



# **Boligventilationspakke til bygningsklasse 2020 – Energirenovering og nybyggeri**

**Dansk Energi, Elforsk PSO 347-008**

**Hovedrapport**

**2022**

# Boligventilationspakke til bygningsklasse 2020 – Energirenovering og nybyggeri

Dansk Energi, Elforsk PSO 347 - 008

Hovedrapport

## **Udarbejdet af:**

Lindab A/S

LS Control A/S

Lind & Risør A/S

Teknologisk Institut

Marts 2022

## Forord

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

Projektet har journalnummer: 347 – 008 (Emne: Energieffektiv boligventilation)

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem:

- Lindab A/S (projektdeltager)
- LS Control A/S (projektdeltager)
- Lind & Risør A/S (projektdeltager)
- EcoVent ApS (underleverandør)
- Teknologisk Institut (projektdeltager og projektleder)

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

Teknologisk Institut vil gerne takke projektholdet for en god indsats gennem hele projektperioden. Det skal specielt ses i lyset af en mindre teknisk forsinkelse med udvikling af delkomponenter til selve ventilationsaggregatet og en markant uforudsigelig forsinkelse på grund af Corona pandemien. Den allersidste del i projektet, slutmålinger i parcelhus med beboere i huset er derfor desværre på grund af Corona pandemien udskudt og hermed ikke medtaget i projektet.

Produktchef Werner Andresen, Lindab

Direktør Stig Petersen, LS Control

Adm. Direktør Jan S. Hansen, Lind & Risør

Adm. Direktør John Steen Jensen, EcoVent

Seniorspecialist Christian Drivsholm, Teknologisk Institut (TI) med assistance fra følgende TI medarbejdere:

Xu Guan, Konsulent

Amalie Gunner, Konsulent, Ph. D.

Mads Peter Rudolph Hansen, Forretningsleder

Hans P Olsen, Seniorspecialist (t)



## Indholdsfortegnelse

1. Projektets detaljer	05
2. Projektets formål	06
3. Resumé af projektets proces, anvendt metode og opnåede resultater	09
4. Engelsk resumé af formål, resultater og videre anvendelse af resultater	11
5. Formidling af projekt og resultater	12
6. Projektets konklusion og energibesparelser	13
7. Informations- og undervisningsmateriale	20
8. Perspektivering og den videre anvendelse af resultaterne	30
9. Referencer	32

## BILAGS RAPPORT

1. Oplæg til overordnet behovsstyringsstrategi for bolig
2. Udvikling af manifold med lavt tryktab og god luftfordeling
3. Udvikling af dynamisk filtersystem med ekstra lang levetid
4. Udvikling af prototype ventilationsaggregat tilpasset dynamisk filtersystem
5. Akkrediteret test af prototype ventilationsaggregat i AHU-laboratoriet
6. Diverse målfaste bygningstegninger af demonstrationsbolig og placering af ventilationsarmaturer
7. "Gearing" af lufttilførsel til soveværelse ved "lån" af luft fra stue
8. Lindab komponent oversigt til brug i demonstrationsbolig
9. Opstilling af komplet ventilationssystem i laboratorium – design og justering
10. Montage af ventilationssystem i demonstrationsbolig, funktionstest og test
11. Informations- og undervisningsmateriale til *Den Lille Blå om Ventilation*
12. Artikel publiceret i fagbladet: "HVAC Magasinet", 01
13. Artikel publiceret i fagbladet: "HVAC Magasinet", 02 (5. 2022)

## 1. Projektets detaljer

Project title	Domestic ventilation package for Building Class 2020 – Energy renovation and new buildings
Project identifikation (program abbrev and file)	Elforsk PSO 347 - 008
Name of the programme which has funded the project	Dansk Energi, Elforsk PSO
Project managing company/institution (name and address)	Teknologisk Institut, Gregersensvej 2, 2630 Taastrup
Project partners	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lindab A/S</li><li>• LS Control A/S</li><li>• Lind &amp; Risør A/S</li><li>• (EcoVent ApS)</li></ul>
CVR (central business register)	56976116
Date for submission	15-01-2015 (Dansk Energi)

## 2. Projektets formål

Projektet udvikler et omkostningseffektivt energieffektivt boligventilationsanlæg efter et nyt koncept der sikrer opfyldelse af krav i BR2015 Lavenergiklasse 2020, fokus er renovering og nybyggeri af énfamiliehuse.

Det overordnede koncept omfatter behovsstyring efter CO<sub>2</sub> og fugtkoncentration for hele huset og intern flytning ("lån") af luft fra stue til soveværelse ved behov for dette (det er også benævnt som "gearing" af det samme udeluftstrøms niveau). I soveværelset er der følgelig også en CO<sub>2</sub> sensor.

Boligventilationsanlæg i enfamiliehuse med flexslanger kan blive mere effektive end traditionelle anlæg, både hvad angår indeklima og energiforbrug. Selve anlægsprisen kan blive mere konkurrencedygtig, da etablering af flexslanger er mindre arbejdskrævende end store centrale rør.

### Dynamisk filtersystem

Der udvikles et dynamisk rullefiltersystem med ekstra lang levetid.

### Ventilationsaggregat

Der udvikles et prototypeventilationsaggregat med alle fire tilslutningsstutse topmonteret. Aggregatet skal etableres med varmegenvinder, som opfylder BR2015 lavenergiklasse 2020 kravet, og kunne rumme det dynamiske filtersystem.

### Manifold

Et ventilationsslangeanlæg er i princippet opbygget som et varmeanlæg. Manifolder er et knudepunkt, hvorfra luften fordeles rundt i boligen. Der stilles mange krav til denne komponent. Projektet udvikler en ny manifold med lavere tryktab og jævnere luftfordeling.

### Nye semi-fleksible slanger

Kanalsystemet består af relative stive- og indvendigt meget glatte plastslanger, hvor rørdimensionen tilpasses efter luftmængden. Tryktabet vil for samme dimension være væsentlig lavere end de klassiske bløde flex-slanger, som har en relativ ujævn overflade.

### Automatik

Automatikken udvikles så den kan opretholde et ønsket indeklima uden indgriben, køre økonomisk hele tiden og slå alarm, når fejl og energifejl viser sig. Projektet skal udvikle en standard automatikløsning, som kan anvendes hos alle kunder.

### Test

Teknologisk Institut udvikler og tester de enkelte delkomponenter i det akkrediterede laboratorium i samarbejde med Lindab. Styringsstrategien udvikles med basis i erfaringer fra Flex-husene på Teknologisk Institut, tidligere gennemført PSO projekt og i samarbejde med Lindab's automatikleverandør.

### Enkle arbejdsgange og hurtig montage

Systemet udvikles så etableringen er enkel og kan ske med minimal risiko for fejl. Der vil i fremtiden være større tendens til nedbrydning af faggrænser, og det må forventes at ventilationsanlæg også etableres af andre faggrupper end ventilationsfirmaer, da installation af ventilationsanlæg desværre ikke kræver autorisation som fx installation af gasfyr, koldt brugsvand eller elektriske installationer.

Ved renoveringsopgaver flyttes eksisterende loftisolering, slanger og manifold monteres indenfor få timer og isoleringen reetableres. Resten af arbejdet er samling af komponenter i teknikrum. Når alle arbejdsgange og komponenter effektiviseres, og det nye anlæg kan løse flere indeklimatekninger end tidligere, så skabes der mere værdi for kunden.

#### Marked

Projektet har fokus på en basis udgave som sikrer stabil luftkvalitet og begrænser fugtstigninger i personbelastede værelser. Luftkvaliteten ved CO<sub>2</sub> overskrides næsten hver nat i soveværelset, se fx HVAC 10, 2014. Slutbrugerens forventning er, at disse udfordringer er væk med et ventilationsanlæg.

#### **WP 1 Foranalyse – Ventilationsanlæg, afdækning af barrierer og behov**

Forundersøgelsen afdækker de krav, producenter, typehusfirmaer og installatører stiller til ventilationsløsninger, som fx energiforbrug, indeklimatekninger, driftssikkerhed, systemløsninger, faggrænser, nem montage, montagebegrænsninger, finish, anlægsomkostninger etc. Det er en stor styrke for projektet, at der er to partnere, Lindab A/S og Lind & Risør A/S, som er så markedsorienteret i forhold til forbruger, kunder, salg, leverandør og producent.

Målet er:

- At skitsere et komplet anlægssystem, som er målrettet enfamiliehuse.
- At identificere evt. manglende komponenter og opstille funktionskrav.

#### **WP 2 Udvikling af prototyper til laborietest og styringsstrategi**

Komponenter til det samlede anlæg, der skal håndteres i laborietest udvikles eller tilpasses, det centrale er en cirkulær manifold eller rektangulær manifold med lavt tryktab. Hertil kommer tilslutninger, styring og armaturer. I testen er der fokus på krav inden for indeklimatekninger, energiforbrug i forhold til BR2015 Lavenergiklasse 2020, driftssikkerhed og automatik.

Styringsstrategien skal udvikles på to niveauer. Basisniveau er de grundlæggende basale krav til fjernelse af fugt (fra våde rum) og god luftkvalitet overalt i huset. Dette krav omhandler luftmængden gennem selve aggregatet og hermed luftveksling med omgivelserne. De styrende parametre er CO<sub>2</sub> og RH.

Testresultater underbygger krav eller giver anledning til anlægskorrekationer i WP 3.

#### **WP 3 Justering og design**

Når rammerne for anlægget ligger fast fra WP 1 og WP 2, er der fokus på justeringer af automatik, komponentprototyper og design, så anlægget kan monteres i prøvehus. Målet er en prototype på et komplet anlæg, som er dokumenteret gennem laborietest og fremstår som en ny systemløsning klar til montage i forbindelse med energirenovering eller nybyggeri.

#### **WP 4 Montage og test i énfamiliehus (prøvehus)**

Prototypen monteres i et Lind & Risør prøvehus. Design, montageerfaringer og driftsopstart evalueres. Hele anlægget startes til foråret, ca. 1 år inde i projektet, samtidig med måleprogrammet. Anlæggets funktion og ydelser mv. måles hen over sommeren og om efteråret (overgangsperiode). Der måles energi, udeluftmængder, rumtemperaturer og udeklima.

#### **WP 5 Elforsk PSO-rapportering**

Der udarbejdes en egentlig slutrapport, hvor alle målinger i typehuset er evalueret. Herforuden tegninger, dimensioneringsgrundlag med et simpelt dimensioneringsværktøj og retningslinjer for etablering i typiske énfamiliehuse. Rapporten skal i samarbejde med Lindab og Lind & Risør danne grundlag for gennemførelse af WP 6.

### **WP 6 Informations- og undervisningsmateriale**

Hele konceptet sammenfattes til brug i Teknologisk Instituts kurser om boligventilation, og anvendes som basis materiale i forbindelse med opdatering af *Den lille blå om ventilation: "Energieffektiv BR2020 boligventilation – Installation, drift og service"*. Denne publikation der fuldender den blå serie om ventilation indgår ikke i projektet.



### 3. Resume af projektets proces, anvendt metode og opnåede resultater

Projektet tog udgangspunkt i selve projektansøgningen og stillede krav i BR2015 Lavenergiklasse 2020. I samarbejde med projektdeltagerne blev der formuleret en kravspecifikation til ventilationsanlægget (ventilationsaggregat + kanalsystem + CTS-system). Der skulle desuden tages stilling til følgende tre emner:

- Anvendelse af semi-fleksible plastslanger (rør), luftfordeler manifold og luftsamler manifold med sigte på forenkling og større montage sikkerhed mod fejl.
- System til omfordeling af tilluft efter behov for ét udvalgt rum
- Strategi for behovsstyring af hele boligen og for ét udvalgt rum

Lind & Risør stillede bolig tegninger til rådighed med dimensioner og angivelse af foretrukken placering af ventilationsaggregat. Herefter blev luftmængder og luftfordelinger fastlagt. Det blev besluttet at soveværelset (master bedroom) vil være det mest oplagte rum til behovsstyring, da personbelastningen på visse tidspunkter kan komme op på 2 voksne og 2 børn i rummet.

Der er udført CFD-simuleringer og forsøg i laboratoriet med forskellige manifold design med henblik på at opnå bedre luftfordeling og mindre tryktab.

Der er opbygget et prototypeventilationsaggregat med indbygget dynamisk filterarrangement og højeffektiv varmegenvinder.

Ventilationsaggregatet er testet i det akkrediterede AHU-lab. på Teknologisk Institut. Alle krav blev overholdt.

I samråd med Lindab og LS Control blev der udviklet en robust behovsstyring, som kunne håndtere eventuelle fremtidige lempelser i Bygningsreglementet hvad angår behovsstyring. I skrivende stund er det nu tilladt i den seneste udgave af BR 2018! Strategien skulle tage vare på luftkvalitet, fugt, balance mellem kompleksitet og investering (og driftsudgifter til service).

Det komplette ventilationsanlæg blev testet i laboratoriet på Teknologisk Institut. Diverse justeringer/ændringer blev gennemført. Herefter blev ventilationsanlægget brudt op i komponenter og gjort klar til installation i demonstrationsbolig.

Ventilationsanlægget blev monteret/installeret i demonstrationsboligen da alle træspær, loftlægger og gangbro var på plads. På byggepladsen deltog Lindab, Lind & Risør og Teknologisk Institut.

Efterfølgende blev der foretaget en indregulering og funktionstest.

Den planlagte test med beboere kunne desværre ikke gennemføres på grund af Covid19 pandemien, som vendte fuldstændig op og ned på Lind & Risør situation og dispositioner. Det var uvis hvornår der flyttede beboere ind i boligen. Det blev derfor besluttet at lukke projektet ned, da alle øvrige emner/ting er gennemført med godt resultat.

De opnåede resultater med udgangspunkt i BR2015 Lavenergiklasse 2020 passer perfekt til den seneste udgave af BR 2018 reglementet og tilhørende Lavenergiklasse. Her er der netop fokus på behovsstyring ved personfravær og specielle forhold for soveværelser med behov for ekstra luft i perioder. En central behovsstyring for hele boligen blev vurderet til at være den bedste. Det betyder at luftmængden reguleres ensartet op og ned for hvert rum i boligen.

Ved boliger på omkring 200 m<sup>2</sup> var det nødvendigt at køre med ø76mm slanger af hensyn til tryktabet. Strækningen fra ventilationsaggregat til fjerneste armatur er i udgangspunktet den kritiske strækning.

#### **4. Engelsk resumé af formål, resultater og videre anvendelse af resultater**

The project will develop a cost-effective energy-efficient residential ventilation system according to a new concept that ensures fulfillment of requirements in BR2015 Low energy class 2020, focus is renovation and new construction of single-family houses.

The overall concept includes demand control ventilation (DCV) according to CO<sub>2</sub> and moisture concentration for the whole house and internal movement ("loan") of air from living room to bedroom when needed (this is also referred to as "leverage" of the same outdoor air flow level). Consequently, in the bedroom there is also a CO<sub>2</sub> sensor.

Home ventilation systems in single-family houses with flex pipes can be more efficient than traditional systems, both in terms of indoor climate and energy consumption. The construction price itself can become more competitive, as the establishment of flex pipes is less labor-intensive, provides more degrees of freedom than the use of large central steel ducts.

All in all, results have been achieved that further match requirements and degrees of freedom in the latest edition of the BR 2018 Low-energy class regulations, where, among other things, demand control ventilation (DCV) is now permitted, ie an outdoor air change in the event of personal absence as low as 0.15 liter/(s·m<sup>2</sup>) heated floor area.

The results of the project also dispel the myth that semi-flexible plastic pipes cannot be used due to the "large" pressure drop. However, it can be recommended to use only ø76mm dimension.

The further use of the project results can apply to all ventilation companies that design and install ventilation systems in detached houses.

## 5. Formidling af projekt og resultater

-Artikel på Elforsk hjemmeside

-Artikel på LinkIN

-”Frisk luft skal sikre god nattesøvn i tætte boliger”, Christian Drivsholm og Amalie Gunner, HVAC 2, Februar 2019.

-Materiale anvendt på Energivejleder uddannelsen: ”Ventilation i enfamilieboliger – Klimaskærm”, Teknologisk Institut (Taastrup og Aarhus).

-Det forventes at afsnittet til *Den Lille Blå Om Boligventilation* vil indgå i boligventilationskurset på Teknologisk Institut

-”Behovsstyret ventilation til en-familieboliger”, Christian Drivsholm, Werner Andresen, Stig Petersen, HVAC 5, 2022.

## 6. Projektets konklusion og energibesparelser

Projektet har skabt en boligventilationspakke med fokus på lavt energiforbrug, behovsstyring, omfordeling af udeluft, enkel installation, hurtig installation, nye komponenter, nye principper, nem fjernovervågning, fleksibel CTS-system.

Den gode synergi skyldes brug af eksperter med mange års erfaring på alle områder:

- Lindab: Ekspert i kanalsystemer, indblæsning- og udsugningsarmaturer m.m.
- LS Control: Ekspert i sensorer, CTS-systemer og CTS-programmering, print m.m.
- Lind & Risør: Ekspert i typehuse byggeri (parcelhuse)
- EcoVent: Ekspert i ventilationsaggregat byggeri og filtreringssystemer
- Teknologisk Institut: Ekspert i test, akkrediterede målinger m.m.

Lindab A/S ønskede udvikling af en boligventilationspakke som generelt kunne overholde den ambitiøse BR2015 Lavenergiklasse 2020 for en-familieboliger og herforuden indeholde følgende koncepter:

- Udvikling af prototypeaggregat med høj effektivitet og lavt indre tryktab
- Mulighed for generel behovsstyring på hus niveau
- Mulighed for "flytning" af tilluft fra stue til soveværelse ved behov for ekstra luft i soveværelse
- Optimeret manifold med bedre luftfordeling og lavere tryktab
- Mulighed for brug af kanalsystem baseret på semi-fleksible plastslanger i ø76 mm dimension med tilslutning til optimeret fordeler manifold
- Mulighed for tilvalg af avanceret filtersystem med ekstraordinær lang levetid
- Mulighed for brug af ny arkitekttegnet Lindab Airy ventil med forbedrede indblæsningsegenskaber
- Aflive myten om, at plastrør har et alt for stort tryktab til brug i parcelhuse

Lindab har benyttet sig af eksternt ventilationsaggregat bygger. Firmaet er EcoVent.

LS Control A/S ønskede udvikling af CTS-plattform specielt egnet til ventilationsanlæg til en-familieboliger og med mulighed for behovsstyring (DCV):

- Videnopbygning med hensyn til udvikling af robust behovsstyring til boligventilationsanlæg og muligheden for intern flytning af udeluft fra stue til soveværelse ved behov for ekstra luft i soveværelse. Styringen skal kunne håndtere både luftkvalitet og fugt
- Opbygning af internet platform til fjernovervågning, justering/ændring af CTS på ventilationsanlæg

Lind & Risør ønskede udvikling af en boligventilationspakke som generelt kunne overholde den ambitiøse BR2015 Lavenergiklasse 2020 for en-familieboliger, hvad angår ventilationsanlægget:

- Tilbyde kunder et BR2015 Lavenergiklasse 2020 boligventilationsanlæg
- Mulighed for behovsstyring af luftmængden
- Den positive effekt af nemmere og hurtigere monteringsarbejde ved brug af semi-fleksible plastrør (kanaler)
- Mindske risiko for monteringsfejl ved brug af unikt "Smart Locking Function" system
- Reduktion af lydoverføring fra rum til rum ved brug af plastrør i stedet for metal kanalsystem

Den omtalte lavenergiklasse er her vist og sammenlignet med generelle tendenser i forskellige bygningsreglementer:

Bygningsreglement	Varmegenvinder effektivitet	Specifikt elforbrug
	[ % ]	[ J/m <sup>3</sup> ]
BR2008	65	1200 <sup>{*}</sup>
BR2010	80	1000 <sup>{**}</sup>
BR2015	80	1000 <sup>{***}</sup>
<b>BR2015, Lavenergiklasse 2020</b>	<b>85</b>	<b>900<sup>{#}</sup></b>
BR2018	80	1000 <sup>{****}</sup>
BR2018 (Lavenergiklasse)	85	1000 <sup>{****}</sup>

{\*} Driftsformen med maksimalt tryktab

{\*\*} Driftsformen med maksimalt tryktab

{\*\*\*} Driftsformen med maksimalt tryktab

{\*\*\*\*} Ved grundluftskiftet

{#} Driftsformen med maksimalt tryktab

Lind & Risør demohuset har et opvarmet areal på 200 m<sup>2</sup> og et grundluftskifte på 200 · 0,30 = 60 liter/s. Demohuset på 200 m<sup>2</sup> har 1 køkken, 2 baderum, 1 bryggers, det vil sige forceret luftmængde på 20 + 15 + 15 + 10 = 60 liter/s.

I projektet er der i AHU-laboratoriet på Teknologisk Institut målt en tør varmegenvinder effektivitet på 87 % ex cl. ventilator-/motorvarme (91 % inkl. ventilator-/motorvarme) ved 60 liter/s.

I projektet er der i Lind & Risør demohuset målt en SEL-værdi på 920 J/m<sup>3</sup> ved grundluftskiftet på 60 liter/s (lig med forceret luftmængde i dette projekt).

Ventilationsanlægget opfylder hermed også de skrappeste krav i henhold til det nyeste Bygningsreglement (BR18 Lavenergiklasse).

### BR2010 - Overophedning

*I afsnit 7.2.1 stk. 13: "Det termiske indeklima på solrige dage skal dokumenteres gennem beregning for boliger, institutioner, kontorer m.m. i lavenergiklasse 2015 og bygningsklasse 2020. Det termiske indeklima må ikke overskride 26 °C, bortset fra nogle få timer i forhold til normalåret. For andre bygninger end boliger fastlægger bygherren antallet af timer pr. år, hvor indetemperaturen på 26 °C ikke må overskrides. For boliger må 26 °C ikke overskrides med mere end 100 timer pr. år og 27 °C må ikke overskrides mere end 25 timer pr. år".*

### BR2018 – Overophedning

*For andre bygninger end boliger fastlægger bygherren det maksimale antal af timer pr. år af brugstiden, hvor en rumtemperatur (den operative temperatur) på henholdsvis 26 °C og 27 °C må overskrides. For mange typer bygninger med brugstid svarende til kontorbygninger, vil overskridelse på højst 100 timer over 26 °C og 25 timer over 27 °C normalt opfylde bestemmelsen.*

*For boliger, hvor der er mulighed for at åbne vinduer og skabe udluftning, kan bestemmelsen normalt anses som overholdt, når der gennem beregning kan påvises, at der maksimalt er 100 timer pr. år af brugstiden, hvor rumtemperatur overskrider 27 °C og 25 timer pr. år, hvor rumtemperaturen overskrider 28 °C. Det er en forudsætning for brug af disse temperaturgrænser, at der er mulighed for at skabe udluftning, da udluftning giver mulighed for at acceptere højere temperaturer. Der henstilles i øvrigt til, at rummenes funktion tages i betragtning ved fastlæggelse af temperaturniveauer. Eksempel kan rum, der typisk vil være blive brugt som soveværelser, være problematiske, hvis de fleste overophedningstimer optræder om aftenen.*

Dette BR18 krav for boliger har Lind & Risør eftervist for udvalgte kritiske rum i demohuset ved brug af overophedningsmodulet i energirammeprogrammet BE18. Der er regnet med ekstra meget naturlig ventilation i form af åbne vinduer/døre. Beboere informeres generelt om dette ved køb af hus.

Lind & Risør anvender normalt ikke udvendige solafskærmninger, da huskøbere ikke vil have udvendig solafskærmning, da de er dyre i investering og giver for mange driftsproblemer.

Eventuelle overophedningsproblemer har ifølge Lind & Risør ikke været noget problem. Det skyldes også at vinduets g-værdi efterhånden kan fås helt ned til 0,30.

### Styring – soveværelse

#### BR2018 (Vejledning):

*I beboelsesbygninger er der et generelt krav om et grundluftskifte på 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal, hvor det opvarmede etageareal beregnes som beskrevet i kapitel 23 i bygningsreglementet. De 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup> svarer ved normal rumhøjde omtrentligt til et luftskifte på 0,5 /h. Kravet om grundluftskiftet har til formål kontinuert at sikre det grundliggende luftskifte. Derudover er der krav om, at luftmængderne kan forøges til specifikke mængder i køkken, bad, wc-rum, bryggers og kælderrum. Begge krav er mindstekrav, der begge skal være opfyldt. I visse tilfælde kan det dog være nødvendigt at forøge luftmængderne for at overholde det grundlæggende funktionskrav. Det kan for eksempel være i rum der benyttes som soveværelse eller børneværelse.*

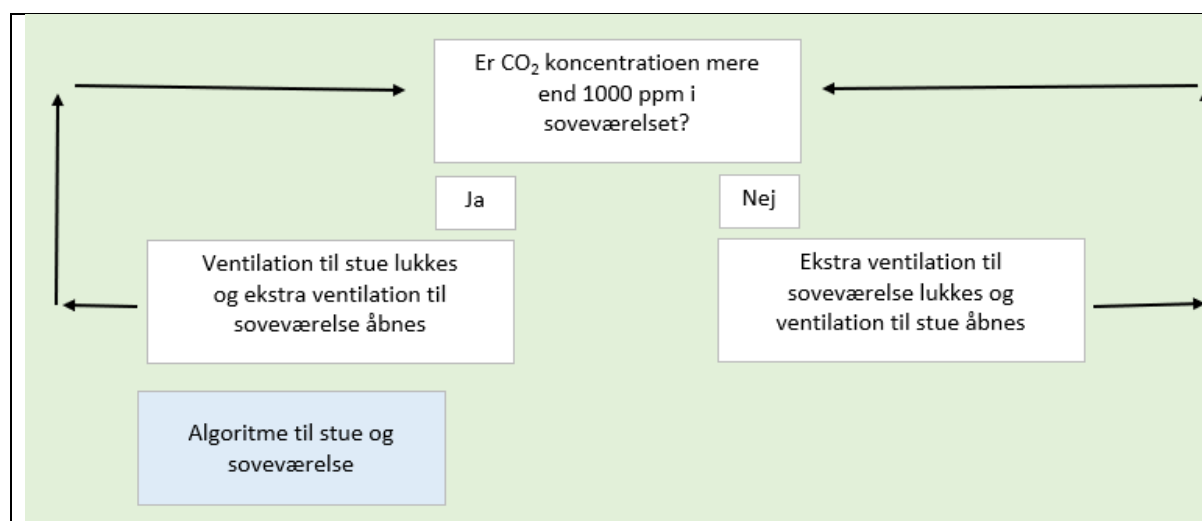
Der er i projektet etableret en tilluftløsning til soveværelset (master bedroom), hvor der om natten kan tilføres ekstra tilluft for at nedbringe CO<sub>2</sub>-niveauet.

Den ekstra luft tages fra aktivitetsrummet (stuen), hvor der normalt ikke er aktivitet om natten.

Dette styres af en CO<sub>2</sub> føler i soveværelset, som giver signal til et spjæld, som lukker af for lufttilførsel til aktivitetsrummet (stuen) og leder det over til soveværelset, som til formålet har fået monteret en ekstra tilluftstreng (Ø76mm) og ekstra tilluftventil.

Herved forbliver den samlede ventilerede luftmængde til huset uændret.

Styringsstrategien for soveværelset er vist på det efterfølgende rutediagram.



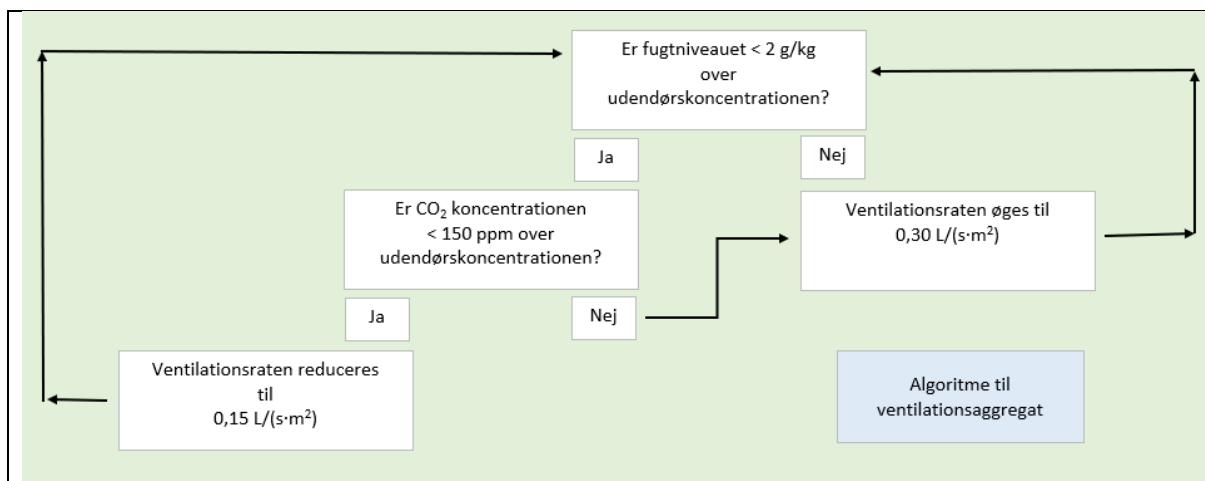
Det var projektets intention at teste denne løsning for soveværelset ved at måle CO<sub>2</sub> niveauet om natten i soveværelset. Dette har desværre ikke været muligt, men der bør næppe herske tvivl om, at denne løsning vil fungere i praksis, idet den dobbelte luftmængde vil medføre reduktion af CO<sub>2</sub>-niveauet. Løsningen er testet i laboratoriet på Teknologisk Institut under kontrollerede forhold.

I beboelsesrum såvel som i boligen totalt skal der være en udelufttilførsel på mindst 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal. Såfremt ventilationssystemet ved måling er i stand til at regulere udelufttilførslen efter tilfredsstillende luftkvalitet og fugtforhold i boligen, er det dog tilladt at reducere udelufttilførslen til 0,15 l/s pr. m<sup>2</sup> i en længere periode over døgnet, hvis boligen ikke er i anvendelse.

I beboelsesbygninger er der et generelt krav om et grundluftskifte på 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal når boligen er i anvendelse. De 0,30 l/s pr. m<sup>2</sup> svarer ved normal rumhøjde omtrentligt til et luftskifte på 0,5 /h. Hvis boligen ikke er i anvendelse i en periode og har et behovsstyret ventilationssystem, kan grundluftskiftet reduceres til 0,15 l/s pr. m<sup>2</sup>, så længe luftkvalitet og fugtforhold er tilfredsstillende. Derudover er der krav om, at luftmængderne kan forøges til specifikke niveauer i køkken, bad, wc-rum og bryggers. Begge krav er mindstekrav, der begge skal være opfyldt. I visse tilfælde kan det dog være nødvendigt at forøge luftmængderne for at overholde det grundlæggende funktionskrav. Det kan for eksempel være i rum der benyttes som soveværelse eller børneværelse.

Den overordnede behovsstyringsstrategi for hele huset med hensyn til udeluft behov er vist i det efterfølgende rutediagram, som er implementeret i LS Controls CTS-program.

Grænsen på 2 g/kg og 150 ppm kan ændres, men begge grænser bør afspejle effektiv fugtfjernelse og tilstedeværelse af personer i huset.



Programkode for DCV for hele boligen:

```

LOOP
{
 $\Delta CO_2 = CO_{2\_fraluft} - CO_{2\_tilluft}$  // ppm
 $\Delta X = X_{fraluft} - X_{tilluft}$  // gram pr. kg tør luft
IF ( $\Delta CO_2 > 150$ ) OR ( $\Delta X > 2$ ) THEN // set-punkter (150, 2) kan ændres
    BEGIN
        Airflow = 0,30 liter/(s·m²)
    END
ELSE
        Airflow = 0,15 liter/(s·m²)
} ENDOOP

```

De ovenfor nævnte styringsstrategier for hele huset og for soveværelset kræver sensorer placeret i selve ventilationsaggregatet og i soveværelset.

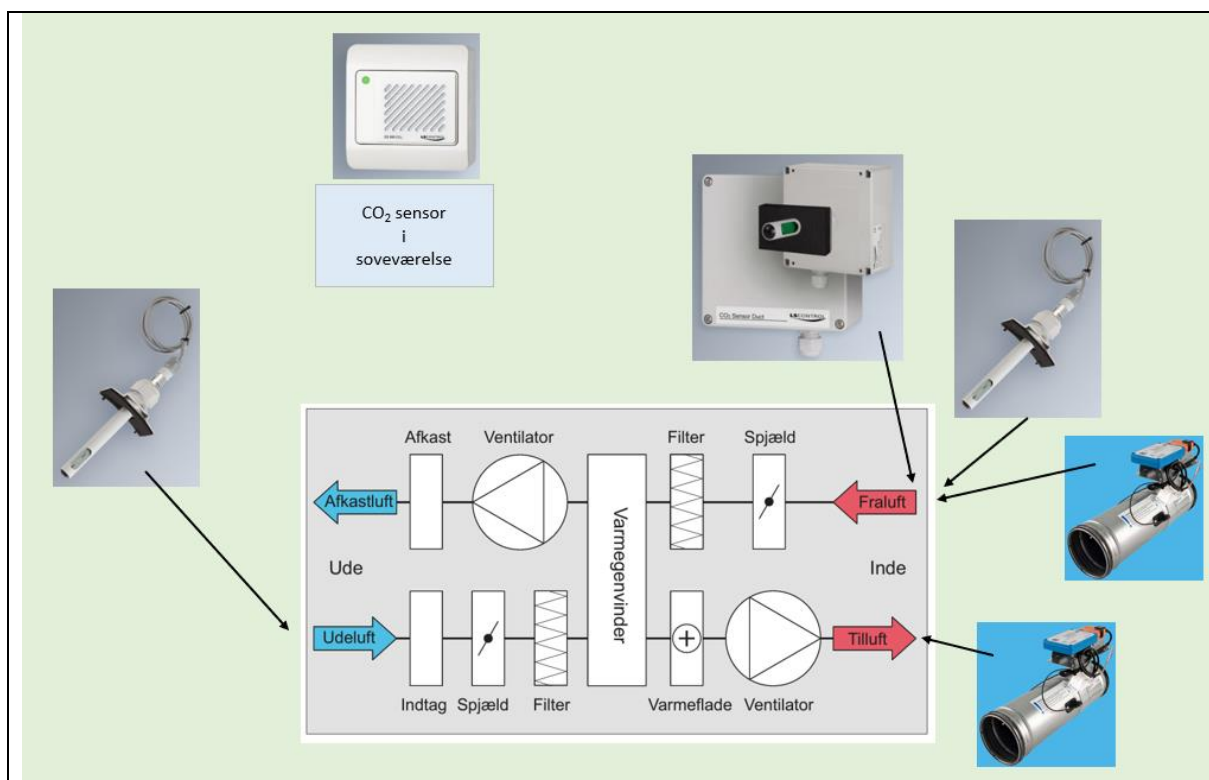


## Ventilationsaggregat

Udeluft (indtag):	Lufttemperatur- og RF-sensor → beregnet $X_{\text{udeluft}}$
Fraluft (udsugning):	Lufttemperatur- og RF-sensor → beregnet $X_{\text{udsugning}}$
Fraluft (udsugning):	CO <sub>2</sub> sensor (ppm)
Udeluft (indtag):	[-CO <sub>2</sub> sensor]. Det antages en konstant koncentration på 400 ppm
Tilluft (indblæsning):	Integreret flowmåler til måling af luftstrøm
Fraluft (udsugning):	Integreret flowmåler til måling af luftstrøm

## Soveværelse

På væg 1,5 meter over gulvniveau:	CO <sub>2</sub> sensor
-----------------------------------	------------------------



CTS-programmet har som sagt fat i alle de viste sensorer i forbindelsen med DCV-styringen. Det bør understreges at de to integrerede flow/sjæld komponenter virkelig er til stor gavn selvom de ikke nødvendigvis anvendes i dagligdagen. Det er meget nemt for husejeren at tjekke de to luftstrømme og eventuel ubalance mellem de to luftstrømme kan nemt løses ved at ændre en anelse på omdrejningstallene for de to ventilatorer.

Integrerede flowmålere til boligventilationsanlæg er ikke så udbredte endnu, men vi må sandelig håbe, det på sigt ændres, da den løbende overvågning af drift og energiforbrug vil blive forbedret.

## Energibesparelser ved implementering af projektets resultater

Lind & Risør huset i Vindinge ved Roskilde har et opvarmet boligareal på 200 m<sup>2</sup>. Huset har 2 badeværelser og 1 bryggers. Der er selvstændig emhætte med ekstern ventilator i køkkenet.

Grundluftmængden (basisluftmængden) bliver lig:

$$200 \text{ m}^2 \cdot 0,30 \text{ liter/ (s} \cdot \text{m}^2) = 60 \text{ liter/s}$$

I forceret drift bliver luftmængden lig:

$$(20 + 15 + 15 + 10) = 60 \text{ liter/s}$$

Med to badeværelser balancerer grundluftmængde med forceret luftmængde ved 200 m<sup>2</sup>.

Det årlige forbrug til elektricitet (drift af ventilatorer) og energi (opvarmning af kold erstatningsluft) kan beregnes af følgende to formeludtryk for et ventilationsanlæg:

$$E_{\text{Elektricitet}} = q_v \text{ [liter/s]} \cdot SEL \text{ [J/m}^3] \cdot 8760/1000/1000 \quad \text{[kWh/år]}$$

Denne formel gælder ved konstant luftmængde i hele driftstiden.

Ved reduktion af luftmængden falder el-forbruget til ventilatorer kraftigt. Formlen er følgende:

$$P_{\text{ventilatorer}} = \left( \frac{q_{\text{aktuel}}}{q_{\text{max}}} \right)^{2,5} \cdot (q_{\text{max}} \cdot SEL_{\text{max}})$$

Man vil nok forvente potensen 3,0 i stedet for 2,5; men erfaringer har vist, at potensen 2,5 er mere dækkende end 3,0. Det skyldes sandsynligvis at forholdene (luftstrømme) i selve ventilationsaggregatet ikke er turbulente alle steder.

$$E_{\text{Energi}} = 130 \cdot q_v \text{ [liter/s]} \cdot (1 - \epsilon_{\text{VGV}}) \quad \text{[kWh/år]}$$

Faktoren '130' gælder ved  $T_{\text{indblæsning}} = T_{\text{udsugning}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  i henhold til energirammeprogrammet BE18.

Tidligere undersøgelse foretaget af DTU har vist, at et behovsstyret ventilationsanlæg (DCV) kunne køre i neddrolet tilstand i omkring 30% af tiden for et parcelhus med en familie på 2 voksne, begge med fuldtidsarbejde og med 2 børn.

$$(2628 + 6132) = 8760 \text{ timer.}$$

$$(30\% + 70\%) = 100\%$$

Det giver følgende energisparepotentiale, hvis projektets resultater gennemføres:

	BR2018 (naturlig)	E [kWh]	BR2018	E [kWh]	BR2015 (Lavenergiklasse 2020)	E [kWh]	BR2015 (Lavenergiklasse 2020 + DCV)	E [kWh]
$q_v$ [l/s]	60		60		60		60/30	
SEL [J/m <sup>3</sup> ]	0	0	1000	525,6	900	473,0	900	356
$\epsilon_{\text{VGV}}$ [%]	0	7800	80	1560	85	1170	85	995
$2,5 \cdot E_{\text{el}} + E_{\text{varme}}$		7800		2874		2353		1885

Energisparepotentialet ved energirammeberegning i BE18 vil give en besparelse på:

- $2874 - 1885 = 989 \text{ kWh}$

- $1 - (1885/2874) \cdot 100 = 34 \%$

## 7. Informations- og undervisningsmateriale

Hele konceptet sammenfattes til brug i Teknologisk Instituts kurser om boligventilation, og anvendes som basis materiale i forbindelse med opdatering af *Den lille blå om ventilation: "Energieffektiv BR2020 boligventilation – Installation, drift og service"*. Denne publikation der fuldender den blå serie om ventilation indgår ikke i projektet.

### Basistekst til afsnittet: "Behovsstyret boligventilation i enfamilieboliger".

#### Indledning

Nye- og renoverede enfamilieboliger er tætte. Derfor ses sjældent enfamilieboliger opført efter 2010 med naturlig ventilation. Kravet til energiforbrug (BE18 energirammeberegning) spiller også her en rolle for valg af ventilationsløsning.



*Lind & Risør demonstrationsbolig på omkring 200 m<sup>2</sup>.*

Dette afsnit adresserer Lavenergiklasse 2020 i BR2015 (BR15) bygningsreglementet, hvad angår ventilation, men indholdet er stadigvæk gældende for Lavenergiklassen i BR2018 (BR18) og opfylder denne.

#### Lovgivning (BR18)

I beboelsesrum såvel som i boligen totalt skal der være en udelufttilførsel på mindst 0,30 liter/(s·m<sup>2</sup>) opvarmet etageareal. Den praktiske tolkning af dette krav er vist på den efterfølgende figur 1:

## Stor lejlighed på fx 139 m<sup>2</sup>

	Areal	Areal	Luftmængde	Luftmængde
	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[L/s]	[L/s]
Bad	7,0		17,9	
Køkken	12,0	19,0	23,8	41,7
Stue	75,0		26,1	↑
Soveværelse	15,0		5,2	
Børneværelse 1	15,0		5,2	
Børneværelse 2	15,0	120,0	5,2	
Samlet areal	<b>139</b>	[m <sup>2</sup> ]		
Grundluftmængde	<b>41,7</b>	[L/s]		

Figur 1. Skemaet viser eksempel på opfyldelse af BR18 for boliger.

I visse tilfælde kan det dog være nødvendigt at forøge luftmængderne for at overholde det grundlæggende funktionskrav. Det kan for eksempel være i rum der benyttes som soveværelse eller børneværelse.

Såfremt ventilationssystemet ved måling er i stand til at regulere udelufttilførslen efter tilfredsstillende luftkvalitet og fugtforhold i boligen, er det dog tilladt at reducere udelufttilførslen til 0,15 liter/(s·m<sup>2</sup>) i en længere periode over døgnet, hvis boligen ikke er i anvendelse.

Ventilation i boliger kan reduceres uden for brugstiden under forudsætning af, at det ikke giver anledning til et utilfredsstillende indeklima, medfører sundhedsrisiko eller risiko for fugtproblemer, der fx kan føre til skimmelsvamp. For boliger vil det normalt sige, at ventilationen som minimum skal sikre, at rumluftens CO<sub>2</sub>-indhold og luftfugtighed altid holdes på et acceptabelt niveau.

Ved brugstid forstås den tid, hvor boligen er i anvendelse, og der er mindst én person til stede i boligen. Det vil omvendt sige, at der ved "uden for brugstid" skal forstås den tid, hvor boligen som helhed er uden persontilstedeværelse i en længere periode.

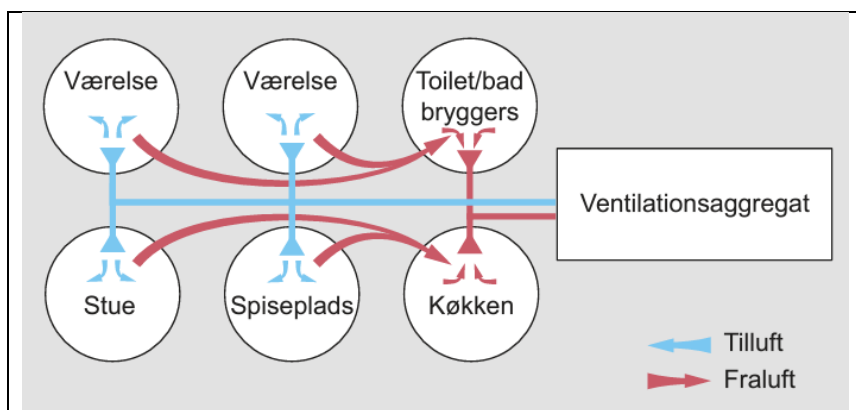
Det er en forudsætning for brug af behovsstyret ventilation, at der er følere eller sensorer der automatisk og med høj sikkerhed kan fastlægge om brugeren/brugerne er til stede i boligen eller ej. Dette gælder også på tidspunkter, hvor brugerne er inaktive eksempelvis sover.

CO<sub>2</sub> kan anvendes som indikator for luftkvalitet, og ventilationssystemer kan derfor indrettes til at styre efter denne parameter i kombination med fugtføler.

Manuel styring af ventilationen anses ikke for at være tilstrækkelig til styring af et behovsstyret ventilationssystem.

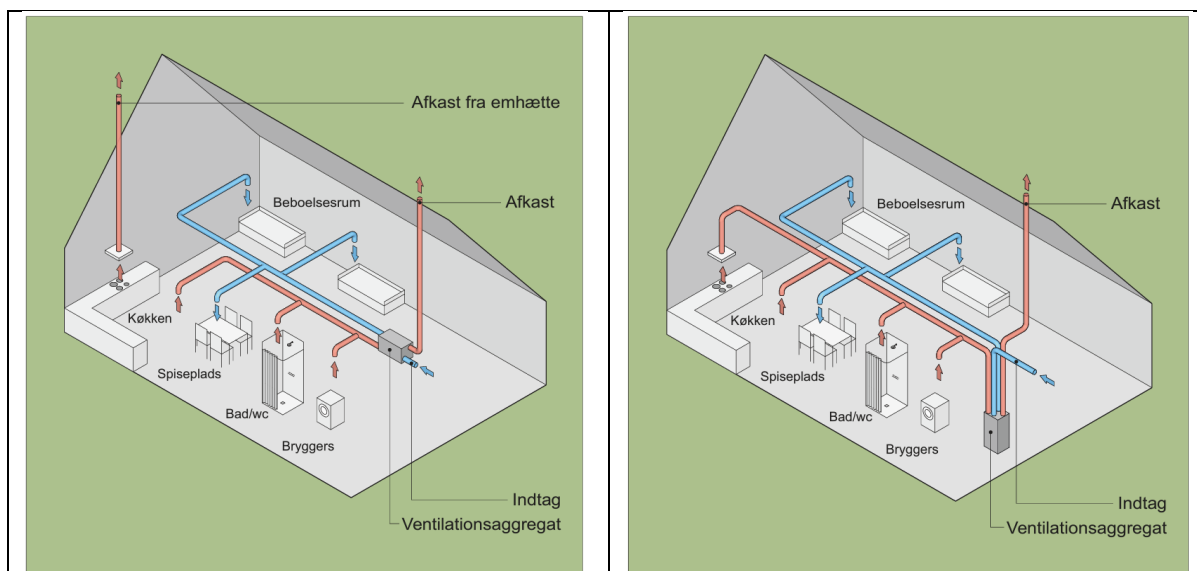
Behovsstyrings følere bør kunne registrere om alle rum i boligen er forladt. Som hovedregel skal følere placeres på et sted, hvor den omgivende luft er repræsentativ for luften i opholdszonen. Følere bør fx ikke placeres i hjørner, tæt ved dør- og vinduesåbninger, i områder med direkte sollys eller i områder, der er i direkte kontakt med indblæsningsluft.

Boligens grundluftskifte skal tilvejebringes med et ventilationssystem. Hvis ventilationen foretages med et mekanisk ventilationsanlæg, skal dette have indblæsning i beboelsesrummene og udsugning i bad, wc-rum, køkken og bryggers, se figur 2 og figur 3.



Figur 2. Principiel skitse af tilluft og fraluft.

Ventilationsanlægget skal have varmegenvinding, der forvarmer indblæsningsluften. Såfremt et andet ventilationssystem anvendes, skal dette på en tilsvarende måde kunne opfylde bygningsreglementets krav, og tillige skal det sikres, at primærenergi behovet ikke forøges.



Figur 3. Principiel skitse af ventilationsløsning

Køkkener i boliger skal forsynes med emhætte. Emhætten skal have regulerbar, mekanisk udsugning, afkast til den fri og tilstrækkelig effektivitet til at fjerne fugt og luftformige forureninger fra madlavning.

En emhætte skal for at have tilstrækkelig effektivitet til at fjerne fugt og luftformige forureninger fra madlavningen have en luftstrøm på mindst 120 liter/s. Denne luftstrøm kan dog reduceres ved anvendelse af korrektionsfaktorer, såfremt emhættens udformning og placering understøtter dette i en konkret byggesag. Præaccepterede korrektionsfaktorer er angivet i bygningsreglementets vejledning om ventilation. En anden måde at dokumentere tilstrækkelig effektivitet til at fjerne fugt og luftformige forureninger fra madlavningen er en emfangsevne på mindst 75 % i overensstemmelse med de relevante teststandarder for emhætter.

Der skal altid sikres erstatningsluft, når emhætten er i drift. Manuel åbning af vinduer eller lignende kan ikke være en forudsætning for opfyldelse af kravene til emhætten.

I bade- og wc-rum i boliger skal der kunne udsuges mindst 15 liter/s. I wc-rum uden bad og i bryggers skal der kunne udsuges mindst 10 liter/s. I køkkener skal der kunne udsuges mindst 20 liter/s.

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

Ventilationsanlæg med indblæsning og udsugning, hvor ventilationsaggregat og kanalsystem kun betjener én bolig skal udføres med varmegenvinding med en tør temperaturvirkningsgrad på mindst 80 %.

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

[BR18 - Lavenergiklasse] Ventilationsanlæg, hvor ventilationsaggregat og kanalsystem kun betjener én bolig, skal udføres med varmegenvinding med en tør virkningsgrad på mindst 85 pct.

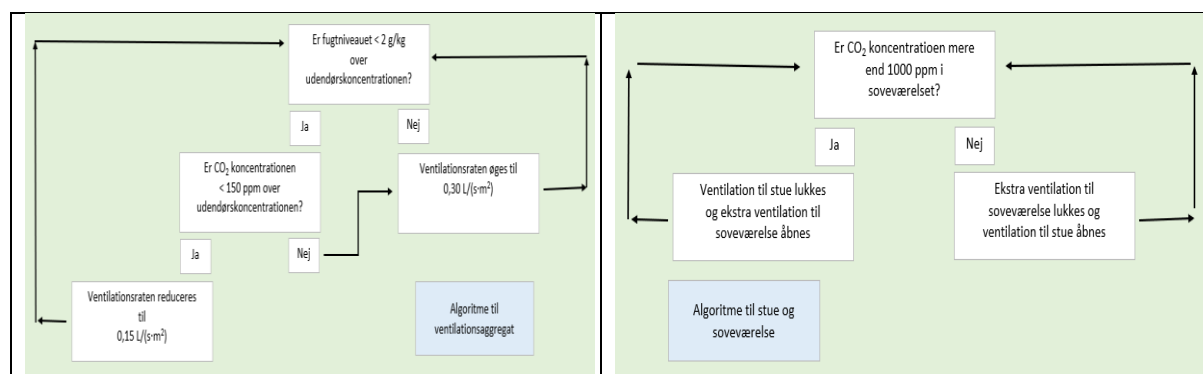
#### Behovsstyring af udeluftmængde for hele boligen

BR18 åbner op for behovsstyring af udeluftmængden i det tilfælde hvor der ikke er nogen personbelastning i boligen. Herforuden har flere undersøgelser vist, at visse rum fx soveværelse kan have brug for ekstra udeluft i perioder.

Behovsstyring giver el- og energibesparelser, men graden af behovsstyring og hermed kompleksitet er en balance mellem investering, driftsudgifter til vedligehold og den opnåede besparelse.

Disse overvejelser er drøftet i projektet og valget er faldet på følgende styringsstrategi, som vist på figur 4 og figur 5. Undersøgelser har vist, at en normal familie er ude af huset i omkring 30% af tiden. I denne periode på 30% kan luftmængden i teorien reduceres ned til det halve.

Bemærk at fugtstyringen hele tiden sammenligner det absolutte vandindhold i indeluften med det absolutte vandindhold i udeluften, altså en tilvækst i vandindhold i luften inde i boligen.

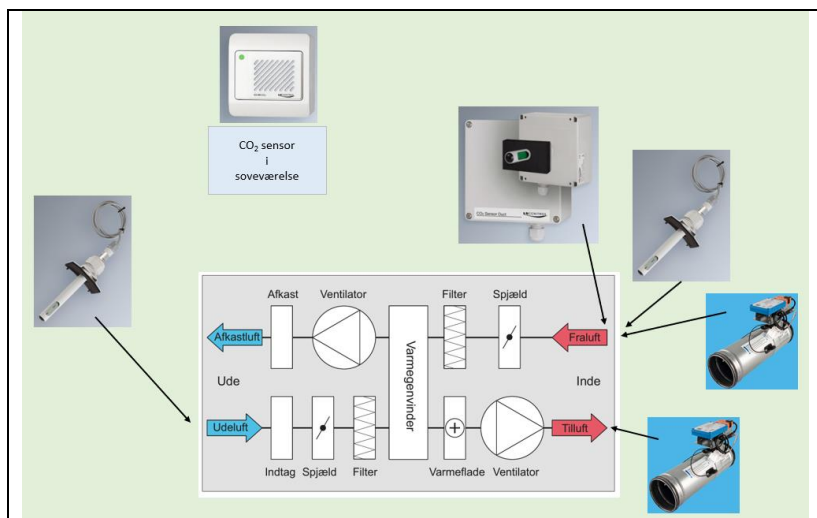


Figur 4a. Algoritme til behovsstyring af hele boligen. Figur 4b. Algoritme til behovsstyring i soveværelse.

Styringsstrategien har nærmest karakter af 'person-tilstedeværelse-i-boligen' eller 'ikke-person-tilstedeværelse-i-boligen'. Herforuden er der også indbygget fugtsikring i styringen.

Strategien indebærer, at luftmængden kører ensartet op eller ned for hele boligen. Der er ikke fundet rentable løsninger, hvor luftmængden for hvert rum kan behovsstyres uafhængigt af de andre rum, det vil sige rumbaseret behovsstyring.

Det er valgt at placere alle sensorer i selve ventilationsaggregatet undtaget CO<sub>2</sub> sensoren til soveværelset. De 2 ultralink flowsensorer ind/ud skal sidde på egnede strækninger uden forstyrrelser, som kan påvirke målenøjagtigheden.



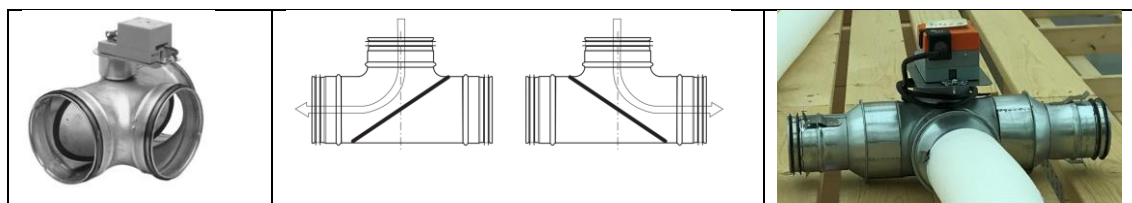
Figur 5. Anbefalede (LS Control og Lindab) komponenter og nødvendige komponenter til den overordnede styringsstrategi.

Selvom den nye DS-447 (2021) nævner, at for enfamilieboliger kan en luftmængdemåling godt udføres (måles) ved traversering i kanal med en lufthastighedsmåler, må det stærkt anbefales at installere integrerede luftmængde målere med direkte visning i ventilationssystemet. Det sparer meget tid i forbindelse med indreguleringen og det giver også en tryghed for beboerne. Undersøgelser har vist at beboere i enfamilieboliger generelt ikke har noget overblik over ventilationsanlæggets øjeblikkelige status, hvad angår fx luftmængder.

Styringsstrategien er implementeret i CTS-system er udført af LS Control, som har mange års erfaring med CTS-styringer til ventilationsanlæg. Der er mulighed for fjernovervågning og der er mulighed for fjernindstilling af set-punkter.

#### Behovsstyring af udeluftmængde for soveværelse

Hvis der er brug for ekstra udeluft i soveværelset målt med CO<sub>2</sub> sensoren i soveværelset øges udeluftmængden ikke tilsvarende for hele boligen. Det er vurderet, at ved stigende udeluft behov i soveværelset, er udeluftbehovet i stuen nok tilsvarende mindre. Derfor er der implementeret en strategi, som "låner" luft fra stuen og fører luften ind i soveværelset ved hjælp af et Lindab TVTBU T-spjæld med motor, se efterfølgende figur 6.



Figur 6. Billede og skitse af virkemåden for et Lindab T-spjæld.



Arrangementet indebærer, at der skal føres 2 slanger til soveværelset og hermed også placering af to tilluftarmaturer i loftet i soveværelset.

#### Tilluftarmatur

Der er valgt at anvende det prisvindende tilluftarmatur fra Lindab benævnt Airy i dimensionen  $\varnothing 125$  mm. Armaturet er meget populært hos boligejere på grund af den arkitektoniske udformning (udseende) og de gode strømningstekniske egenskaber.



Figur 7. Billede af Lindab Airy tilluftarmatur med enten rund eller kvadratisk plade.



Figur 8. Billede af Lindab PVWU armaturtilslutningsboks. Her vist med 3 slangetilslutninger. Normalt er 1 slangetilslutning tilstrækkelig, som vist på montagebilledet.

Armaturtilslutningsboksen skal fikseres ovenpå lægter, som er sømmet fast på træspærene.

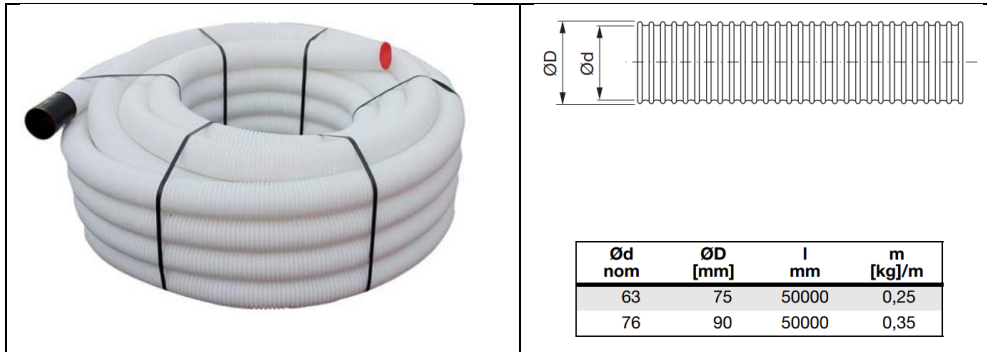


Figur 9. Afslutning på ventilationsmontage i loft. Airy armatur kan nu monteres.

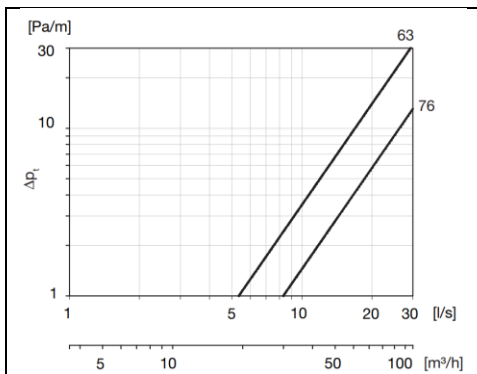
#### Føring af luft i plastslanger

En vigtig del af projektet var brug af semi-fleksible Lindab LFPE-plastrør fremstillet af polyethylen (PE) med ru overflade (udvendigt) og glat overflade (indvendigt).

Systemløsningen med plastrør giver en større fleksibilitet end brug af stålkabler, idet de nødvendige fikspunkter sådant kun er armaturplacering og manifold placering. Tilslutninger foregår med Lindabs "Smart Lock Function" uden brug af skruer, tætningsmasse eller tape.

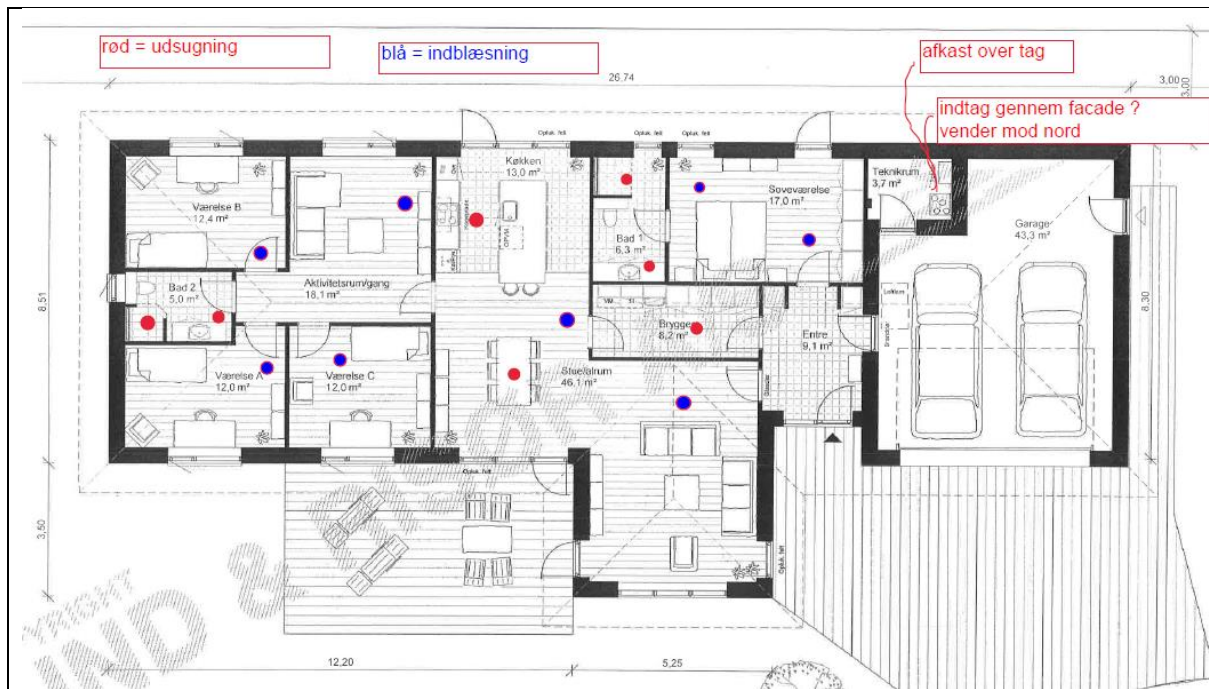


Figur 10. Figuren viser billede og data for de anvendte fleks slanger.

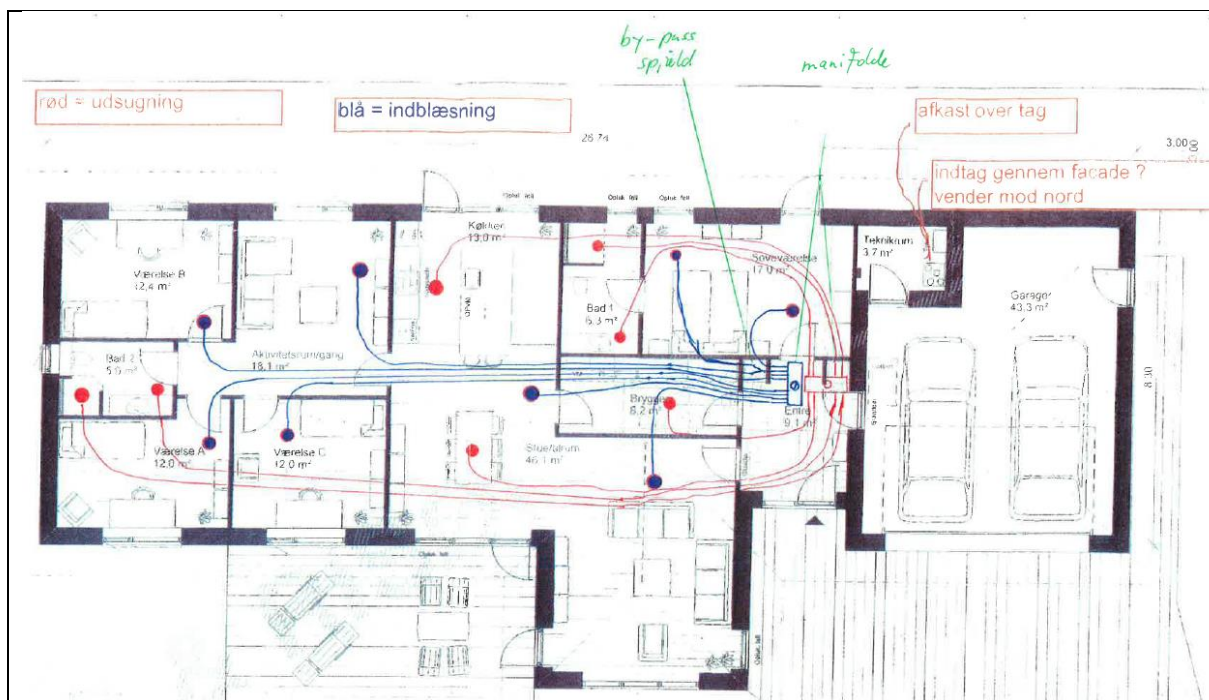


Figur 11. Lindab tryktabsdiagram for ø63 mm og ø76 mm InDomo LFPE-slange.

I projektet er der valgt udelukkende at køre med ø76 mm slange dimension af hensyn til tryktabet. Teoretisk set kunne der på enkelte strækninger godt vælges ø63 mm dimension, men for at undgå eventuel fejlmontage, er det langt sikrere udelukkende at køre med ø76 mm dimension.



Figur 12. Figuren viser en plantegning af boligen med angivelse af tilluftsteder (indblæsning) og fraluftsteder (udsugning). Bemærk at teknikrum er placeret som en "del" af garagen.



Figur 13. Figuren viser føring af rør (slanger). Bemærk at slangerne ikke nødvendigvis behøver at ligge snorlige. Herved opnås stor fleksibilitet under montage arbejdet.



Figur 14. Figuren viser udsnit af slangeføringen fra manifolden.



Figur 15. Teknik rum med varmeinstallation og ventilationsaggregat.



Figur 16. En stue klar til beboere.

## 8. Perspektivering og den videre anvendelse af resultaterne

Projektet har udviklet et behovsstyret ventilationsanlæg til enfamilieboliger, som opfylder BR2015 lavenergiklasse 2020 samt lavenergiklassen i den nyeste udgave af BR2018.

Projekresultaterne har en bred anvendelse, hvor flere aktører på ventilationsmarkedet vil kunne implementere behovsstyringsstrategien og de andre opnåede resultater fx anvendelse af semi-fleksible plastslanger m.m.

Hvis boligen ikke er i anvendelse i en periode og har et behovsstyret ventilationssystem, kan grundluftskiftet nu i henhold til BR2018 reduceres til 0,15 liter/s pr. m<sup>2</sup>, så længe luftkvalitet og fugtforhold er tilfredsstillende. Herved spares energi til opvarmning af kold udeluft og der spares elektricitet til drift af ventilatorer.

Der er krav om, at luftmængderne kan forøges til specifikke niveauer i køkken, bad, wc-rum og bryggers. Begge krav er mindstekrav, der begge skal være opfyldt. I visse tilfælde kan det dog være nødvendigt at forøge luftmængderne for at overholde det grundlæggende funktionskrav. Det kan for eksempel være i rum der benyttes som soveværelse eller børneværelse.

Soveværelset er ofte underventileret, men der er normalt ikke stor samtidighed med persontilstedeværelse i fx stue og soveværelse. Derfor anvendes der i projektet en strategi, hvor der om natten "lånes" ekstra luft fra stuen til soveværelset. Herved kan det samlede luftskifte holdes på samme niveau. En energioptimal løsning!

Ventilation i boliger kan reduceres uden for brugstiden under forudsætning af, at det ikke giver anledning til et utilfredsstillende indeklima, medfører sundhedsrisiko eller risiko for fugtproblemer, der fx kan føre til skimmelsvamp. For boliger vil det normalt sige, at ventilationen som minimum skal sikre, at rumluftens CO<sub>2</sub>-indhold og luftfugtighed altid holdes på et acceptabelt niveau.

Det kan på nuværende tidspunkt ikke umiddelbart anbefales at styre efter andre parametre i luften som fx rumtemperatur, ePM<sub>1,0</sub>, ePM<sub>2,5</sub>, ePM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, TVOC, radon, formaldehyd, PIR m.fl. Erfaringsgrundlaget er p.t. simpelthen for spinkelt.

Ved brugstid forstås den tid, hvor boligen er i anvendelse, og der er mindst én person til stede i boligen. Det vil omvendt sige, at der ved "uden for brugstid" skal forstås den tid, hvor boligen som helhed er uden persontilstedeværelse i en længere periode. Denne periode ligger ifølge undersøgelser på omtrentlig 30% for en standardfamilie på 2 voksne og 2 børn, hvor begge forældre har 37 timers arbejde.

Det er en forudsætning for brug af behovsstyret ventilation, at der er følere eller sensorer der automatisk og med høj sikkerhed kan fastlægge om brugeren/brugerne er til stede i boligen eller ej. Dette gælder også på tidspunkter, hvor brugerne er inaktive eksempelvis sover.

CO<sub>2</sub> kan anvendes som indikator for luftkvalitet, og ventilationssystemer kan derfor indrettes til at styre efter denne parameter i kombination med fugtfølere.

Manuel styring af ventilationen anses ikke for at være tilstrækkelig til styring af et behovsstyret ventilationssystem.

Behovsstyringens følere bør kunne registrere om alle rum i boligen er forladt. Som hovedregel skal følere placeres på et sted, hvor den omgivende luft er repræsentativ for luften i opholdszonen. Følere bør fx ikke placeres i hjørner, tæt ved dør- og vinduesåbninger, i områder med direkte sollys eller i områder, der er i direkte kontakt med indblæsningsluft.

Efter mange overvejelser i projektet er den bedste følerplacering fundet til at være i selve ventilationsaggregatet undtaget den ene CO<sub>2</sub> sensor til soveværelset. Den kan i sagens natur kun sidde i selve soveværelset. Der behovsstyres efter en tilvækst i fugt og CO<sub>2</sub> i forhold til udendørsforholdene:

$$C_{ud} = \frac{\dot{q}}{q_v} + C_{ind} \rightarrow C_{ud} - C_{ind} = \frac{\dot{q}}{q_v} = \Delta C$$

$$X_{ud} = \frac{\dot{m}}{q_v} + X_{ind} \rightarrow X_{ud} - X_{ind} = \frac{\dot{m}}{q_v} = \Delta X$$

$$\Delta C = 150 \text{ ppm og } \Delta X = 2 \text{ gram/kg}$$

Behovsstyrede ventilationssystemer bør normalt være automatisk styrede baseret på egnede følere, der kan sikre en stabil drift. Anlægget bør have en høj robusthed- og driftssikkerhed så ventilationen i benyttelsestiden ikke svigter på grund af system- eller målefejl, der fx tolkes som at boligen ikke er i brug. Den ovenfor nævnte behovsstrategi giver en robust- og enkelt drift af ventilationsanlægget:

$$q_v \begin{cases} [\Delta C < 150 \text{ AND } \Delta X < 2] \rightarrow 0,15 \\ [\Delta C \geq 150 \text{ OR } \Delta X \geq 2] \rightarrow 0,30 \end{cases}$$

Der er som sagt valgt, at soveværelset kan få tilført ekstra luft uden en generel øgning af luftmængden for hele boligen, men det vil med stor sandsynlighed ikke kunne betale sig, at behovsstyre hvert rum. Alene investeringen vil blive markant højere og der er også en risiko for flere fejl og komponenter, som skal udskiftes.

Teknologisk Institut og Lindab mener, at der trods udviklingen på ventilationsområdet de seneste år fortsat er behov for reduktion af tryktab i decentrale, kompakte installationer i forbindelse med kanaludformning og -føringer.

Derfor blev fokus indledende i projektet også rettet på at udvikle manifolde til såvel tilluft som fraluft. Der blev taget udgangspunkt i eksisterende løsninger men ved at optimere placering af tilslutningsstutse på manifolde, kunne der opnås en bedre fordeling af luften hen over manifoldene med deraf følgende lavere tryktab. Dette er dokumenteret ud fra test på Teknologisk Institut.

Dette har givet værdifulde input til Lindabs videreudvikling af disse produkter.

## 9. Referencer

"Bygningsreglement 2015, lavenergiklasse 2020", Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen.

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

"Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer", DS 447:2021 (2021-12-15)

"Bedroom Ventilation and Sleep Quality", Xiaojun Fan, Ph. D. Vinder af P. O. Fangers Legat, HVAC 11, November 2021 og HVAC 13, December 2021

"Emission rate of carbon dioxide while sleeping", Xiaojun Fan m.fl. Inddor Air 2021:00 1-16

"Dårlig luft hæmmer nattesøvnen", Ingeniøren 1. sektion, 4. december 2020.

"SleepVent – undersøgelse af indeklime og søvnkvalitet", Chenxi Liao m.fl. HVAC 3, marts 2020.

"Frisk luft skal sikre god nattesøvn i tætte boliger", Christian Drivsholm og Amalie Gunner, HVAC 2, Februar 2019.

"Kravspecifikation gældende for ES2020", LS Control A/S

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