

PSO-345-11 “Mål det”

Afsluttende rapport.

Projektets formål

Projektets overordnede formål er at sænke energiforbruget i bygninger ved at anvende trådløs sensorteknologi. I projektet udvikles og demonstreres et trådløst sensor- og dataopsamlingsystem, der kan anvendes af bygherrer driftsansvarlige, rådgivende ingeniører, energiråd- givere, og forskere til kontrol, synliggørelse og optimering af energiforbrug og indeklime i bygninger. Systemet kan anvendes både til kortvarige undersøgelser af indeklimeforhold og til længere- varende overvågning af driftsforhold og energiforbrug i såvel nye som eksisterende bygninger. Systemet er også meget anvendeligt i bygninger, der i forvejen har overvågnings-systemer (CTS-), fordi systemet er helt uafhængigt af installationerne og kan supplere med måling af parametre, som normalt ikke registreres. I forbindelse med de mange renoveringsprojekter, der vil blive igangsat i de nærmeste år, giver systemet bygherren gode muligheder for at tjekke, om han har fået den vare, han har betalt for (hvilket fx også kan være afgørende for, at han tør kaste sig ud i et ESCO-projekt).

Projektets hovedresultat er et standard-målesæt (energirådgiverens 'målekuffert') med 7-8 sensorer til kontrol og optimering af energiforbrug og indeklime i bygninger.

Hoved aktiviteter i Projektet

Projektet været planlagt med 10 hovedaktiviteter som beskrevet nedenfor. Det har ikke været nødvendigt at ændre i antallet eller indholdet i de planlagte aktiviteter på nær aktivitet 4. integration af trådløst interface (Bluegiga 112). I aktivitet 4 var der ønske om at skifte trådløs teknologi til WiFi istedet for Bluetooth som planlagt. Dette blev forsøgt, men vi var nød til at vende tilbage til den oprindelige plan da de valgte WiFi modul ikke virkede efter hensigten. Hovedproblemet var at det kunne ikke operere ved det lave energi niveau som Sense-It er designet til. Ligeledes var selve det trådløse modul ikke tilstrækkelig modent.

Projekts Resultater

MakeThisWork

Sense-It er i dag færdig udviklet. Der er blevet produceret på 2 forskellige fabrikker i Danmark og udstyret er blevet verificeret så det kan udstyres med CE mærker.

Sense-It er en datalogger hvortil der kan kobles eksterne sensorer så det er i stand til at måle i praksis hvad man måtte ønske. Sense-it eksistere idag i følgende variationer:

1. Sense-It Temp - Kan måle temperatur
2. Sense-It CO2 - Kan måle CO2
3. Sense-It Rh - Kan måle luftfugtighed
4. Sense-It Watt - Kan måle energi forbrug v.hj.a. en clamp on sensor.
5. Sense-It Count - Kan tælle passage gennem en lysstråle.
6. Sense-It Lux - Kan måle lys

Der er produceret 15 Sense-It systemer som har været anvendt til test hos SBI, Københavns Lufthavne, Kuben Management og Succesiv. MakeThisWork ApS har ligeledes anvendt Sense-It i forskellige projekter gennem udviklingen.

Sense-It Lux har været anvendt i.f.b. med optimering af solcelle lampen Little Sun. I.f.b. med et teknologi skift var det vigtigt at måle hvor meget lys der blev afgivet over tid. Andre laboratoriers (DTU Risø, DELTA, Bolts) udstyr var fokuseret på at måle lys meget nøjagtig i øjeblikket, men kunne ikke måle lys over lang tid uden at kræve manuel betjening i alle 5 - 12 timer.

Sense-It blev brugt i mørkekammer hos MakeThisWork til at finde den bedste kombination af lys kilde og energi kilde.

MakeThisWork har ligeledes brugt Sense-It til at måle CO2 på Nordsjællands Grundskole og Gymnasium. Formålet var at teste udstyret uden for laboratoriet samt skabe materiale der kunne bruges i det løbende slags indsats. Da Sense-It, i modsætning til andre CO2 loggere, er mobilt og

kan lægges væk er udstyret godt til brug på eks. skoler. Målingerne viste at CO₂ niveauet var for højt, men mest interessant viste det der opbygges CO₂ lommer i fælles områder på skolen som ikke let luftes ud i.f.b. med "åbne døre og vinduer" politikker på skolen. <Graf>

Sense-It har ligeledes været brugt til måling af CO₂ på en person. Måleperioden var december måned og det viste sig at de steder vi normalt forbinder med et godt klima alle havde CO₂ niveauer over 1000 ppm. Det var lidt overraskende og derfor tog SBI bolden op, og lavede tilsvarende målinger.

<SBI>

Kort sammendrag af SBI test-resultater og erfaringer

SBI har løbende testet Sense-it systemet med hhv. lys sensorer og en CO₂ sensor. SBI's test af systemet udarter sig ved have været brugt til at måle den eksponering af klimaet som en person har været udsat for over tid. Lys er en klimaparameter der ofte ændres og det sker ofte mere eller mindre øjeblikkeligt hvorimod øvrige indeklimaparametre som f.eks. temperatur ofte er mere stabile, især når målt på en fast lokalitet som f.eks. i et rum. Brugen af systemet til at måle personlig eksponering af klimaet både ude og inde stiller krav til måleudstyret. Bl.a. har det vist sig at indstillingen af anvendte logningsintervaller har været relativt korte set i forhold til hvad de øvrige deltagere i projektet typisk har haft behov for i deres undersøgelser. SBI har derfor formentlig i højere grad testet sampling og måleintervallerne mulige for systemet. Resultaterne fra SBI's brug af Sense-it er interessante idet at der så vidt vides ikke tidligere har været muligt at foretage målinger af f.eks. hvilken CO₂ koncentration som personer typisk er eksponeret for i løbet af en dag. Det har vist sig at CO₂ koncentration eksponeringen af en person over en almindelig dag svinger meget. Dette har vi kunnet dokumentere med Sense-it. Resultatet giver en interessant vinkel på fremtidig evaluering af indeklimakravene, som for eksempel i dag foreskriver at CO₂ koncentrationen i rum bør ligge under 1000 ppm. Gældende indeklimakrav har stor betydning for energiforbruget af bygningsdriften. En ændring af kravene mod at være er mere nuanceret mht. eksempelvis udluftningen i bygninger, vil forventeligt betyde et lavere energiforbrug til bygningsdriften i fremtiden.

Lyssensorer

Test af Sense-it med RGB lyssensor

Første lyssensor testet på systemet blev udvalgt fra en søgning bland tilgængelige sensorer på markedet ud fra et kriterie om, at den skulle kunne måle RGB og kunne give et brugbart mål for lux.

RGB-sensoren blev monteret på systemet og en prototype heraf blev testet i Delta's lyslaboratorium mod en kalibreret belysningsstyrke sensor (lux) samt sammenlignet med en kommerciel lyseksponerings måle-enhed med RGB sensor (Actiwatch spectrum). Denne test gjorde det klart at den testede RGB sensor ikke målte som forventet. Målingerne fra systemet var ikke umiddelbar brugbare af forskellige årsager.

Erfaringerne fra RGB-sensor-testene blev taget til efterretning i det videre forløb. Et er at have ønske om at kunne måle RGB, noget andet er at opnå et system, der giver et output af lys der kan defineres og er anvendeligt. Med RGB sensoren var der flere ukendte faktorer. Et problem var, at sensorens input til systemet ikke blev behandlet korrekt og derfor gav et ubrugeligt output. Dette problem er af mere teknisk karakter og ville kunne rettes. Dertil kommer at den spektrale sensitivitet af sensoren var en delvis ukendt faktor, hvorfor dens output-værdier var svært at sammenligne med noget kendt mål.

Det har stor betydning for en lysmåling hvor diffust lyset er i henhold til sensorens udformning. Den testede sensor havde ud over en delvis ukendt spektral sensitivitet også en ikke karakteriseret sensitivitet afhængig af lysets indfaldsvinkel. Eksempelvis vil en sensor der er placeret i et hul i et instrument kun måle høje lysintensiteter hvis lyset indgangsvinkel på sensoren er direkte ned i

hullet hvor sensoren sidder. En lys-sensors målinger er således ikke kun afhængige af den spektrale sammensætning af lyset, men også den rumlige udbredelse af lyset i relation til sensorens udformning og sensitivitet. Det blev besluttet at arbejde videre med en lyssensor med en kendt sensitivitet mht. spektral sensitivitet samt rumligt respons.

Test af Sense-it med kendt lux-sensor

En sensor af typen Hagner Detector, SD2, pA/lux (B. Hagner AB, Solna, Sverige) blev påmonteret Sense-it systemet via en forstærker af signalet fra Hagner lys-sensoren. Første version af systemet med Hagner lys-sensoren blev testet og fundet delvis brugbar under lave lysintensiteter. Kraftig forstærkning af signalet var nødvendig dels fordi Hagner sensoren måler i pico ampære og dels det at få skalaen for lux til at spænde fra nogle få lux til >100000 lux, hvilket viste sig ikke at være helt enkelt. Udfærdigelsen af softwaren i systemet til brug for lysmåling resulterede i første omgang i et output fra systemet der ikke direkte korrelerede med den reelle belysningsstyrke under udendørs lys intensiteter. Test heraf blev blandt andet foretaget under solformørkelsen d. 20. marts 2015 (fig. 1Xxx og 2xxx). Det viste sig at nogle funktioner (der var indlagt i systemet så batteriniveauet af systemet var minimalt) gik ind og påvirkede målingerne. Resultatet var at der forekom spring i målingerne af lysintensiteterne uden at lyset reelt skiftede intensitet. Funktioner i systemet der påvirkede målingerne er efterfølgende blevet fjernet og systemet tilrettet. Resultat af en måling efter tilretning af systemet ses i fig. 3Xxx.



Fig. 1Xxx. Billede af opstilling til test af Sense-it systemet med Hagner lys-sensorer under dagslysforhold (under solformørkelsen d. 20. marts. 2015)



Fig. 2Xxx. Grafer visende resultat fra målingerne foretaget under solformørkelsen d. 20. marts. 2015 med Sense-it systemet med Hagner lys-sensorer. Der ses nogle tydelige spring i data som viste sig at have at gøre med funktioner til energibesparelser for optimering af batterikapaciteten i systemet. Dette blev eftervist og funktionerne fjernet.

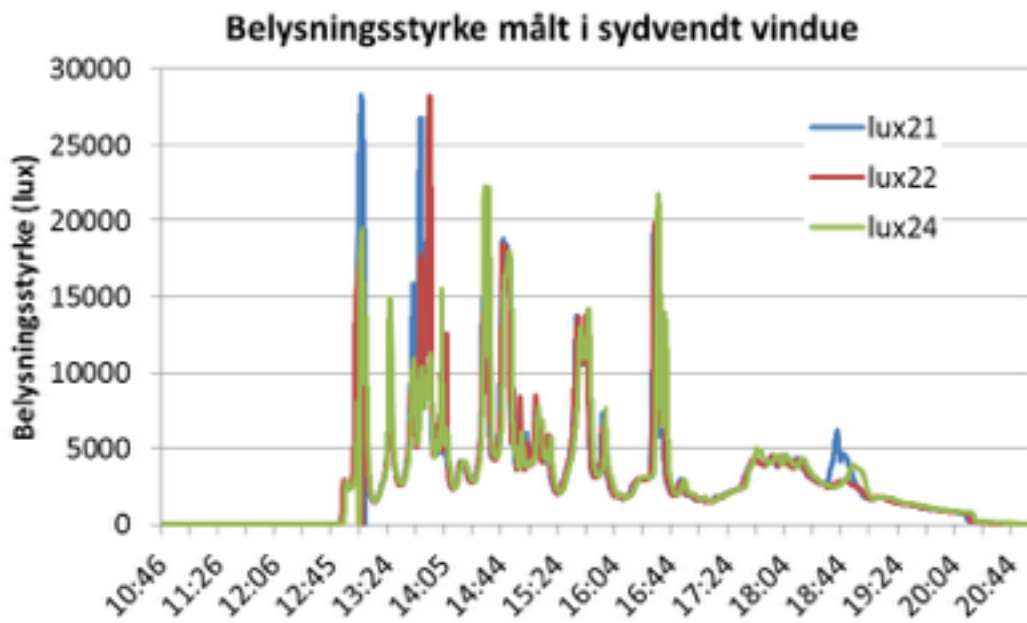


Fig. 3Xxx. Belysningsstyrke målt med sense-it systemet med tre Hagner lys-sensorer. Det ses at målingerne følger hinanden.

Lysmåling fremadrettet

Ved test af et målesystem som eks. Sense-it systemet er det en stor fordel at tilkoble og teste en lyssensor med kendte karakteristika herunder spektral og rumlig sensitivitet. Som Sense-it fungerer ved projektets afslutning, så er der tre lyssensorer, der er blevet testet til stort set at måle ens i måleområdet 500-100k lux området. Sense-it systemet med tilkøbt Hagner lys-sensor har den ulempe, at det kun i meget grove intervaller evner at måle lys under lavere lys-intensiteter, der ofte forekommende indendørs (<1000 lux). Måle-Intervallerne er i trin af ca. 30 lux, hvilket sætter sin begrænsning for brug af systemet. En forfinet forstærkning af signalet fra lys-sensoren til systemet vil kunne ændre på hvor grove lysintensiteter (trin) systemet logger med, hvilket klart anbefales. Ændres dette vil systemet være unikt på markedet hvad angår spænd af lysintensiteter

og mobile målinger med en karakteriseret belysningsstyrke sensor som eksempelvis den valgte fra Hagner.

Behandling af måledata - smoothing

Det er blevet testet i hvor vid udstrækning det er en fordel at indlægge forskellige funktioner i systemet (dvs. dets software) til at udligne målingsstøj samt usikkerhed i den enkelte måling. Dette kan gøres ved at lave en gennemsnitsberegning (smoothing) af et antal målinger der så indgår i det endelige output. Dette kan også gøres sådan at den aktuelle måling i tid vægtes højest, dvs. at beregne et såkaldt vægtet gennemsnit. Resultatet på målingen dvs. det output man får i sidste ende, er målinger der er knapt så fluktuerende. Målingerne vil forekomme mere stabile, men udsving i målingerne vil dermed også blive mindre. Dette kan være en fordel da man ofte ikke er interesseret i mindre udsving som hovedsageligt skyldes elektrisk støj eller reelle usikkerheder i målingerne. Graden af hvor meget smoothing der bør foretages afhænger af brugen af systemet. Herunder vil målingsintervallerne være en afgørende faktor. Sættes målingsintervallerne i systemet til at være for kort, dvs. kortere end eks. for intervallet for hvad der i systemet laver gennemsnitsberegninger over af værdier, så giver det problemer. Omvendt vil målingsintervaller der er for lange gøre at man ikke vil kunne måle reelt forekommende hurtige skift i f.eks. lysintensiteter.

Systemet med en lyssensor vil i princippet kunne konstrueres til at kunne måle såkaldt "flicker" fra et lys-armatur om samplingen sættes til at være hurtig nok, hvilket gør at systemet har potentiale til brug i mange sammenhænge. Et eksempel på dette er blevet testet med RGB-prototype sensoren (fig. 4Xxx).

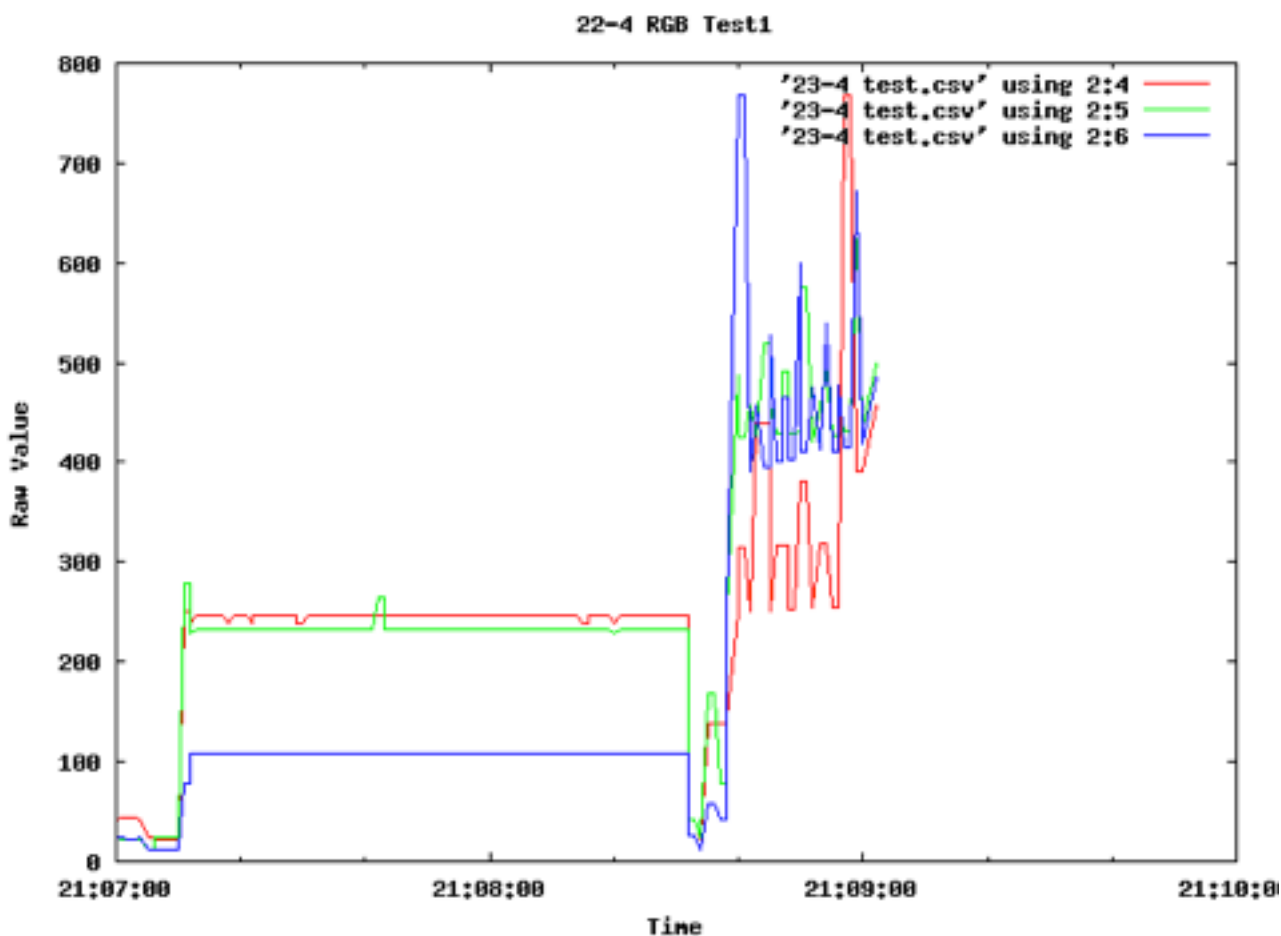


Fig. 4Xxx. Test af om RGB lys-sensoren kunne anvendes til at måle flimrer "flicker" fra et lys-armatur. Dette er testet muligt med systemet, hvilket eksemplet herover illustrerer (figur af: Thomas Sørensen).

Der er altid en usikkerhed forbundet med en punkt-måling fra en sensor. Derfor vil det i de fleste sammenhænge være en fordel at outputtet fra systemet er et mål beregnet ud fra et givent antal samlinger over en relativ kort periode. Usikkerheden for en given måling (output) vil blive udlignet ved at foretage en midling af input-værdier/samlinger. Antallet af samlinger til en given måling (output) vil dog være på bekostning af en kortere batteritid for systemet. Omvendt vil unkladelse af midling i systemet måske bevirke at det i praksis er nødvendigt at indstille systemet til logge med kortere intervaller og så selv foretage midling af data manuelt efterfølgende, for at få et præcist nok gennemsnitsmål. Dette vil dog i højere grad påvirke batterilevetiden, men også påvirke hvor lang tid systemet kan måle pga. hukommelseskapaciteten. Den rigtige balance er derfor væsentlig at finde frem til og vil være et kompromis, hvis systemet ikke målrettes et bestemt brug.

CO₂ sensor

Test af Sense-it med CO₂ sensor

SBi har testet Sense-it med CO₂ sensor. Mange indeklimate-sensorer til måling af CO₂ måler i intervallet 400-2000 ppm, hvilket vurderes til at være ok, når der skal måles på om CO₂ koncentrationen er for høj på et givent sted, indenfor de nuværende indeklimakrav. Derimod har det ved tests med Sense-it vist sig, at et maksimum på 2000 ppm ikke er nok om man skal måle den faktuelle CO₂ koncentration, som er til stede, der hvor vi som mennesker i et civiliseret samfund færdes. Måling af CO₂ koncentrationer på mellem 300 og 5000 ppm vurderes dog til at være passende til sådanne målinger. Dette er en af konklusionerne på baggrund af målinger foretaget med Sense-it.

For at vurdere om Sense-it CO₂ sensoren opfører sig logisk mht. måling af CO₂ koncentrationen blev denne placeret i en papkasse på et ventileret kontor. Herefter blev der åndet ind igennem et mindre hul i kassen for at teste sensorens respons steg som forventet til en høj CO₂ koncentration og hvorvidt CO₂ koncentrationen med tid faldt gradvist som forventet. Resultat af testen og hvordan CO₂ koncentrationen med tiden faldt jævnt, ses i figur 5xxx.

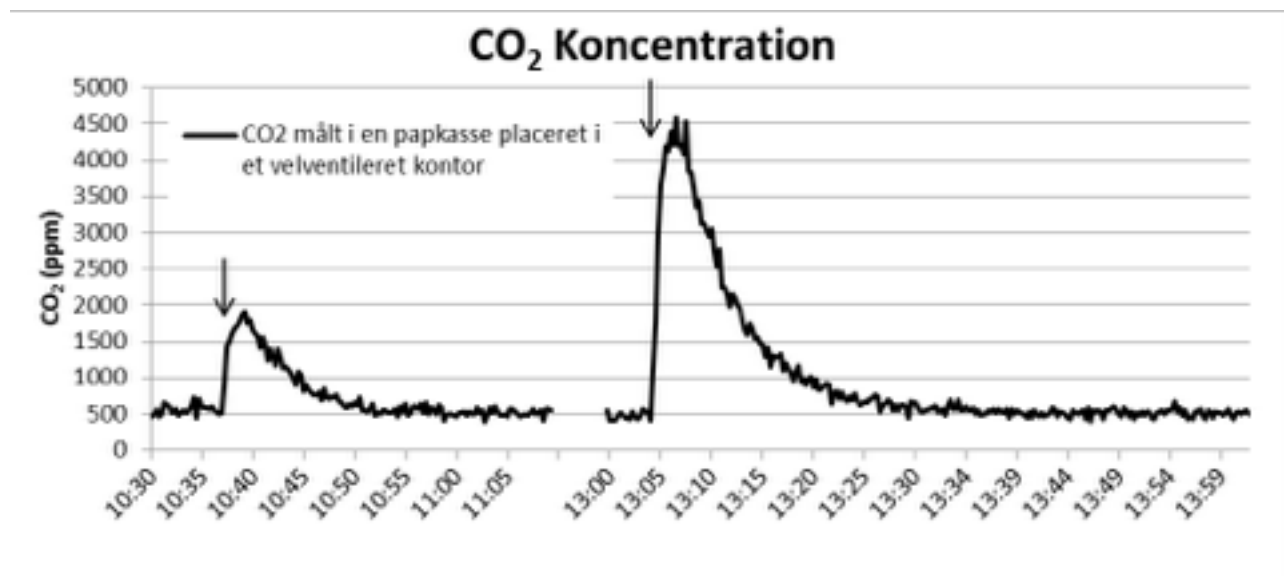


Fig. 5Xxx. Test af Sense-it CO₂ sensoren. CO₂ sensoren blev placeret i en papkasse i et vel ventileret kontor hvorefter der blev pustet CO₂ (menneskelig ånde) ind igennem et mindre hul i kassen (↓). Grafen viser hvorledes CO₂ koncentrationen i kassen herefter gradvist falder jævnt til niveau svarende til uden for kassen.

Sense-it med CO₂ sensoren har været brugt til måling af hvilke CO₂ koncentrationer vi typisk er eksponeret for i dagligdagen. Dette er gjort ved simpelthen at medtage sensoren hvor en person færdes. Et eksempel på dette ses i fig. 6Xxx. Her har CO₂ sensoren målt i soveværelset i et privat hjem, hvor utilstrækkelig ventilation bevirkede en stigende CO₂ koncentration i løbet af natten. Om morgenen medbringes CO₂ sensoren under transporten til arbejdspladsen hvor der registreres en relativ høj CO₂ koncentration i toget der hurtigt falder ved udstigning af toget på perronen.

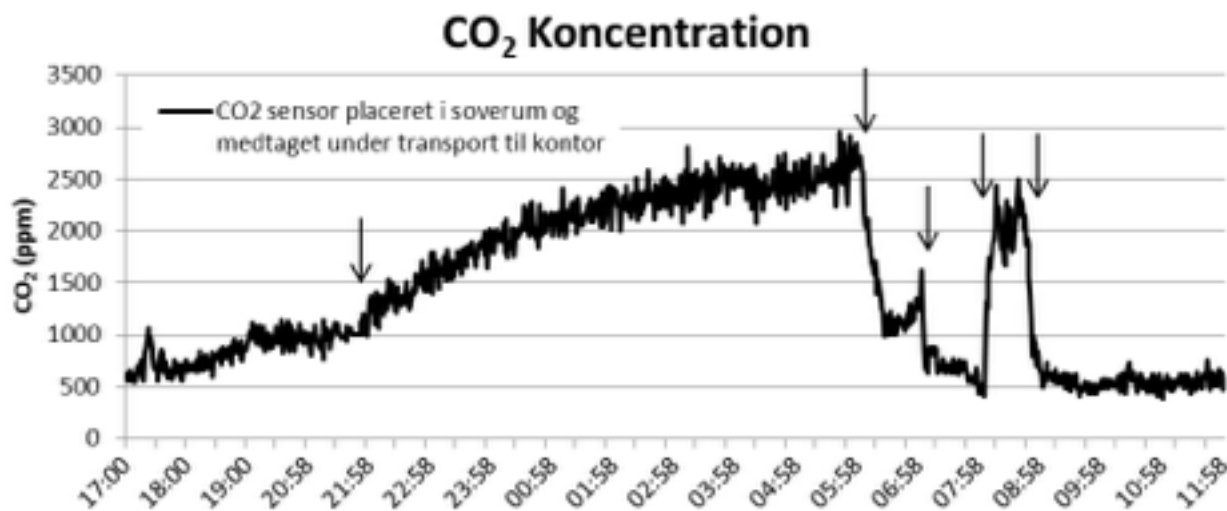


Fig. 6xxx. Figuren viser CO₂ målinger fra kl. 17 og indtil kl 12 den efterfølgende dag for en person. Hvis tidslinjen følges angiver markeringerne (↓) fra venstre: 1) sensoren flyttes fra opholdsrum til soverum med begrænset ventilation (enkelt åben topsprække i Velux vindue); 2) sensoren flyttes til opholdsrum; 3) sensoren flyttes til bil (bagagerum); 4) sensoren tages ud og medtages i tog (IC3 regional); 4) udstigning af tog ved ankomst til station.

Ved at det nu er muligt med Sense-it systemet at indsamle data, der er målt som værende det klima som en person er eksponeret for, kan vi få en unik viden omkring hvad der er normalt i forskellige givne situationer. Dette vil klart være en fordel til at argumentere for krav der stilles til indeklimaet i fremtidens byggeri. Sammenholdes målinger med vurderinger fra et forsøgspanel vil man kunne måle en tilfredshedsgrad i givne situationer. Herved vil det være let at eftervise om kravene der stilles til indeklimaet imødekommes vel at mærke ud fra måling foretaget der hvor personerne opholder sig. Herved undgår man at diskutere hvorvidt der har været målt på en forkert placering; en placering som tidligere har afvejet fra hvor personerne rent faktisk opholder sig. Man vil også let kunne teste hvor det er mest hensigtsmæssigt at placere en fast CO₂ sensor i f.eks. et møderum, til brug i den indendørs klimastyring (optimal udluftning).

Nye metoder og værktøjer som Sense-it til evaluering af indeklimaet, vil give os et mere nuanceret billede af eksempelvis behovet for udluftningen i bygninger. Denne viden vil kunne bruges til at ændre indeklimakravene eller styrings-sætpunkterne for klimastyringen af en bygning mod at være mere nuanceret, så der kan opnås et lavere energiforbrug til bygningsdriften i fremtiden uden at forringe indeklimaet.

Københavns lufthavne A/S

Sense-It har været testet i samarbejde med Københavns lufthavne.

Systemet blev brugt til at afklare et kulde varme problem i et kontor, samt et kulde varme problem ved en skranke med tilhørende bagkontor.

Systemet viste sin styrke ved at dokumentere at ved kraftige temperatur skift og vindretning ra øst, var der et udsving i temperatur. Udsvinget var et normalt reguleringsudsving og data gjorde det lettere at tage en dialog med kontorets "beboere".

Ved skranken var temperaturen meget konstant på 21 grader, og problemet ar i første omgang vanskeligt at lokalisere. Efter at have været der nogle gange og aflæst data blev vi opmærksomme på at udluftningen sad lige over de 3 personer der klagede. Problemet var altså opstået på grund af indretningen.

Det at Sense-It skal aflæses gør at det er naturligt at have en dialog med de mennesker hvis indeklima der måles på. Denne del viser sig at være vigtig for at forstå data i rette sammenhæng.

Kuben A/S

Se vedlagt rapport.

Successiv

I forbindelse med projektet har vi gennemført afprøvning af SenseIT i 2 ejendomme, hvor:

1. den ene ejendom lå i et større bygningsmiljø med fuldt udbygget CTS anlæg
2. den anden ejendom var en domicilejendom uden tidssvarende CTS anlæg

ad 1 der var etableret omfattende styring af temperatur, ventilation og lys samt detaljerede forbrugsmålinger. 2 forhold viste sig dog at være barrierer for at kunne inddrage data fra CTS systemet.

a. Styringen af klima sker via indbyggede installationer. Vi konstaterede at disse ikke flyttes i takt med at der over tid sker ombygninger af lokaler og deres anvendelse. Den manglende tilpasning imellem klimaanlæg og de faktiske brugs- og møbleringsforhold medfører hyppige indeklimagener og klager.

b. Datamængden og systemkompleksitet i et omfattende net af CTS forbrugsmålepunkter overstiger brugers muligheder for selv at administrere disse. Af økonomiske årsager valgte bygningsejer at CTS data blev udelukket i forbindelse med analyse og benchmarking af bygningens energiforbrug.

Ad 2 varme, ventilation og lys styres overordnet manuelt. Køleanlæg tilkobles når tørkøling ikke rækker og opretholdes ubrudt indtil udeklima atter tillader tørkøling. Automatik styrer hele bygningen uden behovsstyring.

a. Synkron målinger af CO₂ og temperatur viste at det realiserede indeklima på intet tidspunkt overskred de ønskede normkrav.

b. Gennemsnitligt var indeklimaet ca. 100 % bedre

I begge disse to test viste det sig særdeles nyttigt at kunne inddrage den mobile og trådløse datafangst ikke blot som supplement, men som det udviklede sig som den primære forsyningskilde til data.

Sammenfattende viste projektet, at vi med den trådløse sensor-teknologi ikke alene opnåede bedre, mere præcise og -valide data, men at vi også opnåede den fleksibilitet og dynamik i datafangsten, brugeren i meget høj grad har efterspurgt. At konceptet samtidig var et prisbilligt alternativ til eksisterende løsninger, gjorde ikke den positive oplevelse mindre!

Konklusion

Mål-Det ! / Sense-It er en success. Det er lykkedes os at skabe et system der kan hjælpe med at spare energi indenfor mange forskellige områder og vi har vist potentialet i systemet.