



# **iVENT 2020 – Intelligent energieffektiv decentral ventilation til etageejendomme**

**Dansk Energi, Elforsk PSO 350 – 020**

**Hovedrapport**

**2021**



iVENT 2020 – Intelligent energieffektiv decentral ventilation til  
etageejendomme

Dansk Energi, Elforsk PSO 350 – 020

Hovedrapport

**Udarbejdet af:**

Lindab A/S  
Teknologisk Institut

Marts 2021

## Forord

Dette projekt er gennemført med støtte fra Dansk Energi (Elforsk PSO-puljen).

Projektet har journalnummer: 350 – 020

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem:

- Lindab A/S (projektleder)
- Teknologisk Institut
- LS Control A/S (underleverandør)

Rapporteringen består af denne hovedrapport, som kort beskriver de opnåede resultater samt en bilagsrapport med uddybende test, målinger m.m.

Lindab vil gerne takke projektholdet for en god indsats gennem hele projektperioden.

Werner Andresen  
Projektleder

Christian Drivsholm

Lindab A/S  
Marts 2021

Teknologisk Institut



## Indholdsfortegnelse

1.1	Projektets detaljer	6
1.2	Short description of project objective and results (UK and DK)	7
1.3	Executive summary (UK and DK)	9
1.4	Projektets formål	11
1.5	Projektresultater og formidling af resultater	13
1.5.1	Indledende screening af lejligheder	13
1.5.2	Kravspecifikation	14
1.5.3	Design af pladsbesparende lyddæmper med lavt tryktab	29
1.5.4	Beregning af luftfordeling, behovsstyring, indregulering og funktionsafprøvning	37
1.5.5	Programmering af styring og prætest hos LS Control	40
1.5.6	Langtidstest af styring på Teknologisk Institut	42
1.5.7	Formidling af projekt og resultater	49
1.6	Udnyttelse af projektresultater	50
1.7	Projektets konklusion og perspektivering	51
1.8	Bilags oversigt	55
1.9	Referencer	56

## 1.1 Projektets detaljer

Project title	iVENT – Intelligent energy efficient decentralized ventilation of apartments
Project identifikation (program abbrev and file)	Elforsk PSO 350 – 020
Name of the programme which has funded the project	Dansk Energi, Elforsk PSO
Project managing company/institution (name and address)	Lindab A/S, Langkær 20, 6100 Haderslev
Project partners	<ul style="list-style-type: none"><li>• Teknologisk Institut</li><li>• LS Control (subcontractor)</li></ul>
CVR (central business register)	33124228
Date for submission	30.01.2018 (Dansk Energi)

## **1.2 Short description of project objective and results (UK and DK)**

### **UK**

The iVENT2020 project develops affordable system solutions for decentralized ventilation of housing, mainly apartments. The focus is on automatic regulation, reduced pressure losses, and intelligent monitoring and control, significantly increase energy efficiency.

Despite the development in the field of ventilation, the status is:

There is still a need for reduction of pressure losses in decentralized compact installations. This applies to duct design, supply and extract valves, and in connection with effective sound attenuation.

Missing or incorrect adjustment increases airflow problems between apartments, and the heat recovery rate is reduced by imbalanced airflows. Automatic balancing airflows and ensuring that the ventilation works optimally is needed - considering both energy efficiency and indoor climate.

ICT and the IoT development provide new options for operational monitoring and control optimizing performance, for follow-up on the balancing, and simplifying system maintenance and servicing.

The potential for developing installations - cost-effective in both construction and operation, being a barrier to the market, is not fully exploited.

In this context, LINDAB wishes to develop iVENT2020, strengthening the company in the national and international competition.

The project is carried out in a close cooperation between Lindab A/S and the Danish Technological Institute, Energy efficiency and Ventilation.

An automatic balancing algorithm has been developed in the project, intended for 2 extraction points and 5 supply points. The algorithm creates a balance between supply and exhaust at minimal pressure loss in the duct system, ie optimal damper angle for all dampers. The air balance is also maintained by using the hood or bath or both. A significant part (component) is Lindab's ultrasonic flowmeter incl. control damper FTCU.

### **DK**

Udviklingsprojektet iVENT2020 udvikler prisbillige systemløsninger til decentral ventilation af etageejendomme med fokus på selvindregulering, og et samlet reduceret tryktab, samt intelligent driftsovervågning og styring via IoT, der samlet øger energieffektiviteten væsentligt.

Trods udviklingen på ventilationsområdet de seneste 10 år, er status:

Der er stadig behov for reduktion af tryktab i decentrale kompakte installationer. Det gælder i forbindelse med kanaludformning og -føringer, indblæsning og udsugning, samt i forbindelse med etablering af effektiv lydæmpning.

Manglende eller forkert indregulering øger problemet med interne luftstrømme mellem lejligheder, ligesom varmegenvindingsgraden ikke overholdes ved ubalance i luftstrømmene. Der er behov for et automatisk system, der balancerer luftstrømmene og sikrer at ventilationen fungerer optimalt – både med hensyn til energi og indeklima samt driftsøkonomi.

IKT- og især IoT-udviklingen giver nye muligheder for driftsovervågning og styring, der kan optimere ventilatorernes ydelser, følge indreguleringen, og forenkle anlæggets vedligehold og servicering.

Potentialet for at billiggøre installationerne i anlæg og drift er ikke udnyttet, og er en barriere på markedet.

Lindab ønsker på denne baggrund at udvikle iVENT2020, som både nationalt og internationalt kan styrke virksomheden i konkurrencen.

Udviklingsprojektet udføres i tæt samarbejde mellem Lindab A/S og Teknologisk Institut, Energieffektivisering og Ventilation

Der er i projektet udviklet en automatisk indreguleringsalgoritme beregnet til 2 udsugningssteder og 5 indblæsningssteder. Algoritmen skaber balance mellem indblæsning og udsugning ved minimalt tryktab i kanalsystemet, det vil sige optimal spjældvinkel for alle spjæld. Luftbalancen opretholdes også ved aktiv brug af emhætte eller bad eller begge dele. En væsentlig del (komponent) er Lindabs ultralyds flowmåler inkl. reguleringsspjæld FTCU.



## 1.3 Executive summary

### UK

In the development process of decentralized ventilation systems for multi-storey buildings, the project has the skeleton for the content of the following three important references:

-SBI 2020: 12: "White Paper - Ventilation of existing multi-storey dwellings - Collection of experience and recommendations".

-Building regulations 2018 regarding function testing of ventilation systems.

-New DS 447: "Ventilation in buildings - Mechanical, natural and hybrid ventilation systems" (expected to be published in spring 2021).

Based on the above references, a requirements specification has been prepared for the ventilation system solution. If the ventilation system solution is installed in an apartment and basic information about the apartment is entered, an optimization algorithm has been developed in the project, which can automatically adjust partial air flows and minimize the pressure loss in the installation. This makes the fans run optimally with the least possible electricity consumption. The project further outlines a concept for demand control of the main airflow using, for example, IoT sensors (RF and possibly CO<sub>2</sub>).

The ventilation system solution provides great security for the user, as main airflow, partial airflow, air balance can be read in a simple way on the Lindab UltraLink APP. In the event of user intervention on the installation, eg in connection with cleaning of valves or the desire for a better filter, so that the installation is moved away from the original adjustment, the algorithm will still ensure correct air flows and balance between supply and exhaust.

Unfortunately, the project did not succeed in developing a better sound silencer with space-saving properties. The new voluntary sustainability class also contains requirements for noise from installations, where the noise requirement for ventilation in living rooms is set at 25 dB(A) compared with the current requirements in BR18 / DS 490 of 30 dB(A). The current silencers from Lindab can solve the task but will now require even more space.

### DK

I udviklingsprocessen for decentrale ventilationssystemer til bygninger i flere etager har projektet skelet til indholdet i følgende tre vigtige referencer:

-SBI 2020: 12: "Hvidbog - Ventilation af eksisterende boliger i flere etager - Indsamling af erfaringer og anbefalinger".

-Bygningsreglement 2018 vedrørende funktionstest af ventilationssystemer.

-Ny DS 447: "Ventilation i bygninger - Mekaniske, naturlige og hybrid ventilationssystemer" (forventes offentliggjort i foråret 2021).

Baseret på ovenstående referencer er der udarbejdet en kravspecifikation til ventilationssystemløsningen. Hvis ventilationssystemløsningen installeres i en lejlighed og grundlæggende informationer om lejligheden indtastes, er der udviklet en optimeringsalgoritme i projektet, som automatisk kan justere delluftstrømme og minimere tryktabet i installationen. Dette får ventilatorerne til at køre optimalt med det mindst mulige elforbrug. Projektet skitserer yderligere

et koncept til DCV-kontrol af hovedluftstrømmen ved hjælp af for eksempel IoT-sensorer (RF og muligvis CO<sub>2</sub>).

Ventilationssystemsløsningen giver stor sikkerhed for brugeren, da hovedluftstrøm, delluftstrøm, luftbalance kan aflæses på en enkel måde på Lindab UltraLink APP. I tilfælde af brugerindgreb på installationen, fx i forbindelse med rengøring af ventiler eller ønsket om et bedre filter, så installationen flyttes væk fra den oprindelige justering, vil algoritmen stadigvæk sikre korrekt luftstrøm og balance mellem indblæsning og udsugning.

Desværre lykkedes det ikke med projektet at udvikle en bedre lyddæmper med pladsbesparende egenskaber. Den nye frivillige bæredygtighedsklasse indeholder også krav til støj fra installationer, hvor støjkravet til ventilation i stuer er sat til 25 dB(A) sammenlignet med de nuværende krav i BR18 / DS 490 på 30 dB(A). De nuværende lyddæmpere fra Lindab kan løse opgaven, men vil nu kræve endnu mere plads.

## 1.4 Projektets formål

### Baggrund og formål

De seneste ti års udvikling har, ud fra BR-krav og fokus på indeklima og energieffektivisering, medført en kolossal udvikling på ventilationsområdet til det voksende marked for ventilationsanlæg med varmegenvinding (VGV) i boliger både til nybyggeri og energirenoveringer.

Udviklingen har resulteret i en lang række nye ventilationsaggregater med VGV til parcelhuse og til etageejendomme (centrale og decentrale anlæg), hvor Danmark kan ses som foregangsland med producenter der forsyner markedet med de mest energieffektive aggregater i EU.

Aggregaterne og de samlede anlæg er typisk meget kompakte for at kunne indpasses i den eksisterende bygningsmasse uden at optage plads, og med respekt for arkitektur og byggeskik, som ikke har været forberedt til denne installation. I takt med, at de nye aggregater er kommet på markedet og som resultat af et massivt oplysningsarbejde, har bygningsadministratorer og boligselskaber forstået værdien af "korrekt ventilation" på grund af den væsentlige energibesparelse, det forbedrede indeklima, og endelig og ikke mindst, den effektive forebyggelse af skimmelsvampeangreb.

En række barrierer for anvendelse ved renovering har dog ligeledes set dagens lys, da udviklingen har været fokuseret mod relativ billige og kompakte aggregater, der fx kan skjules over et nedhængt loft i boligens entre med en samlet byggehøjde på max 30 cm. Der har imidlertid ikke været fokus på det samlede system herunder samlet pris, funktion og tryktab samt drift, da fokus primært har været at udvikle billige kompakte aggregater og ikke systemet som helhed. Derfor er den samlede indregulerede installation stadig relativt dyr, og der er et relativt stort tryktab i både komponenter og kanalsystem, ligesom der ikke er plads til effektive lydæmpere i det kompakte system.

Der er derfor stort behov for at forbedre ydelsen af det samlede ventilationsanlæg og dets delkomponenter – både i etablerings- og driftsfasen. Ved energirenovering af etageejendomme er pris vigtig, men også indeklima, drift og støj fra installationer er afgørende for prioriteringen af ventilationsanlæg i den samlede indsats. For mange af de kompakte anlæg der allerede er på markedet, er tryktabene så store, at den samlede ydelse af systemet vanskeligt imødekommer kravene til SFP eller støj. Derfor ændres Bygningsreglementet også nu til et reduceret krav, svarende til en dobbelt så høj SFP (dvs. dårligere energimæssige krav, som øger elenergiforbruget til det dobbelte) for de decentrale anlæg i etageejendomme, da der simpelthen ikke er løsninger på markedet der kan imødekomme de nuværende krav, hvilket udviklingen i nærværende projekt imødekomme. Det gælder i forbindelse med kanaludformning og -føringer, indblæsning og udsugning, samt i forbindelse med etablering af effektiv lydæmpning, da de eksisterende lydæmpere på markedet er alt for pladskrævende.

Ligeledes er der behov for bedre driftsovervågning, styring og visualisering, der kan optimere ydelsen, følge indreguleringen, og forenkle anlæggets vedligehold og servicering, hvilket IKT- og især IoT-udviklingen giver nye muligheder for.

Endeligt er der når anlægget er installeret, brug for korrekt aflevering og indregulering for at realisere den ønskede energibesparelse og korrekt indeklima. Men da det ofte er et tidskrævende og besværligt arbejde, som ligger i sidste fase af entreprisen (hvor budgettet ofte er overskredet), negligeres det desværre ofte. Det giver potentielle problemer med interne luftstrømme mellem de enkelte lejligheder grundet drivende under- og overtryk og yderligere kan varmegenvindingsgraden ikke overholdes ved de ubalancerede luftstrømme. For at imødekomme denne barriere vil der i

projektet udvikles et automatisk selvindregulerende system, som kan balancere luftstrømmene og dermed dels sikre at anlægget fungerer optimalt – både med hensyn til energi og indeklima og dels reducere etableringsomkostningerne.

Lindab ønsker på denne baggrund at udvikle et nyt intelligente ventilationssystem, som både nationalt og internationalt kan styrke virksomheden. I første omgang løsninger til decentral ventilation af etageejendomme, og sidenhen til den øvrige del af markedet, herunder énfamiliehus-segmentet.

Formålet med iVENT 2020 er at udvikle prisbillige systemløsninger til decentral ventilation af etageejendomme med fokus på intelligent driftsovervågning og styring, selvindregulering og et samlet reduceret tryktab, der øger energieffektiviteten væsentligt og samtidig reducere etablerings- og driftsudgifterne betragteligt.

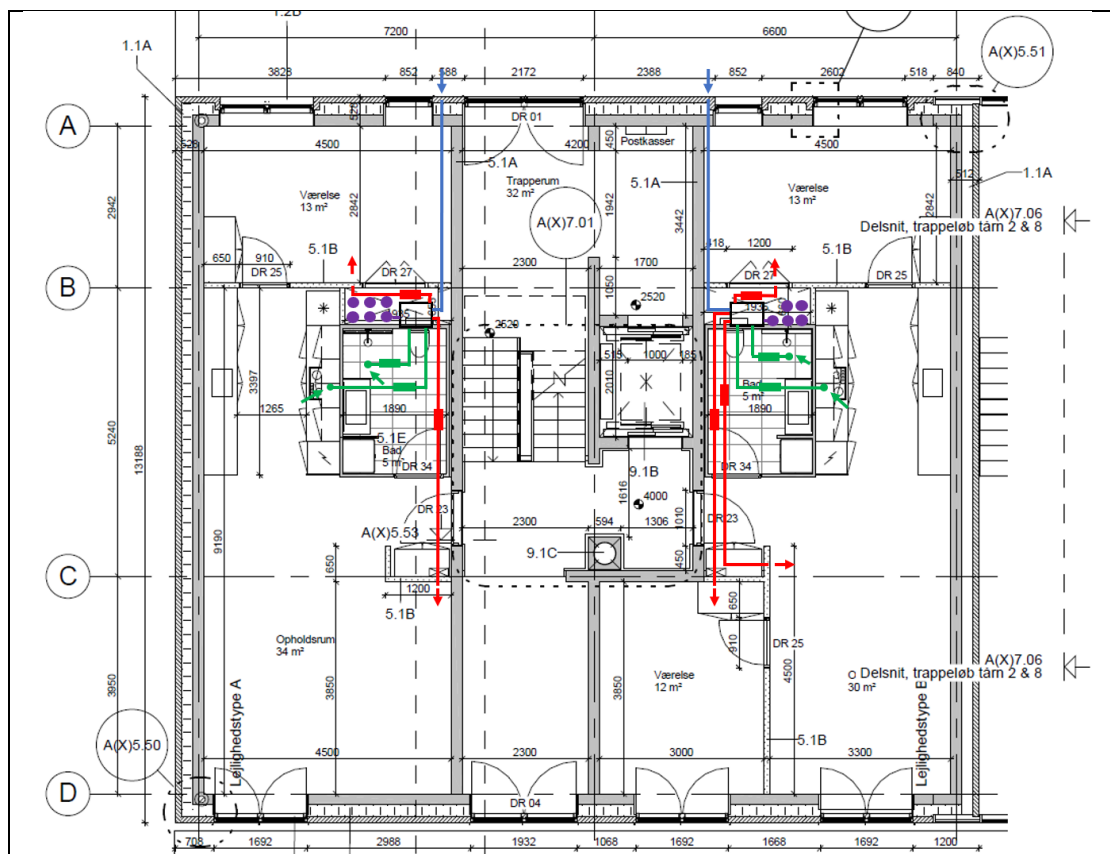
Formålet opfyldes gennem:

- Nyt system til selvindregulering
- Nye komponenter til samlede løsninger med minimeret tryktab og effektiv lyddæmpning
- Ny IoT baseret driftsovervågning og styring via App tilpasset bruger (ejendomsfunktionærer)
- Dimensioneringsværktøj til projekterende og installatører
- Demonstration og dokumentation af iVENT2020 systemløsning hos LS Control og omfattende test i laboratoriet på Teknologisk Institut

## 1.5 Projektresultater og formidling af resultater

### 1.5.1 Indledende screening af lejligheder

Den typiske lejlighed i nyt byggeri har køkken/opholdsstue, 1 værelse og bad eller Køkken/opholdsstue, 2 værelser og bad. I sjældne tilfælde 3 værelser. Der er i bilagsrapporten kikket på flere konfigurationer end vist her i rapporten:



Principdiagrammet for et ventilationsanlæg i lejlighed kan se ud som følger med 2 værelser:



## Bygningsreglement 2018

### § 425

Ved tilførsel og fjernelse af luft skal det i rum, hvor personer opholder sig i længere tid, sikres, at der ikke opstår træk i opholdszonen. For lokaler med stillesiddende aktivitet er eftervisning af, at trækrisikoen (draught rate) ikke overstiger 20 pct., én måde at dokumentere, at der ikke opstår træk i opholdszonen.

Trækrisikoen afhænger af aktivitetsniveau, lufttemperatur og luftens turbulensintensitet. Opholdszonen er det område i et rum, hvor personer kan forventes at opholde sig i længere tid.

Med draught rate på 20 % fås følgende, maksimale lufthastigheder ved normal turbulens (Turbulensintensitet på 40 %):

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

### § 443

I beboelsesrum såvel som i boligen totalt skal der til enhver tid være en udelufttilførsel på mindst 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal. Dette gælder også ved brug af behovsstyret ventilation.

Stk. 2. Boligens grundluftskifte skal tilvejebringes med et ventilationsanlæg med indblæsning i beboelsesrummene og udsugning i bad, wc-rum, køkken og bryggers. Ventilationsanlægget skal have varmegenvinding, der forvarmer indblæsningsluften. Uden for opvarmningssæsonen kan indblæsning erstattes af udelufttilførsel gennem vinduer, udeluftventiler og lignende.

Stk. 3. Køkkener i boliger skal forsynes med emhætte med udsugning over kogepladerne. Emhætten skal have regulerbar, mekanisk udsugning og afkast til det fri og have tilstrækkelig effektivitet til at fjerne fugt og luftformige forureninger fra madlavning. Udsugningen skal kunne forøges til mindst 20 l/s.

Vejledningstekst: Udsugningen i emhætten skal kunne forøges til mindst 20 l/s. De 20 l/s er mindste luftmængde, der kan benyttes under forudsætning af at emhætten er effektiv til at opfange em og er placeret hensigtsmæssigt. Hvis emhætten har en emopfangsevne på 75 pct. eller højere iht. DS/EN 61591 eller DS/EN 13141-3 vil det normalt opfylde kravet. Der skal altid sikres erstatningsluft når emhætten er i drift.

Stk. 4. Udsugning fra bade- og wc-rum i boliger skal kunne forøges til mindst 15 l/s. I wc-rum uden bad og i bryggers skal der kunne udsuges mindst 10 l/s.

### § 436

Det specifikke elforbrug til lufttransport må ikke overstige:

- 1) 1.800 J/m<sup>3</sup> udeluft for ventilationsanlæg med konstant luftydelse.
- 2) 2.100 J/m<sup>3</sup> udeluft ved maksimalt tryktab for anlæg med variabel luftydelse.
- 3) 1.500 J/m<sup>3</sup> udeluft ved grundluftskiftet for ventilationsanlæg til etageboliger.
- 4) 600 J/m<sup>3</sup> ved maksimalt tryktab for udsugningsanlæg uden mekanisk udelufttilførsel.

#### § 438

For ventilationsanlæg med konstant eller variabel luftydelse og varmegenvinding, hvor aggregat og kanalsystem kun betjener én bolig, må det specifikke elforbrug til lufttransport ikke overstige 1.000 J/m<sup>3</sup> ved maksimalt tryktab. Anlægget skal tilsluttes, så det er muligt at etablere måler til måling af det specifikke elforbrug til lufttransport.

#### §450

Der skal gennemføres en funktionsafprøvning af ventilationsanlægget før ibrugtagning. Funktionsafprøvningen skal dokumentere, at ventilationsanlægget overholder Bygningsreglementets krav til specifikt elforbrug til lufttransport af luftmængder, samt at eventuelt behovsstyring fungerer efter hensigten.

#### **Vejledning til Bygningsreglement 2018 – kapitel 22 stk. 1,5**

Det specifikke elforbrug til lufttransport opgøres som angivet i DS 447 Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer. Opmærksomheden henledes på, at tryktabet til brandtekniske komponenter som f.eks. brandspjæld ligeledes medregnes ved beregning af elforbruget.

Ventilationsanlæg, der kun betjener en enkelt bolig, har et skærpet krav til specifikt elforbrug til lufttransport. Dette gælder også for anlæg der betjener en enkelt boligenhed i en etagebolig. Hvis decentrale ventilationsanlæg i etageboliger er koblet sammen, for eksempel gennem et fælles aftræk er det kravet til specifikt elforbrug til lufttransport for etageboliger, der skal overholdes.

#### **Frivillig Bygningsklasse 2020**

#### § 483

Ventilationsanlæg, hvor aggregat og kanalsystem kun betjener én bolig, skal udføres med varmegenvinding med en tør virkningsgrad på mindst 85 pct.

#### § 484

For ventilationsanlæg med konstant luftydelse må det specifikke elforbrug til lufttransport ikke overstige 1.500 J/m<sup>3</sup> udeluft.

Stk. 2. For anlæg med variabel luftydelse må det specifikke elforbrug til lufttransport ikke overstige 1.800 J/m<sup>3</sup> udeluft ved maksimalt tryktab.

Stk. 3. For ventilationsanlæg til etageboliger må det specifikke elforbrug til lufttransport ikke overstige 1.200 J/m<sup>3</sup> udeluft ved grundluftsskiftet.

#### **DS 490 – Lydklassifikation af boliger**

Beboelsesrum: Opholds- eller soverum i en bolig.

*Note: Små, afgrænsende rum såsom entré, forstue, køkken, badeværelse osv. anses ikke for at være beboelsesrum i denne standard.*

Lydklasse C: Lydklasse svarende til intentionerne i byggelovgivningens minimumskrav. Op til mellem 15 % og 20 % af beboerne kan forventes at blive forstyrret af lyd eller støj.



#### 5.4 Støj indendørs fra tekniske installationer

Grænseværdierne for lydtrykniveauer fra tekniske installationer for hver lydklasse er vist i tabel 4.

Grænseværdier for støj fra tekniske installationer gælder for den enkelte installation og er relateret til umøblerede rum med lukkede vinduer og døre. Hvis målingerne foretages under andre rumforhold, foretages korrektioner i overensstemmelse med [1] i bibliografien.

I tilfælde af lavfrekvent støj bør det A-vægtede lydtrykniveau i det lavfrekvente område,  $L_{pA,LF}$ , ikke overstige 25 dB om dagen (kl. 07-18) eller 20 dB aften og nat (kl. 18-07). I lydklasse A og B bør overholdes grænseværdier, der er 5 dB lavere. Grænseværdier for lavfrekvent støj er relateret til en særlig målemetode, se [4] i bibliografien.

**Tabel 4 – Støj fra tekniske installationer. Grænseværdier angivet som højeste værdier for A-vægtet, ækvivalent lydtrykniveau,  $L_{Aeq,T}$**

Rumtype	Målestørrelse	Klasse A i dB	Klasse B i dB	Klasse C i dB	Klasse D i dB
I beboelsesrum og køkkener samt i fælles opholdsrum	$L_{Aeq,T}$	20	25	30	35

Figur 1: Udpluk fra normen

#### DS 447 – Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer

Filtre: Filtre skal vælges, så det sikres, at øvrige komponenters ydeevne ikke forringes på grund af tilsmudsning, samt at hygiejniske og komfortmæssige grænser for tilluftens indhold af støv og andre partikler er overholdt.

Filtre skal forsynes med udstyr for kontrol af filtrets renhed, fx tryktabskontrol.

*Note anbefalede mindste filterklasser: M5 for beskyttelse af genvindingskomponenter, varme-/køleflader m.m. F7 for tilluftssystemer i komfortanlæg {DS/EN 779}.*

Filterne skal leve op til kravene jævnfør teststandard ISO 16890, 2017. F7 skal være ePM1-60 % og M5 ePM10-60 %, og kun Eurovent certificerede filtre accepteres. ISO 16890 erstatter DS 779.

Driftskontrol: Ventilationsanlæg skal være forsynet med måleudtag, komponenter eller instrumenter, der muliggør kontrol af driften herunder anlæggets ydelse og energiforbrug.

Ventilationsanlægget skal være forsynet med fastmonterede udtag til måling af hovedluftstrømme eller have mulighed for udlæsning af hovedluftstrømme på betjeningspanel.

Tilluftens og fraluftens temperatur skal kunne måles. Desuden skal udeluftens temperatur kunne måles.

Ved varmegenvindere skal der kunne foretages lufttemperaturmålinger, som muliggør bestemmelse af varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad.

Indregulering: Ventilationsanlægget skal indreguleres, så anlægget yder de nominelle luftstrømme inden for de specificerede tolerancer:

-Luftstrøm gennem armaturer +/-15 %

-Samlet luftstrøm til rummet +/-10 %

-Hovedluftstrøm fra/til aggregat +/-8 %.

Indreguleringen skal udføres, så tryktabet i anlægget bliver mindst muligt.

Aflevering: I forbindelse med afleveringen skal det eftervises, at anlægget er udført og fungerer i overensstemmelse med de krav, der er gældende på afleveringstidspunktet, herunder anlæggets energieffektivitet.

Målinger af luftstrømme skal ske ved en referencetilstand.

I forbindelse med afprøvningen udfærdiges en afprøvningsrapport, som skal indeholde de målte værdier med angivelse af målemetoder, måleinstrumenter og sandsynlige målefejl. Alle setpunkter skal være anført i afprøvningsrapporten.

### **Vejledning til BR2018**

Der skal gennemføres funktionsafprøvning af ventilationsanlæg før aflevering.

Funktionsafprøvningen skal dokumentere, at ventilationsanlægget overholder Bygningsreglementets krav til:

- Luftmængder (nominel luftstrøm)
- Specifikt elforbrug til lufttransport (SEL-værdi)
- Eventuel behovsstyring fungerer efter hensigten.

Ifølge Bygningsreglementet §421, skal ventilationsanlæg projekteres, udføres, indreguleres og afleveres som anvist i DS 447, Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer.

Vejledning om funktionsafprøvning af ventilationsanlæg er derfor baseret på kravene i DS 447.

*Note: Ventilationsanlæg til boliger kan afprøves i henhold til DS/EN 14134.*

### **DS 428, 5. udgave – Norm for brandtekniske foranstaltninger ved ventilationsanlæg**

Røgspjæld og røgdetektorer på afkastkanaler kan udelades, hvis hvert udsugningsanlæg udføres med særskilte lodrette afkastkanaler til en fælles afksthætte, der er ført op i fri vind. Tryktabet i den fælles afksthætte, ved den maksimale samlede volumenstrøm, må maksimalt udgøre 20 Pa. For bygninger der er højere end 5-6 etager kan tryktabet i de lodrette afkastkanaler fra de nederste boliger i bygningen være problematisk pga. det lave drivtryk et decentralt boligventilationsanlæg har.

I 5. udgave af DS 428 er der lagt op til at afkastkanaler fra decentrale ventilationsanlæg i etageboligbyggeri kan udføres på andre måder som kan give mere ensartede trykforhold for de enkelte ventilationsanlæg. Der er bl.a. eksempler med brug fælles afkastkanaler som brandsikres med røgspjæld i hver lejlighed. Det er ikke nærmere defineret, hvordan automatikken til styring af røgspjældene skal udformes, men det er angivet at den skal reagere på anlægsstop og anlægssvigt på det enkelte anlæg, så der vil være behov for at automatikken på det enkelte anlæg i en eller anden grad kan kommunikere med en central brandautomatik eller at der i hvert anlæg er en decentral brandautomatik til detektering af brand, der kan lukke spjældene og foretage automatisk ugentlige afprøvning af spjældene.

## SBI anvisning 213 Bygningers energibehov – beregningsvejledning, 6. udgave 2018

### 6.1.5 Temperaturvirkningsgraden – Tilisning og afisning

Der er i beregningsvejledningen til BE18 energirammeberegninger stillet krav om at der foretages en korrektion af varmegenvinderens effektivitet hvis afrimning af genvinderen ikke styres energieffektivt.

Der skal foretages korrektioner, hvis der er tale om en styring med en forvarmeplade med en føler i udeluften, eller hvis der er tale om en forvarmeplade eller et bypass med en føler i afkastluften. Korrektionerne ligger på mellem 1 og 12 % alt afhængigt af styringsform og genvinderens effektivitet.

Der skal ikke foretages nogen korrektion hvis afrimningen styres efter en overfladetemperaturføler på genvinderen eller efter tryktab over varmegenvinderen.

#### Forslag til styringsstrategi og forskellige drift mode

Behovsstyring af boliger beror på ønsket om at spare energi samtidig med at undgå fugtproblemer og risikoen for træk reduceres. Her er persontilstedeværelse afgørende, for om ventilationsmængden er tilstrækkelig. Detektering af tilstedeværelse sker i dette projekt ved måling af CO<sub>2</sub>.

#### Persontilstedeværelse

Forskellen i CO<sub>2</sub> koncentration mellem indblæsning og udsugning måles kontinuerligt. Når forskellen er større end 150 ppm er dette en indikator for, at der er personer til stede i boligen.

#### Detektering af fugt

Statens Byggeforskningsinstitut har i flere projekter undersøgt muligheden for behovsstyring af ventilationen i etagebyggeri ved hjælp af fugtsensorer. Resultaterne indikerer energisparepotentiale helt op til 25 – 30 % af ventilationstabet.<sup>{4, 5}</sup>

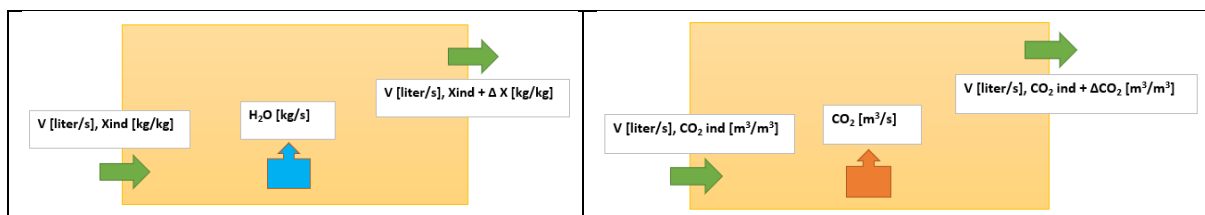
Boligventilationsanlæg kan i dag være forsynet med et display med flere valgmuligheder, men der er typisk tale om valg af forskellige konstante ventilationsrater uden feedback fra sensorer.

#### Styringsstrategier

Der er i dette projekt foreslået en styring med 5 driftsformer hvor der skiftes automatisk mellem de forskellige trin:

TRIN	Teknisk option	Sensorer	Bad/WC/Køkken/Bryggers	I/(s·m <sup>2</sup> )	Luftmængde
0	OFF		0/0/0/0	0	Konstant
I	Fravær [Fugtsikring]	$\Delta X_{\text{inde} - \text{ude}}$ , <sup>{3}</sup>	5/3,3/6,7/3,3	0,10 <sup>{1, 2}</sup>	Konstant/(Variabel)
II	Behovsstyring [Fugtsikring] [Luftkvalitet]	$\Delta X_{\text{inde} - \text{ude}}$ , <sup>{3}</sup> $\Delta \text{CO}_2_{\text{inde} - \text{ude}}$ , Evt. CO <sub>2</sub> i soveværelse	Variabel	0,10 – 0,30 <sup>{6}</sup>	Variabel
III	Konstant grundventilation	Evt. CO <sub>2</sub> i soveværelse	15/10/20/10	0,30 -	Konstant/(Variabel) <sup>{7}</sup>
IV	Party/Forcering <sup>{9}</sup>		22,5/15/30/15	0,45	Konstant <sup>{8}</sup>
-	Bypass (ikke et brugervalg)	T <sub>ude</sub> >15°C, T <sub>uds</sub> >25°C	15/10/20/10	0,30	Konstant

- <sup>(1)</sup> Boverkets byggregler BBR, 2013, Sverige
- <sup>(2)</sup> DS/EN 15251, 2007
- <sup>(3)</sup> FoHMFS 2014:18, Sverige (bør ikke overstige 3 g/m<sup>3</sup> luft)
- <sup>(4)</sup> Bergsøe N C: "Vurdering af ventilationsbehov", SBI-meddelelse 130, 2000
- <sup>(5)</sup> Bergsøe N C og Afshari A: "Fugtstyret boligventilation – Målinger og evaluering", SBI 2008:08
- <sup>(6)</sup> Den højeste værdi er:  $[0,30 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2), \text{ funktionsbestemte}]_{\text{MAX}}$
- <sup>(7)</sup> Forskellen mellem det 'arealbestemte' og 'funktionsbestemte' ventilationsbehov kan i nogle tilfælde være så lille, at det ikke giver mening at skelne fx en bolig på 200 m<sup>2</sup>, 2 bad/wc, 1 køkken og 1 bryggers. Her er behovet i begge tilfælde 60 l/s.
- <sup>(8)</sup> 50 % øgning af luftmængde. Efter 3 timer stilles der automatisk tilbage til mode II.
- <sup>(9)</sup> Forcering gælder også brug af køkkenemhætten, hvor luftmængden går fra 20 l/s til 30 l/s. Der er sket en positiv udvikling af emhætter og tilhørende emfangsevne. Det er vurderet, at 30 l/s (108 m<sup>3</sup>/h) er tilstrækkeligt ved valg af den rigtige emhætte.



$\Delta X$  og  $\Delta \text{CO}_2$  kan fx vælges til 0,002 [kg/kg] og 150 [ppm].

Der kan være udfordringer med at regulere ved små luftmængder (0,1-0,3 l/s·m<sup>2</sup>) med VAV-spjæld. Når forcering af den ene udsugningskanal aktiveres og luftmængderne øges er det vigtigt at spjældene regulerer korrekt. Når luftmængden er lille (0,1-0,3 l/s) kan det være en mulighed at holde alle spjæld 100 % åbne og lade autoriteten ligge i kanalerne. Hvorvidt reguleringen kan udføres præcist nok i alle driftstrin, bør afsøges nærmere i forbindelse med forsøgsopstilling af anlægget.

### 0-OFF

Denne option kan bruges, hvis der opstår behov for fx at stoppe ventilatorerne, fx i tilfælde af myndighedsvarsling eller service. Der skal samtidig tændes en rød advarselsslampe på betjeningspanelet, som viser at ventilationsanlægget er stoppet.

### I-Fravær

Denne option anvendes, hvis boligen forlades i længere tid (boligen er tom for personer). Ventilationsanlægget kører ned på minimum ventilationsrate. Der er indlagt en fugtsikring, hvor ventilationsraten øges, hvis der detekteres en stigning i fugtniveauet som beskrevet i trin II og forceret udsugning badeværelse). Udsugnings- og indblæsningsluftmængde fordeles proportionalt mellem rummene i forhold til antal m<sup>2</sup>. Fordeling overvåges kontinuerligt af hastighedssensorer (UltraLink) og fastholdes ved regulering af spjæld.

### II-Behovsstyring

Luftudskiftningen varierer efter behovet svarende til et gennemsnitlig luftskifte for hele boligen på minimum 0,10 l/(s · m<sup>2</sup>) og op til 0,30 l/(s · m<sup>2</sup>). Udsugningsluftmængde fordeles proportionalt mellem bad og emhætte samtidig med at der reguleres mellem 0,1-0,3 l/(s·m<sup>2</sup>). Udsugnings- og indblæsningsluftmængde holdes i balance og fordeles proportionalt mellem rummene i forhold til antal m<sup>2</sup>. Fordeling overvåges kontinuerligt af ultralydsmålere og fastholdes ved regulering af spjæld.

Variationen i luftskifte styres af centrale ventilationsaggregatsensorer (relativ luftfugtighed og CO<sub>2</sub>) placeret i udsugningsluften og udeluften. Dog undlades én CO<sub>2</sub> sensor i udeluften, idet der

beregningsmæssigt indregnes en fast værdi på 400 ppm. Reguleringen foretages på baggrund af CO<sub>2</sub> koncentration og absolut fugtighed i både indblæsnings- og udsugningsluft.

Registrering af en fast forskel i CO<sub>2</sub> koncentration mellem indblæsnings- og udsugningsluft aktiverer det høje trin 0,30 l/(s · m<sup>2</sup>). Når forskellen i CO<sub>2</sub> koncentrationen igen er under grænseværdien køres ned på det lave trin 0,10 l/(s · m<sup>2</sup>). Denne funktion fungerer også som en detektering af om der er personer i boligen og der derfor er brug for den høje ventilationsrate på 0,30 l/(s · m<sup>2</sup>)

Det foreslås følgende set-punkt for ΔCO<sub>2</sub>:

- CO<sub>2\_inde</sub> – CO<sub>2\_ude</sub> = 150 ppm

Som supplement til CO<sub>2</sub> styringen måles forskellen i absolut fugtighed mellem indblæsnings- og udsugningsluft, for at sikre at ventilationen forbliver på det høje trin, hvis der er en fugtproduktion når der ikke er nogen hjemme (f.eks. på grund af tørring af tøj).

Det foreslås følgende set-punkt for ΔX :

- X<sub>inde</sub> – X<sub>ude</sub> = 2 g pr. kg tør luft<sup>(10)</sup>

<sup>(10)</sup> Svarer fx til: 23°C, 40 %, 7 g/kg og 5°C, 90 %, 5 g/kg, dvs. ΔX = 2 g/kg.

Der skal være mulighed for at kunne ændre setpunkterne i en menu i betjeningspanelet.

Der er mulighed for at forceret udsug i køkken og badeværelse, når disse er i brug som beskrevet under forceret udsugning badeværelse og forceret udsugning emhætte.

### III-Konstant grundventilation

Luftudskiftningen er fuldstændigt efter Bygningsreglementets funktionskrav til udsugningsluftmængder i bad/køkken/WC/bryggers eller 0,30 l/(s · m<sup>2</sup>) alt efter hvilken værdi der er højest. Indblæsningsluftmængde holdes i balance med udsugningsluftmængden og fordeles proportionalt mellem rummene i forhold til antal m<sup>2</sup>. Fordeling af luftmængderne overvåges kontinuerligt af ultralydsmålere.

Der er mulighed for at forcere udsugningen i køkken og badeværelse, når disse er i brug som beskrevet under forceret udsugning i badeværelse og forceret udsugning i køkken via emhætte.

Trin III er p.t. det laveste der overholder kravene i henhold til BR18.

### IV-Party/Forcering

Ved dette trin øges luftmængden fra de funktionsbestemte eller arealbestemte luftmængder i trin III med 50 %. Denne option kan fx anvendes, hvis der skal luftes ekstra ud, når der fx er mange personer til stede i boligen, hvis der vaskes gulve, tørres tøj, etc. Forceringen er tidsbestemt til 3 timer. Herefter går styringen automatisk ned på trin II igen.

Forcering af udsugning i køkken via emhætte og udsugning i bad er overstyret af dette trin.

### Bypass – alle driftstrin

Bypass er ikke en valgfri option, men kører automatisk i baggrunden ved alle trin via inde- og udetemperaturen. Hvis temperaturen i udsugningskanalen er over f.eks. 25°C (justerbar værdi), og udetemperaturen er over 15°C (justerbar værdi men kan ikke sættes lavere end f.eks. 15°C for at sikre mod samtidig "køling" og opvarmning) åbnes bypassspjæld modulerende så det kontinuerligt tilsikres at minimumindblæsningsstemperaturen opretholdes.

### Forceret udsugning badeværelse i driftstrin I, II og III

Ved en pludselig ændring af luftfugtigheden  $\Delta X$  i forbindelse med bad aktiveres forcering af udsugningsluftmængden til badeværelset.

Det foreslås følgende set-punkt for  $\Delta X$ :

- $X_{\text{inde}} - X_{\text{ude}} = 4 \text{ g pr. kg tør luft}^{(11)}$  indenfor 30 sekunder

<sup>(11)</sup> Svarer fx til: 23°C, 55 %, 9 g/kg og 5°C, 90 %, 5 g/kg, dvs.  $\Delta X = 4 \text{ g/kg}$ .

Forceret udsugning i badeværelse stopper når følgende parametre er opfyldt:

- Forcering har været aktiv i 30 minutter
- Den relative luftfugtighed i udsugningsluften har samme niveau som før aktivering af forcering (dette forudsætter en løbende logning af den relative luftfugtighed i udsugningsluften).

Ventilatorer øger hastigheden, spjæld til bad åbnes helt, ultralydsmåler overvåger at forceret luftmængde opretholdes i kanal til badeværelse samtidig med at udsugnings luftmængde til køkken opretholdes som før aktivering ved regulering af spjæld ud fra luftmængdemåling med ultralydsmåler. Indblæsningsluftmængde holdes i balance med den samlede udsugningsluftmængde til køkken og bad og fordeles proportionalt mellem rummene i forhold til antal m<sup>2</sup>.

Det er vigtigt, at styringen, spjæld og ventilatorer kan reagere hurtigt, når fugtproduktionen stiger brat på grund af bad eller lignende.

### Forceret udsugning emhætte i driftstrin (I), II og III

Ved madlavning kan forcering af emhætten aktiveres på betjeningstryk på emhætte. Herved øges ventilationsraten til 30 l/s ved at øge ventilator hastighed og åbne spjæld til emhætte helt op. Her skal det sikres at den valgte emhætte har en emopfangsevne, der opfylder BR18.

Ultralydsmålere overvåger at udsugningsluftmængde opretholdes i kanal til emhætte samtidig med at udsugningsluftmængde til bad opretholdes som før aktivering ved regulering af spjæld ud fra luftmængdemåling med ultralydsmåler. Indblæsningsluftmængde holdes i balance med den samlede udsugningsluftmængde til køkken og bad og fordeles proportionalt mellem rummene i forhold til antal m<sup>2</sup>. Ved forcering af emhætte øges ventilationen generelt i lejligheden.

Forceringen stoppes automatisk efter 3 timer. Forceringen kan også afbrydes manuelt af brugeren på betjeningstryk på emhætten.

### Luftstrøm registrering

Den totale luftrate<sub>ind</sub> og den totale luftrate<sub>ud</sub> måles kontinuerligt direkte over de to ventilatorer via statisk trykudtag ( $q_{\text{luftstrøm}} = K \cdot (\Delta p_{\text{statisk}})^{0,5}$ ).

Yderligere anvendes Lindab Ultralyds luftstrøm målere på alle udsugnings- og indblæsningskanaler. Summen af disse ultralydsmålere bruges, som en ekstra sikkerhed for registrering af korrekt luftrate.

### Ventilatorstyring - Fan optimizer

Fan optimizer: Spjældstillinger justeres kontinuerligt så mindst et spjæld har 85 % åbningsgrad samtidig med at fordelingen af luftmængderne opretholdes. Ventilatorhastigheden justeres kontinuerligt så der sikres lavest muligt energiforbrug. (Det kan overvejes om spjældet skal stå 100 % åbent i stedet for 85 %. Når vi er nede i meget lave luftmængder, bliver det alligevel svært at regulere helt præcist og vi kan lige så godt have mindst et spjæld 100 % åbent).

Ventilatorstyringen sikrer at Den totale luftrate<sub>ind</sub> og den totale luftrate<sub>ud</sub> altid er i balance. Dette sker ved kontinuerlig at sammenligne summen af de målte luftstrømme over ultralydsmålerne på hhv. indblæsnings- og udsugningskanaler.

Hastigheden på de to ventilatorer justeres løbende så indblæsningsventilatoren yder samme målte luftmængde som udsugningsventilatoren i forhold til det indstillede driftstrin.

### **Forøget luftstrøm i værelser (option)**

Ventilationsraten i soveværelse kan reguleres efter en trådløs CO<sub>2</sub> sensor placeret i rummene. Setpunkt for CO<sub>2</sub> koncentration vælges til 1.200 ppm, som svarer til klasse III i EN15251:2007 (afløses af 16798-1).

Når CO<sub>2</sub> koncentrationen er højere end setpunktet åbnes spjældet på indblæsningskanalen til det aktuelle rum helt og spjældende til indblæsningen i de øvrige rum regulerer ned så luftmængden fastholdes i øvrige værelser og reduceres i køkken/stue. Ventilatorstyringen sikrer at hovedluftmængder holdes i balance mellem den totale luftstrøm<sub>ind</sub> og luftstrøm<sub>ud</sub>.

I et soveværelse på 12 m<sup>2</sup> med en rumhøjde på 2,5 m hvor 2 personer opholder sig i 8 timer er der behov for en luftmængde på 9,5 l/s for at holde CO<sub>2</sub> koncentrationen under 1.200 ppm.

I en lejlighed på 90m<sup>2</sup> er den samlede luftmængde ved 0,30 l/(s · m<sup>2</sup>) på 27 l/s eller 35 l/s hvis det er funktionskravene til udsugning. Der er derfor tale om en stor andel af grundluftmængden der tilføres soveværelset i denne situation. Der er derfor også grænser for hvor mange værelser der kan have denne ekstra funktion.

Der er også mulighed for at øge anlægget samlede luftmængde i denne situation, men det bør overvejes om det er energioekonomisk fornuftigt når det er hver nat der er behov for denne ekstra luftmængde.

Hvis der vælges at anvende plasticslanger som kanalsystem kan der være behov for 2 slanger til et værelse for at kunne tilvejebringe denne ekstra luftmængde pga. CO<sub>2</sub>. Hvis der i stedet anvendes spirorør, vil en dimension på min. ø100 mm være nok til at sikre lavt tryktab og lufthastighed i kanalen.

Denne løsning er naturligvis økonomisk dyrere i forhold til den mere simple løsning med kun én CO<sub>2</sub> sensor i aggregat.

Løsningen er en option og anvendes ikke videre i projektet

### **Automatisk indreguleringsrapport og funktionsafprøvning**

Automatikken justerer ventilatorhastighed og spjældstillinger så luftmængder til de enkelte rum er i overensstemmelse med det valgte driftstrin. Fanoptimizer sikrer at spjældene altid er mest muligt åbne og at ventilator kører optimalt.

Hovedluftmængde for indblæsning opretholdes kontinuerligt i balance med udsugningsluftmængden.

I den automatisk udarbejdede indreguleringsrapport skal hovedluftmængder og delluftmængder fremgå for udsugning og indblæsning ved de forskellige driftstrin. hovedluftmængderne anvendes til bestemmelse af SEL-værdi ved hvert enkelt driftstrin. I indreguleringsrapporten skal også være angivet de projekterede værdier således at der kan angives den afvigelse der måtte være og om den overholder kravet til afvigelser iht. BR18 vejledningen om funktionsafprøvning.

Den automatisk SEL-måling kræver indbygning af effektmålere i aggregat. Funktionen kan derudover anvendes til kontinuerlig overvågning af energiforbruget til anlægget og eventuelt som en filter overvågning.

I forbindelse med automatisk måling af SEL skal bypassspjældet være lukket så hele luftmængden passerer gennem varmegenvinderen.

Beregning af SEL-værdi foretages på baggrund af en logning af den målte maks. luftmængde og måling af det samlede effektoptag til begge ventilatorer ved denne luftmængde i en given tidsperiode. SEL-værdien beregnes som et gennemsnit af den beregnede SEL-værdi for hver enkelt logning.

$$SEL = \frac{\sum \cdot \frac{(P_{tilluft} + P_{fraluft})}{q_v}}{\text{Antal logninger}}$$

Hvor

P = optagen el-effekt i Watt for hhv. tilluft og fraluft ventilator

q<sub>v</sub> = Luftmængde i m<sup>3</sup>/s

Ved automatisk bestemmelse af SEL-værdi skal outputtet være:

SEL <sub>grundventilation</sub> [J/m <sup>3</sup> ]	q [m <sup>3</sup> /s]	p [W]	η <sub>ventilator</sub> [%]
SEL <sub>forcering</sub> [J/m <sup>3</sup> ]	q [m <sup>3</sup> /s]	p [W]	η <sub>ventilator</sub> [%]
SEL <sub>party/forcering</sub> [J/m <sup>3</sup> ]	q [m <sup>3</sup> /s]	p [W]	η <sub>ventilator</sub> [%]

For anlæg med variabel luftydelse, der kun betjener en boligenhed og har eget luftindtag og afkast, kræver Bygningsreglementet at kravet til SEL på 1.000 J/m<sup>3</sup> overholdes ved maksimalt luftskifte. Kravene i Bygningsreglementet er ikke specifikke om hvorvidt maks. luftmængden er de funktionsbestemte udsugningsluftmængder eller de faktisk forcerede luftmængder hvis der er større behov for at sikre en effektivitet på min. 75 % ved emhætten. For dette anlæg kan det f.eks. være en udfordring i forhold til at overholde SEL kravene i driftstrinnet 'Party/forcering' hvor både luftmængder til bad og emhætte er forceret i forhold til Bygningsreglementets funktionskrav.

For anlæg der forsyner etageboliger og er koblet sammen f.eks. med fælles afkast, skal kravet til SEL på 1.500 J/m<sup>3</sup> (1.200 for Bygningsklasse 2020) overholdes ved grundluftskiftet (0,30 l/(s · m<sup>2</sup>)).

OBS. Ved anlæg med fælles afkast med hjælpeventilator skal hjælpeventilatorens strømforbrug fordelt på antallet af lejligheder regnes med i SEL værdien for det enkelte anlæg.

Acceptkriteriet iht. Bygningsreglementets vejledning om funktionsafprøvning er at SEL-værdien må maks. overstige kravet i Bygningsreglementet med 5 %.

I Bygningsreglementets vejledning om funktionsafprøvning er kravet for funktionsafprøvning af behovsstyring er at den eller de parametre der ligger til grund for behovsstyringen skal indgå som et målepunkt og logges med eksternt kalibreret måleudstyr. I dette tilfælde er parametrene CO<sub>2</sub> og fugtniveau.

Luftmængden logges for at eftervise hvordan overskridelsen af setpunkterne for de enkelte parametre påvirker behovsstyringen. Der er krav om at måleperioden skal strække sig over en periode der dækker de forskellige driftssituationer bedst muligt.



Kriteriet for at testens resultat accepteres er at luftmængderne ændres i henhold til funktionsbeskrivelsen og kravene i BR, og det eftervises, at der er overensstemmelse mellem målte værdier og dokumentationen for ventilationsanlægget indreguleringsrapport.

For at kunne automatisere processen som er en del af ideen med dette projekt forudsættes det at den automatiske funktionstest af behovsstyringen udføres ved at sænke setpunkterne for hhv. CO<sub>2</sub> og fugtniveau så meget at anlæggets sensorer reagerer på forholdene i en tom lejlighed og registrere at luftmængderne øges ved denne ændring. Der ses derfor bort fra kravet om brug af eksterne instrumenter.

Et argument for at funktionsafprøvningen kan automatiseres i denne sammenhæng er at der er tale om ensartede anlæg fra en serieproduktion som opfylder en vis kvalitetsstandard. Kalibrering af sensorer i ultralydsspjæld kan spores tilbage via serienummeret på det enkelte spjæld, og det vil med sandsynligvis også kunne lade sig gøre for øvrige sensorer. Det betyder at hver eneste ultralydsmåler er tjekket og kalibreret på fabrikken hos Lindab i Haderslev.

### **Selvkalibrering af sensorer**

For enkelte sensorer kan der foretages en selvkalibrering for at sikre at de målte værdier ikke skrider over tid. Selvkalibreringen kan foretages for sensorer hvor det er muligt at sammenligne med en naturlig minimums- eller maksimumsværdi.

CO<sub>2</sub> sensor

For CO<sub>2</sub> sensorer i udsugningsluften kan minimumsværdien sammenlignes med den definerede minimumsværdi for udeluftens indehold af CO<sub>2</sub> på 400 ppm. For at sikre at sensoren ikke indstilles til en for høj værdi skal følgende parametre være opfyldt for at selvkalibreringen kan udføres:

- Sensoren indstilles til den laveste værdi der er registeret over en periode på 14 dage
- Der må ikke være mere end 50 ppm forskel i forhold til den nuværende værdi
- Der skal have været registeret minimum 2 udsving på min 150 ppm i perioden

Luftfugtighedssensor

Der er ikke umiddelbart mulighed for selvkalibrering af luftfugtighedssensor da en referenceværdi ikke kan fastsættes. Der er en risiko for, at sensoren kan skride over tid.

### **Forslag til kravspecifikation komponenter**

#### **Aggregat**

Aggregat med toptilslutning af alle kanaler. Det optager mindst muligt areal i teknikskab og alle kanaler skal op under loftet i konventionelt lejlighedsbyggeri.

Gerne mulighed for højre venstre modeller for at lave ensartet kanalføring i lejligheder der er spejlvendte.

Varmegenvinding med modstrømsveksler med en tør virkningsgrad på min. 85 %

Mulighed for sommerkøling via bypass af varmegenvinder.

Elektrisk forvarmeplade til afrimning af varmegenvinder. Frostsikring/afrimning af varmegenvinder skal udføres så det sker med en forvarmeplade styret efter en overfladetemperaturføler på varmegenvinderen.

Elektrisk eftervarmeplade til supplerende komfort varme på indblæsningstemperaturen.

## **Filter**

Ifølge DS477 bør filteret i udsugningen svare til en klasse ePM10 55% (M5) og ePM2.5 65% (F7) i indblæsningen på luftindtag.

El måling over ventilatorerne kan evt. anvendes som en indikation på at filtre begynder at stoppe til.

## **Automatik/følere**

Automatik til styring og regulering af aggregat og kontrol af den automatiske indreguleringsproces. Automatikken skal samle input fra følere og målere og styre ventilatorer og spjæld så luftmængderne for det aktuelle trin holdes samtidig med at der er balance mellem indblæsning og udsugning.

Automatikken skal have kommunikation til Lindab FTCU spjæld/ultralydsmålere f.eks. via Pascal systemet.

Automatikken skal have mulighed for kommunikation med PC/smartphone for opsætning og aktivering af den automatiske indregulering. Kommunikation kan f.eks. være trådløs via bluetooth.

Følere i udsugningskanal aggregat: Temperatur, fugt, CO<sub>2</sub>

Følere i indblæsningskanal aggregat: Temperatur

Følere i indtagskanal aggregat: Temperatur, fugt

Føler på genvinder: Temperatur

Tryktransmittere over ventilatorer indblæsning og udsugning

Elmåler på begge ventilatorer

## **Spjæld og ultralydsmålere**

Lindab Ultralink FTCU VAV-spjæld med påbygget ultralydsmåler.

## **Kontrolventiler**

Lindab Airy til både indblæsning og udsugning i alle rum

## **Emhætte**

Emhætte skal have virkningsgrad på min. 75 % ved luftmængde på 30 l/s for at holde maks. luftmængden nede og sikre lavt energiforbrug.

Emhætte skal være uden indbygget reguleringsspjæld. Emhætte skal have betjeningstryk til aktivering af forceret drift.

Filteret i emhætten skal være fint nok til at holde aggregatets komponenter rene, så ydeevnen ikke reduceres over tid og så aggeratet og komponenternes levetid ikke forringes. Der skal derfor være trykmæssigt overskud ift. SEL, så der er energimæssigt plads til et filter i en finere klasse end G4.

Både emhætte og filter skal være rengøringsvenlig.

## **Lyddæmpning**

Det gældende Bygningsreglement skal opfyldes mht. resulterende lyd niveauer i respektive lokaler.

Lyddæmperne skal kunne dæmpe til klasse C, hvilket svarer til nuværende BR. Lydklasse C: Lydklasse svarende til intentionerne i byggelovgivningens minimumskrav. Op til mellem 15 % og 20 % af beboerne kan forventes at blive forstyrret af lyd eller støj.

Cross talk mellem rum skal adresseres enten med lyddæmpere eller dæmpning i armaturer/manifold ved aggregat.

Derudover skal lyddæmperne være kompakte i omfang så de f.eks. kan skjules i en inddækning eller over nedhængt loft i bad sammen med kanaler uden at inddækningen skal være væsentligt større end for kanalerne.

Tryktab skal være mindre end typiske Lindab dæmpere af samme ydre dimension og tilsvarende lyddæmpningsevne.

Afhængigt af dæmpningsklasse for det samlede system kan det være relevant for en eller flere af lyddæmperne at acceptere end højere pris end dagens 'typiske', men ellers bør prisen for produktionsmodnede og serieproducerede ikke være væsentligt dyrere end standard dæmpere.

Lyddæmper fra emfang skal tåle fugt og fedt dvs. mulighed for kontrol og rensning/evt. udskiftning af lydabsorbent.

Skarpe knæk og T stykker i kanalsystem giver støj og skal undgås. Lufthastighed i kanaler skal holdes så lav som muligt ved indblæsnings- og udsugningsarmaturer.

Kanalsystem skal vibrationsafkobles i forhold til ventilationsaggregat.

Reguleringsspjæld skal placeres så langt fra armaturerne som muligt pga. øget lufthastighed ved spjældene. Spjældstillinger skal optimeres af reguleringssystem så spjældene er mest muligt åbne.

Armaturer skal vælges så de ikke i sig selv frembringer et støjniveau der er højere end kravene.

### **Forslag til anlægsopbygning**

#### **Etageantal**

Hvis der er tale om anlæg med separat afkastkanal til taget afhænger det maksimale etageantal hvor der kan anvendes decentrale ventilationsanlæg primært af hvor meget tryk der er til rådighed til afkastkanalen samtidig med at kravet til specifikt elforbrug til lufttransport overholdes. Det er således en kombination af længden på afkastkanalen fra den nederste lejlighed og kanaldimensionen.

Ved gennemgang af data for boligventilationsanlæg fra flere af de toneangivende producenter kan vi konstatere at der i flere tilfælde er ca. 100 Pa eksternt tryk til rådighed ved maks. luftmængden og en SEL-værdi på 1.000 J/m<sup>3</sup>.

Overslag tryktab i udsugning og afkastkanaler under følgende forudsætninger

- Maks luftmængde (30+22,5 l/s)
- Afkastkanal  $\varnothing$ 160 eller  $\varnothing$ 200
- 2 stk. 90° bøjninger fra aggregat til afkastkanal
- 6 etager a 3m

	Ø160	Ø200	Bemærkning
	Tryktab (Pa)		
Afkasthætte	10	10	Iht. DS 428
Afkast kanal	14	5	Ved 6 etager af 3 m + 2 bøjninger
Kanalsystem lejlighed	5	5	
VAV-spjæld	30	30	
Emhætte/kontrolventil	25	25	
<b>Samlet</b>	<b>84</b>	<b>75</b>	

Der er således mulighed for at optimere lidt på antal etager ved at øge dimensionen på afkastkanalen, men der skal også tages hensyn til den tilgængelige plads der skal afsættes til installationsskakt, for føring af disse kanaler, da kanalerne hver især skal brandisoleres inkl. plads til at kunne montere isoleringen.

Som nævnt omkring brandsikring kan der være muligheder for en fælles afkastkanal evt. suppleret med en hjælpeventilator hvorved udfordringen ikke er den samme.

### **Brandsikring**

#### **DS428 5. udgave**

Separate brandisolerede afkastkanaler fra hvert anlæg samlet i fælles afkasthætte i fri vind med maks. 20 pa tryktab ved samlet volumenstrøm. Brandtermostat 40°C i fælles taghætte der ved detektering af brand standser alle decentrale anlæg. Der er således behov for en central brandautomatik og mulighed for eksternt stopsignal i automatikken på det enkelte decentrale ventilationsanlæg. Der er krav til volumenstrømmen fra den enkelte brandcelle i forhold til den samlede volumenstrøm fra alle brandceller i relation til højdeforskellen fra den nederst placerede armaturåbning til afkasthættens åbning.

Alternativt fælles brandisoleret afkastkanal med samme dimension i hele bygningens højde for at sikre lavt tryktab. Afgreninger til lejligheder sikret med røgspjæld til hver enkelt lejlighed. Dette kan evt. suppleres med en trykstyret udsugningsventilator der kører konstant og holder et fast undertryk i den fælles afkastkanal med samme dimension i hele højden. Det vil principielt give samme trykforhold for afkast for alle anlæg. Ved fejl på anlæg, branddetektering eller anlægsstop skal røgspjæld for det enkelte anlæg lukkes. Der kan således anvendes en decentral brandautomatik i det enkelte anlæg som kan detektere brand og styre røgspjæld. Alternativt kan anvendes en central brandautomatik som detekterer brand og styrer røgspjæld og mulighed for eksternt stopsignal i automatikken på det enkelte decentrale ventilationsanlæg

#### **Føringsveje kanaler**

Afkastkanal: Føres til fælles taghætte. Denne skal afskærmes for regn og dyr. Taghætten bør af hensyn til trykmodstand være minimum en dimension større end kanalen. Kanalen føres i installationsskakten. Kanalen skal brandisoleres efter gennembrydning af etagedæk til og med tag/tagrum.

Friskluftindtagskanal: Føres op under loftet i teknikskab, og føres vandret ud til indtagsrist i facade. Indtagsrist bør af hensyn til trykmodstand være minimum en dimension større end kanalen. Friskluftkanalen varmeisoleres. Føringsveje i inddækning under loft eller partielt nedsænket loft.

Udsugningskanaler: Teknikskab og installationsskakt er typisk placeret op af toilet/bad og tæt på køkken. Kanaler føres op til loft og fordeles over nedhængt loft i toilet/bad og evt. inddækning i køkken over overskabe. Lyddæmpere kan placeres over nedhængt loft/i inddækninger under loft.

Indblæsningskanaler: Kanaler føres op til loft og fordeles ud via nedhængt loft i bad og inddækninger til de enkelte rum. Kanaler kan udføres som plastslanger eller som spirorør. Lyddæmpere kan placeres over nedhængt loft i bad eller i inddækninger under loft.

### **Teknikskab**

Aggregat udføres med toptilslutning af alle kanaler. Det optager mindst muligt areal i teknikskab og alle kanaler skal op under loftet. Ultralydsmålere på indblæsnings- og udsugningskanaler bør placeres på den lodrette del af kanalføringen for at være tilgængelige for servicering, og for at sikre mulighed for ca. 5xD inden målerne og 1xD efter målerne. Dette medfører en kanaludfletning/manifold direkte efter aggregatet hvilket vil medføre et krav til større bredde af teknikskabet end for et konventionelt boligventilationsanlæg.

Lyddæmper bør placeres efter ultralydsmålere af hensyn til afstandskrav og for ikke at skabe turbulens i målepunkter.

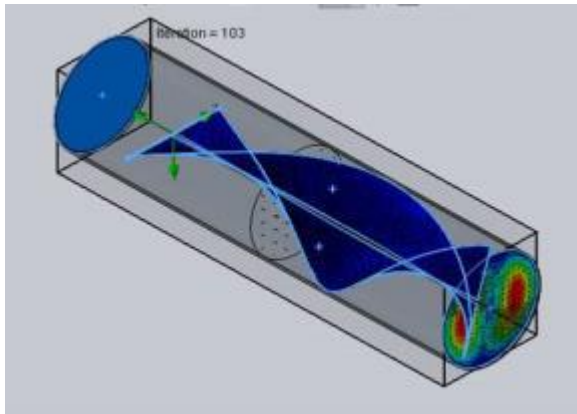
### **1.5.3 Design af pladsbesparende lyddæmper med lavt tryktab**

En klassisk lyddæmper kræver normalt ekstra plads i alle tre dimensioner (højde, bredde og længde) på grund af absorbenten i lyddæmperen og det ønske, at lyddæmperen kun skal bidrage med tryktab svarende til længden af lyddæmperen i analogi til ventilationskanaler. Pladskrav er normalt en udfordring specielt ved renovering af eksisterende lejligheder.

En udviklingsaktivitet i projektet var derfor udvikling af pladsreducerende lyddæmper med lavt tryktab, hvor balancen mellem optimal lydreduktion og minimalt tryktab iht. kravspecifikationer for ydre dimensioner skulle opfyldes igennem overførsel af erfaringer fra rotationsstator fra "jetmotorer". Luften roteres via finner med minimalt tryktab. Dette medfører længere passagevej og dermed i teorien højere lydreduktion, og lydbølger fanges, så de ikke kan "fortsætte" uhindret direkte igennem spiralen.

#### Succeskriterier for lyddæmperen:

Målet er at udvikle en lyddæmper, hvis ydre dimensioner ikke er større end den kanal, som lyddæmperen skal monteres i. Samtidig skal tryktabet minimeres, og de lyddæmpende egenskaber skal optimeres. Dette opnås ved at sikre en rotation af luftstrømmen, som forlænger passagevejen og samtidig sikrer, at lydbølgen bremses af en absorbent. Strømningsforløbet er illustreret i nedenstående figur. Lyddæmperen skal samtidig være prisbillig.



### Prototype 1 - Lyddæmper med rotationsindsats

Der er udviklet en lyddæmper med rotationsindsats og gennemført en test i Lindabs lydlaboratorium i Farum, hvor der er sammenlignet lyddæmpere med indbygget "spiral" af absorptionsmateriale med en standardlyddæmper i samme dimension. Ved dette forsøg fås et fingerpeg, om dette princip kan danne basis for udvikling af en lyddæmper.

Materialet til spiralen bestod af en 10 mm tyk filtplade.

Resultatet fremgår af nedenstående målerapport.

Resultat af test - Lyddæmper med rotationsindsats.

Indsætningsdæmpning (dB)

Lyddæmper	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
7578 rotation 250 900 silver	1	3	8	19	42	19	13	9
7576 rotation 250 900 black	1	3	8	20	29	20	13	9
SLU 250 900 standard lydd.	1	3	9	19	38	19	11	9

Indsætningsdæmpningen er på niveau med en standard lyddæmper, dvs. rotationsindsatsen bidrager ikke til en yderligere dæmpning, som der var forventning til.

## Tryktab (Pa) og lydgenerering dB(A)

	v [m/s]	dp [Pa]	dB(A)
7579 rotation 250 900 silver	8	18	39
7580 rotation 250 900 silver	6	11	30
7581 rotation 250 900 silver	4	5	21
7582 rotation 250 900 silver	2	1	2
7577 rotation 250 900 black	8	10	34
7578 rotation 250 900 black	6	6	26
7579 rotation 250 900 black	4	3	16
7580 rotation 250 900 black	2	1	2
SLU 250 900 standard lyddæmper	8	4	36
SLU 250 900 standard lyddæmper	6	2	29
SLU 250 900 standard lyddæmper	4	1	18
SLU 250 900 standard lyddæmper	2	0	2

Tryktabet stiger markant i forhold til en standard SLU-lyddæmper.

### Konklusion

Der kunne for 'silver' versionen opnås den samme indsætningsdæmpning som for en standard lyddæmper, men desværre med et markant højere tryktab. Normalt vil lufthastighedsniveauet ikke ligge højere end 4 m/s i kanalsystemet, men herved stiger tryktabet også fra omkring 1 Pa til 5 Pa.

Derfor har Lindab fravalgt dette princip og vil i stedet for undersøge andre løsninger med en indbygget kerne i luftstrømmen. Test af forskellige prototyper er udført i Lindabs lydlaboratorium i Farum.

### **Prototype 2 - Lyddæmper med kerne**

Den klassiske overslagsmetode for beregning af en lige absorptionslyddæmper, hvor 4 parametre er bestemmende:

- 1) Proportional med længden af lyddæmperen
- 2) Proportional med materialets lyd-absorptionskoefficient (frekvensafhængig) (opløftet med potens 1,4)
- 3) Proportional med absorptionsomkreds (O)
- 4) Omvendt proportional med lysningsarealet (luftens passage-areal) (S)

Her er lydabsorptionen traditionelt placeret på indersiden af den ydre 'skal' (cylindrisk eller firkantet).

Målet er at undersøge, om man ved primært at placere lydabsorptionen i midten af lyddæmperen (kernen) vil få et bedre lydæssigt forhold mellem de nævnte parametre.

Der fremstilles og testes fire varianter keredæmpere, som sammenlignes med hhv. en "standardlyddæmper med samme yder-diameter" og et rør med samme diameter.

Desuden foreslås, at længden for alle testemner er 900 mm for absorptionsdelen, da det er direkte sammenligneligt med en standard længde. Desuden skal der designes og fremstilles relevante aerodynamiske til- og afgangsstykker.

Forsøg 1: Normal placering af absorbent kontra kerneplacering med samme 'tykkelse' absorbent'.

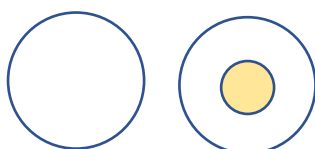
Herunder vist tværsnit af de to typer, hvor det gule område er det lydabsorberende materiale.



Dæmper	AbsTyk	LuftGab	LuftAreal	AbsOmkr	Kerne		LuftGab	LuftAreal	AbsOmkr		
Ø	t	Ølys	Sd	Od	Økappe	Økern		Sk	Ok	Sk/Sd	Ok/Od
160	50	60	2827	188	160	100	60	12252	314	4,33	1,67

Det spændende er, om forholdet mellem 'lysningsarealerne' Sk/Sd, og absorptions-omkredsen Ok/Od holder i praksis, altså at trykfaldet reduceres, jo større Sk/Sd, og at lyddæmpningen øges med Ok/Od.

Forsøg 2: Blankt rør kontra kerneplacering, samme yderdiameter og relativt tynd kerne.

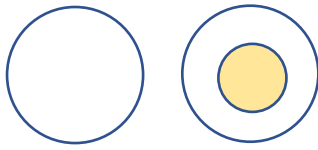


Ø	t	Ølys	Sd	Od	Økap	Økern		Sk	Ok	Sk/Sd	Ok/Od
160	0	160	20106	503	160	50	110	18143	157	0,90	0,31

Her formindskes luftarealet lidt så trykket øges. Da der ikke er absorbent i blankt rør er Ok/Od forholdet ligegyldigt.



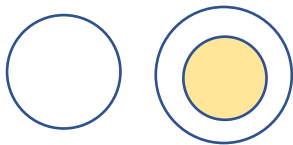
### Forsøg 3: Blankt rør kontra kerne, samme yderdiameter og lidt mere kerne



$\emptyset$	t	$\emptyset$ lys	Sd	Od	$\emptyset$ kap	$\emptyset$ kern		Sk	Ok	Sk/Sd	Ok/Od
160	0	160	20106	503	160	63	97	16989	198	0,84	0,39

Her opnås lidt bedre dæmpning, men også højere tryktab.

### Forsøg 4: Blankt rør kontra kerne, med forskel i yderdiameter ( $\emptyset$ 200 kontra $\emptyset$ 160)



$\emptyset$	t	$\emptyset$ lys	Sd	Od	$\emptyset$ kap	$\emptyset$ kern		Sk	Ok	Sk/Sd	Ok/Od
160	0	160	20106	503	200	100	100	23562	314	1,17	0,63

Dette er måske det gode kompromis mellem at forøge yderdiameter og så opnå bedre Sk/Sd forhold og absorptionsomkreds.

### Lyddæmpertest i Lindabs lydlaboratorie

Lyddæmperne er testet i laboratoriet på samme måde som alle øvrige lyddæmpere i Lindabs sortiment. Målestandarden er ISO 7235.



Billedet viser princippet i måleopstillingen.



Eksempel på kærnelyddæmper med afrundet indløb (gult)

Test 1:



Type 1 (A-C)



Type 2 (A-B)

Type 1: Opbygning som SLU. Tilslutningsdiameter  $\varnothing 63$ , udvendig  $\varnothing 160$ , isolering 46 mm. Dette svarer til opbygningen af en standard cirkulær lyddæmper

Type 2: Opbygning med tilslutningsdiameter  $\varnothing 63$ , udvendig diameter  $\varnothing 160$ . Kerne  $\varnothing 100$  mm med isolering

## Resultat

Indsætningsdæmpning i oktavbånd (dB):

Name	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
SLU 63 900 1 A	4,1	4,9	25,3	47,9	55,6	49,4	52,6	39,1
SLU 63 900 1 B	4,5	5,4	26,4	48,1	53,8	50,2	52,7	38,9
SLU 63 900 1 C	2,1	6,6	27,3	50,4	54,7	50,7	53,4	39,0
SLU 63 900 2 A	0,2	4,1	10,2	15,2	22,7	37,1	36,2	22,8
SLU 63 900 2 B	0,4	4,5	10,6	15,9	21,9	37,3	33,5	21,5

Kommentar til resultatet:

- Stor forskel i indsætningsdæmpning fra type 1 til type 2. Desværre modsat forventet, dvs. keredæmperen giver dårligere dæmpning.
- Orienterende test med de efterfølgende test 2,3 og 4 gav samme uventede dårlige resultater. Det indikerer at den klassiske overslagsmetode ikke er egnet til lydæmpere med absorption i midte og lydreflekterende kappe.
- Umiddelbar ingen forklaring på forskellen i indsætningsdæmpningen i 63 og 125 Hz for type 1 C sammenlignet med A og B.

Tryktab og egenstøj ved forskellige hastigheder:

Name	FlowSpeed [m/s]	Pressure [Pa]	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
SLU 63 900 1 A	2,0	2	24,6							
SLU 63 900 1 A	4,1	8	24,4	22,8	18,5					
SLU 63 900 1 A	6,0	15	34,4	27,1	27,1	20,8	22,7	11,0		
SLU 63 900 1 A	8,0	28	40,0	39,4	33,6	21,0	30,1	21,1	4,7	
SLU 63 900 1 A	10,0	45	45,3	40,9	38,9	22,8	34,3	28,1	17,8	
SLU 63 900 2 A	2,0	2	32,8							
SLU 63 900 2 A	4,0	11	45,4	31,7	30,0	23,2	8,3	13,0		
SLU 63 900 2 A	6,0	22	46,5	39,4	39,3	31,3	23,1	14,3		
SLU 63 900 2 A	8,0	39	50,1	45,6	44,8	34,6	28,9	23,7	11,4	
SLU 63 900 2 A	10,0	59	54,5	49,2	48,3	43,5	34,7	28,5	21,0	7,7

Kommentar til resultatet:

- Ved hastigheder under 4 m/s, hvilket er ret almindelig i decentral boligventilation er der ikke store forskelle i tryktabet.
- Egenstøjen er dog markant højere for type 2 og tryktabet er også øget noget.

### Prototype 3 - Ny type lydæmper udformet som T-stykke

Gennemløbet i et standard T-stykke forlænges og udfyldes med mineraluld som absorbent.



Indsætningsdæmpning (dB)

1/1-oktav måleresultater for opnået dæmpning

Testobjekt	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
Type 1 150mm	2,0	0,8	2,4	3,6	6,7	9,4	8,9	8,0
Type 2 300mm	3,1	1,0	2,4	3,8	6,5	9,3	9,1	8,5
Type 3 600mm	2,3	0,7	2,0	3,6	6,9	9,1	8,7	8,6

Der bliver absorberet lidt i de høje frekvenser, hvorimod dæmpningen i de lave frekvenser er beskednen.

### 1/3-oktav data:

Testobject	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
type1 150mm	0,3	1,6	0,7	0,2	1,5	1,6	2,3	2,2	2,6	2,7	3,8	4,8	5,9	6,9	7,3	10,5	7,5	10,3	9,8	8,4	9,1	8,3	8,1	7
type2 300mm	2,4	1,8	0,9	0,5	1,5	1,5	1,9	2,4	2,8	3	4,1	4,9	6	6,7	6,8	10,6	7,6	10,2	10,1	8,5	9	8,6	8,5	7,9
type3 600mm	1,1	1,4	0,7	0,2	1,2	1,2	1,6	2	2,5	2,6	3,9	5,2	6,5	7,2	6,9	10,3	7,5	9,9	9,7	8,1	9,6	8,8	8,7	7,7

### Kommentar til resultatet:

Sammenfattende med hensyn til T-stykke-dæmpere vurderes de som en mulighed for at opnå en vis, men ikke stor dæmpning for mellem frekvensområdet relevant for luftstrømningsstøj. Når der er plads til den type af dæmpere, kan de indgå som en mulighed for støj dæmpning, som måske ikke kan udføres med mere pladskrævende lyddæmpere.

Samlet set kan det konkluderes, at det desværre ikke lykkedes at udvikle en konkurrencedygtig pladsbesparende lyddæmper. En af de udslagsgivende parametre var tryktabet, som ikke kunne holdes på et acceptabelt niveau i forhold til tryktabet i de lyddæmpere som findes på markedet i dag.

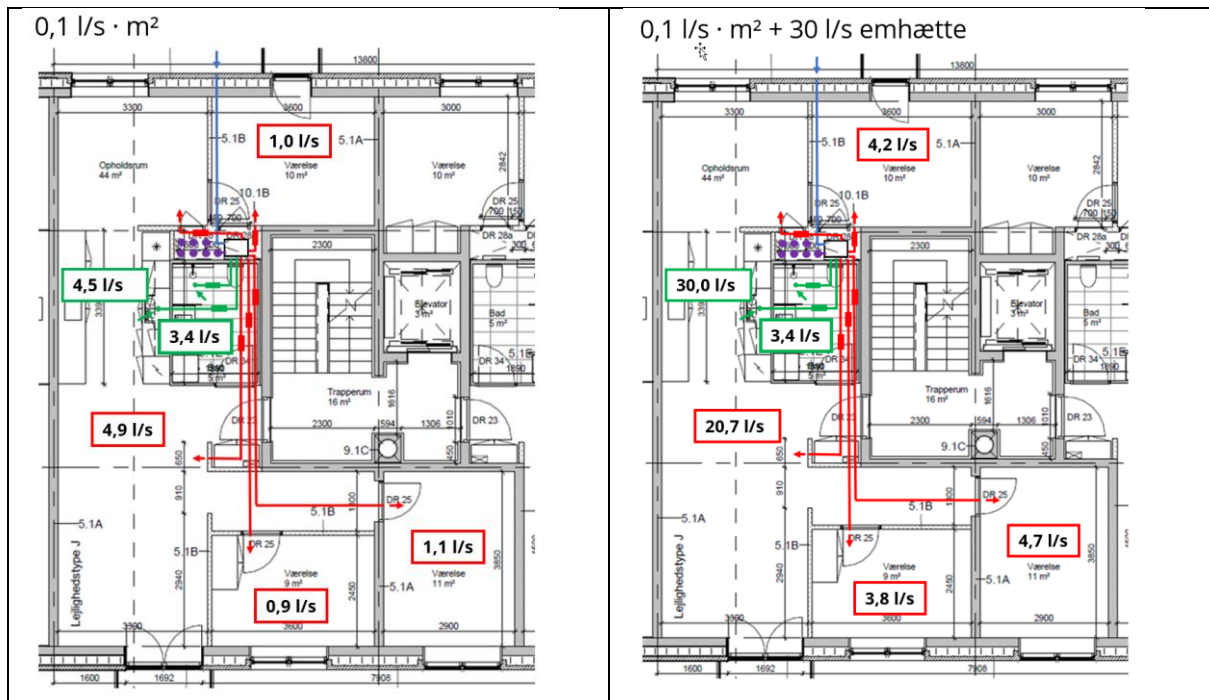
### 1.5.4 Beregning af luftfordeling, behovsstyring, indregulering og funktionsafprøvning

#### Luftfordeling og beregningsværktøj

Der er udviklet et mindre luftfordelings beregningsværktøj i Excel, som kan håndtere 1 bad, 1 køkken/opholdsstue og op til 4 værelser. Det er forudsat at emhætten ved aktiv brug kan køre med 20 liter/s henholdsvis 30 liter/s. Disse værdier kan selvfølgelig ændres i beregningsværktøjet.

	lejlighed	Stue/ophold/entre	Værelse	Værelse	Værelse	Værelse	Køkken	Bad		Sum ind	Sum ud	Balance
Areal [m <sup>2</sup> ]	A	A11	A12	A13	A14	A15	AU1	AU2				
	79	39	11	10	9	0	5,7	5	5 m <sup>2</sup>			
Fordeling BR18							0,57	0,43				
Spjæld nr.		I1	I2	I3	I4	I5	U1	U2				
Drifttrin												
0,1 l/s · m <sup>2</sup>	A x 0,1	(A11+AU1+AU2) x 0,1	A12 x 0,1	A13 x 0,1	A14 x 0,1	A15 x 0,1	0,57 x 0,1 x A	0,43 x 0,1 x A	l/s			
		4,9	1,1	1,0	0,9	0,0	0,0	4,5	3,4	l/s	7,9	7,9
0,1 l/s · m <sup>2</sup> + 30 l/s emhætte		(A11+AU1+AU2)/A x ((A12/A x (U1+U2))	A13/A x (U1+U2)	A14/A x (U1+U2)	A15/A x (U1+U2)	30	0,0	0,43 x 0,1 x A	l/s			
		20,7	4,7	4,2	3,8	0,0	0,0	30,0	3,4	l/s	33,4	33,4
0,1 l/s · m <sup>2</sup> + 15 l/s bad		(A11+AU1+AU2)/A x ((A12/A x (U1+U2))	A13/A x (U1+U2)	A14/A x (U1+U2)	A15/A x (U1+U2)	0,57 x 0,1 x A	15	0,0	l/s			
		12,1	2,7	2,5	2,2	0,0	4,5	15,0	l/s	19,5	19,5	
0,3 l/s · m <sup>2</sup>	A x 0,3	(A11+AU1+AU2) x 0,3	A12 x 0,3	A13 x 0,3	A14 x 0,3	A15 x 0,3	0,57 x 0,3 x A	0,43 x 0,3 x A	l/s			
		14,7	3,3	3,0	2,7	0,0	13,5	10,2	l/s	23,7	23,7	
0,3 l/s · m <sup>2</sup> + 30 l/s emhætte		(A11+AU1+AU2)/A x ((A12/A x (U1+U2))	A13/A x (U1+U2)	A14/A x (U1+U2)	A15/A x (U1+U2)	30	0,0	0,43 x 0,3 x A	l/s			
		24,9	5,6	5,1	4,6	0,0	0,0	30,0	10,2	l/s	40,2	40,2
0,3 l/s · m <sup>2</sup> + 15 l/s bad		(A11+AU1+AU2)/A x ((A12/A x (U1+U2))	A13/A x (U1+U2)	A14/A x (U1+U2)	A15/A x (U1+U2)	0,57 x 0,3 x A	15	0,0	l/s			
		17,7	4,0	3,6	3,2	0,0	13,5	15,0	l/s	28,5	28,5	
0,45 l/s · m <sup>2</sup>	A x 0,45	(A11+AU1+AU2) x 0,45	A12 x 0,45	A13 x 0,45	A14 x 0,45	A15 x 0,45	0,57 x 0,45 x A	0,43 x 0,45 x A	l/s			
		22,1	5,0	4,5	4,1	0,0	20,3	15,3	l/s	35,6	35,6	
0,45 l/s · m <sup>2</sup> + 30 l/s emhætte		(A11+AU1+AU2)/A x ((A12/A x (U1+U2))	A13/A x (U1+U2)	A14/A x (U1+U2)	A15/A x (U1+U2)	30	0,0	0,43 x 0,45 x A	l/s			
		28,1	6,3	5,7	5,2	0,0	30,0	15,3	l/s	45,3	45,3	
0,45 l/s · m <sup>2</sup> + 15 l/s bad		(A11+AU1+AU2)/A x ((A12/A x (U1+U2))	A13/A x (U1+U2)	A14/A x (U1+U2)	A15/A x (U1+U2)	0,57 x 0,45 x A	15	0,0	l/s			
		21,9	4,9	4,5	4,0	0,0	20,3	15,0	l/s	35,3	35,3	
20 l/s emhætte + 15 l/s bad		(A11+AU1+AU2)/A x ((A12/A x (U1+U2))	A13/A x (U1+U2)	A14/A x (U1+U2)	A15/A x (U1+U2)	20	0,0	15	l/s			
		21,7	4,9	4,4	4,0	0,0	20,0	15,0	l/s	35,0	35,0	
30 l/s emhætte + 15 l/s bad		(A11+AU1+AU2)/A x ((A12/A x (U1+U2))	A13/A x (U1+U2)	A14/A x (U1+U2)	A15/A x (U1+U2)	30	0,0	15	l/s			
		27,9	6,3	5,7	5,1	0,0	30,0	15,0	l/s	45,0	45,0	

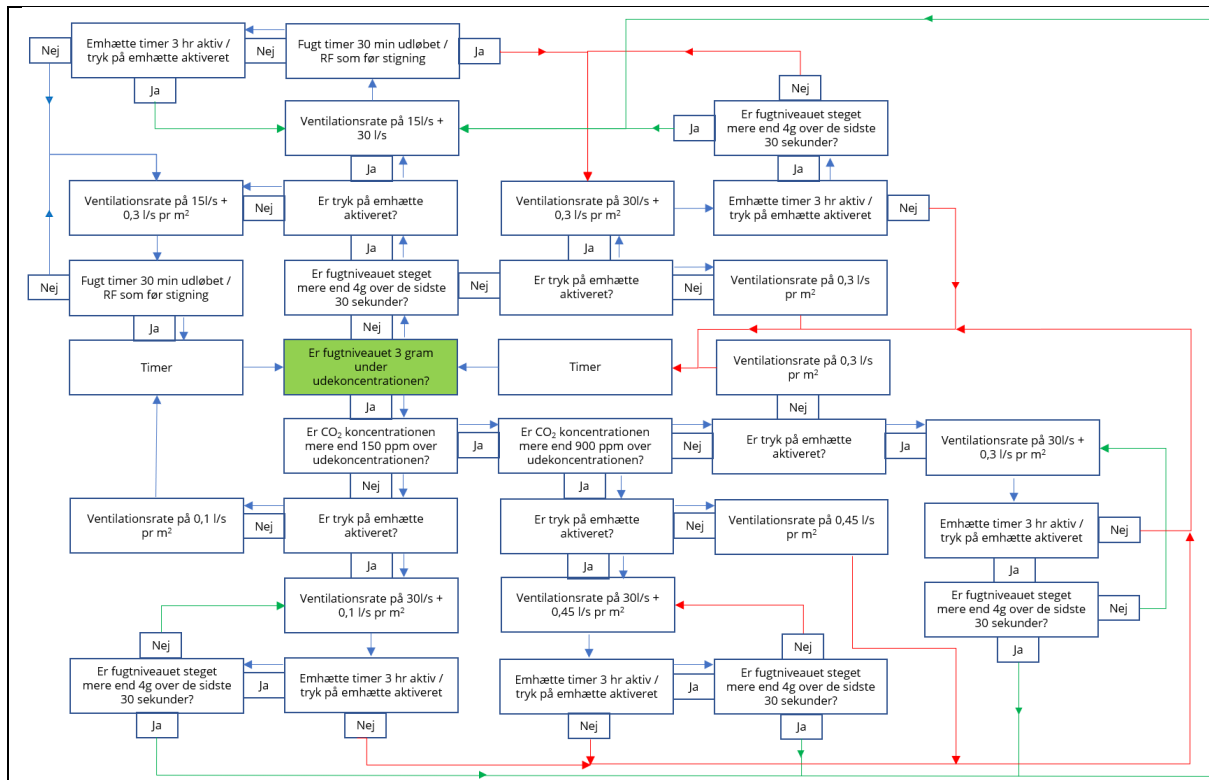
Her er der anvendt en lejlighed på 79 m<sup>2</sup> som eksempel og værelses konfiguration som vist på den efterfølgende plantegning. På de to plantegninger kan også ses eksempler på to forskellige indstillingstrin. Plantegningen (tv) er en tom lejlighed, hvor luftstrømmen er reduceret til minimum. Minimumsværdien kan også ændres, hvis det ønskes. Bemærk på plantegningen (th), at luftstrømmen i bad ikke kører op i luftmængde selvom luftstrømmen i emhætten forceres til 30 liter/s.



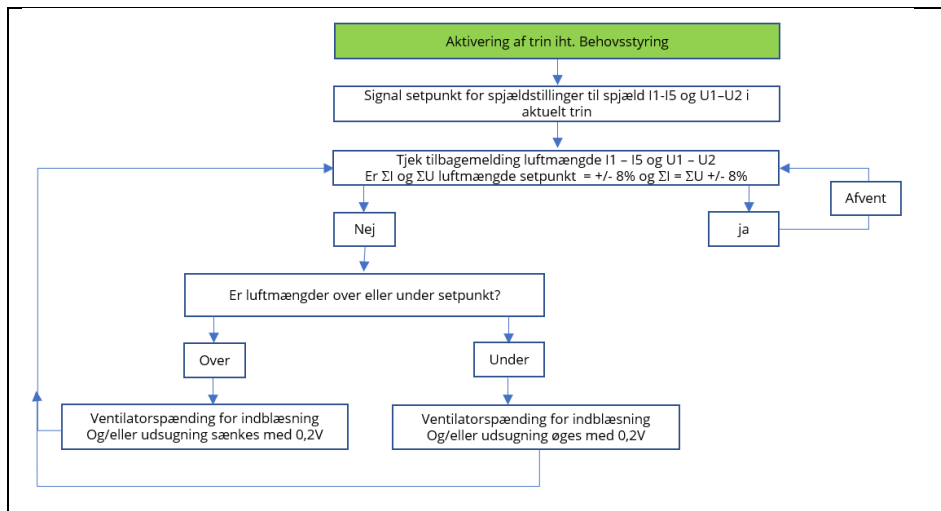
## Behovsstyring

Behovsstyringen tager udgangspunkt i specifikationerne beskrevet i tidligere afsnit med hensyntagen til den relative luftfugtighed, CO<sub>2</sub> koncentration, forcering i bad, forcering for emhætte, ikke tilstedeværelse og "party-mode". Til grund for behovsstyringen er det den relative belastning i lejligheden i forhold til udendørsforholdene (RF og CO<sub>2</sub>).

Behovsstyringsstrategien er vist i det efterfølgende rutediagram.



I det efterfølgende diagram er vist 'normal drift' rutediagram inkl. tjek af luftmængder.



### Indregulering af ventilationsanlæg

De følgende trin 1 til 9 er et forslag til indregulering af flere ventilationsanlæg som kan have en fælles afkastkanal. Tryktabet i fælleskanalen samt eksterne trykpåvirkninger på de enkelte indtag (på dage med meget vind og hermed vindtryk på facaden) kan eventuelt blive en udfordring for indreguleringsprocessen. Dette er ikke undersøgt yderligere i dette projekt.

1. Indregulering foretages for ét ventilationsanlæg ad gangen for at ventilationsanlæg ikke påvirkes af hinanden ved fælles afkast
2. Alle vinduer og døre til det fri/trappeopgang holdes lukkede
3. Det skal sikres at der er spalter som kan bruges til overstrømningsventil under alle døre. Alternativt skal alle døre åbnes, så der er fri luftstrømning mellem rummene
4. Det skal sikres at alle kontrolventiler i alle rum står i den projekterede position (læs høj åbningsgrad)
5. Navngivning af ultralinkspjæld FTCU. Forbindelse til de enkelte ultralinkspjæld med app via bluetooth.
6. Konfigurere opsætning af anlægsautomatik. Angivelse af anlægsadresse/lejlighedsnummer, rum defineres: Størrelser, type (bad/køkken/ophold), tilknytning af rum til spjæld, angivelse af fælles/separat afkast (ift. SEL-værdi krav)
7. Indreguleringsprogram startes op iht. blokdiagram for indregulering og funktionsafprøvning
8. Spjældstillinger for hvert trin registreres af systemet til brug i normal drift

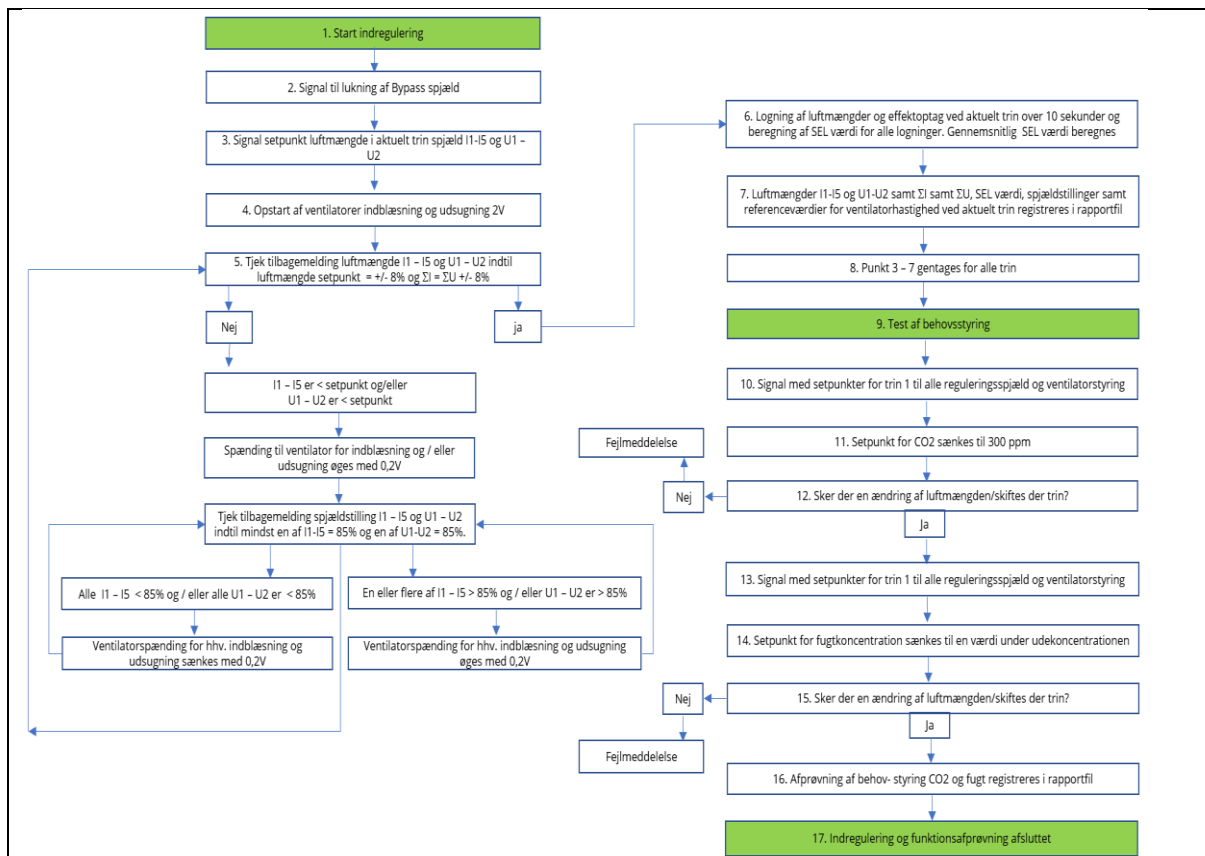
- Systemet genererer rapport med alle hoved- og delluftmængder for både indblæsning og udsugning samt alle SEL-værdier. Ligeledes genereres rapport for funktionsafprøvning af behovsstyring

Anlægget sættes i normal drift hvor de optimale spjældstillinger fra indreguleringsprocessen anvendes i de enkelte trin.

### Indregulering (rutediagram) og funktionsafprøvning

Den anvendte algoritme sikrer en energioptimal indregulering hvad angår ventilatordrift. Mindst ét spjæld står 85% åbent i hvert indstillingstrin. Metoden er fx beskrevet i Elforsk PSO 341-013, men er tilsyneladende ikke særlig udbredt i praksis. Det bør måske nævnes, at algoritmen også kan anvendes på større og store ventilationsanlæg.

Bemærk under 'funktionsafprøvning' at Effekt og luftstrøm måles samtidigt over en defineret tidsperiode. Herved opfyldes ordlyden i Bygningsreglementet under 'funktionsafprøvning' og det sikres også en mere pålidelig SEL- værdi.



### 1.5.5 Programmering af styring og prætest hos LS Control

Den i projektet udviklede styringsstrategi er programmæssigt en overbygning på LS Controls basis CTS-plattform, som med succes anvendes af flere producenter af ventilationsaggregater uden varmepumpe og ventilationsaggregater med varmepumpe.

Lindab har valgt et Nilan ventilationsaggregat til testopgaven, da Lindab ikke selv producerer ventilationsaggregater, men alle tilhørende ventilationskomponenter inkl. styringsstrategier.



Testopstillingen med komponenter er designet af Lindab og Teknologisk Institut, og bygget af Lindab. Af praktiske årsager er hele opstillingen samlet på to store træplader, så opstillingen er transportabel med flyttebil.



Tilluft sker gennem en manifold med 1 tilslutning og 5 afgreninger. "Kanalsystemet" består af Lindab UltraLink flowenhed inkl. reguleringspjæld, lyd-dæmper, kanalmodstand (reguleringspjæld) og indblæsningsventil.

Fraluft sker gennem manifold med 1 tilslutning og 2 afgreninger. 1 afgrening fra bad og 1 afgrening fra køkkenemhætte. "Kanalsystemet" består af Lindab UltraLink flowenhed inkl. reguleringspjæld, kanalmodstand (reguleringspjæld) og udsugningsventil.



Af hensyn til den efterfølgende langtidstest på Teknologisk Institut er CTS programmet lagt over på PC, så der er mulighed for at kunne foretage visse ændringer og optimeringer af styringsstrategien.

### 1.5.6 Langtidstest af styring på Teknologisk Institut

#### Testsystems funktion

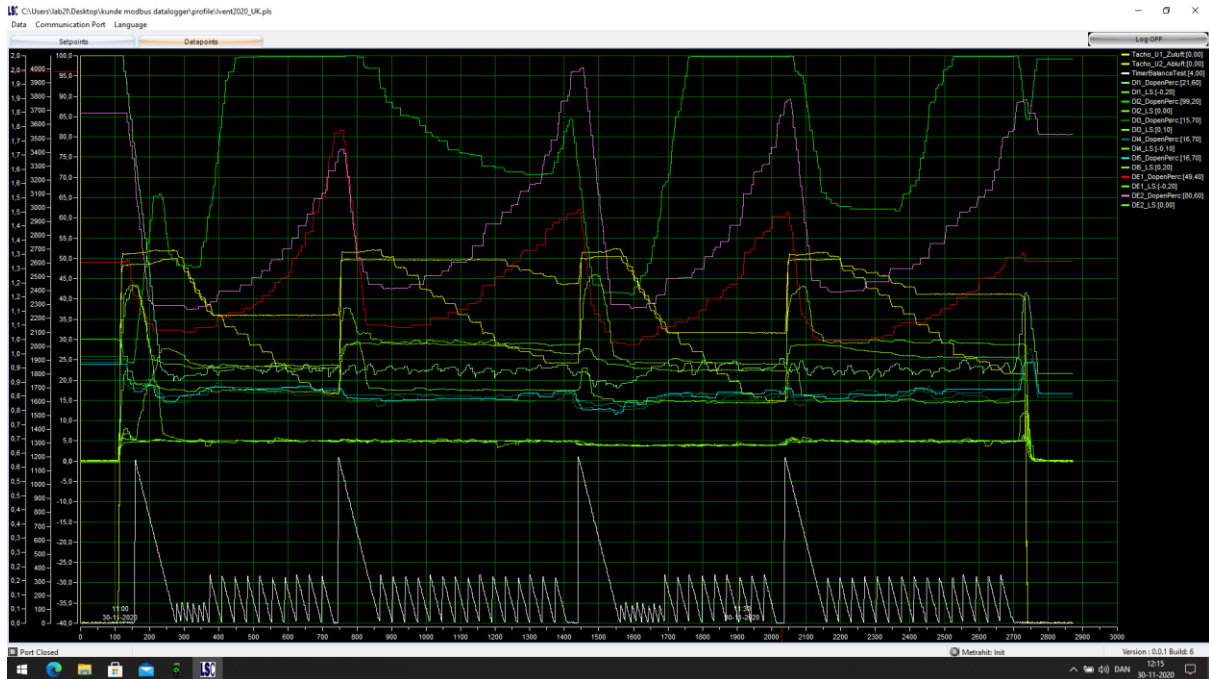
Kanaler, spjæld, lyddæmper og ventiler er som sagt monteret på to store træplader så systemet er let overskueligt og flytbar. Det er herved nemt at aflæse alle UltraLink og foretage manuelle målinger ved denne opstilling etc.



Teknisk set er den oprindelige automatik i ventilationsaggregatet demonteret, og udskiftet med den automatikplatform der anvendes i projektet. Automatikplatformen er baseret på LS Controls ES 20 platform og i projektet udvidet med den funktionalitet der muliggør den automatiske indregulering. Fordi det er en eksisterende automatikplatform der er bygget videre på, er der i praksis kun 4 anlægstrin i forhold til dem der er beskrevet i kravspecifikationen.

Automatikplatformen er fortrådet til de 7 Lindab Ultralink VAV-spjæld med Modbus så alle data kan kommunikeres mellem Automatikplatformen og VAV-spjældene.

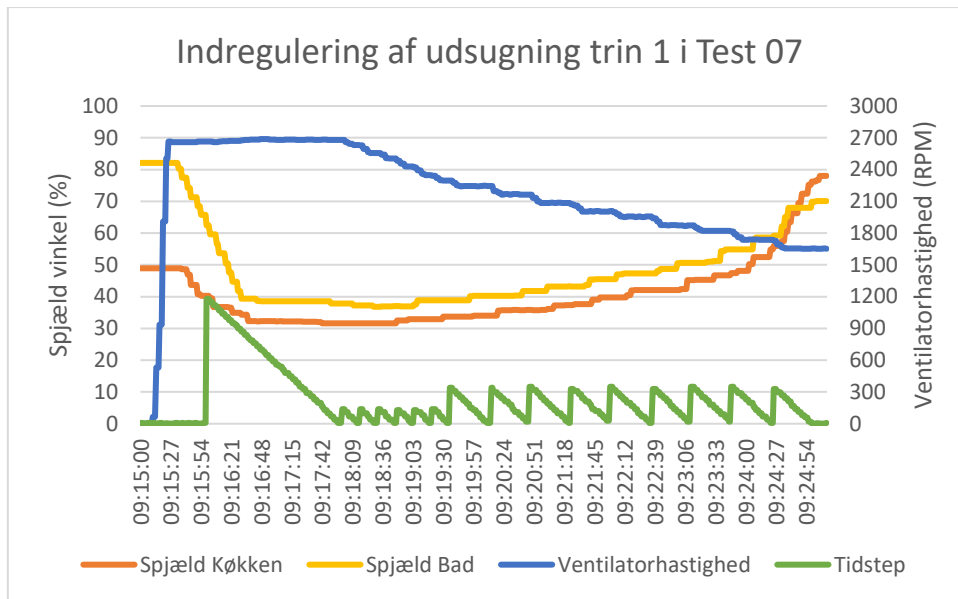
Den udvidede automatikplatform er udformet så man kan indtaste den ønskede luftmængde for hvert rum/VAV-spjæld FTCU i hvert anlægstrin. Når indreguleringsprocessen startes, bliver luftmængde setpunkterne for det aktuelle trin sendt til VAV-spjældene der hver især forsøger at opretholde denne luftmængde ved at regulere på spjældvinklen. Ventilatorerne startes op og reguleres til fuld hastighed, og forbliver der i en kort periode. Herefter sænkes ventilatorhastigheden i små step og afventer i et mindre tidsrum at VAV-spjældene indstiller sig efter de nye trykforhold.



Automatikplatformen logger løbende spjældvinkler for alle VAV-spjæld for at registrere om den ønskede spjældvinkel er opnået. Når systemet registrerer at der kun mangler 20% for at opnå den ønskede spjældvinkel skiftes over til en finere regulering hvor ventilatorhastigheden sænkes i endnu mindre step, og hvor der går en længere periode mellem hvert step så VAV-spjældene kan nå at indstille vinklen optimal. Når systemet logger at den ønskede spjældvinkel er inden for 10% er indreguleringen gennemført.

De to gule streger midt på plottet er de to ventilatorer, som trinvis har en step-down funktion. Den røde- og violette streg er spjældvinkler for de to udsugningsspjæld. Den hvide streg viser tidsstep.

Nedenfor er vist et eksempel på indregulering af udsugning til bad og køkken i trin 1. Den blå kurve viser ventilatorhastigheden der starter med høj hastighed, og trapper ned for hvert tidsstep der er angivet på den grønne kurve. Den gule og orange kurve er spjældstillinger for hhv. bad og køkken. Som det kan ses starter spjældene med at lukke i ved stigende ventilatorhastighed og åbner gradvist mere og mere op for hvert step ventilatoren kører ned i hastighed.



Det er i automatikplatformen muligt at indstille på tiderne for ventilatorstep for hhv. de grove og de fine step for ventilatorhastigheden. Derudover kan der indstilles på den ønskede spjældvinkel og på kriterierne for hvornår der skiftes fra det grove til det fine område samt hvornår indreguleringsprocessen er gennemført.

#### Udfordringer med testsystemet

Der er i mange tilfælde tale om små luftmængder til de enkelte rum f.eks. vil et værelse på 12m<sup>2</sup> have et grundluftbehov på 0,3 l/s \* 12m<sup>2</sup> = 3,6 l/s. Ultralink VAV-spjældene har dog ikke mulighed for at luftmængder defineres som decimaltal, hverken ved brug af app eller via Modbus. Derfor vil der i der i dette tilfælde være behov for at runde værdien op til 4 l/s. Obs på at der ikke skal rundes op på luftmængden for alle spjæld så den samlede luftmængde bliver større end nødvendig. I praksis giver det selvfølgelig ikke mening at arbejde med decimaler på en luftmængde til en bolig.

Alle spjæld på testopstillingen er i dimensionen ø125mm. Der arbejdes med meget små luftmængder som fx til et værelse på 12m<sup>2</sup> hvor luftbehovet ved grundluftmængden er 3,6 l/s.

Dette kan være en reguleringsteknisk udfordring at det spjæld i denne dimension kan håndtere en luftmængde op til 86 l/s og den luftmængde der arbejdes med, er i den meget lave ende af skalaen. Derudover er usikkerheden på luftmængdemålingen i Ultralink VAV-spjældene i denne dimension det største af +/- 5% eller +/- 1,25 l/s. Det betyder at usikkerheden på de 1,25 l/s kan have meget stor betydning for den ønskede luftmængde på 3,6 l/s.

Hvis en luftmængde til et af spjældene defineres til 0 l/s i LS Controls automatik-er det ikke ensbetydende med at spjældet lukkes. Automatikken lader blot spjældet stå i den sidste anvendte position. For at sikre at der faktisk ikke kommer luft gennem spjældet skal man via Ultralink Appen definere at max spjældvinkel er 0° så spjældet faktisk lukker i.

### Beskrivelse af de enkelte test

Der er udført i alt 8 test med forskellige indstillinger og konfigurationer af testsystemet. I hver test indreguleres hvert af de 4 trin i testsystemet. Hver test er gentaget 5 gange for at se om der er en sammenhæng mellem systemets reaktioner fra gang til gang med de samme indstillinger.

Luftmængderne er som udgangspunkt lagt ud for en kombineret stue/alrum på 40m<sup>2</sup>, 4 værelser på 10m<sup>2</sup>, et badeværelse på 7m<sup>2</sup> og et køkken på 8m<sup>2</sup> hvilket giver følgende luftmængder i de 4 anlægs-trin.

		Trin 1	Trin 2	Trin 3	Trin 4
Spjæld	Rum	Luftmængde (l/s)			
Ai1	Stue	17	24	19	27
AI2	Værelse 1	3	4	3	5
AI3	Værelse 2	3	4	3	5
AI4	Værelse 3	3	4	3	5
AI5	Værelse 4	3	4	3	5
AU1	Bad	12	12	15	15
Au2	Køkken	16	30	17	30

#### Test 01

Er udført med de indstillinger der er foretaget af automatikleverandøren, uden at tilføre ekstra tryktab i kanalsystemet.

- I trin 1 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,4-4,6% og for udsugning på mellem 3,5-8,1%. Tidsforbruget for trin 1 har været mellem 29-32 minutter.
- I trin 2 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 7,5-19,1% og for udsugning på mellem 2,3-6,8%. Tidsforbruget for trin 2 har været mellem 30-40 minutter.
- I trin 3 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,2-8,8% og for udsugning på mellem 1,4-4,9%. Tidsforbruget for trin 3 har været mellem 24-28 minutter.
- I trin 4 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 1,3-13,3% og for udsugning på mellem 0-2,9%. Tidsforbruget for trin 4 har været mellem 36-39 minutter.

#### Test 02

I forbindelse med test 02 og alle efterfølgende test er der påført ekstra tryktab i luftindtag og afkast samt i indblæsningskanalerne med de manuelle indregulerings-spjæld på testsystemet.

- I trin 1 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,7-8,8% og for udsugning på mellem 3,5-7,4%. Tidsforbruget for trin 1 har været mellem 27-29 minutter.
- I trin 2 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 4,9-9,1% og for udsugning på mellem 3,0-7,2%. Tidsforbruget for trin 2 har været mellem 34-36 minutter.
- I trin 3 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,8-3,9% og for udsugning på mellem 0,2-4,6%. Tidsforbruget for trin 3 har været mellem 24-26 minutter.
- I trin 4 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,2-5,1% og for udsugning på mellem 0,9-3,6%. Tidsforbruget for trin 4 har været mellem 32-33 minutter.

### Test 03

Ved udførelsen af test 03 er der foretaget en ændring af parametrene for hvor lang tid hhv. grov- og finjusteringsintervallet tager. Grovjusteringsintervallet er reduceret fra 45 til 20 sekunder, og finjusteringsintervallet er reduceret fra 90 til 45 sekunder. Tiltag fra test 02 anvendes og i test 03.

- I trin 1 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,4-6,0% og for udsugning på mellem 4,2-9,8%. Tidsforbruget for trin 1 har været mellem 17-19 minutter.
- I trin 2 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 3,9-8,2% og for udsugning på mellem 3,2-5,8%. Tidsforbruget for trin 2 har været mellem 19-20 minutter.
- I trin 3 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,5-5,5% og for udsugning på mellem 3,0-5,9%. Tidsforbruget for trin 3 har været mellem 14-16 minutter.
- I trin 4 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,0-7,1% og for udsugning på mellem 2,2-7,3%. Tidsforbruget for trin 4 har været mellem 17-26 minutter.

### Test 04

I forbindelse med test 04 er parameteren for den ønskede spjældstilling ændret fra at mindst et spjæld på hhv. indblæsning og udsugning skal være mindst 60% til at der i stedet for skal være mindst 80% åbningsgrad på mindst et spjæld på hhv. indblæsning og udsugning

- I trin 1 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 1,8-7,7% og for udsugning på mellem 9,5-13,0%. Tidsforbruget for trin 1 har været mellem 12-14 minutter.
- I trin 2 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 7,9-14,3% og for udsugning på mellem 3,2-6,0%. Tidsforbruget for trin 2 har været mellem 9-10 minutter.
- I trin 3 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 4,9-11,2% og for udsugning på mellem 3,6-9,9%. Tidsforbruget for trin 3 har været mellem 10-11 minutter.
- I trin 4 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,2-3,8% og for udsugning på mellem 2,7-5,1%. Tidsforbruget for trin 4 har været mellem 8-9 minutter.

### Test 05

I forbindelse med test 05 er parameteren for hvor lang tid grovjusteringsintervallet tager reduceret fra 20 sekunder til 15 sekunder.

- I trin 1 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 4,2-9,5% og for udsugning på mellem 11,2-12,6%. Tidsforbruget for trin 1 har været mellem 10-12 minutter.
- I trin 2 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 6,5-13,6% og for udsugning på mellem 4,6-6,5%. Tidsforbruget for trin 2 har været mellem 7-8 minutter.
- I trin 3 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 5,2-10,9% og for udsugning på mellem 6,8-9,0%. Tidsforbruget for trin 3 har været mellem 8-10 minutter.
- I trin 4 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,9-6,9% og for udsugning på mellem 4,0-5,8%. Tidsforbruget for trin 4 har været mellem 7-9 minutter.

## Test 06

I forbindelse med test 06 er alle luftmængder øget med 50% i forhold til test 1-5. Den øgede luftmængde anvendes i efterfølgende test.

- I trin 1 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,8-5,3% og for udsugning på mellem 6,0-9,7%. Tidsforbruget for trin 1 har været mellem 8-10 minutter.
- I trin 2 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 3,5-8,0% og for udsugning på mellem 5,8-7,2%. Tidsforbruget for trin 2 har været mellem 7-8 minutter.
- I trin 3 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 2,8-8,8% og for udsugning på mellem 3,8-8,1%. Tidsforbruget for trin 3 har været mellem 8-9 minutter.
- I trin 4 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,7-4,4% og for udsugning på mellem 4,2-5,1%. Tidsforbruget for trin 4 har været mellem 7-8 minutter.

## Test 07

I forbindelse med test 07 er der byttet om på luftmængderne mellem indblæsningsspjæld AI1 og AI2 således at AI1 nu svarer til luftmængden til et værelse og AI2 svarer til luftmængden til en stue. Dette gælder kun for denne test.

- I trin 1 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,1-4,6% og for udsugning på mellem 4,8-9,5%. Tidsforbruget for trin 1 har været mellem 10-12 minutter.
- I trin 2 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 6,0-8,6% og for udsugning på mellem 4,9-7,0%. Tidsforbruget for trin 2 har været mellem 10-12 minutter.
- I trin 3 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 1,3-9,3% og for udsugning på mellem 3,1-6,3%. Tidsforbruget for trin 3 har været mellem 10-11 minutter.
- I trin 4 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 1,6-6,9% og for udsugning på mellem 3,1-4,7%. Tidsforbruget for trin 4 har været mellem 10-13 minutter.

## Test 08

I forbindelse med test 08 er det kun indblæsningsspjældene AI1 – AI4 der er aktive og AI5 er helt lukket svarende til at der kun er 4 rum med indblæsning.

- I trin 1 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 0,7-4,1% og for udsugning på mellem 5,6-7,5%. Tidsforbruget for trin 1 har været mellem 9-10 minutter.
- I trin 2 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 6,6-9,6% og for udsugning på mellem 4,0-6,3%. Tidsforbruget for trin 2 har været mellem 7-8 minutter.
- I trin 3 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 1,8-8,4% og for udsugning på mellem 2,6-5,2%. Tidsforbruget for trin 3 har været mellem 8-9 minutter.
- I trin 4 er der en afvigelse på hovedluftmængden for indblæsning på mellem 2,0-6,9% og for udsugning på mellem 3,8-5,8%. Tidsforbruget for trin 4 har været mellem 6-8 minutter.

TEST 01		Indblæsning [%]	Udsugning [%]	Tidsforbrug [minutter]
	Trin 1	0,4 - 4,6	3,5 - 8,1	29 - 32
	Trin 2	7,5 - 19,1	2,3 - 6,8	30 - 40
	Trin 3	0,2 - 8,8	1,4 - 4,9	24 - 28
	Trin 4	1,3 - 13,3	0 - 2,9	36 - 39
TEST 02				
	Trin 1	0,7 - 8,8	3,5 - 7,4	27 - 29
	Trin 2	4,9 - 9,1	3,0 - 7,2	34 - 36
	Trin 3	0,8 - 3,9	0,2 - 4,6	24 - 26
	Trin 4	0,2 - 5,1	0,9 - 3,6	32 - 33
TEST 03				
	Trin 1	0,4 - 6,0	4,2 - 9,8	17 - 19
	Trin 2	3,9 - 8,2	3,2 - 5,8	19 - 20
	Trin 3	0,5 - 5,5	3,0 - 5,9	14 - 16
	Trin 4	0,0 - 7,1	2,2 - 7,3	17 - 26
TEST 04				
	Trin 1	1,8 - 7,7	9,5 - 13,0	12 - 14
	Trin 2	7,9 - 14,3	3,2 - 6,0	9 - 10
	Trin 3	4,9 - 11,2	3,6 - 9,9	10 - 11
	Trin 4	0,2 - 3,8	2,7 - 5,1	8 - 9
TEST 05				
	Trin 1	4,2 - 9,5	11,2 - 12,6	10 - 12
	Trin 2	6,5 - 13,6	4,6 - 6,5	7 - 8
	Trin 3	5,2 - 10,9	6,8 - 9,0	8 - 10
	Trin 4	0,9 - 6,9	4,0 - 5,8	7 - 9
TEST 06				
	Trin 1	0,8 - 5,3	6,0 - 9,7	8 - 10
	Trin 2	3,5 - 8,0	5,8 - 7,2	7 - 8
	Trin 3	2,8 - 8,8	3,8 - 8,1	8 - 9
	Trin 4	0,7 - 4,4	4,2 - 5,1	7 - 8
TEST 07				
	Trin 1	0,1 - 4,6	4,8 - 9,5	10 - 12
	Trin 2	6,0 - 8,6	4,9 - 7,0	10 - 12
	Trin 3	1,3 - 9,3	3,1 - 6,3	10 - 11
	Trin 4	1,6 - 6,9	3,1 - 4,7	10 - 13
TEST 08				
	Trin 1	0,7 - 4,1	5,6 - 7,5	9 - 10
	Trin 2	6,6 - 9,6	4,0 - 6,3	7 - 8
	Trin 3	1,8 - 8,4	2,6 - 5,2	8 - 9
	Trin 4	2,0 - 6,9	3,8 - 5,8	6 - 8

Målinger sat på skemaform.

### Vurdering af de gennemførte test

Generelt har testsystemet den ønskede funktionalitet i forhold til automatiseret indregulering af luftmængder. Der kan være behov for optimering i forhold til at opnå de ønskede luftmængder inden for de tolerancer der er i DS 447 for hhv. hovedluftmængder og delluftmængder pr. rum.

Dette er især udtalt for indblæsning i værelser med små luftmængder mellem 3-5 l/s hvor der i de forskellige test er registeret afvigelser på mellem 6,7% og 54,3% i forhold til de ønskede luftmængder.

For indblæsning i stue samt udsugning i køkken og bad hvor luftmængderne er større er der registeret afvigelser i størrelsesordenen 1,6% til 19,2% i forhold til de ønskede luftmængder i de forskellige test, dog med en enkelt afvigelse op til 35,4% som skyldes ukendte forhold.

For hovedluftmængderne er afvigelser for indblæsning i området 0,1-19,1% mens det for udsugning er i området 0-13% i alle de gennemførte test. Der er generelt flere tilfælde hvor hovedluftmængden for udsugningen kan holdes under en afvigelse på maks. 8% iht. DS 447.



I alle de gennemførte test har forholdet mellem indblæsning og udsugning været mellem 0,85 og 1,12.

De afvigelser der er registreret, har en tendens til at være mindre ved de højere luftmængder hvilket stemmer godt overens med en forholdsvis større usikkerhed på luftmængdemålingen ved de små luftmængder. Dette gælder også for balanceforholdet hvor der synes at være en tendens til mere balance mellem indblæsning og udsugning ved en højere luftmængde

En mulighed for optimering af systemet kan bl.a. være i forhold til spjældstørrelser kontra luftmængder, men også i forhold til styringens muligheder for at optimere og f.eks. hæve ventilatorhastigheden hvis luftmængderne er blevet for lave.

#### Fordele ved at anvende løsningen i forhold til manuel indregulering

Mange boligventilationsanlæg leveres som standard med G4 eller M5 filtre som primært er til at beskytte veksleren, sensorerne og ventilatorerne. Når indreguleringen foretages med disse filtre, tages der ikke højde for at den enkelte beboer kan vælge at anvende et bedre filter (f.eks. F7) som monteres efter indreguleringen. Et bedre filter med større tryktab på indblæsningsdelen vil mindske luftmængden, og derudover skabe ubalance mellem indblæsning og udsugning.

For at rette op på dette vil der være behov for at en indreguleringstekniker justerer ventilatorhastigheden, og kontrolmåler luftmængderne efter montage af det nye filter.

Med iVent2020 konceptet vil det være muligt at foretage en ny indregulering automatisk uden at der er behov for at der er en tekniker til stede, så det kan principielt udføres af beboeren selv.

Obs. Eftermontage af et bedre filter kan medføre at krav til SEL-værdi ikke kan overholdes, men det tager lovgivningen ikke hensyn til.

Med fremtidige krav i DS 447 om at der skal indreguleres efter det laveste energiforbrug og luftmængder ved driftstilstande hvor der ikke er belastning som også skal måles, har systemet en stor force idet det indreguleringsarbejde der normalt bliver udført vil blive mere omfattende end det er i dag.

### **1.5.7 Formidling af projekt og resultater**

Artikel på Elforsk hjemmeside (august 2019)

Søg Google med følgende ord { Lindab iVENT 2020 }

LinkedIn (2020)

HVAC nr. 2 februar 2021

## 1.6 Udnyttelse af projektresultater

### **Vedr. styring til aggregater:**

Den udviklede styring til ventilationsaggregater til boligventilation kan Lindab i øjeblikket ikke umiddelbart selv udnytte og markedsføre. Lindab har ikke længere en egenproduktion af ventilationsaggregater. Fabrikken i Slovenien blev solgt i efteråret 2020.

Lindab har i forvejen et samarbejde med elektronikfirmaet LS Control, som også har været behjælpelig med udviklingen af styringen til dette projekt. Vi planlægger at udvide samarbejdet til at de kan markedsføre styringen, da de i forvejen er leverandør af sådanne styringer til en del producenter af ventilationsaggregater på det danske marked. På den måde vil dette koncept kunne tilbydes markedet og få en bred udbredelse.

LS Control har stor fokus på styringer og vil være den rette partner til videreudvikling og markedsføring i samarbejde med Lindab.

### **Udvikling af pladsreducerende lyddæmpere:**

De 3 i projektet udviklede prototyper af lyddæmpere kunne ikke helt opfylde de specificerede ønsker og krav.

Type 2 og type 3 vil kunne videreudvikles og finde anvendelse i specifikke projekter, hvor der er behov for kompakte indbygningsmål (mindst mulig udvendig diameter).

Type 1 er der ikke umiddelbart flere perspektiver i.

## 1.7 Projektets konklusion og perspektivering

Nye- og renoverede etageboliger er meget tætte. Et godt indeklima står og falder med effektiv mekanisk ventilation. Med ELFORSK-projektet iVENT2020 har Lindab A/S og Teknologisk Institut testet prototyper på ventilationsanlæg med automatisk indregulering, energieffektiv styring og overvågning.

De følgende tre vigtige referencer er gode pejlemærker for hvor fokus skal lægges i den kontinuerlige udvikling indenfor etageboligventilation med henblik på sikring af godt indeklima:

*-SBI 2020:12: "Hvidbog – Ventilation af eksisterende etageboliger – Erfaringsopsamling og anbefalinger".*

*-Bygningsreglement 2018 angående funktionstest.*

*-Ny DS 447: "Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer" (forventes endelig godkendt forår 2021).*

Lindab A/S og Teknologisk Institut har i ELFORSK-projektet, iVENT2020 udviklet et system, der automatisk kan sikre den rette luftmængde til lejlighedernes enkelte rum med mindst mulige energi- og elforbrug takket være avanceret indreguleringsalgoritme og 'fan-optimizer'.

Det vil være et stort hit, siger produktchef Werner J. Andresen fra Lindab. Lindab er aktiv i over 30 lande i Europa.

Den udviklede ventilationsløsning er prætestet hos LS Control og langtidstestet i laboratoriet på Teknologisk Institut. Der vil snart kunne tilbydes løsninger, der kombinerer automatisk indregulering og tilpasning af luftmængder med overvågning. Efter montage i lejlighed kan ventilationsmontøren sætte den automatiske indreguleringsproces i gang. Med hjælp fra Lindabs "Lindab Ultralink" APP kan luftmængder, luftbalance m.m. hurtigt efterfølgende tjekkes. Viceværten der ofte har ansvaret for én til flere beboelsesbygninger med decentrale ventilationsanlæg, får med denne løsning et bedre- og hurtigere overblik og kan sætte ind, hvor der er et behov.

Indregulering af ventilationssystemer i boliger bliver ofte mangelfuldt udført, da det er tidskrævende og dermed dyrt. I projektet er udviklet en nem indregulering, der kan foretages uden at en ventilationsteknikker, fysisk skal være i boligen. Dette betyder, at tidsforbruget og udgiften til indreguleringen reduceres hvilket, bidrager til at det rent faktisk bliver udført.

Alle indblæsningsstrenge forsynes med Lindab Ultralink FTCU, dvs. motoriserede spjæld med digital adgang og visning af luftmængder.

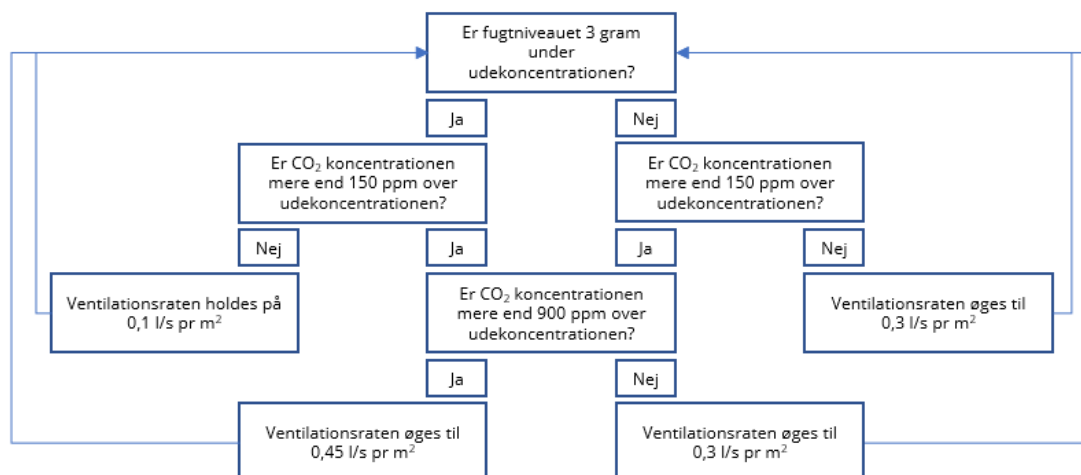
Bygningsreglementet stiller ikke krav til hvordan indblæsningsluften skal fordeles. Der stilles krav til hvor stor luftmængden skal være. I almindeligt boligbyggeri skal der være en indblæsningsluftstrøm på mindst 0,30 l/s pr m<sup>2</sup> opvarmet etageareal uagtet behov og brugsmønster. Hvis indblæsningen ikke indreguleres, er der risiko for at nogle opholdsrum vil få en meget stor del af luftmængden og nogle rum vil mangle frisk luft.

Det er derfor besluttet i projektet, at der skal indreguleres på rumniveau, så alle rum tilføres - lige meget luft pr. kvadratmeter.

Styringen af ventilationssystemet tog udgangspunkt i LS Control basis CTS-plattform, som er tilpasset, så styringen fungerede med FTCU (ultralink med motoriseret drejespjæld).

Der er konstant overvågning af systemet, der sørger for, at det spjæld, der sidder tryktabsmæssigt længst fra ventilatoren er fuldt åbent (fan-optimizer). Ventilatoren leverer derved kun akkurat den nødvendige luftmængde, og der er ikke 'unødige' tryktab i systemet. Dette er både lyd- og energimæssigt en fordel for boligventilationsanlæg.

Der styres efter fugt og CO<sub>2</sub> på lejlighedsniveau efter følgende overordnede styringsdiagram:



De anførte værdier i diagrammet kan justeres, hvis der er behov for dette.

Nedenfor er listet forskellige drifts kombinationer, men i praksis kan hovedluftmængden for ét eller flere driftssituationer godt ligge tæt på hinanden.

Driftssituationer	Luftmængde
1	0,1 liter/(s·m <sup>2</sup> )
2	0,1 liter/(s·m <sup>2</sup> ) + 30 liter/s (emhætte)
3	0,1 liter/(s·m <sup>2</sup> ) + 15 liter/s (bad)
4	0,3 liter/(s·m <sup>2</sup> )
5	0,3 liter/(s·m <sup>2</sup> ) + 30 liter/s (emhætte)
6	0,3 liter/(s·m <sup>2</sup> ) + 15 liter/s (bad)
7	0,45 liter/(s·m <sup>2</sup> )
8	0,45 liter/(s·m <sup>2</sup> ) + 30 liter/s (emhætte)

9	0,45 liter/(s·m <sup>2</sup> ) + 15 liter/s (bad)
10	20 liter/s (emhætte) + 15 liter/s (bad)
11	30 liter/s (emhætte) + 15 liter/s (bad)

En lejlighed med et opvarmet etageareal på fx 80 m<sup>2</sup> vil få et dynamikområde (DCV) fra ca. 8 liter/s til ca. 45 liter/s. Fx er 80 m<sup>2</sup> · 0,30 liter/(s·m<sup>2</sup>) lig 24 liter/s.

Emhætten aktiveres typisk på et betjeningspanel på emhætten og den forcerede udsugning i bad aktives af fugtsensoren, som registrerer en momentan kraftig stigning i fugtighed.

De "intelligente" ventilationsanlæg i lejlighederne skal passe sig selv uden at beboerne skal gøre noget. Data for bl.a. fugt og CO<sub>2</sub>-indhold i luften skal automatisk tilpasse ventilationen til antallet af mennesker. Det betyder bl.a., at der kan skrues ned for luftskiftet, elforbruget og dets afledte klimabelastning, når børnene er i skole og forældrene på job. Ofte bliver der nemlig ventileret mere end nødvendigt.

- Fremover vil ventilationsanlæggene blive automatiseret på et helt andet niveau fordi teknologien er udviklet og klar til det. Det forventer vi os ret meget af, fastslår Werner J. Andresen.

'Internet of Things' (IoT) tillader desuden at de mange ventilationsanlæg bliver forbundet, så viceværten kan følge med i, om alt foregår, som det skal. Hvis en beboer oplever træk eller andre gener, kan viceværten takket være online data tjekke det lokale ventilationsanlæg, inden de tekniske installationer eventuelt beses med et fysisk fremmøde.

- Fjernovervågning kræver selvfølgelig nogle præcise aftaler og lovlig håndtering af data fra lejligheder, så det er noget, der skal kigges på. I første omgang er vi i gang med at undersøge, hvad der er teknisk muligt, siger Werner J. Andresen, der håber at resultaterne fra iVENT2020 kan komme til at udfordre reglerne i Bygningsreglementet.

- Men det er kun godt, for vi skal videre. Udviklingen inden for sensorer, dataopsamling, styring og overvågning foregår hurtigere og hurtigere, påpeger Werner J. Andresen.

Decentral ventilation er bl.a. relevant ved reovering af ældre etageejendomme for eksempel i den almennyttige sektor. I ældre bygninger kan pladsen være trang og ikke levne rum for centrale løsninger med større ventilationskanaler og aggregater.

Lindab og Teknologisk Institut mener, at der trods udviklingen på ventilationsområdet de seneste ti år fortsat er behov for reduktion af tryktab i decentrale kompakte installationer i forbindelse med kanaludformning og -føringer, indblæsning og udsugning samt i forbindelse med etablering af effektiv lydæmpning. 'Potentialet for at billiggøre installationerne i anlæg og drift er ikke udnyttet og er en barriere på markedet', hedder det.

- Teknologen fra iVENT2020 kan bruges i Danmark, men den vil også styrke vores konkurrenceevne ikke mindst i Norden og det nordlige Europa, vurderer Werner J. Andresen.

**Vedr. lyddæmpere:**

Desværre lykkedes det ikke i projektet at udvikle en bedre lyddæmper med pladsbesparende egenskaber og lavt tryktab. Den nye frivillige bæredygtighedsklasse indeholder også krav til støj fra installationer, hvor støjkravet til ventilation i opholdsrum er sat til 25 db(A) sammenlignet med de nuværende krav i BR18/DS 490 på 30 db(A). De nuværende lyddæmpere fra Lindab kan løse opgaven, men vil nu kræve endnu mere plads.

Ud fra de opnåede resultater på især prototype 2 kan vi konkludere, at den "klassiske formel" for cylindriske dæmpere måske ikke er egnet til vores "kærne lyddæmper". Lydudbredelsen og dæmpningen i en dæmper med absorption i kærnen og med lydreflekterende yderkappe ser ud til at være forskellig fra lydudbredelsen i en "normal cylindrisk lyddæmper".

Der vil nok være behov for et mere teoretisk arbejde for at forstå dette. Det kunne være et projekt for en Ph.D. studerende i akustik/fysik.

## 1.8 Bilagsoversigt

### **BILAGSRAPPORT 1 á 2**

Bilag 01 – ”Automatik skaber grøn omstilling i etageboliger”, HVAC-artikel, nr. 2 februar 2021

Bilag 02 – Eksempler på lejligheder i nyt etagebolig byggeri

Bilag 03 – Udvikling og test af flere nye prototype lyddæmpere

### **BILAGSRAPPORT 2 á 2**

Bilag 04 – Behovsstyring af ventilationsanlægget

Bilag 05 – Beregning af luftfordeling, værktøj udviklet i Excel

Bilag 06 – Oplæg til brugervejledning iVENT 2020

Bilag 07 – iVENT 2020 afprøvning af system

Bilag 08 – Thermex AirGrib emhætte

Bilag 09 – Kravspecifikation gældende for ES2020, LS Control

Bilag 10 – Lindab FTCU UltraLink Controller

## 1.9 Referencer

"HVIDBOG – Ventilation af eksisterende etageboliger – Erfaringsopsamling og anbefalinger", SBI 2020:12, BUILD, Alireza Afshan, Birgit Rasmussen, Henrik N Knudsen, Jesper Kragh, Lars Gunnarsen, Niels Christian Bergsøe, Peter Vogelius.

"Bygningsreglement 2018", Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen.

"Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer", DS 447: 2021, 4. udgave (erstatte DS 447:2013, 3. udgave), Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen {forventes at træde i kraft forår 2021}.

"Montagevejledning", Nilan Comfort 252/302 Top, Version 2.22 – 22.06.2018

"Kravspecifikation gældende for ES2020 – Elforsk projekt iVent2020", Rev2: 09-11-2011 MJ, 31-03-2020, LS Control.

Lindab UltraLink Controller, FTCU, Tekniske oplysninger, Lindab, Google {Lindab FTCU pdf}.