



Elforsk projekt nr. 349-049

Intelligent udsugning til energieffektiv boligventilation



“ – Kontroludsugning med konstant luftskifte gennem stationære ventiler er den mest udbredte ventilationsform i etageboliger. Undersøgelser viser, at der kan opnås 20% varme- og 25% elbesparelser ved behovsstyret udsugning. Projektet udvikler hertil en behovsstyret let installérbar batteridrevet udsugningsventil med trådløse indeklimafølere.

Titel:

Intelligent udsugning til energieffektiv boligventilation
Elforsk projekt nr. 349-049

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Gregersensvej 1
2630 Taastrup
Energieffektivisering & Ventilation

i samarbejde med Lindab A/S og New Nordic Engineering

med støtte fra Elforsk

April 2020

Forfattere: Amalie Gunner (Teknologisk Institut), Lars Hansen (Teknologisk Institut)

Kontakt til Lindab A/S: Klemen Rupnik

Kontakt til New Nordic Engineering: Andrew Khoudi



Indholdsfortegnelse

1. Resume.....	5
2. English resume	6
3. Indledning	7
4. Projektets ide.....	9
5. Baggrund	12
5.1. Opsummeret	12
5.2. Beregning	12
5.3. Lovgivningen - Bygningsreglementet.....	13
5.3.1. Behovsstyring	13
6. Kravsspecifikationer.....	16
6.1. Baggrund	16
6.2. Specifikationer	17
6.3. anbefalinger	17
6.4. Energy harvesting.....	18
7. Indledende beregninger	19
7.1. Målinger	19
7.2. Resultater.....	19
7.3. Konklusioner og kommentarer.....	23
8. Kommunikation mellem enhederne	24
8.1. Styring	25
8.2. Fugtsensor.....	25
8.3. Bevægelsessensor	26
8.4. Central ventilator.....	27
9. Test i Energy Flex House	28
9.1. Resultater af indledende test.....	29
9.2. Batterilevetid	30
10. Test i etagebyggeri.....	31
10.1. Test	31
10.1.1. Konstant udsugning.....	33
10.1.2. Behovsstyret intelligent udsugning	34
10.2. Energibetragtning	35
10.2.1. Støj og trækgener	36
11. Udvikling af app	37
11.1. Boligselskabets rolle:	38

12. Oplysning til brugeren.....	39
13. Konklusion	40
14. Vidensformidling	43
15. Referencer	43
16. Bilag:	44
16.1. Design	44
16.2. Flow diagrammer.....	48
16.3. Indledende test af ventiler	50
16.4. Teoretisk eksempel af ventil udført af Lindab	57

1. Resume

Projektets formål er at sikre et godt energieffektivt indeklima i eksisterende etageboliger med mekanisk udsugning.

Det sker ved udvikling af et intelligent, behovstyret, plug-and-play udsugningsarmatur med trådløse sensorer, der sikrer korrekt ventilation efter det egentlige behov.

Løsningen er velegnet til eksisterende byggeri, hvor etablering af balanceret ventilation med varmegenvinding ikke er muligt.

Udsugningsarmaturet udvikles ud fra et nyt princip, der sikrer modulerende indstilling med et minimalt energiforbrug, der dækkes af en batteriløsning. Indstillingen på armaturet styres via interaktion til/fra skyen med et antal trådløse fugt sensorer, der kan placeres frit i rummene.

Projektet har udviklet en ventil med aktuator som styrer efter det aktuelle fugtniveau og en tilhørende bevægelsessensor. Kommunikationen mellem ventil og sensorer blev udviklet. Det viste sig dog at dette var en markant større opgave end først antaget.

Målet var at batterilevetiden skulle være 12 måneder. Dette er desværre ikke opnået for de udviklede prototyper, da der ikke er aktiv sleep mode integreret. Dette kan optimeres fremadrettet ved at programmere ventilen til kun at 'vågne' og reagere, når der er en signifikant ændring i fugtniveauet eller når bevægelsessensoren aktiveres – når der ikke er behov for det vil ventilen være i sleep mode. Dette vil reducere energiforbruget og øge batterilevetiden til 330-360 dage.

På grund af udfordringen med kommunikation/software udvikling mellem enhederne var det ikke muligt at lave optimering på kommunikationen i forhold til batterilevetid inden for projektets tidsramme. Dog kan dette udvikles fremadrettet og det forventes at der vil være et kommercielt færdigt produkt på markedet om et års tid. Dette arbejde ligger ud over projektet.

Ved at behovsstyre efter det aktuelle ventilationsbehov ift. til fugt i boligen kan der spares på energiregningen til opvarmning af erstatningsluften samt til ventilatoren. Ud fra projektets resultater kan energiforbruget til den enkelte bolig reduceres med minimum 1/3. Dette er en energibesparelse på varmeregningen samt at energiforbruget til den elektrisk drevede ventilator vil blive reduceret.

Ved screening af bygningsmassen i Danmark der kan opnås en besparelse på 20 – 30 % på varme (2.250 GWh/år) og el (40 GWh) ved behovsstyring af ventilation.

Energibesparelsen skyldes et drastisk fald i ventilationsmængderne. Hertil en el-besparelse til drift af ventilatoren i det samlede system, når styring af denne etableres.

2. English resume

The aim of the project is to ensure a good energy-efficient indoor climate in existing multi story buildings with mechanical extraction.

This is achieved by developing an intelligent, demand-controlled, plug-and-play exhaust valve/damper with wireless sensors that ensure proper ventilation according to the actual needs.

The solution is suitable for existing buildings where the establishment of balanced ventilation with heat recovery is not possible.

The exhaust valve is developed based on a new principle, which ensures modulating setting with minimal energy consumption covered by a battery solution. The setting of the fixture is controlled via interaction to / from the cloud with several wireless moisture sensors that can be freely placed in the rooms.

The project has developed a valve with actuator that controls according to the current moisture level and an associated motion sensor. The communication between valve and sensors was developed. However, it was a bigger task than initially assumed.

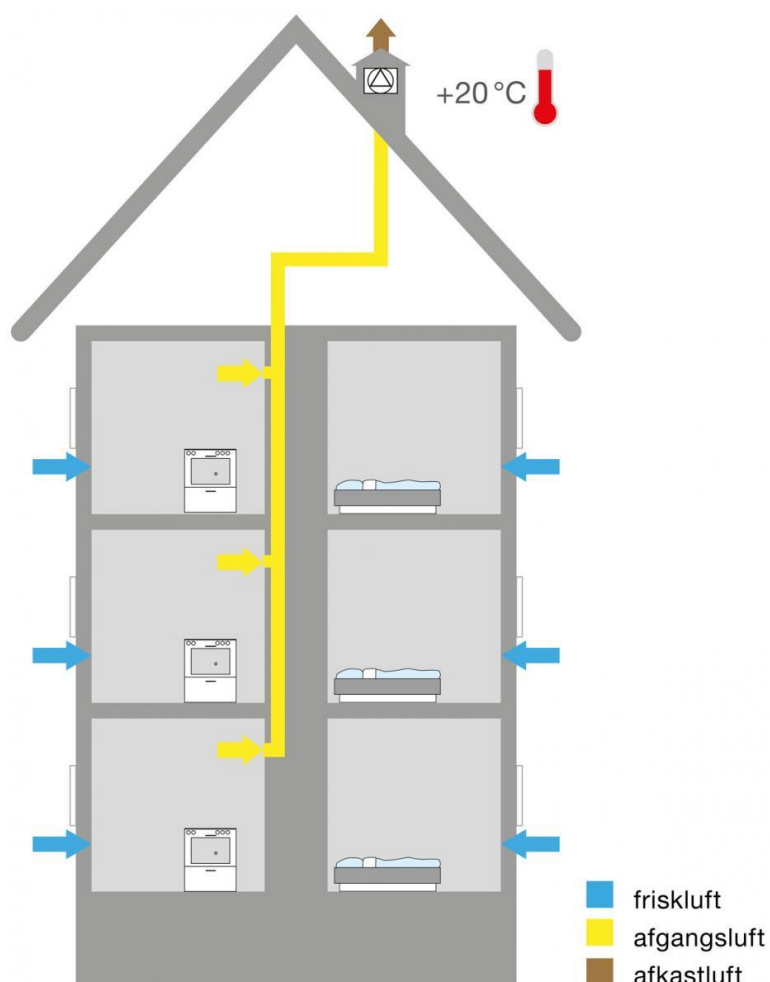
The goal was to have a battery life of 12 months. This has not been achieved on tested prototypes, because they didn't have the sleep mode implemented. However, with further development – by programming the valves to be waken-up and act only if there is a significant change of humidity or change of presence, and the rest of the time being in a sleep mode, it will be possible to minimize the energy use and optimize the battery life-length to 330–360 days. This development has not been done in the project period, but it could be done afterwards. It is planned that there will be a commercial finished product on the market. This work is beyond the project.

By managing the needs according to the current ventilation needs in relation to moisture in the home, the energy bill for heating the replacement air can be saved. Based on the results of the project, energy consumption for each dwelling can be reduced by at least 1/3.

By screening the building mass in Denmark, savings of 20 - 30% can be achieved on heat (2,250 GWh / year) and electricity (40 GWh) by demand controlled ventilation. The energy savings are due to a decrease in ventilation volumes. In addition, an electricity saving for operating the fan in the overall system.

3. Indledning

I etageboliger er mekanisk ventilation med friskluftventiler ofte forbundet med trækgener, hvilket medfører at beboerne tilstopper ventilerne. Dette øger risikoen for skimmelvækst, astma og råd i boligen. Derudover har udeluftventilerne den kedelige egenskab, at der sjældent er energieffektiv eller som oftest ingen forvarmning og der er derfor potentielt store energjudgifter til opvarmning af erstatningsluften til udsugning fra kontrolventiler og emhætte.



Figur 1: Eksempel på mekanisk udsugning i etagebyggeri,
<https://www.ivprodukt.dk/viden/boligventilation>

Undersøgelser viser 25% varme- og 50% elbesparelser ved ændring af kontroludsugning med konstant luftskifte til behovsstyret udsugning. Det udviklede system kan dermed sikre væsentlige energibesparelser.

Udviklingen inden for elektronik, følere, aktuatorer, IKT og batteriteknologi udnyttes i projektet: Udsugningsarmaturet baseres på et princip, der sikrer modulerende indstilling med et minimalt energiforbrug, dækket af et genopladeligt-batteri.

Indstillingen styres af et antal trådløse fugt- og bevægelsessensorer, der kan placeres frit i rummet.

Målet er et let monterbart system, som giver brugeren mulighed for selv at bestemme sit indeklima inden for et fastlagt område (BR-krav) via en SmartPhone-App, som yderligere giver muligheder for synliggørelse af indeklimaet for beboerne. Samtidig giver systemet mulighed for en løbende overvågning af indeklimaet i en bebyggelse, af betydning for central styring og optimal drift af varme og ventilation, og etablering af energifleksibilitet i samspil med timetariffer.

4. Projektets ide

Projektets formål er at sikre et godt energieffektivt indeklima i eksisterende etageboliger med mekanisk udsugning.

Det sker ved udvikling af et intelligent, behovstyret, plug-and-play udsugningsarmatur med trådløse sensorer, der sikrer korrekt ventilation efter det egentlige behov.

Løsningen er velegnet til eksisterende byggeri, hvor etablering af balanceret ventilation med varmegenvinding ikke er muligt.

De seneste års udvikling inden for elektronik, følere, aktuatorer, IKT og batteriteknologi udnyttes i projektet herunder nye gadgets til mobiltelefoner samt anvendelse af dataudveksling via skyen og IoT:

Udsugningsarmaturet udvikles ud fra et nyt princip, der sikrer modulerende indstilling med et minimalt energiforbrug, der dækkes af en batteriløsning. Indstillingen på armaturet styres via interaktion til/fra skyen med et antal trådløse fugt sensorer, der kan placeres frit i rummene.

Målet er et let monterbart plug-and-play behovstyret system, der sikrer et godt energieffektivt indeklima, hvor brugeren yderligere har mulighed for selv at være medbestemmende til sit indeklima inden for et fastlagt område (BR-krav) via en simpel appløsning. Samtidig giver systemet mulighed for en løbende overvågning af indeklimaet i en bebyggelse, af betydning for central styring og optimal drift af varme og ventilation, og etablering af energifleksibilitet i samspil med timetariffer.

Et tidligere EUDP-projekt (Behovsbaseret boligventilation med fugtstyring) har fastslået potentialet i et demonstrationsprojekt hvortil der blev udviklet og installeret et net-tilsluttet armatur med indbygget fugtføler. Den faste følers placering viste sig imidlertid ikke optimal for styring af indeklimaet, ligesom armaturet udelukkende havde en on/off indstilling. Løsningen havde samtidig relativt høje installationsomkostninger hvilket sammenholdt med den nye vådrumsnorm (som klassificerer badeværelse under 3 m² som vådrumszone og derfor besværliggør elinstallationer), medførte at systemet blev taget af markedet efter få år.

Siden da er der for nyligt pga. den stigende interesse for tilbehør til smartphones kommet en række standalone CO₂-, fugt- og temperaturføler-enheder (tilkobling til vejrstationer). I tillæg til disse gadgets er der kommet en række meget billige aktuatorer på markedet som, som kræver langt mindre energi, hvilket der med den nye sensor teknologi og åbne protokoller (skyen), ved sammenbygning formodentligt muliggør en batteridrevet plug-and-play løsning som vil have stor indtrængning på markedet.

I princippet er det nye system det samme som det eksisterende system i boligen, hvor luften tilføres i opholdsrummene via udeluftventiler og udsuges i de fugtige zoner. Den trykstyrede ventilator på loftet styres tillige efter det oprindelige systemtryk (brandkrav). Ventilatorerne udskiftes "bare" hvilket muliggør behovsstyring, langt mindre træk og støj, brugerinddragelse via smartphones (visualisering af indeklima, ikke valg som kan forværre indeklimaet) samt at ventilatoren kan køre med langt lavere luftskifte (iht. behovet). Sammenholdt med konstant ventilation, omfatter indeklimaforbedringen i det

nye system primært en mere hensigtsmæssig luftfugtighed i opvarmningssæsonen, samt en kraftig reducere af evt. trækgener fra ventiler og evt. utætheder.

Problemstillingen i eksisterende ventilationssystemer i etagebyggeri, er at de er udført eller renoveret til mekanisk udsugning med et fast luftskifte pr. m². Der tages ikke højde for lejligheder med lav og varierende fugtbelastning, hvilket kan medføre en unødvendig høj ventilationsrate med tilsvarende spild af energi (el og varme). Der tages kun højde for at forceringen kan ske gennem emhætten hvis brugere manuelt aktiverer denne, hvilket traditionelt har været sat til 2 gange det forcerede krav. Derfor er samtlige eksisterende etageejendomme med kontroludsugning indreguleret til et fast luftskifte svarende til de rumbaserede krav på 72+54 m³/h som generelt er dobbelt så høj som grundluftskiftet (65 kontra 126 m³/h), med en yderligere forcering ved brug af emhætten $54+2*72\text{m}^3/\text{h} = 198 \text{ m}^3/\text{h}$.

Det vil oftest være bedre at etablere mekanisk ventilation med varmegenvinding, da det er den mest energirigtige og indeklimamæssige bedste løsning, hvilket er nemt at anvise fra et skrivebord eller lovgivningsmæssigt. Men det må erkendes, at størstedelen af den nuværende etagebolig bygningsmasse ventileres med kontroludsugning (dels ombyggede naturlige aftræk og dels projekteret som kontroludsugning), hvor der mange steder ikke er rentabilitet eller økonomisk råderum til ombygning til balanceret ventilation med varmegenvinding indenfor en overskuelig fremtid. Vil man disse steder til livs og afhjælpe forkerte ventilationsrater, skimmelsvamp eller reducere energiforbruget, må der udvikles et billigt alternativ, hvilket kraftigt bakkes op af boligforeninger samt administratorer.

Lovgivningsmæssigt er der ved ny etablering/større renovering krav om etablering af ventilation med varmegenvinding. Men "plug and play løsningen" er ventiludskiftning dvs. en partiel udskiftning/vedligeholdelse og ikke en etablering. Ligeledes kan en rentabilitets beregning anvise at et alternativ kan anvendes, hvis ventilation med varmegenvinding ikke er rentabel.

Plug-and-play udsugningsløsningen med lave omkostninger muliggør en hurtig indtrængen på marked. Samtidig kan systemet senere anvendes til rumbaseret behovsstyret boligventilation med varmegenvinding til en-familieboliger/ etageejendomme med decentralventilation, som pt. ikke er så udbredt pga. relativ store meromkostning og relativ lave merbesparelse ift. central styring. Men rumbaseret styring bliver af særlig stor interesse, når ecodesign kravene for boligventilation skærpes i 2020, da det næsten er umuligt at opnå klasse A+ uden rumbaseret styring. Producenter der har udviklet og kan sælge et såda system billigt, har dermed ikke kun mulighed for en langt større markedsandel i DK, men med tiden også en unik og meget stor eksportmulighed.

Undersøgelser viser, at der kan opnås en besparelse på 20 – 30 % på varme (2.250 GWh/år) og el (40 GWh) ved behovsstyring af ventilation. Energibesparelsen skyldes et drastisk fald i ventilationsmængderne. Hertil en el-besparelse til drift af ventilatoren i det samlede system.

Det tidligere EUDP-projekt har dokumenteret at denne energibesparelse til ventilation reelt er højere og dokumenteret den til ca. 50% i et boligbyggeri. Således forventes en tilsvarende reduktion at kunne opnås med intelligente udsugningsarmaturer, som

dermed er et simpelt alternativ til ventilation med varmegenvinding i eksisterende byggeri, når denne er en installationsmæssig udfordring. Men der vil også være boliger hvor udsugningsmængderne vil være uændrede eller højere end oprindeligt, hvis den eksisterende ventilation ikke har været tilstrækkelig (pga. tilstoppede ventiler mv.). Her vil et korrekt (øget) luftskifte til forebyggelse af skimmelsvamp typisk øge energiforbruget. Men tilsvarende vil energiforbruget med det nye system ofte være markant lavere end for de eksisterende kontroludsugningssystemer, som forøges til det dimensionerede faste luftskifte, for at undgå skimmelsvamp, da der er behovsstyring.

Det er som udgangspunkt armaturet, der let skal kunne tilpasses montage i eksisterende udsugningsanlæg. Det udvikles med et modulerende åbne/lukke system med tilhørende indbygget styring. Armaturerne kan kommunikere med flere følere placeret i samme bolig/bygning. Nyudviklede aktuatorer, samt flytning af målepunkt til eksterne nyudviklede sensorteknologier medfører et lavt energiforbrug, der kan dækkes i en 1/2-1 års periode af det let udskiftelige indbyggede batteri.

Set up af system og kommunikation kan ske via app-funktion hvor det skal være muligt at overvåge batteri niveau, luftfugtighed, temperaturer og luftstrøm. Applikationen giver yderligere muligheder for synliggørelse af indeklima for beboerne/ejendomsfunktionær og alarm hvis RF gennem længere tid ligger over fx 80%.

Ventilationen kan dermed tilpasses boligens fugt belastning, sikre et godt behovsstyret indeklima og forebygge skimmelsvamp. De mobile, trådløse fugt sensorer kan placeres (tæt på) de steder hvor for høj fugt vil give grobund for skimmelsvampe eller andre fugtproblemer.

Systemet forventes demonstreret i en etageejendom, hvor der er etableret mekanisk udsugning, med korrekt luftskifte og dermed har et øget energiforbrug.

Det forventes at det endelige system, efter produktmodning, kan installeres og indreguleres på under 1/4 arbejdsdag pr lejlighed og det samlede system: 2 ventiler (ca. 3000,-), 3 følere og indeklimastation + applikation (ca. 1200), samt installation og del af den samlede indregulering (ca. 1300,-) skal kunne leveres til samlet installations pris ca. 5.500,- pr. lejlighed.

5. Baggrund

5.1. Opsummeret

Ventilationssystemer i etagebyggeri med mekanisk udsugning har et fast luftskifte pr. m². Der tages ikke højde for lejligheder med lav og varierende fugtbelastning, hvilket medfører et unødvendigt højt ventilationsniveau med tilsvarende spild af energi (el og varme). Undersøgelser viser, at der er en stor besparelse på 20 – 30 % på varme (2.250 GWh/år) og el (40 GWh) ved behovsstyring af ventilation. (ref. 1,2,3 og 5). Omsat til kr. ligger det forventede besparelspotentiale på ca. 1,2 mia. kr./år.

5.2. Beregning

Det samlede areal af etagebyggeri i DK udgjorde i 2009 omkring 100.707 [1000 m²] (ref.6). Beregningsmæssigt kan ventilationsvarmetabet sættes til på 45,5 [kWh/år] pr. m² gulvareal (ref. 8). Herved fås et totalt beregnet varmetab på 4.582 [GWh/år]. Krav om mekanisk udsugning i etagebyggeri kom med BR1982. Det samlede areal af etagebyggeri udgjorde i 1981 omkring 67.988 [1000 m²] (ref. 7). Beregningsmæssigt kan elforbruget sættes til 3,1 [kWh/år] pr. m² gulvareal med et specifikt elforbrug på 1000 [J/m³]. Det er vurderet, at omkring 25 % af etagebyggeriet fra før 1982 er forsynet med mekanisk udsugning og 100 % efter 1982, hvilket giver et beregnet samlet elforbrug på 154 [GWh/år].

Potentialet

Det samlede areal med mekanisk udsugning udgør således 49.716 [1.000 m²] i 2009. Med en forventet varmebesparelse på 20 % af ventilationsvarmetabet, er der således et besparelspotentiale på 2.262 [GWh/år] og med en el-besparelse på 25% er besparelspotentialet 38,53 [GWh/år] el.

Med en energipris på 0,50 [kr./kWh] varme og 2,00 [kr./kWh] el er det samlede besparelspotentiale over 1.2 mia. [kr./år].

Hertil kommer muligheden for implementering af løsningen i hotel- og kontorbyggerier med mange bade- og toiletrum.

Potentialet er reelt langt større hvis systemet yderligere anvendes til rumbaseret behovsstyring. Plug-and-play udsugningsløsningen med lave omkostninger muliggør en hurtig indtrængen på marked. Men samtidig kan systemet senere anvendes til rumbaseret behovsstyret boligventilation med varmegenvinding til en-familieboliger/ etageejendomme med decentral ventilation. Men rumbaseret styring bliver af særlig stor interesse, når ecodesign kravene for boligventilation skærpes i 2020, da det næsten er umuligt at opnå klasse A+ for boligventilationsanlæg uden rumbaseret styring. Producenter der har udviklet og kan sælge sådanne systemer billigt, har dermed ikke kun mulighed for en langt større markedsandel i DK, men med tiden også en unik og meget stor eksportmulighed inden for EU.

Pt. er EU forordningen angående energimærkning af ventilationsaggregater under revision. Der er lagt op til at styringen af systemerne får en meget stor indvirkning på

energimærkningen, så det ikke er muligt at få en A-mærkning med mindre at der er behovsstyring med individuelle sensorer og ventiler i hvert rum.

5.3. Lovgivningen - Bygningsreglementet

Ventilationsprincippet og tilhørende lovgivning til eksisterende etagebyggerier er utidssvarende og energislugende. Ventilationsprincippet består i dag i overvejende grad af naturlig ventilation gennem aftrækskanaler (primært i byggerier opført før 1982) og med kontroludsugning i alle etageboligbyggerier opført efter 1982.

Der er til dato primært "kun" udviklet nye og energieffektive ventilatorer og ventilationsaggregater. Der er ikke sket en tilsvarende udvikling af øvrige komponenter så som kontrolventiler og emhætter til hele systemløsningen.

Ventilationssystemer i etagebyggeri har generelt faste luftmængder pr. badeværelse, toilet og køkken uden hensyntagen til boligens størrelse, antal beboere og dermed benyttelsesgrad. Der tages ikke hensyn til boliger med lav og varierende belastning eller boliger hvor kravet til luftmængder medfører et luftskifte som langt overstiger lovgivningens krav på 0,5 gang i timen. Dette medfører et unødigt højt ventilationsniveau med tilsvarende energispild (varme og el).

Det vil i princippet være muligt at udnytte energien i udsugningsluften med en luft/væske varmepumpe, hvor energien kan bruges til forvarmning af fx varmt brugsvand eller varme. Denne systemløsning har dog aldrig slået igennem i Danmark. Det kan skyldes flere ting; og hænger til dels sammen med den store udbredelse af fjernvarmeinstallationer, hvor energiprisen er lav og selve investeringsniveauet til systemløsningen.

5.3.1. Behovsstyring

De fremtidige reglementer bør åbne op for mere vidtgående behovsstyringsstrategier end indeholdt i BR2018. Her tænkes først og fremmest på de situationer som:

- Tilstedeværelse i boligen med relativ lav person- og fugtbelastning i forhold til boligens gulvareal.
- Ingen tilstedeværelse i boligen i længere tid grundet arbejde, arrangementer, ferie m.m.

Specielt om vinteren, hvor udeluften har et lavt absolut vandindhold kan den relative luftfugtighed i boligen i de fleste tilfælde holdes på et acceptabelt niveau ved en lavere ventilationsmængde end 0,3 liter/s pr opvarmet gulvareal. I flere aktuelle tilfælde har de funktionsbaserede krav resulteret i meget tør luft med gener til følge i form af tørre slimhinder og sprækker i trægulve. I det svenske bygningsreglement: "Regelsamling för byggnade, BBR", Boverket, 2012 står følgende tekst:

Ventilationssystem ska utformas för ett lägsta uteluftsflöde motsvarande 0,35 l/s per m² golvareal. Rum ska kunna ha kontinuerlig luftväxling när de används.

I bostadshus där ventilationen kan styras separat för varje bostad, får ventilationssystemet utformas med närvaro- och behovsstyrning av ventilationen. Dock får uteluftsflödet inte bli lägre än 0,10 l/s per m² golvareal då ingen vistas i bostaden och 0,35 l/s per m² golvarean då någon vistas där.

Hvilket betyder at det er muligt at reducere luftstrømmen i boliger til under 0,35 l/s pr opvarmet etageareal, hvis det kan sikres at der ikke er personer til stede i boligen.

Omsættes de danske BR18 krav til luftmængder i afhængighed af boligens størrelse fås følgende sammenhænge (Behovsbaseret boligventilation med fugtstyring, J. nr. 64011 – 0035 (EUDP 11 – 1)):

Gulv areal [m ²]	0,3	1 køk.	1 køk.		1 køk.	1 køk.
	[(liter/(s m ²))]	1 bad	2 bad		1 bad	2 bad
	[(liter/s)]	[(liter/s)]	[(liter/s)]		[(liter/(s m ²))]	[(liter/(s m ²))]
50	15	35	50		0,3	1,00
55	17	35	50		0,3	0,91
60	18	35	50		0,3	0,83
65	20	35	50		0,3	0,77
70	21	35	50		0,3	0,71
75	23	35	50		0,3	0,67
80	24	35	50		0,3	0,63
85	26	35	50		0,3	0,59
90	27	35	50		0,3	0,56
95	29	35	50		0,3	0,53
100	30	35	50		0,3	0,50
105	32	35	50		0,3	0,48
110	33	35	50		0,3	0,45
115	35	35	50		0,3	0,43
120	36	35	50		0,3	0,42
125	38	35	50		0,3	0,40
130	39	35	50		0,3	0,38
135	41	35	50		0,3	0,37
140	42	35	50		0,3	0,36
145	44	35	50		0,3	0,34
150	45	35	50		0,3	0,33
155	47	35	50		0,3	0,32
160	48	35	50		0,3	0,31

Figur 2: Luftstrøm i lejligheder efter størrelse

Af ovenstående figur kan det ses, at det nuværende bygningsreglement BR218 giver et "balancepunkt" ved omkring 115 m² gulvareal og ét bad, og over 160 m² og to baderum. Der er med andre ord store besparelspotentialer for små lejligheder og lejligheder med to badeværelser.

I DS/EN 15251: "Input-parametre til indeklimaet ved design og bestemmelse af bygningers energimæssige ydeevne vedrørende indendørs luftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustik", 2007-06-22 er minimums værdien 0,05 - 0,10 liter/(s m²) nævnt for boliger i de tilfælde uden person tilstedeværelse.

SBi har lavet flere undersøgelser af styring af ventilation ift. den relative fugtighed og overordnet bekræfter undersøgelserne at det er en god parameter, hvilket underbygger

de indikationer og resultater, som er til grund for dette projekt, (Bergsøe og Afshari, fugtstyret boligventilation).

Styring af ventilationen efter rumluftens fugtighed åbner mulighed for at reducere elforbruget til drift af ventilatorerne, samtidig med at der opretholdes et tilfredsstillende indeklima. Anskuet ud fra et fugtrelateret synspunkt er indeklimaet i lejligheder med fugtstyret ventilation forbedret væsentligt i forhold til indeklimaet i uberørte lejligheder og også i forhold til lejligheder med traditionel mekanisk udsugning.

Resultater tyder på, at idéen om at styre ventilationen i etageboliger efter behovet og at anvende rumluftens relative fugtighed som styringsparameter kan anvendes.

Når udsugningen styres efter behovet, kan udsugningen i perioder være lavere end gældende bestemmelser og i andre perioder højere. Ved hensigtsmæssig brugeradfærd er det muligt i gennemsnit at reducere udsugningen i forhold til gældende bestemmelser. Herved opnås en reducere af energiforbruget såvel til driften af ventilatorerne som til opvarmning af den tilførte udeluft.

6. Kravsspecifikationer

6.1. Baggrund

En traditionel udsugningsventil, som fx Lindab KSU, monteres direkte i en udsugningskanal i badeværelset. Her skal en ventilationstekniker indregulere, så der udsuges den nødvendige luftmængde iht. lovgivningen. I almindeligt boligbyggeri i Danmark, vil forceringskravene være 15 l/s for et badeværelse og 20 l/s for et køkken. Dertil kommer grundventilationsbehovet på 0,3 l/s pr opvarmet etageareal som alt efter størrelsen af lejligheden bliver dækket eller ej af forceringskravene.

Brugeren kan efter indregulering selv dreje på ventilen, hvilket vil ændre luftstrømmen og i værste fald kan luftstrømmen blive reduceret til et minimum som ikke kan fjerne bl.a. fugt og afgasninger fra boligen.



Figur 3: Traditionel udsugningsventil fra Lindab

For boliger med ventilationsanlæg opført efter 1982 og før 2008, vil udsugningen være konstant og kravet til udsugning i fugtbelastede rum bliver ikke differentieret iht. boligens størrelse. For mindre lejligheder på 40 – 60 m² med en rumhøjde på 2,3 m, betyder det, at der er en konstant luftstrøm gennem udsugningsventilerne i bad og køkken på 35 l/s svarende til et luftskifte på hhv. 1,4 til 1,1 gang i timen. Dette er mere end dobbelt så højt som det anbefalede luftskifte på 0,5 h⁻¹.

Dette kan føre til at nogle brugere lukker ventilerne i for at undgå træk og højt energiforbrug til opvarmning. Hvis der ikke er trykstyring på ventilatoren (hvilket der oftest ikke er for ventilationsanlæg med konstant luftmængde) og en beboer i et etagebyggeri lukker sine ventiler i, betyder det at luftstrømmen i de resterende lejligheder vil øge tilsvarende. Dette giver anledning til træk og støjgener i de resterende boliger og så ruller snebolden.

6.2. Specifikationer

Den intelligente udsugningsventil skal kunne erstatte de traditionelle udsugningsventiler, ved blot at udskifte den gamle med den nye uden at en elektriker skal forbinde ledninger.

Den nyudviklede ventil skal:

 Holde batteri i minimum 1 år

 Sikre tilstrækkelig ventilation ift. fugt

I projektet er det valgt at behovsventilationen har følgende set-punkter for forcering:

 Relativ luftfugtighed > 50 %

Når der ikke er personer til stede, reduceres luftstrømmen til 0,1 l/s pr m². Når der er personer til stede er ventilationen 0,3 l/s pr m². Ved fugtbelastning der giver en relativ fugtighed indendørs på mere end 55 % øges ventilationsraten ift. den aktuelle fugtighed. Ved en relativ fugtighed mere end 70 % er ventilationen på max.



Figur 4: Den nyudviklede ventil kan placeres direkte i en kanal

Nærværende undersøgelser er gennemført som led i et forsøgsprojekt og under særlige vilkår. Det understreges, at det efter gældende bestemmelser ikke er tilladt at anvende styringsprincipper for ventilationen i etageboliger, som kan medføre, at bygningsreglementets krav til udelufttilførslen underskrides.

6.3. anbefalinger

Projektets resultater kan allerede anvendes under det gældende bygningsreglement, da reglementet giver mulighed for behovsstyring – dog skal styringen konfigureres til at udsugningen overholder minimumslovkravet.

Resultaterne bør desuden også give inspiration til de kommende bygningsreglementer med hensyn til muligheder og krav.

6.4. Energy harvesting

Som led i projektet afklares mulighederne for udvikling af en yderligere udgave af armaturet, hvor en del af fladen mod rummet er dækket af PV, der løbende lader batteriet op og forlænger levetiden, via det beskedne dagslys/kunst-lys. De mobile følere, der hver kan registrere fugt, temp. og CO2 indeholder ligeledes genopladeligt batteri og kan om relevant også forsynes med PV energy-harvesting.

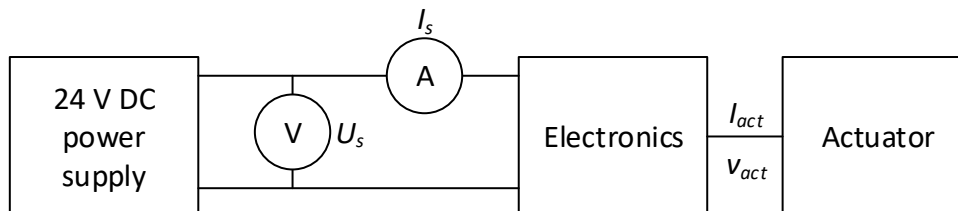
Det blev undersøgt at finde en optimal energy harvesting metode, for at undgå at batterierne skal udskiftes. Det var desværre ikke muligt at finde en løsning med PV på armaturet eller en propel i kanalen, da den energimængde der kan høstes, ikke er tilstrækkelig til at drive aktuatoren til ventilen.

7. Indledende beregninger

De indledende beregninger skal give et estimat for, hvor meget energi der skal bruges til at køre ventilen frem og tilbage. På baggrund af dette kan der laves beregninger, der viser hvor mange batterier der skal til for at det samlede system har en fornuftig levetid, inden batterierne skal skiftes.

7.1. Målinger

Elektronikken var forbundet til 24 V DC strømforsyning. Den tilførte strøm (I) og spændingen (U) blev målt som vist i Figur 5.



Figur 5: Tegning over måleopsætning

Analyse over elforbruget blev udført ved individuelt at ændre følgende parametre:

- Maksimal elektrisk strøm til aktuatoren I_{act} : 140, 230, 360, 550 and 810 mA
- Hastighed af aktuatoren v_{act} : 0.5, 1, 1.5, 2, 3 and 4 mm/s.

Andre indstillinger for at drive aktuatoren var default.

Følgende antagelser blev anvendt til at beregne levetiden for batteriet:

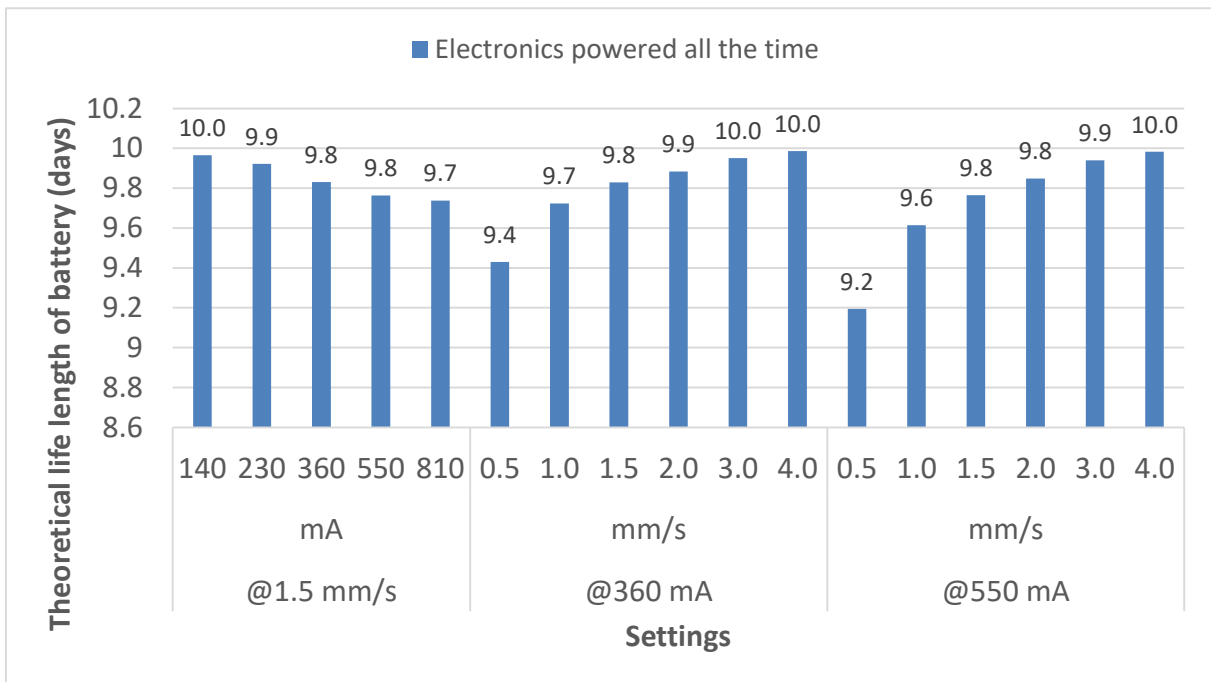
De justerbare dele på Airy ventilen rykker 18 mm fra lukket til åben position 10 gange pr dag (5 cykler).

- Nominel kapacitet på et 1,5 V AA batteri er 2600 mAh (største kapacitet for et AA-batteri tilgængeligt på markedet)
- Batteriet opretholder sin nominelle spænding, indtil kapaciteten falder til 0 mAh.

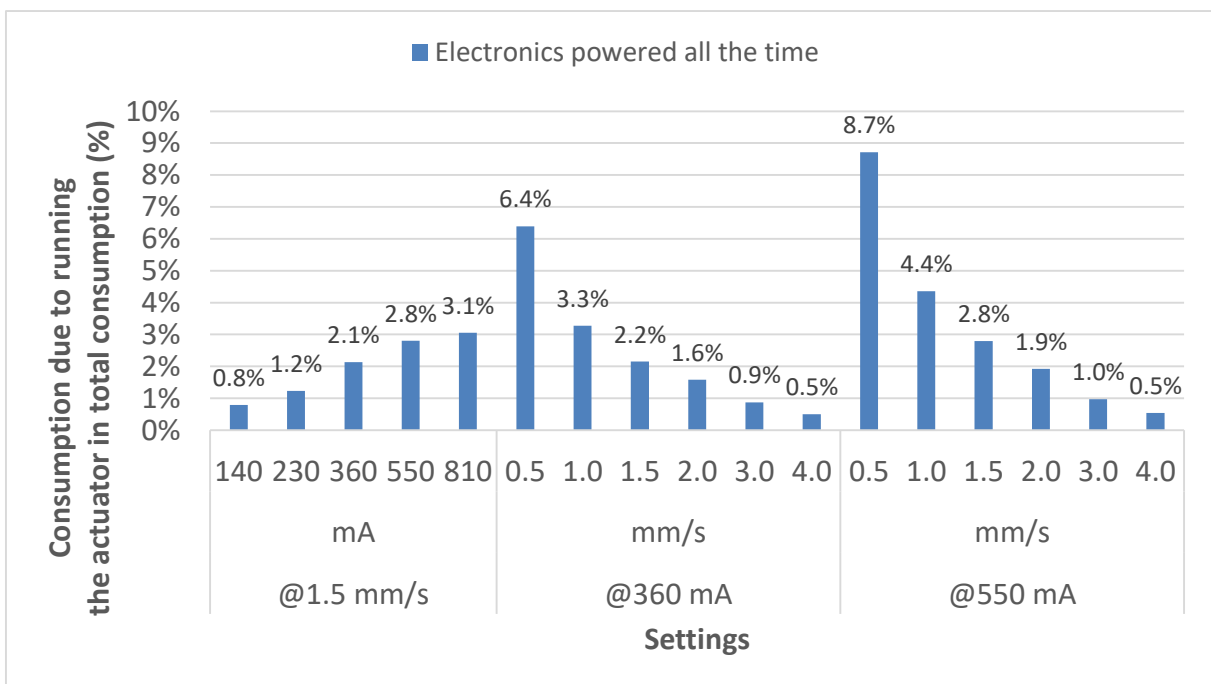
7.2. Resultater

Tilførselsstrømmen for elektronikken, når aktuatoren kører, er ca. 10,8 mA. Når aktuatoren kører er strømforsyningen i intervallet mellem 60 og 250 mA afhængigt af de valgte parametre. Forsyningsspændingen er ca. 23,6 V.

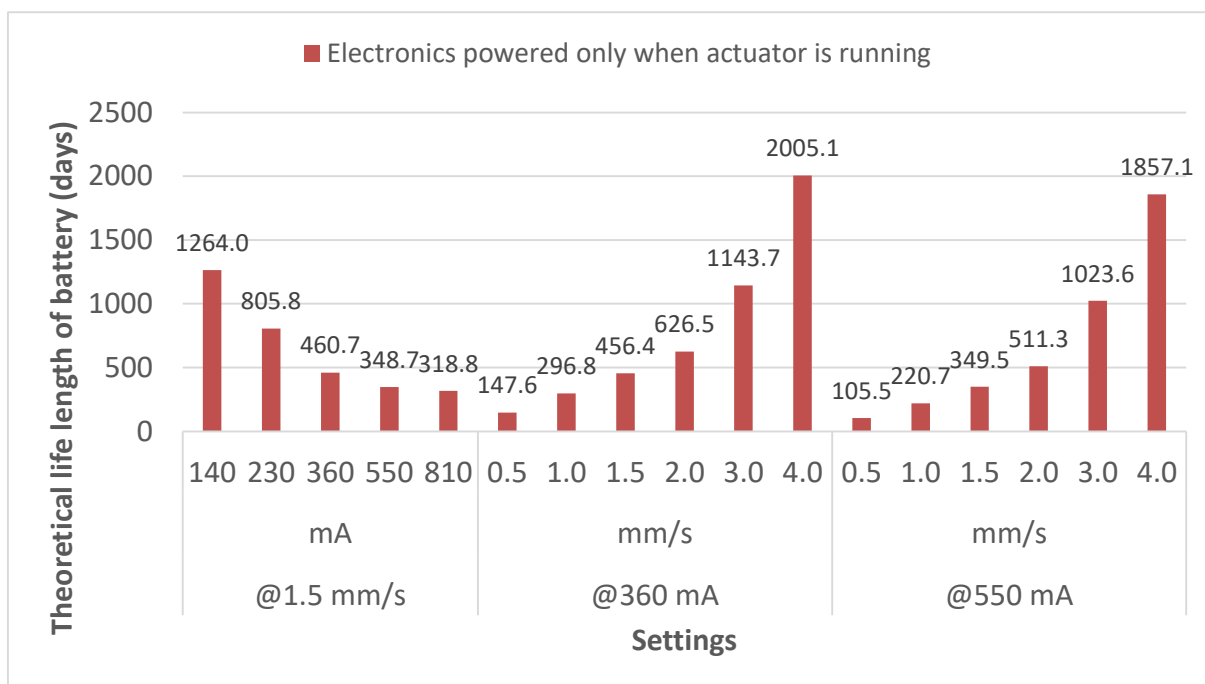
Den teoretiske levetid for batteriet med en kapacitet på 2600 mAh beregnes i tre forskellige tilfælde (med forskellige parameter indstillinger).



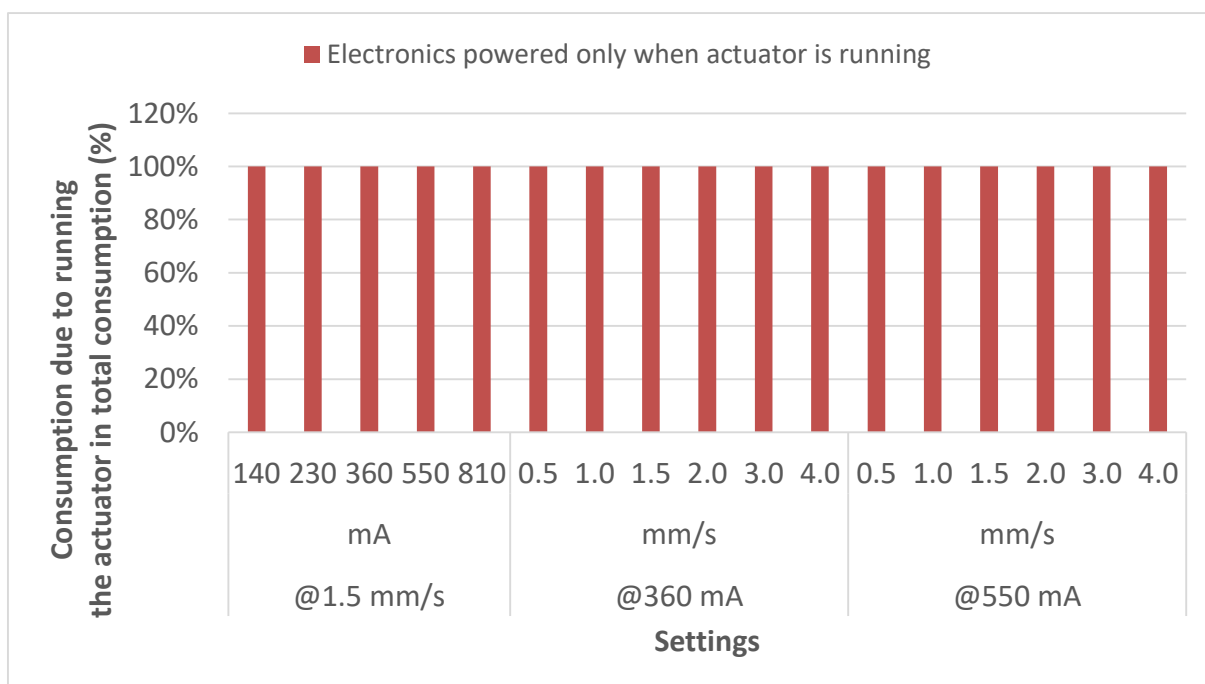
Figur 6: Elektronikken er tændt hele tiden



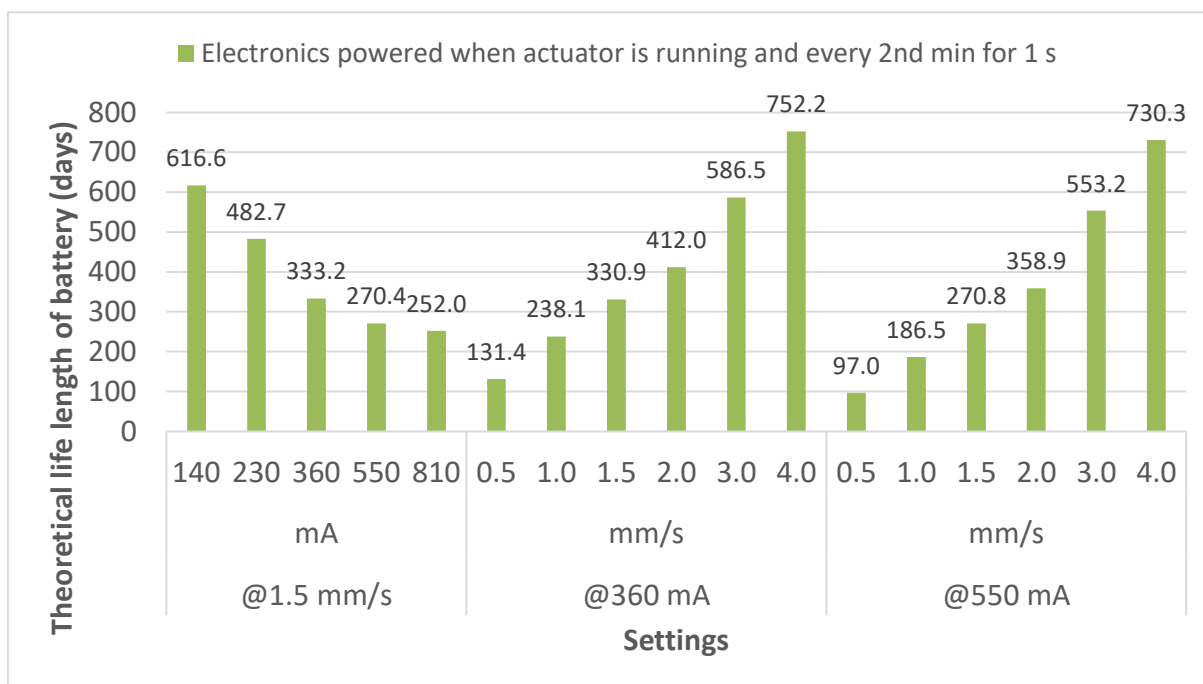
Figur 7: Teoretisk levetid for batteriet (Figur 6) og forbrug til at drive aktuatoren (denne figur) når elektronik er tændt hele tiden



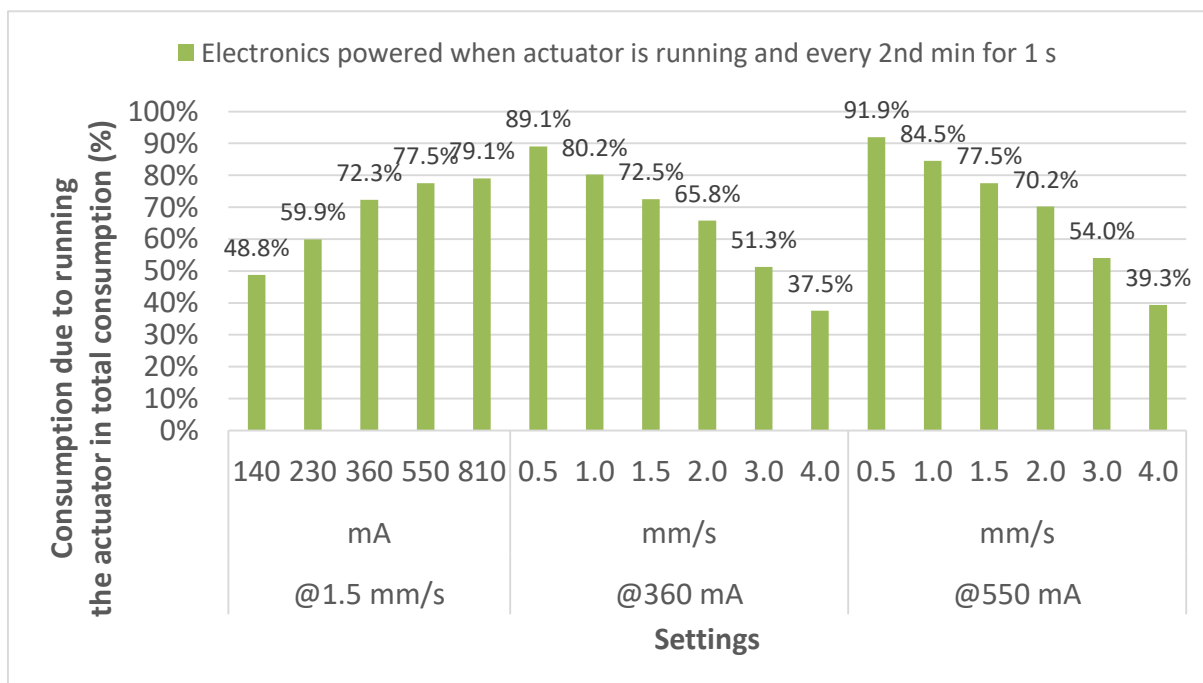
Figur 8: Elektronik kun tændt når aktuatoren er aktiv



Figur 9: Teoretisk levetid for batteriet Figur 8 og forbrug på grund af at køre aktuatoren (denne figur) hvor elektronik kun er tændt når aktuatoren er aktiv.



Figur 10: Elektronik er tændt når aktuatoren er aktiv og hvert 2. minut i 1 sekund



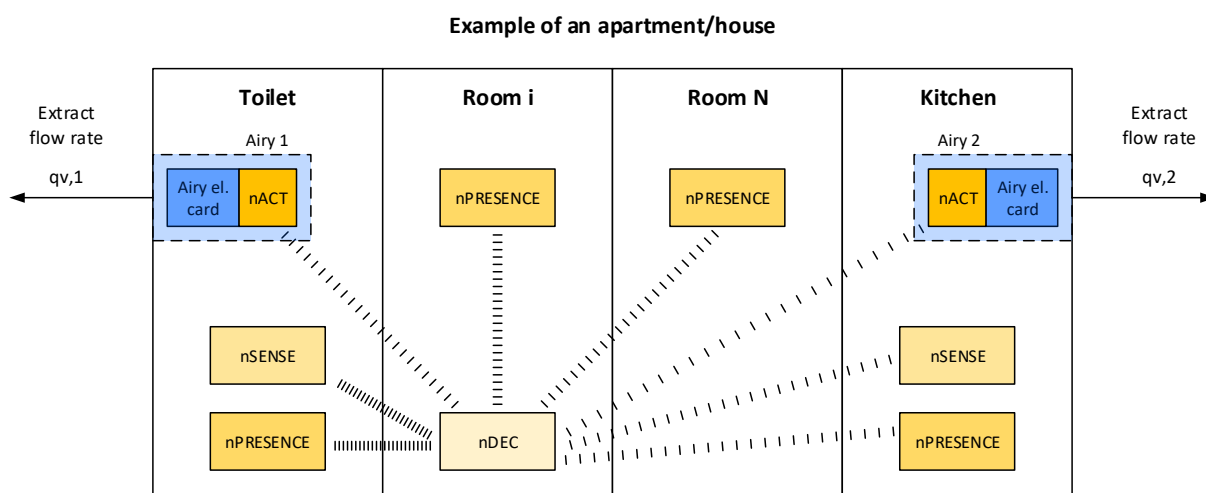
Figur 11: Teoretisk levetid for batteriet (Figur 10) og forbrug til drive aktuatoren (denne figur) hvor elektronik er tændt når aktuatoren er aktiv og hvert 2. minut i 1 sekund

7.3. Konklusioner og kommentarer

- De præsenterede beregninger blev udført under forudsætning af, at Airys justerbare del bevæger sig 18 mm mellem maks og min 10 gange om dagen (5 cykler). Den nominelle kapacitet på et 1,5 V AA batteri er 2600 mAh. Batteriet opretholder sin nominelle spænding, indtil kapaciteten falder til 0 mAh.
- De præsenterede resultater viser at levetiden for batteriet er længere, hvis aktuatoren kører hurtigere og med mindre elektrisk strøm. De endelige parameterindstillinger vil dog blive defineret med hensyn til den nødvendige mekaniske ydeevne. Det forventes, at de endelige parameterindstillinger vil ligge inden for de intervaller, der præsenteres i denne undersøgelse
- I case 1, hvor der er tændt for elektronikken hele tiden, vil batteriet leve mellem 9,2 og 10 dage. Det meste af det samlede forbrug skyldes selve automatikken, når aktuatoren kører
- I case 2 gives et bud på den teoretiske maksimum for batteriets levetid for forskellige parametervalg, når der kun er tændt for elektronikken, når aktuatoren kører. Batterilevetiden er her mellem 105 og 2005 dage.
- Elektronikken kan programmeres så der kun er tændt/strøm på, når der er kommunikation mellem enhederne og når aktuatoren skal køre. Dette er præsenteret i case 3, hvor batterilevetiden vil være mellem 97 og 752 dage. Her er det antaget at der er strøm på når aktuatoren kører samt hvert 2. minut i 1 sekund.
- Det skal bemærkes, at der ikke er implementeret trådløs kommunikation i elektronikken (endnu). Den trådløse kommunikation er derfor ikke en del af de første målinger og beregninger. Dette er ikke ubetydeligt og kan have påvirkning af batteriets levetid.

8. Kommunikation mellem enhederne

For at opnå optimal styring er det valgt at have bevægelsessensor i alle rum og fugtsensor i de fugtbelastede rum, se Figur 12



Figur 12: kommunikation mellem enhederne



Figur 13: Kommunikation fra sensorer til n_dec og ventil (Airy)

Kommunikationen sikrer at minusventilationskravet kan overholdes, når der er personer til stede samtidig med at luftstrømmen styres efter det aktuelle fugtniveau.

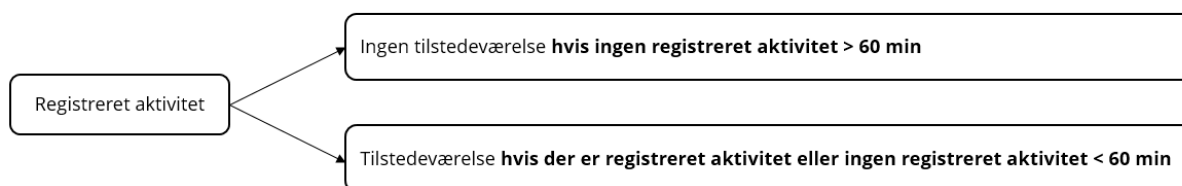
8.1. Styling

Det er valgt at styre ventilen efter fugt og bevægelse. Stylingen af fugt beror på at sikre boligens sundhed. Stylingen af bevægelse er valgt ud fra et energibesparelses-perspektiv.

Når der er bevægelse og/eller luftfugtigheden er over 50 %, så øges udsugningsmængden til det respektive åbningsareal ift. fugtbelastningen. Det er valgt at ventilen ikke skal åbne hurtigt op til maksimal åbning, da dette vil være bekosteligt for batterilevetiden. Hvis luftfugtigheden er over 70 %, så er ventilen i den forudindstillede maksimale åbningsposition. Når den relative luftfugtighed falder, så kører ventilen langsomt ind mod forudindstillet minimums åbningsposition.

Bevægelsessensoren sikrer at der er tilstrækkelig ventilation i henhold til Bygningsreglementet, når der er personer til stede.

Fugtsensoren n_{sense} måler/detekterer den relative fugtighed og bevægelse en gang i minuttet. Baseret på bevægelse, evalueres det om der er personer til stede i boligen.



Når der ingen personer er til stede og den relative luftfugtighed er lavere end 50 %, vil luftstrømmen være 0,1 l/s pr m². Når der registreres aktivitet i boligen, så vil luftmængden øges til 0,3 l/s pr m². Når der registreres fugt, uanset om der er aktivitet eller ej, åbnes ventilen til den respektive åbningsgrad ift. fugtbelastningen. Hvis den relative fugtighed er større end 70 %, vil ventilen være i den forudindstillede maksimale åbningsposition, se evt. Figur 14.

8.2. Fugtsensor

Ved at styre efter fugt, sikres det at boligen altid vil have et lavt fugtniveau. Fugtsensoren placeres i boligens fugtbelastede rum, hvilket i etagebyggeri oftest er køkken og badeværelse.

For at lave systemet så enkelt som muligt, styres der efter den relative fugtighed. Dette betyder i praksis at udsugningsmængden vil være høj når udeluftfugtigheden er høj. Dette vil typisk være i sommerhalvåret, hvor der ikke er et opvarmningsbehov, og det er derfor valgt at dette er acceptabelt, da varmetabet gennem udsugningsluften vil være begrænset. Det kan i varme perioder med stillestående luft, være fordelagtigt at få bevægelse i luften.

Ventilen åbner helt op, når fugtniveauet er større end 50 %. Der efter vil ventilen køre ned i åbningsgrad, når fugtigheden falder.

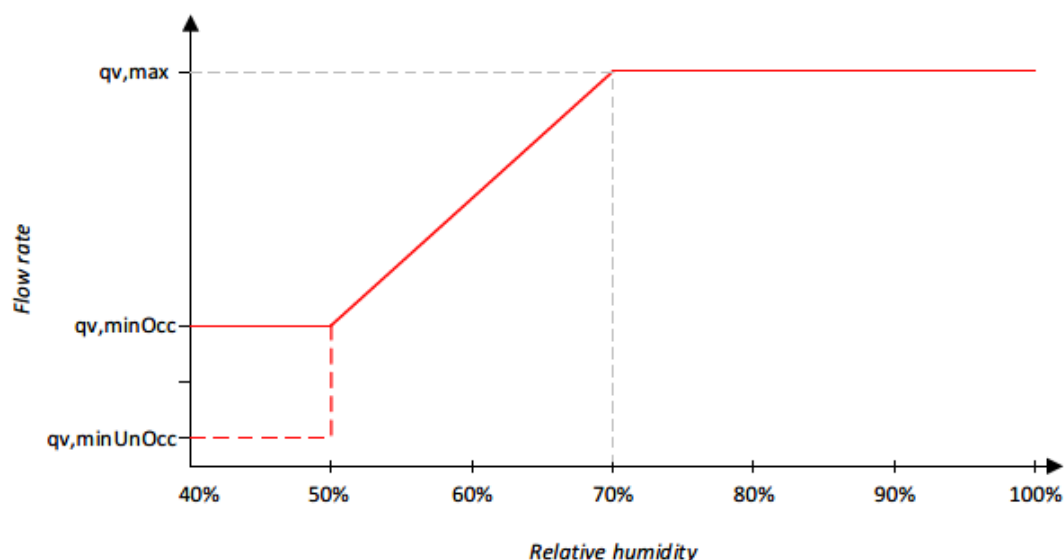
8.3. Bevægelsessensor

Når fugtniveauet er lavt (under 50 RH) og der ingen aktivitet er i boligen køres ventilen ned i minimum. Dette sikrer at udsugningsmængden i boligen er lav og der er derved et minimum varmetab gennem udsugningen.

Det er i projektet valgt, at luftmængden ved minimum skal være 0,1 l/s pr opvarmet etageareal. Det lave luftskifte vil kun være gældende, når der ingen personer er til stede i boligen og der ingen fugtudvikling er. Fugtsensoren vil altid overstyre at der ingen personer er til stede, så hvis der fx er vasketøj til tørre men ingen personer til stede, så vil luftmængden være høj, så længe at den relative fugtighed er over 50 %.

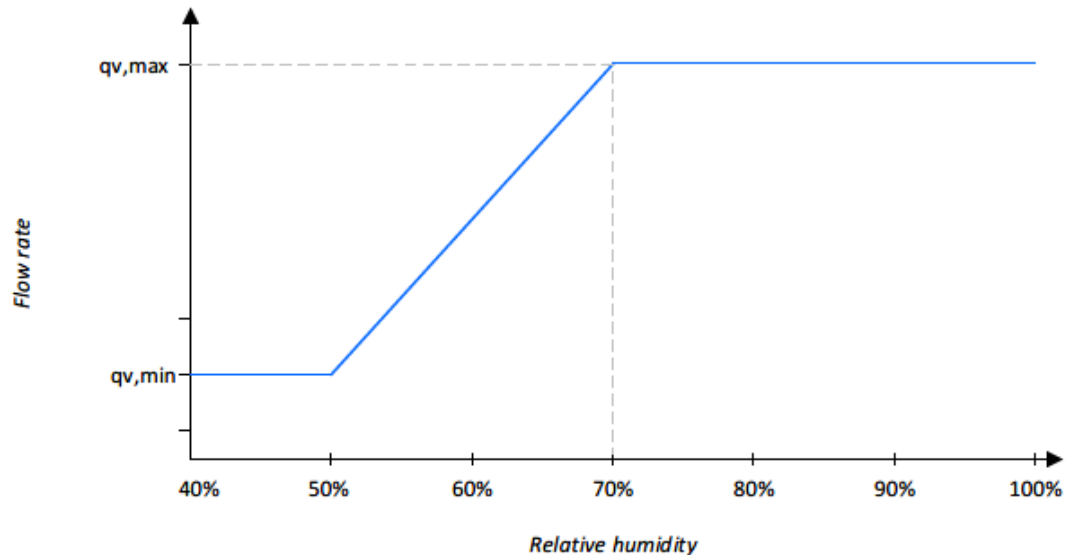
Ved at have en bevægelsessensor sikres det at der er tilstrækkeligt luftskifte i forhold til Bygningsreglementet, når der er personer til stede i boligen. Hvis der ikke er en bevægelsessensor, vil der altid være lavt luftskifte, når den relative luftfugtighed er under 50 %. Dette kan være u hensigtsmæssigt i forhold til produktionen af CO₂ og andre forureningsstoffer i indeluften, som ikke detekteres af fugtsensoren.

Case with occupancy as a variable



Figur 14: Luftstrøm gennem ventilen som funktion af den relative fugtighed, hvor der anvendes bevægelse som en aktiv variabel

Case without occupancy as a variable



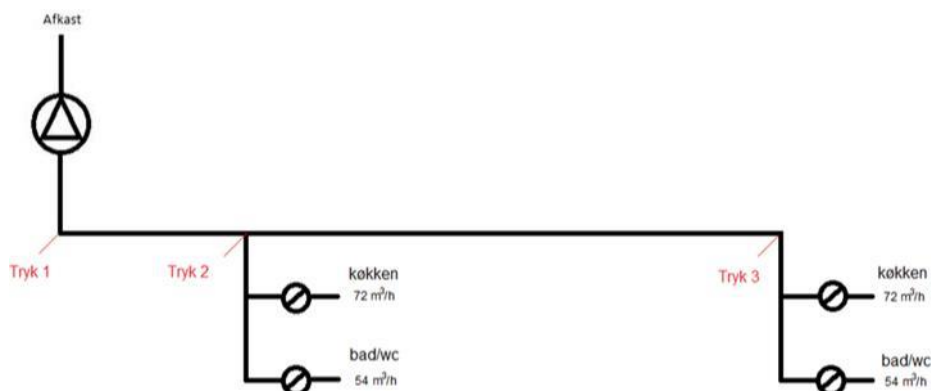
Figur 15: Luftstrøm gennem ventilen som funktion af den relative fugtighed, hvor der ikke anvendes bevægelse som en aktiv variabel

8.4. Central ventilator

Den centrale ventilator som driver udsugningen fra de enkelte lejligheder, kan enten være med

- Konstant omdrejningstal eller
- Trykstyret efter et repræsentativt tryk i den centrale udsugningskanal

Det anbefales at trykstyre ventilatoren, så energiforbruget reduceres, når der er et lavt ventilationsbehov. Tidligere undersøgelse viser at det er fordelagtigt at styre frekvensomformereren af et målepunkt, placeret i den fjerneste ende af kanalsystemet (tryk 3 i Figur 16), da man på denne måde er sikker på at minimumskravene ift. brand er overholdt til en hver tid.



Figur 16: Principtegning over styring af central ventilator efter tryk 1, tryk 2 eller tryk 3

9. Test i Energy Flex House

Der blev udført en indledende test af kommunikationen mellem udsugningsventilen (4 x Airy) og sensorerne (4 x sense). Der blev målt fugt og temperatur. Bevægelsessensoren var ikke klar til test.

Fugt og temperatur blev målt af en standard sensor fra New Nordic Engineering, som er modificeret og programmeret til at kunne kommunikere med Lindabs udsugningsventil, Airy.

Kommunikationen er lavet med følgende parametre til baggrund:

Par.	Variable	Description
	<i>RH</i>	Relative humidity
	<i>T</i>	Temperature
	<i>PresenceLocal</i>	Local presence in the room
	<i>PresenceGlobal</i>	Global presence in the house/apartment
	<i>OccupancyLocal</i>	Local occupancy in the room
	<i>OccupancyGlobal</i>	Global occupancy in the house/apartment
	<i>Status,nACT</i>	(1) OK (2) NOT OK = No wireless signal from nDEC in the last Δt , <i>WirelessCheck</i>
	<i>AiryPosition</i>	Position of the cone in Airy
	<i>AiryFlowRate</i>	Extract flow rate in Airy
	<i>AiryBatteryVoltage</i>	Voltage of 4xAA batteries connected in series
	<i>Status,Airy</i>	(1) OK (2) Actuator disconnected (3) Low battery level: <i>BatteryVoltage</i> < <i>BatteryVoltageLimit1</i> [4 V] (4) Lowest battery level: <i>BatteryVoltage</i> < <i>BatteryVoltageLimit2</i> [3.6 V]

Figur 17: Parametre til styring af ventil

Parametrene er valgt ud fra at der skal holdes en ventilationsrate som sikrer at det relative fugtindhold i indeluften ikke er 45 %. Der ud over køres ventilationsraten ned i et minimum, når der ikke er personer til stede i boligen.

9.1. Resultater af indledende test

Testen viste at sensorerne reagerer ved at åbne når fugten stiger og reducere åbningen når fugten falder. Lukning/åbningsgraden er ikke helt ens for alle fire ventiler, hvilket skyldes forskellig forindstilling. Ventil 1, 3 og 5 regulerer stort set ens, se Figur 18.

Alle ventiler er 100 % lukkede ved en højde på 1,8 mm. Når der indsættes batterier i ventilen, er udgangshøjden som følger:

Ventil 1 har en højde på 1,1 cm

Ventil 3 har en højde på 1,6 cm

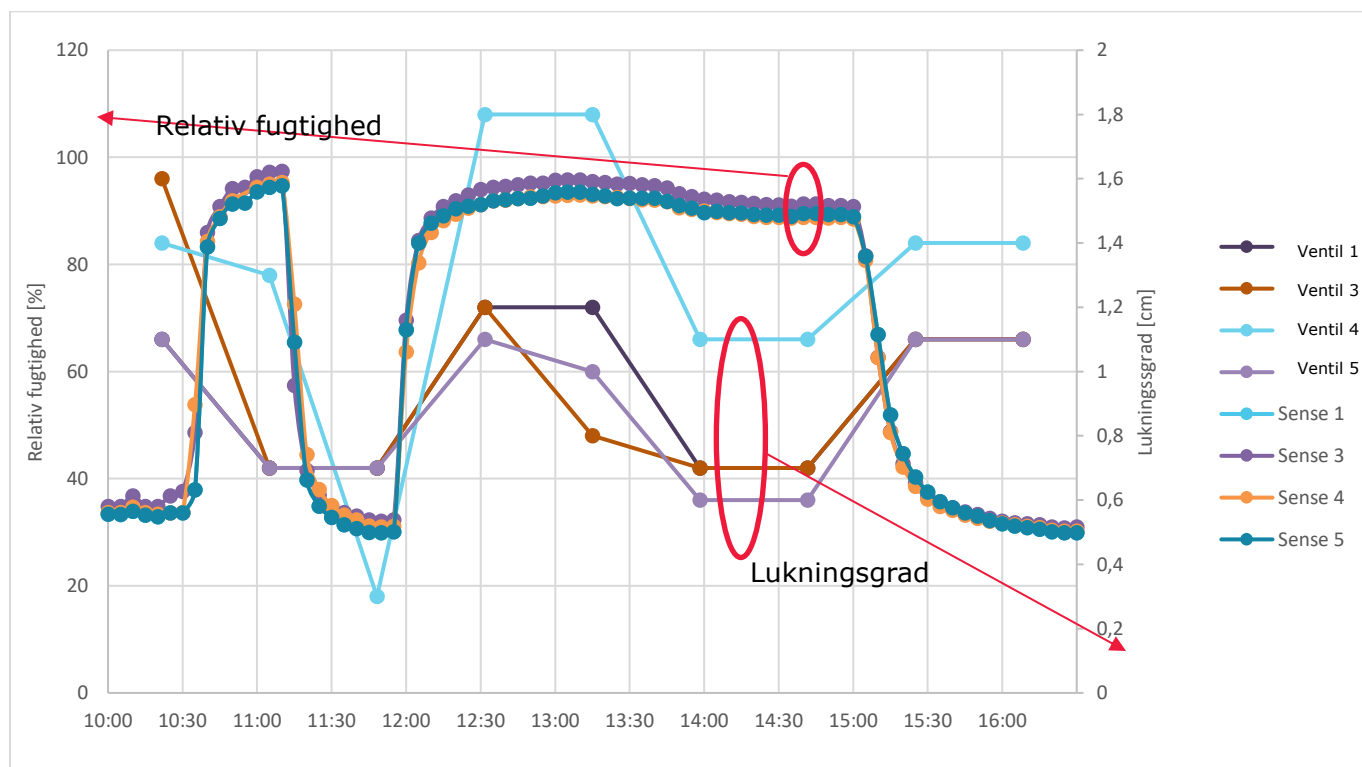
Ventil 4 har højde 1,4 cm

Ventil 5 højde 1,1 cm

Ventilerne har derfor ikke samme udgangspunkt ved testen.

Fremadrettet er det vigtigt at have 100 % styr på åbningsgraden for at få den rette indregulering i forhold til luftstrømmen og trykniveauet i ventilen.

'Lukningsgraden' er målt ved at måle længden af spindlen, hvilket giver at når åbningsgraden er høj er ventilen lukket og når åbningsgraden er større, er ventilen lukket, se Figur 18.



Figur 18: Lukningsgrad af Ventil 1, Ventil 3, Ventil 4 og Ventil 5 i forhold til fugtniveauet målt i tilhørende sensor, hhv. sense1, sense3, sense 4 og sense 5.

9.2. Batterilevetid

De indledende beregninger og tests af batterilevetiden viste at ventilen kan køre i et interval på alt mellem 10 og 2005 dage. Den trådløse kommunikation var ikke taget med I disse beregninger.

Under testen af den samlede løsning med Lindabs ventil (Airy) samt New Nordic Engineering's sensorer, var den reelle levetid før batteriskift 5 dage.

Dette skyldes at sleep mode ikke var implementeret i de testede prototyper. Dette kan optimeres fremadrettet ved at programmere ventilen til kun at 'vågne' og reagere, når der er en signifikant ændring i fugtniveauet eller når bevægelsessensoren aktiveres – når der ikke er behov for det vil ventilen være i sleep mode. Dette vil reducere energiforbruget og øge batterilevetiden til 330-360 dage.

Dette er præsenteret i case 3, hvor batterilevetiden vil være mellem 97 og 752 dage. Her er det antaget at der er strøm på når aktuatoren kører samt hvert 2. minut i 1 sekund.

Yderligere analyser viser at batterilevetiden vil være mellem 330-360 dage, hvilket er målet for at produktet er funktionsdygtigt i en bolig. Det har desværre ikke været muligt at integrere dette indenfor projektperioden, men det kan gøres ved videreudvikling af prototypen.

Det er planlagt at Lindab kommercielt går videre med ventilen og reducerer strømforbruget til et absolut minimum og levetiden vil derefter være i omegnen af et år.

10. Test i etagebyggeri

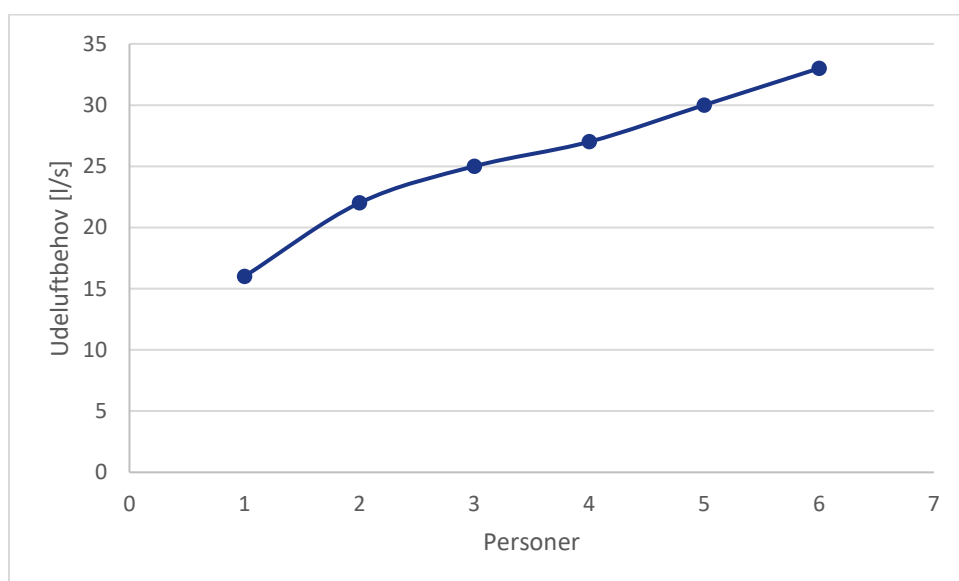
Der blev lavet test i en enkelt lejlighed i et etagebyggeri. Udsugningen i lejligheden sker gennem en traditionel udsugningsventil i køkken og bad. Luftstrømmen er konstant og der er ingen regulering på den centrale ventilator, der er placeret på loftet.

Lejligheden ligger på 3. sal og der er ikke lavet korrigerende tjek af udsugningen i de enkelte lejligheder siden hele ejendommen blev renoveret i 2013. Udsugningsmængden i de enkelte lejligheder, kan derfor være ændret af beboerne siden indreguleringen.

I den aktuelle lejlighed blev den konstante udsugning målt til ca. 22 l/s i badeværelset og 25 l/s i køkkenet – samlet 47 l/s.

Lejligheden er på 90 m², hvilket giver et grundventilationsbehov (efter nuværende Bygningsreglement BR18) på 27 l/s og et forceringsbehov på 15 l/s i bad og 20 l/s i køkken. De 47 l/s er derfor langt over minimumskravet ift. BR18.

Ved at dele ventilationsbehovet ud på udsugningen i køkken og bad med 50 % til hver, vil grundventilationen gennem ventilen i badeværelset være ca. 13,5 l/s. Dette vil være minimumsventilationen ved konstant udsugning.



Figur 19: Udeluftbehov ift. personbelastning indendørs

10.1. Test

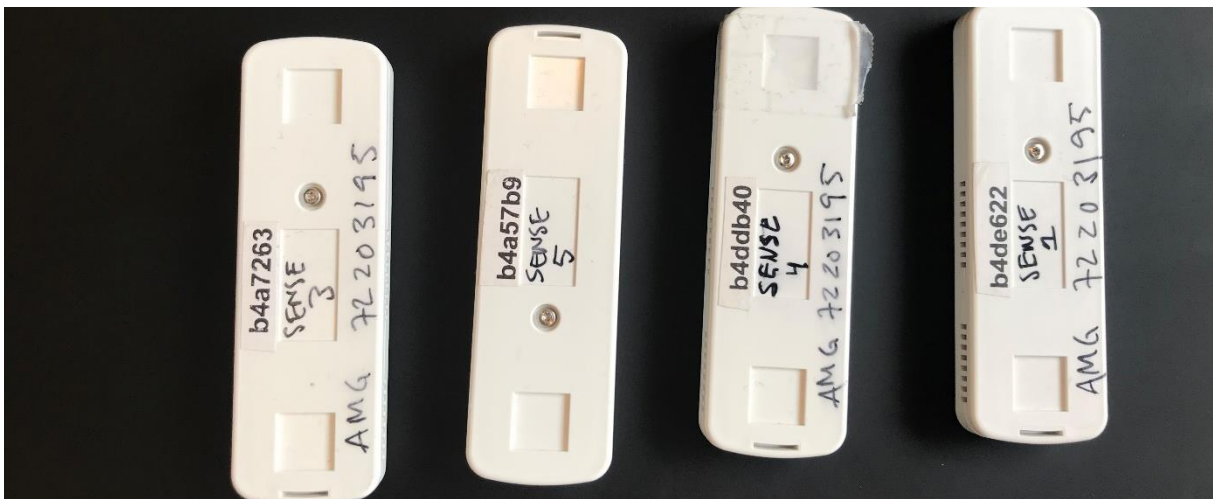
For at lave testen med konstant udsugning sammenlignelig med den intelligente behovsstyrede udsugning, blev ventilationsraten i badeværelset indreguleret (i ventilen) til 14 l/s, cirka svarende til BR18- kravet. Luftstrømmen blev indreguleret ved at måle med en Kimo tragt $k=20$ og TSi lufthastighedsmåler. Derefter blev luftstrømmen overvåget og logget ved brug af en målebøjning, se Figur 20.



Figur 20: Målebøjning og TSi hastighedsmåler

Fugten i badeværelset blev øget ved at tænde for et varmt brusebad ved standard 38 grader og lade vandet løbe i 10 minutter. Under hver test var døren ud til badeværelset lukket. Der er en spalte under døren som sikrer at udsugningen kan ske på trods af at døren er lukket.

Fugten blev målt med NNE sense fugt-sensorer, se Figur 21.



Figur 21: New Nordic Engineering (NNE) sense fugtsensorer

Testen skal demonstrere hvor effektiv den udviklede ventil er til at fjerne fugten fra badeværelset, når der er behovsstyring efter de valgte kriterier, hvor åbningsgraden regulerer efter fugtigheden.

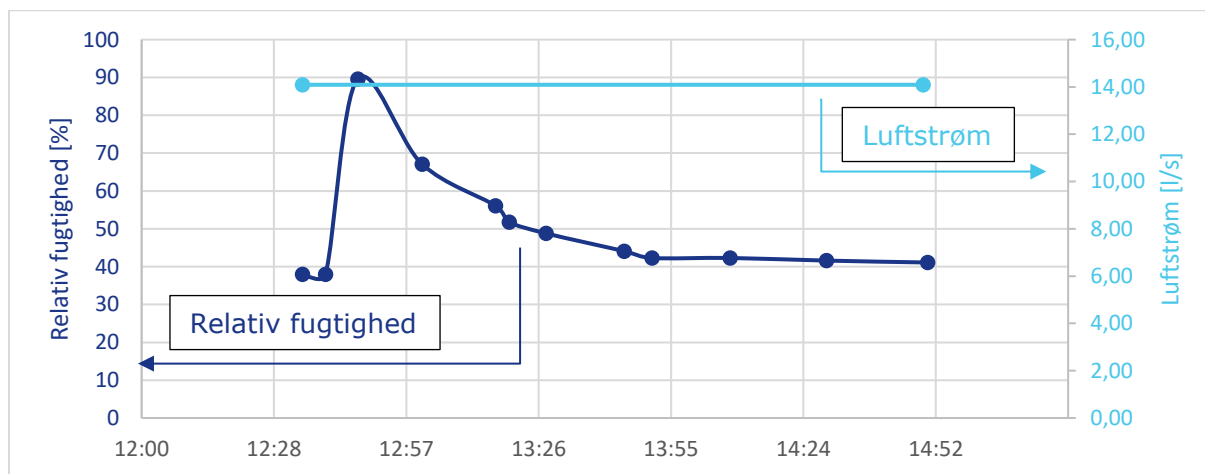
10.1.1. Konstant udsugning

I badeværelset er der monteret en traditionel udsugningsventil som vist i Figur 22. Inden testen blev ventilen rengjort og luftstrømmen tjekket.



Figur 22: Udsugningsventil i badeværelse

Af Figur 23 kan fugtudviklingen på primæraksen samt luftstrømmen på sekundæraksen ses som funktion af tiden. Den relative fugtighed i badeværelset stiger til ca. 90 %, når badet aktiveres. Efter 10 minutter sluttet badet og det kan ses at den relative fugtighed daler til baggrundskoncentrationen på 40 % i løbet af en time.



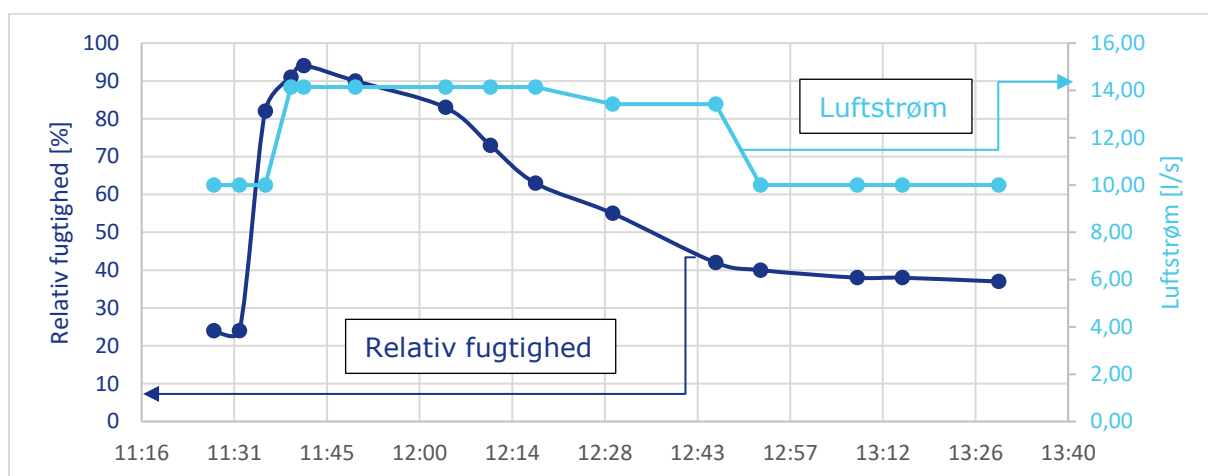
Figur 23: Udvikling af relativ fugtighed i badeværelse med konstant udsugningsrate på 14 l/s

Udsugningen i badeværelset er konstant 14 l/s, hvilket ikke er nødvendigt, når fugtniveauet er under 45 %RH – med hensyn til reducere af fugtophobning i lejligheden.

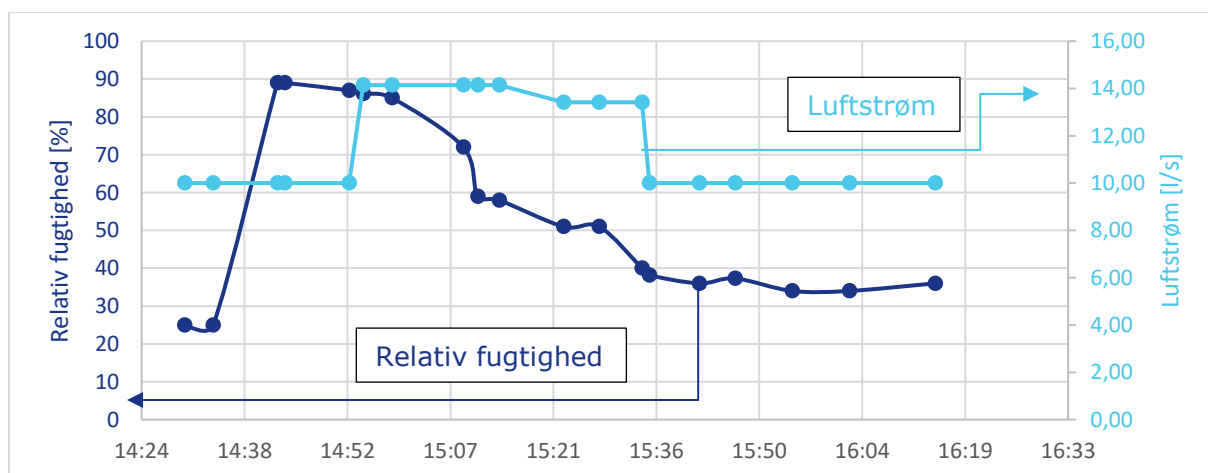
10.1.2. Behovsstyret intelligent udsugning

Af Figur 24 kan fugt udviklingen (primæraksen) og luftstrømmen (sekundæraksen) i badeværelset ses som funktion af tiden.

Når badet aktiveres stiger den relative fugtighed til ca. 90 %. Efter en time og 15 min er den relative fugtighed tilbage til baggrundskoncentrationen. Her ses det at luftstrømmen reduceres, når den relative fugtighed falder. Det tager ca. 15 min længere at nå baggrundskoncentrationen med behovsstyret ventilation.



Figur 24: Udvikling af relativ fugtighed i badeværelse med variabel udsugningsrate mellem 10 og 14 l/s



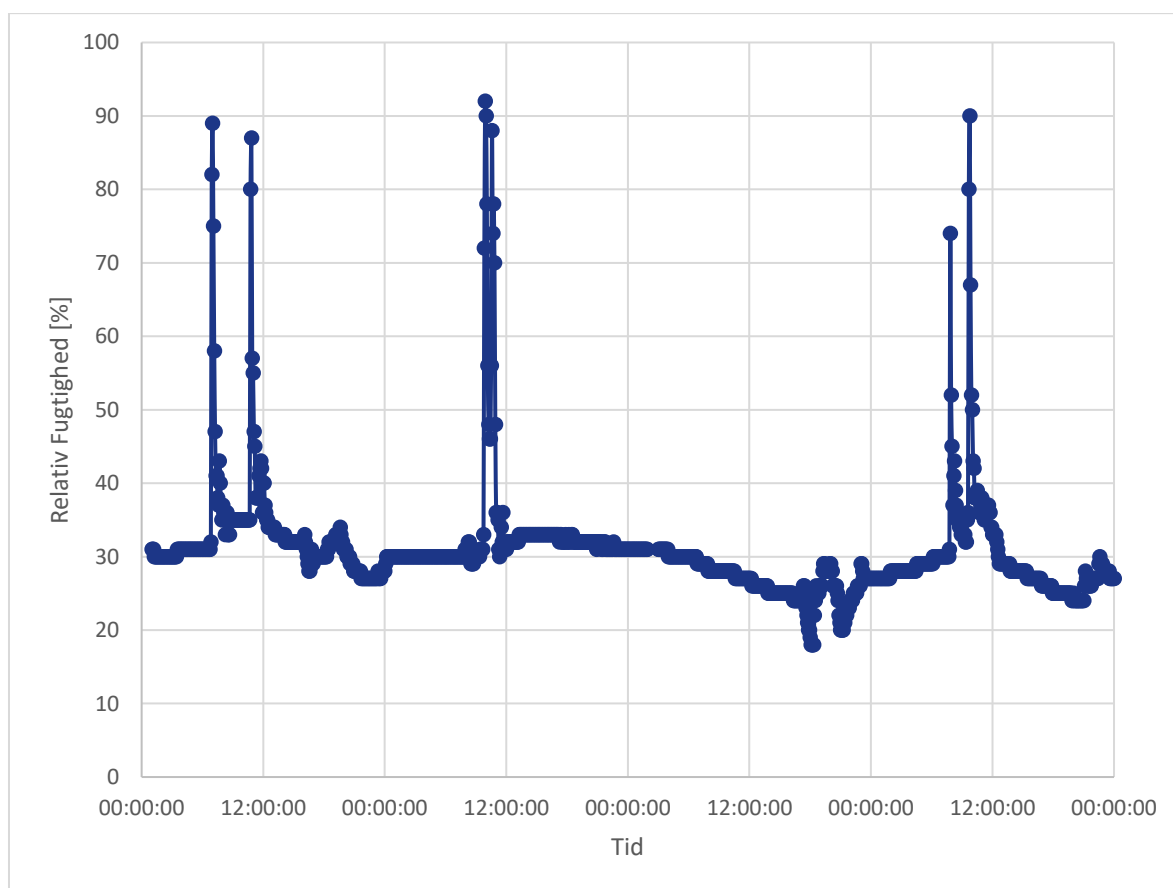
Figur 25: Udvikling af relativ fugtighed i badeværelse med variabel udsugningsrate mellem 10 og 14 l/s

Ved at behovsstyre ventilationen efter fugtniveauet kan der opnås betydelige energibesparelser til opvarmning af erstatningsluften, ved mekanisk udsugning og indtag gennem facade (når der ikke er etableret balanceret ventilation med varmegenvinding).

10.2. Energibetragtning

I det danske bygningsreglement er der krav til at en bolig har et grundluftskifte på 0,3 l/s pr opvarmet etageareal. Dette bundes i en ældre lovgivning, hvor kravet til luftskifte er 0,5 gange i timen. Kravet kommer af at vi altid har skulle undgå at der dannes skimmelsvamp i vores boliger. I og med at boligerne bliver tættere og tættere er dette krav derfor relevant for at sikre os at boligen er sund. Dette kan sikres ved at holde en lav relativ fugtighed.

I dette projekt er fugtigheden i en typisk etagebolig på 90 m² med 2 voksne og et barn blevet monitoreret over en kortere periode i løbet af vinteren. Af målingerne ses det at den relative fugtighed er under 40 % største delen af tiden. Af nedenstående figur kan en periode på 4 dage ses:



Figur 26: Relativ fugtighed målt i badeværelse (hvor udsugning er)

Af målingerne i en almindelig bolig med 2 voksne ses det, at den relative fugtighed ligger under 45% i 95% af tiden. Dette giver et stort potentiale for energibesparelse i opvarmning af erstatningsluften, da der er konstant udsugning, som kan reduceres til et minimum, når der ikke er fugtbelastning.

Hvis det forudsættes at komforttemperaturen i en almindelig bolig er 23 grader C og luftskiftet er 126 m³/h (mindste krav ift. Bygningsreglementet), så er energiforbruget til opvarmning af luften 5746 kWh/år. Hvis dette luftstrømmen reduceres med blot 1/3 vil energiforbruget ligeledes blive reduceret med 1/3 til 3850 kWh/år.

Som før nævnt er det tilladeligt at reducere luftstrømmen i de svenske boliger til 0,1 l/s pr opvarmet etageareal, når der ikke er personer til stede i boligen. Dette indebærer at der er behov for en tilstedeværelsessensor som fx en bevægelses- eller CO₂ sensor.

Dog bør det bemærkes at sundheden for beboeren nødvendigvis ikke opretholdes ved at måle på CO₂, Relativ fugtighed eller bevægelse. Dette skyldes at afgasninger fra bygningsmaterialer ikke detekteres af disse. Her skal der anvendes VOC (flygtige organiske gasser) sensorer. Disse vinder indpas på markedet og er blevet markant billigere end for blot 5 år siden. Det forventes, at der kommer krav til at også beboerens sundhed bliver en del af bygningsreglementet inden for de næste revisioner. Her kan den intelligente udsugningsventil videreudvikles med en VOC sensor for at opretholde et sundt indeklima for både bygningen og beboeren.

10.2.1. Støj og trækgener

Ved at reducere luftstrømmen og styre den efter det aktuelle behov, vil energiniveauet til opvarmning af erstatningsluften blive reduceret.

Derudover vil trækgener fra udeluftventiler også blive reduceret. Ved kolde udelufttemperaturer opleves lufthastigheden som en større gene end ved varme temperaturer, se Figur 27.

Lufttemperatur	°C	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Lufthastighed	m/s	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,31

Figur 27: maksimal lufthastighed for at undgå trækgener ved forskellige indblæsningstemperaturer (kilde BR18)

Dette resulterer i at brugere ofte lukker udeluftventilerne om vinteren og der kan på denne måde ikke tilføres erstatningsluft til udsugningen og denne reduceres.

Ved at lave behovsstyring kan trækgenerne reduceres, da der potentielt kan reduceres for luftstrømmen i mindre lejligheder. Fra denne test kan det konkluderes at udsugningsluftstrømmen er markant højere end nødvendigt i forhold til at holde et lavt fugtniveau. Ved at reducere luftstrømmen, vil beboere ikke føle samme trækgener hvilket vil øge tilfredsheden i forhold til ventilationen.

Støj er også en faktor som får beboere til at lukke for både friskluftventiler og udsugningsventiler. Ved at reducere luftstrømmen vil støjgenerne genereret af høj hastighed også blive lavere.

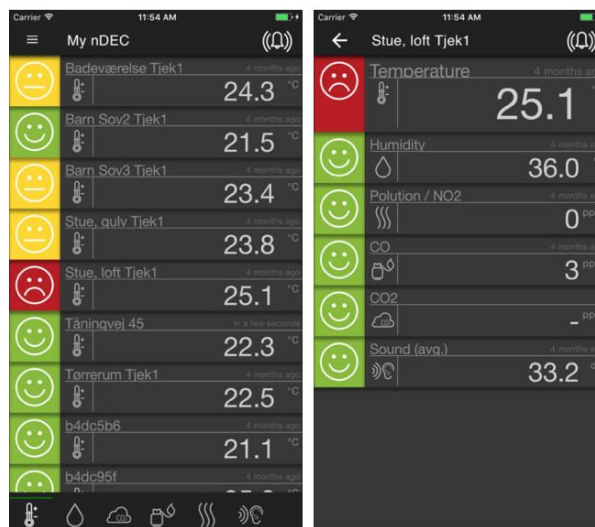
11. Udvikling af app

Applikationen udvikles i samarbejde med New Nordic Engineering. Applikationen skal være med til at give brugerne et overblik over hvorfor der ventileres samt give dem mulighed for at justere luftmængden hvis de føler at der er behov for fx mere udsugning.

Som udgangspunkt skulle softwaren udvikles til smartphone og vise:

- Temperatur med tilhørende relativ fugtighed for et antal følere
- Batteri-niveau
- Luftmængder ved udsugning (min, medium, max)
- Følgende kan ændres af brugeren:
 - Luftmængden kan øges til max
 - Luftmængde kan reduceres til minimum iht. BR18-krav, og kan ikke reduceres til mindre end 0.1 l/s pr m2
 - Hvis luftmængden reduceres når der er en høj fugtighed igangsættes alarm.

New Nordic Engineering's eksisterende app-løsning (se figur 28).



Figur 28: NNE applikation der er til rådighed nu

På grund af udfordring med udvikling af kommunikationen mellem enhederne blev det besluttet at udvikle app'en som en PC-løsning.

Denne løsning er ikke brugervenlig i forhold til den enkelte beboer, men kan bruges af driftspersonale til at fejlsøge og tjekke om ventilerne og sensorerne virker efter hensigten.

nAct

nAct	RHT	PIR	Flow	Position	Battery	Status	Updated	Sent
b4ddf37	62.9 (b4de622)	0 (1a7565f2)	2	1	1	299	13.3.2020 15.39.39	13.3.2020 15.35.03
b4ddf22	62.5 (b4a7263)	0 (1a75676d)	2	1	1	299	13.3.2020 15.39.27	13.3.2020 15.39.41
b4ddf1a	49.7 (b4ddb40)	0 (1a7564f4)	2	1	1	299	13.3.2020 15.39.04	13.3.2020 15.39.19
b4ddf00	63.1 (b4a57b9)	0 (1a7564ed)	2	1	1	299	13.3.2020 15.39.31	13.3.2020 15.39.01
b4ddb76	0 (b4a8306)	0 (1a7568f4)	0	0	0	0	-	-

Figur 29: Nuværende web-applikation

Af løsningen kan det ses om der er luftstrøm til stede (flow), hvor stor åbningsgraden af ventilen er (position) samt batteristatus (Battery). Derudover kan det identificeres om der er netværk til stede.

Hvis batteriniveauet ikke er tilstrækkeligt til at drive ventilen, netværket eller kommunikationen til ventilerne ikke er til stede, vil ventilerne åbne op til yderste position, så ventilationen i boligen altid vil være tilstrækkelig til at fjerne fugtbelastning.

11.1. Boligselskabets rolle:

Oplyse driftspersonale om applikationen.

12. Oplysning til brugeren

Der er installeret en Airy Lindab udsugningsventil i dit badeværelse og dit køkken.

Ventilen regulerer efter fugtniveauet i din bolig samt om der er personer til stede.

Når der ikke er personer til stede i boligen og fugtniveauet er lavt, så kører ventilationsniveauet ned på et minimum.

Når der er personer til stede og fugtniveauet er lavt, så kører ventilationsniveauet på medium.

Når fugtniveauet er højt vil ventilens åbning være stor og luftstrømmen vil være høj. Når fugtniveauet falder vil ventilen automatisk dreje ind til et minimum. Dette sikrer at luftstrømmen gennem ventilen passer til det aktuelle behov for udsugning.

Ventilationen i din bolig sikrer at fugtniveauet er lavt så risikoen for skimmelvækst reduceres.

Når fugtniveauet er lavt og der ikke er personer til stede i boligen er ventilationsniveauet lavt, så energiforbruget til opvarmning reduceres.

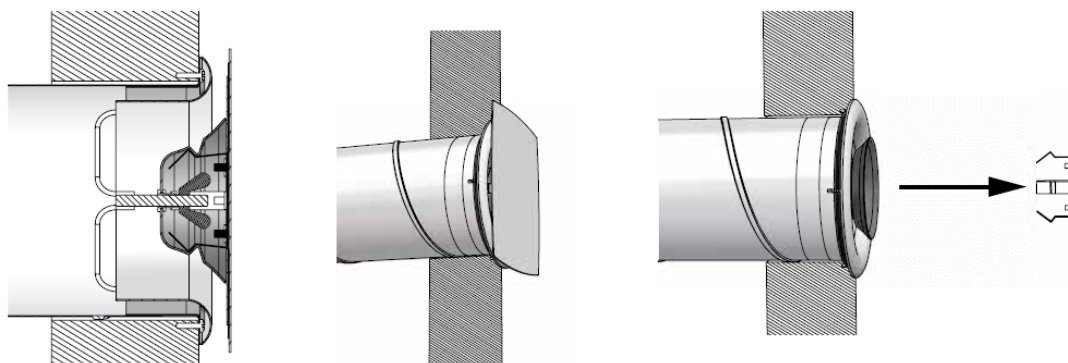
Hold luftstrømmen fri:

Det er vigtigt at du ikke stopper ventilen til eller sætter møbler op foran som kan reducere eller lukke for luftstrømmen.

Rengøring:

Afmonter frontpladen ved at hive den af. Frontpladen kan rengøres med en opvredet klud med lunkent vand blandet med almindeligt opvaskemiddel. Filteret kan afmonteres og vaskes med almindeligt sæbevand. Efter tørring monteres filteret igen på frontpladen.

Den indvendige ventil kan rengøres med en klud opvredet med sæbevand.



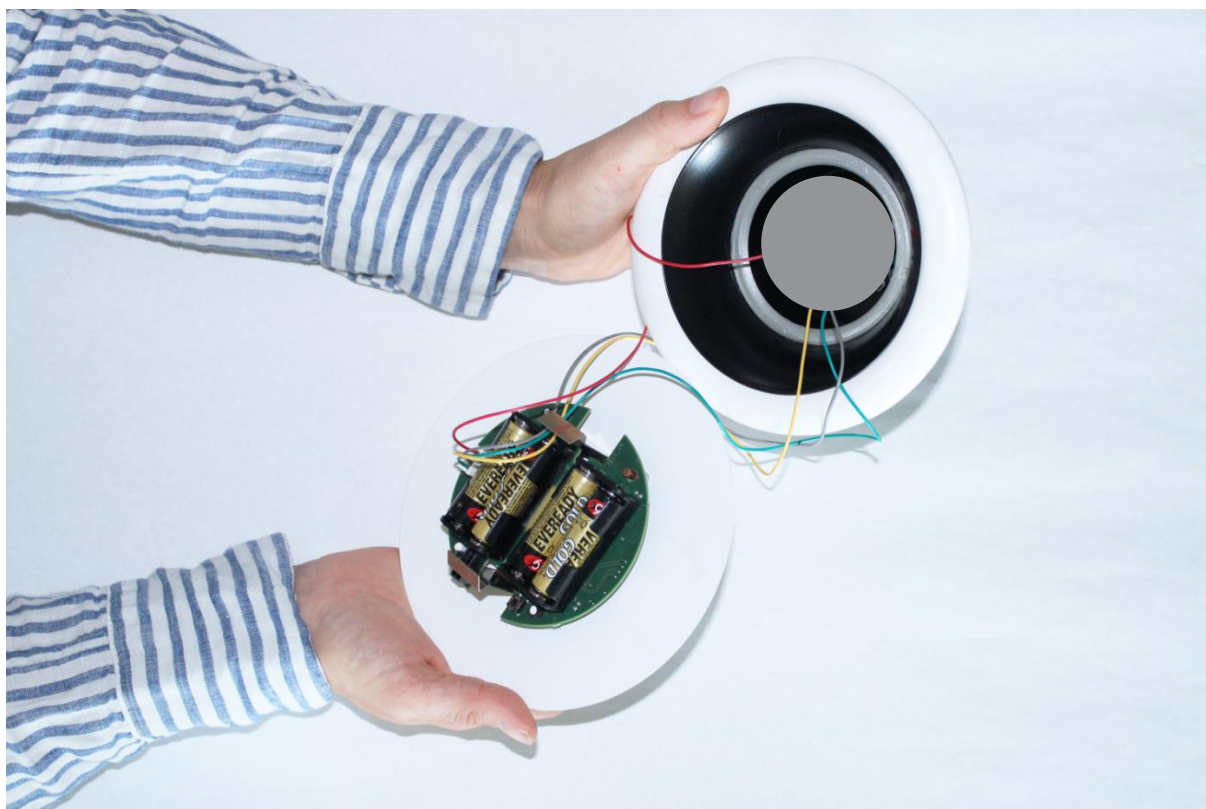
Figur 30: Afmontering af frontplade

13. Konklusion

Der er i projektet udviklet en standalone udsugningsventil med tilhørende fugt og tilstedeværelsessensorer. Udsugningsventilen regulerer åbningsgraden i forhold til det aktuelle fugtniveau samt om der er personer til stede. Dette er en nyudvikling som ikke findes på markedet.

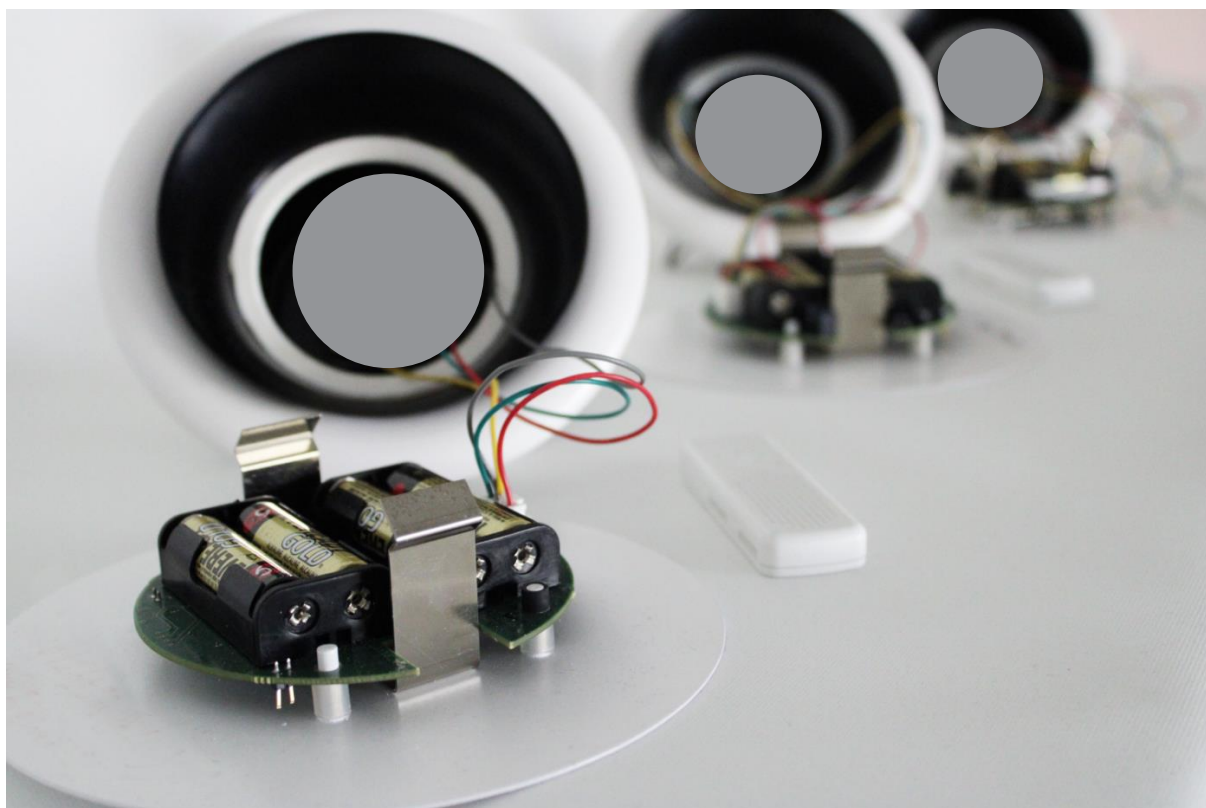
Den aktuelle batterilevetid for de testede prototyper er ca. 5 dage. Dette er når sleep mode ikke er integreret i løsningen. Ved at integrere sleep mode vil levetiden for batteriet øges til 330 – 360 dage. Denne optimering samt udvikling af ny prototype er i gang.

Kommunikationen mellem enheder (ventil og sensorer) viste sig at være en stor udfordring. Dette var tidsmæssigt den største opgave, hvilket resulterede i at de afsluttende test af systemet blev reduceret til kun at foregå i laboratoriet på TI og i et enkelt badeværelse over kort tid.

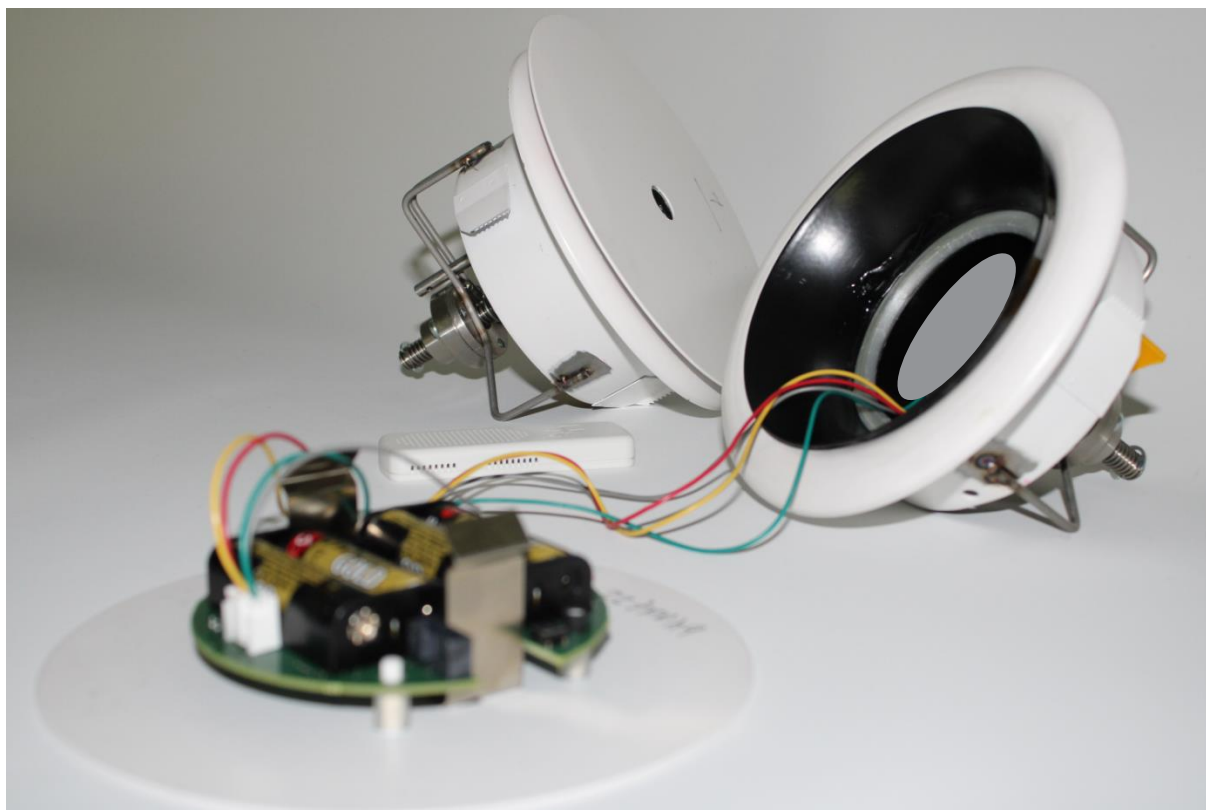


Figur 31: Udsugningsventilen hvor frontpladen er afmonteret

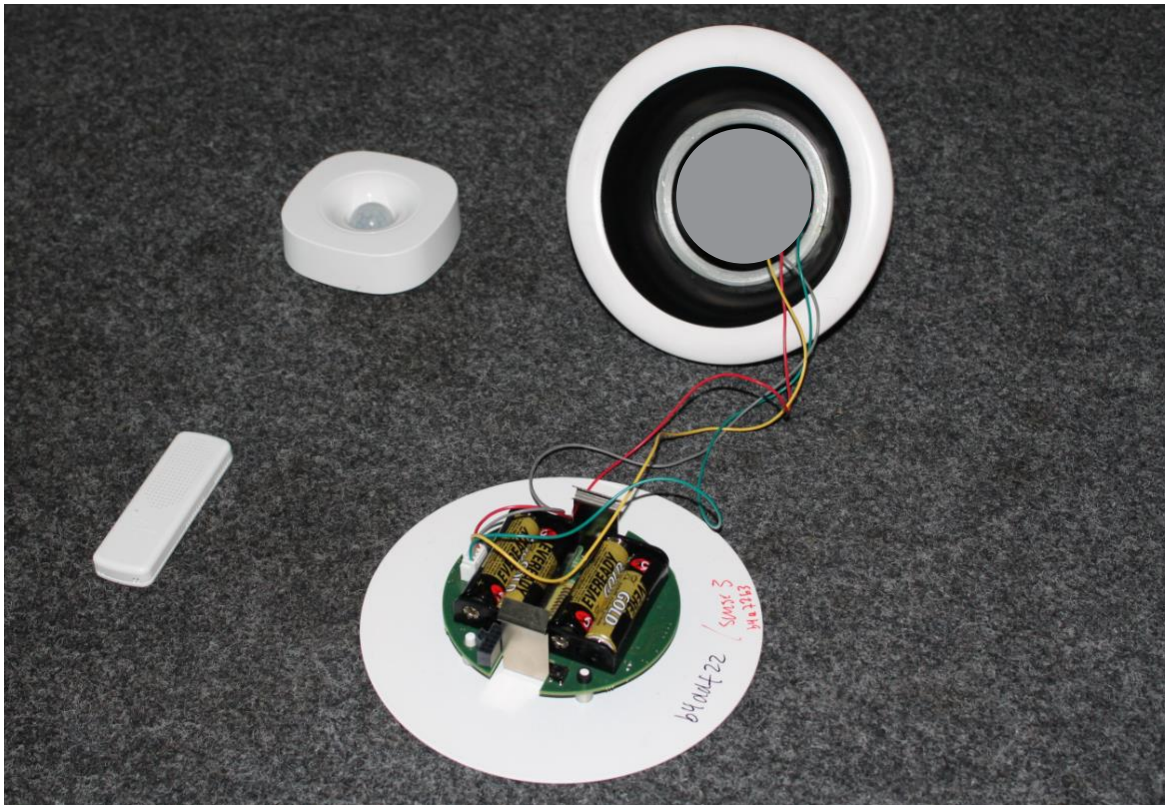
Aktuatoren er maskeret af hensyn til udviklingen for Lindab A/S.



Figur 32: Udsugningsventil, hvor frontplade er afmonteret, med tilhørende fugtsensor



Figur 33: udsugningsventil samlet og hvor frontplade er afmonteret



Figur 34: Udsugningsventil med afmonteret frontplade samt fugt- og bevægelsessensor

Ved at behovsstyre efter det aktuelle ventilationsbehov ift. til fugt i boligen kan der spares på energiregningen til opvarmning af erstatningsluften samt til ventilatoren. Ud fra projektets resultater kan energiforbruget til den enkelte bolig reduceres med minimum 1/3. Dette er en energibesparelse på varmeregningen samt at energiforbruget til den elektrisk drevede ventilator vil blive reduceret.

Ved screening af bygningsmassen i Danmark der kan opnås en besparelse på 20 – 30 % på varme (2.250 GWh/år) og el (40 GWh) ved behovsstyring af ventilation.

Energibesparelsen skyldes et drastisk fald i ventilationsmængderne. Hertil en el-besparelse til drift af ventilatoren i det samlede system, når styring af denne etableres.

14. Vidensformidling

Projektet er blevet præsenteret på to temadage.

1. Indeklimaets temadag
Samarbejde med Veltek, Tekniq arbejdsgiverne, Realdania bo og byg
Indlæg om projektet Intelligent Udsugning
Deltagere fra ventilationsbranchen, rådgivere og udviklere.
2. Temadag om procesventilation /
Samarbejde mellem TI og Veltek
indlæg angående inspiration til teknologi
Deltagere fra ventilationsbranchen, rådgivere og udviklere.

Derudover er projektet beskrevet i:

3. IoT folder. IoT løsninger til bygninger: optimeret energiforbrug, indeklima og drift.
Udgivet af Teknologisk Institut, maj 2020
4. Artikel til Elforsk hjemmeside (afsluttes efter endelig rapportering)

15. Referencer

{1} "Fugtstyret boligventilation - Måling og evaluering", SBI 2008:08

{2} "Behovsstyret ventilation i nybyggda flerbostadhus - teknisk funktion och brukarsynpunkter, resultat från en teknikupphandling", WSP Environmental, 2009-03-30

{3} "Behovsstyret ventilation til enfamiliehuse", BYG/DTU og Teknologisk Institut, 2009

{4} BBR2008, afsnit 6 (6:251), Sverige

{5} "Vurdering af ventilationsbehov", SBI Meddelelse 130, 2000

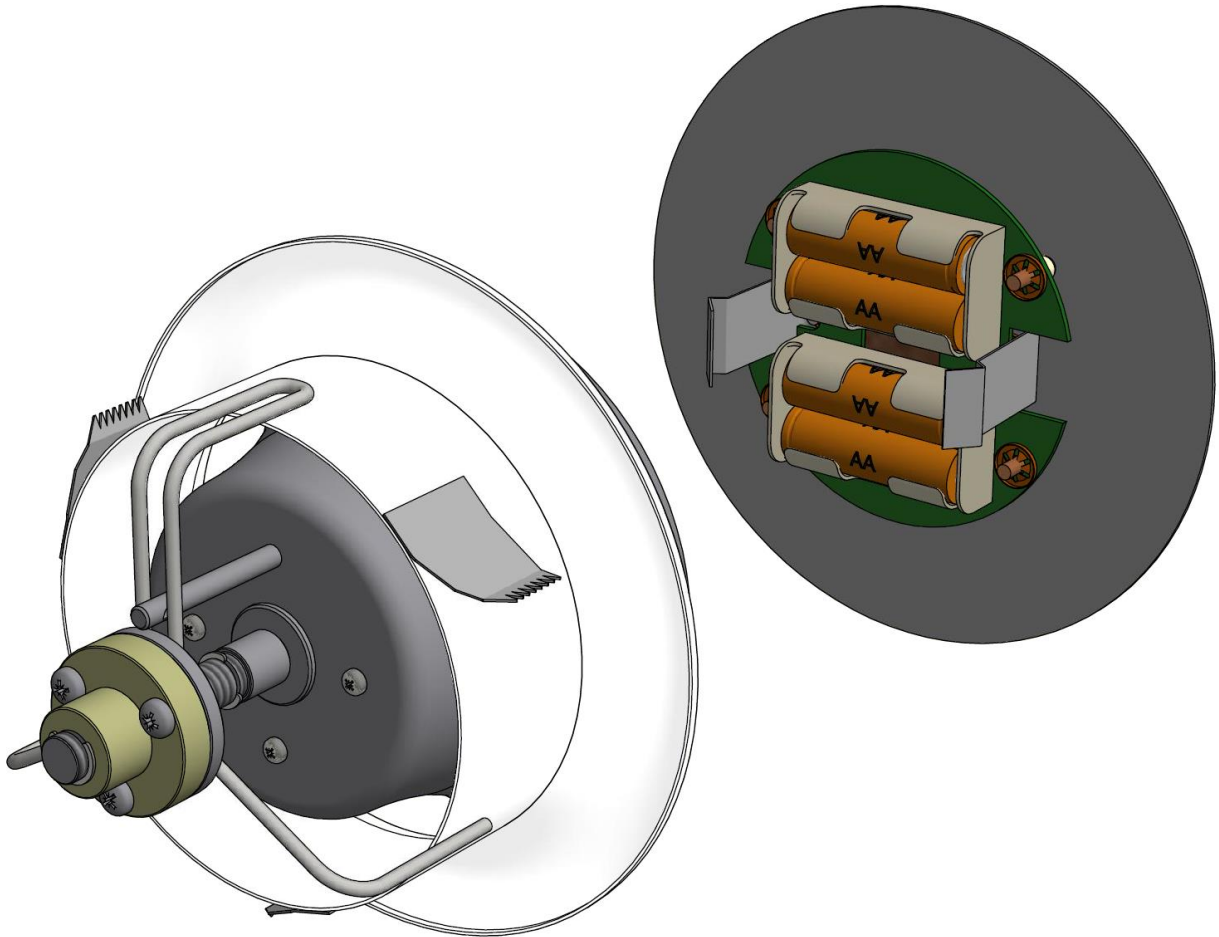
{6} Statistisk Årbog 2010 (SÅ2010) tabel 271

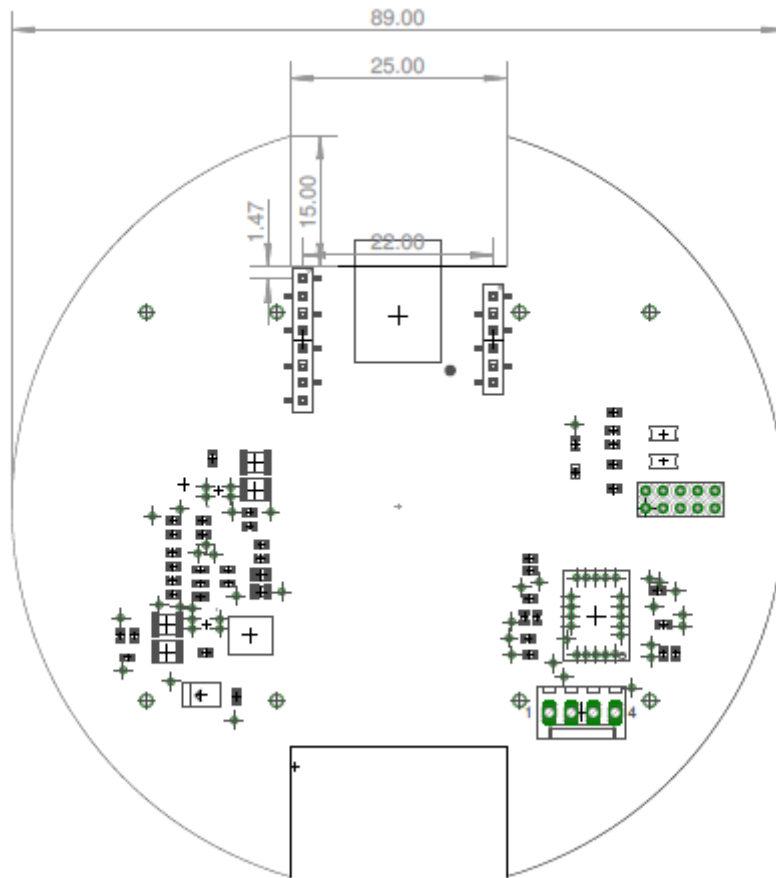
{7} Statistisk Årbog 1985 (SÅ1985), tabel 251

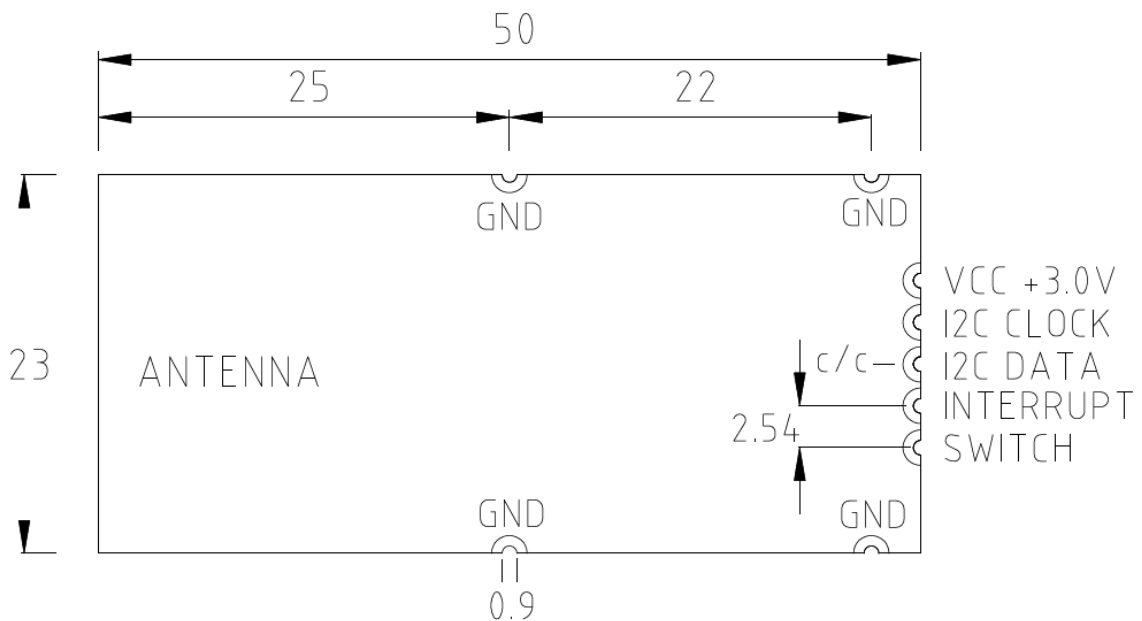
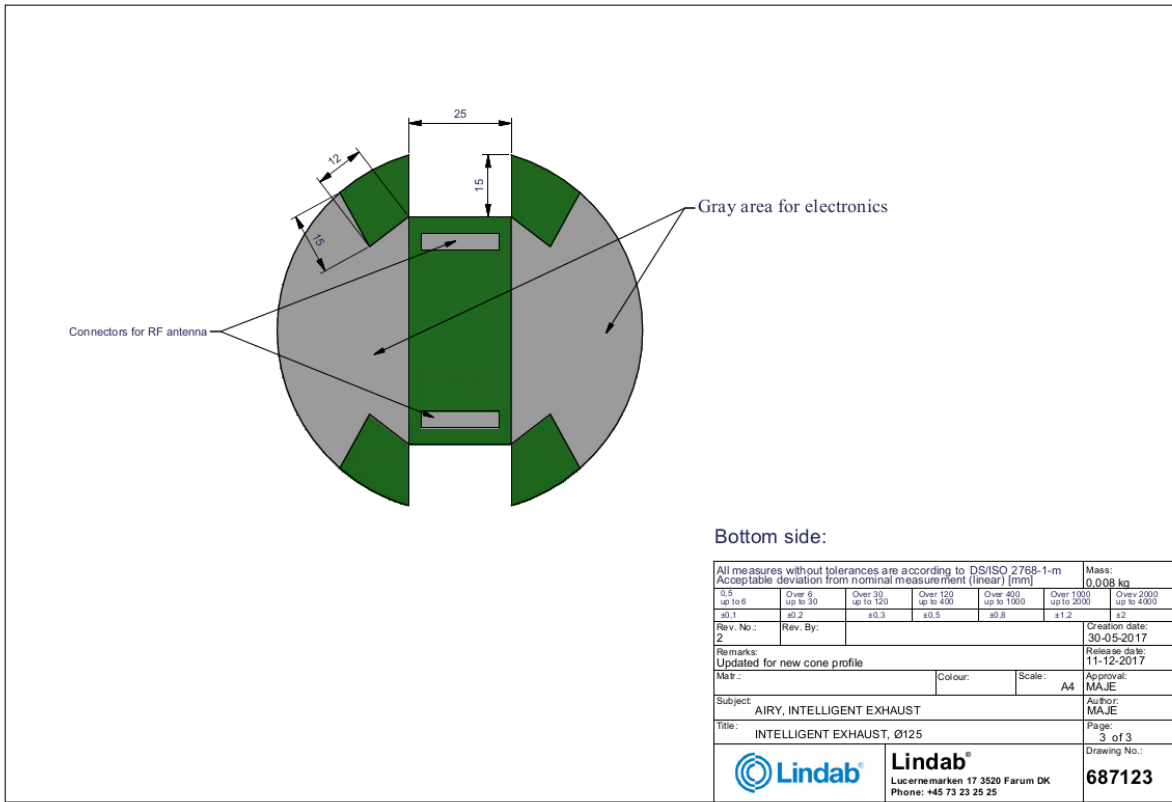
{8} Danish Reference Year (DRY)

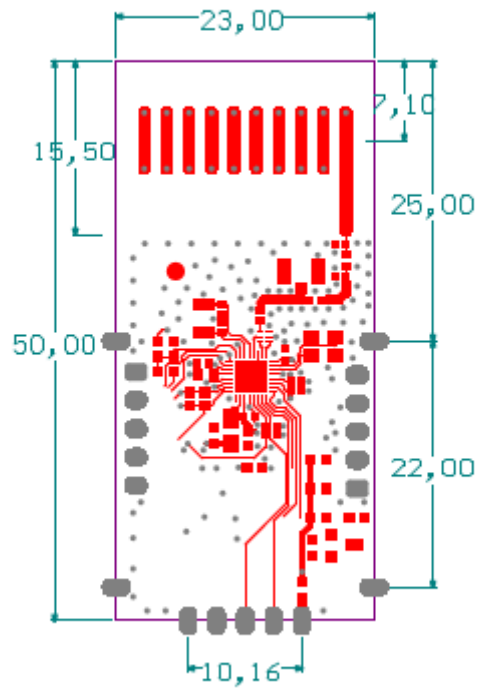
16. Bilag:

16.1. Design



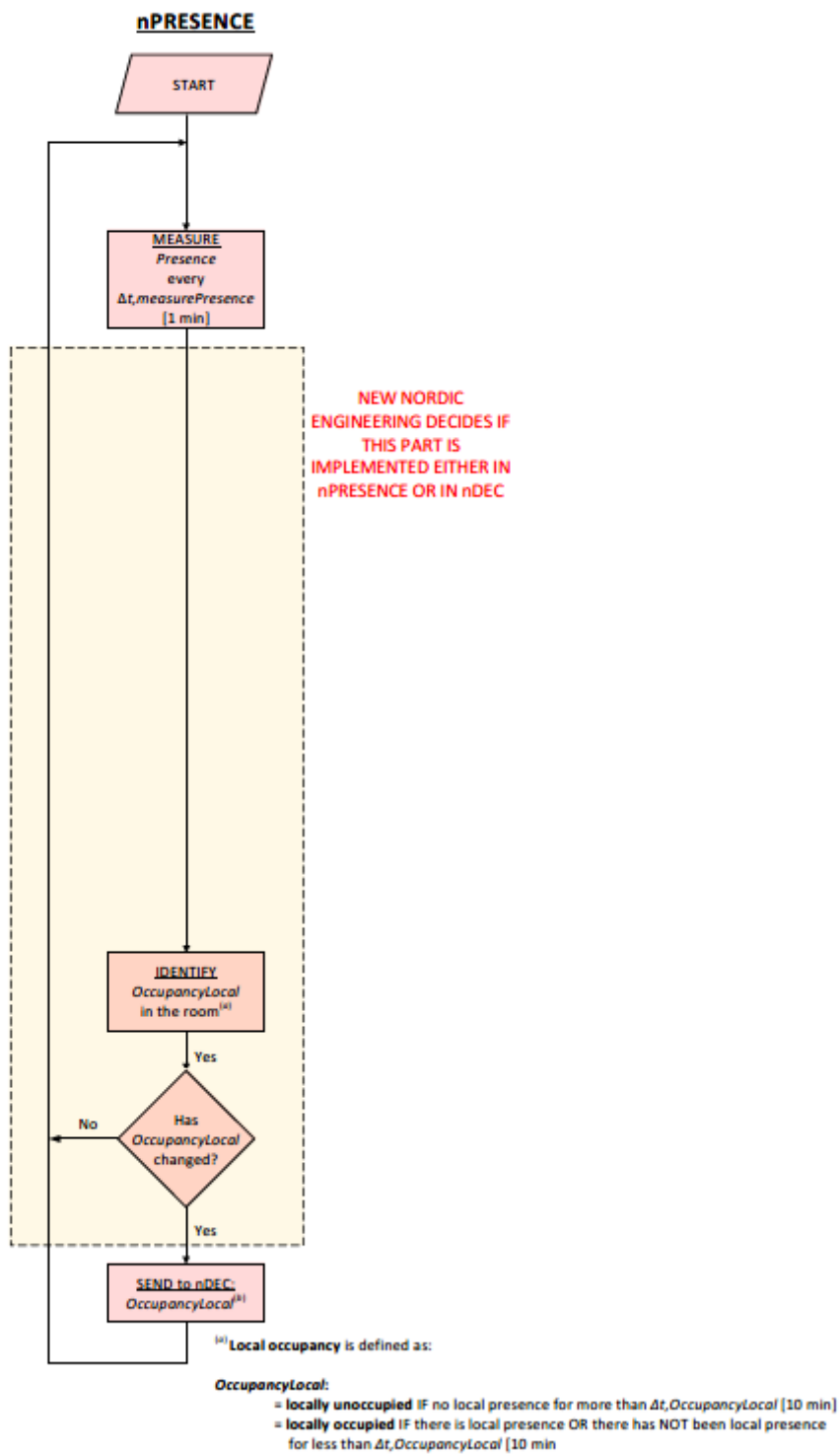




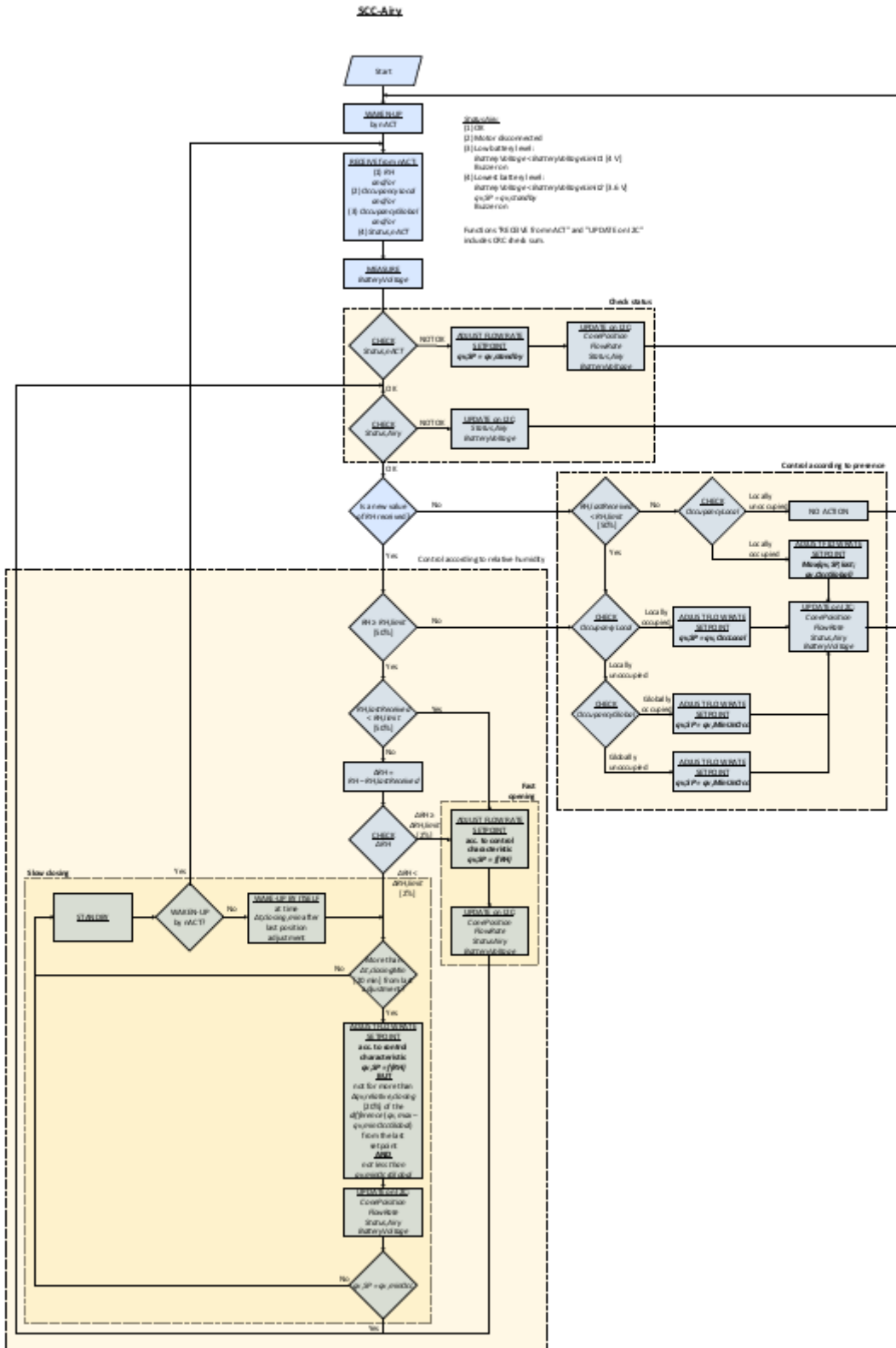


16.2. Flow diagrammer

Intelligent extract: Control algorithms

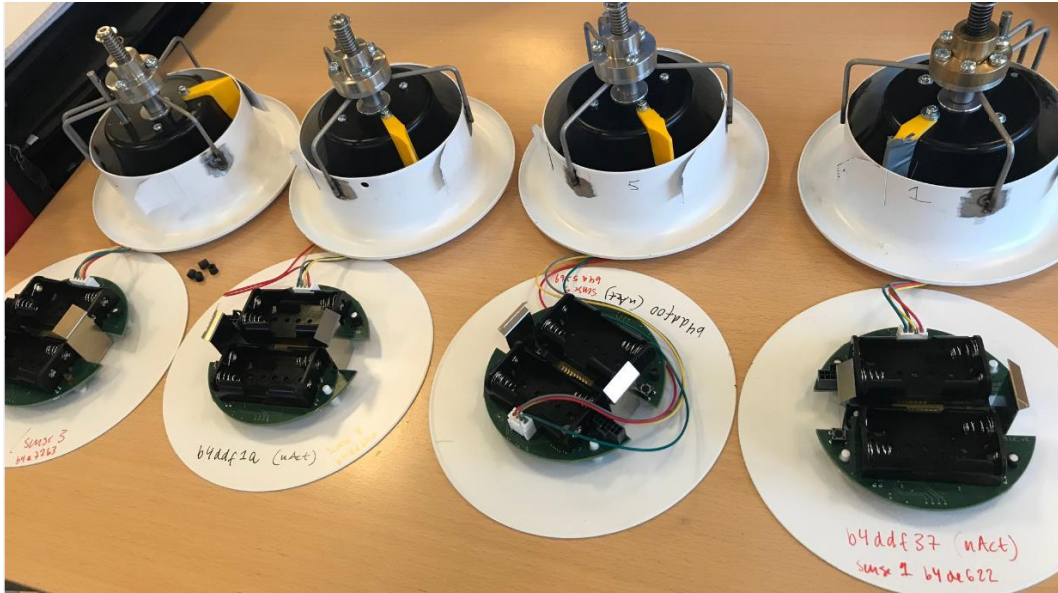


Intelligent extract: Control algorithms



16.3. Indledende test af ventiler

Step 1



No battery in the valves.

All valves are fully closed.

Height of shaft is app. 1,8 cm for all of them. All sensors are placed together to measure the same RH.



Connects to NNE sensors through nDEC network

nAct

nAct	RHT	PIR	Flow	Position	Battery	Status	Updated	Sent
b4ddf37	33.1 (b4de622)	0(1a7565f2)	0	0	0	0	9.3.2020 10.16.11	-
b4ddf22	34.7 (b4a7263)	0(1a75676d)	0	0	0	0	9.3.2020 10.16.23	-
b4ddf1a	33.6 (b4ddb40)	0(1a7564f4)	0	0	0	0	9.3.2020 10.15.58	-
b4ddf00	34.9 (b4a57b9)	0(1a7564ed)	0	0	0	0	9.3.2020 10.15.58	-

Step 2

Inserts battery in the valves

All four valves react.

After app. 10 minutes the height of the shafts are:

Valve1: 1,1 cm (Sense 1, b4de622)

Valve 3: 1,6 cm (Sense 3, b4a7263)

Valve 4: 1,4 cm (sense 4, b4ddb40)

Valve 5: 1,1 cm (sense 5, b4a57b9)

The humidity/RH is:

nAct

nAct	RHT	PIR	Flow	Position	Battery	Status	Updated	Sent
b4ddf37	32.7 (b4de622)	0 (1a7565f2)	2	1	1	299	9.3.2020 10.24.41	9.3.2020 10.23.33
b4ddf22	34.6 (b4a7263)	0 (1a75676d)	2	1	1	300	9.3.2020 10.24.24	9.3.2020 10.23.28
b4ddf1a	33.3 (b4ddb40)	0 (1a7564f4)	2	1	1	299	9.3.2020 10.23.58	9.3.2020 10.22.51
b4ddf00	34.7 (b4a57b9)	0 (1a7564ed)	2	1	1	299	9.3.2020 10.24.29	9.3.2020 10.23.13

Step 3

Increases the RH by placing the sensors on top of hydrated paper in a plastic box.



After app. 15 minutes the height of the shafts are:

Valve1: 0,7 cm (Sense 1, b4de622)

Valve 3: 0,7 cm (Sense 3, b4a7263)

Valve 4: 1,3 cm (sense 4, b4ddb40)

Valve 5: 0,7 cm (sense 5, b4a57b9)

The humidity/RH is:

nAct

nAct	RHT	PIR	Flow	Position	Battery	Status	Updated	Sent
b4ddf37	94.1 (b4de622)	0 (1a7565f2)	2	1	1	299	9.3.2020 11.07.43	9.3.2020 11.08.33
b4ddf22	96.8 (b4a7263)	0 (1a75676d)	2	1	1	299	9.3.2020 11.07.55	9.3.2020 11.08.30
b4ddf1a	94.9 (b4ddb40)	0 (1a7564f4)	2	1	1	299	9.3.2020 11.08.31	9.3.2020 11.07.50
b4ddf00	93.6 (b4a57b9)	0 (1a7564ed)	2	1	1	299	9.3.2020 11.08.31	9.3.2020 11.08.12

Step 4

Decreases the humidity to room level by taking the sensors out of the box and placing them back on the table.

After app. 10 minutes the height of the shafts are:

Valve1: 0,7 cm (Sense 1, b4de622)

Valve 3: 0,7 cm (Sense 3, b4a7263)

Valve 4: 1,3 cm (sense 4, b4ddb40)

Valve 5: 0,7 cm (sense 5, b4a57b9)

The humidity/RH is:

nAct

nAct	RHT	PIR	Flow	Position	Battery	Status	Updated	Sent
b4ddf37	35.8 (b4de622)	0 (1a7565f2)	2	1	1	299	9.3.2020 11.23.44	9.3.2020 11.23.33
b4ddf22	37.9 (b4a7263)	0 (1a75676d)	2	1	1	299	9.3.2020 11.23.57	9.3.2020 11.23.28
b4ddf1a	38.9 (b4ddb40)	0 (1a7564f4)	2	1	1	299	9.3.2020 11.24.01	9.3.2020 11.22.51
b4ddf00	37.3 (b4a57b9)	0 (1a7564ed)	2	1	1	299	9.3.2020 11.24.01	9.3.2020 11.23.13

After further 30 minutes:

Valve1: 1,2 cm (Sense 1, b4de622)

Valve 3: 1,2 cm (Sense 3, b4a7263)

Valve 4: 1,8 cm (sense 4, b4ddb40)

Valve 5: 1,1 cm (sense 5, b4a57b9)

The humidity/RH is:

nAct

nAct	RHT	PIR	Flow	Position	Battery	Status	Updated	Sent
b4ddf37	30 (b4de622)	0 (1a7565f2)	2	1	1	299	9.3.2020 11.58.45	9.3.2020 11.58.34
b4ddf22	32.2 (b4a7263)	0 (1a75676d)	2	1	1	299	9.3.2020 11.58.58	9.3.2020 11.58.30
b4ddf1a	31 (b4ddb40)	0 (1a7564f4)	2	1	1	299	9.3.2020 11.59.02	9.3.2020 11.57.50
b4ddf00	32.3 (b4a57b9)	0 (1a7564ed)	2	1	1	299	9.3.2020 11.59.03	9.3.2020 11.58.12

Step 5

Increases the humidity again.

After app. 10 minutes the height of the shafts are:

Valve1: 1,2 cm (Sense 1, b4de622)

Valve 3: 0,8 cm (Sense 3, b4a7263)

Valve 4: 1,8 cm (sense 4, b4ddb40)

Valve 5: 1,0 cm (sense 5, b4a57b9)

The humidity/RH is:

nAct

nAct	RHT	PIR	Flow	Position	Battery	Status	Updated	Sent
b4ddf37	76.8 (b4de622)	0 (1a7565f2)	2	1	1	299	9.3.2020 12.06.45	9.3.2020 11.58.34
b4ddf22	76.2 (b4a7263)	0 (1a75676d)	2	1	1	299	9.3.2020 12.06.28	9.3.2020 12.03.28
b4ddf1a	73.2 (b4ddb40)	0 (1a7564f4)	2	1	1	299	9.3.2020 12.06.32	9.3.2020 12.02.50
b4ddf00	77.1 (b4a57b9)	0 (1a7564ed)	2	1	1	299	9.3.2020 12.06.33	9.3.2020 12.03.12

After further 20 minutes the height of the shafts are:

Valve1: 0,7 cm (Sense 1, b4de622)

Valve 3: 0,7 cm (Sense 3, b4a7263)

Valve 4: 1,1 cm (sense 4, b4ddb40)

Valve 5: 0,6 cm (sense 5, b4a57b9)

The humidity/RH is:

nAct

nAct	RHT	PIR	Flow	Position	Battery	Status	Updated	Sent
b4ddf37	89.1 (b4de622)	0 (1a7565f2)	2	1	1	299	9.3.2020 12.19.46	9.3.2020 12.18.33
b4ddf22	90.8 (b4a7263)	0 (1a75676d)	2	1	1	299	9.3.2020 12.19.59	9.3.2020 12.18.28
b4ddf1a	88.2 (b4ddb40)	0 (1a7564f4)	2	1	1	299	9.3.2020 12.19.33	9.3.2020 12.17.50
b4ddf00	90.3 (b4a57b9)	0 (1a7564ed)	2	1	1	299	9.3.2020 12.18.33	9.3.2020 12.18.13

Step 6

Decreases humidity again.

After app. 10 minutes the height of the shafts are: (no changes)

Valve1: 0,7 cm (Sense 1, b4de622)

Valve 3: 0,7 cm (Sense 3, b4a7263)

Valve 4: 1,1 cm (sense 4, b4ddb40)

Valve 5: 0,6 cm (sense 5, b4a57b9)

The humidity/RH is:

nAct

nAct	RHT	PIR	Flow	Position	Battery	Status	Updated	Sent
b4ddf37	54.2 (b4de622)	0 (1a7565f2)	2	1	1	299	9.3.2020 15.14.24	9.3.2020 15.13.33
b4ddf22	50.5 (b4a7263)	0 (1a75676d)	2	1	1	299	9.3.2020 15.14.08	9.3.2020 15.13.29
b4ddf1a	51.6 (b4ddb40)	0 (1a7564f4)	2	1	1	299	9.3.2020 15.13.42	9.3.2020 15.12.51
b4ddf00	47.3 (b4a57b9)	0 (1a7564ed)	2	1	1	299	9.3.2020 15.14.13	9.3.2020 15.13.14

After further 30 minutes the height of the shafts are:

Valve1: 1,1 cm (Sense 1, b4de622)

Valve 3: 1,1 cm (Sense 3, b4a7263)

Valve 4: 1,4 cm (sense 4, b4ddb40)

Valve 5: 1,1 cm (sense 5, b4a57b9)

The humidity/RH is:

nAct

nAct	RHT	PIR	Flow	Position	Battery	Status	Updated	Sent
b4ddf37	33.7 (b4de622)	0 (1a7565f2)	2	1	1	299	9.3.2020 15.44.55	9.3.2020 15.43.32
b4ddf22	33.8 (b4a7263)	0 (1a75676d)	2	1	1	299	9.3.2020 15.45.09	9.3.2020 15.43.28
b4ddf1a	33.2 (b4ddb40)	0 (1a7564f4)	2	1	1	299	9.3.2020 15.45.13	9.3.2020 15.42.50
b4ddf00	33.6 (b4a57b9)	0 (1a7564ed)	2	1	1	299	9.3.2020 15.45.14	9.3.2020 15.43.12

After further 20 minutes the height of the shafts are:

Valve1: 1,1 cm (Sense 1, b4de622)

Valve 3: 1,1 cm (Sense 3, b4a7263)

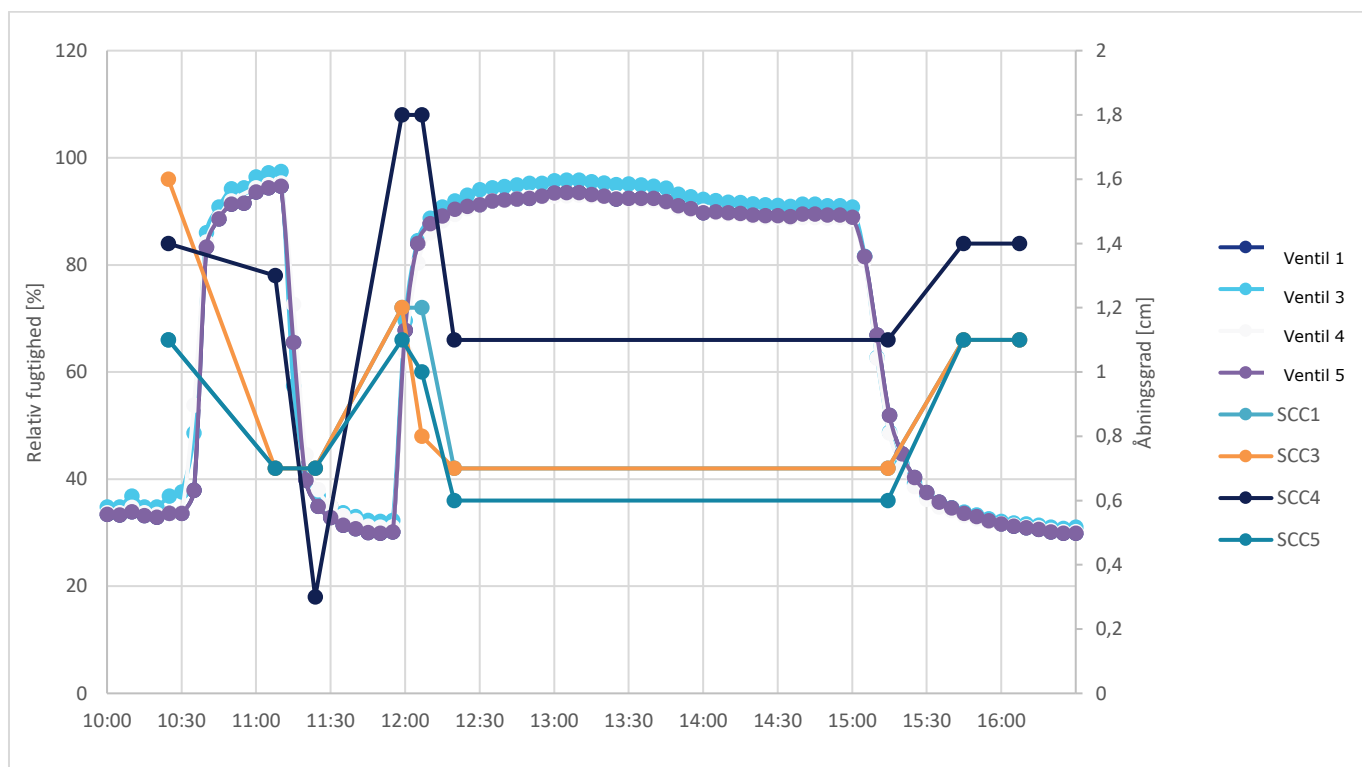
Valve 4: 1,4 cm (sense 4, b4ddb40)

Valve 5: 1,1 cm (sense 5, b4a57b9)

The humidity/RH is:

nAct

nAct	RHT	PIR	Flow	Position	Battery	Status	Updated	Sent
b4ddf37	31.1 (b4de622)	0 (1a7565f2)	2	1	1	299	9.3.2020 16.07.27	9.3.2020 16.03.33
b4ddf22	31.7 (b4a7263)	0 (1a75676d)	2	1	1	299	9.3.2020 16.07.40	9.3.2020 16.03.29
b4ddf1a	31.3 (b4ddb40)	0 (1a7564f4)	2	1	1	299	9.3.2020 16.07.45	9.3.2020 16.02.51
b4ddf00	31.8 (b4a57b9)	0 (1a7564ed)	2	1	1	299	9.3.2020 16.06.45	9.3.2020 16.03.13



Ventil 1 start: 1,1 cm = lukket

Ventil 3 start: 1,6 cm = lukket

Ventil 4 start: 1,4 cm = lukket

Ventil 5 start: 1,1 cm = lukket

Ventilerne regulerer mellem forudindstillet minimum og maksimal position når fugtniveauet ændres.

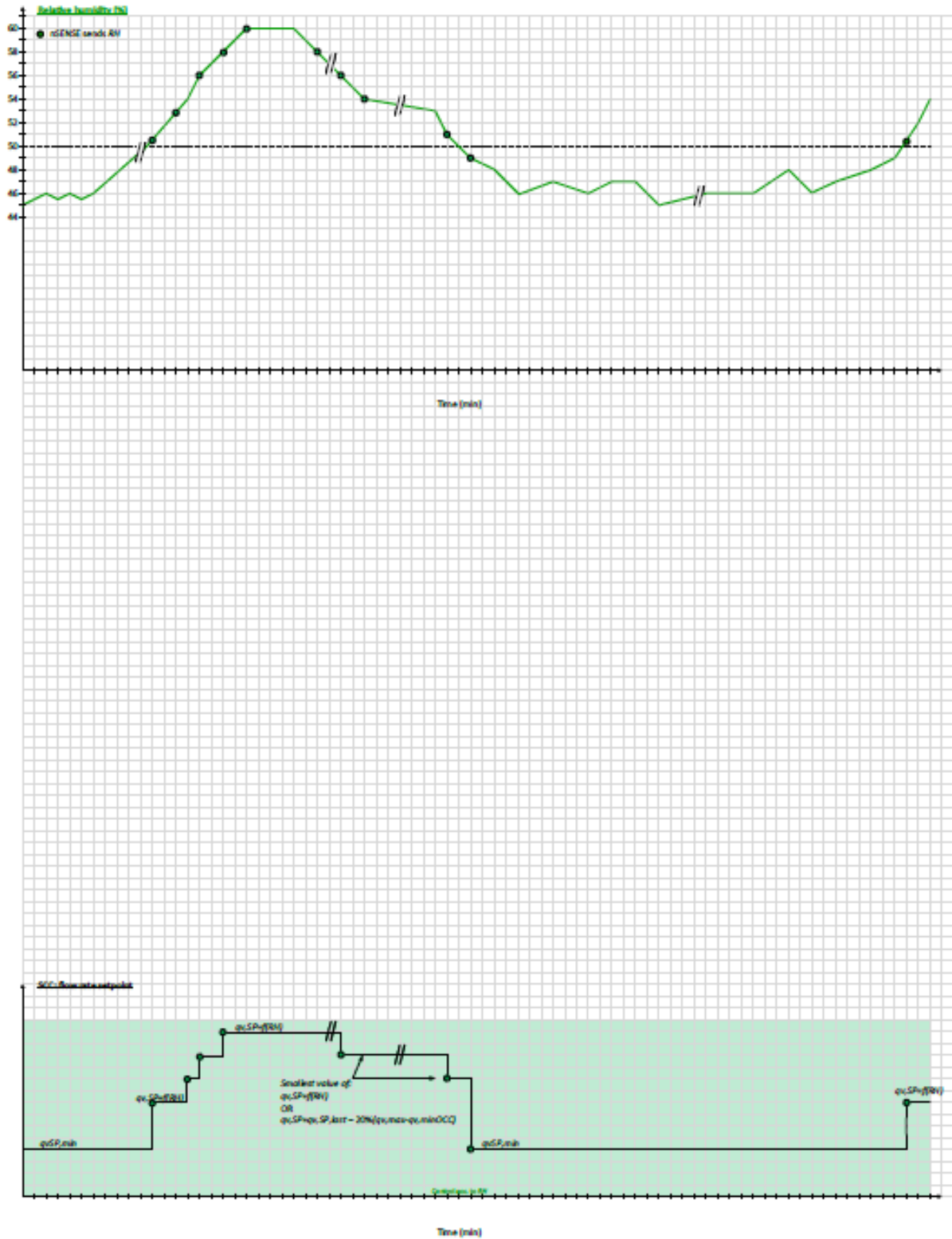
Ventil 1, 3 og 5 regulerer nogenlunde ens.

16.4. Teoretisk eksempel af ventil udført af Lindab

Intelligent extract: Example of control of flow rate
Case A: with occupancy as a variable



Intelligent extract: Example of control of flow rate
Case B: without occupancy as a variable





Airy's measurement characteristic

Airy's measurement characteristic, providing the relationship between **flow rate** q_v (l/s) and **total pressure drop** Δp_t (Pa), is defined as:

$$q_v = K(x/L) \cdot \Delta p_t^n$$

where K -value is calculated as a function of **relative position of Airy** x/L :

$$K(x/L) = a \cdot (x/L)^b + c$$

where **L is a stroke of the Airy**, i.e. the maximum openness, and parameters n , a , b and c were determined at calibration.