

PSO-VENT

Komponentudvikling til el-effektiv behovsstyret ventilation i boliger

Slutrapport



PSO F&U 2004

Journalnr.: 464-03

Projektnr.: 336-035

August 2012

Esbensen Rådgivende Ingeniører A/S

Forord

Nærværende rapport afslutter projektet *Komponentudvikling til el-effektiv behovsstyret ventilation i boliger* finansieret af en PSO-F&U 2004 bevilling, J.nr. 464-03, projekt nr. 336-035.

Rapporten opsummerer projektets resultater frem til projektets afbrydelse, der delvis skyldtes, at vigtige industrideltagere så sig nødsaget til at trække sig ud af projektet pga. af ændrede fokuseringsområder internt i de respektive firmaer samt fratrædelse af nøglemedarbejdere hos Esbensen Rådgivende Ingeniører, og delvis skyldtes udviklingen på boligventilationsområdet, hvor naturlig ventilation, i takt med stramningerne af bygningsreglementet, udgjorde et mindre og mindre marked for boligventilation.

Imidlertid rummer det indledende analysearbejde væsentlige generelt anvendelige resultater, som kan finde anvendelse i fremtidige projekter vedrørende etablering og styring af naturlig ventilation i boliger uden trækgener – f.eks. i forbindelse med automatisk udluftning i boliger til imødegåelse af overtemperaturer i perioder, hvor beboerne ikke er til stede.

Projektets resultater har endvidere været anvendt i IEA SH&C Task 37 projektet "Advanced Housing Renovation with Solar and Conservation" samt tilhørende slutrapport for EFP 2007 projektet "Boligrenovering på 1. klasse: Fra i dag og frem mod LavEnergiklasse 1 – Udvikling og forberedelse af demonstrationsprojekt samt deltagelse i IEA SHC Task 37 "Advanced Housing Renovation with Solar and Conservation" – Fase 1".

Projektet er udført i et samarbejde mellem:

- Esbensen Rådgivende Ingeniører A/S
- dk-teknik
- Aalborg Universitet
- OJ Electronics A/S
- Linak A/S
- Gaia Solar A/S
- Boligkontoret Danmark
- Lejerbo
- Exhausto A/S

Indholdsfortegnelse

Forord	i
Indledning	2
Baggrund	2
Formål.....	2
Indhold og metode	2
Projektorganisation	3
Ændringer i projektgruppen	4
Resultater	5
Milepæl 1: Resultat af forundersøgelse	5
Dokumentation af erfaringer.....	5
Valg af hybridt ventilationskoncept	6
Økonomisk optimering og drift	8
Milepæl 2: Kravspecifikation til komponent	12
Facadespjæld	12
Motorer til spjæld.....	12
PIR-sensorer.....	12
Styringskoncepter	13
Milepæl 4: Testresultater	17
Beskrivelse af testprogram	17
Gennemførte tests	17
Resultat af tests	18
Markedsanalyse.....	20
Bruger og markedsvurdering.....	20
Nuværende og fremtidigt marked.....	21
Konkurrenceforhold	22
Nuværende ventilationsløsninger sammenlignet med hybride løsninger	22
SWOT-analyse.....	23
Konklusion	25

Indledning

Baggrund

Baggrunden for projektet var, at ventilationsanlæg i 2003/2004, da projektet blev formuleret, udført med balanceret ventilation og varmegenvinding, ikke medførte en væsentlig reduktion af bruttoenergiforbruget eller miljøbelastningen, idet besparelsen ved varmegenvinding blev udlignet på grund af det ekstra forbrug af el. Dette blev dokumenteret i forudgående EFP projekter. Energiforbruget til ventilation var derfor et af de mest dominerende bidrag til det samlede energiforbrug i boliger.

Elforbruget til boligventilation kunne reduceres i forhold til daværende 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 var et relativt nyt område, der hidtil kun havde været i fokus i forhold til kontorbyggerier. Flere internationale projekter havde dokumenteret, at der også for boliger var et stort potentiale i forhold til udnyttelse af hybrid ventilation i boliger. Der var kun blevet gennemført få projekter med hybrid ventilation til boliger i Danmark, og markedet manglede derfor udvikling af både koncept og komponenter, der var specielt egnede til det danske marked.

Formål

Hovedindsatsområdet i projektet er at minimere elforbruget til ventilation i boliger samtidig med, at et godt indeklima og god termisk komfort opretholdes. Det er projektets mål at udvikle nye komponenter specielt egnede til hybrid ventilation med behovsstyring i boliger, med fokus på integration og brug af solceller.

Indhold og metode

I projektet udarbejdes et dansk koncept for hybrid ventilation kombineret med behovsstyring i boliger med udgangspunkt i udvikling af nye effektive komponenter. Komponentudviklingen indbefatter elektronik til styring af ventilationen, trådløse sensorer, aktuatorer 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 selvstændige komponenter med decentral styring og elforsyning til hybrid ventilationen, hvor integrerede solceller leverer energien. Størrelsen af solcellemodul dimensioneres således at solen, set over hele året leverer hele energiforbruget, og der tilkobles 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 fleksibel ved anvendelse af trådløs styring.

Projektet er inddelt i 8 faser med 5 definerede milepæle:

Faser	Milepæle
1 Dokumentation af erfaringer	Sammenfatning af forundersøgelse
2 Udarbejdelse af dansk koncept	
3 Økonomisk optimering af anlæg og drift	
4 Kravspecifikation til komponenter	Beskrivelse af kravspecifikation til komponent
5 Design og integration af komponent	Specifikation af komponent – beskrivelse og tegninger
6 Fremstilling af prototype med integreret solcelle	
7 Test og optimering af koncept og komponenter	Rapport over testresultater
8 Dokumentation og formidling af resultater	Sammenfattende slutrapport

Projektet blev desværre afbrudt før planlagt færdiggørelse forårsaget af, at vigtige industrideltagere så sig nødsaget til at trække sig ud af projektet pga. af ændrede fokuseringsområder internt i de respektive firmaer samt fratrædelse af nøglemedarbejdere hos Esbensen Rådgivende Ingeniører. Derudover betød de fortløbende stramninger i bygningsreglementet, at naturlig ventilation af boliger udgjorde et mindre og mindre marked for boligventilation.

Standningen af projektet betyder, at de beskrevne milepæle er opnået i varierende grad, hvor specielt fase 5 og fase 6 praktisk taget ikke er gennemført og dermed foreligger heller ikke materiale til Milepæl 3. Der er dog lavet prototyper af facadespjæld for indledende tests. Disse er beskrevet under Milepæl 4.

Nærværende rapport udgør Milepæl 5, der samler op på de opnåede resultater i projektet.

Projektorganisation

Projektets deltagere afspejler de mange forskellige kompetencer, der er nødvendige for at opnå et godt og gennearbejdet koncept, der efter projektets afslutning vil have meget kort vej til markedsføring. Specielt inddragelsen af industripartnere er af afgørende betydning for, at det udviklede koncept og de udviklede komponenter reelt set har et markedspotentiale.

Generelt indgik alle projektpartnerne i alle dele af projektets faser, således at kvaliteten i udviklingen blev holdt på et højt fagligt niveau. Konceptet er tænkt baseret på trådløs kommunikation med henblik på at gøre installationen nem uden behov for trækning af kabler til kommunikation mellem enhederne. Imidlertid anses den trådløse kommunikation ikke som et udviklingsområde, da den allerede er udbredt i mange brancher. Derfor vil et firma som f.eks. Zensys med ekspertise indenfor trådløs kommunikation, blive involveret senere i projektet.

Nedenstående viser de oprindelige partnere i projektet og deres primære ansvarsområder:

Projektdeltager	Kompetence	Primære bidrag til projektet
Esbensen Rådgivende Ingeniører A/S	Stor erfaring i projektering af hybrid ventilation og behovsstyring	Projektleder, dokumentation af erfaringer, inddragelse af erfaringer fra rådgiverside
dk-teknik	Stor erfaring i ventilationssystemer og hybride systemer	Dokumentation af erfaringer og udarbejdelse af koncept for hybrid- og behovsstyret boligventilation
Ålborg Universitet	Internationalt kendt for højt kvalificeret forskning i hybrid ventilation	Dokumentation af erfaringer, udvikling af koncept, test af komponenter og koncept
OJ Electronics A/S	Udvikling af elektroniske systemer til opretholdelse af godt indeklima i boliger	Udvikling af elektronik til ventilatorer og styring af samme
Linak A/S	Udvikling af lydsvage aktuatorer	Udvikling af aktuatorer til styring af spjæld
GaiaSolar A/S	Udvikling og integration af solceller til diverse formål	Integration af solceller i forhold til komponenterne og produktion af prototyper
Boligkontoret Danmark		Brugerrepræsentant
Lejerbo		Brugerrepræsentant

Derudover blev der knyttet en ekstern følgegruppe til projektet sammensat af eksperter primært fra By og Byg og Arkitektskolen i Århus (design).

Ændringer i projektgruppen

Undervejs i forløbet skete der en udskiftning i projektgruppen, hvor Lejerbo så sig nødsaget til at trække sig ud som egentlig projektdeltager, men trådte til gengæld ind i følgegruppen.

Udtrædelsen af Lejerbo åbnede op for en revurdering af projektgruppens sammensætning, hvor der blev identificeret et behov for at tilknytte en stærk industripartner inden for spjældområdet, hvor Exhausto A/S udviste stor interesse for projektet og indtrådte som ligeværdig projektdeltager.

Som tidligere beskrevet ændrede præmisserne sig for hybrid boligventilation sig i løbet af projektet, hvorfor vigtige industrideltagere så sig nødsaget til at trække sig ud af projektet pga. af ændrede fokuseringsområder internt i de respektive firmaer

Resultater

I de følgende afsnit redegøres kort for de opnåede resultater i projektets forskellige faser med reference til eventuelt uddybende materiale vedlagt som bilag til denne rapport.

Milepæl 1: Resultat af forundersøgelse

Dokumentation af erfaringer

Der er foretaget et detaljeret litteraturstudium af både dansk og international litteratur – både i form af papers og artikler samt rapporter fra diverse forskningsprojekter (se bilag 1). Hovedkonklusionerne fra disse undersøgelser er:

- Behovsstyring i boliger sker mest hensigtsmæssigt ved fugtstyring kombineret med tilstedeværelsesfølere i hvert rum.
- Behovsstyring kan reducere energiforbruget ved ventilation med 20 – 30 % uden at forringe indeklimaet.
- Det er beregningsmæssigt vist, at naturlig ventilation kan sikre et tilfredsstillende indeklima med et lavt energiforbrug ved anvendelse af passive komponenter – især hvor arkitekturen understøtter det naturlige drivtryk.
- Ensidigt luftindtag i hvert rum kombineret med aftræk over tag giver den mest stabile løsning.
- Udelufttilførslen bør kunne kontrolleres for at undgå overventilation og dermed øget energiforbrug.
- Det er vanskeligt ved naturlig ventilation at sikre, at luften altid strømmer fra mindre forurenede rum til mere forurenede rum.
- Der er udviklet flere prototyper på ventilatorer med lav trykydelse (2 – 5 Pa ved 200 – 300 m³/h) og meget lavt effektforbrug på 2 – 10 W, hvilket giver SEL-værdier ned til 0,06 kJ/m³.
- Der er udviklet en række udeluftindtag med mulighed for kontrol af udeluftmængden – både selvregulerende og aktivt regulerende.
- 4 hybride ventilationskoncepter er beskrevet i EU-projektet RESHYVENT, der næsten alle anvender decentrale udeluftindtag i opholdsrum og fælles ventilatorunderstøttet aftræk fra køkken og bad.
- Erfaringerne viser, at der kan opnås en væsentlig besparelse på energiforbruget til transport af luft, mens besparelse på varmeudgifterne har svært ved at kunne dokumenteres.

Baseret på de indhøstede erfaringer fra litteraturstudiet er der udarbejdet et koncept for et hybridt ventilationskoncept til boliger under danske forhold.

Valg af hybridt ventilationskoncept

Forud for fastlæggelse af endeligt koncept er der foretaget en brainstorm over parametre der alle kan påvirke valget af løsning:

- Boligtype
- Etablering af drivtryk
- Ventilationsprincip
- Placering af luftindtag
- Placering af afkast
- Specialfunktioner
- Styringsstrategi

Uddybende beskrivelse af de forskellige parametre findes i bilag 1.

Baseret på litteraturstudiet og indgående analyser og diskussioner i projektgruppen, hvor de forskellige deltageres spidskompetencer er bragt i anvendelse, er følgende koncept blevet valgt, hvilket også afspejler projektgruppens fokus på at udvikle nye komponenter med nye egenskaber, funktioner og anvendelsesmuligheder.

Konceptet udvikles til at dække flere boligtyper, men der tages udgangspunkt i et decentralt koncept for én bolig, der kan etableres uafhængigt af, hvilken sammenhæng boligen indgår i. Der arbejdes med en hybrid løsning, hvor så stor del af drivtrykket som muligt tilvejebringes naturligt via vindpåvirkning og opdrift. Det naturlige drivtryk suppleres med mekanisk assistance til opnåelse af basis- og/eller forceret ventilation.

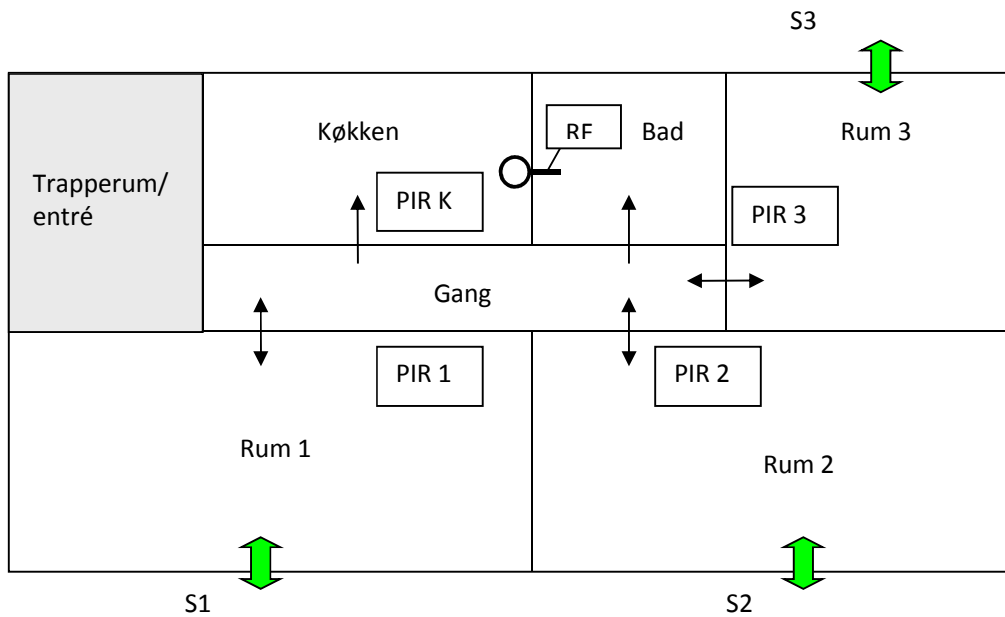
Der satses primært på opdriftsventilation med indtag gennem facader og aftræk over tag. Indtag placeres lokalt i hvert rum under loftet og afkast gennem fælles kanal fra køkken og bad. Der arbejdes med 3 niveauer af ventilation i boligen:

- Baggrundsventilation (ingen personer i rummet)
- Basisventilation (normal personbelastning)
- Forceret ventilation (madlavning, gæster etc.)

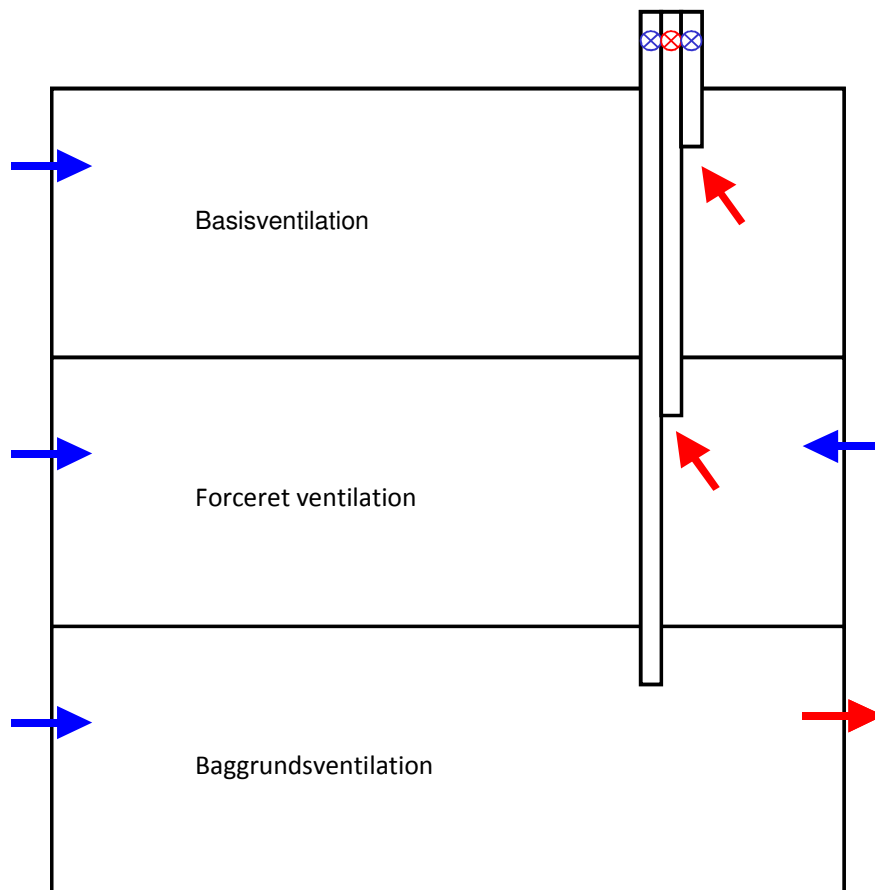
Friskluftindtag kan eventuelt fungere både som indtag og afkast når der kun er behov for baggrundsventilation – i alle øvrige tilfælde sikres der tilstrækkeligt drivtryk via afkast så luftstrømningen sker fra mindre forurenede rum til mere forurenede rum. Internt mellem rummene sker lufttransporten gennem interne åbninger.

Styringen baseres på minimum baggrundsventilation suppleret med behovsstyring ved belastning og mulighed for overstyring af brugeren. Afkast og indtag kommunikerer trådløst ud fra registrering af luftfugtigheden i aftræk og tilstedeværelsesfølere i hvert rum, så den rette ventilationsmængde og luftfordeling i boligen sikres.

Konceptet er skitseret i nedenstående figurer, der viser princippet i én bolig samt, hvorledes princippet kan anvendes i fleretagersbyggeri, i hvilket tilfælde hver boligenhed har sit eget selvstændige ventilationsanlæg.



Figur 1. Principskitse af ventilationskoncept for én boligenhed.



Figur 2. Principskitse af ventilationskoncept for flere boligenheder.

Det valgte koncept har naturligvis både fordele og ulemper:

Fordele

Ved udviklingen af koncept og styrings strategi har det været vigtigt at systemet forblev så simpelt som muligt samtidig med at det opfyldte kravene vedr. el besparelse, komfort, brugervenlighed og anlægspris.

Det udviklede koncept kan karakteriseres ved følgende fordele sammenlignet med et almindeligt balanceret ventilations anlæg med varmegenvinding.

- Udnyttelse af de naturlige drivkræfter
- Opretholdelse af godt indeklima ved tilkobling af hjælpeventilator, når der er behov (behovs styret hybrid ventilation)
- Besparelse af el ved brug af behovsstyret ventilation
- Kompakte selvforsynende intelligente indtagspjæld der er nemme at installere
- Ingen kanalføring rundt i lejlighed
- Mulighed for manuel overstyring
- Brug af meget energieffektiv ventilator (4 W ved 8Pa og 13 l/s)
- Trådløs styring af intelligente pjæld, med integration af solceller således at pjældene er små uafhængige enheder der frit kan placeres på facaden. Dvs. stor fleksibilitet.

Ulemper

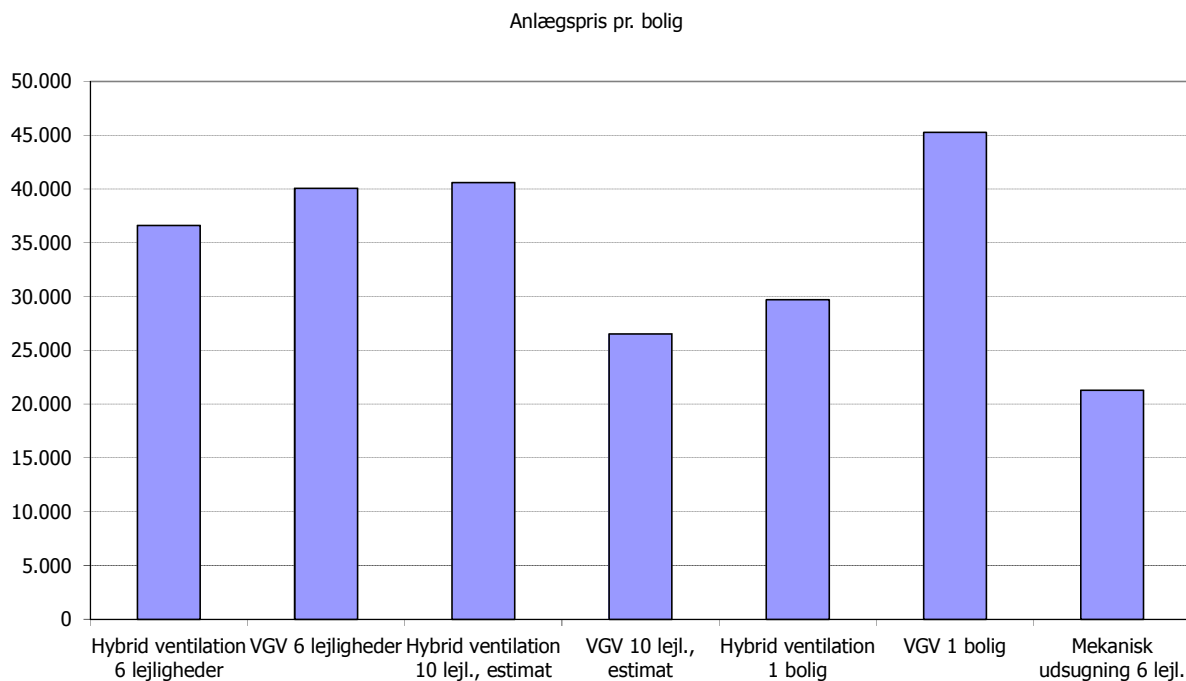
Når målet har været at udvikle et koncept og komponenter der er interessante for boligmarkedet inden for et par år, kan det ikke undgås at systemet har visse begrænsninger:

- Mulighed for at stillesiddende eller sovende personer ikke detekteres og systemet går på baggrundsventilation selvom der er personer tilstede
- Styring ud fra fastansatte sommer- og vinter set-punkter i RF vil ikke give en nøjagtig behovsstyring, dog viser en undersøgelse at der kan vælges et sæt værdier, der med god tilnærmelse kan benyttes.
- Brugen af kun én fugt sensor placeret i bad afkast, kan være utilstrækkelig til at måle de nødvendige svingninger i fugtniveauet i lejligheden.
- Der er ikke direkte mulighed for varmegenvinding (tilbage til luften) dog kan det tænkes at der, hvis det ønskes kan kobles en varmepumpe til og genvinde luftens varme til brugsvandet (dette vil dog fordyrer systemet).

Økonomisk optimering og drift

Baseret på det valgte koncept er der foretaget en totaløkonomisk vurdering af det behovsstyrede hybride ventilationskoncept og sammenlignet med traditionelle ventilationsløsninger til boliger i 2004/2005.

Anlægsprisen er skønnet ud fra input fra de deltagende industripartnere og rådgiver med afsæt i deres individuelle erfaringer og vurderes derfor at være meget realistisk. Den beregnede anlægspris inkl. installation er udregnet ved hjælp af successiv kalkulation for etageboliger med hhv. 6 og 10 boligenheder samt for en bolig. Ved beregning af anlægsprisen for balancerede anlæg med varmegenvinding er der forudsat anvendelse af krydsvarmeveksler. Resultatet fremgår af diagrammet i nedenstående figur 3.



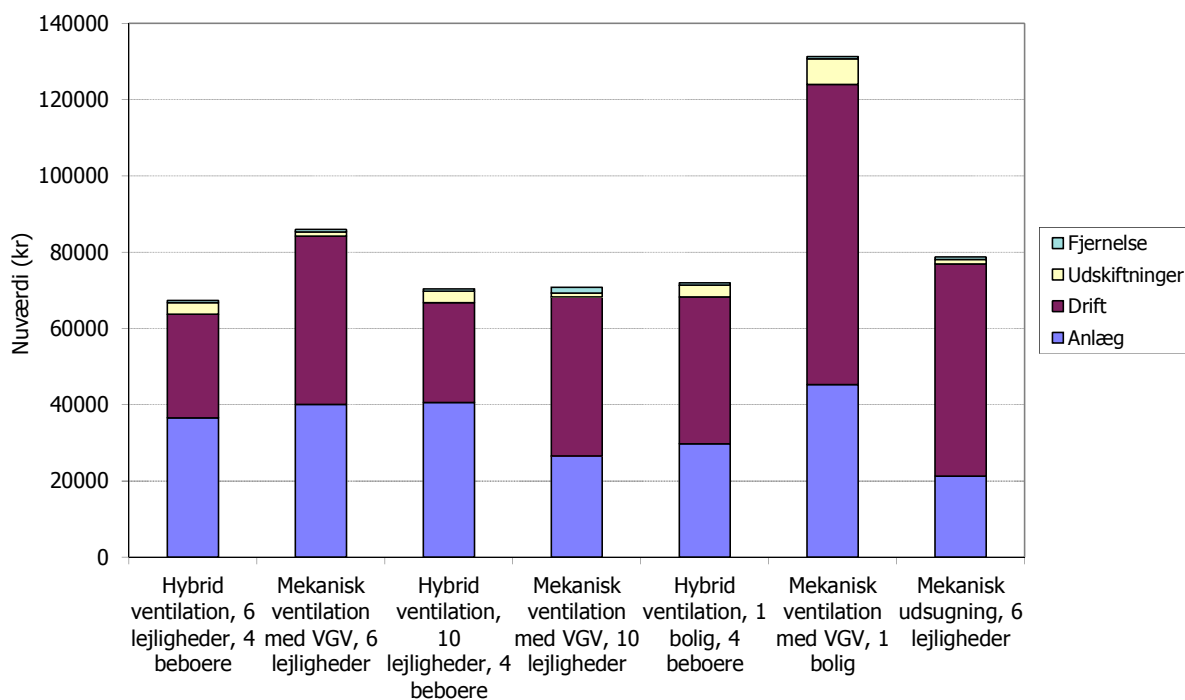
Figur 3. Beregnet anlægspris for hybrid ventilation samt anlæg med hhv. varmegenvinding og mekanisk udsugning.

De beregnede anlægspriser viser, at den hybride ventilationsløsning generelt er billigere at udføre end anlæg med varmegenvinding for enheder med mindre end 7 - 8 boliger. Simpel mekanisk udsugning vil dog i alle tilfælde være den løsning, der kræver den mindste investering.

Den totaløkonomiske vurdering inddrager ud over investeringen i anlægget også driftsomkostninger (elforbrug, vedligehold og varmetab) samt bortskaffelse. Væsentlige faktorer i den totaløkonomiske vurdering er elforbruget knyttet til ventilationen samt den effektive varmegenvindingskoefficient for balancerede anlæg. Der er i beregningerne anvendt gældende krav til SEL-værdi i BR95 på 1,2 kJ/m³ samt en varmegenvindingsgrad på 65 % for anlæg med varmegenvinding. For mekanisk udsugningsanlæg er der regnet med en SEL-værdi på 1,0 kJ/m³ og for det hybride anlæg er der beregnet en ækvivalent SEL-værdi på 0,13 kJ/m³.

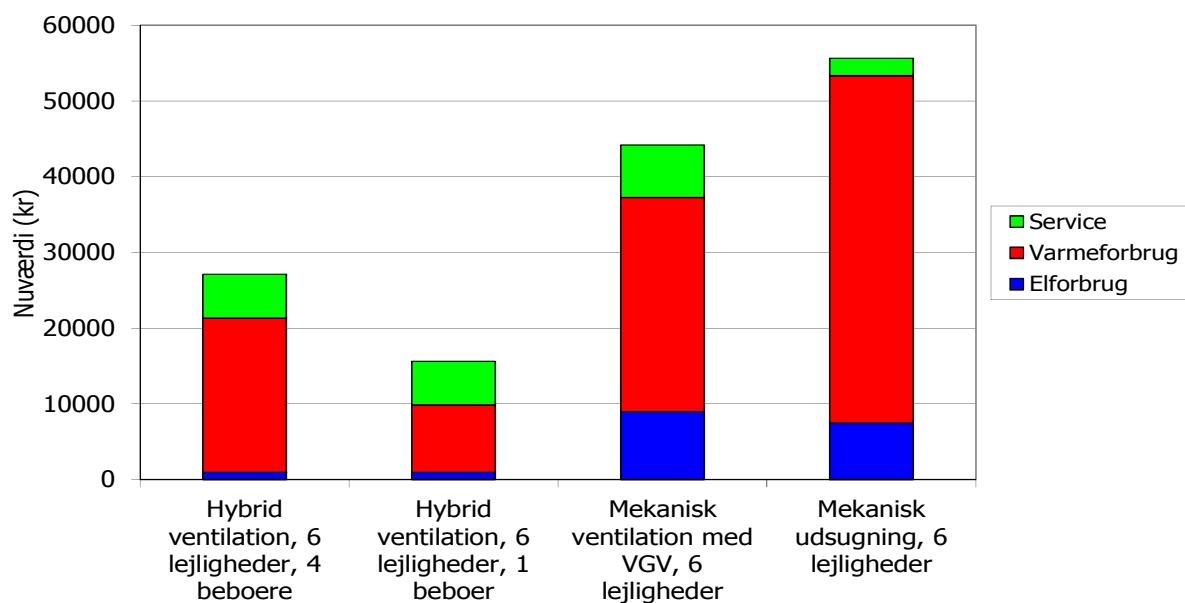
Den totaløkonomiske vurdering er baseret på en 30 års tidshorizont og anvendelse af Nuværdimetoden til tilbagediskontering af fremtidige udgifter. Der er regnet med en realrente på 4 %, en elpris på 1,40 kr./kWh og en varmepris på 0,50 kr./kWh – alle priser ekskl. moms. I beregningerne er der ikke indregnet prisstigninger på energi. I alle anlæg regnes med udskiftning af ventilatoren efter 15 års drift.

Resultatet af den totaløkonomiske vurdering fremgår af nedenstående figur 4.



Figur 4. Beregnet totaløkonomi for hybrid ventilation samt anlæg med hhv. varmegenvinding og mekanisk udsugning.

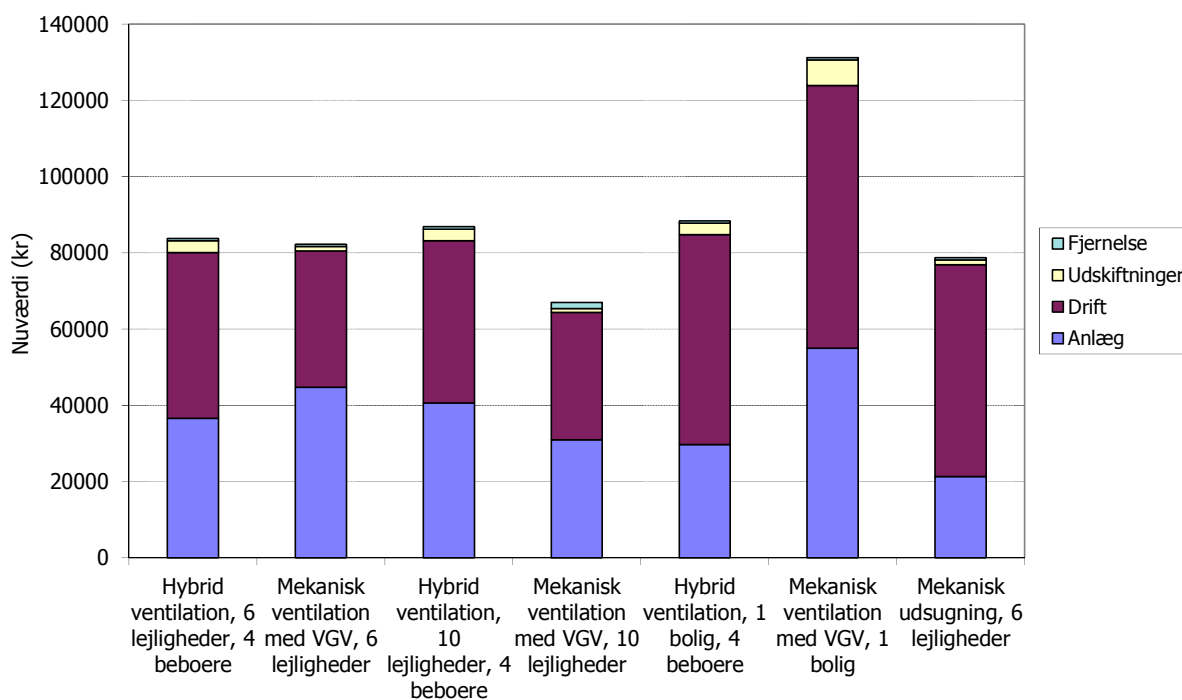
Den totaløkonomiske betragtning viser, at den behovsstyrede hybride ventilationsløsning vil være totaløkonomisk fordelagtig for alle de undersøgte tilfælde på trods af et større varmetab sammenlignet med anlæg med varmegenvinding jf. figur 5.



Figur 5. Beregnede driftsudgifter over 30 år for hybrid ventilation samt anlæg med hhv. varmegenvinding og mekanisk udsugning.

Kravene i bygningsreglementet er efterfølgende strammet kraftigt op så SEL-værdien for ventilationsanlæg til en enkelt boligenhed ikke må overstige 1,0 kJ/m³ og varmegenvindingsanlæg skal have en effektivitet på minimum 80 %, hvilket kræver anvendelse af modstrømsveksler. Prisen for en modstrømsveksler ift. en krydsveksler er via opslag i V&S-prisbogen estimeret til en faktor 2. Kun enfamiliehuse må udføres med naturligt ventilation, men udelufttilførslen skal opfylde mindstekravet på 0,3 l/s/m².

Til illustration af totaløkonomien og sammenligning med anlæg der opfylder kravene i nuværende bygningsreglement er der udført en beregning med samme inddata som anvendt i ovenstående beregninger, men hvor elforbruget for ventilationsanlægget er reduceret med 16,7 % svarende til reduktionen i SEL-værdien og varmegenvindingen er øget fra 65 % til 80 %. Anlægsprisen er derudover øget med en faktor 2 for varmegenvindingsenheden, men med udgangspunkt i 2004-priserne. Derudover er minimumsluftskiftet sat til 0,3 l/s/m² inkl. infiltration.



Figur 6. Beregnet totaløkonomi for hybrid ventilation samt anlæg med hhv. varmegenvinding og mekanisk udsugning justeret til nuværende BR10-krav til varmegenvinding, minimums luftmængde og SEL-værdier.

Ovenstående diagram viser, at hvis det behovsstyrede hybride anlæg skal opfylde gældende krav til minimumsluftmængde i BR10, vil det kun være økonomisk fordelagtigt i én-familieboliger. I lejlighedskomplekser med 6 eller 10 enheder er mekanisk ventilation med varmegenvinding mere fordelagtigt.

I de mekaniske anlæg er der regnet med et konstant luftskifte, så med behovsstyring af disse vil fordelene ved mekaniske anlæg blive større i lejlighedskomplekser, og forskellen mellem hybridt anlæg og mekanisk anlæg med varmegenvinding vil blive mindre i én-familieboliger.

Udvikling i bygningsreglementerne siden BR95 har i praksis bevirket, at alt nybyggeri udføres med ventilationsanlæg med varmegenvinding, dvs. at præmisserne for dette projekt er ændret gennem

projektperioden, hvilket også er en af årsagerne til, at flere af industrideltagerne ønskede at prioritere anderledes og dermed trådte ud af projektet.

Milepæl 2: Kravspecifikation til komponent

I forbindelse med gennemførelse af litteraturstudie og øvrige forundersøgelser har der konstant været fokus på nærværende projekts målsætning om udvikling af "stand alone" løsninger, hvor styring af spjæld etc. blev forsynet af strøm fra integrerede solceller i komponenten. Derfor har en væsentlig opgave været, ud over de ydelsesmæssige krav, at få opstillet krav til komponenternes maksimale strømforbrug.

De indledende undersøgelser viste også, at der eksisterer flere ventilatorløsninger til hybride ventilationsanlæg med meget lavt elforbrug, mens der ikke findes de tilsvarende velegnede løsninger til regulerende facadespjæld for friskluftindtag. Derfor blev fokus i første omgang rettet mod udvikling af denne komponent, hvilket nedenstående kravspecifikation også afspejler.

Nedenstående er oplyst de krav der er blevet specificeret for de enkelte elementer i konceptet:

Facadespjæld

Luftmængde:

7 l/s ved en trykforskel på 10 Pa

Energibehov til spjældbevægelse:

Skal kunne dækkes af solcelle og ét 9V batteri pr. år

Spjæld:

Skal kunne indbygges / tilpasses eksisterende udeluftventil (-er)

Filter:

Minimum G3 filter

Motorer til spjæld

Udformning af spjældmotorer afventer indledende test af spjældtype og luftmængde som funktion af åbningsgrad og trykdifferens.

PIR-sensorer

Rækkevidde:

op til 5 m

Følsomhed:

Ophold i stue/værelse over 10 min registreres og der sendes signal til kontrolenhed herom.

Stillesiddende/sovende person skal også registreres. Korte ophold og kæledyr skal ikke registreres.

Placering:

Pir-sensoren skal integreres i indtagsspjældet på yderfacade i stue og værelser dvs. der skal tages højde for at temperaturen af den indkomne luft varierer, (dvs. registrering af varmestråling kan være en udfordring).

Energiforbrug:

max. 5 mA, 24 volt DC

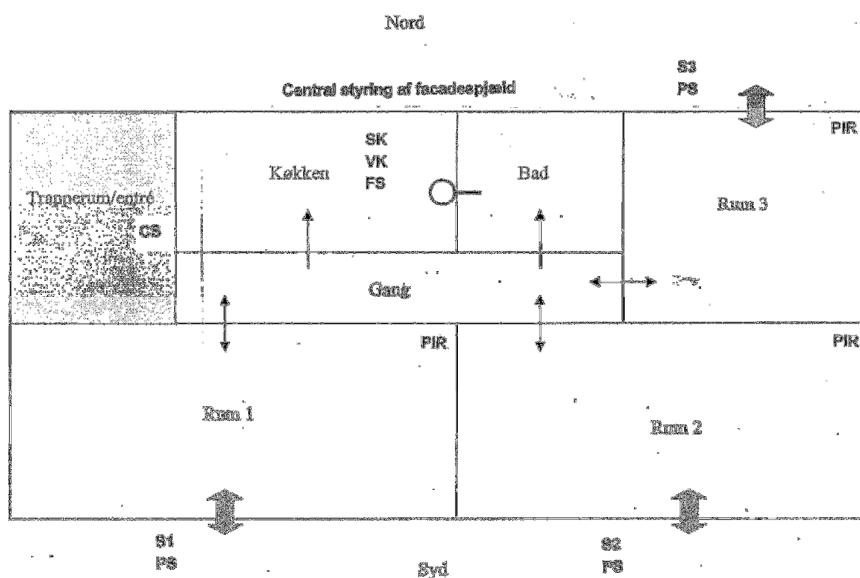
Styringskoncepter

Definitioner:

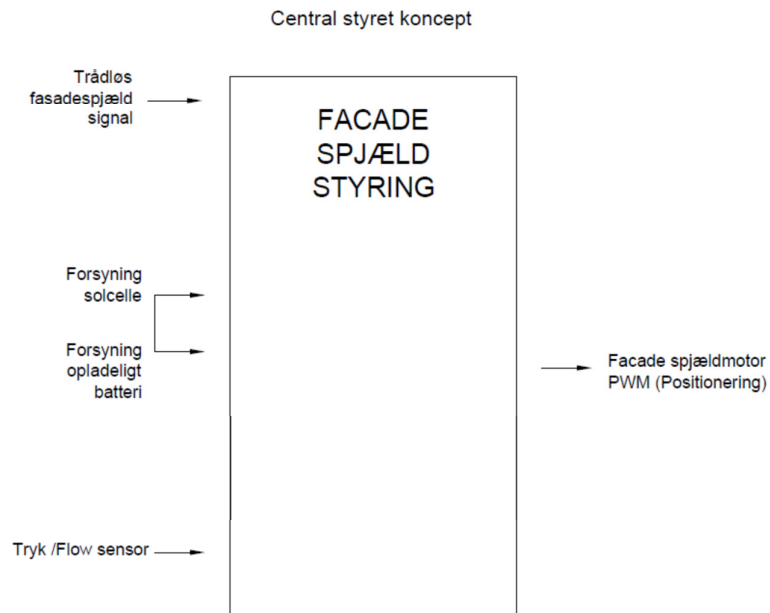
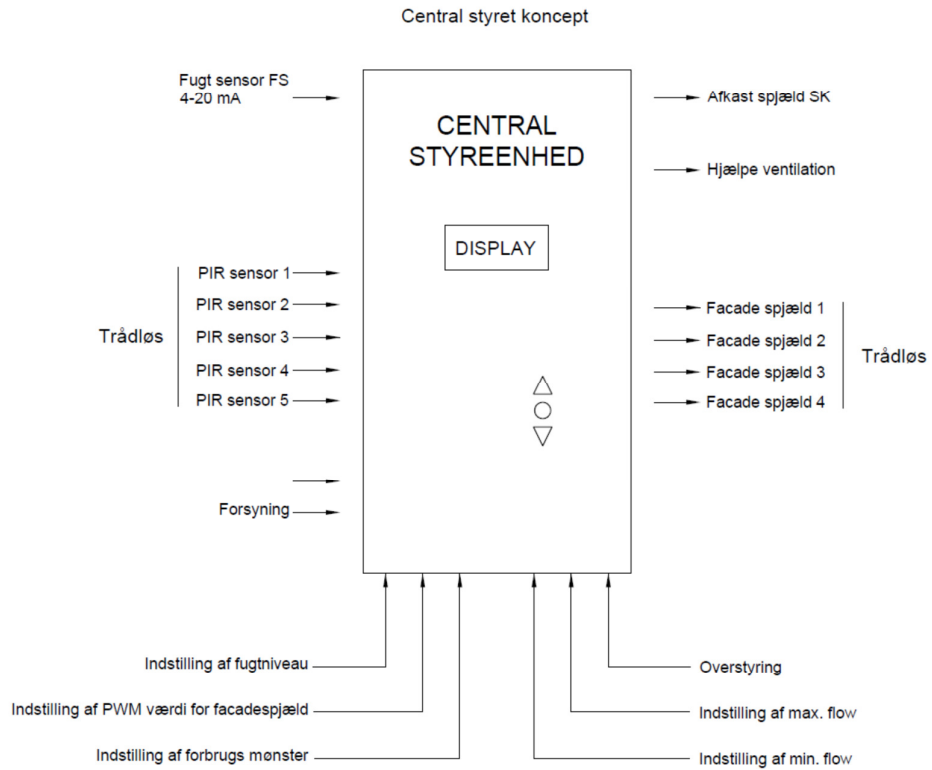
CS	Central styreenhed
S	Facadespjæld
VK	Hjælpeventilator
SK	Afstængningsspjæld
FS	Fugtsensor
PS	Tryksensor
PIR	Tilstedeværelse-sensor
PIR-S	Tilstedeværelse-sensor integreret i facadespjæld
FLS	Flowsensor integreret i facadespjæld (alternativ)

Centralt styret koncept

Baggrundsventilation	Basisventilation	Forceret ventilation
<ul style="list-style-type: none"> - Ingen PIR sensorer aktiveret. - Alle facadespjæld S står i minimum position. - Eks. pulssignal svarer til 25 % åbningsgrad. - Afstængningsspjæld SK aktiveres til helt åben. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aktivering af PIR sensor i rum 1-3 vil via central styreenhed CS styre det respektive facadespjæld til en position svarende til eks 75 %. - Samtidig aktiveres afstængningsspjæld SK til helt åben position. - Spjældpositionen overstyres af tryksensor PS (alternativt flowsensor FLS) hvis vind/flowhastigheden i det aktiverede facadespjæld bliver for høj eller for lav. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aktivering af fugtføler ved fugtværdi højere end den indstillede værdi vil via central styreenhed CS styre alle facadespjæld til en position svarende til det ønskede set punkt, men overstyres af tryksensor PS eller flowsensor FLS (alternativ), hvis vind/luft hastigheden bliver for høj. - Afkastspjæld SK aktiveres til helt åben position. - Hjælpeventilatoren VK aktiveres ligeledes.

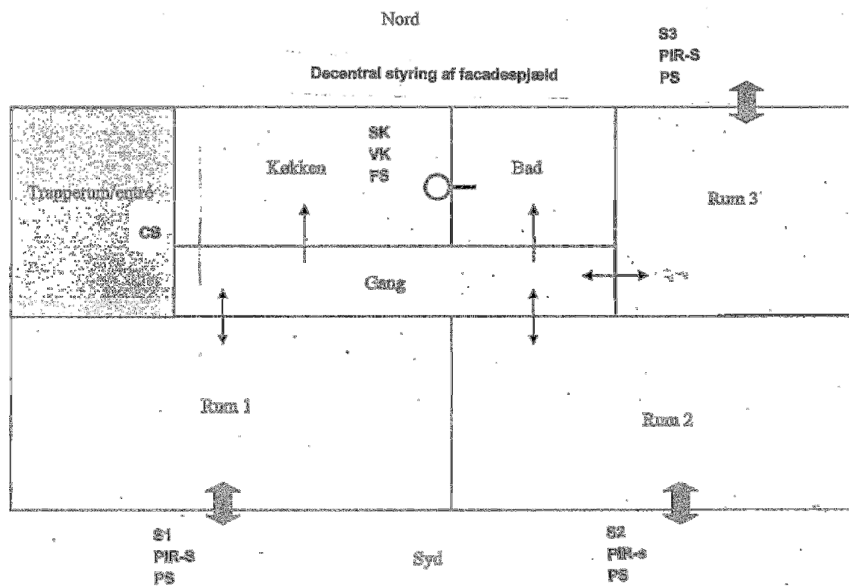


Nedenstående er på diagramform vist funktionsdiagrammer for hhv. den centrale styreenhed og de lokale styringer i facadespjældene.



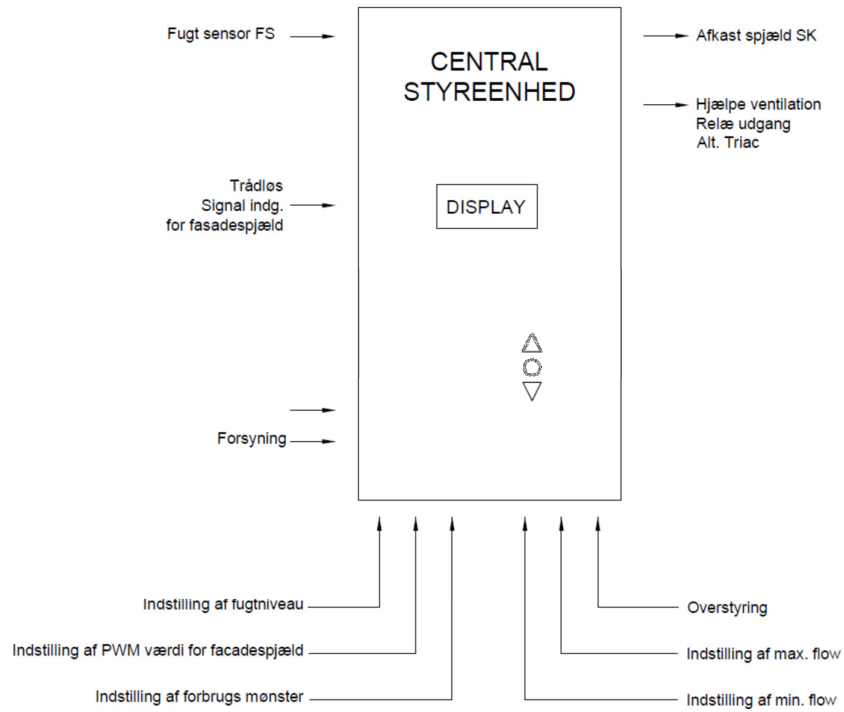
Decentralt styret koncept

Baggrundsventilation	Basisventilation	Forceret ventilation
<ul style="list-style-type: none"> - Ingen PIR sensorer aktiveret. - Alle facadespjæld S står i minimum position. - Eks. pulssignal svarer til 25 % åbningsgrad. - Afstængningspjæld SK aktiveres til helt åben. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aktivering af den integrerede PIR sensor PIR-S vil styre det pågældende facade spjæld S til en forvalgt spjældposition. - Facadespjældets S positionen overstyres af tryksensor PS (alternativ flowsensor FLS) hvis vind/luft hastigheden i det aktiverede facadespjæld bliver for stor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aktivering af fugtføler FS ved fugtværdi højere end indstillet værdi, vil via central styreenhed CS starte hjælpeventilatoren VK - Afkastspjæld SK aktiveres til helt åben position.

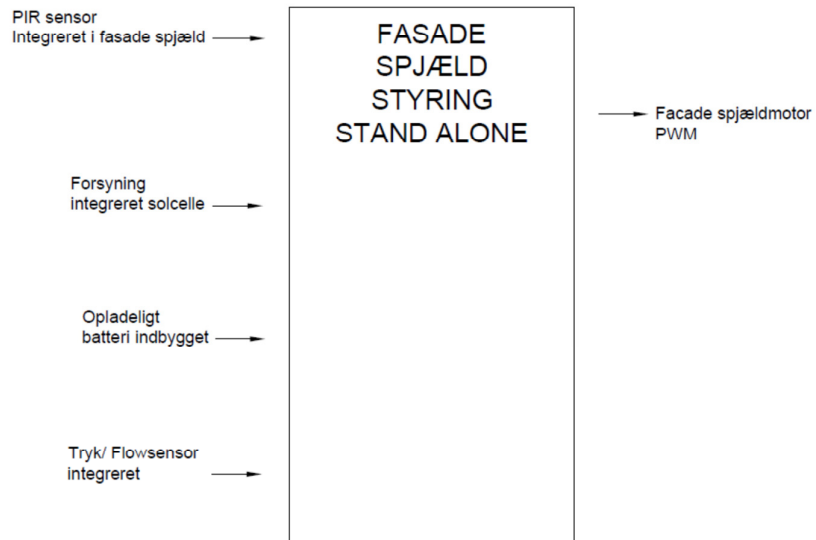


Nedenstående er på diagramform vist funktionsdiagrammer for hhv. den centrale styreenhed og de lokale styringer i facadespjældene.

Decentral styret koncept



Decentral styret koncept



Milepæl 4: Testresultater

Nedenstående er beskrevet det planlagte testprogram for indtagsåbning og ventilationskoncept:

Beskrivelse af testprogram

Formål med testprogram for indtagsåbning:

- Udforme flowkarakteristik under stationære trykforhold (sammenhæng mellem trykdifferens og luftstrøm)
- Udforme flowkarakteristik under dynamiske trykforhold (respons på step-ændring af trykdifferens, både stigende og faldende)
- Undersøgelse af termisk komfort under stationære trykforhold (sammenhæng mellem luftmængde, udelufttemperatur, indelufthastighed og indelufttemperatur)
- Undersøgelse af termisk komfort under dynamiske trykforhold (sammenhæng mellem luftmængde, udelufttemperatur, indelufthastighed og indelufttemperatur)

Formål med testprogram for koncept er at:

- Afprøve konceptets funktion (ventilations- og styringsstrategi) under varierende tryk- og indeklimaforhold.
- Registrere energiforbrug for spjældaktivering (actuator og sensorer)
- Fastsætte størrelse af solcelle og batteri således at spjældet forsynes 100 % med solcellestrøm.

Metode- og resultatbeskrivelse

For udformning af stationær flowkarakteristik monteres indtagsåbningen i trykkammer og der gennemføres en række sammenhængende målinger af trykdifferens og volumenstrøm. Resultaterne optegnes på et diagram

For udformning af dynamisk flowkarakteristik monteres indtagsåbningen i trykkammer og efter en stepændring af trykket, gennemføres der en kontinuerlig måling af trykdifferens og volumenstrøm som funktion af tiden. Trykændringerne vil være både positive og negative. Resultaterne optegnes i et diagram

Undersøgelse af termisk komfort under stationære forhold foretages i klimakammer med koldt og varmt rum. Indtagsåbningen placeres ved loft i væg mellem koldt og varmt rum. Der etableres konstant tryk- og temperaturforskel mellem rummene. Lufthastigheds- og temperaturforhold i det varme rum registreres for forskellige kombinationer af tryk- og temperaturforskel. Ændring i lufthastigheds- og temperaturforhold registreres også for en situation med stepændring af trykforskellen. Resultatet beskrives som trækrisikoen (% utilfredse) i opholdszonen ved hvert forsøg.

Afprøvning af konceptets funktion foregår i testbænk/kammer opbygget til dette projekt, således at afprøvning kan foregå under veldefinerede og kontrollerede laboratorieforhold. Herved kan ændringen af trykforhold for åbninger og afkast, tilførsel af fugtighed, fuldstændig opblanding af forurening i kammer, m.m. kontrolleres i forhold til ønskede værdier. Der opstilles en række diskrete testsituationer samt defineres et kontinuerligt testforløb til afprøvning af styringsstrategi.

Afprøvning af konceptets funktion under mere realistiske trykforhold foregår i testbænk/kammer under udeklimaforhold. Det skal sikres forskellige trykforhold ved de enkelte åbninger, samt variation af intern fugtbelastning.

Gennemførte tests

Undervejs i projektet stod det klart, at det primære udviklingsområde ville være udvikling af et regulerbart facadespjæld, hvor specielt detaljer omkring koncept, luftmængde som funktion af åbningsgrad og trykforhold i et dansk klima ville være afgørende for udvikling af en egnet motorstyring med lavt energiforbrug.

Der blev til dette formål opbygget en prototype af eksisterende komponenter på markedet:

- Selvvirkende flowbegrænsere (fabrikat Fresh) er bygget sammen med en tidligere udviklet spjældmotorkonstruktion fra LINAK/Exhausto
- PIR-føler monteres på front af indblæsningsarmatur/spjæld
- Styring sker via fast fortråede komponenter
- Spjældmotor bliver styret over endestopkontakt
- Fugtføler HTH fra OJ Electronics anvendes, men strømforbrug er for højt til endelig udgave – uden betydning for nærværende test.

Resultat af tests

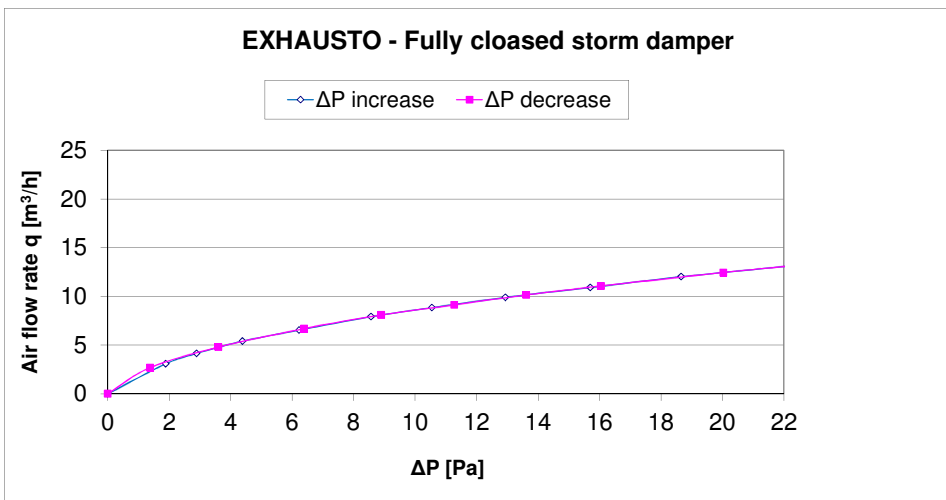
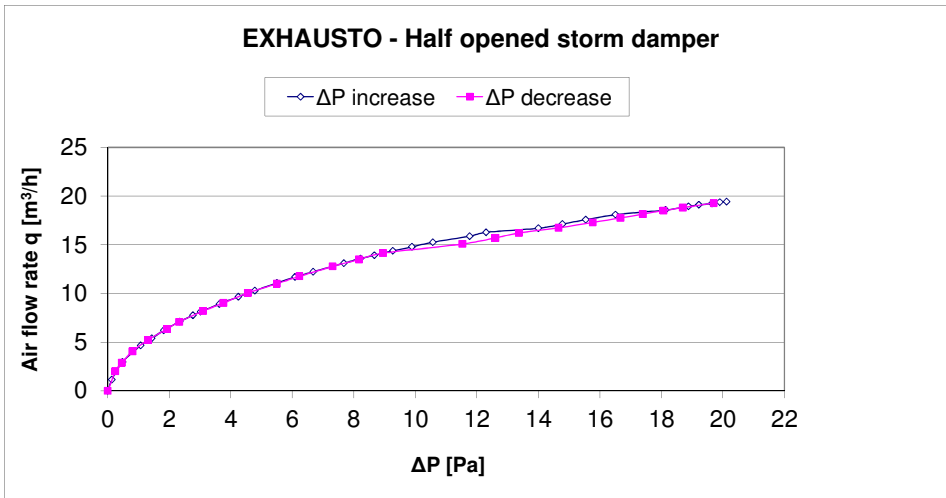
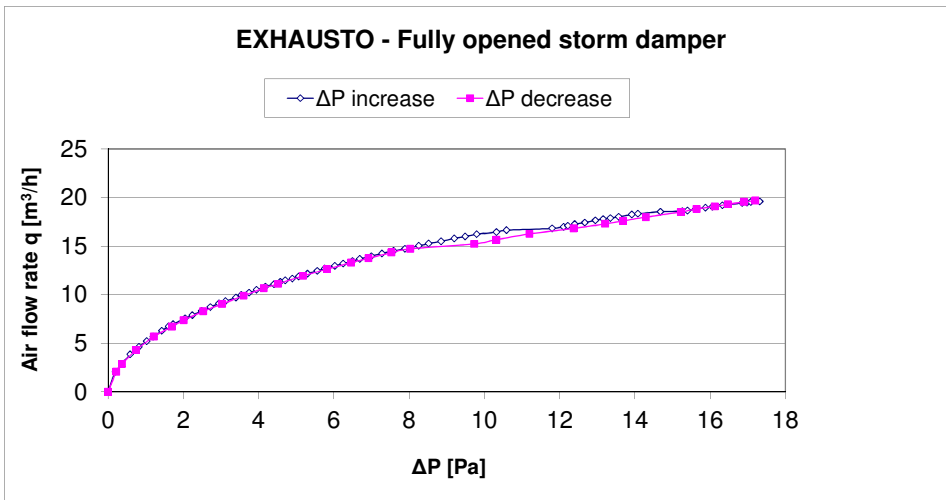
De planlagte tests blev desværre ramt af en række problemer, hvor bl.a. teknologien til kontrol af luftmængden gennem spjældet viste sig at være meget følsomt overfor snavs. Problemet blev ”løst” ved nøje udvælgelse, hvorved der fandtes 3 – 4 stk. der fungerer tilfredsstillende. Erfaringen viser et behov for bedre produktkvalitet.

Derudover viste der sig problemer med den automatiske styring, der primært skyldes ”sædvanlige fejl” i form af forkert montering af styresignalledninger, men også et højt krav til tolerancer i forbindelse med registrering af åbningsgrad for spjæld og stop af spjældmotor.

De udvalgte selvregulerende friskluftindtag blev testet inkl. stormsikring, dvs. deres evne til at sikre et bestemt flow upåvirket af f.eks. kraftigt ydre vindtryk. Nedenstående diagrammer viser, at stormsikringen virker.

I alle 3 tilfælde opnås der praktisk taget samme luftmængde som funktion af differenstrykket, og der ses ingen hysteres mellem karakteristikkene for stigende og faldende tryk. Kun ved fuld ”stormsikring” ses luftmængden at falde en smule.

Yderligere test kunne ikke umiddelbart gennemføres pga. sygdom og manglende plads i testfaciliteterne på Aalborg Universitet.



Markedsanalyse

I samarbejde med EU-projektet RESHYVENT er der udført en markedsanalyse for anvendelse af hybrid ventilation i Danmark. Markedsanalysen har dannet grundlag for vurdering af nærværende projekt.

Bruger og markedsvurdering

Slutbrugerne af ventilationssystemer i nybyggeri og ved renovering er ejere af enfamiliehuse og lejlighedsbyggeri samt udlejningsselskaber. Det samlede potentielle kundegrundlag er ca. 1,72 millioner baseret på oplysninger fra årene 1999 og 2000 indsamlet fra By- og Boligministeriet.

Kundegruppen som helhed har varierende opfattelse om krav og forventninger til et hybrids ventilationssystem, men generelt for alle er, at det er af yderste vigtighed, at det hybride system er pålideligt og brugervenligt.

Nedenstående er listet de typiske vurderinger af hybrid ventilation sammenlignet med andre ventilationssystemer inden for en række områder:

System/komponenter:	Hybrid ventilation er vurderet højere end mekanisk ventilation, men lavere end naturlig ventilation i praktisk taget alle kategorier af systemer og komponenter.
Design:	Hybrid ventilation bliver hverken vurderet bedre eller dårligere end andre systemer, men generelt rangerer hybride systemer lavere end både mekaniske og naturlige ventilationssystemer.
Ydelse:	Hybrid ventilation bliver vurderet til at være bedre end naturlig ventilation, men mekanisk ventilation vurderes højest. Dog vurderes de hybride løsninger lavere inden for støjforhold og energibesparelspotentiale end både naturlig ventilation og mekanisk ventilation.
Styring:	Hybrid ventilation vurderes bedre end naturlig ventilation, men dårligere end mekanisk ventilation.
Omkostninger:	Hybrid ventilation vurderes at give større omkostninger end både naturlig ventilation og mekanisk ventilation. Kun inden for renovering vurderes hybrid ventilation at være konkurrencedygtig med naturlig ventilation.

Kundegruppen kan inddeles i 3 hovedgrupper, med hver deres individuelle økonomiske muligheder:

1. Offentlige organisationer der støtter udlejningsboliger
2. Private organisationer med privat bolig udlejning
3. Ejere af egne boliger

For gruppe 1 og delvist gruppe 2 vil investeringsudgiften for den hybride ventilationsløsning være den afgørende faktor for implementering af hybrid ventilation som alternativ til naturlig eller mekanisk ventilation.

For gruppe 3 og delvist gruppe 2 bør prisen for det hybride system opfylde en mere nuanceret økonomisk vurdering der inkluderer systemets levetid og driftsomkostninger sammenlignet med naturlig/mechanisk ventilation.

Introduktion af et nyt ventilationssystem til markedet er underlagt de gældende krav i bygningsreglementet til minimum luftskifte uanset, at der kan opnås et tilfredsstillende atmosfærisk indeklima med et periodevist lavere luftskifte.

Nuværende og fremtidigt marked

Markedet kan inddeles i fabrikanter og ejere af enfamlehuse, ejendomsejere og/eller udviklingselskaber (lejlighedsbyggeri) samt ejer/lejer byggeselskaber. Størrelsen af det samlede marked, dvs. den samlede eksisterende boligmasse udgør i alt 2,52 millioner boliger af hvilke 47 % er udlejningsboliger, og 53 % er ejerboliger (tal fra Danmarks statistik 2002).

Den eksisterende boligmasse er fordelt med nedenstående ventilationssystemer:

Enfamlehuse			Lejligheder		
Natural/ passive	Mechanical exhaust	Mechanical balanced	Natural/ passive	Mechanical exhaust	Mechanical balanced
97 %	1 %	2 %	75 %	25 %	0,1 %

Prognosen for nybyggeri og modernisering er:

Renovering: I løbet af perioden 2003-2005 vil boligrenovering støttet af staten blive reduceret fra ca. 15 millioner til ca. 10 millioner kroner, hvilket ifølge regeringen vil reducere antallet af boliger det ydes støtte fra 2.690 i 2001 til 1.650 i 2005.

Nybyggeri: I henhold til forslag fra regeringen (august 2002) vil investeringer i nye boliger primært være rettet mod boliger for unge og studerende og et øget antal private organisationer, der udlejer privat. Boliger for unge vil blive finansieret via en ekstra bevilling på 1 million kr. i perioden 2003 – 2007 og det forventes at skabe 3.500 – 4.000 ny boliger. Disse vil primært blive opført som kollegier ejet af private organisationer. Dertil kommer ca. 2.500 ungdomsboliger. Tilskuddet til nybyggeri sker på bekostning af tidligere tilskud til modernisering af eksisterende boliger.

Potentialet for energibesparelse i disse bygninger er:

Eksisterende bygninger: (renovering) Potentialet er estimeret til 1 – 5 % af den eksisterende boligmasse (25.000 – 125.000 anlæg) baseret på antallet og fordelingen af eksisterende ventilationsanlæg. Vurderingen er behæftet med stor usikkerhed.

Nybyggeri: Nybyggeriet vil primært være fokuseret på ungdomsboliger. Det er derfor usandsynligt, at denne type af nybyggeri vil være villig til at forøge kvadratmeterprisen i tilstrækkelig grad for finansiering af hybride ventilationsløsninger selvom besparelsen over anlæggets levetid vil være væsentlig.

Tidshorizonten for implementering af hybride ventilations løsninger i det beskrevne marked er 3 – 10 år, men det vil i høj grad afhænge af, hvornår et nyt bygningsreglement bliver udgivet. Den forventede lange tidshorizont skyldes den aktuelle status vedrørende lovgivning med henblik på ventilation og den aktuelle andel af mekaniske ventilationsanlæg, der dominerer markedet.

Nøgleparameteren for øget vækst inden for ventilationsbranchen ligger i ændret lovgivning og evnen hos leverandører af hybride løsninger til at sprede markedet.

Konkurrenceforhold

De konkurrerende ventilationsløsninger i forhold til hybrid ventilation er naturlig ventilation, mekanisk udsugning og balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding. I denne sammenhæng betragtes anlæg med emhætte og manuelt styret udsugning fra badeværelser som naturlig ventilation.

Markedsandelene for hver af de konkurrerende løsninger er svære at estimere, men nedenstående tabel viser den nuværende fordeling af ventilationsløsninger:

Bygningstype	Naturlig	Udsugning	Balanceret
Enfamilieboliger	97%	1%	2%
Flerfamilieboliger	75%	25%	0

Der må forventes modtræk fra producenter af konkurrerende ventilations løsninger i form af lobby arbejde for påvirkning af lovgivningen samt øget markedsføring. Over en længere tidshorisont må der forventes udvikling af tilsvarende produkter.

Fremtidige ændringer i lovgivningen kan reducere eller helt eliminere behovet for innovative ventilationsløsninger, hvilket kan være en nært forestående risiko, der bremse udviklingen af nye løsninger indtil en ny eller tilpasset lovgivning er kendt.

Nuværende ventilationsløsninger sammenlignet med hybride løsninger

I det følgende redegøres der for mulige fordele og ulemper knyttet til hybride løsninger sammenlignet med nuværende kendte ventilationsløsninger:

Fordele:

- Reduceret støjniveau sammenlignet med komplet mekanisk ventilation.
- Reduceret energiforbrug sammenlignet med mekanisk ventilation.
- Energibesparelse knyttet til ventilation er nødvendig – derfor har hybrid ventilation et stort potentiale da det giver mulighed for øget komfort og mindre energiforbrug.
- Mere pålidelig end naturlig ventilation, da der om sommeren er perioder uden tilstrækkeligt naturligt drivtryk..
- Principielt giver hybrid ventilation større mulighed for opnåelse af et tilfredsstillende indeklima sammenlignet med både naturlig og mekanisk ventilation.
- Der opnås en større brugerfrihed i form af mere manuel kontrol..
- Der er mulighed for opnåelse af tværv ventilation.

Reduktionen i energiforbrug i kombination med pålidelighed vurderes som den største fordel ved hybrid ventilation.

Ulemper:

- Erfaringerne med naturlig og mekanisk ventilation er større, og de har derfor en fordel i forhold til hybrid ventilation.
- Naturlig ventilation om vinteren som del af den hybride løsning kan være et problem idet forvarmning er vanskelig eller umulig, og styringen af anlægget bliver vanskelig..
- Det er vanskeligt at styre luftstrømmene – specielt i forbindelse med nattekøling.
- Investeringsbehovet anses for højere sammenlignet med både mekanisk og naturlig ventilation.

Den manglende erfaring med hybrid ventilation vurderes at være den største ulempe. Derudover er en anden barriere, at der mangler kendskab til hybride ventilationsløsninger og deres potentiale for anvendelse i boliger.

SWOT-analyse

Det forudsættes i det følgende, at det hybride ventilationsanlæg er behovsstyret og ventilatorunderstøttet udsugning i aftræk fra køkken og bad.

Analysen er baseret på en sammenligning med et traditionelt udsugnings- eller balanceret anlæg.

Potentielle interne fordele	Potentielle interne svagheder
1. Mindre vedligeholdelse	1. Lavt erfaringsniveau
2. Behovsstyret – større tilfredshed	2. Begrænset mulighed for varmegenvinding
3. Energibesparelse (el og varme)	3. Svært at styre luftstrømningerne korrekt
4. Mindre støj	4. Større investering
5. Brugerindflydelse (pga. manuel styring)	
Potentielle eksterne muligheder	Potentielle eksterne barrierer
1. Positiv holdning hos arkitekter og rådgivere	1. Individuelle krav og forventninger
2. Statsstøtte	2. Stor prisfølsomhed
3. Nye bygningsreglement	3. Negativ holdning hos leverandører
4. Behov for reovering	4. Reduceret økonomisk støtte til reovering

Nedenstående uddybes udsagnende i skemaet:

Potentielle interne fordele

- 1 – Mindre vedligeholdelse: Der forventes mindre vedligeholdelse idet et hybridt system normalt har færre komponenter, kanaler og filter.
- 2 – Behovsstyret: Behovsstyringen anvendt i den hybride ventilationsløsning medfører større grad af tilfredshed hos brugerne idet ventilationsmængden tilpasses til det aktuelle behov i boligen.
- 3 – Energibesparelse): Udnyttelse af de naturlige drivkræfter betyder at en stor del af elforbruget til ventilatoren kan spares. Behovsstyringen sparer på varmemeforbruget.
- 4 – Mindre støj: Støj fra driften af ventilationsanlægget reduceres idet ventilatoren placeres på loftet og størstedelen af den traditionelle kanalføring er udeladt.
- 5 – Brugerindflydelse: Der er større frihed for brugeren til at styre ventilationen end for andre traditionelle ventilationsløsninger.

Potentielle interne svagheder

- 1 – Lavt erfaringsniveau: Erfaringerne med hybrid ventilation er generelt lave – specielt hybrid ventilation i boliger.

- 2 – Begrænset mulighed for varmegenvinding: På grund af kravet til lavt tryktab i det hybride ventilationssystem er mulighederne for varmegenvinding små og vil derfor i nogle tilfælde udgøre en svaghed for det hybride ventilationssystem
- 3 – Svært at styre luftstrømningerne korrekt: Det kan være vanskeligt at registrere og regulere luftstrømmene og derfor udgør dette en svaghed.
- 4 – Større investering: De forholdsvis dyrere følere og kontrolsystem der kræves i et hybridt system bevirker at anlægsinvesteringen vurderes at være højere end for et traditionelt mekanisk ventilationsanlæg.

Potentielle ydre muligheder

- 1 – Positiv holdning hos arkitekter og rådgivere: Arkitekter og rådgivere er positive overfor anvendelse af hybride ventilationsløsninger og produkter
- 2 – Statsstøtte: Statsstøtte i den næste 5-års periode målrettet forøgelse af privat udlejning.
- 3 – Nyt bygningsreglement: Nyt bygningsreglement kan vise sig at favorisere anvendelse af hybride ventilationsløsninger.
- 4 – Behov for renovering: En stor andel af ældreboliger har behov for renovering i nær fremtid.

Potentielle eksterne barrierer

- 1 – Individuelle krav og forventninger: I henhold til gennemført spørgeskemaundersøgelse har brugergrupperne meget forskellige krav og forventninger til hybride ventilationsløsninger.
- 2 – Stor prisfølsomhed: Undersøgelser viser stor prisfølsomhed i alle brugergrupper så længe at ydelsen ikke tilsvarende forbedres.
- 3 – Negativ holdning hos leverandører: Leverandører af ventilationsløsninger har en negativ holdning til hybrid ventilation.
- 4 – Reduceret økonomisk støtte til renovering: Regeringen reducerer støtten til renovering.

Konklusion

Der er udført en omfattende litteraturundersøgelse på området, der har dannet grundlag for det videre forløb af projektet. Resultatet af undersøgelsen var, at det største behov for nyudvikling lå i udvikling af egnede facadespjæld med indbygget præcis flow-regulering.

Det optimale hybride ventilationskoncept er identificeret til at være behovsstyret med centralt ventilatorunderstøttet afkast fra køkken og bad kombineret med regulerbare friskluftindtag i facaderne placeret under loft i hvert rum.

Styringen sker ved en kombination af PIR-følere i hvert rum og en central fugtføler i afkastet fra badeværelset. Styringen kontrollerer åbningsgraden af facadespjæld i hvert rum og behovet for brug af ventilatorunderstøtningen. Styringen af ventilationsmængden sker i 3 niveauer afhængig af belastningen:

- Baggrundsventilation, når der ikke er personer tilstede
- Basisventilation styret af tilstedeværelse og fugtforhold
- Forceret ventilation ved stor person- og fugtbelastning

En totaløkonomisk vurdering viser, at hvis det tillades i kommende bygningsreglementer at lave fuld behovsstyring uden krav til et minimum luftskifte, vil den hybride ventilationsløsning være totaløkonomisk attraktiv ift. andre ventilationsløsninger for enfamiliehuse og lejlighedsbyggeri med op til 7 lejligheder pr. anlæg. Hvis kravet om et minimumsluftskifte på 0,3 l/s/m² opretholdes, vil den hybride løsning kun være totaløkonomisk rentabel for enfamiliehuse.

Der er opstillet specifikke krav til en række komponenter mht. strømforbrug, tryktab etc. og der er beskrevet løsninger, der gør det muligt at udforme de regulerbare facadespjæld selvforsynende via integration af solceller og batteri til drift af spjældmotor og trådløs kommunikation. Dermed undgås fordyrende og generende (ved renovering) kabling ud til hvert indtag.

Indledende målinger på regulerbare friskluftindtag viser, at der kan opnås fine reguleringsmuligheder, men at det kræver overholdelse af strenge tolerancekrav.

En omfattende markedsanalyse har identificeret flg. forhold med særlig betydning:

- Hybride ventilationsanlæg skal være pålidelige og brugervenlige
- Mange potentielle brugere er usikre på fordelene ved hybrid ventilation
- Potentialet for installering af hybride ventilationsløsninger i eksisterende boliger er i intervallet 25.000 – 125.000 boliger, mens anvendelse i nybyggeri afhænger meget af typen.
- Den danske lovgivning er altafgørende for fremtiden for hybride behovsstyrede ventilationsløsninger.

De fundne løsninger i projektet vil også kunne anvendes i andre sammenhænge som f.eks. styret udluftning i boliger for undgåelse af overtemperaturer, der ofte er et stort problem i boliger, hvor beboerne ikke er hjemme om dagen og kan åbne vinduer og døre.

Bilag 1

Komponentudvikling til el-effektiv behovsstyret hybrid ventilation i boliger

Dokumentationsrapport (Vers. 6 af 1 dec. 2005)

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

Januar 2005.

PSO F&U 2004
Journal nr. 464-03
Projekt nr. 336-035

1 Indholdsfortegnelse

1	Indholdsfortegnelse.....	2
2	Forord	4
3	Introduktion.....	5
3.1	Målsætning.....	5
3.2	Indhold og metode	5
3.3	Forventede resultater.....	6
4	Nationale og internationale erfaringer med naturlig og/eller behovsstyret boligventilation. ..	7
4.1	Behovsstyring	7
4.2	Naturlig ventilation i boliger.....	7
4.3	Komponenter.....	7
4.4	Hybrid ventilation	7
4.5	Energibesparelse	8
5	Karakterisering og valg af ventilationskoncept	9
5.1	Karakteristiske parametre for et hybrid ventilationssystem.....	9
5.2	Udvælgelse af ventilationskoncept	10
6	Ventilations- og styringsstrategi for koncept	12
6.1	Luftmængder og ventilationsprincipper.....	12
6.2	Forudsætninger	13
6.3	Konceptbeskrivelse.....	13
6.4	Fordele og ulemper ved det udviklede koncept og styringsstrategi.....	16
7	Anbefalinger for det videre projektforløb	18
8	Bilag 1. Kommenteret liste over gennemgået dansk litteratur	19
8.1	Projekter	19
8.2	Rapporter og artikler	20
9	Bilag 2. Kommenteret liste over gennemgået international litteratur.	21
9.1	Projekter	21
9.2	Rapporter og Artikler.....	22
10	Bilag 3. Undersøgelse af drivtryk, trykforhold og energiforbrug.....	26
10.1	Formål.....	26
10.2	Bygningsbeskrivelse.....	26
10.3	Beregningsforudsætninger for beregning af naturligt drivtryk.....	26
10.4	Beregningsresultater for naturligt drivtryk	26
10.5	Beregning af effektbehov til ventilator	28
11	Bilag 4. Beskrivelse af erfaringer og udviklede boligventilationssystemer i Reshyvent.....	33
11.1	Beskrivelse af udviklede boligventilationssystemer i Reshyvent	33

11.2	Sammenfatninger af erfaringer og anbefalinger fra Reshyvent.....	37
------	--	----

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.

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, August 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 en 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, hidtil har der kun 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 ventilationen, trådløse sensorer, aktuator til spjældregulering og integrering af solcelle. 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 tilkobles 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. 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 følge 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 energi effektive 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 CO₂ koncentrationen i indeluften er en bedre indikator på friskluftbehovet.

Den bedste styring opnås ved at kombinere luftfugtighed og tilstedeværelse som styrende parametre. Styring af CO₂ 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 driftssikker 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 driftssikker 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 trykydelse (2-5 pa ved 200-300 m³/h) og meget lavt effektforbrug (2-10W). Der arbejdes med SFP faktorer for boligventilationssystemer helt ned til 0.064 kW/(m³/s), dette skal ses i sammenhæng med kravet i bygningsreglementet på 1 kW/(m³/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, CO₂ niveau, temperatur og/eller tilstedeværelse/bevægelse. Se bilag 4 for mere information.

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 inddele 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 ventilationkanaler)
- 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, CO₂, IAQ)
- Basisventilation
- Konstant luftmængde (ventilator, selvregulerende åbninger)
- Behovsstyret (fugtighed, temperatur, CO₂, IAQ)
- Forceret ventilation
- Tidsstyret/brugerstyret (madlavning, bad, tøjvask)
- Behovsstyret (tilstedeværelse, fugtighed, CO₂, IAQ)

5.2 Udvalgelse af ventilationskoncept

På baggrund af erfaringer fra tidligere gennemførte projekter og udarbejdet litteratur på området og ud fra diskussioner foretaget i projektgruppen, er følgende ventilationskoncept udvalgt. Valget afspejler deltagernes spidskompetencer og fokus på at arbejde med 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.

Ventilationsprincip

Primært opdriftsventilation med indtag gennem facader og aftræk over tag (hvor det er muligt). Sekundært tværvæntilation og ensidet ventilation ved vinduesudluftning.

Åbningsplacering

Indtag placeres lokalt i facaden i hvert rum under loftet. Afkast foregår primært gennem aftrækskanal dog ved baggrundsventilation kan indtagspjældene eventuelt fungere som både indtag og udkast. 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.

Sensorer placeres enten centralt i boligen eller i flere rum. Sensoren er den "intelligente enhed" der kommunikerer trådløst med indtagsåbninger, afkaståbninger og ventilator. I denne enhed kan der indbygges forskellige styringsstrategier, som brugeren kan vælge imellem.

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

6 Ventilations- og styringsstrategi for koncept

Ventilationsstrategien er baseret på princippet én bolig – ét ventilationsanlæg, som kan realiseres i én-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 enhver 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 pga. utætheder i klimaskærmen. 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.

Nedenstående tabel 1 viser kravene til boligventilation efter bygningsreglementet og aktuel praksis.

	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 ² ventil	20 cm ² ventil	20 cm ² ventil

Tabel 1: Luftmængder og størrelser af udeluftventiler efter BR-95 og for aktuel praksis for mekanisk udsugning i boliger.

De dimensionerende luftmængder for nærværende koncept for behovs styret hybrid ventilation 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 ²	4-15 l/s	40 l/s
Bad	~0-0,2 l/s pr. m ²	4-11 l/s	15 l/s
Opholdsrum	~0-0,2 l/s pr. m ²	4-7 l/s pr. pers.	

Tabel 2 Luftmængder for konceptet

6.2 Forudsætninger

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.

Basisventilation:	Opdriftsventilation med termisk opdrift og vinddrivtryk, suppleret af ventilatorer, når vinddrivtryk er utilstrækkeligt eller giver uønsket strømningsretning.
Baggrundsventilation:	Opdriftsventilation og tværvæntilation med termisk opdrift og vinddrivtryk.
Forceret ventilation:	Ventilatordrift med fælles udsugning fra køkken og bad (kanalføring fra bad til udsugning i køkken).

6.3 Konceptbeskrivelse

6.3.1 Principiel anlægsopbygning

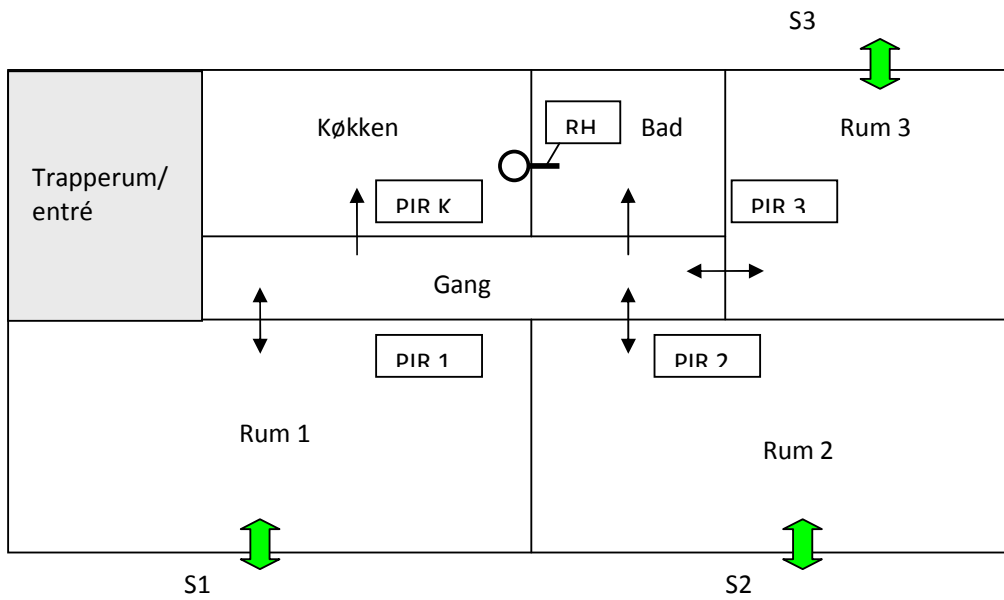
Anlæggets opbygning er bestemt af kravet om individuel behovsstyring i hver enkelt bolig. Udeluften tilføres via styrede åbninger i facaden. Der etableres facadespjæld under loft i alle opholdsrum for indtag af udeluft.

I boligen fordeles luften fra opholdsrum til køkken eller bad via åbne døre eller overføringsventiler.

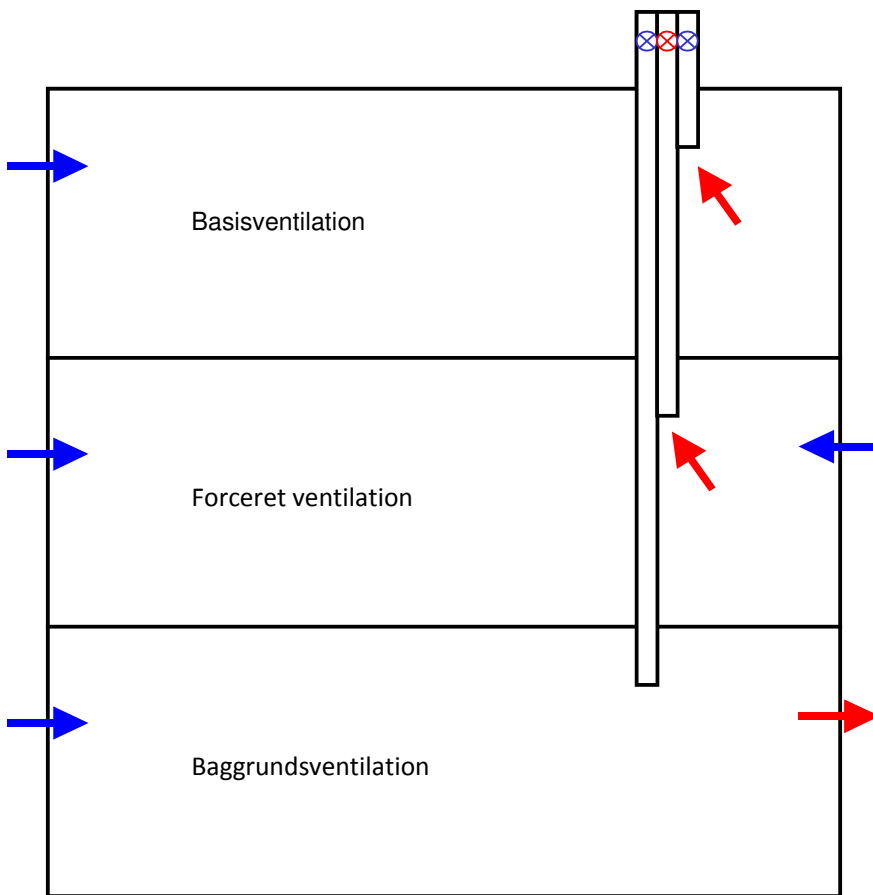
Facadespjæld anvendes primært til indtag af udeluft, men hvis der er behov for baggrundsventilation, som ikke kan dækkes af infiltration, kan facadespjældene udnyttes til afkast. Den principielle anlægsopbygning er vist i figur 1 og 2.

Udsugningen etableres fra køkken med kanaltilslutning fra bad. Afkastet føres med separate afkastkanaler over tag for hver enkelt bolig.

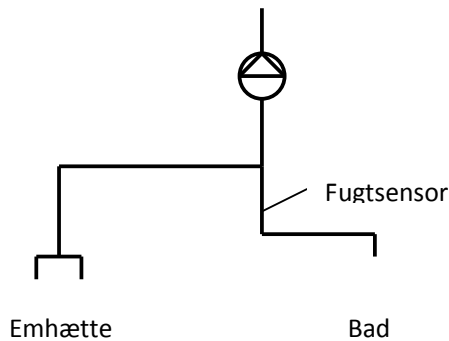
Hjælpeventilatoren indbygges i afkastet. Der etableres en separat kanal fra emhætte som tilsluttes den fælles udsugning efter fugtføleren fra bad. Princippet for udsugning fra køkken og bad er vist på figur 3.



Figur 1 Princip for konceptet vist på en plan



Figur 2 Princip for konceptet vist på et tværsnit



Figur 3 Princip for kanalført udsugning fra køkken og bad

6.3.2 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.

Styringen skal derfor kunne bestemme om der er beboere tilstede med behov for basisventilation og om der er madlavning eller fugtproduktion som skaber et behov for forceret ventilation.

Automatikken baseres på en kombination af PIR-sensorer i opholdsrum og i køkkenet, hvis det anvendes til ophold, samt en fælles fugtsensor i udsugningen fra bad. Fugtsensoren placeres tæt på badeværelsetilslutningen for at sikre at fugten trænger op og påvirker sensoren. Herudover vil der i perioder være forurening uden fugtafgivelse eller stor personbelastning, f.eks. ved madlavning og styringen suppleres derfor af en manuel brugeroverstyring.

Basis ventilation

Ved normal tilstedeværelse detekteres basis ventilation ved PIR-sensorer placeret i hvert rum, dvs.:

- aktiverer facadespjæld til indtag i de(t) respektive rum
- åbningsgrad i facadespjæld begrænses ved at der monteres en mekanisk max luftmængdebegrænser, der lukker ved 11 l/s og tryk 17 Pa. Således at der ikke opstår overventilation.
- Ved utilstrækkelig ventilation aktiveres hjælpeventilator til ydelse for de(t) respektive rum.
- Utilstrækkelig ventilation bestemmes af fugtsensoren, f.eks. ved at sammenligne det aktuelle fugtniveau med en referenceværdi. Referenceværdien kan være en beregnet eller målt værdi. Den beregnede værdi kan f.eks. være 50% RH om vinteren og 70% RH om sommeren. Ved brug af en målt værdi kan fugtsensoren anvendes til logning i perioder med tom bolig, så referenceværdien tilpasses forholdene i den aktuelle bolig (infiltration, tøjtørring, mv.)

Forceret ventilation

Ved øget fugtproduktion detekteres forceret ventilation ved fugtsensor placeret i udsugningskanal i bad, dvs. :

- aktiverer alle facadespjæld
- åbningsgrad i facadespjæld er fuldt åbent
- aktiverer hjælpeventilator til maksimal ydelse for bad ved et setpunkt på f.eks. 45% RH om vinteren og 65% om sommeren. Samt ændring over tid f.eks. 10% RH (ændring) over 5-30 minutter

Baggrundsventilation

Uden tilstedeværelse detekteres baggrunds ventilation ved PIR-sensorer i hvert rum, dvs.:

- aktiverer facadespjæld i alle rum
- åbningsgrad i facadespjæld er en fast indstilling, minimums åbning begrænset af en endestopkontakt, som giver baggrundsventilation med variabel luftmængde efter det naturlige drivtryk. Denne endestopkontakt kan flyttes efter behov (ved mere eller mindre infiltration i boligen)

6.3.3 Manuel brugeroverstyring

Der er følgende muligheder for manuel styring af ventilations anlægget:

- Køkkenmode (emhætte), med forlænget drift. Aktiverer hjælpeventilator til maksimal ydelse for køkken
- Partymode (betjeningspanel), forceret ventilation med forlænget drift. Aktiverer hjælpeventilator til maksimal ydelse for køkken

6.3.4 Indregulering

Facadespjæld indstilles til en minimums åbningsgrad, som giver tilstrækkelig baggrundsventilation
Antal beboere indstilles i regulator, så behovet for basisventilation kan omsættes til en åbningsgrad for facadespjæld (1 beboer: 4-7 l/s, 2 beboere: 8-14 l/s, osv.).

6.4 Fordele og ulemper ved det udviklede koncept og styringsstrategi

Fordele

Ved udviklingen af koncept og styrings strategi har det været vigtigt at systemet forblev så simpelt som muligt samtidig med at det opfyldte kravene vedr. el besparelse, komfort, brugervenlighed og anlægspris.

Det udviklede koncept kan karakterisere ved følgende fordele sammenlignet med et almindeligt balanceret ventilations anlæg med varmegenvinding.

- **Udnyttelse af de naturlige drivkræfter**
- **Opretholdelse af godt indeklima ved tilkobling af hjælpe ventilator, når der er behov (behovs styret hybrid ventilation)**
- **Besparelse af el ved brug af behovsstyret ventilation**
- **Kompakte selvforsynende intelligente indtagspjæld der er nemme at installere**
- **Ingen kanalføring rundt i lejlighed**
- **Mulighed for manuel overstyring**
- **Brug af meget energieffektiv ventilator (4 W ved 8Pa og 13 l/s)**

- Trådløs styring af intelligente spjæld, med integration af solceller således at spjældene er små uafhængige enheder der frit kan placeres på facaden. Dvs. stor fleksibilitet.

Ulemper

Når målet har været at udvikle et koncept og komponenter der er interessante for boligmarkedet inden for et par år, kan det ikke undgås at systemet har begrænsninger:

I det følgende er begrænsningerne til koncept og styrings strategien anført.

- Mulighed for at stillesiddende eller sovende personer ikke detekteres og systemet går på baggrundsventilation selvom der er personer tilstede. For at afhjælpe dette problem i soverum om natten er der indsat en tidskonstant..... **(mere info fra Servodan)**
- Styring ud fra fastansatte sommer- og vinter set-punkter i RF vil ikke give en nøjagtig behovsstyring, dog viser en undersøgelse **(Per Heiselberg XXXX)** at værdier på **XXX** med god tilnærmelse kan benyttes.
- Brugen af kun én fugt sensor placeret i bad afkast, kan være utilstrækkelig til at måle de nødvendige svingninger i fugtniveauet i lejligheden. Dette undersøges nærmere i test fasen.
- Der er ikke direkte mulighed for varmegenvinding (tilbage til luften) dog kan det tænkes at der, hvis det ønskes kan kobles en varmepumpe til og genvinde luftens varme til brugsvandet (dette vil dog fordyrer systemet).
-

7 anbefalinger for det videre projektførløb

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 markedet 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

8.1 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.

El-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.

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.

8.2 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. m² 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

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 er udarbejdet af By og Byg, Institutet for Bygningsteknik ved Aalborg Universitet og er støttet af Energistyrelsens Energi-forskningsprogram 2000.

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.

9 Bilag 2. Kommenteret liste over gennemgået international litteratur.

9.1 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 300m³/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 5th 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: Indeholder håndbog og baggrundsinformation fra Annex 27 forskningsprojekt sammen med en CD med et software værktøj VENSET. £60.00 (Order Code:ANN 27 2002:1) Publikationerne kan rekvireres gennem ECBCS boghandel:

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.)

Beskrivelse: Norsk undersøgelse af boligventilation med varmegjenvinding (Norges Byggeforskningsinstitut) 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 undersøgelse 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 lyd niveauer 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.

9.2 Rapporter og Artikler

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 CO₂ 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.

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

Beskrivelse: 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 parameter, der omfatter rumlig organisering, udelufttilførsel og placering af aftræk.

Sammenfatning: Konkluderer at ensidig ventilation er mest driftssikker 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.

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/(m³/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 CO₂ 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.

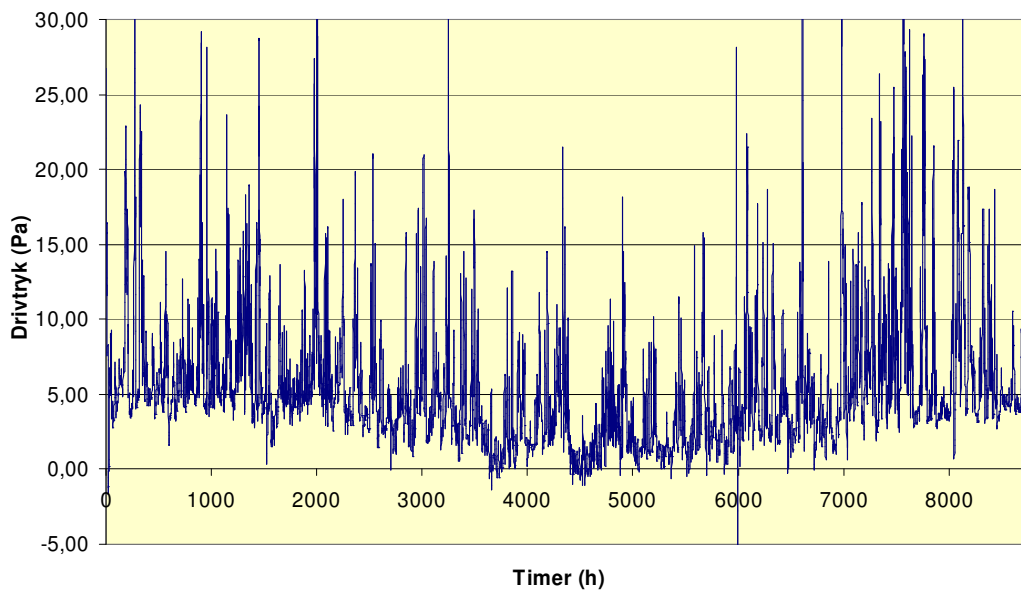
Højdeforskellen vil være 1,5 m eller mindre ved afkast placeret i facaden, mens den ved afkast gennem tag kan være 4m. Dette har betydning for den termiske opdrift i systemet

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

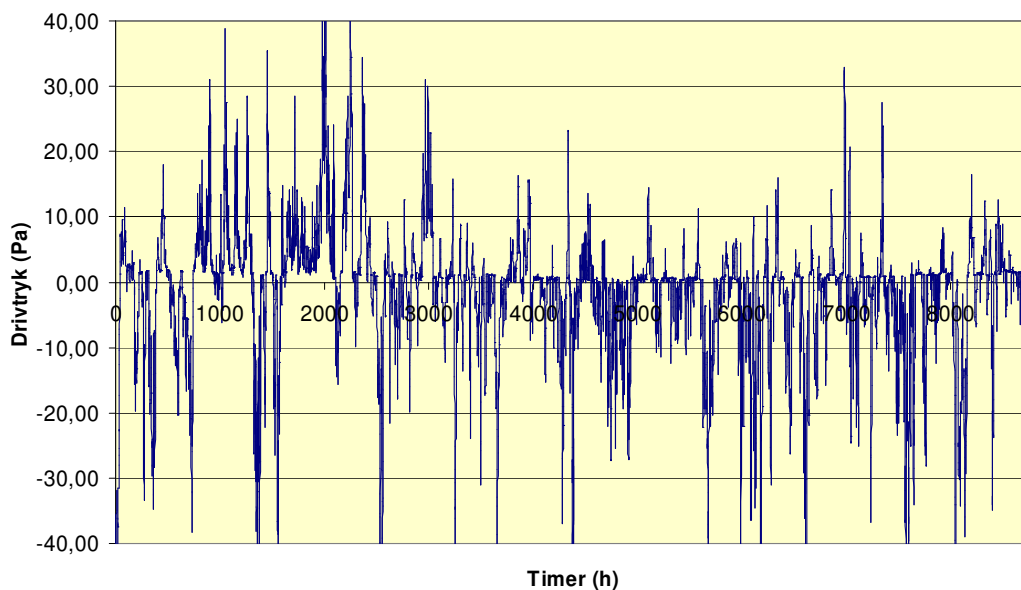
Der er i alt gennemført beregning af naturligt drivtryk for 36 forskellige situationer. De følgende to figurer viser det naturlige drivtryk for to typiske og samtidigt vidt forskellige situationer.



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

Figur X viser det naturlige drivtryk 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.

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

Figur X 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 ± 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:

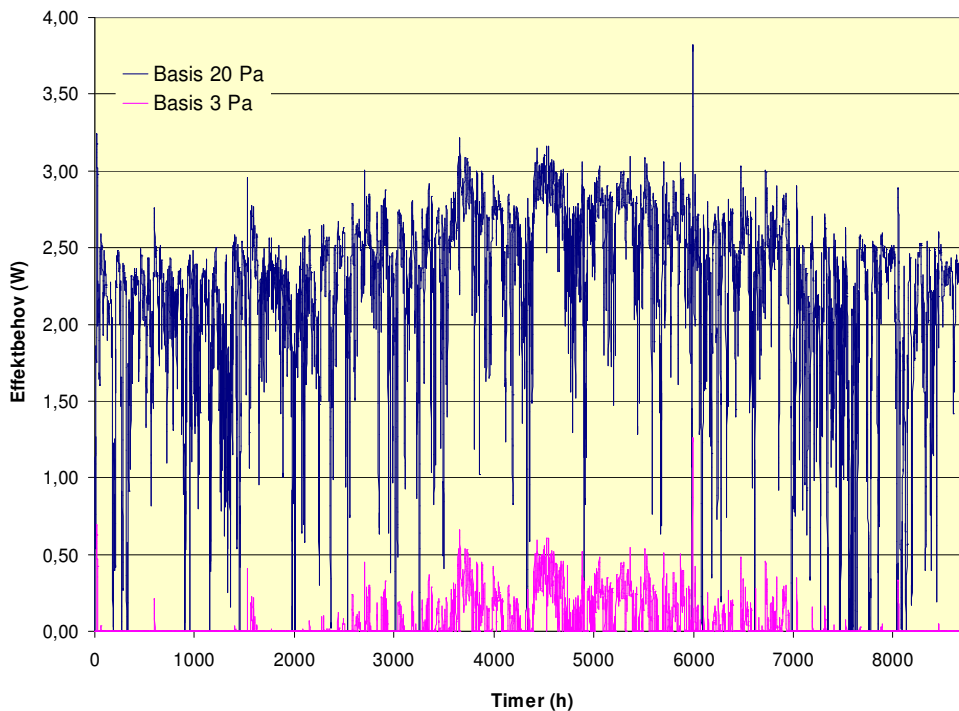
Højt drivtryk: Udsug tag, højdeforskel 4 m, indtag syd, semieksporeret, forstad

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

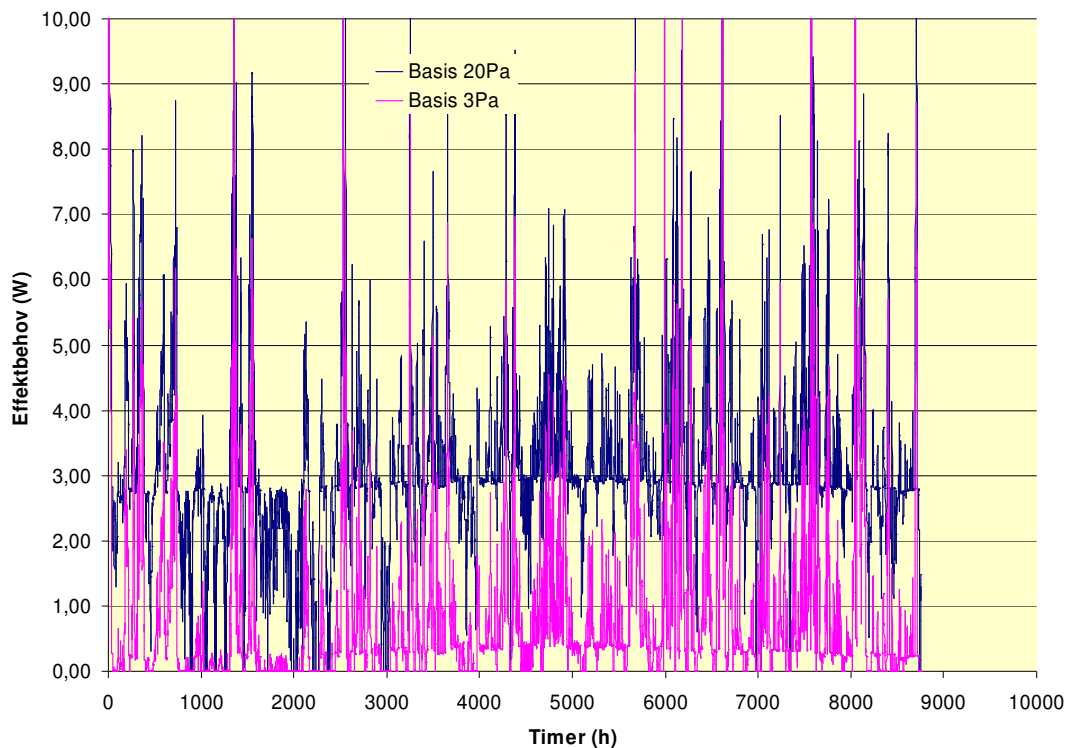
Figur Y viser effektbehovet til ventilator for hver time gennem hele året for en situation med orientering af køkken mod nord og opholdsrum mod syd. Der er regnet med udsug gennem tag og indtag gennem sydfacade. Højdeforskellen mellem indtag og aftræk er 4m (kræver at aftrækskanalen er velisoleret). 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 XX. 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		Udsug tag, indtag syd, 4m, forstad, SE			
Effektbehov	3Pa	10Pa	20Pa	67Pa	
Fraktil	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 Y. Effektbehov ventilator ved lavt naturligt drivtryk og lavt henholdsvis højt tryktab i systemet.

Figur Y 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 XX. 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

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

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

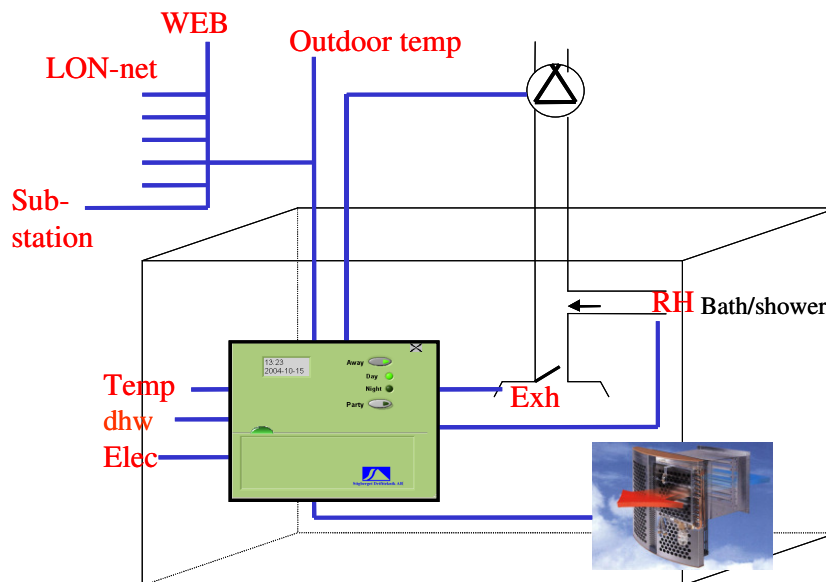
11.1 Beskrivelse af udviklede boligventilationssystemer i Reshyvent

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.

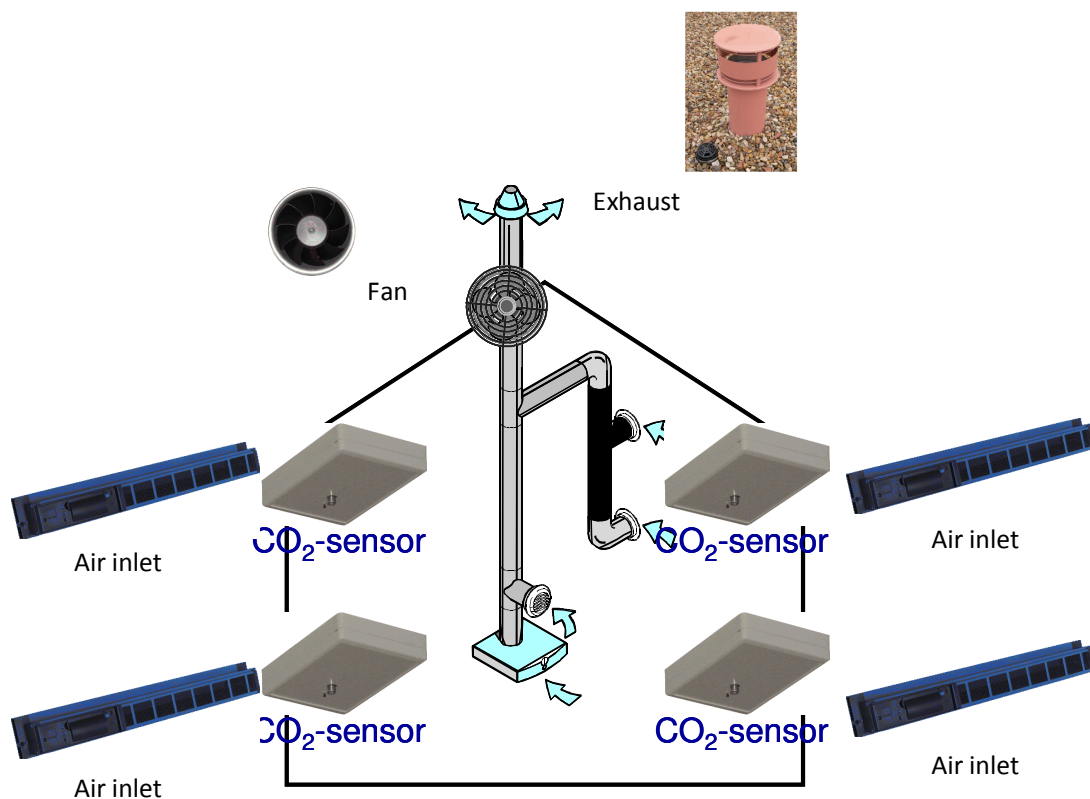
Systemet er illustreret i nedenstående figur.



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 CO₂ sensorer placeret i alle rum og fugtsensor i køkken og bad.

Systemet er illustreret i nedenstående skitse.

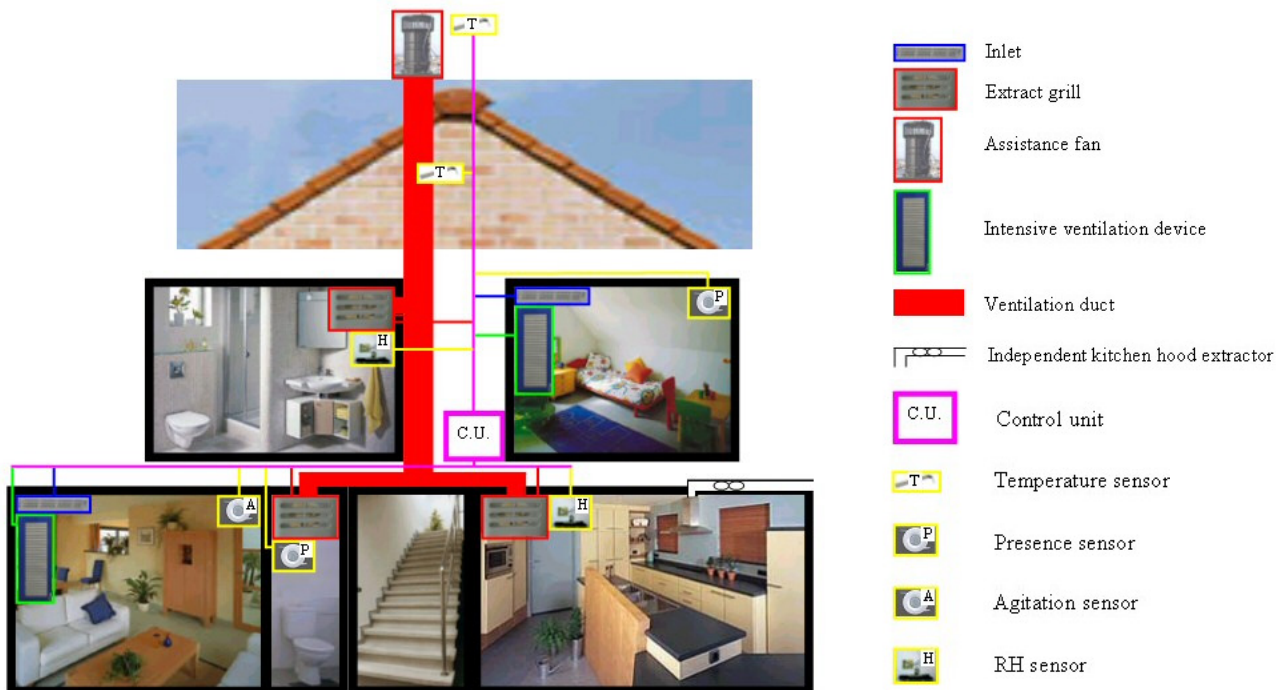


Det Fransk/Belgiske koncept

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 sommerkomfortssituationen, 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.

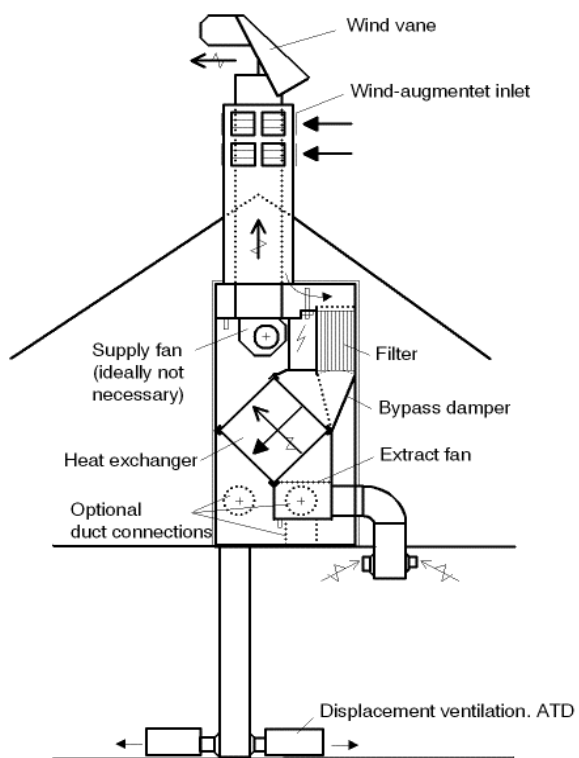
Systemet er illustreret på nedenstående skitse.



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.



11.2 Sammenfatninger af erfaringer og anbefalinger fra Reshyvent.

De sammenfattende rapporter i Reshyvent er ikke færdige endnu. Dette afsnit skrives således så snart dette materiale foreligger.