

## **Komponentudvikling til el-effektiv behovsstyret hybrid ventilation i boliger**

*Forundersøgelse*

Heiselberg, Per; Hendriksen, Ole Juhl; Antvorskov, Signe

*Publication date:*  
2007

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Heiselberg, P., Hendriksen, O. J., & Antvorskov, S. (2007). *Komponentudvikling til el-effektiv behovsstyret hybrid ventilation i boliger: Forundersøgelse*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Technical reports Nr. 26

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **Komponentudvikling til el-effektiv behovsstyret hybrid ventilation i boliger - Forundersøgelse**

**Per Heiselberg, Aalborg Universitet  
Ole Juhl Hendriksen, Force Technology  
Signe Antvorskov, Esbensen Rådgivende Ingeniører**

Aalborg University  
Department of Civil Engineering  
Architectural Engineering

**DCE Technical Report No. 026**

**Komponentudvikling til el-effektiv  
behovsstyret hybrid ventilation i boliger  
- Forundersøgelse**

by

Per Heiselberg, Aalborg Universitet  
Ole Juhl Hendriksen, Force Technology  
Signe Antvorskov, Esbensen Rådgivende Ingeniører

August 2007

© Aalborg University

## Scientific Publications at the Department of Civil Engineering

**Technical Reports** are published for timely dissemination of research results and scientific work carried out at the Department of Civil Engineering (DCE) at Aalborg University. This medium allows publication of more detailed explanations and results than typically allowed in scientific journals.

**Technical Memoranda** are produced to enable the preliminary dissemination of scientific work by the personnel of the DCE where such release is deemed to be appropriate. Documents of this kind may be incomplete or temporary versions of papers—or part of continuing work. This should be kept in mind when references are given to publications of this kind.

**Contract Reports** are produced to report scientific work carried out under contract. Publications of this kind contain confidential matter and are reserved for the sponsors and the DCE. Therefore, Contract Reports are generally not available for public circulation.

**Lecture Notes** contain material produced by the lecturers at the DCE for educational purposes. This may be scientific notes, lecture books, example problems or manuals for laboratory work, or computer programs developed at the DCE.

**Theses** are monographs or collections of papers published to report the scientific work carried out at the DCE to obtain a degree as either PhD or Doctor of Technology. The thesis is publicly available after the defence of the degree.

**Latest News** is published to enable rapid communication of information about scientific work carried out at the DCE. This includes the status of research projects, developments in the laboratories, information about collaborative work and recent research results.

Published 2007 by  
Aalborg University  
Department of Civil Engineering  
Sohngaardsholmsvej 57,  
DK-9000 Aalborg, Denmark

Printed in Denmark at Aalborg University

ISSN 1901-726X  
DCE Technical Report No. 026

# 1 Indholdsfortegnelse

1	Indholdsfortegnelse .....	1
2	Forord .....	2
3	Introduktion .....	3
3.1	Målsætning .....	3
3.2	Indhold og metode .....	3
3.3	Forventede resultater .....	4
4	Nationale og internationale erfaringer med naturlig og/eller behovsstyret boligventilation. ....	5
4.1	Behovsstyring .....	5
4.2	Naturlig ventilation i boliger .....	5
4.3	Komponenter .....	5
4.4	Hybrid ventilation .....	6
4.5	Energibesparelse .....	6
5	Karakterisering og valg af ventilationskoncept .....	7
5.1	Karakteristiske parametre for et hybrid ventilationssystem .....	7
5.2	Udvælgelse af ventilationskoncept .....	8
6	Ventilations- og styringsstrategi .....	10
6.1	Luftmængder og ventilationsprincipper .....	10
6.2	Forudsætninger for behovsstyret hybrid ventilation .....	10
6.3	Konceptbeskrivelse for behovsstyret hybrid ventilation .....	11
7	Anbefalinger for det videre projektførløb .....	13
8	Bilag 1. Kommenteret liste over gennemgået dansk litteratur .....	14
9	Bilag 2. Kommenteret liste over gennemgået international litteratur .....	16
10	Bilag 3. Undersøgelse af drivtryk, trykforhold og energiforbrug. ....	21
10.1	Formål .....	21
10.2	Bygningsbeskrivelse .....	21
10.3	Beregningsforudsætninger for beregning af naturligt drivtryk .....	21
10.4	Beregningsresultater for naturligt drivtryk .....	21
10.5	Beregning af effektbehov til ventilator .....	23
11	Bilag 4. Beskrivelse af erfaringer og udviklede boligventilationssystemer i Reshyvent. ....	27
11.1	Beskrivelse af udviklede boligventilationssystemer i Reshyvent .....	27

## **2 Forord**

Denne rapport udgør 1. milepæl i formidlingen af projektet "Komponentudvikling til el-effektiv behovsstyret hybrid ventilation i boliger", der er finansieret af ELFOR via PSO-støtteordningen (Journal nr. 464-03, Projekt nr.336-035).

Rapporten sammenfatter baggrundsundersøgelser af national og international litteratur og projektresultater samt beskriver det valgte ventilationskoncept.

Rapporten er udarbejdet på baggrund af et litteraturstudie, på møder og gennem diskussion med projektgruppen, der består af følgende parter: Esbensen rådgivende ingeniører (projektleder), Force Technology, Aalborg Universitet, OJ Electronics A/S, LINAk Danmark A/S, GaiaSolar, Boligkontoret i Danmark og Exhausto A/S.

Aalborg, marts 2005.

### 3 Introduktion

I takt med den forbedrede isoleringsstandard i danske boliger er energiforbruget til ventilation blevet en væsentlig kilde til energiforbrug i boligmassen. Større tæthed af boligerne skærper behovet for ventilation, og manglende ventilation resulterer hurtigt i et dårligt indeklima og deraf følgende diskomfort og i værste fald vækst af skimmelsvamp.

Imidlertid viser en lang række projekter, at ved ventilationsanlæg som udført i dag med balanceret ventilation og varmegenvinding opnås der ikke væsentlige reduktioner af brutto energiforbruget eller miljøbelastninger, idet besparelsen ved varmegenvinding udlignes med ekstra forbruget af el. Dette er dokumenteret i forudgående EFP projekter. Energiforbruget til ventilation af boliger er derfor i dag et af de mest dominerende energiforbrug i boliger. Elforbrug til boligventilation kan reduceres i forhold til nuværende praksis, dvs. både i forhold til mekanisk kontroludsugning og balanceret ventilation med varmegenvinding, ved at regulere luftydelsen kontinuert i overensstemmelse med det reelle ventilationsbehov. Ved at kombinere behovsstyret ventilation med hybrid ventilation (naturlig ventilation assisteret med mekanisk ventilation) kan energiforbruget yderligere reduceres. Hybrid ventilation i boliger er et relativt nyt område, da der hidtil kun har været fokus på dette princip i forhold til kontorbyggerier. Flere internationale projekter har dokumenteret, at der også for boliger er et stort potentiale i forhold til udnyttelse af hybrid ventilation til boliger. Der er kun blevet gennemført få projekter med hybrid ventilation til boliger i Danmark. Markedet mangler derfor udvikling af både koncept og komponenter, der er specielt egnede til det danske marked, hvilket er målet nærværende projekt at tilvejebringe.

#### 3.1 Målsætning

Hovedindsatsområdet i projektet er at minimere el-forbruget til ventilation i boliger samtidig med at et godt indeklima og komfort opretholdes. Det er projektets mål at udvikle et dansk koncept for hybrid ventilation kombineret med behovsstyring i boliger samt at udvikle nye komponenter specielt egnede til dette koncept og med fokus på integration og brug af solceller.

#### 3.2 Indhold og metode

I dette projekt vil der blive udarbejdet et dansk koncept for hybrid ventilation kombineret med behovsstyring i boliger. Dette vil blive gjort med udgangspunkt i udvikling af nye effektive komponenter.

Komponentudviklingen indbefatter elektronik til styring af ventilation, trådløse sensorer, aktuator til spjældregulering og integrering af solceller. Udviklingen af konceptet tager udgangspunkt i de erfaringer, der er gjort i tidligere og igangværende projekter inden for området samt på baggrund af den ekspertviden, der forefindes indenfor projektgruppen. Konceptet vil gennemgå en økonomisk optimering af både installation og drift set i forhold til energiforbrug og vedligeholdelseskostninger. Der vil på baggrund af den økonomiske optimering blive opstillet kravspecifikationer til de enkelte komponenter, for at sikre at udviklingen af disse stemmer overens med det overordnede koncept. Et af kravene til komponenterne vil være et lavt energiforbrug, således at energiforbruget for de enkelte komponenter fuldt kan suppleres med energi fra integrerede solceller. Dette giver mulighed for udvikling af komponenter med decentral styring og elforsyning til hybrid ventilationen, hvor solcelle stand-alone løsninger leverer energien. Solcellen leverer således energien til komponenten. Størrelse af solcellen dimensioneres, således at solen set over et år leverer hele energiforbruget. Der tilkøbes således et batteri som lager til enheden. Fordelen ved stand-alone solcelleløsninger er, at al kabling ud til

komponenterne spares og opsætning af komponenterne vil blive meget mere fleksibelt, da det forventes at benytte trådløse styring. Til udvikling af trådløs styring etableres samarbejde med en specialist inden for trådløs kommunikation, f.eks. Zensys. Som en del af udviklingen af komponenterne vil der blive produceret prototyper for at afprøve og demonstrere virkningen af disse.

Komponenterne og hele konceptet vil blive afprøvet i en testperiode på 6 mdr. i en forsøgsbygning opstillet ved Ålborg Universitet. En ekstern faggruppe vil granske konceptet og komponentudviklingen, hvorefter en optimering vil blive gennemført.

### *3.3 Forventede resultater*

Det forventes, at der i dette projekt udvikles en ny generation af optimale energieffektive komponenter til hybridventilation kombineret med behovsstyring til boliger.

Komponenterne drives af økonomiske attraktive solcelle stand-alone løsninger, der er integreret i komponenterne, således at de fremstår som en enhed, der er nem at håndtere både for installatør og bruger. Udviklingen af disse komponenter sammen med et optimeret koncept vil bevirke, at hybridventilation bliver mere effektivt og derfor mere egnet til installation i boliger med store energibesparelser til følge.

## 4 Nationale og internationale erfaringer med naturlig og/eller behovsstyret boligventilation.

Dette afsnit indeholder en sammenfatning af danske og internationale erfaringer med naturlig og/eller behovsstyret boligventilation. Sammenfatningen er baseret på et litteraturstudie. Den gennemgåede litteratur er listet og kommenteret i bilag 1 og 2. Derudover omfatter sammenfatningen også erfaringer fra det netop afsluttede internationale forskningsprojekt Reshyvent (EU 5th framework programme), der er beskrevet i bilag 4.

### 4.1 Behovsstyring

Det er beregningsmæssigt påvist i flere studier, at behovsstyret boligventilation kan reducere energiforbruget til ventilation med 20-30 % uden at forringe indeklimaet. Det er også påvist, at fugtniveauet i boligen er den vigtigste indeklimaparameter at kontrollere. Dette gælder dog ikke i soverum, hvor CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften er en bedre indikator på friskluftbehovet.

Den bedste styring opnås ved at kombinere luftfugtighed og tilstedeværelse som styrende parametre. Styring af CO<sub>2</sub> niveauet giver ikke tilfredsstillende indeklima med mindre det kombineres med styring af luftfugtigheden.

Der foreligger endnu ikke tilstrækkelig systematisk dokumentation via eksperimentelle undersøgelser af behovsstyret ventilation til at vurdere om beregningsmæssige fordele kan opfyldes i praksis.

### 4.2 Naturlig ventilation i boliger

Det er også beregningsmæssigt påvist, at der kan opnås et tilfredsstillende indeklima, et lavt energiforbrug og en driftsikker ventilation ved hjælp af passive strategier og lavteknologiske komponenter, især hvis arkitektur og teknik spiller sammen i en helhed. Det er konkluderet, at ensidig ventilation er mest driftsikker i forhold til vindretning, og at ensidig udeluftindtag med aftræk gennem tag, hvor der er det største undertryk, giver den bedste og mest stabile løsning. Udeluft tilførslen bør kunne kontrolleres for at undgå overventilation.

Ved naturlig ventilation er det meget svært at kontrollere trykforholdene i boliger med flere rum og forhindre den deraf uønskede strømning af luft og fugt fra forurenede rum til opholdsrum i en lejlighed og mellem lejligheder i samme bygning. Bygningens tæthed spiller i den forbindelse en meget stor rolle.

### 4.3 Komponenter

Der er udviklet flere prototyper på ventilatorer med lav trykudløb (2-5 pa ved 200-300 m<sup>3</sup>/h) og meget lavt effektforbrug (2-10W). Der arbejdes med SFP faktorer for boligventilationssystemer helt ned til 0.064 kW/(m<sup>3</sup>/s), der skal ses i sammenhæng med kravet i bygningsreglementet på 1 kW/(m<sup>3</sup>/s). I sådanne tilfælde bliver solceller interessante som energikilde.

Der er også udviklet en række udeluftindtag med mulighed for kontrol af udeluftmængden, både selvregulerende, der begrænser den maksimale indtagsluftmængde uanset drivtrykkets størrelse, men også aktivt regulerende spjæld. De fleste spjæld udvikles som en del af vinduesløsningen.

#### *4.4 Hybrid ventilation*

I EU-projektet Reshyvent er der udviklet 4 forskellige hybride ventilationssystemer til behovsstyret boligventilation. Disse systemer består næsten alle af decentrale udeluftindtag i opholdsrum med fælles ventilatorassisteret aftræk i køkken og bad. Systemerne anvender en eller flere af følgende parametre som styrende: luftfugtighed, CO<sub>2</sub> niveau, temperatur og/eller tilstedeværelse/bevægelse.

Sammenfattende rapporter fra dette projekt er endnu ikke tilgængelige.

#### *4.5 Energibesparelse*

Ved anvendelse af behovsstyret naturlig/hybrid ventilation er der i flere tilfælde dokumenteret besparelse på energiforbruget til transport af luft, mens betydelige besparelser på varmekonsumet har været svært at påvise.

## 5 Karakterisering og valg af ventilationskoncept

Et ventilationskoncept kan karakteriseres ved at fastlægge en række karakteristiske parametre og funktioner for ventilationssystemet. Dette er ofte en bedre løsning end at forsøge at inddеле systemerne i en række fastlagte kategorier.

### 5.1 Karakteristiske parametre for et hybrid ventilationssystem

For et hybridt ventilationssystem til boliger kunne de karakteristiske parametre være:

- Boligtype
  - En-familiebolig
  - Tæt-lav bebyggelse/rækkehuse
  - Etageboliger
- Drivtryk
  - Naturligt (vind og termik)
  - Mekanisk (udsugningsventilator)
  - Balanceret mekanisk (indblæsnings- og udsugningsventilator)
  - Hybridt (kombination af naturligt og mekanisk)
- Ventilationsprincip
  - Ensided ventilation (udluftning gennem vindue)
  - Opdriftsventilation (aftræk gennem kanal, der udmunder over tag)
  - Tværv ventilation (indtag og afkast gennem modstående vægge)
- Åbningsplacering
  - Indtag
    - Lokalt (i facaden i hvert rum)
    - Centralt (gennem indtagskanal fordelt til hvert rum)
  - Aftræk
    - Lokalt (i facaden i hvert rum)
    - Centralt (gennem aftrækskanal i køkken og bad)
- Lufttransport
  - Lokal (for hver bolig)
  - Central (for alle boliger i bygningen)
  - Kanalført (luft fordeles ved hjælp af ventilationskanaler)
  - Luftoverførsel (luft fordeles gennem åbninger mellem rum)
- Specialfunktioner
  - Luftmængderegulering/kontraspjæld
  - Forvarmning
  - Filtrering
  - Lyddæmpning
  - Brandsikring
  - Opvarmning
  - Køling
  - Lokaludsug
- Styringsstrategi
  - Baggrundsventilation
    - Ingen kontrol (infiltration, udluftning gennem vinduer)

- Konstant luftmængde (ventilator, selvregulerende åbninger)
- Behovsstyret (fugtighed, temperatur, CO<sub>2</sub>, IAQ)
- Basisventilation
  - Konstant luftmængde (ventilator, selvregulerende åbninger)
  - Behovsstyret (fugtighed, temperatur, CO<sub>2</sub>, IAQ)
- Forceret ventilation
  - Tidsstyret/brugerstyret (madlavning, bad, tøjvask)
  - Behovsstyret (tilstedeværelse, fugtighed, CO<sub>2</sub>, IAQ)

## 5.2 Udvælgelse af ventilationskoncept

På baggrund af erfaringer fra tidligere gennemførte projekter, udarbejdet litteratur på området og ud fra diskussioner foretaget i projektgruppen er følgende ventilationskoncept udvalgt. Valget afspejler deltageres spidskompetencer og fokus på at udarbejde nye produkter med nye egenskaber, funktioner og anvendelsesmuligheder:

- Boligtype
  - Ventilationskonceptet skal kunne anvendes i flere boligtyper. Der tages udgangspunkt i et decentralt koncept udviklet for én bolig, der kan etableres uafhængigt af, hvilken bygningsmæssig kontekst boligen indgår i. Dette vil forøge anvendeligheden i forbindelse med renovering.
- Drivtryk
  - Skal være hybridt og det skal hovedsageligt bygge på anvendelse af naturligt drivtryk til baggrundsventilation med mekanisk assistance til basis- og eller forceret ventilation. Afhængigt af styringsstrategi og –muligheder kan mekaniske drivkræfter evt. også sikre tilstrækkelig baggrundsventilation eller sikre den rigtige strømningsretning i boligen (fra opholdsrum til køkken/bad). Det naturlige drivtryk vil hovedsageligt komme fra vindpåvirkning, da konceptet skal fungere uden at være afhængig af mulighed for gennembrydning gennem andre boliger eller tag.
- Ventilationsprincip
  - Primært opdriftsventilation med indtag gennem facader og aftræk over tag (hvor det er muligt). Sekundært tværv ventilation og ensidet ventilation ved vinduesudluftning.
- Åbningsplacering
  - Indtag placeres lokalt i facaden i hvert rum. Afkast foregår primært gennem aftrækskanal, dog ved baggrundsventilation kan indtagspjældene eventuelt fungere som både indtag og udtag. Det tilstræbes, at indtag og afkast er "stand-alone" enheder både med hensyn til energiforsyning og styring (trådløs kommunikation).
- Lufttransport
  - Luft indtag og afkast er lokal for hver enkelt bolig, og lufttransport mellem rum foregår ved luftoverførsel gennem interne åbninger. Disse kan være specielle åbninger (evt. placeret i døre) eller døråbninger (minimumsåbningsareal ved lukket dør). Styringsstrategien skal sikre den ønskede luftstrømning fra opholdsrum til mere belastede rum (køkken og bad).
- Specialfunktioner

- Indtagsåbninger forsynes med luftmængderegulering. Alternativt også forvarmning, filtrering, lyddæmpning. Disse funktioner kan evt. være "ad on".
- Ventilator integreres i afkaståbningen (aftrækskanalen). Evt. med flere trin (lav for basisventilation, høj for forceret ventilation)
- Styringsstrategi
  - Styringsstrategien bygger på minimum baggrundsventilation suppleret med behovsstyring af ventilationen ved belastning samt brugeroverstyring.
  - Luftmængden reguleres gennem både indtagsåbninger og afkaståbninger for at sikre den rette luftfordeling i boligen. Dette vil også muliggøre decentral behovsstyring i enkelte rum.
  - Sensor placeret enten centralt i boligen eller i flere rum. Sensoren er den "intelligente enhed" der kommunikerer trådløst med indtagsåbninger, afkaståbninger og ventilatorer. I denne enhed kan der indbygges forskellige styringsstrategier, som brugeren skal kunne vælge imellem.

Ventilationskonceptet kommer således til at bestå af en række selvstændige indtagsåbninger og en afkastkanal med ventilator. Indtagsåbningerne kan enten fungere uafhængigt eller kombineres til et system via trådløs kommunikation med en intelligent sensorenhed.

## 6 Ventilations- og styringsstrategi

Ventilationsstrategien er baseret på princippet én bolig – ét ventilationsanlæg, som kan realiseres i en-familie boliger, tæt-lav bebyggelse eller etageboliger ved såvel renovering som nybyggeri. Herved er det muligt at tilpasse anlæggets ydelse til det aktuelle behov i hver bolig. Herudover reduceres problemer med brand- og røgspredning, samt overførsel af lyd imellem boliger.

### 6.1 Luftmængder og ventilationsprincipper

De nødvendige luftmængder til ventilation af en bolig bestemmes ud fra behovet for basisventilation og forceret ventilation.

Basisventilation optræder, når der er personer til stede i boligen for at opretholde en tilfredsstillende luftkvalitet som følge af de direkte personskabte forureninger. I de perioder, hvor der ikke er personer til stede, ventileres med baggrundsventilation for at fjerne afgang fra byggematerialer og inventar. Behovet for baggrundsventilation afhænger af boligens tæthed. Ved nybyggeri og renoveret byggeri vil luftskiftet ved infiltration sjældent kunne dække behovet for baggrundsventilation, hvorimod eksisterende bygninger ofte vil have tilstrækkelig baggrundsventilation. Forceret ventilation forekommer typisk når der enten tilberedes mad eller tages bad. I disse perioder er forureningerne så kraftige, at de ikke kan fjernes med basisventilation og luftmængderne forøges til et forceret niveau.

I nedenstående tabel 1 er luftmængderne efter bygningsreglementet vist.

	BR-95 krav	Mekanisk udsugning Aktuel praksis	
	Udsugning	Basisventilation	Forceret ventilation
Antaget driftstid	24 h	24 h	0-3 h
Køkken	Min .20 l/s	20 l/s	40 l/s
Bad	Min. 15 l/s	15 l/s	15 l/s
Opholdsrum	30 cm <sup>2</sup> ventil	20 cm <sup>2</sup> ventil	20 cm <sup>2</sup> ventil

Tabel 1: Luftmængder efter BR-95 og aktuel praksis for mekanisk udsugning

### 6.2 Forudsætninger for behovsstyret hybrid ventilation

Forurenede luft fra køkken eller bad må ikke overføres til opholdsrum. Der fjernes primært personskabte forureninger. Afgasning fra byggematerialer og inventar dækkes ved at ventilere med baggrundsventilation, hvis det ikke kan dækkes ved infiltration. I sommerperioden dækkes kølebehov ved manuel vinduesudluftning.

Baggrundsventilation: Opdriftsventilation og tværventilation med termisk opdrift og vinddrivtryk.

Basisventilation: Opdriftsventilation og tværventilation med termisk opdrift og vinddrivtryk, suppleret af ventilatorer, når vinddrivtryk er utilstrækkeligt eller giver uønsket strømningsretning.

Forceret ventilation: Ventilator drift med fælles udsugning fra køkken og bad (kanalføring fra bad til udsugning i køkken).

### 6.3 *Konceptbeskrivelse for behovsstyret hybrid ventilation*

#### Principiel anlægsopbygning

Anlæggets opbygning er bestemt af kravet om individuel behovsstyring i hver enkelt bolig. Udeluften tilføres via styrede åbninger i facaden og med separate afkastkanaler ført over tag for hver enkelt bolig.

Der etableres facadespjæld under loft i alle opholdsrum for indtag af udeluft. I boligen fordeles luften fra opholdsrum til køkken eller bad via åbne døre eller overføringsventiler.

Facadespjæld anvendes primært til indtag af udeluft, men hvis der er behov for baggrundsventilation, som ikke kan dækkes af infiltration, kan facadespjældene udnyttes som afkast.

Udsugningen etableres fra køkken med kanaltilslutning fra bad. Afkastkanalen føres over tag. Hjelpeventilatoren indbygges i afkastet. Der etableres en separat kanal fra emhætte som tilsluttes den fælles udsugning efter fugtføleren fra bad. Afkastkanalen forsynes med afspærringsspjæld.

#### Styringsstrategi

Styringsstrategien skal tage højde for de store variationer der forekommer i boliger. Forureningsbelastningen varierer fra en tom bolig til en bolig med alle beboere hjemme, hvor der samtidig laves mad og eller tages bad.

Styringen skal derfor kunne bestemme, om der er beboere tilstede med behov for basisventilation, og om der er fugtproduktion med behov for forceret ventilation.

Automatikken baseres på en kombination af PIR-sensorer i opholdsrum og en fælles fugtsensor i udsugningen. Herudover vil der i perioder være forurening fra madlavning uden fugtafgivelse eller stor personbelastning og sensorerne suppleres derfor af en manuel brugeroverstyring. Endvidere indbygges der en indstillelig tidsstyring til pulsdrift af baggrundsventilation.

PIR-sensorer i hvert rum, ved tilstedeværelse, dvs. behov for basisventilation:

- aktiverer facadespjæld til indtag i de(t) respektive rum
- åbningsgrad i facadespjæld begrænses, så der ikke opstår overventilation.
- aktiverer afkastspjæld trinvist til fuld åbning, hvis dette er nødvendigt.
- aktiverer hjelpeventilator til ydelse for de(t) respektive rum ved utilstrækkelig ventilation.
- utilstrækkelig ventilation bestemmes af fugtsensoren.

Fugtsensor i udsugningskanal, ved madlavning og bad, dvs. behov for forceret ventilation:

- aktiverer alle facadespjæld
- åbningsgrad i facadespjæld er fuldt åbent
- aktiverer afkastspjæld til fuld åbning
- aktiverer hjelpeventilator til maksimal ydelse for hhv. køkken og bad

PIR-sensorer i hvert rum, uden tilstedeværelse, dvs. behov for baggrundsventilation:

- aktiverer facadespjæld i alle rum i tidsstyrede pulser, ex. 10 min. pr. time
- aktiverer afkastspjæld i samme tidsstyrede pulser, ex. 10 min. pr. time
- åbningsgrad i facadespjæld og afkast er fuld åbning

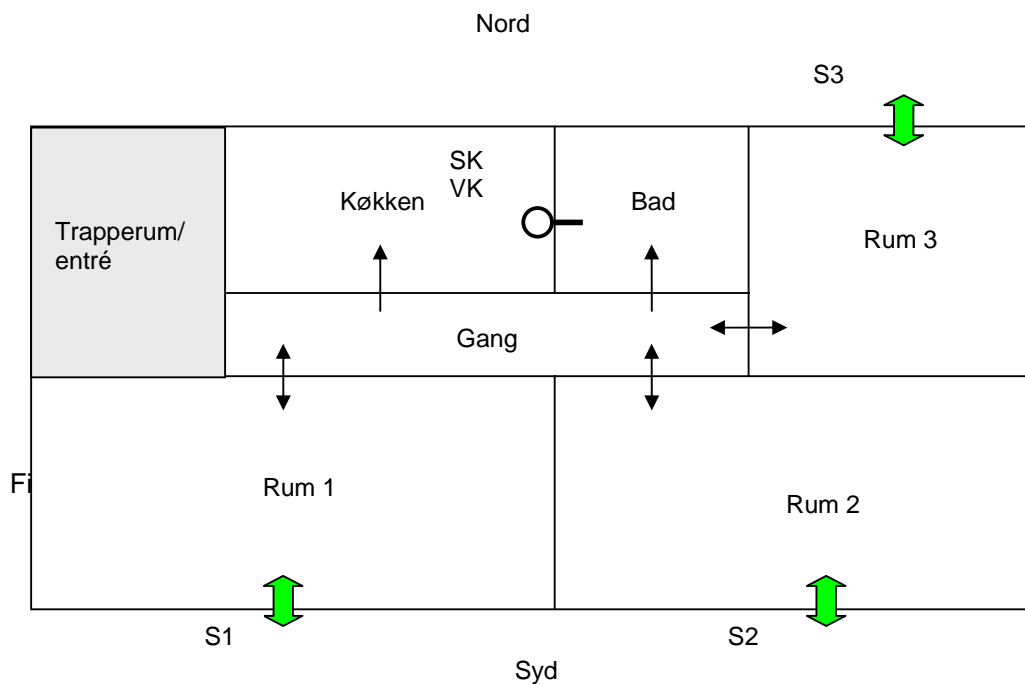
Manuel brugeroverstyring

- Køkkenmode (emhætte), forlænget drift
- Partymode (forceret drift), forlænget drift

De dimensionerende luftmængder for konceptet er vist i nedenstående tabel 2.

	PSO-VENT Behovsstyret hybrid ventilation		
	Baggrundsventilation ingen ventilatordrift	Basisventilation delvis ventilatordrift	Forceret ventilation kun ventilatordrift
Antaget driftstid	0-24 h	0-24 h	0-3 h
Køkken	~0-0,2 l/s pr. m <sup>2</sup>	4-15 l/s	40 l/s
Bad	~0-0,2 l/s pr. m <sup>2</sup>	4-11 l/s	15 l/s
Opholdsrum	~0-0,2 l/s pr. m <sup>2</sup>	4-7 l/s pr. pers.	

Tabel 2 Luftmængder for konceptet



## 7 anbefalinger for det videre projektforsløb

Det valgte ventilationskoncept, ventilations- og styringsstrategi blev præsenteret og diskuteret på et møde med projektets følgegruppe.

Følgegruppen fandt projektet meget interessant og var enige i projektgruppens vurderinger og foretagne valg af ventilationskoncept, ventilations- og styringsstrategi.

Det blev anbefalet, at projektgruppen især skulle fokusere på udvikling af følgende:

- Et nyt indtagsspjæld med solcelle/batteri-drevet spjæld, flowbegrænsning og indbygget PIR-sensor.
- Sensorer (fugt og PIR) med trådløs kommunikation og drevet af solceller/batteri
- Intelligent trådløs kommunikationsenhed drevet af solceller/batteri

Der findes i dag ventilatorer på markeder med meget lille energiforbrug, der potentielt kan drives af solceller. Det anbefales derfor, at projekt ikke i første omgang fokuserer på udvikling af denne komponent.

## 8 Bilag 1. Kommenteret liste over gennemgået dansk litteratur

### *Projekter*

#### **Energy efficient demand controlled ventilation in dwellings EFP 99 (fase 1)**

**Beskrivelse:** Er første del af et længere projektforsøg der har til formål at afdække, afprøve og optimere på ventilationsstrategier inden for behovsstyret ventilation.

**Sammenfatning:** Boligens fugtforhold er bestemmende for ventilationsbehovet i en bolig dvs. ventilationen kan med fordel styres ud fra fugtniveauet. Under forudsætning af at beboerne udviser god bolighygiejnisk adfærd er det kun nødvendigt med et luftskifte på ca. 0,5 gange i timen, med mulighed for at justere op og ned efter belastning. Med fugtstyret behovsventilation kan basisventilationen på denne måde reduceres med 20 til 30 pct. i forhold til gældende regler uden at indeklimaet forringes.

#### **Energy efficient demand controlled ventilation in dwellings EFP 00 (fase 2)**

**Beskrivelse:** Er anden del af et længere projektforsøg der har til formål at afdække, afprøve og optimere på ventilationsstrategier inden for behovsstyret

**Sammenfatning:**

Slutresultat har ikke været tilgængelig.

#### **EI-effektiv bolig ventilation PSO 03 (fase 3)**

**Beskrivelse:** Er sidste del af et længere projektforsøg der har til formål at afdække, afprøve og optimere på ventilationsstrategier inden for behovsstyret.

**Sammenfatning:** I dette projekt er på baggrund af resultater fra forudgående projekter udarbejdet systemløsninger til behovsstyret ventilation med afprøvning i et antal forsøgsboliger. Projektet er ikke afsluttet, dvs. der forefindes på nuværende tidspunkt ingen dokumentation.

#### **Energy efficient ventilation of dwellings; Energistyrelsens**

**Energiforskningsprogram (EFP) 1996.**

**Beskrivelse:** Undersøger mulighederne for at reducere energiforbruget til ventilation i nye boliger. Forskellige ventilationsprincipper undersøges, heriblandt hybrid ventilation.

**Sammenfatning:**

#### **Naturlig/hybrid ventilation i etageboligbebyggelse; By og Boligministeriet 2000.**

**Beskrivelse:** Kortlægger hybrid ventilations principper samt udvælger og opfører et koncept i en eller to udvalgte ejendomme.

**Sammenfatning:** Projektet er gennemført som et udviklings- og demonstrationsprojekt om brugen af naturlig/hybrid ventilation. Udviklingsdelen er rapporteret som et idékatalog med 15 konkrete ventilationsløsninger eller delkomponenter, som er beskrevet med fordele og ulemper, samt med henvisninger til erfaringer. Demonstrationsdelen udføres i to tidstypiske boligbebyggelser, dels et fuldmuret boligbyggeri i to og tre etager fra 50'erne og dels et nybyggeri i treetagers skalmuret betonelementbyggeri.

### *Rapporter og artikler*

#### **Vurdering af ventilationsbehov**

**Beskrivelse:** Denne SBI-meddelelse udgør en del af resultaterne af første fase i et samlet projektprogram om energieffektiv behovsstyret boligventilation. Meddelelsen skal tjene som grundlag for det videre arbejde med udvikling og afprøvning af ventilationsstrategier til anvendelse i fremtidens boliger. Ventilationsstrategierne skal kunne sikre tilfredsstillende luftkvalitet og gode indeklimamæssige forhold, men med et lavere energiforbrug end i boliger bygget efter de nyeste bygningsreglementer, BR 95 og BR-S 98. Meddelelsen består af to hovedafsnit. Det første behandler udvalgte emner inden for boligventilation og ventilationsbehov ud fra gældende bygningsreglementsbestemmelser, eksisterende erfaring og viden på ventilations- og indeklimaområdet samt forventningerne til konstruktion og materialevalg i fremtidens boliger. Meddelelsens andet hovedafsnit omfatter en række beregninger af ventilationsforholdene i en lejlighed ud fra forudsætninger om person-, fugt- og forureningsbelastninger.

SBI-meddelelse 130. Niels C. Bergsøe. 2000.

**Sammenfatning:** Meddelelsen opstiller grundlaget for det videre arbejde med udvikling og afprøvning af ventilationsstrategier til anvendelse i fremtidens boliger. Det er en forudsætning at ventilationsstrategierne skal kunne sikre tilfredsstillende luftkvalitet og gode indeklimamæssige forhold, men med et lavere energiforbrug end i boliger bygget efter de nyeste bygningsreglementer, BR 95 og BR-S 98. Forureninger fra byggematerialer, inventar og radon anses for at være begrænset pga. produktudvikling og bestemmelser i bygningsreglementet.

Meddelelsen dokumenter at ventilationsbehovet i boliger bestemmes ud fra fugtforholdene og indeluftens kvalitet. Af hensyn til kondensation anses gennemsnitligt 7 l/s pr. person for at være tilstrækkeligt, svarende til ca. 0,35 l/s pr. m<sup>2</sup> eller et luftskifte på 0,5 /h. Da fugtproduktionen kan være ujævnt fordelt over tid og sted vil det være en energi- og indeklimamæssig fordel at regulere ventilationen.

Det anbefales at bekæmpelse af skimmelsvampevækst sker ved at sikre, at der ikke forekommer kondensation på bygningsdele og ved at begrænse rumluftens fugtighed. Det anbefales at husstøvmider bekæmpes ved at begrænse rumluftens fugtindhold i nogle måneder i opvarmningsperioden.

### **Bolig og naturlig ventilation Udarbejdet af By og Byg, Institutet for Bygningsteknik ved Aalborg Universitet og er støttet af Energistyrelsens Energi-forskningsprogram 2000.**

**Beskrivelse:** Det er sigtet med publikationen at anskueliggøre hvordan naturlig ventilation kan anvendes i nutidens boliger på en tilfredsstillende måde hvad angår indeklima, energi og drift sikkerhed. Publikationen gennemgår den historiske udvikling i boligventilation. Opstiller en række principper for udformning af boliger for optimal udnyttelse af naturlig ventilation. Opstiller og diskuterer indflydelse af de vigtigste virkemidler, der omfatter rumlig organisering, udelufttilførsel og placering af aftræk.

**Sammenfatning:** De grundlæggende naturlig ventilations principper beskrives og analyseres i publikationen i forhold til tre virkemidler: rumlig organisering, udelufttilførsel og aftræk. En optimering af virkemidlerne viser at der kan opnås et tilfredsstillende indeklima, et lavt energiforbrug og en driftsikker ventilation ved hjælp af passive strategier og lavteknologiske komponenter, hvor arkitektur og teknik spiller sammen i en helhed. Konkluderer at ensidig ventilation er mest driftsikker i forhold til vindretning og at ensidig udeluft indtag med aftræk gennem tag, hvor der er det største undertryk giver den bedste og mest stabile løsning. Udeluft tilførslen bør kunne kontrolleres for at undgå overventilation

## 9 Bilag 2. Kommenteret liste over gennemgået international litteratur.

### *Projekter*

#### **Photovent ; EU JOULE IV 2000**

**Beskrivelse:** Udvikling af to intelligente ventilationskomponenter, et vindues spjæld og en ventilator, der suppleres med energi fra solceller.

**Sammenfatning:** Første version af en ny lavenergi hjælpeventilator er blevet udviklet. Ventilatoren er specielt designet til at kunne assistere naturlig ventilation og kan klare ventilationen af bygninger i op til 7 etagers højde. Den første prototype blev bygget baseret på beregninger, prototypen blev herefter optimeret ved laboratorieforsøg. Ventilatoren er udført i hårdt plast og har 3 optimerede helicoidal propeller. Propellerne er monteret på en vertikal akse og er optimeret således at luft uhindret kan passere gennem ventilatoren. Trykfaldet er under 2 Pa ved 300m<sup>3</sup>/h når ventilatoren står stille, og bruger ved kørsel ca. 2W. Vinduesspjældet er udviklet til integration over rudeglasset i et vindue og har indbygget motoriseret stepmotor der åbner og lukker i forhold til den udviklede styringsstrategi, men er reguleret til at holde et tryk på 10Pa. Integrationen af solceller viste et stort potentiale i forhold til at strømforsyne ventilatoren, dog var erfaringen med integration i vinduesspjæld ikke så positiv, forklaringen på dette er, efter projektets afslutningen, fundet i en fejl i systemopsætningen, de er således sandsynligt at solcelle integration for vinduesspjældet også er mulig. Arbejdet i Photovent videreføres i det Fransk/Belgiske koncept i Reshyvent.

#### **Reshyvent; EU 5<sup>th</sup> FWP 2001**

**Beskrivelse:** Hybrid ventilation i boliger med fokus på brugen af vedvarende energi. Udgangspunktet er 4 producent grupper fra henholdsvis, Sverige, Norge, Holland og Frankrig, der hver udvikler og afprøver et systemkoncept.

WP 7 'Control and regulation strategies support unit'

Ventilation strategies and control parameters. Ahmad HUSAUNNDEE, David JREIJIRY, Jean-Robert MILLET, Jean Georges VILLENAVE. Département du Développement Durable. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. (Ikke publiceret).

**Sammenfatning:** Se bilag 4

#### **IEA ECBCS Annex 27: Evaluation and Demonstration of Domestic Ventilation Systems (1993-1997 + extension to 2003)**

**Beskrivelse:** Publications are available through the ECBCS Bookshop:

Technical Synthesis Report: Simplified Tools for Evaluation of Domestic Ventilation Systems

Peter Concannon

UK, published by FaberMaunsell Ltd on behalf of the IEA ECBCS, 2002, 45 pp, ISBN 0-9542670-3-6

In Print - Contents

£25.00 (Order Code: ANN 27 TSR)

Evaluation and Demonstration of Domestic Ventilation Systems - State of the Art  
Mansson L-G (ed.)

Sweden, Stockholm, Swedish Council for Building Research, 1995, Report A12:1995, 136 pp  
In Print - Contents  
£25.00 (Order Code: ANN 27 1995:1)

Simplified Tools CD  
Contains the handbook and background reports from the Annex 27 research project, together with the computer software tool VENSET.  
£60.00 (Order Code:ANN 27 2002:1)

### **Sammenfatning:**

#### **Nasjonal undersøkelse av boligventilasjon med varmegjenvinning (Norges Byggeforskningsinstitutt)**

**Beskrivelse:** Prosjektrapport 341-2003 presenterer resultatene fra et forskningsprosjekt med formål å undersøke kvaliteten på balanserte boligventilasjon ved varmegjenvinning i norske boliger. Prosjektet har bestått av (i) en detaljert nasjonal spørreundersøkelse i samarbeid med Forbruker-rapporten, og (ii) et laboratorietestprogram som omfattet 10 varmegjenvinnere på det norske markedet.

08.10.2003

Delrapport 1: Test protokoll for boligventilasjonsaggregater med varmegjenvinning [på engelsk], skrevet av NBI. (2002-10-01)

Delrapport 2: Forbrukertest av boligventilasjonsaggregater med varmegjenvinning : Karaktergivning, utarbeidet av NBI og Forbrukerrapporten. (2001-06-29)

Delrapport 3: NBI Teknisk Godkjenning av boligventilasjonsaggregater med varmegjenvinning, utarbeidet av NBI. Selv om dokument er ikke lenger på høring, vil vi gjerne motta dine kommentarer. (2000-09-12)

Artikkel i Forbruker-rapporten, om boligventilasjonsaggregater for balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Skrevet av Forbruker-rapporten. (08/2001, addendum 09/2001)

Delrapport 4: (Prosjektrapport 341-2003, Sluttrapport) : Resultater fra laboratorieundersøkelser og spørreundersøkelser om boligventilasjonsaggregater med varmegjenvinning. 110 sider (2002-12-16)

**Sammenfatning:** Projektet omfatter en undersøkelse af boligventilationsaggregater med varmegjenvinding. Projektet er gennemført som en laboratorieundersøgelse af 10 boligventilationsaggregater og en spørgeskemaundersøgelse baseret på besvarelser fra 247 husstande. Laboratorieundersøgelsen omfatter effektivitet af genvinding for varme og fugt, temperaturvirkningsgrad, årsvarmevirkningsgrad, funktion ved lav udetemperatur, lækage, ventilatoreffekt og lydniveauer Spørgeskemaundersøgelsen omfatter luftkvalitet, støj, termisk komfort og træk, fugttilskud og bygningsskader, tør luft og luftkvalitet, energiforbrug, betjeningsvenlighed, driftssikkerhed og brugeradfærd. Resultaterne er opstillet som en forbrugertest i overskuelige skemaer.

**Hybridventilation af Lejligheder. L. Wetterstad. (deltager i Reshyvent). HVAC Magasinet april 2004.**

**Sammenfatning:** Artiklen gennemgår teorien for naturligt drivtryk, samt kombineret naturligt og mekanisk drivtryk og giver endvidere eksempler på enten hjælpeventilatorer i serie eller parallelkobling. Artiklen anbefaler en løsning med samtidig naturligt og mekanisk drivtryk. Artiklen beskriver desuden et svensk koncept for et udeluftindtag i en Z-formet kanal placeret under vindue/sålbænk uden brug af en facaderist og med forvarmning af udeluft og for at undgå forkert strømningsretning igennem indtaget introduceres et selvvirkende kontraspjæld.

**Demand Controlled Ventilation – A Case study for Existing Swedish Multifamily Buildings. 2003. Vitalijus Pavlovas, Chalmers University of Technology, PhD Thesis.**

**Beskrivelse:** PhD projektet omfatter beregningsmæssig sammenligning mellem funktionen af et reference ventilationssystem (konstant udsugning) og tre behovsstyrede systemer med henholdsvis kuldioxid, luftfugtighed og tilstedeværelse som styrende parameter. Beregningerne er gennemført med en model lejlighed i et typisk svensk lejlighedskompleks som udgangspunkt.

**Sammenfatning:** Resultaterne viste, at det er muligt at reducere energiforbruget til ventilation og opretholde et tilfredsstillende indeklima ved behovsstyring, når tilstedeværelse eller luftfugtighed anvendes som styrende parameter. Kombination af luftfugtighed og tilstedeværelse vil give dem bedste styring. Anvendelse af CO<sub>2</sub> giver ikke tilfredsstillende indeklima med mindre det er kombineret med styring af luftfugtigheden. Systemet er installeret i flere lejligheder, men der er ingen måleresultater til rådighed.

**Evaluation of a test installation for demand controlled ventilation in existing multifamily buildings. Vitalijus Pavlovas. REHVA Conference.**

**Beskrivelse:** Indeholder en beskrivelse af en eksperimentel undersøgelse af et reference ventilationssystem (konstant udsugning) og et behovsstyret system med RH kontrol i 12 eksisterende lejligheder.

**Sammenfatning:.** Foreløbige resultater (omfatter kun 3 uger i nov/dec 2003) viser en reduktion i el-forbrug, men ingen reduktion i varmekonsum. Der kræves dog en noget længere måleperiode for at verificere dette.

**Unplanned airflows & moisture problems. T. Brennan and J. Lstibutek. ASHRAE Journal, November 2002, pp 44-52.**

**Sammenfatning:** Beskriver problemerne med at styre trykforhold i boliger med flere rum og bygninger med flere lejligheder, og de problemer der deraf opstår med uønsket strømning af luft og fugt. Det gælder både uønsket strømning fra forurenede rum til opholdsrum i en lejlighed og mellem lejligheder i samme bygning.

**Comparative ventilation system evaluations. J.K. Holton, M.J. Kokayko, T.R. Beggs. ASHRAE Transactions, Vol 103, Part 1, 1997.**

**Sammenfatning:** Undersøger forskellige konfigurationer af mekaniske boligventilationssystemer. Er ikke relevant i dette projekt.

**RESHYVENT Demand controlled residential hybrid ventilation. P. Jacobs and W.F. de Gids. 24th AIVC conference, Washington, US, 2003.**

**Sammenfatning:** Beskriver udvikling af et boligventilationssystem med meget lavt energiforbrug til transport af luft. Dette gælder både trykfaldet i anlægget, der kun er 10 Pa ved den nominelle luftmængde (56 l/s) og udvikling af en meget effektiv ventilator. SFP for systemet er kun 0.064 kW/(m<sup>3</sup>/s), der kan sammenlignes med kravet i det kommende bygningsreglement på 1.

**Humidity Sensitive systems is 20 years old. L. Jardinier. 24th AIVC conference, Washington, US, 2003.**

**Sammenfatning:** Gennemgår udvikling i behovsstyring efter luftfugtighed igennem de sidste 20 år primært i Frankrig og for firmaet AEROCO – begrænset information for dette projekt.

**Ventilation for humidity control: Measurements in a ventilation test house. S.L. Palin, D.A. McIntyre, R.E. Edwards. Building Serv. Eng. Res. Technol. Vol. 17(2), pp 79-84, 1996.**

**Sammenfatning:** Artiklen beskriver ventilations- og fugtmålinger i en test bygning konfigureret med forskellige ventilationssystemer. Resultaterne viser følgende:

- Blanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding fungerede tilfredsstillende
- Naturlig ventilation med aftræk gennem kanal i tag var underdimensioneret og kunne derfor ikke opfylde ventilationkravene i periode. Systemet var også følsom for infiltration, da tætheden af bygningen ikke var af dansk standard.
- Fugtstyret aftræk forbedrede forholdene og reducerede luftmængden i kolde perioder
- Ventilator i aftrækket gav bedre styring og reduktion af fugt i perioder med høj belastning end naturlig ventilation alene.

**Performance of humidity controlled house ventilation system in cold climates. A.J. Parekh, M.A. Riley. ASHRAE Transactions, pp 1275-1283, 1994.**

**Sammenfatning:** Beskriver funktionen af et fugtstyret boligventilationssystem med konstant udsugning og fugtstyret indtag i facaden. Ændringen i fugtighed i lejligheden ved åbning af indtag var relativ beskeden. Dette skyldtes primært at åbningerne kun leverede 12-27% af luftmængden til lejligheden. Resten blev tilført ved infiltration (konstant udsugning og utæt bygning). Da RH styring reflekterer ikke personbelastningen kan der forekomme høje CO<sub>2</sub> belastninger især i soverum >1200 ppm

**User friendly residential ventilation system, control strategies and effectiveness. P.H. Raymer, 24th AIVC conference, Washington, US, 2003.**

**Sammenfatning:** Beskriver afprøvning af 6 forskellige styringsstrategier (ingen, konstant, ved tilstedeværelse, høj luftfugtighed, timer, IAQ) for udsugning i bad. Der kunne ikke konstateres nogen vinder med hensyn til bedste parameter for behovsstyring. Forskellene var forholdsvis små.

**Evaluation of five simple ventilation strategies suitable for houses without forced-air heating. J.T. Reardon, C.-Y. Shaw. ASHRAE Transactions, Vol. 103, part 1, 1997.**

**Sammenfatning:** Beskriver resultatet af en eksperimentel undersøgelse af funktionen af fem forskellige boligventilationssystemer i en to-etages lejlighed. Resultatet er som følger:

- A: Udsugning: køkken + 2 bad, Indtag: Infiltration
  - Ikke tilstrækkelig ventilation i opholdsrum. Utilstrækkelig mængde og den kommer ikke nødvendigvis ind hvor, der er behov for den.
- B: Udsugning: køkken + 2 bad, Indtag: Udeluftventiler
  - Kun tilstrækkelig ventilation i stueetagen. Der er størst naturligt drivtryk i stueetagen, mens det er meget lille eller slet ikke eksisterende på første sal.
- C: Udsugning: køkken + 2 bad + 1.sal, Indtag: Infiltration
- D: Udsugning: køkken + 2 bad + 1.sal, Indtag: naturligt i central korridor
  - Både løsning C og D gav bedre ventilation på 1. sal
- E: Udsugning: køkken + 2 bad, Indtag: mekanisk til hver etage
  - Bedst resultat, da der er kontrol både med tilførsel og aftræk.

**ASHRAE's new residential ventilation standard. M. Sherman. ASHRAE Journal, January 2004, pp149-156.**

**Sammenfatning:** Begrænset relevans for dette projekt

**Will HVAC go Wireless? Jeff Wills, ASHRAE Journal, July 2004, pp 46 - 52**

**Sammenfatning:** Gennemgår principper og strategier for trådløs kommunikation til HVAC systemer generelt.

## 10 Bilag 3. Undersøgelse af drivtryk, trykforhold og energiforbrug.

### 10.1 Formål

- Undersøge størrelse og variation af naturlige drivtryk
- Undersøge effektbehov for ventilator

### 10.2 Bygningsbeskrivelse

Den typiske lejlighed i boligbyggeri i dag har to modstående ydervægge med køkken ved den ene og opholdsrum ved den anden. Badeværelset er ofte indeliggende og for større lejligheder (3-4 værelses) er der ofte et soverum til samme ydervæg som køkkenet. De fleste boliger er forholdsvis ens, så det er muligt at definere en referencebolig til brug for undersøgelsen.

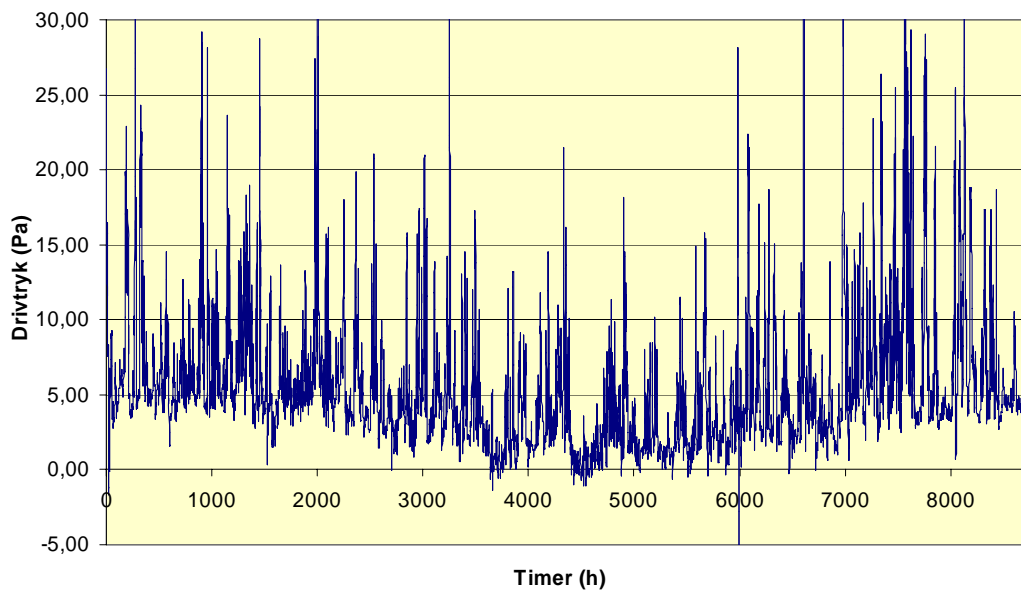
### 10.3 Beregningsforudsætninger for beregning af naturligt drivtryk

En række forudsætninger skal fastlægges i beregningerne ligesom, der skal tages stilling til hvilke parameter, der skal varieres og hvordan. I det følgende er de væsentligste forudsætninger og parametervariationer omtalt:

- Bygningshøjde er valgt til 8 m. Dette svarer til tæt-lav byggeri i to etager med hældende tag. Bygningshøjden har betydning for vindhastigheden omkring bygningen og for det termiske drivtryk.
- Bygningen tænkes placeret enten på landet, i en forstad eller i byen. Bygningens placering har betydning for vindhastighed omkring den. I bymæssig bebyggelse er vindhastigheden ca. halveret i forhold til hastigheden på landet.
- Der regnes på en mindre lejlighed med indtag gennem en facade og udsugning enten ved afkast gennem kanal over tag eller gennem modstående facade. Ved afkast over tag vil udsugningen altid være placeret ved det laveste tryk omkring bygningen. Ved afkast i facaden vil der ved vind på facaden være overtryk på afkastet
- Der regnes med en højdeforskel mellem indtag og aftræk på enten 1,5 m eller 4 m. Højdeforskellen vil være 1,5 m eller mindre ved afkast placeret i facaden, mens den ved afkast gennem tag kan være 4m. Dette har betydning for den termiske opdrift i systemet
- Bygningens orientering er enten øst/vest eller nord/syd. Dette har betydning for vindtrykket på åbningerne som funktion af vindretning
- Bygningen tænkes enten placeret delvist eksponeret (højden af andre bygninger og beplantning omkring bygningen er gennemsnitligt halvt så høje som den aktuelle bygning) eller beskyttet (andre bygninger og beplantning omkring bygningen er gennemsnitligt ligeså høje som den aktuelle bygning). Dette har betydning for trykfordeling på bygningen. Jo, mere beskyttet jo lavere tryk på bygningen ved samme vindhastighed.

### 10.4 Beregningsresultater for naturligt drivtryk

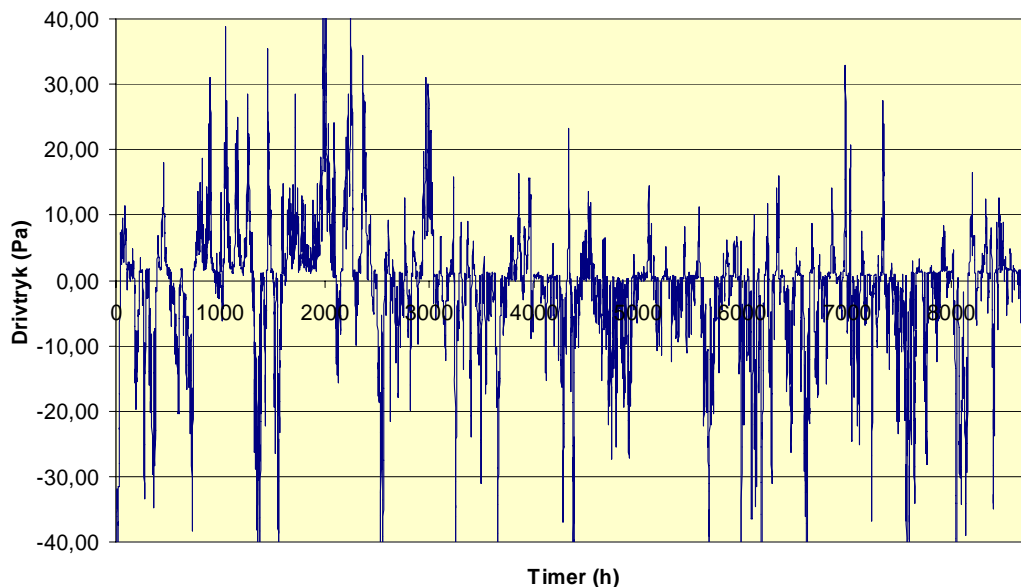
Der er i alt gennemført beregning af naturligt drivtryk for 36 forskellige situationer. De følgende to figurer viser det naturlige drivtryk for to typiske og samtidigt vidt forskellige situationer.



Figur 1. Naturligt drivtryk for ventilationssystem med nord/sydvendte facader og aftræk gennem tag.

Figur 1 viser det naturlige drivtryk for hver time gennem hele året for en situation med orientering af køkkenet mod nord og opholdsrum mod syd. Der er regnet med udsug gennem tag og indtag gennem sydfacade. Højdeforskellen mellem indtag og aftræk er 4m (kræver at aftrækskanalen er velisoleret). Bygningen regnes placeret i forstadsbebyggelse og delvist eksponeret for vind.

Resultatet viser, at det naturlige drivtryk varierer meget. I opvarmningssæsonen mellem ca. 3 Pa, når der ingen vind er, og op til mere end 30 Pa i kraftigt vind. Gennemsnitligt er drivtrykket i opvarmningssæsonen ca. 5 Pa. Det er således væsentligt, at systemet er i stand til at levere den rigtige luftmængde både ved meget små drivtryk (via lavt tryktab i systemet og ventilatorassistance) og ved meget høje drivtryk (via regulering af indtagsåbninger).



Figur 2. Naturligt drivtryk for ventilationssystem med øst/vestvendte facader og aftræk gennem facade.

Figur 2 viser det naturlige drivtryk for hver time gennem hele året for en situation med orientering af køkken mod vest og opholdsrum mod øst. Der er regnet med udsug gennem facade mod vest og indtag gennem østfacade. Højdeforskellen mellem indtag og aftræk er 1,5m. Bygningen regnes placeret i forstadsbebyggelse og delvist eksponeret for vind.

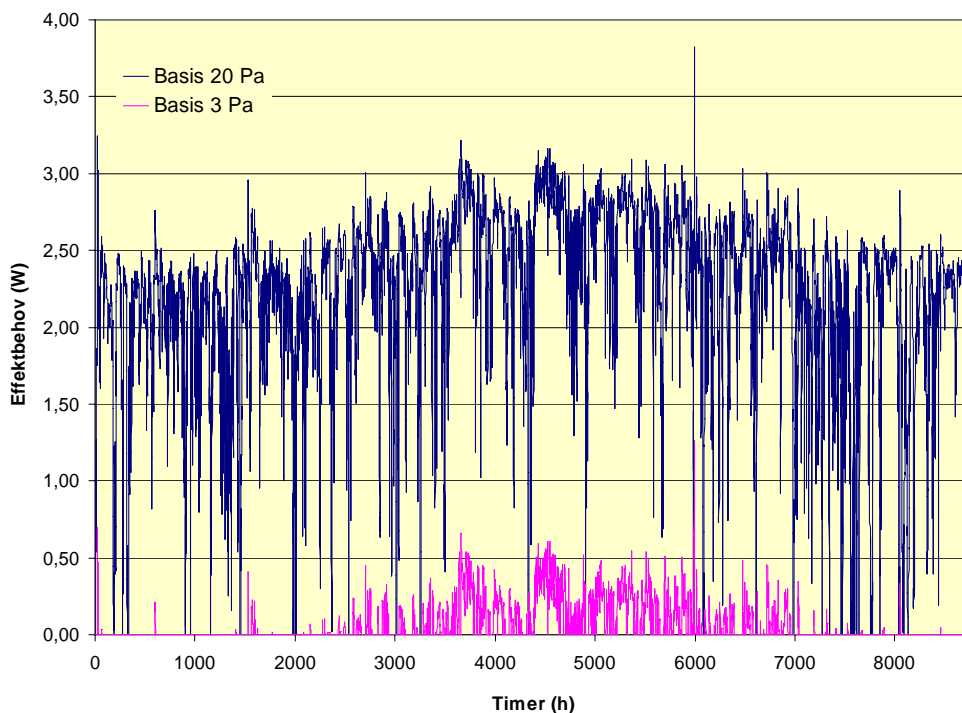
Resultatet viser, at det naturlige drivtryk varierer meget og at det i store perioder vil være negativt (større tryk ved aftræk end ved indtag). I opvarmningssæsonen er drivtrykket meget lille, når der ingen vind er, og op til mere end  $\pm 40$  Pa i kraftigt vind. Det er således væsentligt, at systemet er i stand til at levere den rigtige luftmængde både ved meget små drivtryk (via lavt tryktab i systemet og ventilatorassistance), ved meget høje drivtryk (via regulering af indtagsåbninger) og ved negative drivtryk (via ventilatorassistance).

### *10.5 Beregning af effektbehov til ventilator*

Effektbehovet til ventilator afhænger af den nødvendige trykstigning over ventilatoren, luftmængden, der skal transporteres samt af virkningsgraden for ventilator inklusiv motor. Effektbehovet er beregnet for fire forskellige kombinationer af højt henholdsvis lavt naturligt drivtryk og højt henholdsvis lavt tryktab i systemet. Naturligt drivtryk og tryktab er karakteriseret ved følgende parametre:

- Højt drivtryk: Udsug tag, højdeforskel 4 m, indtag syd, semieksporeret, forstad
- Lavt drivtryk: Udsug façade (vest), højdeforskel 1,5 m, indtag øst, semieksporeret, forstad
- Lavt tryktab: 3Pa ved 30l/s (basisventilation), 10 Pa ved 55 l/s (forceret ventilation)
- Højt tryktab: 20Pa ved 30l/s (basisventilation), 67pa ved 55l/s (forceret ventilation)

I alle situationer er der regnet med en virkningsgrad for ventilator inklusiv motor på  $\eta = 0,2$ .



Figur 3. Effektbehov ventilator ved højt naturligt drivtryk og lavt henholdsvis højt tryktab i systemet.

Figur 3 viser effektbehovet til ventilator for hver time gennem hele året for en situation med orientering af køkken mod nord og opholdsrum mod syd. Der er regnet med udsug gennem tag og indtag gennem sydfacade. Højdeforskellen mellem indtag og aftræk er 4m (kræver at aftrækskanalen er velisoleret). Bygningen regnes placeret i forstadsbebyggelse og delvist eksponeret for vind. Effektbehovet er vist dels ved et lavt tryktab i boligventilationssystemet og dels ved et højt tryktab. I begge situationer er der regnet med basisventilation af lejligheden på 30 l/s.

Det ses, at for optimale forhold (højt drivtryk og lavt tryktab) vil systemet stort set kunne fungere uden ventilatorassistance i opvarmningssæsonen, mens det vil være et mindre behov i sommerperioden (dog uden hensyntagen til evt. vinduesåbning i denne periode). Ved et højt tryktab i systemet vil ventilatoren stort set være i funktion i alle perioder, hvor basisventilation er nødvendig.

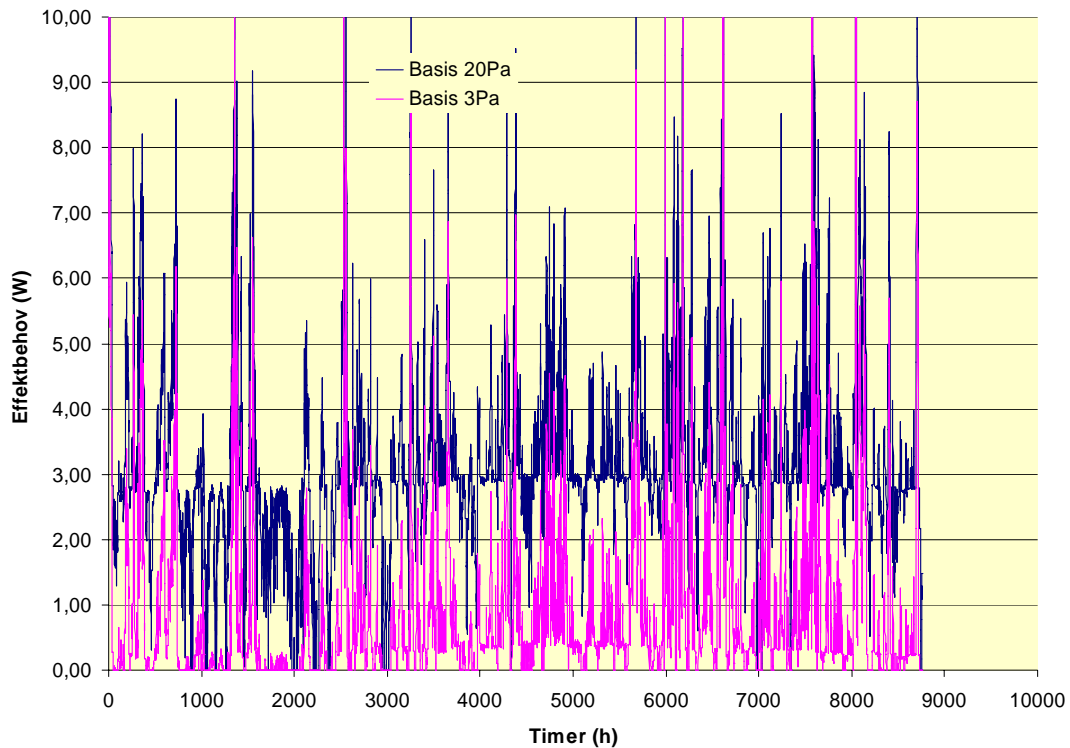
Tænkes ventilationen at være i drift hele året enten som basisventilation (30l/s) eller som forceret ventilation (55l/s) kan det kumulerede effektbehov og det samlede energiforbrug ses på tabel XX. Ved basisventilation og lavt tryktab i systemet vil ventilatoren kun være i funktion i 25% af årets timer og det samlede energiforbrug kun være af størrelsesordenen 0.51kWh, hvilket muliggør drift via solceller. Ved basisventilation og højt tryktab i systemet vil ventilatoren skulle være i funktion 85% af årets timer, og det samlede energiforbrug være af størrelsesordenen 20kWh. I praksis vil basisventilation ikke være nødvendig i alle årets timer ved behovsstyring, men til gengæld vil der også være perioder med forceret ventilation. De angivne forbrug vil derfor kunne være væsentligt anderledes.

Tabel 3. Kumuleret hyppighed af effektbehov til ventilator ved højt naturligt drivtryk og lavt henholdsvis højt tryktab i systemet. Det årlige beregnede energiforbrug ved konstant luftmængde er ligeledes angivet.

Hele året					
Effektbehov		Udsug tag, indtag syd, 4m, forstad, SE			
Fraktil	3Pa	10Pa	20Pa	67Pa	
	Basis	Forceret	Basis	Forceret	
0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	12,32
0,05	0,00	0,00	0,00	0,91	14,59
0,1	0,00	0,00	0,00	1,44	15,56
0,15	0,00	0,38	0,38	1,71	16,06
0,2	0,00	0,73	0,73	1,90	16,40
0,25	0,00	0,95	0,95	2,02	16,63
0,3	0,00	1,12	1,12	2,11	16,79
0,4	0,00	1,36	1,36	2,24	17,04
0,5	0,00	1,55	1,55	2,35	17,23
0,6	0,00	1,72	1,72	2,44	17,40
0,7	0,00	1,90	1,90	2,54	17,58
0,75	0,05	2,01	2,01	2,60	17,69
0,8	0,12	2,14	2,14	2,67	17,82
0,85	0,18	2,26	2,26	2,73	17,93
0,9	0,25	2,37	2,37	2,80	18,05
0,95	0,33	2,53	2,53	2,88	18,20
0,99	0,47	2,79	2,79	3,02	18,47
0,999	0,61	3,04	3,04	3,16	18,72

Energiforbrug (kWh)				
	0,51	12,54	19,36	148,48



Figur 4. Effektbehov ventilator ved lavt naturligt drivtryk og lavt henholdsvis højt tryktab i systemet.

Figur 4 viser effektbehovet til ventilator for hver time gennem hele året for en situation med orientering af køkken mod vest og opholdsrum mod øst. Der er regnet med udsug gennem facade mod vest og indtag gennem østfacade. Højdeforskellen mellem indtag og aftræk er 1,5m. Bygningen regnes placeret i forstadsbebyggelse og delvist eksponeret for vind. Effektbehovet er vist dels ved et lavt tryktab i boligventilationssystemet og dels ved et højt tryktab. I begge situationer er der regnet med basisventilation af lejligheden på 30 l/s.

Det ses, at ventilatoren stort set vil være i funktion i alle perioder af året (kun afbrudt af perioder med østenvind), hvor basisventilation er nødvendig, men at energiforbruget vil være forskelligt.

Tænkes ventilationen at være i drift hele året enten som basisventilation (30l/s) eller som forceret ventilation (55l/s) kan det kumulerede effektbehov og det samlede energiforbrug ses på tabel XX. Ved basisventilation og lavt tryktab i systemet vil ventilatoren være i funktion i 75% af årets timer og det samlede energiforbrug være af størrelsesordenen 8 kWh. Ved basisventilation og højt tryktab i systemet vil ventilatoren skulle være i funktion mere end 95% af årets timer, og det samlede energiforbrug være af størrelsesordenen 29kWh. I praksis vil basisventilation ikke være nødvendig i alle årets timer ved behovsstyring, men til gengæld vil der også være perioder med forceret ventilation. De angivne forbrug vil derfor kunne være væsentligt anderledes.

Tabel 4. Kumuleret hyppighed af effektbehov til ventilator ved lavt naturligt drivtryk og lavt henholdsvis højt tryktab i systemet. Det årlige beregnede energiforbrug ved konstant luftmængde er ligeledes angivet.

Effektbehov					
Udsug facade, Indtag øst, 1,5m, forstad, SE					
	3Pa	10Pa	20Pa	67Pa	
Fraktil	Basis	Forceret	Basis	Forceret	
0,01	0,00	0,00	0,00	11,17	
0,05	0,00	0,00	1,14	15,01	
0,1	0,00	0,62	1,84	16,29	
0,15	0,00	1,29	2,20	16,96	
0,2	0,00	1,79	2,48	17,47	
0,25	0,12	2,14	2,67	17,82	
0,3	0,21	2,31	2,76	17,98	
0,4	0,30	2,47	2,85	18,14	
0,5	0,37	2,61	2,92	18,28	
0,6	0,52	2,88	3,07	18,55	
0,7	0,87	3,52	3,42	19,19	
0,75	1,09	3,92	3,64	19,59	
0,8	1,35	4,40	3,90	20,08	
0,85	1,79	5,21	4,34	20,89	
0,9	2,49	6,48	5,04	22,16	
0,95	3,52	8,37	6,07	24,05	
0,99	6,19	13,27	8,74	28,94	
0,999	10,43	21,04	12,98	36,71	
	Energiforbrug (kWh)				
	7,77	28,91	28,40	164,89	

## 11 Bilag 4. Beskrivelse af erfaringer og udviklede boligventilationssystemer i Reshyvent.

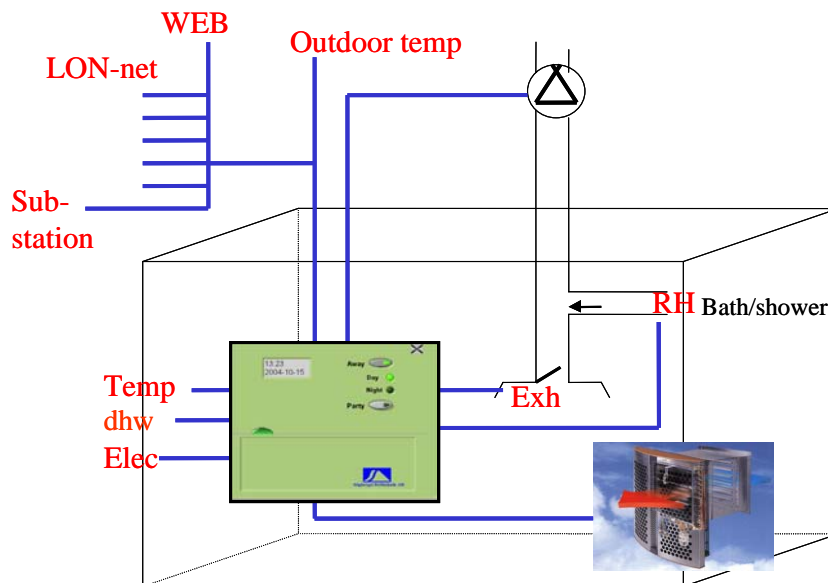
### 11.1 Beskrivelse af udviklede boligventilationssystemer i Reshyvent

I det følgende afsnit er de fire ventilations systemer der er udviklet under EU projektet Reshyvent kort beskrevet. Yderligere information kan rekvireres ved henvendelse til Signe Antvorskov fra Esbensen Rådgivende Ingeniører.

#### Det Svenske koncept

Det svenske system er udviklet til etageejendomme for det Nordeuropæiske klima. Systemet er et hybrid ventilation system baseret på opdriftsventilation og mekanisk udsug. Systemet bygger på et princip med ét system per lejlighed, dvs. individuel kanalføring til tag og egen ventilator. I hver lejlighed er der individuel styring af indeklimaet og individuel måling af energiforbrug, som logges og kan ses via internettet. Luften føres ind i lejlighederne gennem decentrale udeluftsventiler i facaderne, placeret i hvert rum, samt via en centralt placeret konvektor der forvarmer luften før den tilføres lejligheden, denne er typisk placeret i dagligstuen. Som ventilator benyttes en nyudviklet konstantflow EC-ventilator, lufthastighederne i systemet reguleres via et motor styret spjæld. Systemet styres ved brug af temperatur sensorer i opholdsrum, fugt sensorer i bad og køkken og i alle lejligheder er der udviklet et brugerpanel hvor brugeren nemt kan skifte mellem forskellige modes som f.eks. ikke hjemme mode eller party mode.

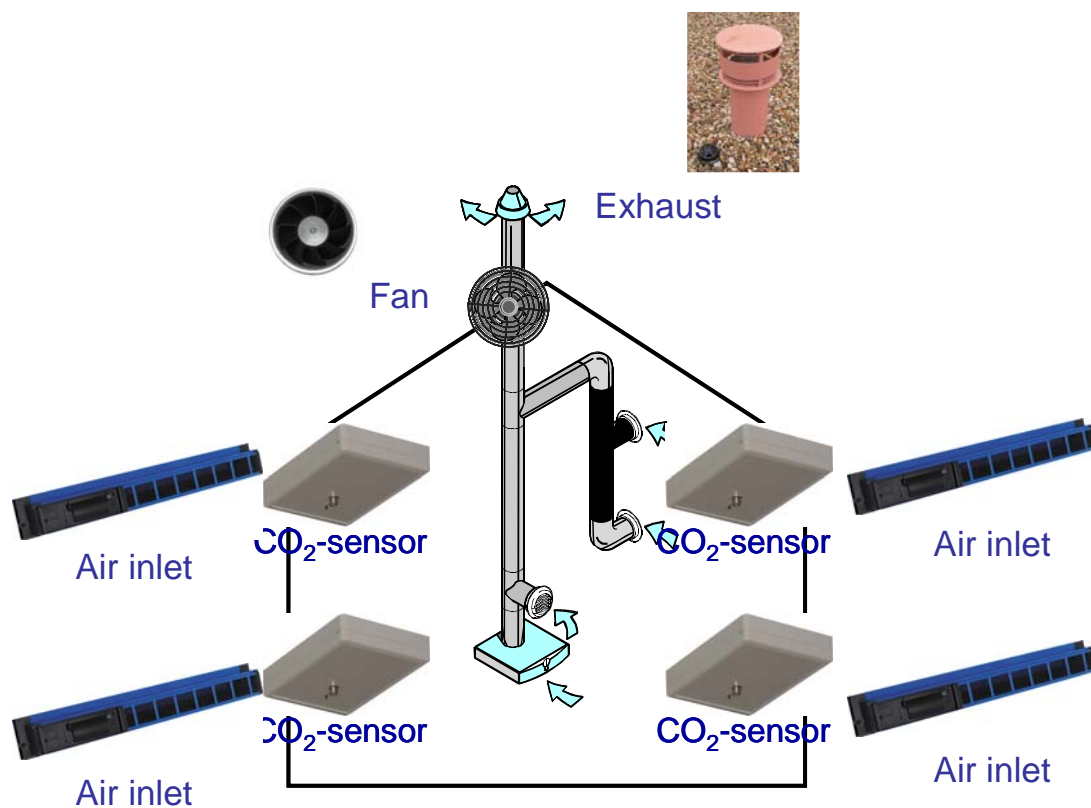
Systemet er illustreret i nedenstående figur.



### Det Hollandske koncept

Det Hollandske koncept er udviklet til én-familie såvel som etageejendomme for det Centraleuropæiske markedet. Systemet er baseret på behovsstyring og hybrid ventilation og er udviklet med decentrale indtag gennem facaden, hvor luften ledes ind via nyudviklede selvregulerende spjæld der opererer ved konstant tryk. Der er central udsug over tag hvor der er indsat et motorstyret spjæld for naturlig ventilation og en ventilator for mekanisk hjælpeventilation. Tryktabet i kanalføringen i udsugningen er optimeret og ligger under 2Pa ved 56 l/s. Energiforbruget fra ventilatoren er ligeledes optimeret og ligger på 2 W ved 56 l/s og 20Pa. Systemet styres ved CO<sub>2</sub> sensorer placeret i alle rum og fugtsensor i køkken og bad.

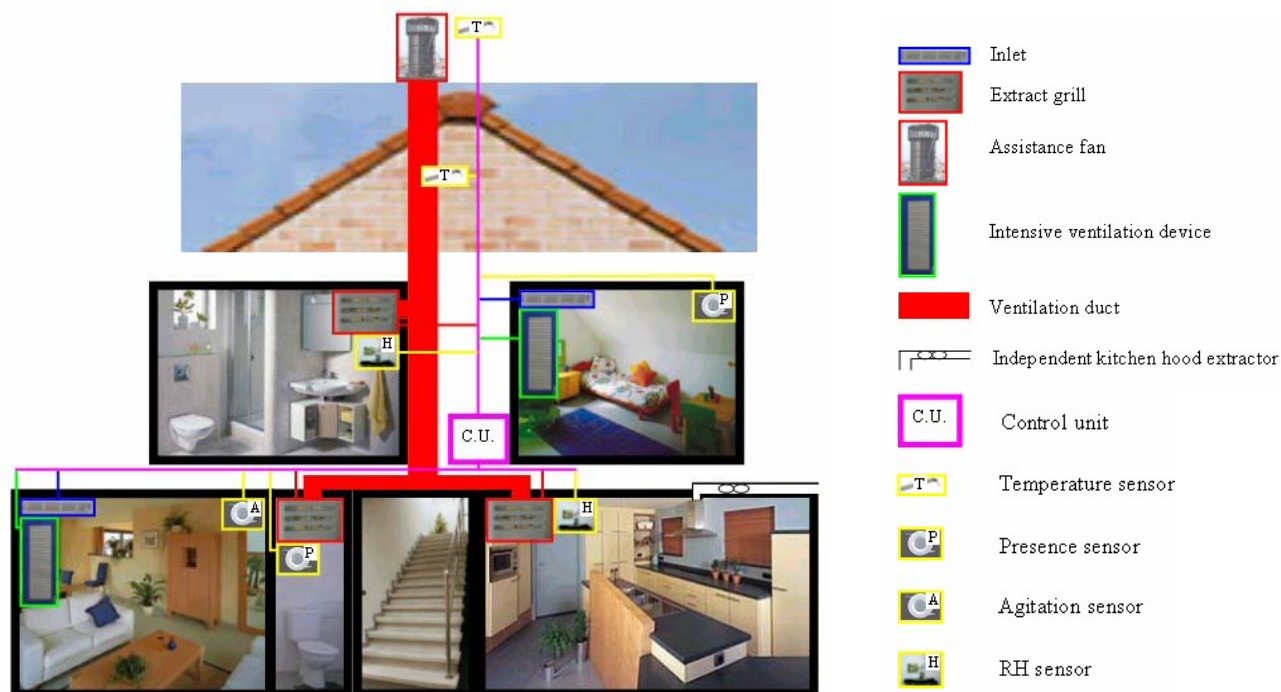
Systemet er illustreret i nedenstående skitse.



## Det Fransk/Belgiske koncept

Det Fransk/Belgiske koncept er udviklet til én-familie huse for det Sydeuropæiske klima. Systemet er baseret på behovsstyring og hybridventilation via opdrift og har decentral indtag gennem facaden via nyudviklede spjæld og central udsug over tag, med indsat hjælpeventilator. Ventilatoren er optimeret til brug ved hybrid ventilation, dvs. tryktabet gennem ventilatoren er meget lavt og har et tilsvarende lavt energiforbrug. Det lave energiforbrug for ventilatoren har gjort det muligt at strømforsyne ventilatoren fuldt via strøm fra solceller. Til hvert system er der således koblet et 50Wp panel og et batteri på 41Ah/12V. Ventilationsprincippet er udbygget med en natkølingsfunktion og tager hermed hensyn til sommerkomfortsituationen, der er meget væsentlig for dette klimaområde. Systemet styres ved en kombination af temperatur, bevægelses-, tilstedeværelses- og fugtsensorer fra bad og køkken. Al data sendes til en central unit der regulerer lufthastighederne i de enkelte rum.

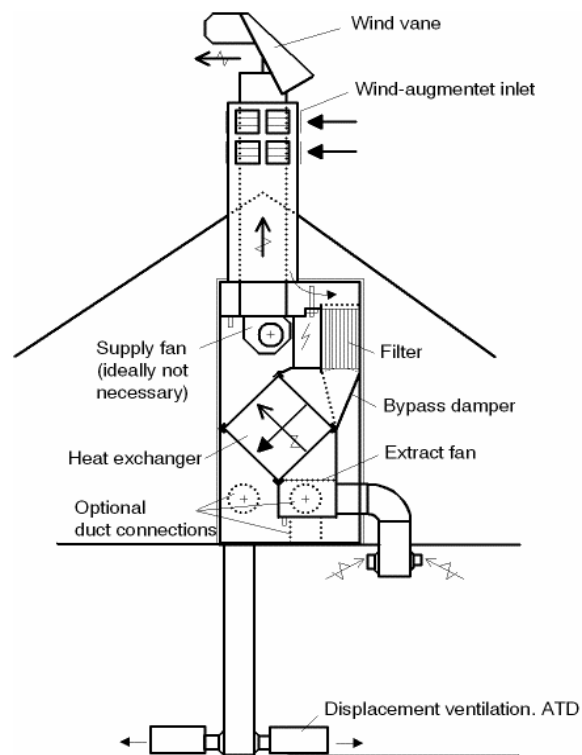
Systemet er illustreret på nedenstående skitse.



### Det Norske koncept

Det Norske koncept er udviklet til én-familie huse for det ekstremt Nordeuropæiske klima. Systemet er baseret på behovsstyring og hybridventilation via opdrift med roterende varmegenvinding og adskiller sig hermed radikalt fra de øvrige tre systemer. Systemet er bygget på fortrængningsventilation. Kanalføringen for luftindtag og aftræk er optimeret ved at benytte korte føringsveje med lavt tryktab, det lave tryktab er opnået ved at udvide diameteren på kanalføringen. Der benyttes en effektiv EC ventilator til både indtag og aftræk og varmegenvindingen har indbygget elektrostatisk filter og fugt udtræk. Systemet er i høj grad optimeret til at udnytte vinden som drivkraft og der bruges derfor en roterende vindhætte i tagaftrækket. Systemet styres ved CO2 sensorer i alle rum og fugtsensorer i køkken og bad.

Systemet er illustreret i nedenstående skitse.



## Recent publications in the DCE Technical Report Series

