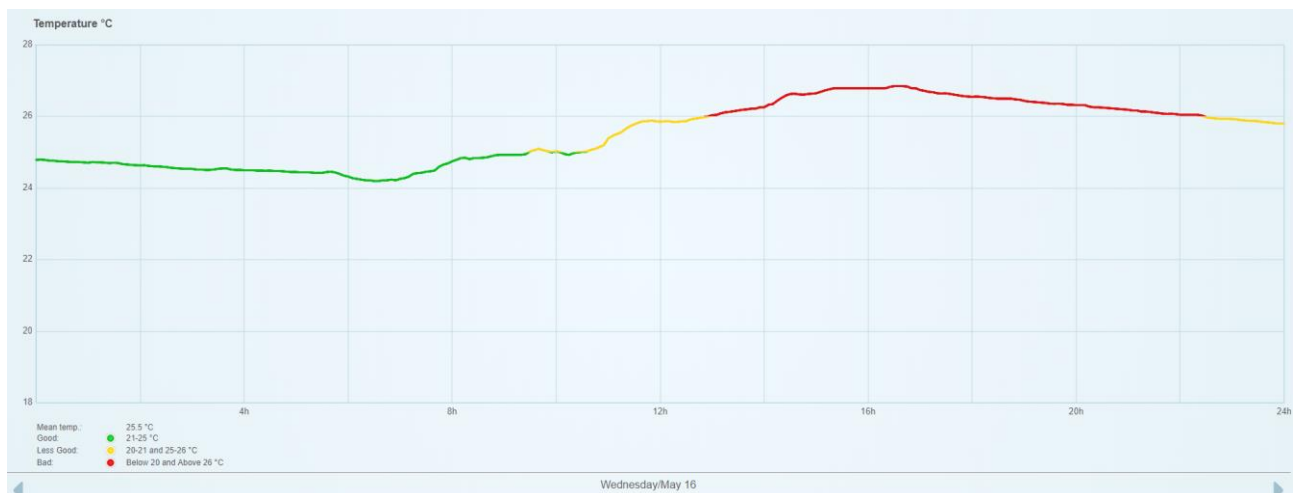
Visualiseringstjenesten fra IC-Meter giver mulighed for at få en oversigt af indetemperaturen i tabelform for en uge, hvor gennemsnitstemperatur er vist for hver time. Figur 69 viser indetemperaturen i Grupperum 24, hvor IC-Meter HTK11 er placeret. De forskellige farver viser, i hvilket temperaturinterval temperaturen var, da den blev målt. Eksempelvis er det vist med rød, når temperaturen er for høj, som det skete d. 16/05, hvor temperaturen er højere end 26 °C i nogle timer. Der er mulighed for at få vist målinger på en dagsbasis, som det er vist på Figur 70. Det giver en bedre visualisering omkring temperaturen inde i rummet.

IC-Meters tjeneste giver ikke mulighed for at sammenhænge forskellige data på samme graf, som for eksempel er interessant at vise inde- og udetemperaturen på samme graf.

Temperature °C - Week 20 (14.05 - 20.05)							
May	14	15	16	17	18	19	20
Time	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
00:00 - 01:00	23.1 °C ●	24.4 °C ●	24.9 °C ●	25.8 °C ●	24.6 °C ●	22.8 °C ●	22.8 °C ●
01:00 - 02:00	23.1 °C ●	24.4 °C ●	24.7 °C ●	25.7 °C ●	24.6 °C ●	22.9 °C ●	22.8 °C ●
02:00 - 03:00	23.0 °C ●	24.3 °C ●	24.6 °C ●	25.5 °C ●	24.6 °C ●	23.0 °C ●	22.8 °C ●
03:00 - 04:00	23.0 °C ●	24.3 °C ●	24.5 °C ●	25.4 °C ●	24.5 °C ●	23.0 °C ●	22.8 °C ●
04:00 - 05:00	23.0 °C ●	24.3 °C ●	24.5 °C ●	25.3 °C ●	24.5 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●
05:00 - 06:00	23.2 °C ●	24.3 °C ●	24.4 °C ●	25.2 °C ●	24.3 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●
06:00 - 07:00	23.2 °C ●	24.1 °C ●	24.2 °C ●	24.9 °C ●	24.1 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●
07:00 - 08:00	23.0 °C ●	24.3 °C ●	24.5 °C ●	25.0 °C ●	24.3 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●
08:00 - 09:00	22.9 °C ●	24.4 °C ●	24.9 °C ●	25.1 °C ●	24.7 °C ●	23.1 °C ●	23.0 °C ●
09:00 - 10:00	22.9 °C ●	24.5 °C ●	25.0 °C ●	25.0 °C ●	24.6 °C ●	23.1 °C ●	23.0 °C ●
10:00 - 11:00	23.2 °C ●	24.7 °C ●	25.1 °C ●	25.1 °C ●	24.5 °C ●	23.1 °C ●	23.0 °C ●
11:00 - 12:00	23.7 °C ●	25.0 °C ●	25.7 °C ●	25.2 °C ●	24.2 °C ●	23.2 °C ●	23.1 °C ●
12:00 - 13:00	24.1 °C ●	25.0 °C ●	25.9 °C ●	24.9 °C ●	23.3 °C ●	23.2 °C ●	23.1 °C ●
13:00 - 14:00	24.5 °C ●	25.2 °C ●	26.2 °C ●	24.9 °C ●	23.1 °C ●	23.3 °C ●	23.1 °C ●
14:00 - 15:00	24.9 °C ●	25.4 °C ●	26.6 °C ●	24.9 °C ●	22.3 °C ●	23.3 °C ●	23.1 °C ●
15:00 - 16:00	24.9 °C ●	25.4 °C ●	26.8 °C ●	24.7 °C ●	21.6 °C ●	23.2 °C ●	23.1 °C ●
16:00 - 17:00	24.9 °C ●	25.5 °C ●	26.8 °C ●	24.9 °C ●	22.4 °C ●	23.1 °C ●	23.0 °C ●
17:00 - 18:00	24.9 °C ●	25.4 °C ●	26.6 °C ●	24.9 °C ●	22.7 °C ●	23.1 °C ●	23.0 °C ●
18:00 - 19:00	24.9 °C ●	25.2 °C ●	26.5 °C ●	24.9 °C ●	22.8 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●
19:00 - 20:00	24.8 °C ●	25.2 °C ●	26.4 °C ●	24.9 °C ●	22.8 °C ●	23.0 °C ●	22.9 °C ●
20:00 - 21:00	24.7 °C ●	25.1 °C ●	26.2 °C ●	24.8 °C ●	22.8 °C ●	22.9 °C ●	22.9 °C ●
21:00 - 22:00	24.7 °C ●	25.0 °C ●	26.1 °C ●	24.8 °C ●	22.8 °C ●	22.9 °C ●	22.8 °C ●
22:00 - 23:00	24.6 °C ●	24.9 °C ●	26.0 °C ●	24.7 °C ●	22.8 °C ●	22.8 °C ●	22.7 °C ●
23:00 - 24:00	24.5 °C ●	24.9 °C ●	25.9 °C ●	24.6 °C ●	22.8 °C ●	22.8 °C ●	22.8 °C ●

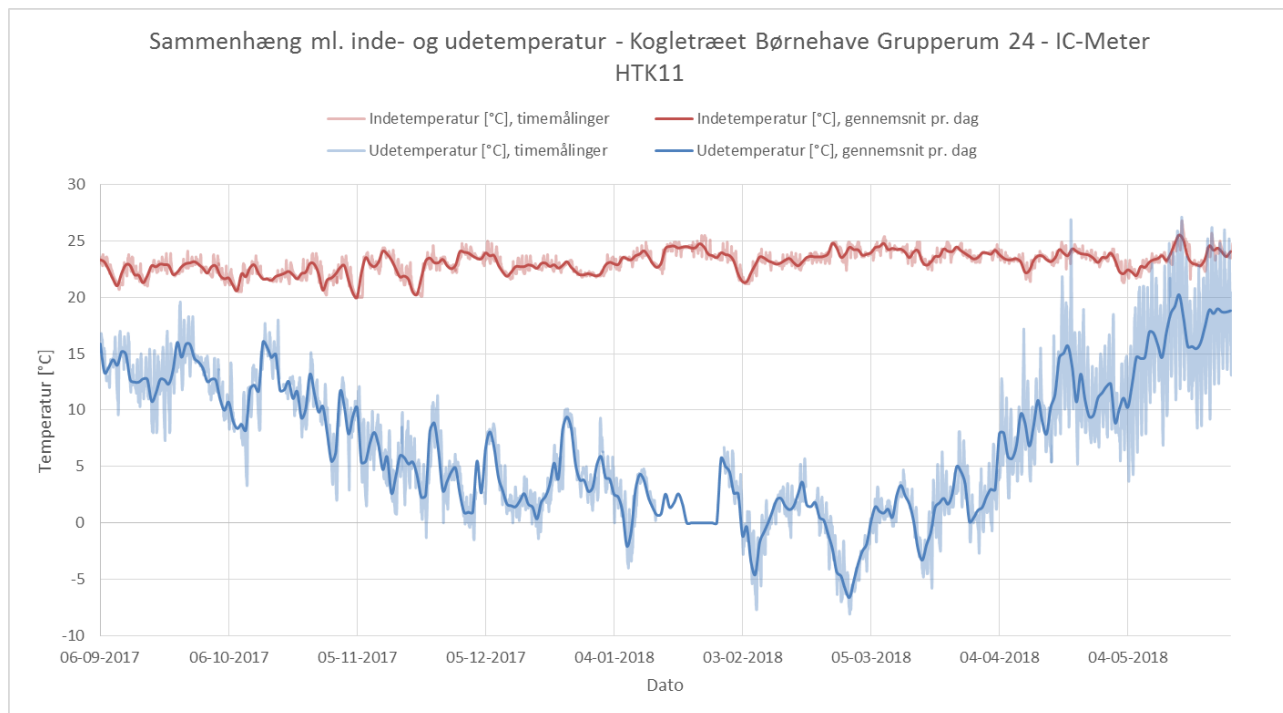
Distribution (100%): ● 0 % Bad ● 0 % Less good ● 80 % Good ● 14 % Less good ● 6 % Bad

Figur 69. Data for indetemperatur målt i Grupperum 24 (IC-Meter HTK11) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 14/5 til d. 20/5-2018



Figur 70. Data for indetemperatur målt i Grupperum 24 (IC-Meter HTK11) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist med graf for én dag, d. 16/5-2018

IC-Meters cloud-tjeneste giver mulighed for at eksportere rådata, der kan bruges for yderligere databehandling og visning. Figur 71 viser graf med sammenhængen mellem inde- og udetemperaturen i Grupperum 24. Indetemperaturmålingerne er vist med rød og udetemperaturene er vist med blå for hver dag i måleperioden (06/09-2017 til 28/05-2018). Grafen viser både temperatur time for time samt med dagsgennemsnit for hver dag i perioden.



Figur 71. Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] i Grupperum 24 (IC-Meter HTK11) i perioden d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

Figur 71 viser sammenhæng mellem de målte inde- og udetemperaturer på Kogletræet børnehave i Høje Taastrup. Indetemperaturerne svinger mellem 20 °C og 26,8 °C, mens udetemperaturerne svinger mellem -8,1 °C og 27,1 °C. Indetemperaturen ser meget stabil i forhold til udetemperaturens variation og det kan ses, at udetemperaturen ikke påvirker indetemperaturen, da den laveste indetemperatur er nået, når udetemperaturen er ikke den laveste.

Den laveste indetemperatur er nået i november måned i løbet af weekenden, da varmebelastningen er mindre, fordi børnehaven ikke havde åbent og temperatur-sætpunktet var måske sat lavere.

Den gennemsnitlige indendørs komforttemperatur i hele måleperioden er beregnet til 23 °C, hvilket er normalt.

Muligheden for at få en graf med sammenhængen mellem inde- og udetemperaturer i IC-Meters visualiseringstjeneste, kan forbedre forståelsen af indeklima inde i rummet og give en god oversigt af mulige problemer.

For at give et komplet overblik over indeklimaet og luftkvaliteten var også CO<sub>2</sub>-niveauet målt inde i Grupperum 3. På samme måde som med temperaturmålingerne viser IC-Meters visualiseringstjeneste CO<sub>2</sub>-niveauet i en graf på dagsbasis, og i tabelform for længere perioder, som en uge eller et år.

Figur 72 viser CO<sub>2</sub>-niveauet for ugen fra d. 14/05-2018 til d. 20/05-2018, hvor indetemperatur-analysen viste et højt temperaturniveau d. 16/05-2018 om eftermiddagen. CO<sub>2</sub>-niveauet er i orden, og det ser til temperaturen måske er påvirket af udetemperaturen.

CO2 ppm - Week 20 (14.05 - 20.05)								
May	14	15	16	17	18	19	20	
Time	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday	
00:00 - 01:00	460 ppm ●	473 ppm ●	467 ppm ●	430 ppm ●	487 ppm ●	457 ppm ●	459 ppm ●	
01:00 - 02:00	460 ppm ●	472 ppm ●	468 ppm ●	432 ppm ●	489 ppm ●	460 ppm ●	459 ppm ●	
02:00 - 03:00	465 ppm ●	476 ppm ●	467 ppm ●	434 ppm ●	492 ppm ●	456 ppm ●	462 ppm ●	
03:00 - 04:00	466 ppm ●	474 ppm ●	470 ppm ●	434 ppm ●	492 ppm ●	461 ppm ●	467 ppm ●	
04:00 - 05:00	465 ppm ●	475 ppm ●	470 ppm ●	435 ppm ●	494 ppm ●	462 ppm ●	469 ppm ●	
05:00 - 06:00	461 ppm ●	476 ppm ●	471 ppm ●	435 ppm ●	486 ppm ●	465 ppm ●	472 ppm ●	
06:00 - 07:00	452 ppm ●	471 ppm ●	479 ppm ●	444 ppm ●	462 ppm ●	464 ppm ●	476 ppm ●	
07:00 - 08:00	437 ppm ●	750 ppm ●	741 ppm ●	657 ppm ●	757 ppm ●	461 ppm ●	480 ppm ●	
08:00 - 09:00	441 ppm ●	773 ppm ●	898 ppm ●	654 ppm ●	915 ppm ●	465 ppm ●	480 ppm ●	
09:00 - 10:00	431 ppm ●	777 ppm ●	751 ppm ●	711 ppm ●	645 ppm ●	464 ppm ●	480 ppm ●	
10:00 - 11:00	422 ppm ●	768 ppm ●	609 ppm ●	686 ppm ●	585 ppm ●	462 ppm ●	474 ppm ●	
11:00 - 12:00	641 ppm ●	686 ppm ●	663 ppm ●	635 ppm ●	603 ppm ●	462 ppm ●	474 ppm ●	
12:00 - 13:00	483 ppm ●	502 ppm ●	481 ppm ●	470 ppm ●	451 ppm ●	461 ppm ●	471 ppm ●	
13:00 - 14:00	441 ppm ●	436 ppm ●	434 ppm ●	426 ppm ●	421 ppm ●	458 ppm ●	473 ppm ●	
14:00 - 15:00	447 ppm ●	434 ppm ●	501 ppm ●	442 ppm ●	419 ppm ●	460 ppm ●	468 ppm ●	
15:00 - 16:00	435 ppm ●	428 ppm ●	438 ppm ●	426 ppm ●	415 ppm ●	458 ppm ●	468 ppm ●	
16:00 - 17:00	415 ppm ●	428 ppm ●	427 ppm ●	422 ppm ●	428 ppm ●	452 ppm ●	465 ppm ●	
17:00 - 18:00	464 ppm ●	451 ppm ●	425 ppm ●	446 ppm ●	445 ppm ●	453 ppm ●	463 ppm ●	
18:00 - 19:00	464 ppm ●	464 ppm ●	426 ppm ●	478 ppm ●	451 ppm ●	450 ppm ●	459 ppm ●	
19:00 - 20:00	461 ppm ●	464 ppm ●	424 ppm ●	485 ppm ●	452 ppm ●	447 ppm ●	463 ppm ●	
20:00 - 21:00	459 ppm ●	460 ppm ●	427 ppm ●	486 ppm ●	455 ppm ●	452 ppm ●	458 ppm ●	
21:00 - 22:00	460 ppm ●	465 ppm ●	429 ppm ●	489 ppm ●	451 ppm ●	453 ppm ●	458 ppm ●	
22:00 - 23:00	462 ppm ●	463 ppm ●	431 ppm ●	487 ppm ●	452 ppm ●	457 ppm ●	461 ppm ●	
23:00 - 24:00	470 ppm ●	465 ppm ●	429 ppm ●	490 ppm ●	454 ppm ●	457 ppm ●	462 ppm ●	

Distribution (100%): ● 97 % Good ● 2 % Less good ● 0 % Bad

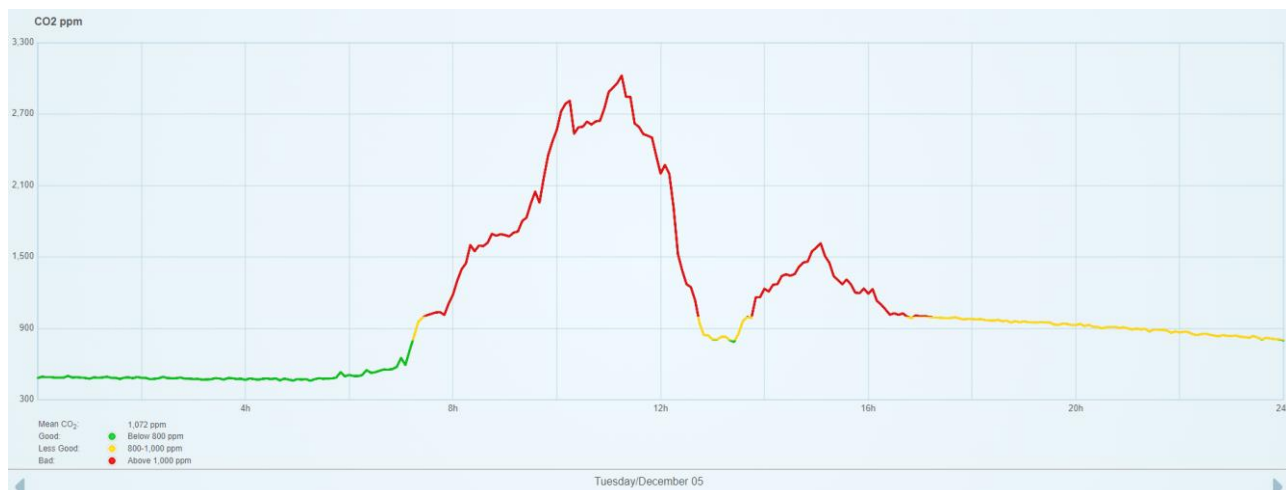
Figur 72. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau i Grupperum 24 (IC-Meter HTK11) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for ugen d. 14/05 til d. 20/05-2018

En dybere analyse af CO<sub>2</sub>-niveauet på IC-Meters visualiseringstjeneste viser, at CO<sub>2</sub>-niveauet når høje værdier i løbet af 2017, mens niveauet er mindre fra begyndelsen af 2018. Figur 73 viser CO<sub>2</sub>-niveauet i tabelform for ugen fra d. 04/12 til d. 10/12-2017, hvor høje værdier af CO<sub>2</sub> er vist. Især på Figur 74 ses CO<sub>2</sub>-niveauet for d. 06/12-2017, hvor ugens højeste niveau er nået. I perioden med højt CO<sub>2</sub>-niveau klagede arbejderne over et dårligt miljø, og problemer med hovedpine var almindelige blandt dem.

CO2 ppm - Week 49 (04.12 - 10.12)								
December	4	5	6	7	8	9	10	
Time	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday	
00:00 - 01:00	447 ppm ●	489 ppm ●	787 ppm ●	836 ppm ●	1,058 ppm ●	807 ppm ●	415 ppm ●	
01:00 - 02:00	446 ppm ●	485 ppm ●	759 ppm ●	811 ppm ●	1,006 ppm ●	760 ppm ●	412 ppm ●	
02:00 - 03:00	443 ppm ●	491 ppm ●	734 ppm ●	781 ppm ●	963 ppm ●	725 ppm ●	410 ppm ●	
03:00 - 04:00	444 ppm ●	476 ppm ●	715 ppm ●	756 ppm ●	918 ppm ●	696 ppm ●	406 ppm ●	
04:00 - 05:00	446 ppm ●	473 ppm ●	698 ppm ●	732 ppm ●	875 ppm ●	655 ppm ●	401 ppm ●	
05:00 - 06:00	460 ppm ●	482 ppm ●	704 ppm ●	724 ppm ●	763 ppm ●	631 ppm ●	400 ppm ●	
06:00 - 07:00	540 ppm ●	534 ppm ●	741 ppm ●	731 ppm ●	742 ppm ●	608 ppm ●	399 ppm ●	
07:00 - 08:00	827 ppm ●	928 ppm ●	969 ppm ●	829 ppm ●	865 ppm ●	582 ppm ●	398 ppm ●	
08:00 - 09:00	1,355 ppm ●	1,575 ppm ●	1,443 ppm ●	1,408 ppm ●	1,293 ppm ●	564 ppm ●	396 ppm ●	
09:00 - 10:00	990 ppm ●	2,021 ppm ●	2,006 ppm ●	1,385 ppm ●	1,357 ppm ●	546 ppm ●	394 ppm ●	
10:00 - 11:00	750 ppm ●	2,694 ppm ●	2,017 ppm ●	1,415 ppm ●	2,032 ppm ●	527 ppm ●	393 ppm ●	
11:00 - 12:00	1,690 ppm ●	2,661 ppm ●	1,327 ppm ●	1,453 ppm ●	1,826 ppm ●	511 ppm ●	394 ppm ●	
12:00 - 13:00	1,536 ppm ●	1,366 ppm ●	1,085 ppm ●	1,623 ppm ●	1,010 ppm ●	495 ppm ●	391 ppm ●	
13:00 - 14:00	1,236 ppm ●	951 ppm ●	703 ppm ●	1,970 ppm ●	580 ppm ●	484 ppm ●	391 ppm ●	
14:00 - 15:00	827 ppm ●	1,384 ppm ●	917 ppm ●	2,042 ppm ●	764 ppm ●	471 ppm ●	388 ppm ●	
15:00 - 16:00	736 ppm ●	1,325 ppm ●	1,019 ppm ●	1,990 ppm ●	1,224 ppm ●	450 ppm ●	388 ppm ●	
16:00 - 17:00	495 ppm ●	1,050 ppm ●	1,055 ppm ●	1,743 ppm ●	1,292 ppm ●	455 ppm ●	387 ppm ●	
17:00 - 18:00	467 ppm ●	988 ppm ●	1,022 ppm ●	1,648 ppm ●	1,216 ppm ●	445 ppm ●	388 ppm ●	
18:00 - 19:00	489 ppm ●	964 ppm ●	1,000 ppm ●	1,562 ppm ●	1,144 ppm ●	439 ppm ●	384 ppm ●	
19:00 - 20:00	500 ppm ●	942 ppm ●	976 ppm ●	1,454 ppm ●	1,075 ppm ●	434 ppm ●	382 ppm ●	
20:00 - 21:00	503 ppm ●	913 ppm ●	951 ppm ●	1,368 ppm ●	1,001 ppm ●	429 ppm ●	384 ppm ●	
21:00 - 22:00	504 ppm ●	883 ppm ●	920 ppm ●	1,280 ppm ●	946 ppm ●	423 ppm ●	388 ppm ●	
22:00 - 23:00	500 ppm ●	848 ppm ●	894 ppm ●	1,178 ppm ●	897 ppm ●	421 ppm ●	393 ppm ●	
23:00 - 24:00	495 ppm ●	820 ppm ●	865 ppm ●	1,131 ppm ●	851 ppm ●	416 ppm ●	392 ppm ●	

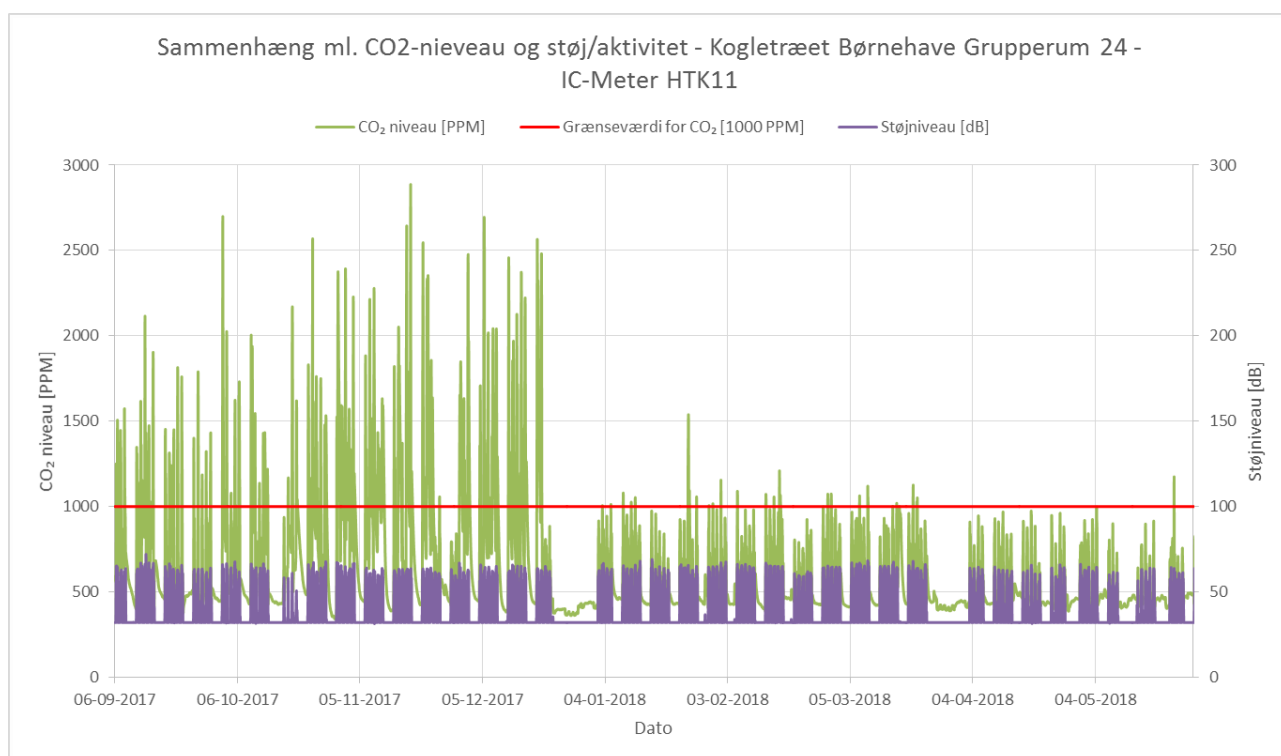
Distribution (100%): ● 54 % Good ● 17 % Less good ● 29 % Bad

Figur 73. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau i Grupperum 24 (IC-Meter HTK11) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for ugen d. 04/12 til 10/12-2017



Figur 74. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau i Grupperum 24 (IC-Meter HTK11) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist med graf for én dag, d. 06/12-2017

Rådata fra IC-Meter er brugt til at vise CO<sub>2</sub>- og støjniveauet i Grupperummet 24 på samme graf, og dette er vist i Figur 75 for perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018.



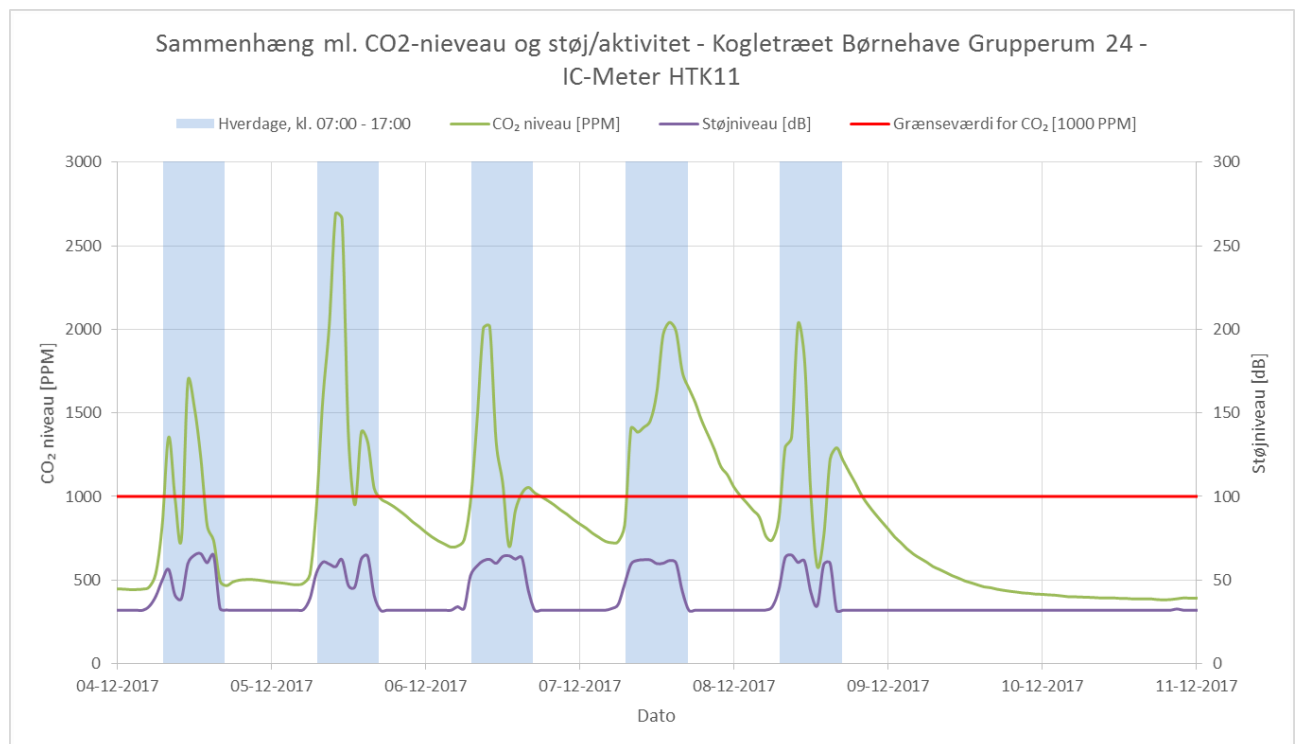
Figur 75. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum 24 (IC-Meter HTK11) i perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

På Figur 75 ses CO<sub>2</sub>-niveauet med grøn, og grafen viser målinger time for time over den målte periode. Den viser et højt CO<sub>2</sub>-niveau før d. 20/12-2017, mens niveauet falder efter juleferien. Støjniveauets graf er vist med lilla, og det viser ikke nogen variation i løbet af hverdage, når aktiviteter er forventet (fra kl. 07:00 til kl. 17:00) i den hele målte periode.

Det betyder, at problemet var relateret til ventilationsanlægget, da kun CO<sub>2</sub>-niveauet er påvirket, selvom støjniveauet viser, at der er stadig aktiviteter i rummet. Det højeste CO<sub>2</sub>-niveau før juleferien, for perioden fra d. 06/09-2017 til d. 20/12-2017, var 2855 PPM. På den anden side var det højeste CO<sub>2</sub>-niveauet efter juleferien, fra d. 02/01-2018 til d. 28/05-2018, 1538 PPM. Der viser en stor forskel mellem de to perioder, og en god forbedring af indeklimaet. Problemet var identificeret efter arbejderne klagede over et dårligt indeklima, og det viste sig, at ventilationsanlægget var slukket. På Figur 75 er det tydeligt, at ventilationsanlægget blev tændt fra d. 20/12-2018, da det er muligt at se en stor forskel af CO<sub>2</sub>-niveauet.

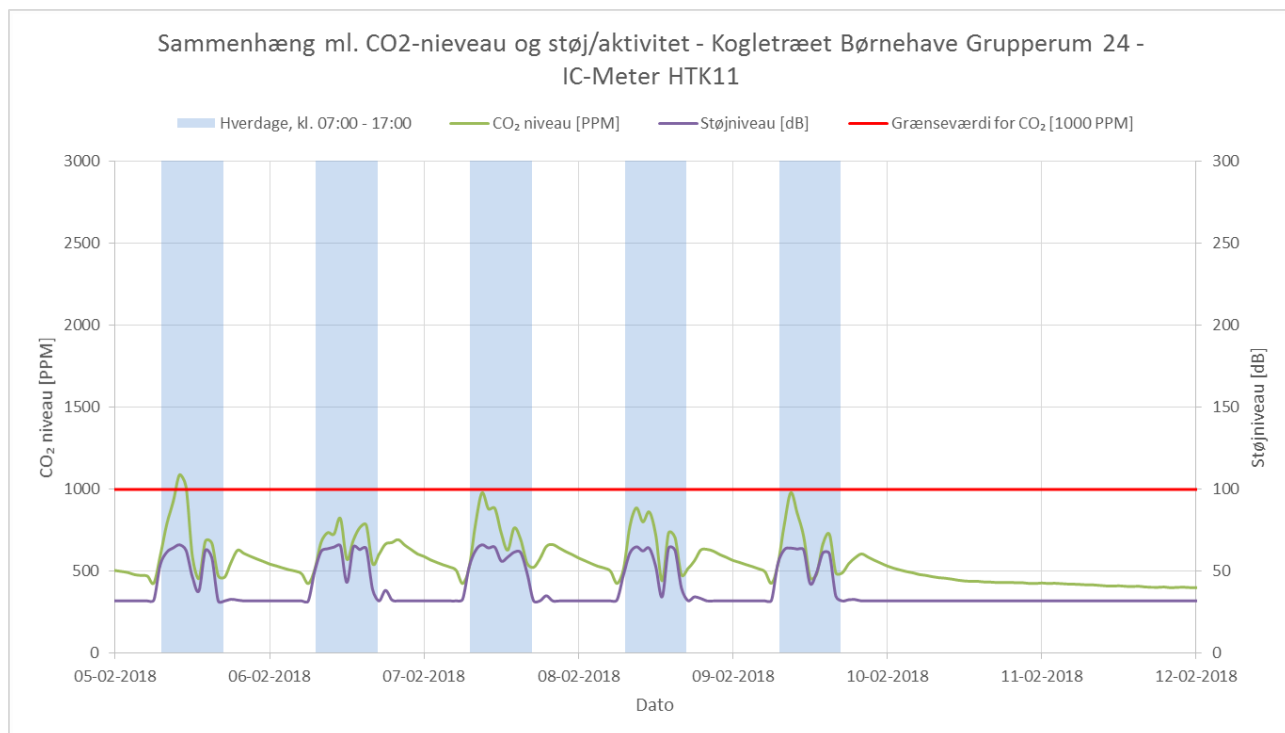
På Figur 75 er det muligt at se, hvordan CO<sub>2</sub>-niveauet falder efter d. 4/05-2018 og er lavere end i løbet af januar-februar. Dette skyldes udetemperaturen, da den var højere i maj, så brugerne åbnede vinduerne. CO<sub>2</sub>-niveauet er meget lavere end grænseværdien, og rummet er måske overventileret. Hvis ventilationsanlægget er et CAV-anlæg med konstant luftmængde, er energien spildt. Derfor kan det være interessant at reducere ventilationen for at reducere energiforbruget.

Figur 76 viser graferne af CO<sub>2</sub>-niveauet samt støjniveauet for en repræsentativ uge i december måned fra d. 04/12 til d. 10/12-2017, da det viser højt CO<sub>2</sub>-niveau. Tidsrummet mellem kl. 7:00 og 17:00 er markeret med blå baggrund for hverdage, hvor det er forventet, at der er aktiviteter i rummet. Det er muligt at se, at der var et relevant problem med CO<sub>2</sub>-niveauet, da det er næsten hele tiden over grænseværdien, og den højeste værdi var omkring 2660 PPM. Det gennemsnitlige CO<sub>2</sub>-niveau mellem kl. 7:00 og 17:00 var beregnet til 1315 PPM.



Figur 76. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum 24 (IC-Meter HTK11) for en uge fra d. 04/12 til d. 10/12-2018

Figur 77 viser CO<sub>2</sub>- og støjniveauet i Grupperummet 24 på samme graf for ugen fra d. 05/02-2018 til d. 12/02-2018, da det er valgt som en repræsentativ uge efter juleferien, da ventilationsanlægget var tændt.



Figur 77. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum 24 (IC-Meter HTK11) for en uge fra d. 05/02 til d. 11/02-2018

Figur 77 viser, at CO<sub>2</sub>-niveauet er i gennemsnit lavere end grænseværdien. I løbet af ugen svinger CO<sub>2</sub>-niveauet mellem 400 PPM og 1100 PPM, og den gennemsnitlige CO<sub>2</sub>-niveauet var beregnet til 687 PPM. Det er muligt at se, at CO<sub>2</sub>-niveauet er forbedret, da ventilationsanlægget blev tændt.

### 11.3.3 Grupperum 3 - IC-Meter HTK126

Den samme temperaturanalyse er udført for Grupperum 3, hvor IC-Meter HTK126 var placeret, som vist på Figur 68. Figur 78 viser indetemperaturene i Grupperummet 3 i tabelform for en uge fra d. 12/02-2018 til d. 19/02-2018. Tabellen viser et problem med høj temperatur i begyndelse af ugen, hvor røde mærker er vist. Det ser ud til temperaturens sætpunkt er sat for højt, eller der er andre problemer med opvarmningssystem, da temperaturen også er høj i løbet af natten, hvor det er ikke forventet, at personer er inde i rummet. Figur 79 viser grafen af indetemperaturen fra d. 12/02-2018, hvor det er muligt at se, at temperaturen er meget stabil i løbet af dagen.

For at få en komplet oversigt over indeklimate niveauet ville det være interessant at sammenligne temperatur med CO<sub>2</sub>-niveau og aktiviteniveau.

Det er interessant at se, at temperatur-intervaller ændres i forhold til årstiderne. Nederst i grafen på Figur 79 er vises intervallerne for vinteren, mens på Figur 70 var viste intervallerne for sommeren.

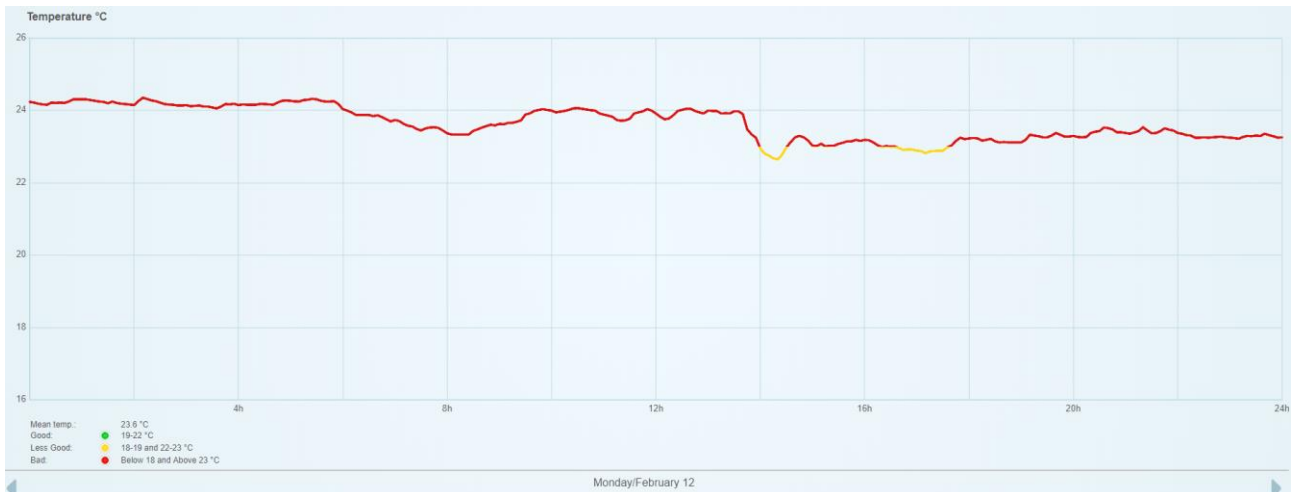
Temperature °C - Week 7 (12.02 - 18.02)

February	12	13	14	15	16	17	18
Time:	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
00:00 - 01:00	24.2 °C ●	23.3 °C ●	22.4 °C ●	21.8 °C ●	22.4 °C ●	21.4 °C ●	21.2 °C ●
01:00 - 02:00	24.2 °C ●	23.3 °C ●	22.3 °C ●	21.8 °C ●	22.3 °C ●	21.3 °C ●	21.3 °C ●
02:00 - 03:00	24.2 °C ●	23.5 °C ●	22.3 °C ●	21.7 °C ●	22.2 °C ●	21.2 °C ●	21.2 °C ●
03:00 - 04:00	24.1 °C ●	23.4 °C ●	22.2 °C ●	21.7 °C ●	22.1 °C ●	21.2 °C ●	21.1 °C ●
04:00 - 05:00	24.2 °C ●	23.6 °C ●	22.2 °C ●	21.7 °C ●	22.2 °C ●	21.1 °C ●	21.1 °C ●
05:00 - 06:00	24.3 °C ●	23.7 °C ●	22.1 °C ●	21.6 °C ●	22.0 °C ●	21.1 °C ●	21.1 °C ●
06:00 - 07:00	23.9 °C ●	23.4 °C ●	21.7 °C ●	21.4 °C ●	21.7 °C ●	21.1 °C ●	21.1 °C ●
07:00 - 08:00	23.5 °C ●	23.3 °C ●	21.5 °C ●	21.4 °C ●	21.7 °C ●	21.1 °C ●	21.0 °C ●
08:00 - 09:00	23.5 °C ●	23.3 °C ●	21.4 °C ●	21.7 °C ●	21.6 °C ●	21.1 °C ●	21.0 °C ●
09:00 - 10:00	23.8 °C ●	23.8 °C ●	21.7 °C ●	22.0 °C ●	22.1 °C ●	21.0 °C ●	21.0 °C ●
10:00 - 11:00	24.0 °C ●	24.1 °C ●	22.2 °C ●	22.2 °C ●	22.5 °C ●	21.1 °C ●	21.1 °C ●
11:00 - 12:00	23.9 °C ●	24.0 °C ●	22.7 °C ●	22.7 °C ●	22.9 °C ●	21.2 °C ●	21.1 °C ●
12:00 - 13:00	23.9 °C ●	23.7 °C ●	22.5 °C ●	22.3 °C ●	22.4 °C ●	21.3 °C ●	21.1 °C ●
13:00 - 14:00	23.7 °C ●	23.2 °C ●	22.4 °C ●	22.0 °C ●	21.9 °C ●	21.4 °C ●	21.2 °C ●
14:00 - 15:00	23.0 °C ●	23.1 °C ●	22.5 °C ●	22.4 °C ●	22.1 °C ●	21.4 °C ●	21.7 °C ●
15:00 - 16:00	23.1 °C ●	23.2 °C ●	22.8 °C ●	22.7 °C ●	22.6 °C ●	21.4 °C ●	21.9 °C ●
16:00 - 17:00	23.0 °C ●	23.2 °C ●	22.3 °C ●	22.5 °C ●	22.3 °C ●	21.4 °C ●	22.2 °C ●
17:00 - 18:00	23.0 °C ●	22.9 °C ●	22.2 °C ●	22.5 °C ●	22.3 °C ●	21.4 °C ●	22.1 °C ●
18:00 - 19:00	23.2 °C ●	22.7 °C ●	21.9 °C ●	23.2 °C ●	22.0 °C ●	21.3 °C ●	22.2 °C ●
19:00 - 20:00	23.3 °C ●	22.7 °C ●	21.9 °C ●	23.5 °C ●	21.9 °C ●	21.3 °C ●	22.3 °C ●
20:00 - 21:00	23.4 °C ●	22.7 °C ●	22.1 °C ●	23.3 °C ●	21.8 °C ●	21.3 °C ●	22.3 °C ●
21:00 - 22:00	23.4 °C ●	22.6 °C ●	22.0 °C ●	22.9 °C ●	21.7 °C ●	21.3 °C ●	22.3 °C ●
22:00 - 23:00	23.3 °C ●	22.5 °C ●	21.9 °C ●	22.6 °C ●	21.5 °C ●	21.2 °C ●	22.3 °C ●
23:00 - 24:00	23.3 °C ●	22.4 °C ●	21.8 °C ●	22.5 °C ●	21.4 °C ●	21.2 °C ●	22.3 °C ●

Distribution (100%): ● 0 % Bad ● 0 % Less good ● 41 % Good ● 34 % Less good ● 25 % Bad

Indoor Climate Classes >>>

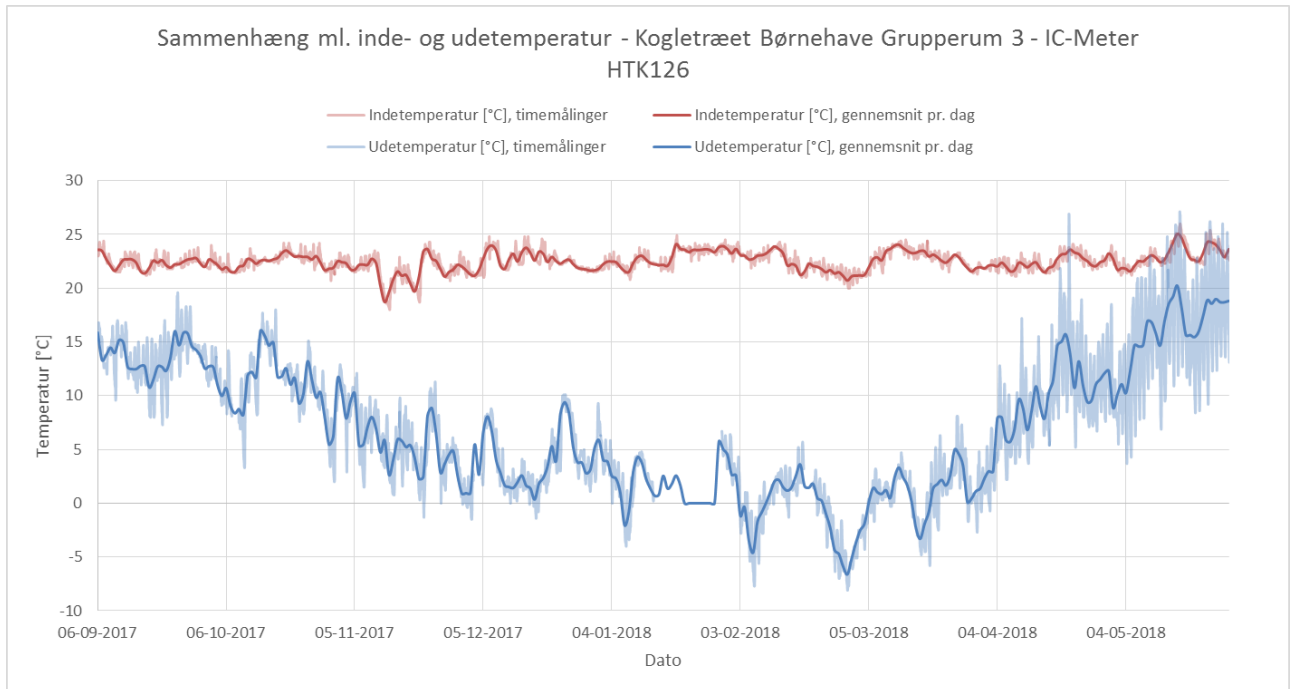
Figur 78. Data for indetemperatur målt i Grupperum 3 (IC-Meter HTK126) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 12/02 til d. 18/02-2018



Figur 79. Data for indetemperatur målt i Grupperum 3 (IC-Meter HTK126) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist med graf for én dag, d. 12/02-2018

Figur 80 viser en graf over sammenhængen mellem inde- og udetemperaturen i Grupperummet 3. Indetemperaturmålingerne er vist med rød og udetemperaturerne er vist med blå. I begge grafer er der vist både temperatur time for time samt dagsgennemsnit for hver dag i perioden (fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018).





Figur 80. Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] i Grupperum 3 (IC-Meter HTK126) i perioden d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

På Figur 80 er det muligt at se, at indetemperaturen svinger mellem 18,0 °C og 26,0 °C, mens udetemperaturen svinger mellem -8,1 °C og 27,1 °C. Den gennemsnitlige indetemperatur i perioden er 22,5 °C, hvilket er normalt for en børnehave

Sammenhængen mellem indetemperaturen og udetemperaturen på Figur 80 viser, at indetemperaturen er ikke særlig påvirket af udetemperaturen. Især ses det omkring d. 01/03-2018, da udetemperaturen nåede den laveste værdi, mens indetemperaturen ikke var den laveste. På Figur 80 er det muligt at se, at den laveste indetemperatur er nået i løbet af en weekend i november måned. Dette kan forklares med at der ikke var aktiviteter i børnehaven og sætpunktet måske var sat lavere. Da temperaturen var omkring 18 °C, var det også muligt, at et vindue var lidt åbnet.

Som for Grupperum 24 er CO<sub>2</sub>-niveauet analyseret for Grupperum 3, hvor IC-Meter HTK126 er placeret. Figur 81 viser CO<sub>2</sub>-niveauet i tabelform for en uge fra d. 12/02 til d. 18/02-2018, da indetemperaturen er vurderet til at være lidt høj i løbet af natten, især d. 12/02-2018. Faktisk ser det ikke ud til, at der er aktiviteter i løbet af natten, og et højt temperaturniveau kan forklares med et højt sætpunkt i rummet.

Figur 82 viser indetemperatur-grafen i Grupperum 3 fra IC-Meters visualiseringstjeneste fra d. 12/02-2018. Den højeste målte værdi var omkring 1150 PPM, og det ser igen ud om som, at der ikke er aktiviteter i løbet af natten.

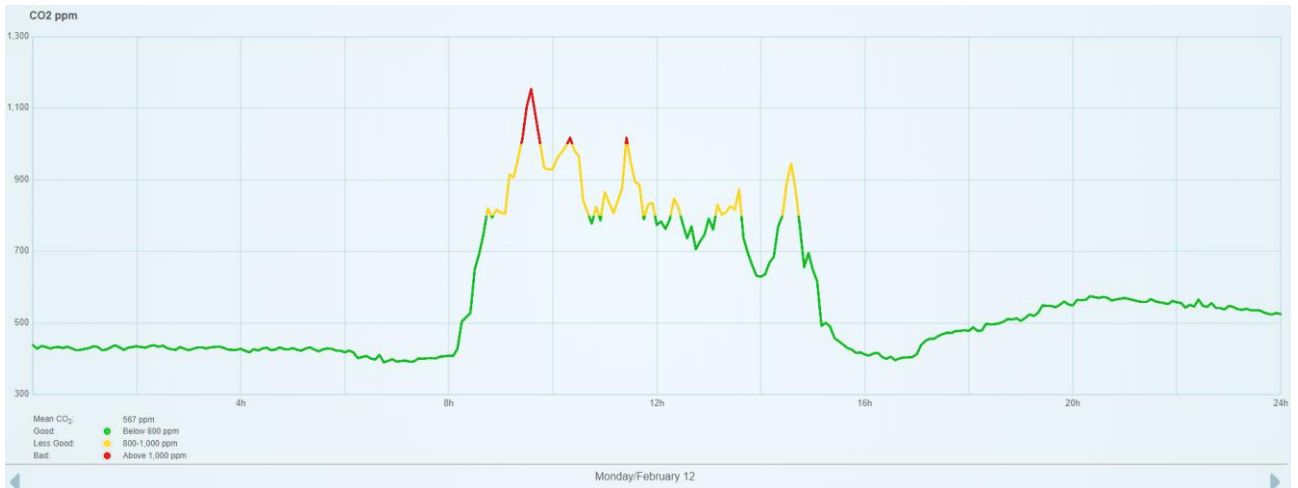
CO2 ppm - Week 7 (12.02 - 18.02)

February	12	13	14	15	16	17	18
Time	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
00:00 - 01:00	431 ppm ●	524 ppm ●	596 ppm ●	583 ppm ●	1,214 ppm ●	563 ppm ●	465 ppm ●
01:00 - 02:00	431 ppm ●	513 ppm ●	579 ppm ●	566 ppm ●	1,086 ppm ●	553 ppm ●	466 ppm ●
02:00 - 03:00	431 ppm ●	504 ppm ●	569 ppm ●	553 ppm ●	982 ppm ●	543 ppm ●	464 ppm ●
03:00 - 04:00	429 ppm ●	497 ppm ●	559 ppm ●	535 ppm ●	905 ppm ●	535 ppm ●	466 ppm ●
04:00 - 05:00	426 ppm ●	488 ppm ●	546 ppm ●	522 ppm ●	839 ppm ●	526 ppm ●	465 ppm ●
05:00 - 06:00	425 ppm ●	477 ppm ●	536 ppm ●	512 ppm ●	767 ppm ●	518 ppm ●	464 ppm ●
06:00 - 07:00	405 ppm ●	420 ppm ●	484 ppm ●	432 ppm ●	501 ppm ●	509 ppm ●	460 ppm ●
07:00 - 08:00	400 ppm ●	433 ppm ●	526 ppm ●	461 ppm ●	457 ppm ●	506 ppm ●	463 ppm ●
08:00 - 09:00	634 ppm ●	675 ppm ●	546 ppm ●	765 ppm ●	568 ppm ●	497 ppm ●	460 ppm ●
09:00 - 10:00	976 ppm ●	901 ppm ●	846 ppm ●	867 ppm ●	886 ppm ●	495 ppm ●	462 ppm ●
10:00 - 11:00	901 ppm ●	885 ppm ●	946 ppm ●	860 ppm ●	859 ppm ●	489 ppm ●	462 ppm ●
11:00 - 12:00	855 ppm ●	827 ppm ●	939 ppm ●	941 ppm ●	861 ppm ●	484 ppm ●	458 ppm ●
12:00 - 13:00	771 ppm ●	554 ppm ●	490 ppm ●	622 ppm ●	493 ppm ●	477 ppm ●	457 ppm ●
13:00 - 14:00	756 ppm ●	524 ppm ●	464 ppm ●	616 ppm ●	488 ppm ●	472 ppm ●	456 ppm ●
14:00 - 15:00	753 ppm ●	839 ppm ●	851 ppm ●	990 ppm ●	914 ppm ●	472 ppm ●	488 ppm ●
15:00 - 16:00	462 ppm ●	883 ppm ●	848 ppm ●	1,056 ppm ●	1,186 ppm ●	467 ppm ●	515 ppm ●
16:00 - 17:00	406 ppm ●	825 ppm ●	729 ppm ●	674 ppm ●	794 ppm ●	469 ppm ●	507 ppm ●
17:00 - 18:00	466 ppm ●	648 ppm ●	662 ppm ●	967 ppm ●	665 ppm ●	469 ppm ●	458 ppm ●
18:00 - 19:00	496 ppm ●	625 ppm ●	649 ppm ●	1,822 ppm ●	648 ppm ●	468 ppm ●	491 ppm ●
19:00 - 20:00	541 ppm ●	656 ppm ●	655 ppm ●	2,676 ppm ●	624 ppm ●	470 ppm ●	486 ppm ●
20:00 - 21:00	568 ppm ●	662 ppm ●	668 ppm ●	2,219 ppm ●	608 ppm ●	468 ppm ●	481 ppm ●
21:00 - 22:00	560 ppm ●	646 ppm ●	644 ppm ●	1,885 ppm ●	593 ppm ●	467 ppm ●	475 ppm ●
22:00 - 23:00	548 ppm ●	628 ppm ●	625 ppm ●	1,613 ppm ●	586 ppm ●	468 ppm ●	469 ppm ●
23:00 - 24:00	534 ppm ●	610 ppm ●	605 ppm ●	1,371 ppm ●	575 ppm ●	469 ppm ●	467 ppm ●

Distribution (100%): ● 79 % Good ● 13 % Less good ● 8 % Bad

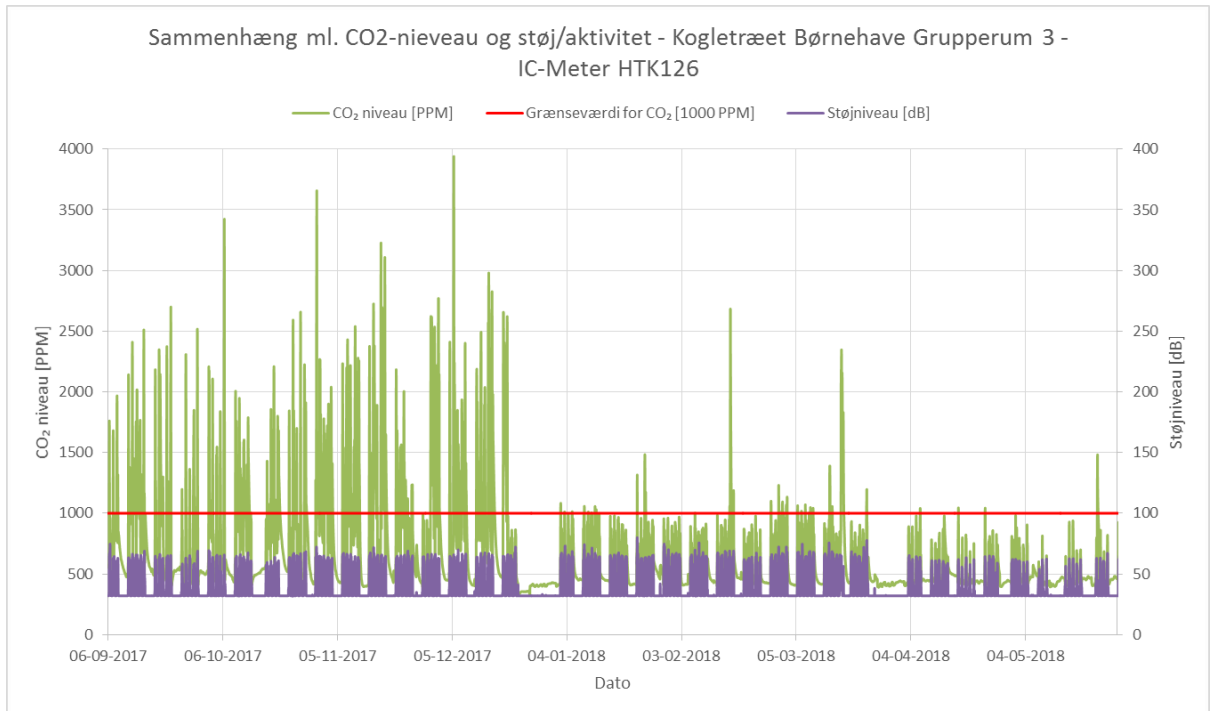
Indoor Climate Classes >>>

Figur 81. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau i Grupperum 3 (IC-Meter HTK126) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for ugen d. 12/02 til d. 18/02-2018



Figur 82. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau i Grupperum 3 (IC-Meter HTK126) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist med graf for én dag, d. 12/02-2018

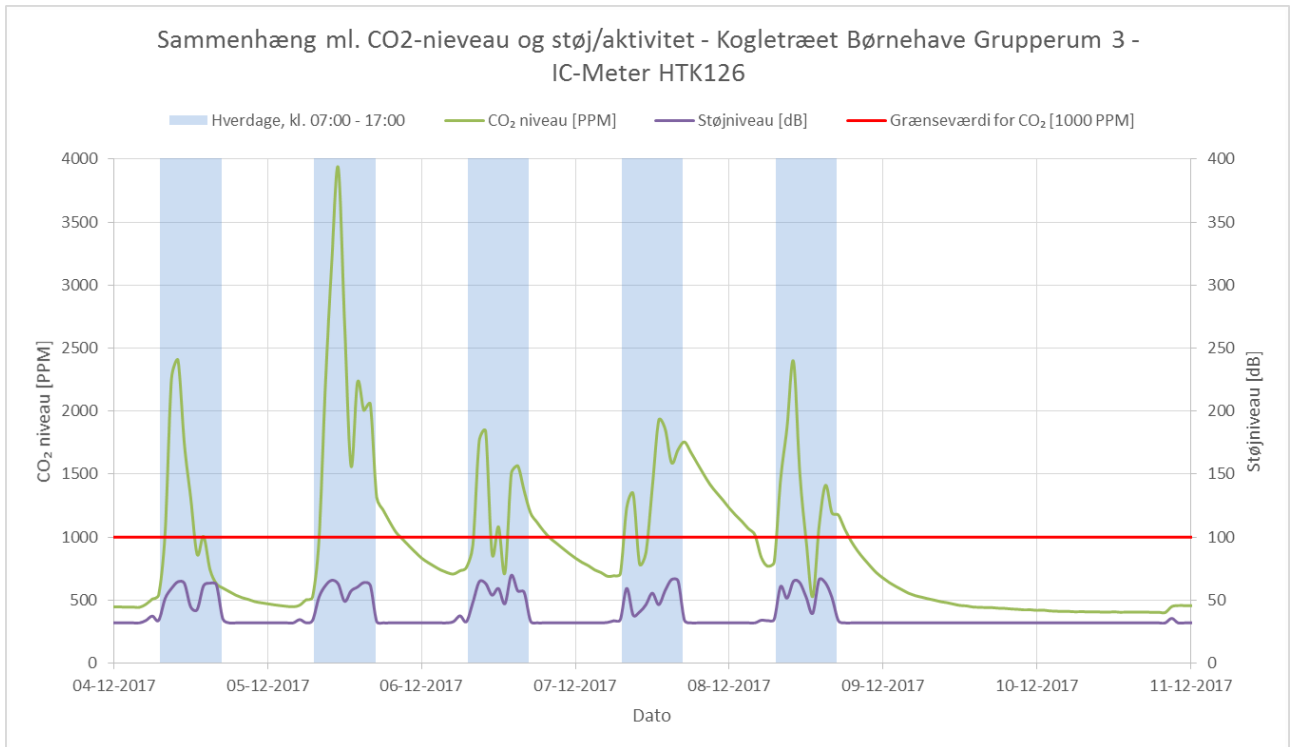
Rådataene fra IC-Meter tjeneste er brugt igen til at vise CO<sub>2</sub>- og støjniveauet i Grupperum 3 på samme graf for den målte periode fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018, som vist på Figur 83.



Figur 83. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum 3 (IC-Meter HTK126) i perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

Som det var forventet af indeklimatekningen i Grupperum 24, er der også problemer med CO<sub>2</sub>-niveauet i Grupperum 3 i løbet af den første periode til d. 20/12-2017. Det er muligt at se, om CO<sub>2</sub>-niveauet er højere end grænseværdien på hverdage, når aktiviteter er forventet i rummet. Den højeste værdi målt fra d. 06/09-2017 til d. 20/12-2017 var omkring 3930 PPM, mens den højeste værdi efter d. 21/12-2018 var omkring 2675 PPM. Selvom et højt niveau var målt, da ventilationsanlægget var tændt, var indeklimaet i rummet meget bedre.

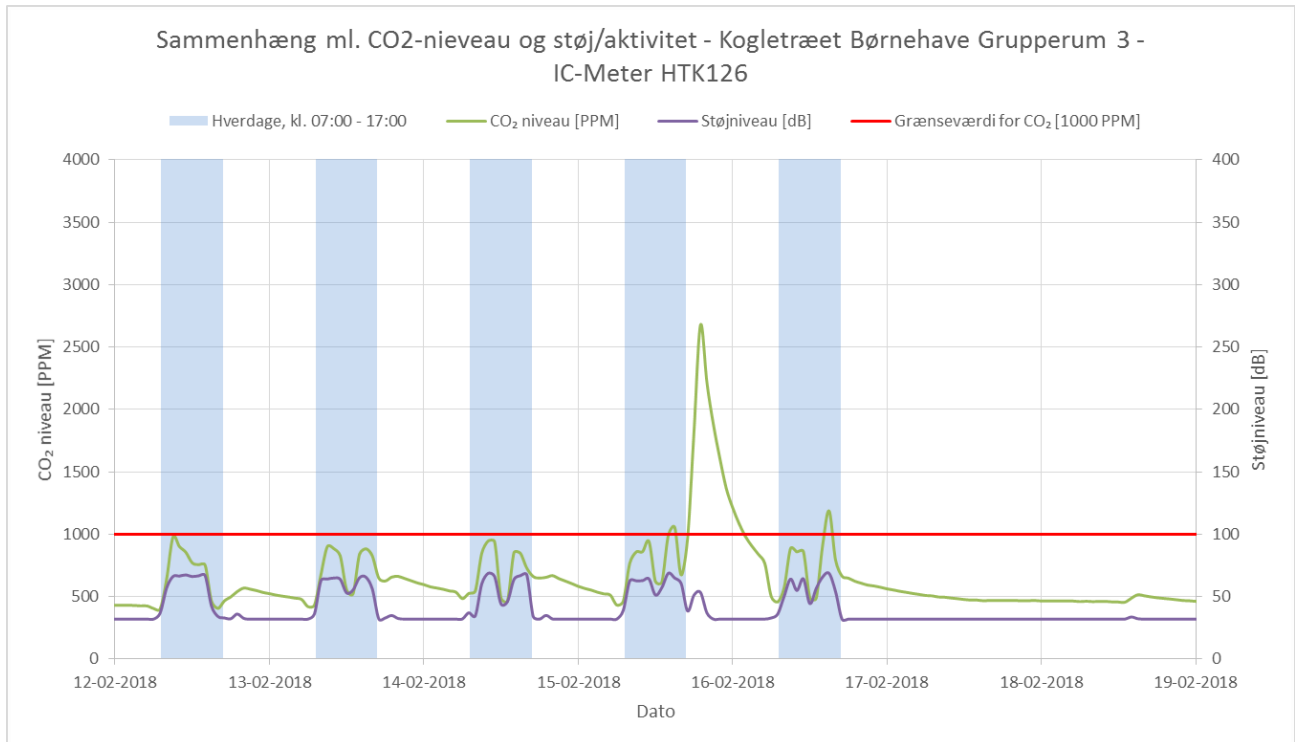
Figur 84 viser sammenhængen mellem CO<sub>2</sub>-niveau og støjniveauet for en repræsentativ uge i december måned fra d. 04/12 til d. 10/12-2017. Tidsrummet for hverdage markeret mellem kl. 7:00 og 17:00 er markeret med blå baggrund.



Figur 84. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum 3 (IC-Meter HTK126) for en uge fra d. 04/12 til d. 10/12-2017

Som i Grupperum 24 viser Figur 84, at CO<sub>2</sub>-niveauet i Grupperum 3 er højere end grænseværdien meste af arbejdstiden og det gennemsnitlige niveau i hverdage mellem kl. 7:00 og 17:00 er 1436 PPM, mens den højeste værdi er omkring 3931 PPM. Det er tydeligt, at CO<sub>2</sub>-niveauet var grunden til klagerne fra personalet, da det nåede rigtigt et højt niveau. Takket være indeklimateanalysen var det muligt at finde problemet og forbedre indeklima inde i børnehaven.

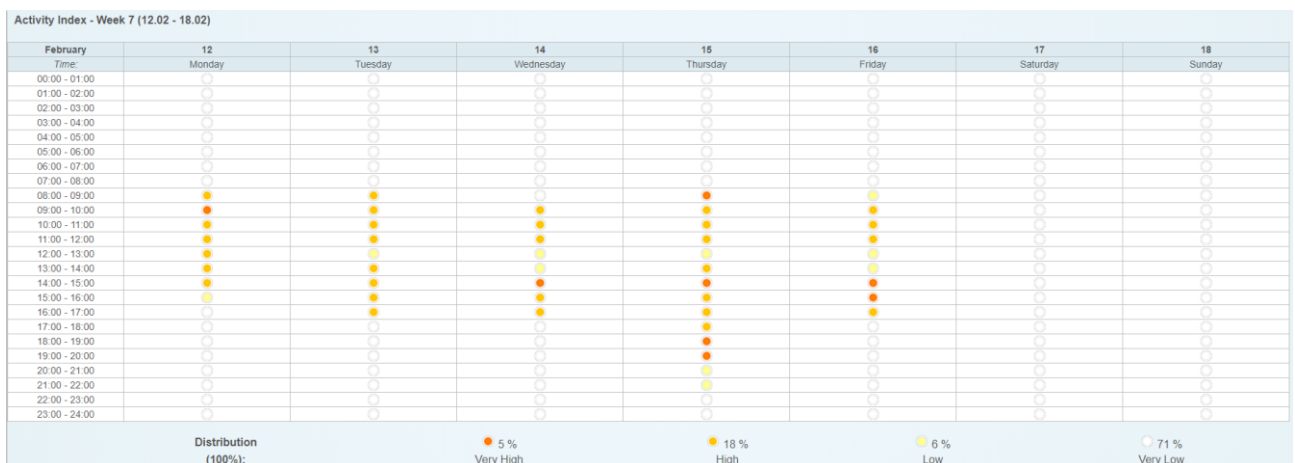
Til sidst viser Figur 85 på samme graf CO<sub>2</sub>- og støjniveauet i Grupperummet 3 for den repræsentative uge fra d. 12/02-2018 til d. 19/02-2018, da ventilationsanlægget var tændt og indeklimaet forbedret.



Figur 85. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum 3 (IC-Meter HTK126) for en uge fra d. 12/02 til d. 18/02-2018

Figur 85 viser, at CO<sub>2</sub>-niveauet er i orden i løbet af arbejdstiden fra kl. 7:00 til kl. 17:00, da det næsten hele tiden er under grænseværdien, og det gennemsnitlige niveau er omkring 730 PPM.

Den højeste værdi er nået uden for arbejdstiden, især d. 15/02-2018 var CO<sub>2</sub>-niveauet målt til omkring 2675 PPM. Det kan forklares med aktivitet-niveauet, som vist på Figur 86, var trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste. Det er muligt at se, om aktivitet-niveauet er markeret "high/very high", der betyder, at personer var inde i rummet efter kl. 17:00. Et møde med forældrene eller andre slags aktiviteter kunne påvirke CO<sub>2</sub>-niveauet, som vist i grafen i Figur 85.



Figur 86. Data for indendørs aktivitet-niveau i Grupperum 3 (IC-Meter HTK126) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 12/02 til d. 18/02-2018

<b>Konklusioner på indeklimamålinger</b>
Temperaturer er tilfredsstillende i måleperioden
CO <sub>2</sub> - niveauet er tilfredsstillende
Rumtemperaturen påvirkes ikke af udetemperaturen, hvilket tyder på at klimaskærmen og utæthed af samme er på et acceptabelt niveau.
<b>Anbefalinger til videre forløb</b>
Mål temperaturer over et helt for at afklare om temperaturniveau er acceptabelt
Mål varmeforbrug og sammenlign med tilsvarende byggeri
Undersøg om det kan betale sig med behovsstyring af ventilationen efter CO <sub>2</sub> - niveau

Tabel 39: Konklusion på indeklimamålinger, børnehaven Kogletræet

### 11.3.4 Energi

I børnehaven var der målt varme- og elforbrug fra perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018, hvor målingerne var foretaget hver 15. minut. Varmemåleren var placeret i Rengøringsrum (rum 9), og måleren var en Kamstrup Multical 66. Varmemålingerne omfatter både rumvarmeforbruget og varmt vandforbruget.

Elmåleren var placeret i køkkenet (rum 14).

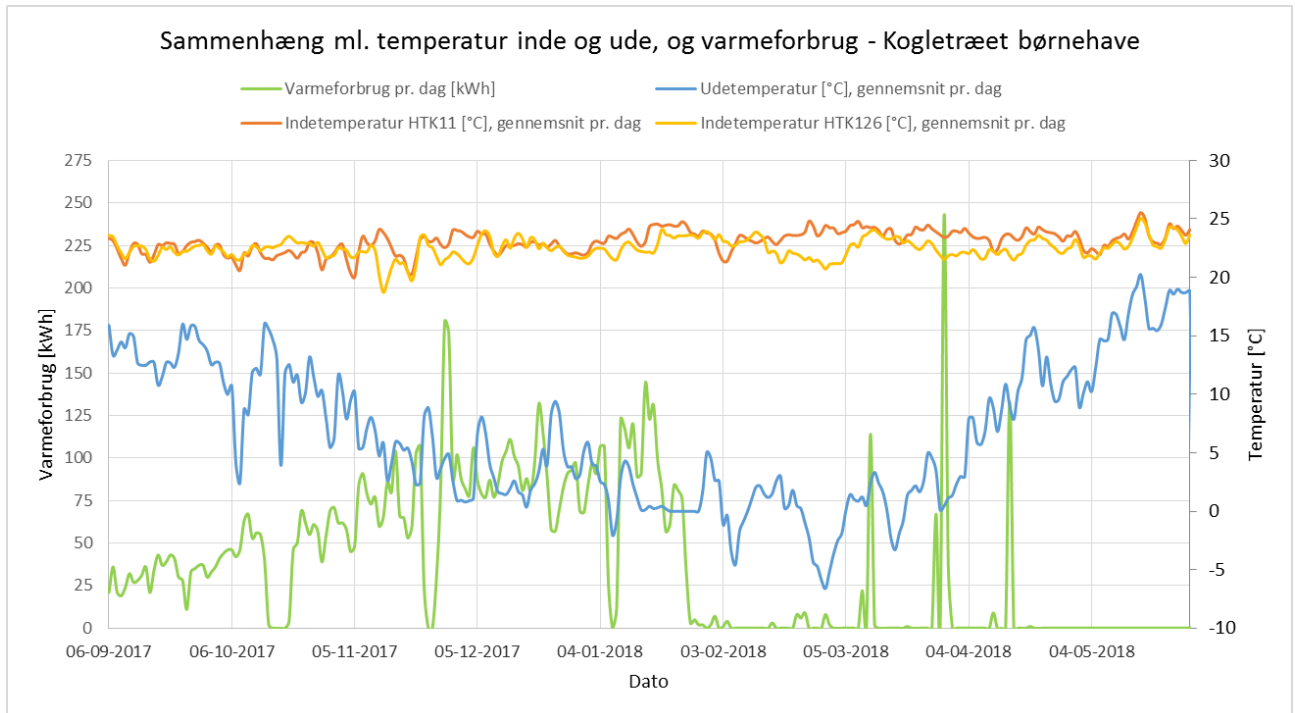
Følgende parametre blev målt:

- > - Dato for målingen
- > - Øjeblikkelige varmeforbrug
- > - Akkumulerede varmeforbrug.

Aflæsning af målere var udført af NorthQ, der gemmer dataene i en cloud-tjeneste. Takket være den webbaserede platform HomeManager var det muligt at få en oversigt over, hvilke parametre blev målt og at eksportere dataene for yderligere databehandling.

### 11.3.5 Måleresultaterne

Ved at eksportere rådata fra NorthQ cloud-tjeneste var det muligt at lave en graf over sammenhængen mellem inde- og udetemperaturen og varmeforbruget i børnehaven, som vist på Figur 87. Varmeforbruget er vist på grafen med grøn, udetemperaturen er vist med blå og indetemperaturen er vist med orange for Grupperum 24 og med gul for Grupperum 3.



Figur 87. Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] og energiforbrug i perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

Som forventet er varmeforbruget påvirket af udetemperaturen, da varmeforbruget bliver højere, når udetemperaturen bliver lavere. Desværre har der været nogle problemer med varmemålingerne for perioden fra d. 20/01-2018 til d. 28/05-2018, da grafen viser, at forbruget falder til nul, og kun få data blev målt, og betragtes som forkerte. Derfor er varmemålingerne brugt for energisignaturen fra d. 06/09-2017 til d. 20/01-2018. Dataene er også filtreret i perioden fra d. 06/09-2017 til d. 20/01-2018, hvor der blev målt et varmeforbrug, svarende til nul på grund af ferieperioden.

Når en bygnings varmeforbrug skal sammenligne med tilsvarende typer af boliger, skal en energisignatur udføres. Det er derfor nødvendigt at normalisere forbruget ved at inkludere graddagekorrigering, der ikke kan udføres på webbaseret platformen. Den graddagekorrigerede energisignatur bestemmes ved hjælp af Ligning 6 [1].

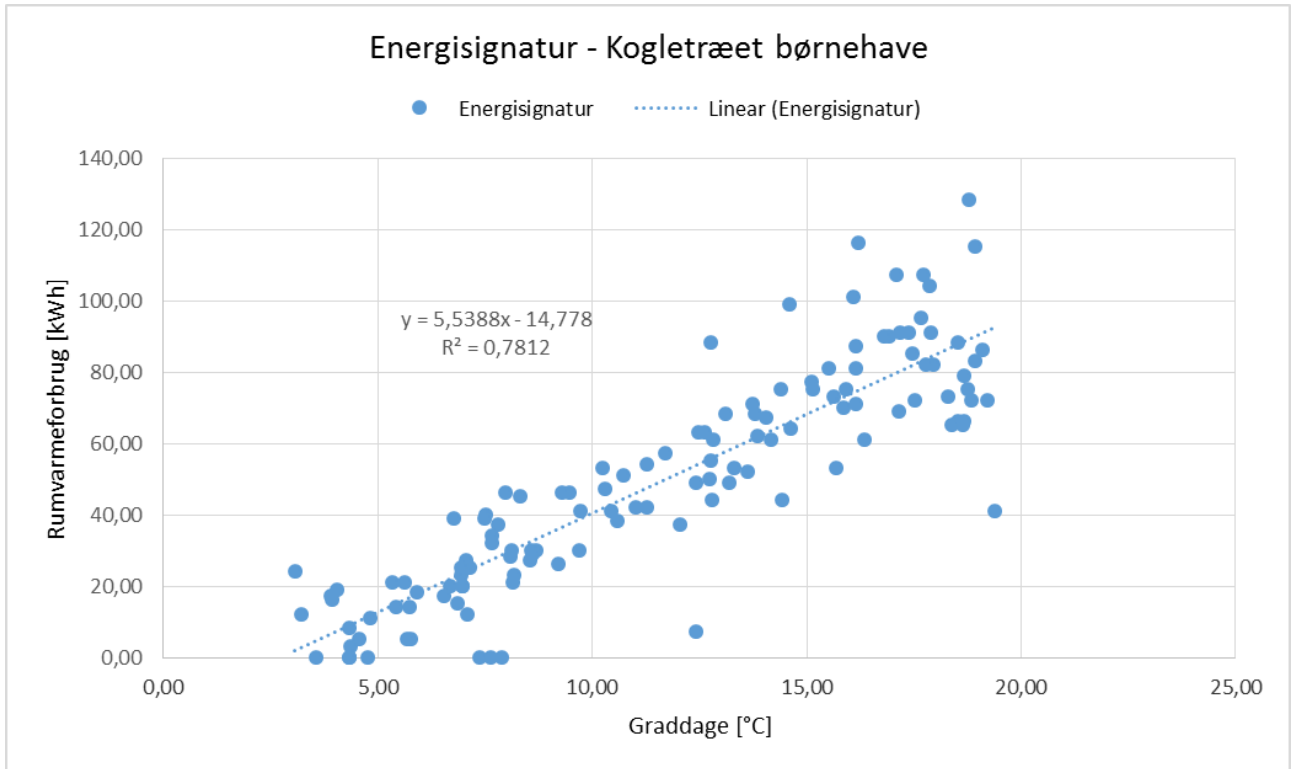
$$\frac{Q}{D} = K1 \cdot \frac{HDD}{D} + K2$$

Ligning 6

$$\begin{aligned} \frac{Q}{D} &= \text{Varmeforbrug pr. dag} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \right] \\ \frac{HDD}{D} &= \text{Graddage pr. dag} \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{dag}} \right] = (T_{\text{Inde}} - T_{\text{Ude}} - 3 \text{ } ^\circ\text{C}) \\ K1 &= \text{Hældning} \left[ \frac{\text{kWh}}{^\circ\text{C}} \right] \\ K2 &= \text{Skæring med y-aksen} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \right] \end{aligned}$$

Da forholdet mellem varmeforbruget og graddagene er lineære, var varmeforbruget plottet pr. dag (Q/D) med den tilsvarende graddag den pågældende dag (HDD/D) for at finde energisignaturen ved hjælp af en lineær tendenslinje. Det er vist på Figur 88.

Grafen viser den varme, der skal bruges for at opnå en ønsket indetemperatur afhængig af udetemperaturen. I denne analyse er der kun brugt rumvarmeforbrug, og varmt vandforbrug bliver trukket fra det samlede varmeforbrug. Varmt vandforbrug er tilsvarende til 15,7 kWh pr. dag, hvilket er taget ud fra en antagelse om et varmtvandsforbrug på 10 l/person pr. dag baseret på målinger fra Teknologisk Institut.



Figur 88. Energisignatur for Kogletræet børnehave baseret på målinger af rumvarmeforbrug og tilsvarende graddage fra 06/09-2017 til 20/01-2018

Den lineære tendenslinje opnået fra målepunkterne i Figur 88 svarer til funktionen vist på Ligning 7.

$$\frac{Q}{D} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \right] = 5,5388 \frac{\text{kWh}}{^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{HDD}{D} \left[ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{dag}} \right] - 14,778 \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \quad \text{Ligning 7}$$

Funktionsforskriften er beregnet ud fra mindste kvadraters metode i Excel, og  $R^2$ -værdien er 0,7812, hvilket anses for at være acceptabelt for denne type målinger.

Graddagene for et normalår skal benyttes for at finde den graddage-normaliserede energisignatur, som er vist i Tabel 40. Graddagene er bestemt af Teknologisk Institut og er anvendt for normalåret mellem år 1975 og 1985, hvor det er ønsket at varme boligen op til 20 °C. Det årlige antal graddage er 3112 for et normalår.



\*Negativt udregnede rumvarmeforbrug er rundet op til 0 kWh.

Måned	Antal dage pr. måned	Graddage (Normalår 1975-1985)	Graddage pr. dag	Graddagekorrigeret rumvarmeforbrug pr. måned [kWh]
Januar	31	519	16,7	2416,5
Februar	28	486	17,4	2278,1
Marts	31	444	14,3	2001,1
April	30	311	10,4	1279,2
Maj	31	154	5,0	394,9
Juni	30	58	1,9	0,0
Juli	31	22	0,7	0,0
August	31	18	0,6	0,0
September	30	91	3,0	60,7
Oktober	31	207	6,7	688,4
November	30	341	11,4	1445,4
December	31	461	14,9	2095,3
<b>365</b>		<b>3112</b>		<b>-</b>
				<b>12659,5</b>

Tabel 40. Graddage for et normalår inkl. det graddagekorrigerede rumvarmeforbrug for bygningen på Kogletræet børnehaven.

Det totale årlige rumvarmeforbrug for Kogletræet Børnehaven er ca. 12,6 MWh, når et normalår anvendes og indetemperaturens sætpunkt er 20 °C.

De opnåede resultater giver muligheden for at sammenligne rumvarmeforbruget med andre bygninger. Det årlige graddagekorrigerede varmeforbrug skal divideres med bygningens areal, som er 406,2 m<sup>2</sup>.

Når der anvendes en antaget værdi for varmt vandforbruget på 6 kWh/m<sup>2</sup>/år fra Teknologisk Institut), fås bygningens samlede energisignatur. Dette er vist i Ligning 8.

$$Q_{\text{Rumvarme}} = \frac{12659 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}}{406 \text{ m}^2} = 31,2 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}$$

$$Q_{\text{Varmt brugsvand}} = 6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}$$

Ligning 8

$$Q_{\text{Varmeforbrug}} = 37,2 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}$$

Bygningens samlede graddagekorrigerede energisignatur for varme er således 37 kWh/m<sup>2</sup>/år.

<b>Konklusioner på varmemålinger</b>
Det totale varmeforbrug er under det forventede for en bygning af denne type og årgang
<b>Anbefalinger til videre forløb</b>
Beregn energimærke på baggrund af rumvarmeforbrug beregnet efter energisignatur og billeder

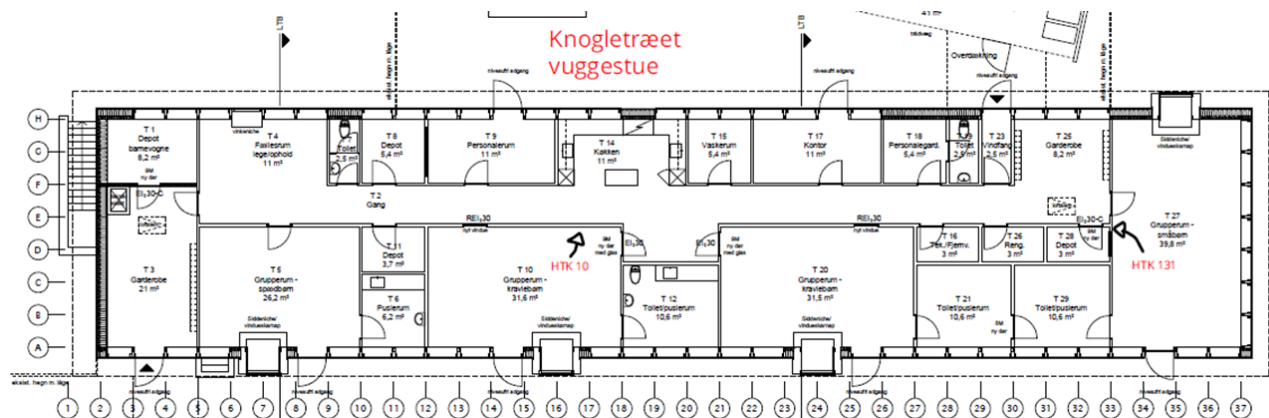
Tabel 41: Konklusioner og anbefalinger, varmemålinger, børnehaven Kogletræet

## 11.4 Vuggestuen Kogletræet

<b>Adresse</b>	Sankt Bendts Allé 6, 2630 Taastrup
<b>Bygningstype</b>	Daginstitution, vuggestue
<b>Areal</b>	390 m <sup>2</sup> i stueplan og 108 m <sup>2</sup> kælder
<b>Etager</b>	2
<b>Byggeår</b>	1972, energirenoveret 2015
<b>Antal brugere</b>	42 vuggestuebørn samt 13 ansatte
<b>Brugsmønster</b>	06:40 – 17.00

Tabel 42. Oplysninger om vuggestuen Kogletræet

Indeklimaanalysen er udført i perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018, hvor to IC-Meter var brugt til at foretage indeklimamålingerne på Kogletræet Vuggestue i Høje Taastrup Kommune. IC-Meters var placeret i to forskellige rum, og Figur 89 viser vuggestuens grundplan samt IC-Meters placering. Den første IC-Meter, HTK10, var placeret i Grupperummet T10, mens den anden, HTK131, var placeret i Grupperummet T27. Det er forventet at børnene bruger det meste af deres tid i disse rum, så det er vigtigt at sikre et godt indeklima for dem.



Figur 89. Kogletræet vuggestue grundplan og IC-Meters placering

Målerne fra IC-Meter indeholder en cloud-baseret tjeneste, hvor det er muligt at få dataene visualiseret. Denne analyse giver en evaluering af IC-Meters dataudvisning og databehandling tjeneste, der vises med screenshots i denne rapport. Det er undersøgt, hvordan dataene kan bruges for at give en bedre oversigt af resultaterne på den indbyggede visning tjeneste fra IC-Meter. Faktisk er det muligt at eksportere dataene fra IC-Meter cloud-tjeneste til yderligere databehandling, og med en Excel-databehandlingsproces er dataene vist med alternative grafer.

- > Den følgende liste giver en oversigt af målingerne fra IC-Meter:
- > Dato og tidspunkt for målingen [dd-mm-yyyy, hh:00]
- > Temperatur, inde [°C]
- > Temperatur, ude [°C]
- > Luftfugtighed, inde [%]
- > Luftfugtighed, ude [%]
- > Entalpi [Wh/m<sup>3</sup>]

- > CO<sub>2</sub>-niveau, inde [PPM]
- > CO<sub>2</sub>-niveau, inde [PPM]
- > Støjniveau, inde [dB]

### 11.4.1 Måleresultaterne

#### 11.4.2 Grupperum T10 – IC-Meter HTK10

IC-Meters visualiseringstjeneste giver mulighed for at vise rumtemperaturen i tabelform på årsbasis eller for en uge. Figur 90 viser indetemperaturen i Grupperum 10 for den målte periode, fra september 2017 til maj 2018.

Den gennemsnitlige temperatur er vist over en måned med procentdelen af tiden inden for de forskellige komfortintervaller. Fra tabellen er det muligt at se, at indetemperaturen nåede den laveste procent inden for "Good" intervallen i januar måned.

Figur 91 viser indetemperaturen i tabelform for en uge i januar måned fra d. 08/01-2018 til d. 14/01-2018. IC-Meters tjeneste viser en temperatur uden for "Good" niveau i vintertid, når den er over 22 °C, og derfor ser indetemperaturen lidt for høj i løbet af hverdagene, og måske kunne sætpunktet blive reduceret.

Temperature °C						
Year/Month	Avg. temp.	Bad	Less good	Good	Less good	Bad
2018	22.4	1%	6%	73%	16%	4%
May	24.2	0%	0%	77%	13%	10%
April	22.8	3%	3%	93%	1%	0%
March	21.5	4%	26%	70%	0%	0%
February	21.5	0%	0%	71%	24%	6%
January	21.8	0%	0%	54%	42%	4%
2017	23.1	0%	1%	90%	8%	0%
December	21.5	0%	0%	81%	17%	2%
November	22.0	0%	6%	94%	0%	0%
October	22.1	0%	0%	100%	0%	0%
September	23.2	0%	0%	100%	0%	0%

Figur 90. Data for indetemperatur målt i Grupperum T10 (IC-Meter HTK10) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel i årsbasis, fra september 2017 til maj 2018

Temperature °C - Week 2 (08.01 - 14.01)

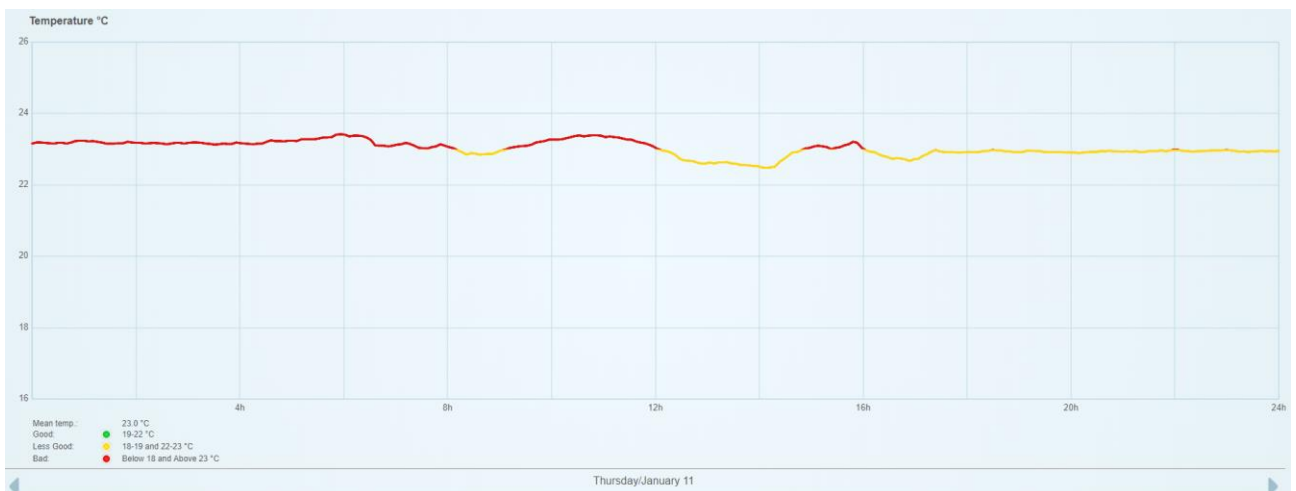
January	8	9	10	11	12	13	14
Time:	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
00:00 - 01:00	21.1 °C ●	22.9 °C ●	22.2 °C ●	23.2 °C ●	22.9 °C ●	21.0 °C ●	20.1 °C ●
01:00 - 02:00	21.2 °C ●	22.9 °C ●	22.2 °C ●	23.2 °C ●	23.0 °C ●	20.9 °C ●	20.1 °C ●
02:00 - 03:00	21.2 °C ●	22.9 °C ●	22.1 °C ●	23.2 °C ●	23.0 °C ●	20.8 °C ●	20.1 °C ●
03:00 - 04:00	21.2 °C ●	22.9 °C ●	22.1 °C ●	23.2 °C ●	23.0 °C ●	20.8 °C ●	20.1 °C ●
04:00 - 05:00	21.1 °C ●	22.9 °C ●	22.1 °C ●	23.2 °C ●	23.0 °C ●	20.7 °C ●	20.1 °C ●
05:00 - 06:00	21.1 °C ●	22.9 °C ●	22.0 °C ●	23.3 °C ●	23.1 °C ●	20.7 °C ●	20.1 °C ●
06:00 - 07:00	21.0 °C ●	22.7 °C ●	21.8 °C ●	23.2 °C ●	23.0 °C ●	20.6 °C ●	20.1 °C ●
07:00 - 08:00	21.4 °C ●	22.5 °C ●	22.0 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●	20.6 °C ●	20.0 °C ●
08:00 - 09:00	21.4 °C ●	22.7 °C ●	22.2 °C ●	22.9 °C ●	23.1 °C ●	20.6 °C ●	20.0 °C ●
09:00 - 10:00	21.6 °C ●	22.7 °C ●	22.4 °C ●	23.1 °C ●	23.3 °C ●	20.5 °C ●	20.0 °C ●
10:00 - 11:00	21.7 °C ●	22.4 °C ●	22.7 °C ●	23.3 °C ●	23.6 °C ●	20.5 °C ●	20.0 °C ●
11:00 - 12:00	22.0 °C ●	22.9 °C ●	22.7 °C ●	23.3 °C ●	23.5 °C ●	20.4 °C ●	19.9 °C ●
12:00 - 13:00	21.9 °C ●	22.9 °C ●	22.5 °C ●	22.8 °C ●	23.0 °C ●	20.4 °C ●	20.0 °C ●
13:00 - 14:00	21.9 °C ●	22.8 °C ●	22.7 °C ●	22.6 °C ●	22.6 °C ●	20.4 °C ●	20.0 °C ●
14:00 - 15:00	22.1 °C ●	22.8 °C ●	22.9 °C ●	22.8 °C ●	22.8 °C ●	20.4 °C ●	19.9 °C ●
15:00 - 16:00	22.3 °C ●	22.4 °C ●	22.8 °C ●	23.1 °C ●	22.6 °C ●	20.3 °C ●	19.9 °C ●
16:00 - 17:00	22.5 °C ●	22.5 °C ●	22.8 °C ●	22.8 °C ●	22.1 °C ●	20.3 °C ●	19.9 °C ●
17:00 - 18:00	22.7 °C ●	22.5 °C ●	23.0 °C ●	22.9 °C ●	21.9 °C ●	20.3 °C ●	19.9 °C ●
18:00 - 19:00	22.8 °C ●	22.6 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●	21.6 °C ●	20.2 °C ●	19.9 °C ●
19:00 - 20:00	22.8 °C ●	22.5 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●	21.5 °C ●	20.2 °C ●	19.9 °C ●
20:00 - 21:00	22.8 °C ●	22.4 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●	21.4 °C ●	20.2 °C ●	19.9 °C ●
21:00 - 22:00	22.8 °C ●	22.3 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●	21.3 °C ●	20.2 °C ●	19.9 °C ●
22:00 - 23:00	22.8 °C ●	22.3 °C ●	23.2 °C ●	23.0 °C ●	21.2 °C ●	20.1 °C ●	19.9 °C ●
23:00 - 24:00	22.9 °C ●	22.3 °C ●	23.2 °C ●	22.9 °C ●	21.1 °C ●	20.2 °C ●	19.9 °C ●

Distribution (100%): ● 0 % Bad ● 0 % Less good ● 42 % Good ● 43 % Less good ● 15 % Bad

Inoor Climate Classes >>>

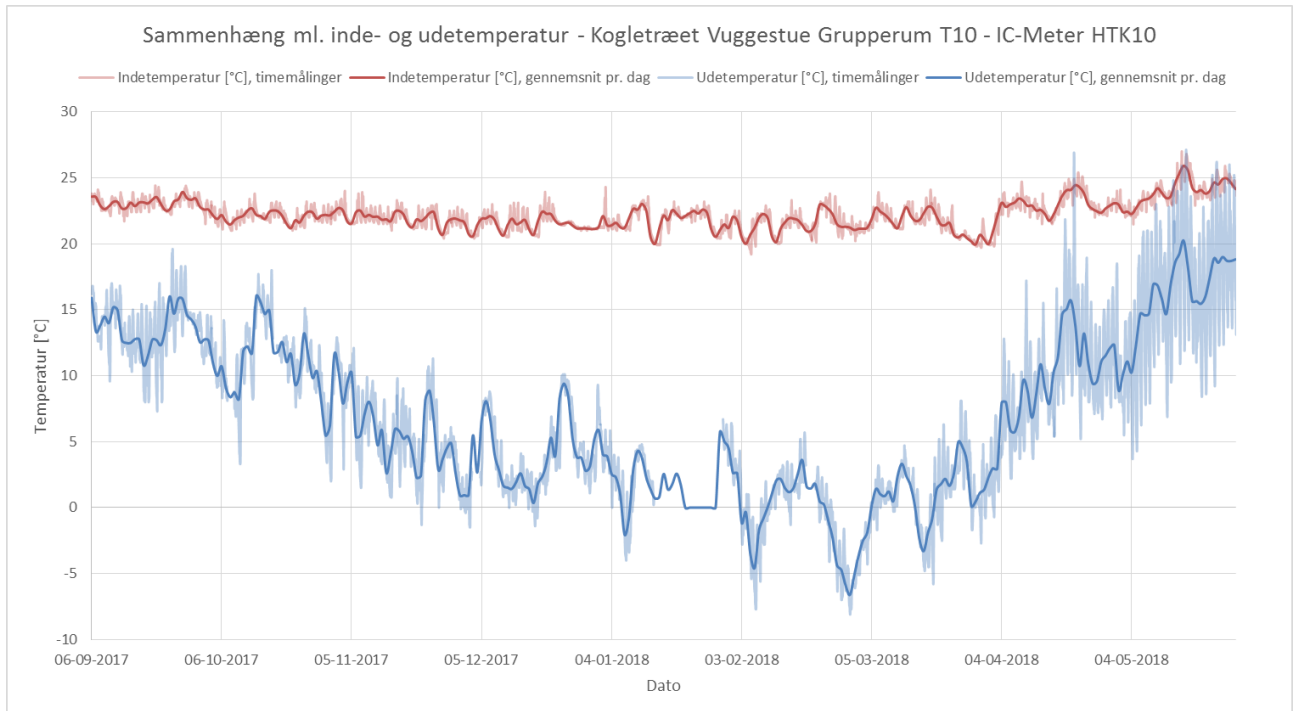
Figur 91. Data for indetemperatur målt i Grupperum 10 (IC-Meter HTK10) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 08/01 til d. 14/01-2018

Fra IC-Meters visualiseringstjeneste er det muligt at få indetemperaturen visualiseret på grafer, men kun på dagbasis, som vist i Figur 92, hvor temperaturen inde i Grupperum 10 er vist for d. 11/01-2018. Det er ikke muligt at få vist både inde- og udetemperatur på samme graf.



Figur 92. Data for indetemperatur målt i Grupperum 10 (IC-Meter HTK10) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist med graf for én dag, d. 11/01-2018

Ved at eksportere rådata fra IC-Meter cloud-tjeneste er det muligt at lave en graf over sammenhængen mellem inde- og udetemperaturen, som det er vist i Figur 93. Indetemperaturene er vist med rød, og udetemperaturene er med blå, for hver dag i måleperioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018. Graferne viser både temperaturer time for time samt dagsgennemsnit for hver dag i perioden.



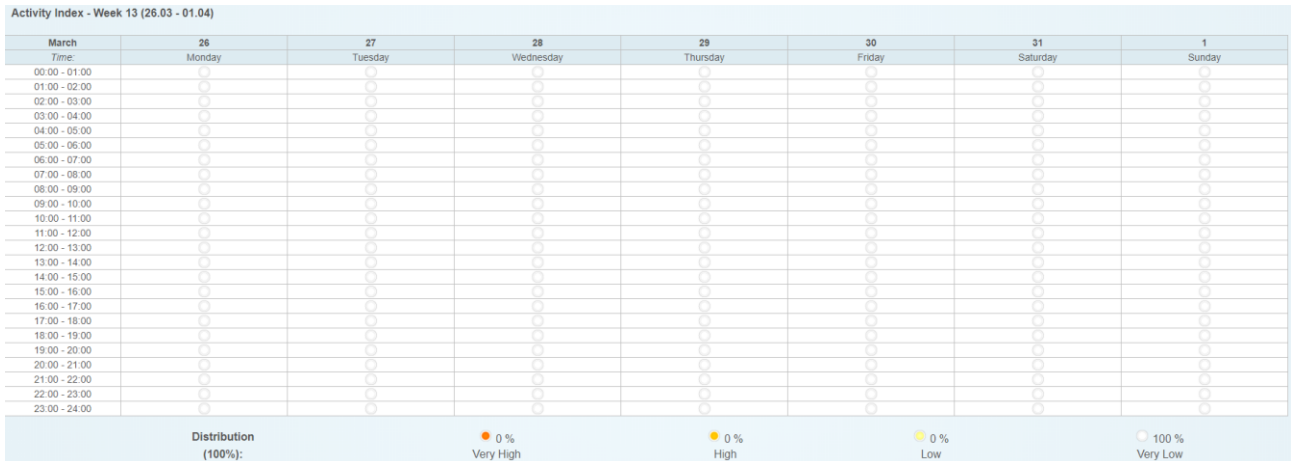
Figur 93. Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] i Grupperum T10 (IC-Meter HTK10) i perioden d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

Indetemperaturmålingerne på Figur 93 svinger mellem 19,2 °C og 27 °C over den målte periode, mens udetemperaturerne svinger mellem -8,1 °C og 27,1 °C. Den gennemsnitlige temperatur i hele måleperioden er beregnet til 22,2 °C, der er en normal indetemperatur

Indetemperaturen i Grupperummet T10 er ikke påvirket af udetemperaturen, da den laveste registrerede indetemperatur ikke optræder samtidig med den laveste registrerede udetemperatur.

I den sidste uge af marts ser indetemperaturen særlig lav ud, selvom udetemperaturen ikke er den laveste målte i perioden. Forklaringen kan ses på Figur 94, hvor aktivitet-indeks er vist for ugen fra d. 26/03-2018 til d. 01/04-2018. Det er muligt at se, at der ikke var aktiviteter inde i rummet, og derfor var varmebelastningen lav. Vuggestuen var måske lukket, da det var påske, og rumvarmesætpunktet var måske reduceret.

Den gennemsnitlige dagtemperatur inde og ude viser en tendens til at rumtemperaturen påvirkes af udetemperaturen i den sidste del af måleperioden. Især fra april måned ser indetemperaturen lidt højere ud, da udetemperaturen startede med at blive højere. Dette kan skyldes, at det er ved at være sommer og der udluftes mere.



Figur 94. Data for aktivitet-indeks i Grupperum 10 (IC-Meter HTK10) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 26/03 til d. 01/04-2018

Målingerne af CO<sub>2</sub>-niveau benyttes for at analysere indeklimaet og luftkvaliteten i Grupperum T10. IC-Meter visualiseringstjeneste giver mulighed for at få vist data over CO<sub>2</sub>-niveauet på en graf, men kun for én dag, ellers kan det vises i tabel for en længere periode. På Figur 95 vises CO<sub>2</sub>-niveauet på årsbasis fra september 2017 til maj 2018. Det giver en god oversigt over det gennemsnitlige niveauet og procent af de forskellige intervaller. Imidlertid på Figur 95. kan det være lidt svært at få en fokus over detaljerne, og som vist i Figur 96 kan det være interessant at få CO<sub>2</sub>-niveauet visualiseret på en graf.

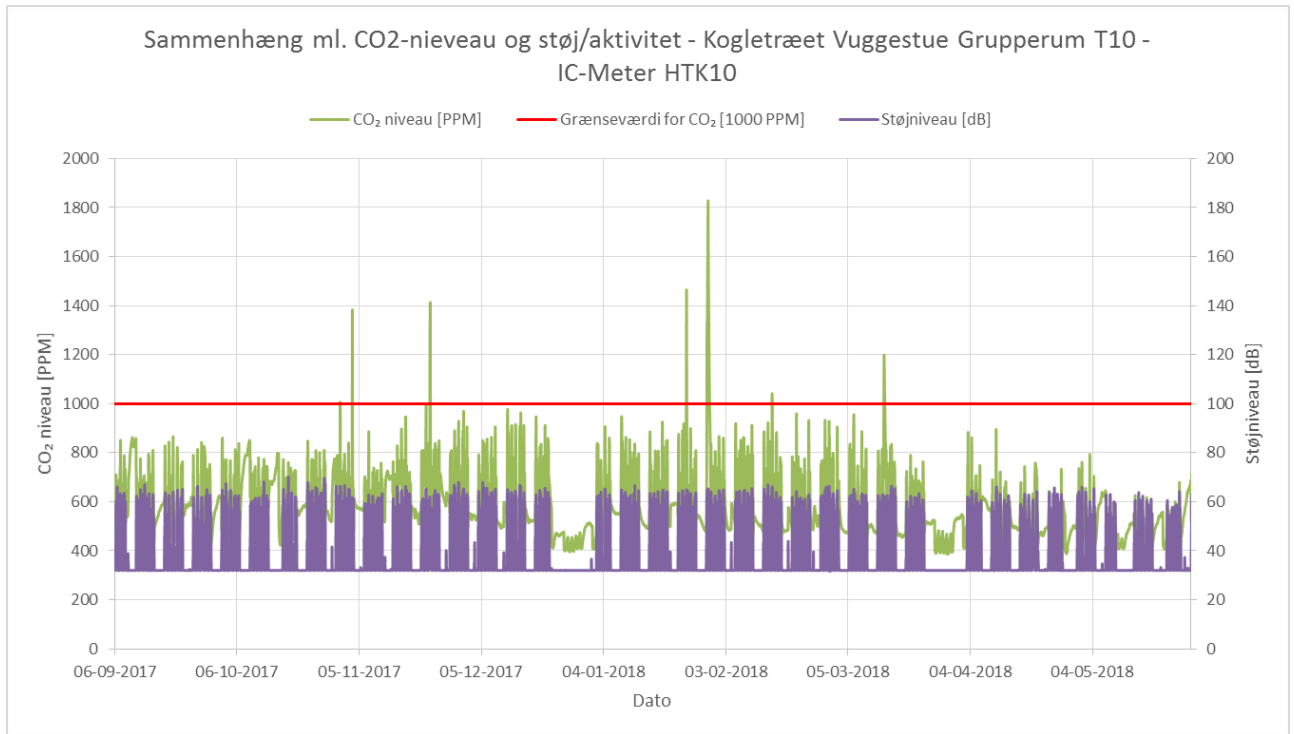
Year/Month	Avg. CO <sub>2</sub>	Good	Less good	Bad
2018	553	96%	4%	1%
May	498	100%	0%	0%
April	528	99%	1%	0%
March	539	95%	4%	1%
February	589	93%	6%	1%
January	614	91%	7%	2%
2017	577	96%	4%	0%
December	560	94%	6%	0%
November	648	93%	6%	1%
October	626	95%	5%	0%
September	591	92%	8%	0%

Figur 95. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau i Grupperum T10 (IC-Meter HTK10) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel i årsbasis, fra september 2017 til maj 2018

Figur 96. viser CO<sub>2</sub>-niveauet og støjniveauet i Grupperummet T10 på samme graf for hele måleperioden. CO<sub>2</sub>-niveauet er vist med grøn, og grafen viser målinger time for time, mens støjniveauets graf er vist med lilla. CO<sub>2</sub>-niveauet ser meget godt ud over hele måleperioden, da der kun er få dage, hvor det er højere end grænseværdien. Støjniveauet er stabilt, og der viser ikke nævneværdige variationer i løbet af hverdagen, når aktiviteter er forventet fra kl. 07:00 til kl. 17:00.

Figur 96 viser, som i april måned og maj måned, at CO<sub>2</sub>-niveauet er lavere end de tidligere måneder.

Dette kan forklares med en højere udetemperatur, fra begyndelsen af april måned. Det betyder, at personer starter med at åbne vinduerne, og rummet er over ventileret. Det er derfor muligt at reducere ventilationen, da indeklimaet er godt.



Figur 96. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum T10 (IC-Meter HTK10) i perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

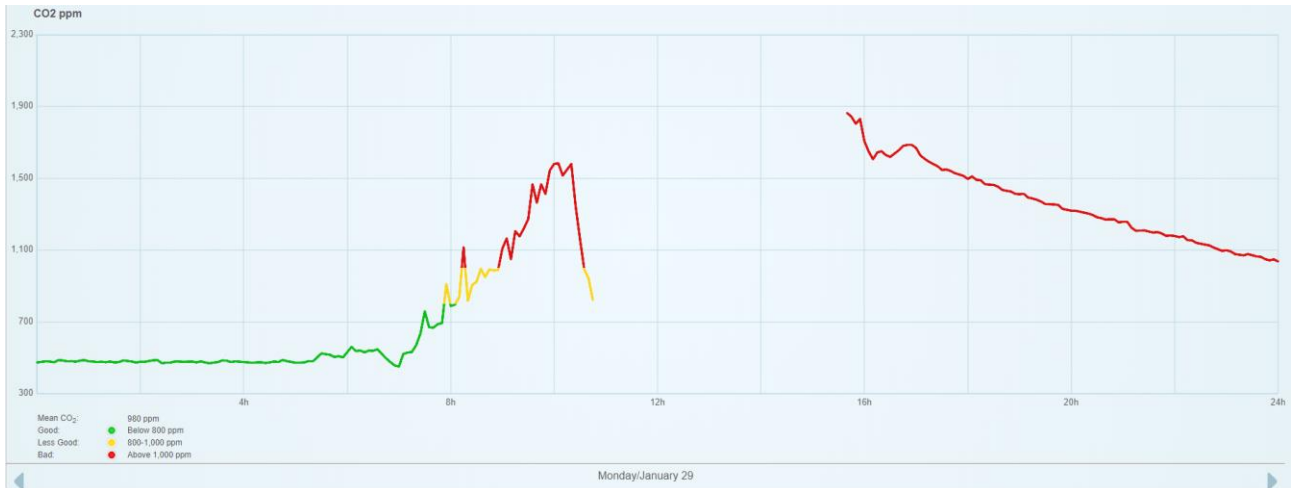
Figur 97 viser CO<sub>2</sub>-niveauet i tabelform for ugen, hvor den højeste værdi blev målt. På IC-Meter visualiseringstjeneste kunne det være lidt kompliceret at finde den præcise uge, da det kun er muligt at få visualiseret en uge ad gangen i tabelform. På samme måde kan det være muligt at få CO<sub>2</sub>-niveauets graf for kun én dag ad gangen, som vist i Figur 98.

CO2 ppm - Week 5 (29.01 - 04.02)							
January	29	30	31	1	2	3	4
Time	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
00.00 - 01.00	481 ppm ●	1,016 ppm ●	607 ppm ●	575 ppm ●	562 ppm ●	540 ppm ●	486 ppm ●
01.00 - 02.00	478 ppm ●	960 ppm ●	595 ppm ●	577 ppm ●	563 ppm ●	533 ppm ●	485 ppm ●
02.00 - 03.00	478 ppm ●	919 ppm ●	588 ppm ●	579 ppm ●	565 ppm ●	527 ppm ●	487 ppm ●
03.00 - 04.00	477 ppm ●	869 ppm ●	578 ppm ●	579 ppm ●	567 ppm ●	523 ppm ●	486 ppm ●
04.00 - 05.00	476 ppm ●	835 ppm ●	569 ppm ●	579 ppm ●	566 ppm ●	518 ppm ●	490 ppm ●
05.00 - 06.00	501 ppm ●	837 ppm ●	580 ppm ●	584 ppm ●	566 ppm ●	514 ppm ●	488 ppm ●
06.00 - 07.00	514 ppm ●	718 ppm ●	591 ppm ●	555 ppm ●	546 ppm ●	508 ppm ●	487 ppm ●
07.00 - 08.00	664 ppm ●	638 ppm ●	641 ppm ●	641 ppm ●	622 ppm ●	504 ppm ●	495 ppm ●
08.00 - 09.00	952 ppm ●	833 ppm ●	742 ppm ●	866 ppm ●	553 ppm ●	504 ppm ●	541 ppm ●
09.00 - 10.00	1,328 ppm ●	766 ppm ●	806 ppm ●	749 ppm ●	653 ppm ●	500 ppm ●	593 ppm ●
10.00 - 11.00	1,272 ppm ●	738 ppm ●	792 ppm ●	788 ppm ●	795 ppm ●	496 ppm ●	589 ppm ●
11.00 - 12.00		634 ppm ●	611 ppm ●	740 ppm ●	699 ppm ●	493 ppm ●	586 ppm ●
12.00 - 13.00		466 ppm ●	473 ppm ●	458 ppm ●	441 ppm ●	493 ppm ●	581 ppm ●
13.00 - 14.00		439 ppm ●	436 ppm ●	413 ppm ●	433 ppm ●	491 ppm ●	575 ppm ●
14.00 - 15.00		702 ppm ●	595 ppm ●	637 ppm ●	682 ppm ●	489 ppm ●	569 ppm ●
15.00 - 16.00	1,815 ppm ●	705 ppm ●	738 ppm ●	723 ppm ●	595 ppm ●	486 ppm ●	568 ppm ●
16.00 - 17.00	1,652 ppm ●	746 ppm ●	511 ppm ●	549 ppm ●	497 ppm ●	486 ppm ●	565 ppm ●
17.00 - 18.00	1,559 ppm ●	703 ppm ●	522 ppm ●	549 ppm ●	621 ppm ●	485 ppm ●	560 ppm ●
18.00 - 19.00	1,456 ppm ●	686 ppm ●	536 ppm ●	553 ppm ●	613 ppm ●	488 ppm ●	556 ppm ●
19.00 - 20.00	1,365 ppm ●	671 ppm ●	549 ppm ●	554 ppm ●	593 ppm ●	483 ppm ●	552 ppm ●
20.00 - 21.00	1,287 ppm ●	657 ppm ●	559 ppm ●	556 ppm ●	576 ppm ●	485 ppm ●	551 ppm ●
21.00 - 22.00	1,206 ppm ●	639 ppm ●	563 ppm ●	556 ppm ●	563 ppm ●	486 ppm ●	546 ppm ●
22.00 - 23.00	1,135 ppm ●	630 ppm ●	566 ppm ●	561 ppm ●	555 ppm ●	486 ppm ●	540 ppm ●
23.00 - 24.00	1,066 ppm ●	618 ppm ●	574 ppm ●	560 ppm ●	547 ppm ●	484 ppm ●	538 ppm ●

Distribution (100%): ● 85 % Good ● 8 % Less good ● 7 % Bad

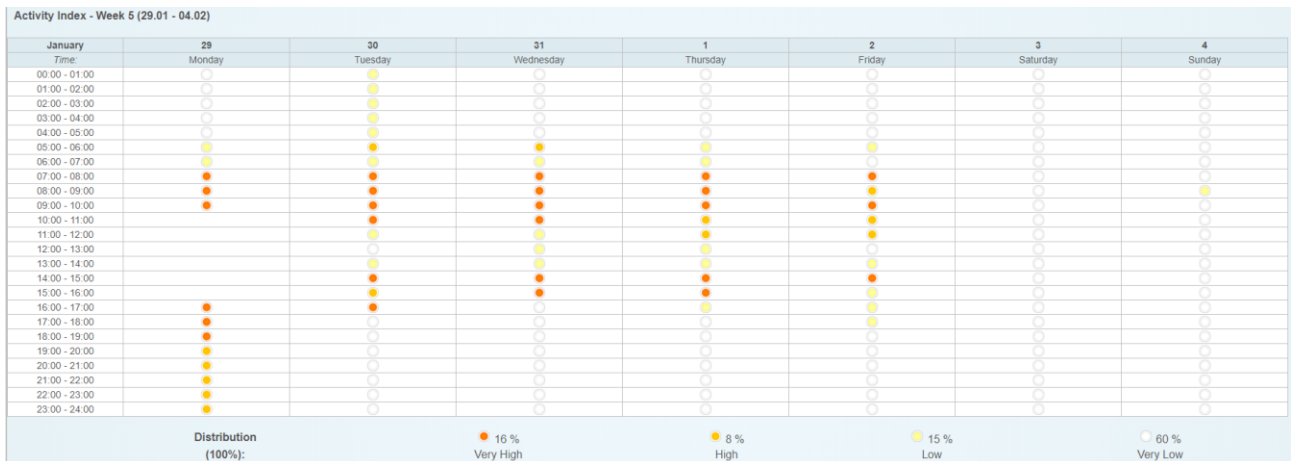
Indoor Climate Classes >>>

Figur 97. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau i Grupperum T10 (IC-Meter HTK10) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 29/01 til d. 04/02-2018



Figur 98. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau i Grupperum T10 (IC-Meter HTK10) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist med graf for én dag, d. 29/01-2018

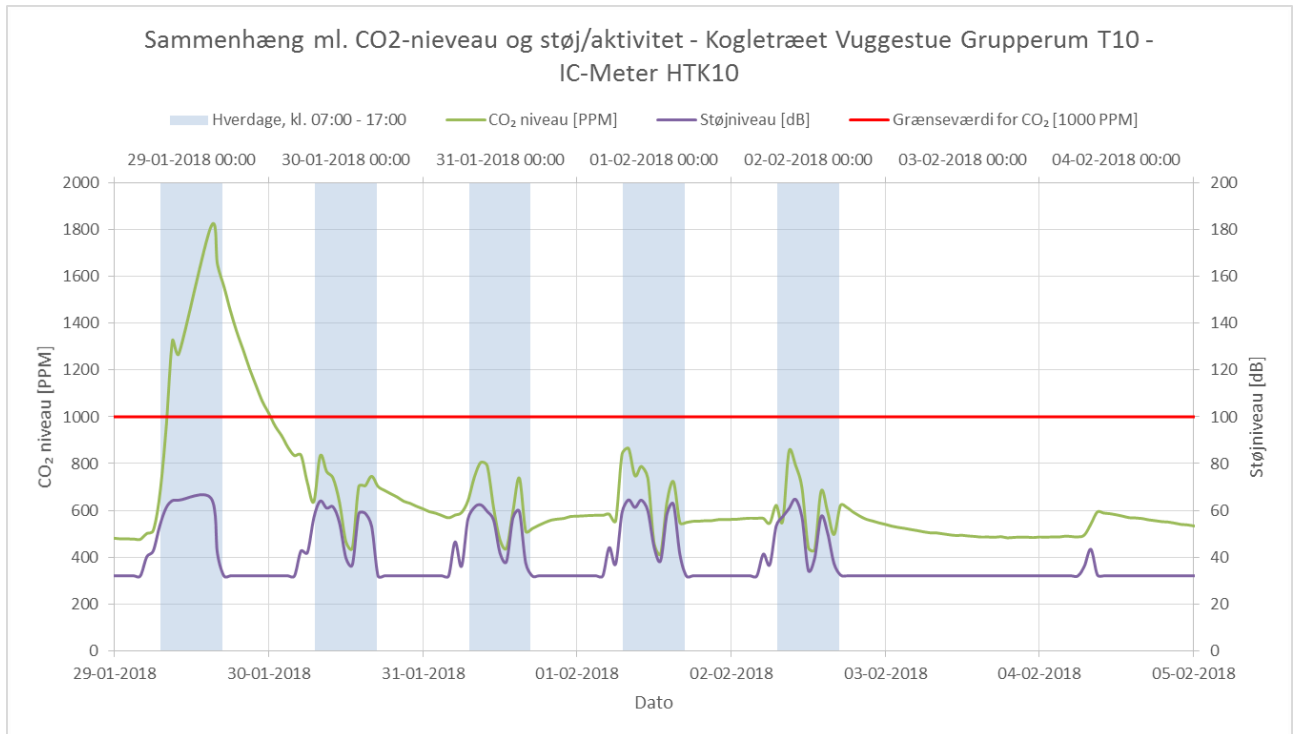
Figur 98 viser CO<sub>2</sub>-niveauet for d. 29/01-2018, da det højeste niveau var målt til omkring 1815 PPM. Det viser, at der også var aktivitet i løbet af natten, som det er også vist på Figur 99, hvor aktivitet-indeks er vist. Imidlertid ses på Figur 97, Figur 98 og Figur 99, at der var en fejl på målingerne, da det mangler dataene for perioden mellem kl. 11:00 til kl. 15:00.



Figur 99. Data for aktivitet-indeks i Grupperum T10 (IC-Meter HTK10) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 29/01 til d. 04/02-2018

CO<sub>2</sub>-niveauet over måleperioden ser generel godt ud mellem kl. 07:00 og 17:00, og selvom der blev målt et højt niveau om mandagen, blev det gennemsnitlige niveau beregnet til 693 PPM.





Figur 100. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum T10 (IC-Meter HTK10) for en uge fra d. 29/01 til d. 05/02-2018

### 11.4.3 Grupperum T27 – IC-Meter HTK131

Indeklimaet er også analyseret i Grupperummet T27, hvor IC-Meter HTK131 var placeret. Figur 101 viser indetemperaturen i tabelform på årsbasis fra IC-Meters visualiseringstjeneste fra september 2017 til maj 2018. Det ses, at i januar måned er indetemperaturen høj for en stor procentdel af tiden, mens temperaturen er inden for "Good" interval kun for 11 % af tiden. Oversigten vist på Figur 101 kan hjælpe med at identificere problemer med indetemperaturen og få et overblik over den gennemsnitlige temperatur. På Figur 102 er det muligt at se indetemperaturen for en uge i januar måned fra d. 16/01-2018 til d. 21/01-2018. Grafen viser en høj temperatur både i løbet af hverdage og weekenden. Grafen for indetemperaturen kan kun vises på IC-Meters visualiseringstjeneste for én dag, som vist på Figur 103. Da indetemperaturen er for høj, er det måske muligt at sætte et lavere sætpunkt. Det kan forbedre indeklimaet og reducere energiforbruget.

Temperature °C						
Year/Month	Avg. temp.	Bad	Less good	Good	Less good	Bad
2018	22.7	0%	3%	64%	20%	13%
May	23.7	0%	0%	82%	9%	9%
April	22.4	0%	2%	96%	1%	0%
March	22.2	0%	10%	85%	3%	1%
February	22.0	0%	0%	47%	50%	3%
January	23.0	0%	0%	11%	35%	55%
2017	23.0	1%	6%	79%	11%	4%
December	22.6	0%	0%	22%	51%	28%
November	22.4	0%	0%	100%	0%	0%
October	21.8	2%	15%	83%	0%	0%
September	22.6	0%	2%	97%	0%	0%

Figur 101. Data for indetemperatur målt i Grupperum T27 (IC-Meter HTK131) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel i årsbasis, fra september 2017 til maj 2018

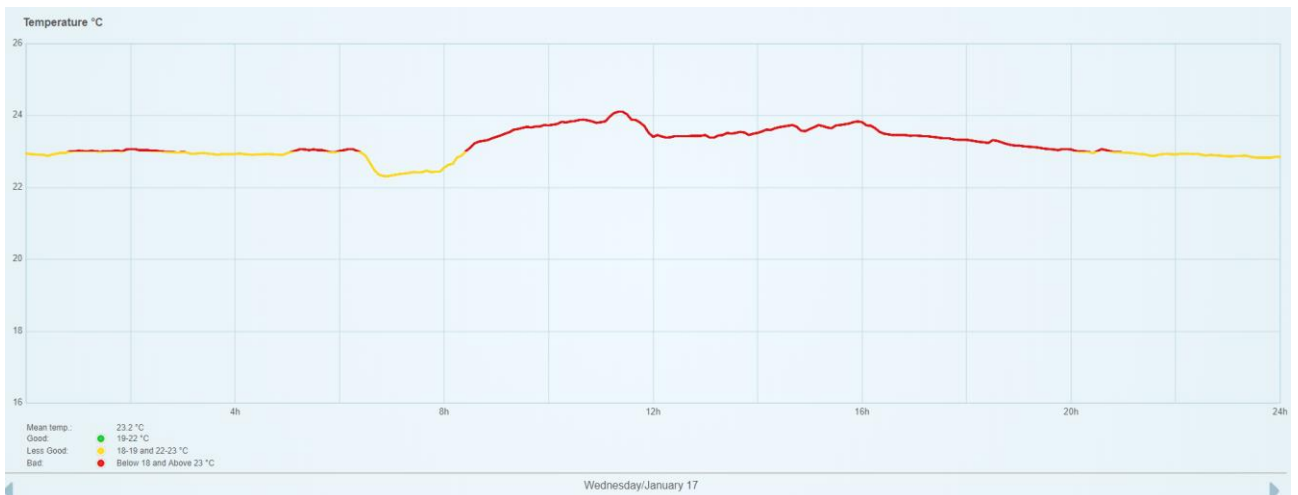
Temperature °C - Week 3 (15.01 - 21.01)

January	15	16	17	18	19	20	21
Time:	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
00:00 - 01:00	23.5 °C ●	23.0 °C ●	22.9 °C ●	22.8 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●
01:00 - 02:00	23.5 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●	22.8 °C ●	23.1 °C ●	23.0 °C ●	23.1 °C ●
02:00 - 03:00	23.5 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●	22.8 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●
03:00 - 04:00	23.5 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●	22.8 °C ●	23.1 °C ●	23.0 °C ●	23.1 °C ●
04:00 - 05:00	23.5 °C ●	23.0 °C ●	22.9 °C ●	22.8 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●	23.1 °C ●
05:00 - 06:00	23.5 °C ●	23.1 °C ●	23.0 °C ●	22.9 °C ●	23.1 °C ●	23.0 °C ●	23.2 °C ●
06:00 - 07:00	23.1 °C ●	22.8 °C ●	22.7 °C ●	22.7 °C ●	22.9 °C ●	23.0 °C ●	23.1 °C ●
07:00 - 08:00	22.8 °C ●	22.5 °C ●	22.4 °C ●	22.4 °C ●	22.5 °C ●	22.9 °C ●	23.1 °C ●
08:00 - 09:00	23.5 °C ●	22.3 °C ●	23.1 °C ●	22.3 °C ●	22.7 °C ●	22.9 °C ●	23.1 °C ●
09:00 - 10:00	24.1 °C ●	22.7 °C ●	23.6 °C ●	22.8 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●	23.1 °C ●
10:00 - 11:00	23.9 °C ●	22.8 °C ●	23.8 °C ●	23.1 °C ●	23.3 °C ●	23.0 °C ●	23.1 °C ●
11:00 - 12:00	24.1 °C ●	22.8 °C ●	23.9 °C ●	23.4 °C ●	23.5 °C ●	23.0 °C ●	23.1 °C ●
12:00 - 13:00	24.1 °C ●	22.6 °C ●	23.4 °C ●	23.1 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●	23.2 °C ●
13:00 - 14:00	23.8 °C ●	23.0 °C ●	23.5 °C ●	23.2 °C ●	22.9 °C ●	23.0 °C ●	23.3 °C ●
14:00 - 15:00	23.3 °C ●	23.4 °C ●	23.6 °C ●	23.7 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●	23.2 °C ●
15:00 - 16:00	23.3 °C ●	23.5 °C ●	23.7 °C ●	23.7 °C ●	22.6 °C ●	23.0 °C ●	23.1 °C ●
16:00 - 17:00	22.9 °C ●	23.0 °C ●	23.5 °C ●	23.0 °C ●	22.3 °C ●	22.9 °C ●	23.1 °C ●
17:00 - 18:00	23.2 °C ●	23.1 °C ●	23.4 °C ●	23.2 °C ●	22.8 °C ●	23.0 °C ●	23.2 °C ●
18:00 - 19:00	23.3 °C ●	23.1 °C ●	23.3 °C ●	23.2 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●	23.2 °C ●
19:00 - 20:00	23.2 °C ●	23.0 °C ●	23.1 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●	23.0 °C ●	23.2 °C ●
20:00 - 21:00	23.1 °C ●	22.9 °C ●	23.0 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●	22.9 °C ●	23.2 °C ●
21:00 - 22:00	23.1 °C ●	22.9 °C ●	22.9 °C ●	23.1 °C ●	22.9 °C ●	23.0 °C ●	23.2 °C ●
22:00 - 23:00	23.0 °C ●	22.9 °C ●	22.9 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●	23.0 °C ●	23.2 °C ●
23:00 - 24:00	23.0 °C ●	23.0 °C ●	22.9 °C ●	23.0 °C ●	22.9 °C ●	23.0 °C ●	23.2 °C ●

Distribution (100%): ● 0 % Bad ● 0 % Less good ● 0 % Good ● 44 % Less good ● 56 % Bad

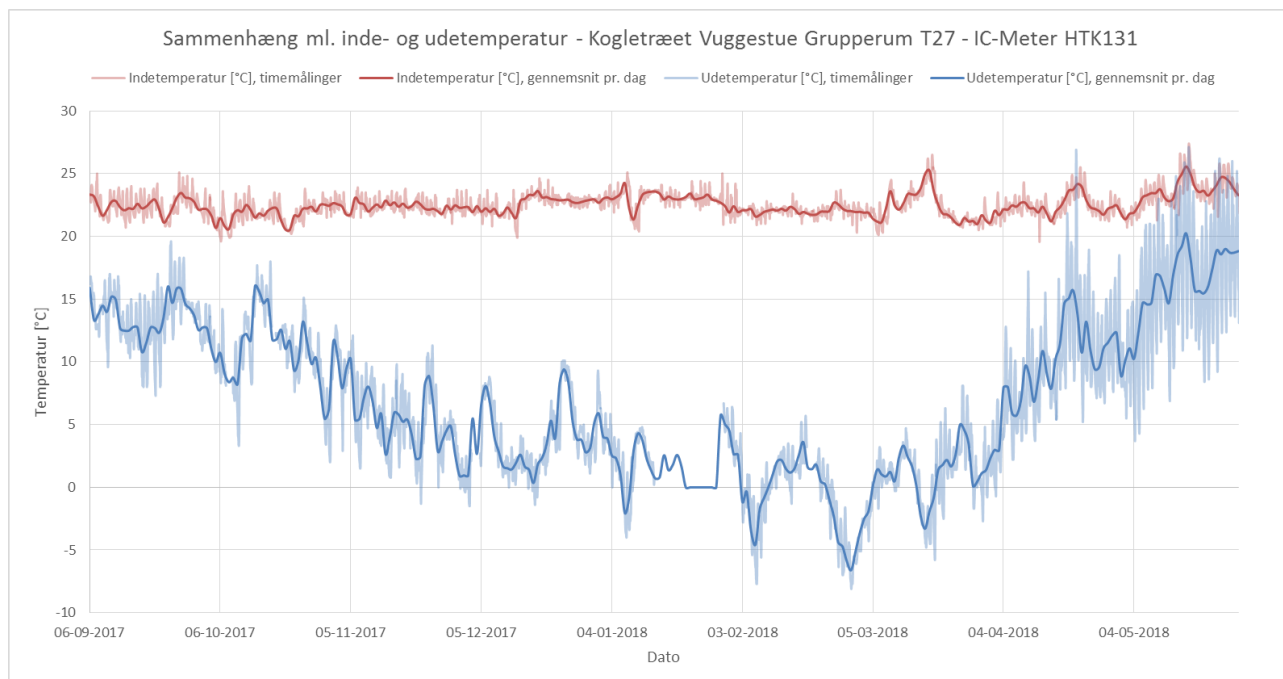
Indoor Climate Classes >>>

Figur 102. Data for indetemperatur målt i Grupperum T27 (IC-Meter HTK131) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 16/01 til d. 21/01-2018



Figur 103. Data for indetemperatur målt i Grupperum T27 (IC-Meter HTK131) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist med graf for én dag, d. 17/01-2018

Figur 104 viser sammenhæng mellem de målte inde- og udetemperaturer på Kogletræt Vuggestue i Høje Taastrup.



Figur 104. Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] i Grupperum T27 (IC-Meter HTK131) i perioden d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

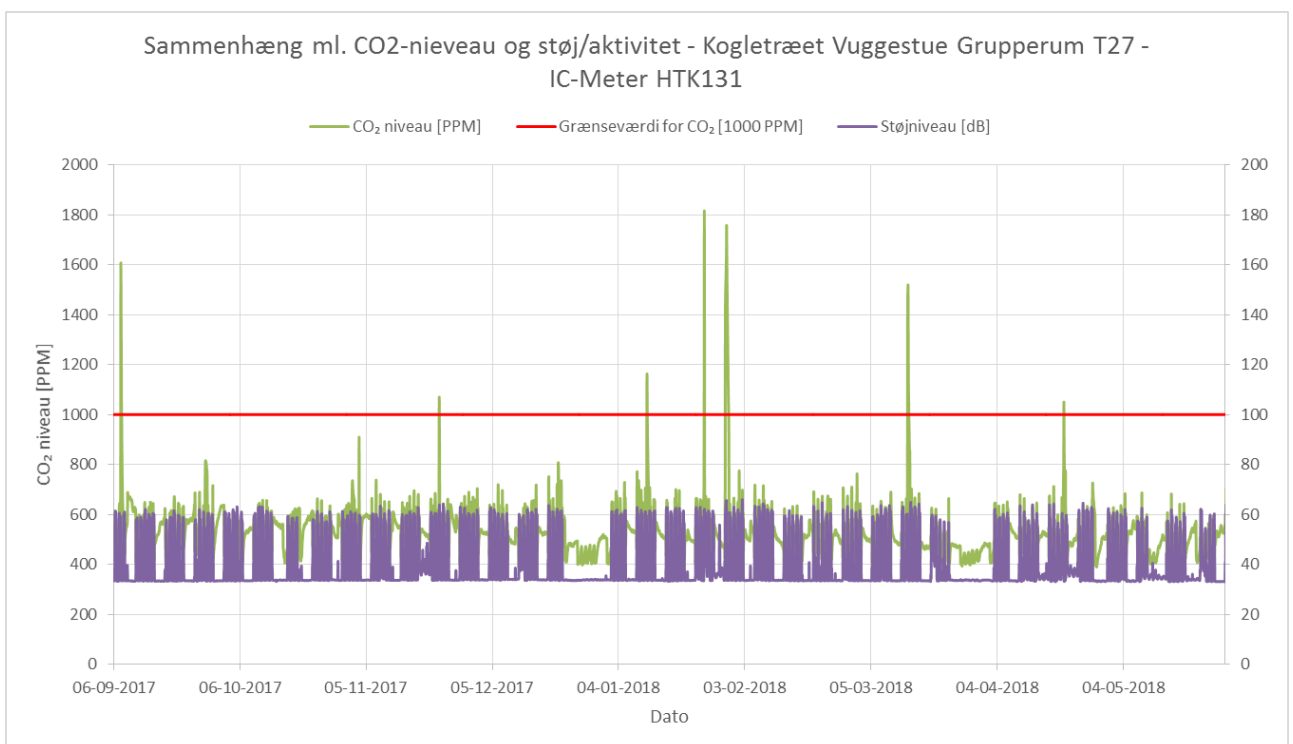
Figur 104 viser sammenhængen mellem inde- og udetemperaturen i Grupperum T27. Indetemperaturmålingerne er vist med rød og udetemperaturerne er vist med blå for hver dag i måleperioden (06/09-2017 til 28/05-2018). Graferne viser både temperatur time for time samt med dagsgennemsnit for hver dag i perioden.

Den tidligere analyse af IC-Meters visualiseringstjeneste viste en høj indetemperatur i januar måned, det kan også ses på Figur 104. Det viser, at indetemperaturen er høj også i løbet af december måned. Generelt svinger indetemperaturen i Grupperum T27 mellem 19,6 °C og 27,4 °C, mens udetemperaturen svinger mellem -8,1 °C og 27,1 °C. Den gennemsnitlige temperatur indendørs er 22,5 °C over den målte periode. Indetemperaturen er ikke særlig påvirket af udetemperaturen i løbet af vinteren, mens der ses en tendens i den sidste del af måleperioden, hvor indetemperaturen startede med at blive højere, da udetemperaturen begyndte at stige.

CO<sub>2</sub>-niveauet er også analyseret i Grupperum T27 i Kogletræet Vuggestue i Høje Taastrup kommune. Figur 105 viser CO<sub>2</sub>-niveauet for perioden fra september 2017 til maj 2018, og det ses, at CO<sub>2</sub>-niveauet i gennemsnit er relativt lavt. Figur 106 viser også, hvor rådata fra IC-Meter er brugt på samme graf til at vise CO<sub>2</sub>- og støjniveauet i Grupperummet T27 for perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018.

Year/Month	Avg. CO <sub>2</sub>	Good	Less good	Bad
2018	524	99%	1%	1%
May	490	100%	0%	0%
April	514	99%	0%	0%
March	511	98%	1%	1%
February	534	100%	0%	0%
January	571	96%	1%	3%
2017	539	99%	0%	0%
December	522	100%	0%	0%
November	572	99%	0%	0%
October	548	100%	0%	0%
September	558	98%	1%	1%

Figur 105. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau i Grupperum T27 (IC-Meter HTK131) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel i årsbasis, fra september 2017 til maj 2018



Figur 106. Figur 16. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum T27 (IC-Meter HTK131) i perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

På Figur 106 er CO<sub>2</sub>-niveauet vist med grøn, mens støjniveauets graf er vist med lilla, og grafen viser målinger time for time. Grænselværdien for CO<sub>2</sub>-niveauet som er sat på 1000 PPM er markeret med rødt. CO<sub>2</sub>-niveauet grafen viser et lavt niveau i løbet af hverdagene, hvor det er forventet, at der er aktiviteter i rummet. Dette er også bekræftet af målinger på støjniveauet, der også indikerer aktiviteter i rummet. I måleperioden svinger CO<sub>2</sub>-niveauet mellem 384 PPM og 1800 PPM. Graferne på Figur 106 hjælper med at give en oversigt over de højeste værdier, og at forstå hvornår der er problemer med højt CO<sub>2</sub>-niveau, da det kan være kompliceret at få en god oversigt i tabelform på IC-Meters visualiseringstjeneste.

Figur 107 viser CO<sub>2</sub>-niveauet i tabelform ugen d. 29/01-2018 til d. 04/02-2018 i Grupperummet T27, hvor CO<sub>2</sub>-niveauet var højt, hvilket der også var i Grupperum T10. Det ses, at CO<sub>2</sub>-niveauet nåede en høj værdi om mandagen omkring kl. 17:00, og bagefter falder CO<sub>2</sub>-niveauet. På Figur

108 viser aktivitet-indekset i Grupperummet T27 for samme uge. Det viser høj aktivitet om mandagen i løbet af natten, selvom CO<sub>2</sub>-niveauet falder.

CO2 ppm - Week 5 (29.01 - 04.02)

January	29	30	31	1	2	3	4
Time	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
00.00 - 01.00	470 ppm ●	1,195 ppm ●	537 ppm ●	538 ppm ●	520 ppm ●	539 ppm ●	499 ppm ●
01.00 - 02.00	468 ppm ●	1,135 ppm ●	542 ppm ●	541 ppm ●	517 ppm ●	539 ppm ●	495 ppm ●
02.00 - 03.00	470 ppm ●	1,087 ppm ●	538 ppm ●	543 ppm ●	512 ppm ●	540 ppm ●	499 ppm ●
03.00 - 04.00	469 ppm ●	1,041 ppm ●	534 ppm ●	540 ppm ●	508 ppm ●	534 ppm ●	498 ppm ●
04.00 - 05.00	470 ppm ●	996 ppm ●	539 ppm ●	536 ppm ●	504 ppm ●	527 ppm ●	499 ppm ●
05.00 - 06.00	485 ppm ●	954 ppm ●	532 ppm ●	525 ppm ●	504 ppm ●	529 ppm ●	493 ppm ●
06.00 - 07.00	473 ppm ●	719 ppm ●	506 ppm ●	494 ppm ●	476 ppm ●	529 ppm ●	499 ppm ●
07.00 - 08.00	428 ppm ●	435 ppm ●	432 ppm ●	413 ppm ●	428 ppm ●	521 ppm ●	505 ppm ●
08.00 - 09.00	590 ppm ●	442 ppm ●	499 ppm ●	560 ppm ●	534 ppm ●	519 ppm ●	540 ppm ●
09.00 - 10.00	1,392 ppm ●	615 ppm ●	662 ppm ●	643 ppm ●	631 ppm ●	514 ppm ●	569 ppm ●
10.00 - 11.00	1,464 ppm ●	644 ppm ●	666 ppm ●	650 ppm ●	698 ppm ●	516 ppm ●	574 ppm ●
11.00 - 12.00		619 ppm ●	532 ppm ●	555 ppm ●	611 ppm ●	507 ppm ●	567 ppm ●
12.00 - 13.00		526 ppm ●	503 ppm ●	433 ppm ●	494 ppm ●	512 ppm ●	558 ppm ●
13.00 - 14.00		605 ppm ●	604 ppm ●	491 ppm ●	579 ppm ●	502 ppm ●	561 ppm ●
14.00 - 15.00		608 ppm ●	609 ppm ●	592 ppm ●	603 ppm ●	506 ppm ●	553 ppm ●
15.00 - 16.00	1,642 ppm ●	583 ppm ●	584 ppm ●	630 ppm ●	605 ppm ●	502 ppm ●	552 ppm ●
16.00 - 17.00	1,757 ppm ●	465 ppm ●	441 ppm ●	775 ppm ●	455 ppm ●	501 ppm ●	580 ppm ●
17.00 - 18.00	1,652 ppm ●	482 ppm ●	469 ppm ●	586 ppm ●	477 ppm ●	505 ppm ●	543 ppm ●
18.00 - 19.00	1,586 ppm ●	501 ppm ●	496 ppm ●	571 ppm ●	498 ppm ●	500 ppm ●	539 ppm ●
19.00 - 20.00	1,505 ppm ●	514 ppm ●	510 ppm ●	560 ppm ●	521 ppm ●	500 ppm ●	542 ppm ●
20.00 - 21.00	1,432 ppm ●	530 ppm ●	519 ppm ●	555 ppm ●	529 ppm ●	499 ppm ●	541 ppm ●
21.00 - 22.00	1,373 ppm ●	528 ppm ●	531 ppm ●	541 ppm ●	539 ppm ●	503 ppm ●	536 ppm ●
22.00 - 23.00	1,310 ppm ●	537 ppm ●	530 ppm ●	528 ppm ●	541 ppm ●	499 ppm ●	535 ppm ●
23.00 - 24.00	1,247 ppm ●	538 ppm ●	534 ppm ●	523 ppm ●	537 ppm ●	498 ppm ●	530 ppm ●

Distribution (100%): ● 89 % Good ● 2 % Less good ● 9 % Bad

Figur 107. Data for indendørs CO<sub>2</sub>-niveau i Grupperum T27 (IC-Meter HTK131) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 29/01 til d. 04/02-2018

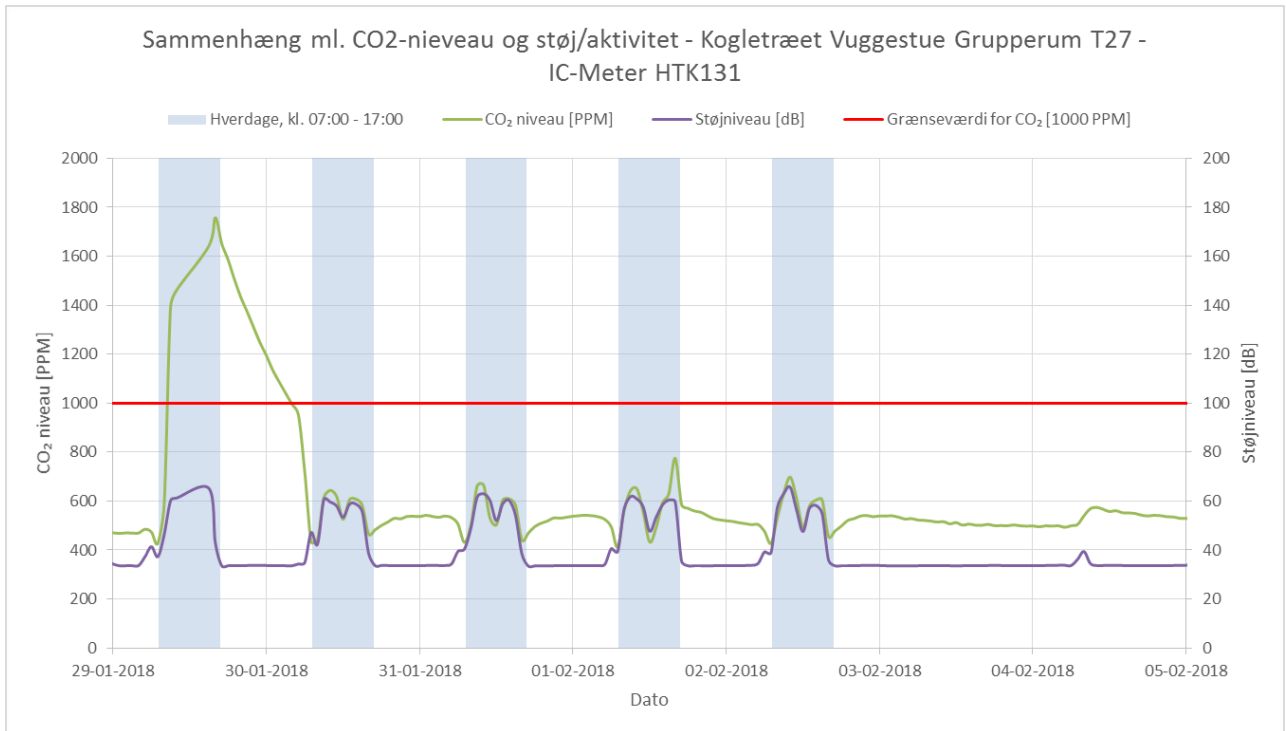
Activity Index - Week 5 (29.01 - 04.02)

January	29	30	31	1	2	3	4
Time	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
00.00 - 01.00	○	○	○	○	○	○	○
01.00 - 02.00	○	○	○	○	○	○	○
02.00 - 03.00	○	○	○	○	○	○	○
03.00 - 04.00	○	○	○	○	○	○	○
04.00 - 05.00	○	○	○	○	○	○	○
05.00 - 06.00	○	○	○	○	○	○	○
06.00 - 07.00	○	○	○	○	○	○	○
07.00 - 08.00	○	○	○	○	○	○	○
08.00 - 09.00	○	○	○	○	○	○	○
09.00 - 10.00	○	○	○	○	○	○	○
10.00 - 11.00	○	○	○	○	○	○	○
11.00 - 12.00	○	○	○	○	○	○	○
12.00 - 13.00	○	○	○	○	○	○	○
13.00 - 14.00	○	○	○	○	○	○	○
14.00 - 15.00	○	○	○	○	○	○	○
15.00 - 16.00	○	○	○	○	○	○	○
16.00 - 17.00	○	○	○	○	○	○	○
17.00 - 18.00	○	○	○	○	○	○	○
18.00 - 19.00	○	○	○	○	○	○	○
19.00 - 20.00	○	○	○	○	○	○	○
20.00 - 21.00	○	○	○	○	○	○	○
21.00 - 22.00	○	○	○	○	○	○	○
22.00 - 23.00	○	○	○	○	○	○	○
23.00 - 24.00	○	○	○	○	○	○	○

Distribution (100%): ○ 21 % Very High ○ 6 % High ○ 8 % Low ○ 65 % Very Low

Figur 108. Data for aktivitet-indeks i Grupperum T27 (IC-Meter HTK131) trukket ud af IC-Meters visualiseringstjeneste vist i tabel for en uge, d. 29/01 til d. 04/02-2018

Figur 109 viser sammenhængen mellem CO<sub>2</sub>-niveauet og støjniveauet i Grupperum T27 for ugen fra d. 29/01-2018 til d. 04/02-2018. Som det er forventet fra analysen af IC-Meters visualiseringstjeneste, ses CO<sub>2</sub>-niveauet over grænseværdien om mandagen.



Figur 109. CO<sub>2</sub>-niveau [PPM] på timebasis sammenholdt med støjniveau [dB] i Grupperum T27 (IC-Meter HTK131) for en uge fra d. 29/01 til d. 05/02-2018

Figur 109 viser, at støjniveauet falder efter kl. 17:00, hvilket er forventet, da der ikke er aktiviteter i rummet. Derfor kan der være et problem med aktivitetsindeksberegningen, da denne viser aktiviteter i løbet af natten mellem mandagen og tirsdagen, som vist på Figur 108, hvilket ikke virker sandsynligt

<b>Konklusioner på indeklimamålinger</b>
Temperaturer er tilfredsstillende i måleperioden
CO <sub>2</sub> - niveauet er tilfredsstillende
Rumtemperaturen påvirkes ikke af udetemperaturen, hvilket tyder på at klimaskærmen og utæthed af samme er på et acceptabelt niveau.
<b>Anbefalinger til videre forløb</b>
Mål temperaturer over et helt for at afklare om temperaturniveau er acceptabelt
Mål varmeforbrug og sammenlign med tilsvarende byggeri
Undersøg om det kan betale sig med behovsstyring af ventilationen efter CO <sub>2</sub> -niveau

Tabel 43: Konklusion på indeklimamålinger, Vuggestuen Kogletræet

#### 11.4.4 Step 3 – Beskrivelse af energi

I vuggestuen var der målt det samlede varmeforbrug for både rumvarme og varmt brugsvand. Den benyttede måler var en Kamstrup Multical 602, der var placeret i tek./fjernvarmerum. En NorthQ Q-Reader var brugt for at aflæse og gemme dataene på cloud-tjeneste. På samme måde var det samlede elforbrug målt med en mekanisk måler placeret i depot rum T11, som var hovedmåler. Der blev også målt ventilations elforbrug med en bimåler placeret i det samme rum.

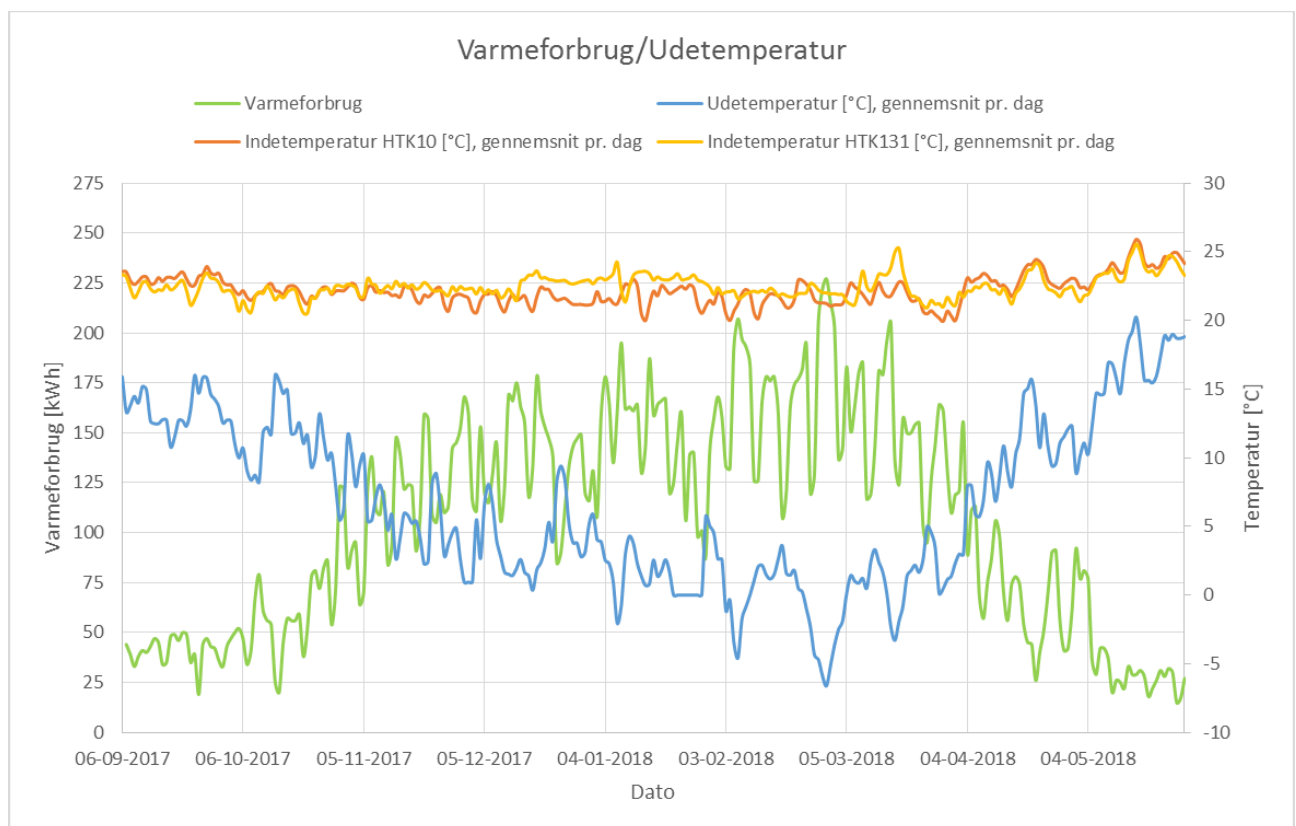
Målingerne var foretaget hver 15. minutter for perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018, og den følgende liste viser, hvad der blev målt:

- > - Dato for målingen [dd-mm-yyyy hh:mm]
- > - Øjeblikkeligt varmemeforbrug
- > - Akk. varmemeforbrug
- > - Øjeblikkeligt elforbrug
- > - Akk. elforbrug
- > - Øjeblikkeligt elforbrug for ventilation
- > - Akk. elforbrug for ventil

### 11.4.5 Måleresultaterne

Dataene var eksporteret fra NorthQs cloud-tjeneste for at udføre en yderligere databehandling for at vise resultaterne på grafer i forskellige i tidsintervaller, da det ikke var muligt at få dem vist på visualiseringstjenesten.

Varmeforbruget var analyseret i forhold til inde- og udetemperaturen, som vist på Figur 110, hvor indetemperaturen er vist med orange for Grupperummet T10 og med gul for Grupperummet T27, mens udetemperaturen er blå og varmemeforbruget er grøn.



Figur 110. Sammenhæng mellem inde- og udetemperatur [°C] og energiforbrug i perioden fra d. 06/09-2017 til d. 28/05-2018

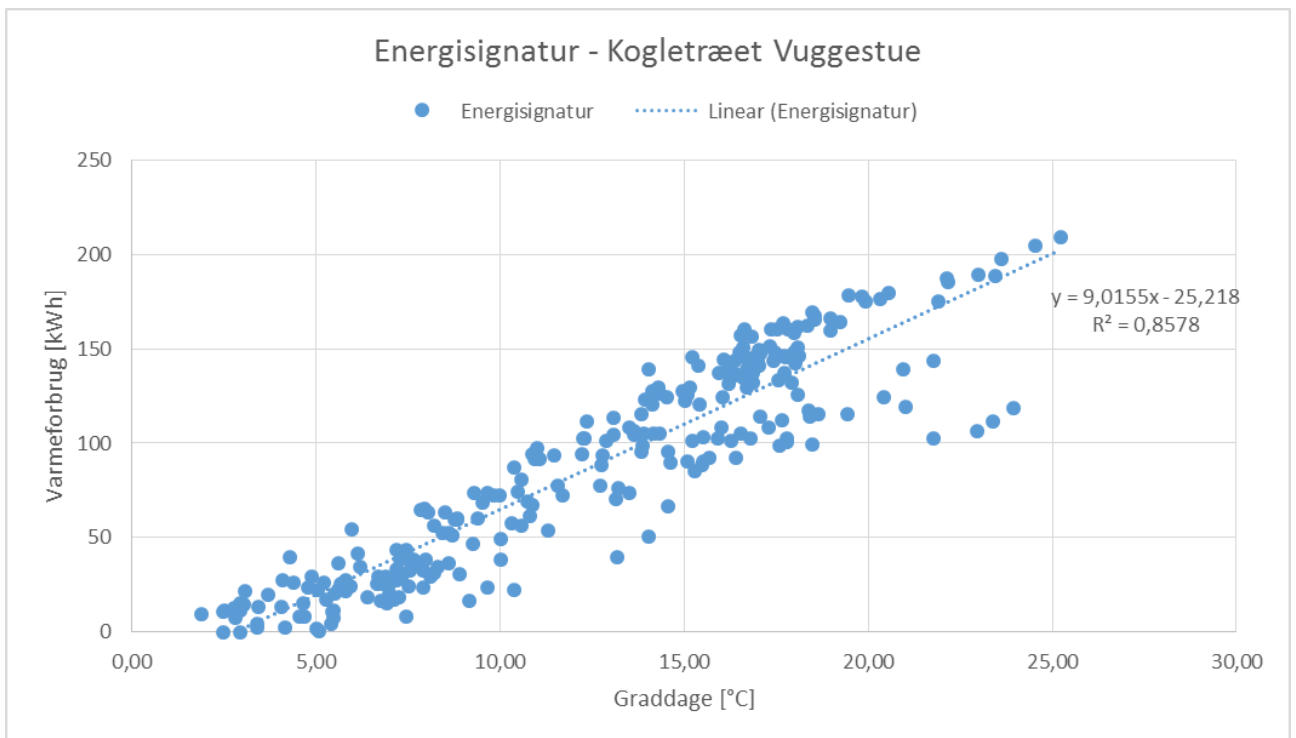
På Figur 110 er varmemeforbruget påvirket af udetemperaturen, da forbruget er højere, når udetemperaturen er lavere, mens varmemeforbruget falder, når udetemperaturen stiger. Det laveste energiforbrug er opnået omkring d. 01/03-2018, da udetemperaturen var den laveste. Det samlede varmemeforbrug svinger fra 20 kWh til 230 kWh pr. dag.

Når det er ønsket at sammenligne bygnings varmemeforbrug med tilsvarende typer af boliger, skal en energisignatur udføres. For at sammenligne bygninger er det nødvendigt at normalisere forbruget ved at inkludere graddagekorrigering, det er ikke muligt at få det direkte via den webbaserede platform. Den graddagekorrigerende energisignatur bestemmes ved hjælp af Ligning 9 [1] (Teknologisk Institut, "Graddageberegning ved ESCO projekter i Høje Taastrup Kommune," 2016.).

$$\frac{Q}{D} = K1 \cdot \frac{HDD}{D} + K2 \tag{Ligning 9}$$

$$\begin{aligned} \frac{Q}{D} &= \text{Varmeforbrug pr. dag} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \right] \\ \frac{HDD}{D} &= \text{Graddage pr. dag} \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{dag}} \right] = (T_{\text{Inde}} - T_{\text{Ude}} - 3 \text{ } ^\circ\text{C}) \\ K1 &= \text{Hældning} \left[ \frac{\text{kWh}}{^\circ\text{C}} \right] \\ K2 &= \text{Skæring med y-aksen} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \right] \end{aligned}$$

Et lineært forhold er forventet mellem graddagene og rumvarmemeforbruget, derfor er varmemeforbruget plottet pr. dag (Q/D) med den tilsvarende graddag den pågældende dag (HDD/D), og energisignatur kan findes ved hjælp af en lineær tendenslinje, som vist på Figur 111.



Figur 111. Energisignatur for Kogletræet vuggestue baseret på målinger af rum-varmemeforbrug og tilsvarende graddag fra 06/09-2017 til 28/05-2018



Grafen på Figur 111. giver et udtryk af, hvor meget energi der skal bruges på rumvarme for at opnå en ønsket indetemperatur afhængig af udetemperaturen. I denne analyse bruges kun rumvarmeforbruget, og varmt vandforbruget er blevet trukket fra det samlede varmeforbrug, hvor det gennemsnitlige varmt vandforbrug var beregnet i betragtning af et varmtvand forbrug på 10 l/person pr. dag, det svarende til 17,6 kWh pr. dag.

Ligning 10 giver funktionen af den lineære tendenslinje fra målepunkterne i Figur 111.

$$\frac{Q}{D} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \right] = 9,0155 \frac{\text{kWh}}{^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{HDD}{D} \left[ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{dag}} \right] - 25,218 \frac{\text{kWh}}{\text{dag}} \quad \text{Ligning 10}$$

Funktionsforskriften er fundet ud fra mindste kvadraters metode i Excel, og R2-værdien er 0,8578, hvilket anses for at være acceptabelt for denne type målinger.

I Tabel 44. Graddage for et normalår inkl. det graddagekorrigerede rumvarme-forbrug for bygningen på Kogletræet vuggestue. Der er benyttet graddage for at finde de graddagenormaliserede energisignatur. Graddagene er bestemt af Teknologisk Institut og er fundet for normalåret mellem år 1975 og 1985, hvor det er ønsket at varme boligen op til 20 °C. Det årlige antal graddage er 3112 for et normalår.

\*Negativt udregnede rumvarmeforbrug er rundet op til 0 kWh.

Måned	Antal dage pr. måned	Graddage (Normalår 1975-1985)	Graddage pr. dag	Graddagekorrigeret rumvarmeforbrug pr. måned [kWh]		
Januar	31	519	16,7	3897,3		
Februar	28	486	17,4	3675,4		
Marts	31	444	14,3	3221,1		
April	30	311	10,4	2047,3		
Maj	31	154	5,0	606,6		
Juni	30	58	1,9	0,0*		
Juli	31	22	0,7	0,0*		
August	31	18	0,6	0,0*		
September	30	91	3,0	63,9		
Oktober	31	207	6,7	1084,5		
November	30	341	11,4	2317,7		
December	31	461	14,9	3374,4		
<b>365</b>				<b>3112</b>	<b>-</b>	<b>20288,2</b>

Tabel 44. Graddage for et normalår inkl. det graddagekorrigerede rumvarme-forbrug for bygningen på Kogletræet vuggestue.

Det totale årlige rumvarmeforbrug for vuggestue er ca. 20,2 MWh, når et normalår overvejes og indetemperaturens sætpunkt er 20 °C. Den målte periode overvejer en opvarmningssæson, derfor giver energisignaturen en god oversigt over varmeforbruget i vuggestuen. Imidlertid er en længere måleperiode bedre for at få et gennemsnit af energiforbruget.

For at sammenligne rumvarmeforbruget med andre bygninger, divideres det årlige graddagekorrigerede rumvarmeforbrug med boligens kvadratmeter, som er 382 m<sup>2</sup> for Kogletræet Vuggestue. Varmtvandsforbruget har en standardværdi på 6 kWh/m<sup>2</sup>/år. Det er derfor muligt at få den samlede energisignatur, som vist i Ligning 11.

$$Q_{\text{Rumvarme}} = \frac{20288 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}}{490 \text{ m}^2} = 41,3 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}$$

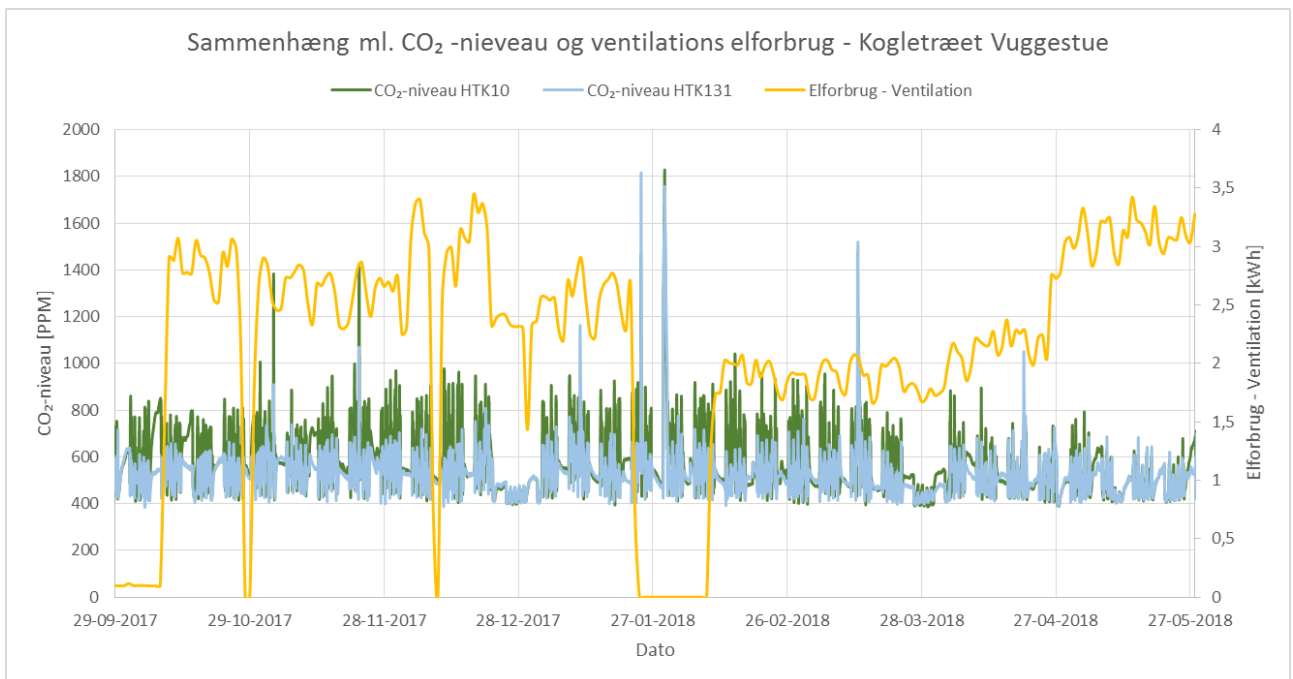
$$Q_{\text{Varmt brugsvand}} = 6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}$$

Ligning 11

$$\underline{Q_{\text{Varmeforbrug}} = 47,3 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}}$$

Til sidst var forholdet mellem elforbruget til ventilationsanlæg og CO<sub>2</sub>-niveauet analyseret i Kogletræet Vuggestue.

Figur 112 viser energiforbruget til ventilationsanlæg med gul og med grøn vises CO<sub>2</sub>-niveauet i Grupperum T10 og CO<sub>2</sub>-niveauet i Grupperum T27 er blå. Perioden vist på grafen er fra d. 29/09-2017 til d. 28/05-2018, da elforbruget var registreret til nul før datoen.

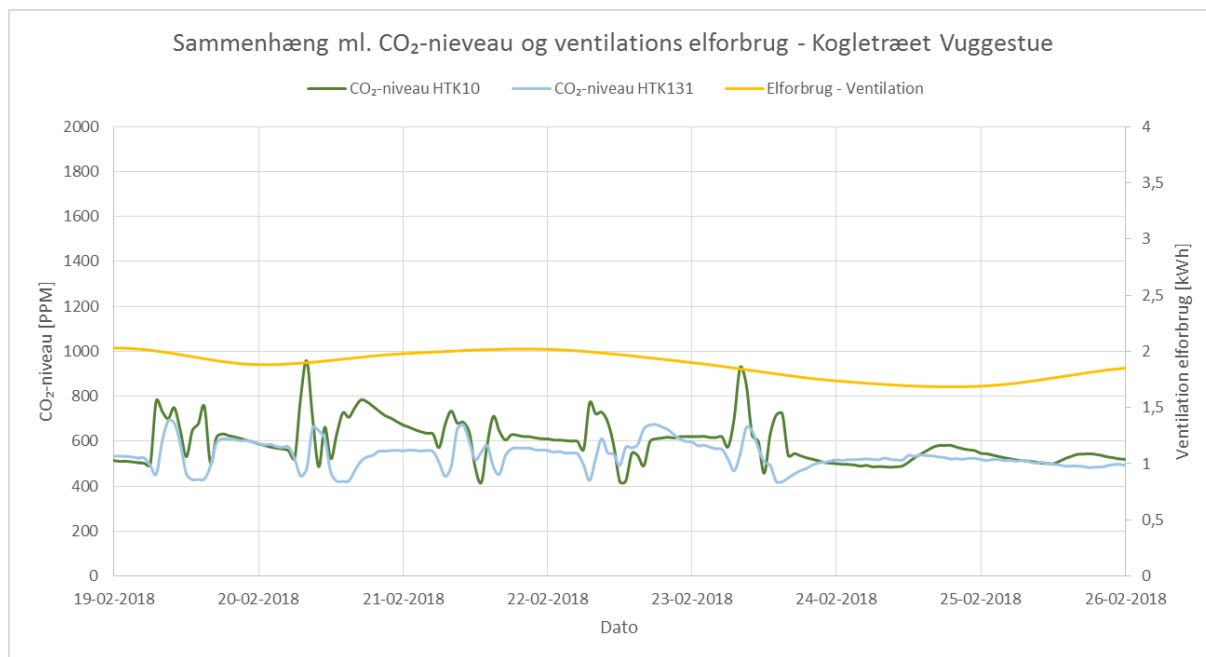


Figur 112. Sammenhæng mellem CO<sub>2</sub>-niveau og elforbrug til ventilationsanlæg i perioden d. 29/09-2017 til d. 28/05-2018

På Figur 112 ses at elforbruget er lavere i løbet af weekender, når CO<sub>2</sub>-niveauet i de to rum er lavt. Det ses også at elforbrug til ventilationsanlægget er lavere i vinterperioden end i perioden, når udetemperaturen stiger, som det er vist efter d. 27/04-2018. Elforbruget falder til nul i løbet af to weekender omkring d. 29/10-2017 og d. 10/12-2017, og for to uger fra d. 24/01-2018 og d. 08/02-2018, hvor det ses, at ventilationsanlægget var slukket.

Efter d. 27/04-2018 ser CO<sub>2</sub>-niveauet meget lav ud, mens elforbruget stiger til de højeste værdier. Det ses, at begge rum var overventileret og ventilation kunne reduceres.

Figur 113. viser sammenhængen mellem CO<sub>2</sub>-niveauet i Kogletræet Vuggestue og ventilationens elforbrug for ugen fra d. 19/02-2018 til d. 25/02-2018. Elforbruget ser meget stabilt i løbet af ugen, og det svinger mellem 1,7 kWh og 2 kWh.



Figur 113. Sammenhæng mellem CO<sub>2</sub>-niveau og elforbrug til ventilationsanlæg i perioden d. 19/02-2018 til d. 25/02-2018

Figur 113 viser, at CO<sub>2</sub>-niveauet ser meget lavt ud det meste af tiden, også når der er aktiviteter i vuggestuen. Derfor kan ventilationen reduceres for at opnå et lavere energiforbrug. Desuden ses det, at ventilationsanlægget næsten kører konstant, når der er ikke aktivitet. Det kan derfor være interessant at evaluere, om en variabel luftmængde kan opnå en energibesparelse.

<b>Konklusioner på varme og elmålinger</b>
Det totale varmeforbrug er under det forventede for en bygning af denne type og årgang
<b>Anbefalinger til videre forløb</b>
Beregn energimærke på baggrund af rumvarmeforbrug beregnet efter energisignatur og billeder
Undersøg om ventilationsmængde kan reduceres

Tabel 45: Konklusioner og anbefalinger, varme og elmålinger, Vuggestuen Kogletræet

## 12 Bilag 2 - Udbredelse og synergi med andre projekter

Høje Taastrup Kommune arbejder sideløbende med FAIR COMmissioning projektet projektet "[Smart Cities Accelerator](#)" (SCA). SCA-projektet har ligesom FAIR COMmissioning fokus på bygningsoptimering gennem datadrevne værktøjer. Gennem projektforløbet har projekterne krydsbefrugtet hinanden gennem overlappende aktiviteter på en række områder. I nedenstående gennemgås synergiområderne systematisk ud fra emnefelter:

### **Aktører**

Der er overlap mellem aktørerne i de to projekter eftersom DTU-byg, HTK og IC-Meter/Exergi deltager i begge projekter, og derfor trækker erfaringer ind og ud fra begge projekter. Derudover er der i SCA-projektet en række danske og svenske kommuner, universiteter (DTU Byg, Compute og Management, KU Anthro og Jura, Malmö Högskola og Lunds Universitet) og energiforsyningselskaber (E-on, Kraftringen og Høje Taastrup Fjernvarme), hvorigennem viden spredes.

### **Demonstrationssites**

Hvor FAIR COMmissioning fokuserer på små institutioner og boliger, fokuserer SCA på skoler (større bygninger). Herved er samlet erfaring med indsamling af data fra forskellige typer af tekniske anlæg og bygningstyper.

### **Indeklima**

Begge projekter tager udgangspunkt i indeklima og energimålinger, og undersøger samtidig både tekniske og adfærdsmæssige aspekter. Begge projekter har formålet at påpege indeklimaproblemer og samtidig være løsningsorienterede, hvilket har understøttet brugen af datadrevne metoder i Høje Taastrup Kommune.

### **Adfærd**

I SCA-projektet er KU-anthropology lead på adfærdsdelen og bidrager her med undersøgelser på flere niveauer, så både bygningsbrugere, facility management og organisationsaspekter inddrages i beslutningsgrundlaget. Dette har specielt kommet FAIR COMmissioning projektet til gode, da adfærdsdelen ikke er prioriteret her.

### **Test af sensorer**

I SCA-projektet har DTU Compute oprettet et "Smart City" lokale, hvor forskellige typer af sensorer og aktuatorer testes på et mere generelt niveau. Samtidig har der igennem FAIR COMmissioning projektet været mulighed for at lave grundigere test af udvalgte indeklima målere. Disse forskellige testtilgange har tilsammen afdækket et større potentiale end muligt uden projektoverlappet.

### **Test af opsætning**

En stor del af hensigten i begge projekter er at af-teste opsætningsfasen på de konkrete demonstrationssites. Opsætningen af udstyr har grundlæggende været samme koncept, kun differentieret af mængden af udstyr som skulle opsættes. Det er derfor lykkedes reelt set at få dobbelt så mange cases med opsætning af udstyr end beskrevet i FAIR COMmissioning rapporten. Herigennem har vi afprøvet flere forskellige leverandører og sensorer end ellers muligt.

### **Energioptimering**

Begge projekter har formålet at påpege potentielle besparelser på energioptimering og er derfor med til at bane vejen for datadrevne metoder i Høje Taastrup Kommune.

### **Værktøjer udviklet**

Gennem SCA-projektet er udviklet et monitoreringsværktøj ([skoleklima.dk](http://skoleklima.dk)), hvori realtime indeklima- og energidata kan vises. Værktøjet er brugt i FAIR COMmissioning til at skabe overblik i institutionerne og samtidig som kommunikationsværktøj over for brugerne af bygningen, facility management og andre aktører internt i kommunen. Fremadrettet er det planlagt at skoleklima.dk skal understøtte en række af sensorer, således at data samles ét sted, så der kun er én indgang til data.

### **Netværksstandarder / Connectivity**

Gennem projekterne er det vist, at der er en del udfordringer med at få sensorer og udstyr op grundet strømforhold og trådløs dækning gennem WIFI og GSM. SCA-Projektet er derfor ved at opbygge et LoRaWAN netværk, således at sensorer på batteridrift nemt kan opsættes uden meromkostninger fra elektriker. Denne udvikling vil potentielt gøre FAIR COMmissioning procespakken mere effektiv og mindre invasiv på sitet.

## 13 Referencer

Teknologisk Institut. (2016). *Graddageberegning ved ESCO projekter i Høje Taastrup kommune.*