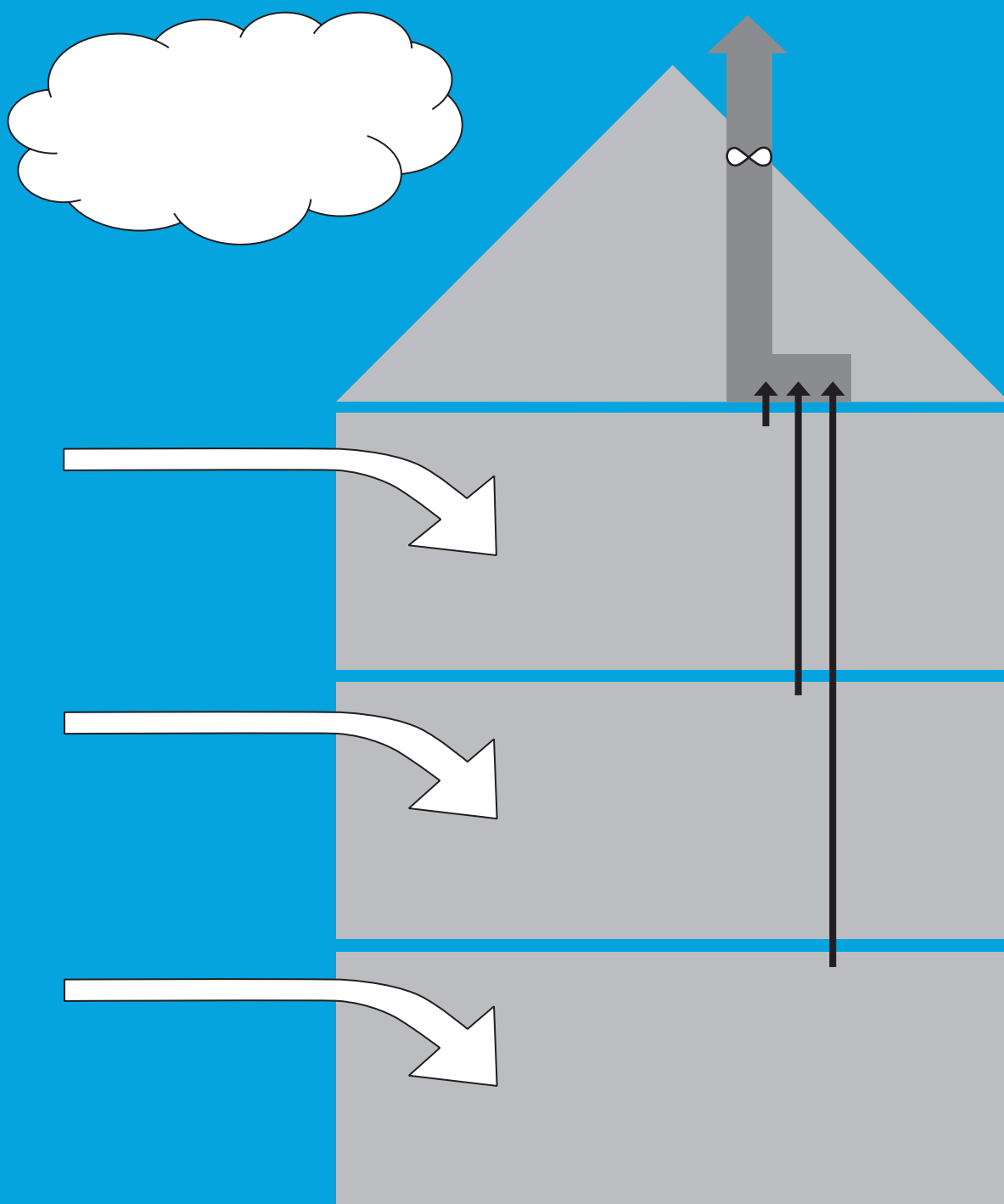


# Ventilatorunderstøttet naturlig ventilation

Afprøvning af et forsøgsanlæg i en etageejendom



SBI MEDDELELSE 121 STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1999



# Ventilatorunderstøttet naturlig ventilation

Afprøvning af et forsøgsanlæg i en etageejendom

Niels C. Bergsøe



SBI-meddelelser er foreløbige rapporteringer og beretninger om forundersøgelser, konferencer, symposier mv.  
Denne meddelelse kan frit læses og downloades fra SBI's hjemmeside: [www.sbi.dk](http://www.sbi.dk).

SBI-publikationer udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning og Beton. Publikationerne kan købes gennem boghandlen eller via et SBI-abonnement.

SBI-abonnement er en rabatordning med mange fordele for dem, der vil sikre sig løbende orientering om væsentlige udgivelser inden for byggeforskningsområdet. Ring til SBI og hør nærmere, eller slå op på SBI's hjemmeside: [www.sbi.dk](http://www.sbi.dk).

ISBN 87-563-1016-1.

ISSN 0107-4180.

Pris: 78,75 inkl. 25 pct. moms.

Omslagsillustration: Niels C. Bergsøe.

Statens Byggeforskningsinstitut

Postboks 119, 2970 Hørsholm.

Tlf. 45 86 55 33.

Eftertryk i uddrag er tilladt, men kun med kildeangivelsen:

*SBI-meddelelse 121: Ventilationsunderstøttet naturlig ventilation.*

*Afprøvning af et forsøgsanlæg i en etageejendom.*

# Indhold

Forord .....	4
Sammenfatning og konklusion .....	5
Indledning .....	7
Renovering af eksisterende etageboliger .....	7
Ventilatorunderstøttet naturlig ventilation .....	8
Fremgangsmåde .....	9
Forsøgsbygningen .....	10
Aftrækssystemet .....	11
Boligerne .....	12
Forsøgsanlægget .....	15
Sugekasse .....	15
Ventilator .....	16
Målemetoder og –procedurer .....	17
Luftskifte .....	17
Temperatur og relativ luftfugtighed .....	18
Lufthastighed og volumenstrøm .....	18
Supplerende undersøgelser .....	18
Resultater .....	19
Luftskifte .....	19
Temperatur .....	21
Relativ luftfugtighed .....	23
Udsugede volumenstrømme i boligerne .....	26
Volumenstrøm ved ventilatoren .....	27
Diskussion .....	28
Luftskifte .....	28
Temperatur, relativ luftfugtighed og fugttilførsel .....	29
Registreringer og interviews .....	29
Indregulering .....	31
Elforbrug .....	32
Konklusion og afsluttende bemærkninger .....	33
Summary .....	34
Litteratur .....	36

# Forord

Etageboliger, som er mere end ca. 20 år gamle, er almindeligvis ventileret ved naturlig ventilation. Renovering af sådanne boliger medfører, at boligerne bliver tættere, og der kan som følge heraf opstå risiko for, at ydeevnen af det naturlige ventilationssystem bliver utilstrækkelig.

Emnet for meddelelsen er et særligt boligventilationssystem, hvis funktion er baseret på udnyttelse af såvel naturlige som mekaniske drivkræfter. Meddelelsen behandler potentialet for at opnå forbedrede ventilationsforhold og lavere elbehov til ventilationen i renoverede etageboliger. Systemet er bedst egnet i ejendomme, som er i god stand, har tidssvarende indretning og installationer, og hvor det ikke er ønskeligt at gennemføre større indgreb.

Et forsøgsanlæg er installeret og afprøvet i en eksisterende etageejendom. I den forbindelse rettes en tak til boligselskabet KAB, som stillede ejendommen til rådighed for forsøgene, og til ventilationsfirmaet Exhausto A/S, som donerede forsøgsanlægget.

Meddelelsen henvender sig i første række til boligselskaber, bygningsejere, rådgivende ingeniører samt projekterende og udførende ventilationsteknikere, som beskæftiger sig med forbedring og renovering af eksisterende etageboliger.

Projektet er hovedsagelig finansieret gennem Energiministeriets Energiforskningsprogram og indgår som et delprojekt i det særlige forskningsindsatsområde "*Lavenergi*program 1990-2000" med journalnummer 1213/94-0003.

Statens Byggeforskningsinstitut  
Afdelingen for Energi og Indeklima, februar 1999  
*Erik Christophersen*, Forskningschef

# Sammenfatning og konklusion

Denne meddelelse beskriver undersøgelser i en eksisterende etageejendom af et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem. Systemet er beregnet til anvendelse i eksisterende, naturligt ventilerede etageboliger, hvor der fx i forbindelse med vinduesudskiftning kan være behov for forbedring af ventilationsforholdene, men hvor det ikke er ønskeligt at gennemføre større indgreb. Ideen er at basere ventilationen i etageboligerne på det eksisterende naturlige ventilationssystem og at supplere med mekanisk udsugning i de perioder hvor de naturlige drivkræfter er utilstrækkelige.

I korte træk består den praktiske opbygning af et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem i, at de eksisterende aftrækskanaler afkortes umiddelbart over etageadskillelsen i loftsrummet. Kanalerne tilsluttes en fælles sugkasse, som kanalforbindes med en aksialventilator monteret i tagfladen.

Med henblik på at få et nøjere kendskab til de praktiske aspekter vedrørende indbygning af et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem er et sådant system installeret og afprøvet i en eksisterende etageejendom. Det har desuden været formålet at tilvejebringe et grundlag for vurdering af mulighederne for at opnå såvel forbedrede ventilationsforhold som reduceret energiforbrug til ventilation i renoverede etageboliger.

I samarbejde med KAB Bygge- og boligadministration blev en etageejendom udvalgt til undersøgelserne. Ejendommen er i fire etager og rummer hovedsagelig boligenheder på 2 ½ værelse og ca. 60 m<sup>2</sup>. Vinduerne er relativt nye og med udeluftventiler, og fra hver boligenhed er der to separate aftrækskanaler til afkasthætter i tagryggen.

I bygningens loftsrum er der installeret et forsøgsanlæg, som betjener otte boligenheder. Udformningen af anlægget er fastlagt i samråd med ventilationsfirmaet Exhausto A/S, som desuden donerede forsøgsanlægget. Som reference for målingerne i de otte *forsøgsboliger* udvalgte otte andre boliger, *referenceboliger*, hvor ventilationen var baseret på de eksisterende udeluftventiler og aftrækskanaler.

Resultater af målingerne af boligernes luftskifte viser, at luftskiftet er højere i forsøgsboligerne end i referenceboligerne. I en 3-ugers måleperiode er det gennemsnitlige luftskifte i forsøgsboligerne målt til 0,77 gange pr. time mod 0,38 gange pr. time i referenceboligerne. Målingerne er foretaget med passiv sporgasteknik.

Volumenstrømmene i aftrækskanalerne i de enkelte boliger er bestemt ved beregning af produktet af målt lufthastighed ved kanalens åbning og åbningens tværsnitsareal. Resultaterne viser, at den udsugede volumenstrøm er noget større i forsøgsboligerne end i referenceboligerne. Den samlede udsugning i forsøgsboligerne opfylder bygningsreglementets krav til ydelsen af mekaniske udsugningsanlæg i etageboliger, hvorimod fordelingen mellem køkken og baderum ikke lever op til reglementets krav. Ubalancen skyldes formodentlig, at der ikke er indreguleringsmuligheder i forsøgsanlægget.

Det må konstateres, at undersøgelsen har slået fejl, hvad angår automatisk styring af ventilatorydelsen. Som forsøgsanlægget var udformet, var der et relativt stort tryktab gennem udsugningssystemet fra sugekasse til ventilator. De naturlige drivkræfter har derfor kun haft mindre betydning for den samlede udsugning og behovet for ventilatorunderstøtning. Ventilatoren har derfor kørt med næsten konstant, højt omdrejningstal i hele forsøgsperioden.

Det specifikke elforbrug til lufttransporten er beregnet til 0,86 W pr. l/s. Ved en optimal udformning af udsugningssystemet fra sugekasse til ventilator forventes det, at det specifikke elforbrug vil kunne reduceres til ca. 0,3 W pr. l/s svarende til i størrelsesordenen 10 W pr. boligenhed.

Undersøgelserne viser, at der generelt opnås forbedrede ventilationsforhold i boligerne, og at det kan være enklere at installere et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem fremfor et traditionelt mekanisk udsugningssystem. Forudsætningen er dog, at de eksisterende aftrækskanaler kan anvendes.

# Indledning

Med bygningsreglementet fra 1977 blev det obligatorisk at anvende mekanisk udsugning i etageboliger med indeliggende bade- og wc-rum, og med bygningsreglementet fra 1982 blev det obligatorisk at anvende mekanisk udsugning i alle etageboliger. Etageboliger, som er opført i midten af 70'erne eller før, er således almindeligvis ventileret ved naturlig ventilation. Princippet i et naturligt ventilations-system er, at indeluft fjernes fra den enkelte boligenhed gennem lodrette aftrækskanaler i køkken, bade- og wc-rum, samtidig med at erstatningsluft – udeluft – tilføres i boligens øvrige rum. Udeluften tilføres gennem åbne vinduer og eventuelle udeluftventiler. Desuden vil der navnlig i ældre etageboliger forekomme en vis udelufttilførsel gennem tilfældige utætheder i klimaskærmen.

Funktionen af et naturligt ventilationssystem er baseret på naturbetingede drivkræfter, og systemets ydeevne afhænger af udeklimaet. Systemets funktion bygger primært på forskellen mellem indeluftens og udeluftens temperatur, men også vindpåvirkning af bygningen har indflydelse. Stigende udetemperatur, dvs. mindre temperaturforskelle inde/ude, medfører faldende ventilation, og der opnås høj ventilation ved koldt og blæsende vejr. En nærmere beskrivelse af de naturbestemte mekanismer, som medvirker til at drive luft ind og ud af en bygning, findes i fx [1] og [5].

## *Renovering af eksisterende etageboliger*

Renovering af en eksisterende etageejendom kan for eksempel omfatte udskiftning af vinduer, efterisolering af ydervægge og tag samt generel tætning af lækager i klimaskærmen. I visse tilfælde kan der desuden indgå forbedring eller udskiftning af tag og renovering af facader. Derimod tillægges ventilationen i boligerne ikke altid den nødvendige opmærksomhed. En renovering vil almindeligvis medføre, at boligerne bliver mere tætte, og der vil derfor være en forøget risiko for, at der opstår fugtskader på bygningen og et utilfredsstillende indeklima i den enkelte bolig, hvis ventilationen er utilstrækkelig. En renovering vil således hyppigt medføre, at der efterfølgende må stilles skærpede krav både til ventilationssystemets ydeevne og til beboernes handle-måde, så den nødvendige ventilation sikres.

Såfremt det vurderes, at det i forbindelse med en renovering af en eksisterende etageejendom kan være aktuelt samtidig at gøre en særlig indsats for at sikre tilfredsstillende ventilationsforhold i de enkelte boligenheder, kommer et traditionelt mekanisk udsugningssystem ofte i betragtning. En sådan installation kan imidlertid – foruden at være generende for beboerne – være en kostbar operation, blandt andet fordi installationen kan medføre tidskrævende og omfattende bygningsarbejder såvel i de enkelte boliger som i bygningens loftsrum. Desuden må de direkte udgifter til ventilatorens elforbrug samt løbende omkostninger til drift og vedligehold tages i betragtning.

## *Ventilatorunderstøttet naturlig ventilation*

For at undgå nogle af de vanskeligheder, der kan optræde i forbindelse med installation af et traditionelt mekanisk udsugningssystem i en eksisterende etageejendom, kan navnlig systemer som drager nytte af de bestående aftrækskanaler komme på tale. Der findes forskellige varianter af sådanne systemer. Én variant er et såkaldt ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem. Ideen med systemet er at basere ventilationen i boligerne på det eksisterende naturlige ventilationssystem, det vil principielt sige aftrækskanaler og eventuelle ude-luftventiler, men at supplere med mekanisk udsugning i de perioder hvor udeklimaet er af en sådan karakter, at de naturlige drivkræfter er utilstrækkelige. Tanken er således at drage nytte af de funktionsmæssigt og energimæssigt gunstige egenskaber, der rummes i et naturligt ventilationssystem, men samtidig at rette op på systemets mangler herunder dets afhængighed af udeklimaet. Sammenlignet med et traditionelt mekanisk udsugningssystem opnås generelt et mere enkelt ventilationssystem, som kan være hurtigere og billigere at installere, lettere at vedligeholde, og som har et lavere el-forbrug.

Komponenterne i systemet består i hovedsagen af en sugekasse og en lavtryks aksialventilator. I korte træk består den praktiske opbygning i, at bygningens eksisterende aftrækskanaler afkortes over etageadskillelsen i loftsrummet over den øverste beboelsesetage, og i stedet tilsluttes en fælles sugekasse. Sugekassen kanalforbindes med en aksialventilator, som monteres i tagfladen. Ofte er aftrækskanalerne fra boligenhederne ført lodret op gennem bygningen i klynger fx svarende til en opgang. I praksis kan aftrækskanalernes tilslutning til sugekassen således ske ved, at sugekassen anbringes henover en klynge af de afkortede aftrækskanaler. Af hensyn til bedst mulig udnyttelse af de potentielle naturlige drivkræfter bør kanalforbindelsen mellem sugekassen og ventilatoren være kort, lodret og med stor diameter, og ventilatoren bør anbringes i eller nær bygningens tagryg.

Et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem rummer en række karakteristiske egenskaber, hvoraf kort kan nævnes:

- + installationen kræver relativt små indgreb i bygningen
- + de eksisterende aftrækskanaler kan udnyttes
- + naturlige drivkræfter anvendes, så længe de er tilstrækkelige
- + der kan opnås en mere stabil ventilation i de enkelte boligenheder end ved naturlig ventilation
  
- installation af sugekasse og ventilator i loftsrummet reducerer aftrækskanalernes effektive højde, hvilket resulterer i et formindsket termisk drivtryk
- ved stilstand vil ventilatoren kunne hindre fri passage for luften, hvorved der vil være et forøget tryktab i det samlede system
- risiko for støjgener fra ventilatoren, navnlig i de øverste boligenheder i bygningen

# Fremgangsmåde

Et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem er installeret og afprøvet i en eksisterende etageejendom. Formålet har været at tilvejebringe et grundlag for vurdering af mulighederne for i renoverede etageboliger at opnå såvel forbedrede ventilationsforhold (i forhold til naturlig ventilation) som reduceret elforbrug til ventilatordriften (i forhold til traditionel mekanisk udsugning). Samtidig har det været målet at få et nøjere kendskab til de praktiske aspekter, som må tages i betragtning, i forbindelse med indbygning af et sådant system i en eksisterende etageejendom.

I samråd med KAB Bygge- og boligadministration, som havde udtrykt interesse for systemet, blev en egnet etageejendom udvalgt til undersøgelserne. Etageejendommen er nærmere beskrevet i kapitlet *Forsøgsbygningen* side 10. Desuden blev der taget kontakt til ventilationsfirmaet Exhausto A/S. Formålet var at drage nytte af firmaets erfaringer inden for boligventilation og i fællesskab fastlægge en grundlæggende systemopbygning. Opbygningen er beskrevet i kapitlet *Forsøgsanlægget* side 15.

Projektering af forsøgsanlægget og efterfølgende byggeledelse og tilsyn er gennemført efter normal praksis. Et rådgivende ingeniørfirma blev engageret til at foretage detailprojektering og udarbejdelse af fagbeskrivelser og udbudsmateriale. Af hensyn til rationel kommunikation mellem rådgiver og bygherre valgtes ingeniørfirmaet Wissenberg as, som er det rådgivende ingeniørfirma, boligselskabet almindeligvis anvender i rådgivningsspørgsmål. Ved forskriftsmæssigt udbudsbrev anmodede ingeniørfirmaet på vegne af bygherren to VVS entreprenørfirmaer om at afgive tilbud på arbejderne. Det ene af tilbuddene blev accepteret.

Af økonomiske årsager blev det besluttet at installere kun ét anlæg. I den valgte bygning betjente anlægget otte boligenheder. De otte boligenheder betegnes *forsøgsboligerne*. Som reference for målingerne i forsøgsboligerne udvalgte otte andre boliger, hvor ventilationen var baseret på de eksisterende udeluftventiler og aftrækskanaler. Disse boliger betegnes *referenceboligerne*.

Der er foretaget systematiske registreringer i de enkelte boliger. I såvel forsøgsboligerne som referenceboligerne er der foretaget langtidsmålinger af ventilationen, rumluftens temperatur og relative fugtighed. Desuden er der i samtlige boliger foretaget momentane målinger af udsugede volumenstrømme ved aftrækskanalerne. I loftsrummet er der foretaget kontinuerte målinger af lufthastigheden i udsugningskanalen – dvs. ventilationskanalen som forbinder sugekassen med ventilatoren – samt enkelte tekniske målinger på selve ventilationsaggregatet. Endelig er der gennemført et kortfattet interview af beboerne i både forsøgs- og referenceboligerne.

# Forsøgsbygningen

Figur 1 og figur 2 viser etageejendommen, som boligselskabet udpegede, og som blev anvendt ved forsøgene. Bygningen er i fire etager og rummer fem trappeopgange. Undersøgelsen blev gennemført i to trappeopgange midt i bygningen, hvor der er to boligenheder på hver etage.



*Figur 1. Forsøgsbygningens "altanfacade". Mellem bygningen og en moderat trafikeret vej er der et smalt grønt areal.*

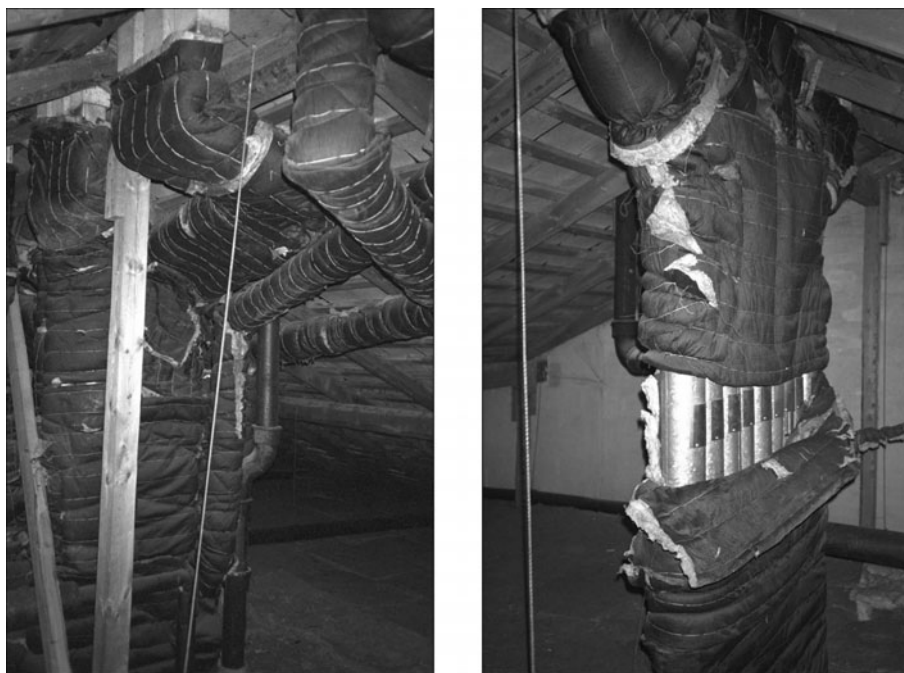


*Figur 2. Forsøgsbygningens "opgangsfacade".*

## Aftrækssystemet

Boligerne er naturligt ventilerede. Aftrækssystemet er et såkaldt separatsystem. Fra hver boligenhed er der to separate kanaler – én fra køkken og én fra baderum – til afksthætter på taget. Boligerne er orienteret således, at køkken og baderum i boligenhederne i højre side af én trappeopgang støder op til køkken og baderum i boligenhederne i venstre side af naboopgangen. Der fremkommer herved en klynge tætstående aftrækskanaler, som føres op gennem bygningen samlet. I bygningens loftsrum består klyngen af 16 kanaler.

Kanalerne, som løber lodret gennem bygningen, er rektangulære eternitkanaler med indvendig dimension  $150 \times 200$  mm. Eternitkanalerne udmunder i loftsrummet 15-20 cm over etageadskillelsen. Forbindelsen mellem aftrækskanalernes udmundning over etageadskillelsen og aftrækshætterne i tagryggen er runde ventilationskanaler af galvaniseret plade med en diameter på 160 mm. Pladekanalerne er kondensisolerede og forsynet med renselemme. Figur 3 viser loftsrummet med forbindelserne mellem aftrækskanalernes udmundning og aftrækshætterne i tagryggen.



Figur 3. I loftsrummet forbinder runde, kondensisolerede pladekanaler de lodrette rektangulære eternitkanaler med aftrækshætterne i tagryggen. Til venstre ses en klynge på 16 aftrækskanaler fra 8 boligenheder. Til højre ses en anden klynge af trækskanaler, hvor kondensisoleringen er skåret op for at vise renselemmene i pladekanalerne.

Samlingen mellem de rektangulære eternitkanaler og de runde ventilationskanaler i galvaniseret plade sker ved, at de runde kanaler er klemt ovale ( $160 \text{ mm} \rightarrow 150 \text{ mm}$ ) og stukket ned i eternitkanalerne. Samlingen mellem pladekanalerne og taghætterne er foretaget på samme måde. Samlingerne er ikke tætnet.

Aftrækshætterne, eternit-ventilationsrygningssten, er anbragt i bygningens tagryg. Aftrækshætterne findes i forskellige bredder. I de bredeste taghætter udmunder tre aftrækskanaler, i de smallere to kanaler og i de mindste hætter udmunder en enkelt kanal. Figur 4 viser et eksempel.

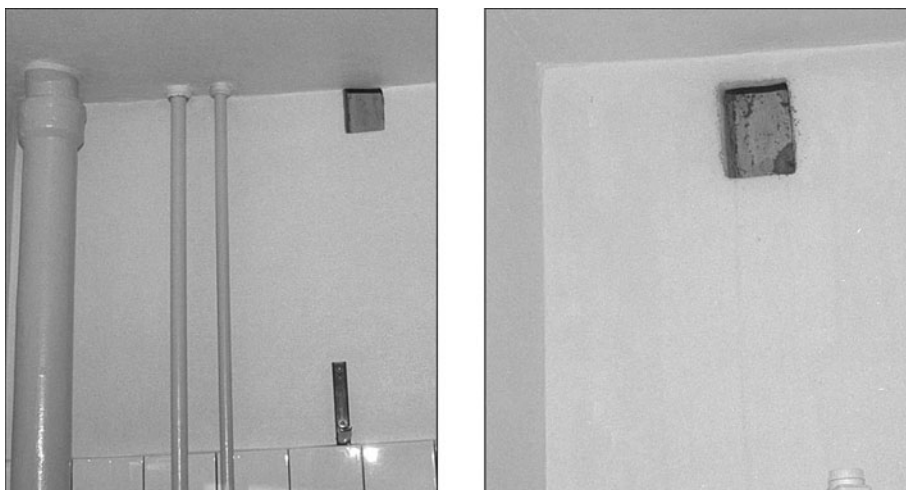


Figur 4. Fire aftrækshætter, eternit-ventilationsrygningssten, i forsøgsbygningens tagryg. Fra venstre ses to hætter som hver rummer tre aftrækskanaler, én hætte som rummer to aftrækskanaler og én hætte som rummer én aftrækskanal.

## Boligerne

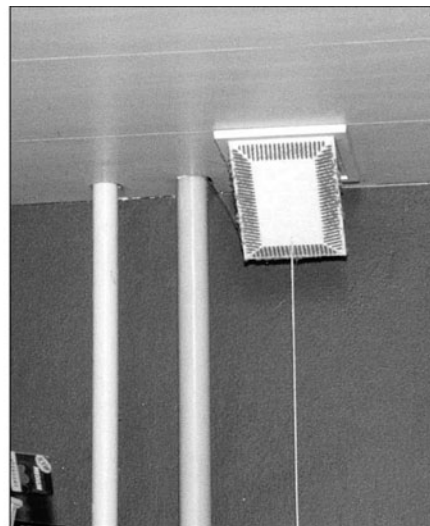
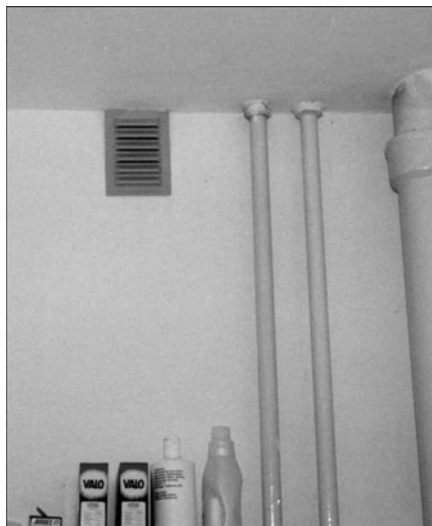
Samtlige boliger, som indgik i undersøgelsen, er på 2 ½ værelse og har et nettoetageareal på lidt under 60 m<sup>2</sup>.

Boligerne har indeliggende baderum, og de lodrette, rektangulære aftrækskanaler står omtrent i centerlinien i bygningens længderetning. Aftrækskanalernes udmunding er anbragt vinkelret på kanalens længderetning. I størsteparten af boligerne, som indgik i undersøgelsen, er aftrækskanalens udmunding uafskærmet, dvs. uden ventil, rist, trådned eller lignende. Figur 5 viser to typiske eksempler.



Figur 5. To typiske eksempler på aftrækskanalens udmunding i boligen.

I én bolig, en referencebolig, var der en rist foran munden såvel i køkkenet som i baderummet, og i en anden bolig, en forsøgsbolig, var der en rist i køkkenet og en plast-klapventil i baderummet. Klapventilen var monteret i et nedhængt loft, hvorved der er introduceret en ekstra bøjning i aftrækket. Figur 6 viser et eksempel på en rist og plast-klapventilen.



Figur 6. Rist og plast-klapventil.

I to boliger, en forsøgsbolig og en referencebolig, var der monteret en emhætte i køkkenet. I begge tilfælde var der ført en kanal med en længde på 5-6 m fra emhætten til aftrækskanalen. Figur 7 viser ét af køkkenerne med emhætte.



Figur 7. I to boliger, en forsøgsbolig og en referencebolig, var der en emhætte i køkkenet. I begge tilfælde var kanalen mellem emhætten og aftrækskanalen 5-6 m lang og ført i en inddækning langs loftet.

Vinduerne er nogle få år gamle og har udeluftventiler integreret i vinduesrammerne. Figur 8 viser et eksempel.



*Figur 8. Udeluftventil integreret i vinduesrammen.*

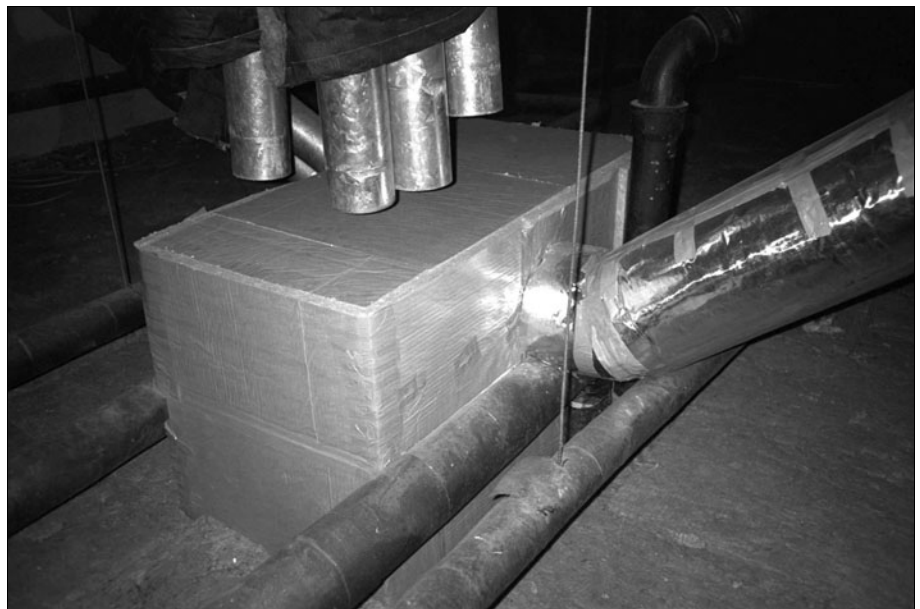
# Forsøgsanlægget

Forsøgsanlægget er anbragt i ejendommens loftsrums. Anlægget består i hovedtrækkene af en specielt tilpasset sugekasse og en tagventilator, som er indbyrdes forbundet med en lyd-dæmper og ventilationskanal.

## *Sugekasse*

Anlægget betjener otte boligenheder (forsøgsboligerne); fire boligenheder i højre side af én trappeopgang og fire boligenheder i naboopgangens venstre side. De 16 rektangulære eternit-aftrækskanaler fra forsøgsboligerne udmunder i en klynge i loftsrumsrummet 15-20 cm over etageadskillelsen. Samtlige 16 pladekanaler ( $d = 160$  mm), som forbinder eternitkanalerne med aftrækshætterne i tagryggen, er demonteret, og over eternitkanalernes munding er der anbragt en sugekasse. Sugekassen er specielt tilpasset de eksisterende forhold, og den har dimensionerne ca.  $120 \times 70 \times 80$  cm ( $l \times b \times h$ ). Kassen er fremstillet i galvaniseret plade og kondensisoleret med 30 mm mineraluld. Figur 9 viser sugekassen.

Inden montering af sugekassen over eternitkanalernes munding er alle sprækker mellem eternitkanalerne og betondækket tætnet. Ligeledes er der tætnet mellem sugekassen og betondækket efter montering af kassen. Sugekassen er fastgjort til betondækket med bolte.



Figur 9. Sugekasse anbragt over eternitkanalernes udmunding i loftsrumsrummet. Sugekassen er kondensisoleret med 30 mm mineraluld. Over kassen ses de afskårne pladekanaler, som oprindeligt forbandt eternitkanalerne med aftrækshætterne i tagryggen. Kanalerne er bevaret af hensyn til senere retablering af forholdene. Langs kassens langsider ses isolerede varmerør. Den skrå ventilationskanal til højre forbinder sugekassen med tagventilatoren.

## Ventilator

Ventilatoren er fabrikat Exhausto, type røgsuger RSV 16-4. Ventilatoren har en aksialvinge af rustfrit stål og en motor på  $1 \times 230$  V med trinløst regulerbart omløbstal. Ventilatoren er monteret i en taggennemføring fabrikat Exhausto, type TKG 315-600, som er placeret i tagfladen nær tagryggen. Ventilatoren er isoleret fra taggennemføringen ved hjælp af svingningsdæmpere. Kanaltilslutningen på ventilatoren har en diameter på 315 mm, og i forbindelse med ventilator og taggennemføring er der monteret en lyd-dæmper fabrikat Lindab, type SLBU 315-1200. Figur 10 viser ventilator og lyd-dæmper.



Figur 10. Taggennemføringen set inde fra loftsrummet. Udsugningsventilatoren er monteret i en taggennemføring i tagfladen, så afkastet højdemæssigt er over bygnings tagryg. Under taggennemføringen og udsugningsventilatoren ses lyd-dæmperen.

Kanalen mellem lyd-dæmperen og sugekassen har en diameter på 250 mm, og den er kondensisoleret med 30 mm mineraluld. I kanalen er der anbragt en måleblænde fabrikat Halton, type MSD 250.

Ventilatoren styres ved konstanttrykregulator fabrikat Exhausto, type KTR 20 med tilhørende XT-sensor. Tryktransducere registrerer differensstrykket over måleblænden, og via et elektronisk kredsløb overføres signalet til en elektronisk hastighedsregulator, som tilpasser ventilatormotorens omløbstal, så der opretholdes en konstant volumenstrøm.

# Målemetoder og –procedurer

Der er foretaget målinger både i forsøgsboligerne, i referenceboligerne og på forsøgsanlægget i loftsrummet. Desuden er der foretaget registreringer i boligerne, supplerende målinger både i boligerne og i loftsrummet, og der er gennemført korte interviews af beboerne.

## *Luftskifte*

Undersøgelser af ventilationen i boligerne er gennemført i form af målinger af den gennemsnitlige udelufttilførsel. Den målte udelufttilførsel er sat i forhold til boligens volumen, hvorved der opnås et udtryk for luftskiftet. Målingerne er udført ved hjælp af passiv multisporgasteknik, den såkaldte PFT-metode. PFT står for *Perfluorcarbon Tracer* – de anvendte sporgastyper er perfluorcarboner, som er organiske forbindelser af perfluoralkylcycloalkan-familien.

PFT-metoden er en sporgasmetode efter konstant-dosering princippet. Ideen i metoden er, at sporgas frigives kontinuert og passivt fra nogle små sporgaskilder, mens registreringen af den gennemsnitlige sporgaskoncentration i rumluften sker ved passiv opsamling i adsorptionsrør. En sporgaskilde består af et metalhylster ( $l = 32$  mm,  $d = 6,6$  mm) lukket med en silikoneprop, hvorigennem sporgassen diffunderer. Et adsorptionsrør består af et glasrør ( $l = 64$  mm,  $d = 6,4$  mm), som indeholder en adsorbent beslægtet med aktivt kul. Adsorptionsrørene analyseres i laboratoriet ved hjælp af termisk desorption og gaschromatografi. Målinger med PFT-metoden gennemføres over en periode, og erfaringer har vist, at ved målinger i beboede boliger er en måleperiode på 1-2 uger passende. Derved bestemmes den gennemsnitlige udelufttilførsel i måleperioden. Måleresultatet, eventuelt omregnet til et luftskifte, er således et realistisk udtryk for den i praksis forekommende gennemsnitlige ventilation, idet husstandens almindelige brug af boligen, fx udluftningsvaner, indgår i resultatet.

Der er gennemført PFT-målinger i boligerne i tre på hinanden følgende perioder hver af ca. 1 uges varighed. Målingerne er gennemført i en opvarmningsperiode.

Det er med PFT-metoden muligt at anvende op til tre forskellige sporgastyper samtidigt. En boligenhed kan derfor opdeles i zoner, så også interne luftudvekslinger mellem zonerne kan bestemmes. Bestemmelsen forudsætter dog, at boligenheden også i ventilationsmæssig sammenhæng består af adskilte zoner. I denne undersøgelse er alle PFT-målingerne gennemført som fler-zone målinger.

Det matematiske grundlag for beregning af udelufttilførslen på baggrund af målinger med PFT-metoden indebærer, at metoden er behæftet med en ensidig, metodisk fejl, som medfører en systematisk undervurdering af den gennemsnitlige udelufttilførsel. Det skønnes, at fejlen i praksis vil være højst  $-15$  pct. Metodens tilfældige fejl skønnes at være i størrelsesordenen  $\pm 10-15$  pct. En nøjere redegørelse for usikkerheder og fejlkilder ved måling med PFT-metoden findes i [2], hvor også metodens udstyr og anvendelse er nærmere beskrevet.

## *Temperatur og relativ luftfugtighed*

Målinger af temperaturen og rumluftens relative fugtighed er foretaget ved hjælp af programmerbare, elektroniske minidataloggere, fabrikat Orion Components, type TinyTalk. Der er anvendt individuelle dataloggere for henholdsvis temperatur og relativ fugtighed, og både i forsøgsboligerne og i referenceboligerne er der foretaget målinger af begge parametre i såvel køkken som baderum. I hver bolig har der således været anbragt i alt fire dataloggere. De målte parametre er registreret hvert 24. minut, som er én af standardindstillingerne for de pågældende dataloggere.

## *Lufthastighed og volumenstrøm*

Der er foretaget målinger af lufthastigheden dels ved aftrækskanalernes munding i de enkelte boliger dels i ventilationskanalen i loftsrummet mellem sugekassen og ventilatoren. På grundlag af henholdsvis aftræksåbningernes tværsnitsarealer og ventilationskanalens dimension, er de tilsvarende volumenstrømme beregnet.

Lufthastighedsmålingerne ved aftrækskanalerne i boligerne er foretaget som momentane målinger ved traversering med et vingehjulsanemometer fabrikat Schiltknecht, type Mini-air I. Målingerne er foretaget, mens forsøgsanlægget var i drift.

Lufthastighedsmålinger i ventilationskanalen i loftsrummet er indledningsvis foretaget manuelt ved traversmåling efter gældende principper. Målingerne er foretaget med varmetrådsanemometer fabrikat Dantec, type Flowmaster Precision Anemometer 54 N 60 med tilhørende føler, type 54 R 20. Efterfølgende lufthastighedsmålinger er foretaget ved automatisk, kontinuert registrering, hvor føleren har været anbragt i centrum af kanaltværsnittet. Det elektriske udgangssignal fra anemometret er opsamlet af en datataker type DT-100 og derpå lagret på en bærbar computer.

## *Supplerende undersøgelser*

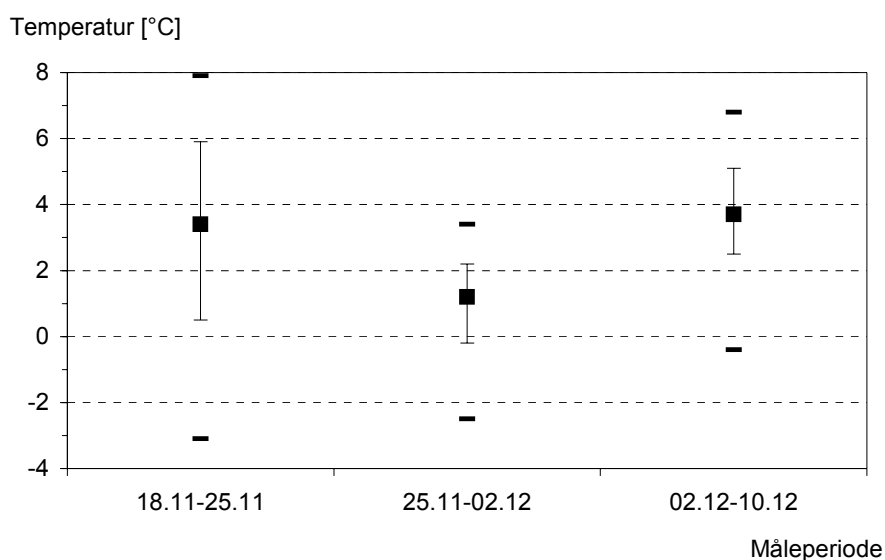
I samtlige boliger er der foretaget en systematisk registrering, blandt andet ved anvendelse af fotos, af aftræksforholdene i køkken og baderum. Formålet har været at registrere, dels om beboerne har blokeret aftrækskanalerne fx ved tilstopning med aviser, klude eller lignende, dels om der foran kanalmundingen er et trådnet, en rist, en udsugningsventil eller lignende. Desuden er eksistens og type af eventuel emhætte i køkkenet og udsugningsventilator i baderum registreret.

Der er gennemført et kort interview af beboerne i såvel forsøgsboligerne som referenceboligerne. Interviewet har især haft til formål at tilvejebringe et overordnet indtryk af beboernes brug af boligen, navnlig med henblik på at fastslå om brugen af nogle af boligerne skiller sig ud fra de øvrige, og om der forekommer signifikante afvigelser i øvrigt.

# Resultater

Én forsøgsbolig måtte udgå af undersøgelsen, idet boligen ville være underkastet langvarig istandsættelse i forbindelse med indflytning af nye beboere. Desuden var det nødvendigt at erstatte én referencebolig med en anden, idet den oprindelige bolig ville være permanent ubeboet i forsøgsperioden.

Undersøgelser og målinger er gennemført i november og december 1996. Figur 11 viser ugeværdier fra DMI for udetemperaturen i de tre måleperioder.

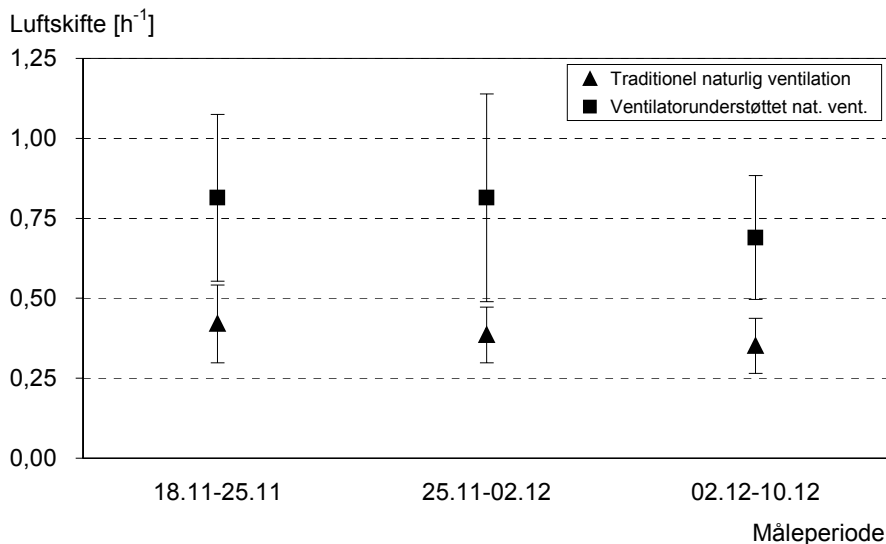


Figur 11. Udetemperaturer i tre måleperioder. Ugemiddeltemperaturen er markeret ved ■. Intervallerne omkring ugemiddeltemperaturen angiver middelmaksimum- og middelmimumtemperaturer. Desuden er de enkelte måleperioders absolutte minimum- og maksimumtemperaturer markeret ved —.

## Luftskifte

I hver af boligerne er der gennemført tre på hinanden følgende PFT-målinger. I alt er der gennemført 45 sporgasmålinger. Sættes den målte gennemsnitlige udelufttilførsel i forhold til boligens totale volumen, fås boligens gennemsnitlige totalluftskifte i perioden. Figur 12 viser middelværdier for hver af de tre måleperioder af de målte gennemsnitlige totalluftskifter.

Forsøgsboligerne er beliggende "ryg mod ryg" i to naboopgange, som betegnes henholdsvis A og B. Referenceboligerne er beliggende i opgang A's venstre side (3 boliger) og opgang B's højre side (4 boliger). Én referencebolig er beliggende i en tredje opgang, betegnet opgang C. Tabel 1 og figur 13 viser det målte gennemsnitlige totalluftskifte i de enkelte boliger identificeret ved opgang og etage.

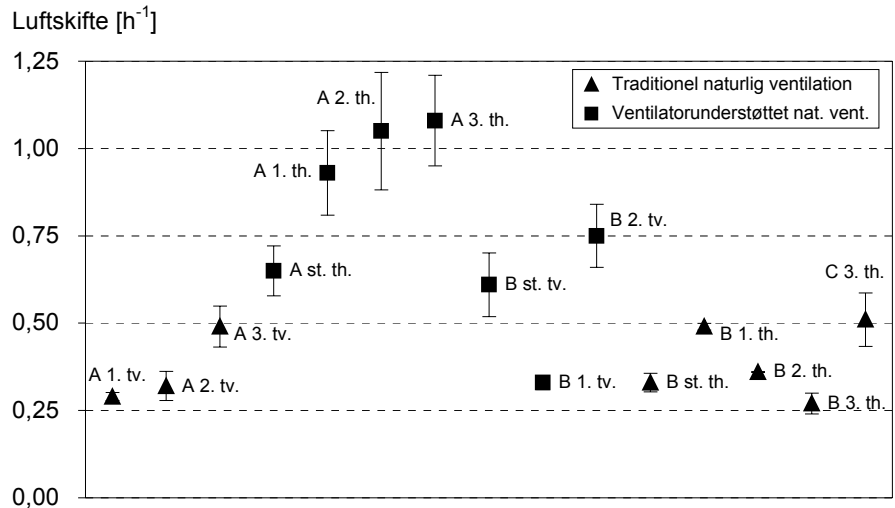


Figur 12. Middelværdier – i tre på hinanden følgende måleperioder – af det gennemsnitlige luftskifte målt i boliger med henholdsvis ventilatorunderstøttet naturlig ventilation (7 forsøgsboliger, markeret ved ■) og traditionel naturlig ventilation (8 referenceboliger, markeret ved ▲). Usikkerhedsintervallet omkring de enkelte middelværdier angiver én gange standardafvigelsen på middelværdien.

Tabel 1. Gennemsnitligt totalluftskifte i referenceboliger og forsøgsboliger i hele forsøgsperioden, ca. 3 uger.

Opgang og etage	Gennemsnitligt totalluftskifte [ $\text{h}^{-1}$ ] $\pm$ SD <sup>1</sup>	
	Referenceboliger (traditionel naturlig ventilation)	Forsøgsboliger (ventilatorunderstøttet naturlig ventilation)
Opg. A, 1. tv.	0,29 $\pm$ 0,01	
Opg. A, 2. tv.	0,32 $\pm$ 0,04	
Opg. A, 3. tv.	0,49 $\pm$ 0,06	
Opg. A, st. th.		0,65 $\pm$ 0,07
Opg. A, 1. th.		0,93 $\pm$ 0,12
Opg. A, 2. th.		1,05 $\pm$ 0,17
Opg. A, 3. th.		1,08 $\pm$ 0,13
Opg. B, st. tv.		0,61 $\pm$ 0,09
Opg. B, 1. tv.		0,33 $\pm$ 0,02
Opg. B, 2. tv.		0,75 $\pm$ 0,09
Opg. B, st. th.	0,33 $\pm$ 0,03	
Opg. B, 1. th.	0,49 $\pm$ 0,01	
Opg. B, 2. th.	0,36 $\pm$ 0,00	
Opg. B, 3. th.	0,27 $\pm$ 0,03	
Opg. C, 3. th.	0,51 $\pm$ 0,08	

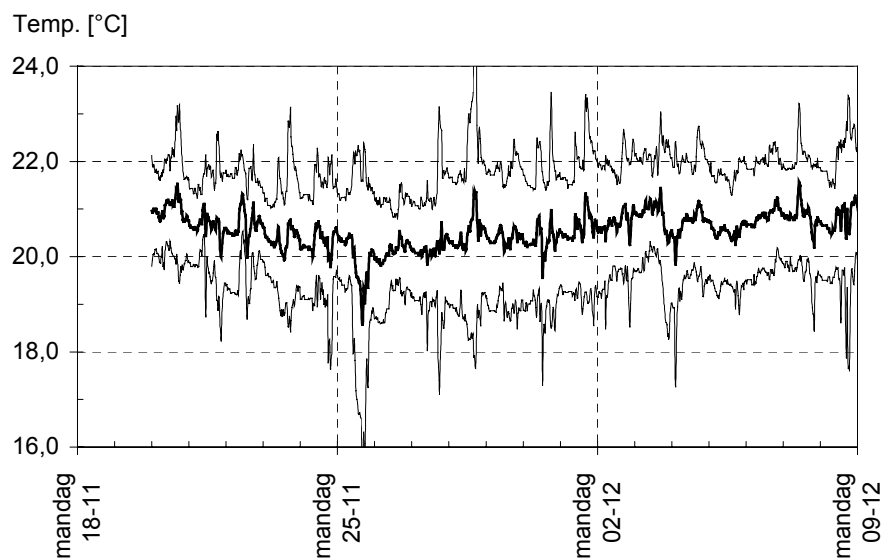
<sup>1</sup>SD = Standardafvigelse



Figur 13. Gennemsnitligt luftskifte i hele forsøgsperioden, ca. 3 uger. Resultaterne for referenceboligerne er markeret ved ▲, og resultaterne for forsøgsboligerne er markeret ved ■. Usikkerhedsintervallet omkring middelværdierne angiver én gange standardafvigelsen. Måleresultaterne er arrangeret fra venstre mod højre på følgende måde: Opgang A venstre side (3 referenceboliger), opgang A højre side (4 forsøgsboliger), opgang B venstre side (3 forsøgsboliger), opgang B højre side (4 referenceboliger) og opgang C (én referencebolig).

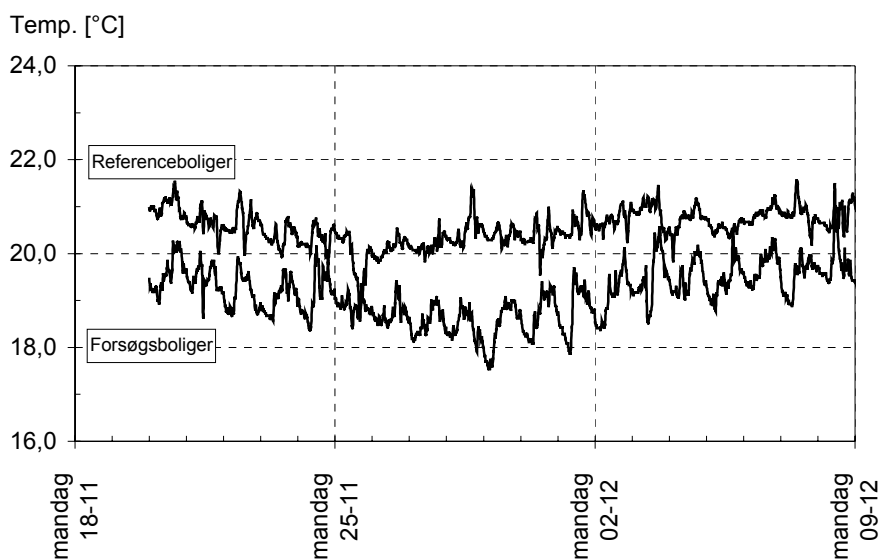
## Temperatur

Ved anvendelse af minidataloggere er der foretaget kontinuerte registreringer af temperaturen i boligernes køkkener og baderum. Figur 14 viser resultater af målinger i køkkenet i 8 referenceboliger.

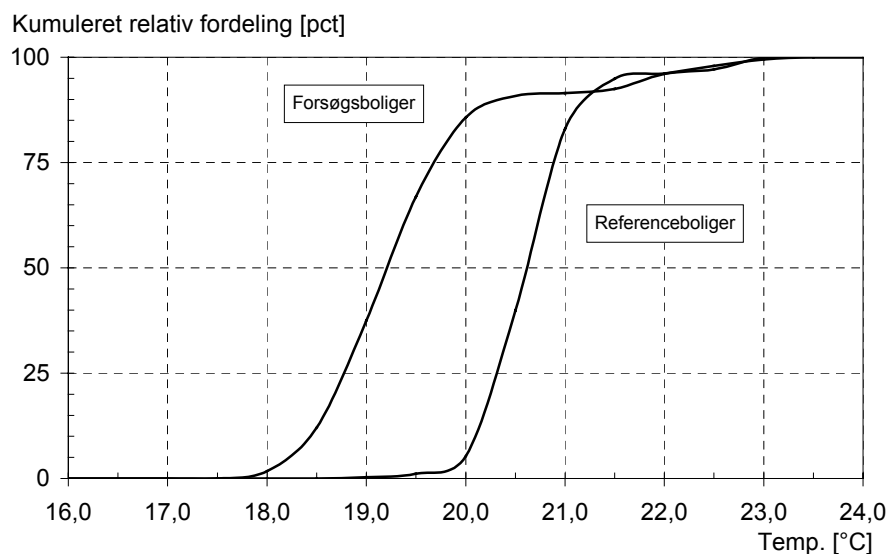


Figur 14. Gennemsnitstemperatur i køkkenet i 8 referenceboliger angivet ved kraftig kurve. De tyndere kurver angiver én gange standardafvigelsen på gennemsnitstemperaturen.

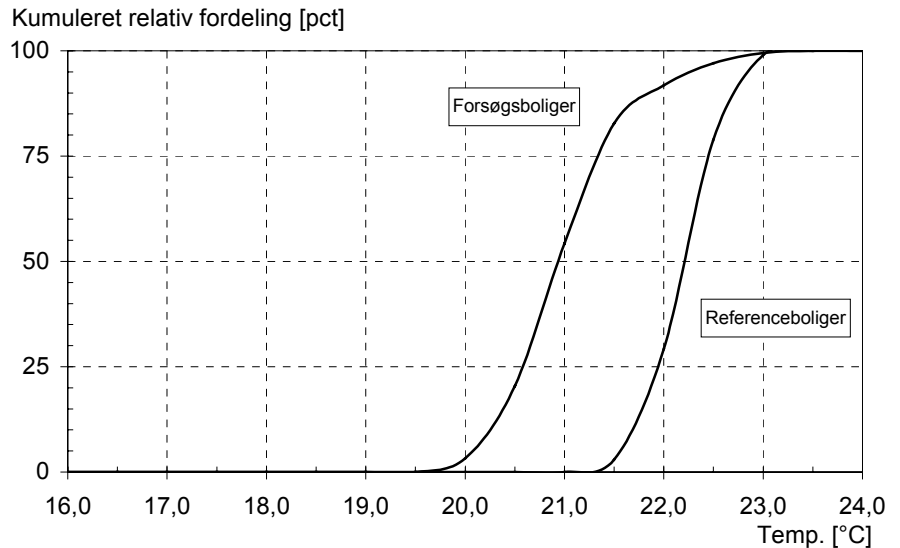
Det fremgår af figur 14, at standardafvigelsen på gennemsnits-temperaturen i køkkenet i referenceboligerne er 1,0-1,5 °C. Standardafvigelsen på gennemsnitstemperaturen i køkkenet i forsøgsboligerne er i samme størrelsesorden, mens standardafvigelsen på gennemsnitstemperaturen i baderummet er omkring 1,0 °C både i referenceboligerne og i forsøgsboligerne. Af hensyn til overskueligheden vises i det følgende alene gennemsnitstemperaturer. Figur 15 viser gennemsnitstemperaturen i køkkenet i henholdsvis reference- og forsøgsboligerne. Figur 16 og figur 17 viser kumulerede, relative fordelinger af den gennemsnitlige temperatur i henholdsvis køkken og baderum.



Figur 15. Gennemsnitstemperatur i køkkenet i 8 referenceboliger og 7 forsøgsboliger.



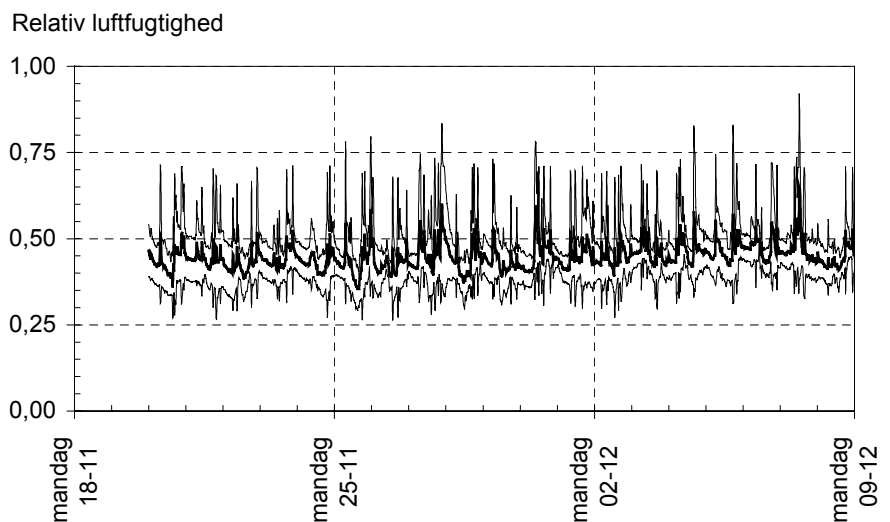
Figur 16. Kumuleret, relativ fordeling af den gennemsnitlige temperatur i køkkenet. Kurverne viser den procentvise andel af målingerne, hvor gennemsnitstemperaturen er lavere end de værdier, der er angivet på den vandrette akse.



Figur 17. Kumuleret, relativ fordeling af den gennemsnitlige temperatur i baderum. Kurverne viser den procentvise andel af målingerne, hvor gennemsnitstemperaturen er lavere end de værdier, der er angivet på den vandrette akse.

### Relativ luftfugtighed

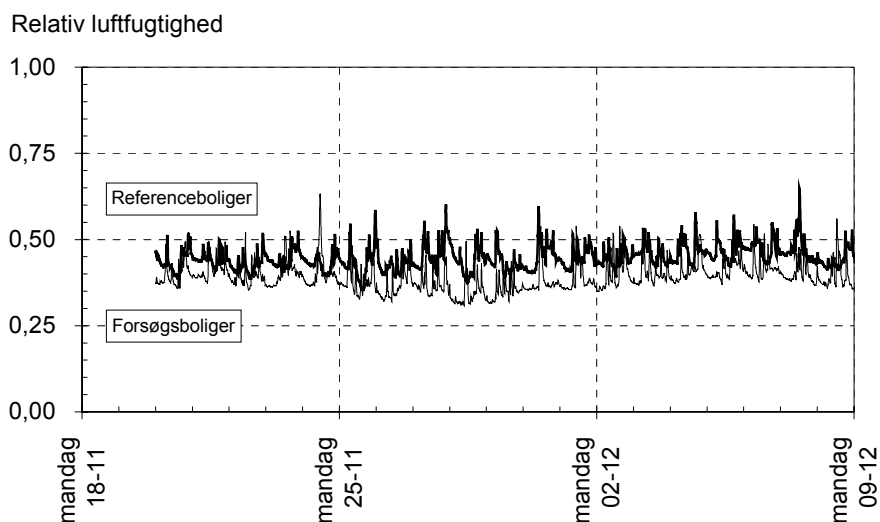
Ved hjælp af elektroniske minidataloggere er der foretaget kontinuerlige registreringer af rumluftens relative fugtighed i køkken og baderum. Som eksempel viser figur 18 den gennemsnitlige relative luftfugtighed i baderum i 8 referenceboliger.



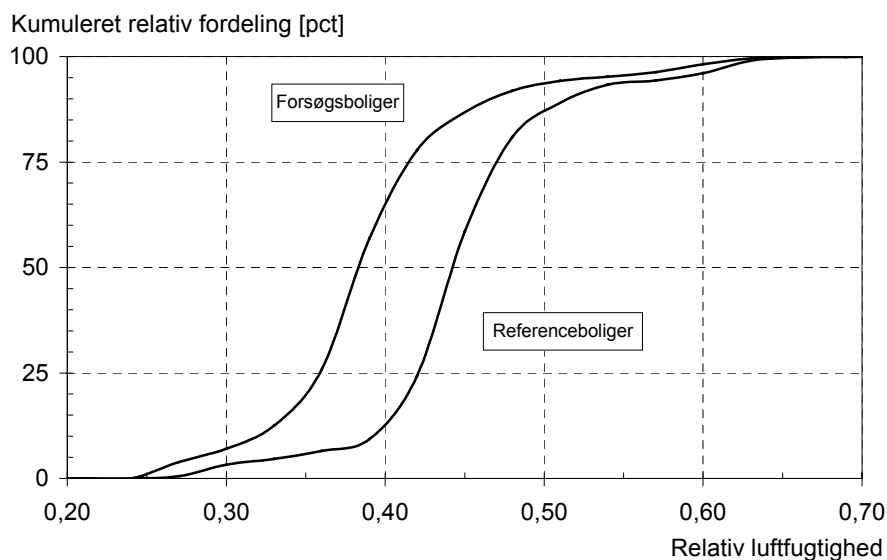
Figur 18. Relativ luftfugtighed i baderum i referenceboligerne. Den kraftigt optrukne kurve angiver den gennemsnitlige relative luftfugtighed i 8 referenceboliger, mens de tyndere kurver angiver én gange standardafvigelsen på gennemsnittet.

Standardafvigelsen på den gennemsnitlige relative luftfugtighed i baderum i referenceboligerne er ca. 0,10. Standardafvigelsen på den gennemsnitlige relative luftfugtighed både i baderum i forsøgsboli-

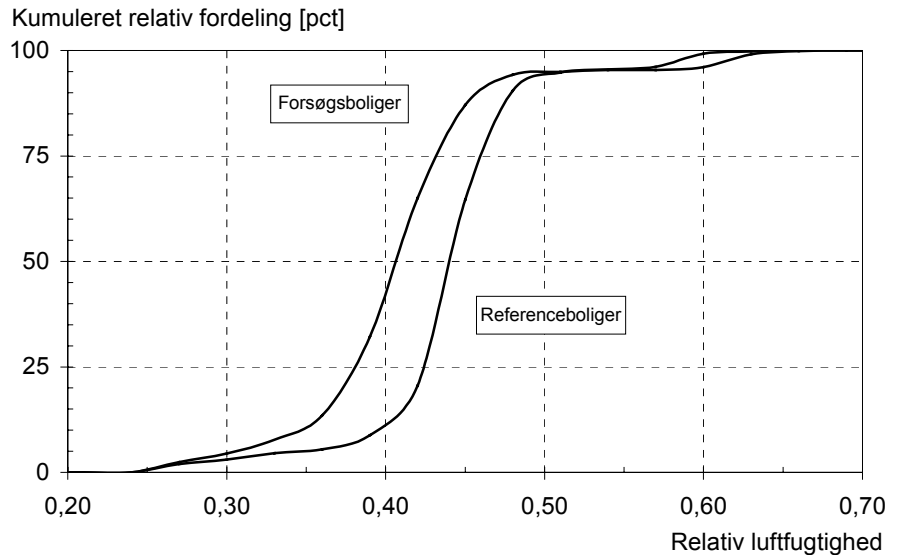
gerne og i køkken i såvel referenceboligerne som forsøgsboligerne er i samme størrelsesorden. Af hensyn til overskueligheden vises i det følgende alene gennemsnitlige relative luftfugtigheder. Figur 19 viser den gennemsnitlige relative luftfugtighed i baderum i henholdsvis referenceboligerne og forsøgsboligerne. Figur 20 og figur 21 viser kumulerede, relative fordelinger af den gennemsnitlige relative luftfugtighed i henholdsvis baderum og køkken.



Figur 19. Gennemsnitlig relativ luftfugtighed i baderum i 8 referenceboliger (kraftig kurve) og 7 forsøgsboliger.

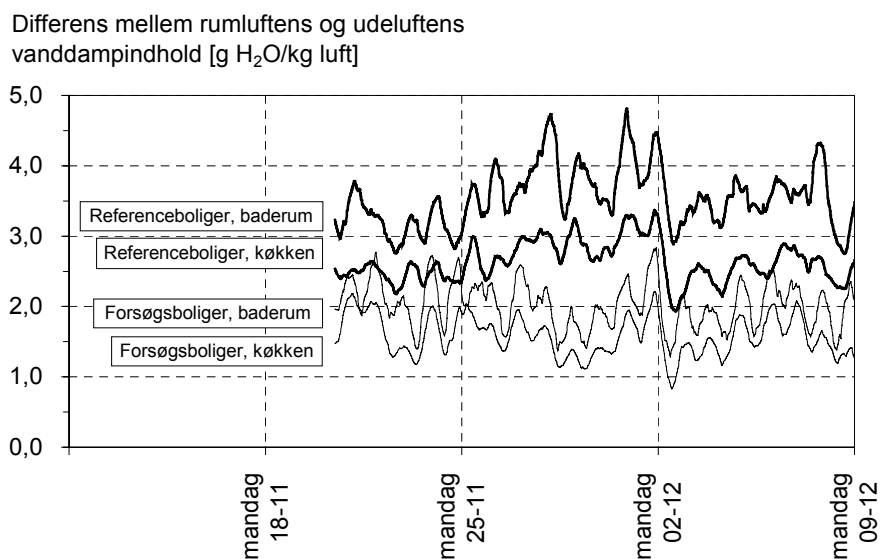


Figur 20. Kumuleret, relativ fordeling af den gennemsnitlige relative luftfugtighed i baderum. Kurverne viser den procentvise andel af målingerne, hvor den gennemsnitlige relative luftfugtighed er lavere end de værdier, der er angivet på den vandrette akse.



Figur 21. Kumuleret, relativ fordeling af den gennemsnitlige relative luftfugtighed i køkkenet. Kurverne viser den procentvise andel af målingerne, hvor den gennemsnitlige relative fugtighed er lavere end de værdier, der er angivet på den vandrette akse.

På baggrund af klimadata fra DMI kan damptrykket og udeluftens vanddampindhold beregnes. Ligeledes er det muligt, på grundlag af de målte temperaturer og relative fugtigheder i boligernes køkkener og baderum, at beregne damptrykket og vanddampindholdet i rumluften. Størrelsen af rumluftens vanddampindhold er bestemt af vanddampindholdet i den tilførte udeluft samt tilskuddet fra fugtproducerende kilder, fx personer, madlavning, tøjvask og rengøring. Under forudsætning af stationære forhold vil den relative størrelse af fugttilskuddet til rumluftens vanddampindhold navnlig afhænge af ventilationens størrelse. Figur 22 viser differensen mellem rumluftens og udeluftens vanddampindhold.



Figur 22. Differens mellem rumluftens og udeluftens vanddampindhold. De kraftige kurver gælder referenceboligerne, mens de tyndere kurver gælder forsøgsboligerne.

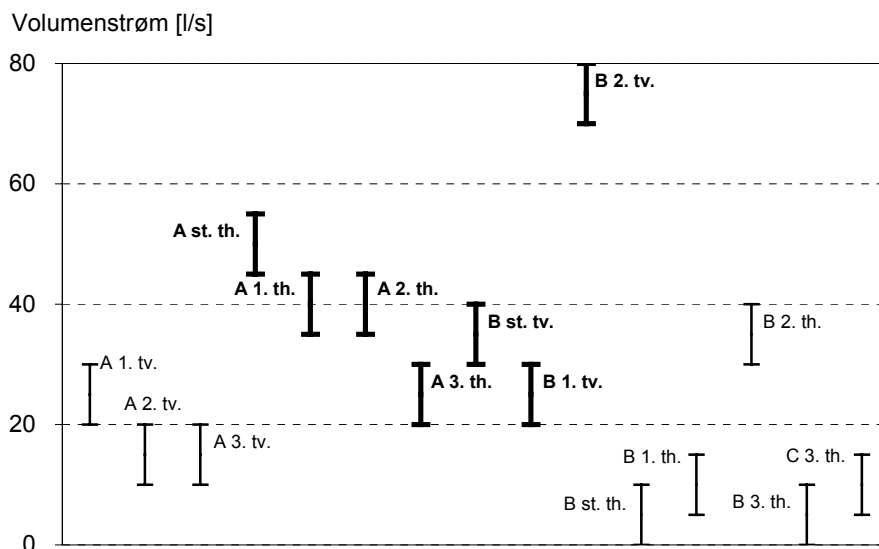
Ved beregningerne af fugttilførslen i boligerne er det antaget, at udelufttilførslen alene sker i opholdsrummene, og at luften alene forlader boligerne gennem aftrækskanalerne i køkken og baderum. Der er foretaget beregninger af den gennemsnitlige fugttilførsel i *hvert* af rummene køkken og baderum i både reference- og forsøgsboligerne. Beregningerne viser, at i såvel reference- som forsøgsboligerne er der i gennemsnit en ligelig fordeling af fugttilførslen på de to rum. I referenceboligerne er fugttilførslen i hvert af rummene beregnet til lidt mere end 2 kg H<sub>2</sub>O/døgn og i forsøgsboligerne er fugttilførslen beregnet til ca. 2,6 kg H<sub>2</sub>O/døgn i hvert af rummene. Forskellen mellem boliggrupperne er ikke signifikant.

### *Udsugede volumenstrømme i boligerne*

Der er foretaget målinger af lufthastigheden ved aftrækskanalernes munding. På basis af den målte lufthastighed og åbningens tværsnitsareal er den udsugede volumenstrøm beregnet. Formålet har været at tilvejebringe et grundlag for en skønsmæssig vurdering af de udsugede volumenstrømme. Selv om der i hvert enkelt tilfælde er opnået entydige måleværdier af lufthastigheden ved kanalåbningen, er de beregnede volumenstrømme angivet i tabel 2 i intervaller. Baggrunden er, at der er nogen usikkerhed forbundet med såvel måling af lufthastigheden ved kanalmundingen som opmåling af åbningens tværsnitsareal. Hver af usikkerhederne vil bidrage til usikkerheden på den beregnede volumenstrøm. Desuden er målingerne foretaget som momentanmålinger.

*Tabel 2. Udsugede volumenstrømme beregnet på grundlag af momentane målinger af lufthastigheden ved kanalmundingen og opmåling af åbningens tværsnitsareal.*

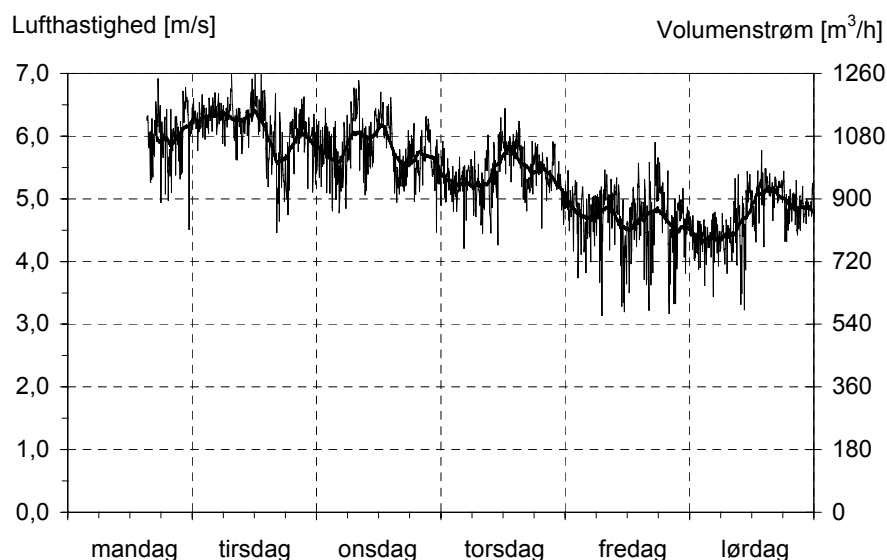
Opgang og etage	Volumenstrøm [l/s]				
	Referenceboliger		Forsøgsboliger		Alle boliger
	Køkken [l/s]	Baderum [l/s]	Køkken [l/s]	Baderum [l/s]	Total [l/s]
Opg. A, 1. tv.	10-15	10-15			20-30
Opg. A, 2. tv.	0- 5	10-15			10-20
Opg. A, 3. tv.	0- 5	10-15			10-20
<hr/>					
Opg. A, st. th.			25-30	20-25	45-55
Opg. A, 1. th.			15-20	20-25	35-45
Opg. A, 2. th.			5-10	30-35	35-45
Opg. A, 3. th.			10-15	10-15	20-30
Opg. B, st. tv.			0- 5	30-35	30-40
Opg. B, 1. tv.			10-15	10-15	20-30
Opg. B, 2. tv.			30-35	40-45	70-80
<hr/>					
Opg. B, st. th.	0- 5	0- 5			0-10
Opg. B, 1. th.	0- 5	5-10			5-15
Opg. B, 2. th.	10-15	20-25			30-40
Opg. B, 3. th.	0- 5	0- 5			0-10
Opg. C, 3. th.	5-10	0- 5			5-15



Figur 23. Samlet volumenstrøm i aftrækskanalerne. Resultaterne er arrangeret fra venstre mod højre på samme måde som i figur 13 side 21. Resultaterne vedrørende forsøgsboligerne er vist med kraftig signatur og fed skrift.

### Volumenstrøm ved ventilatoren

I loftrummet, hvor anlægget var anbragt, er der foretaget kontinuert registrering af lufthastigheden i kanalen mellem sugekassen og ventilatoren. På baggrund af kanalens tværsnitsareal er volumenstrømmen beregnet. Figur 24 viser den registrerede lufthastighed og den beregnede volumenstrøm over en uge.



Figur 24. Registreret lufthastighed i udsugningskanalen og tilsvarende volumenstrøm. Den tynde kurve angiver de egentlige måleresultater, og den kraftige kurve angiver et gennemsnit af 50 målinger. I den viste periode er lufthastigheden registreret hvert 5. minut.

# Diskussion

Et motiv for at installere et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem i en eksisterende etageejendom – fx i forbindelse med en renovering – kunne være at imødekomme et typisk behov for forbedrede ventilationsforhold i boligerne samt at begrænse elbehovet til ventilationen sammenlignet med et traditionelt mekanisk udsugningssystem. I denne undersøgelse er ventilationsforholdene i de undersøgte boliger beskrevet ved boligens gennemsnitlige totalluftskifte samt rumluftens temperatur og relative fugtighed i både køkken og baderum.

## *Luftskifte*

Figur 12 side 20 og tabel 1 side 20 viser middelværdier i tre på hinanden følgende måleperioder af det gennemsnitlige luftskifte målt i henholdsvis forsøgsboligerne og referenceboligerne. Hver af måleperioderne var ca. en uge, og den samlede forsøgsperiode var således ca. tre uger. Luftskiftet er bestemt ved anvendelse af PFT-metoden. Det fremgår, at det gennemsnitlige luftskifte er højere i forsøgsboligerne end i referenceboligerne. I gennemsnit for hele forsøgsperioden er det gennemsnitlige luftskifte i forsøgsboligerne målt til 0,77 gange pr. time og i referenceboligerne er det målt til 0,38 gange pr. time. Da målingerne i de to grupper af boliger er foretaget i den samme periode, med samme målemetode og efter den samme fremgangsmåde, og da der ikke ud fra registreringer i boligerne og interviews med beboerne kan peges på afgørende forskelle, som kan have indflydelse på gennemsnittet, vil det være nærliggende at tilskrive det højere luftskifte det installerede forsøgsanlæg.

Tidligere undersøgelser har vist, at i naturligt ventilerede etageboliger er det gennemsnitlige luftskifte ofte i underkanten af 0,5 gange pr. time, som almindeligvis betragtes som en nødvendig basisventilation i boliger. Med bygningsreglementerne fra 1977 og 1982 blev det i to tempi obligatorisk at anvende mekanisk udsugning i etageboliger – først i etageboliger med indeliggende bade- og wc-rum og siden i alle etageboliger. Naturligt ventilerede etageboliger er således ca. 20 år gamle eller mere. En del af disse har undergået renovering i større eller mindre grad. I [3] er der foretaget undersøgelser af ventilations- og fugtforhold i 177 boliger beliggende i renoverede og ikke-renoverede etageejendomme. Samtlige boliger var naturligt ventilerede, og undersøgelserne omfattede blandt andet målinger af det gennemsnitlige luftskifte i mere end 100 renoverede boliger. I disse boliger blev det gennemsnitlige luftskifte bestemt til lidt mere end 0,4 gange pr. time. Tages skønsomt hensyn til forskelle i udeklimaet i den nævnte undersøgelse og i denne undersøgelse, ligger det målte gennemsnitlige luftskifte i referenceboligerne (0,38 gange pr. time) på niveau med resultaterne i [3] vedrørende renoverede etageboliger. Som nævnt side 17 er PFT-metoden behæftet med en systematisk målefejl, således at måleresultaterne kan være lidt for lave.

Det gældende bygningsreglement, BR-95, stiller krav om, at der i en boligenhed skal være et samlet luftskifte på 0,5 gange pr. time svarende til ca. 0,35 l/s pr. m<sup>2</sup> ved normal rumhøjde. De undersøgte boliger har et nettoetageareal på lidt under 60 m<sup>2</sup> og et nettovolumen på ca. 133 m<sup>3</sup>. Et luftskifte på 0,5 gange pr. time (0,35 l/s pr. m<sup>2</sup>) svarer derfor til en samlet udelufttilførsel på ca. 65 m<sup>3</sup>/h svarende til omkring 20 l/s. Parallelt med ovennævnte krav til luftskiftet stiller bygningsreglementet krav til størrelsen af mekanisk udsugede volumenstrømme – 20 l/s fra køkken og 15 l/s fra baderum. Ved nybyggeri skal ventilationen dimensioneres således, at udelufttilførslen mindst svarer til det største af de to krav. En samlet udsugning på 35 l/s i de undersøgte boliger ville svare til et luftskifte på mere end 0,9 gange pr. time.

### *Temperatur, relativ luftfugtighed og fugttilførsel*

Figur 16 side 22 og efterfølgende figur 17 viser for både forsøgsboliger og referenceboliger kumulerede, relative fordelinger af gennemsnitlig temperatur i henholdsvis køkken og baderum. Tilsvarende viser figur 20 side 24 og efterfølgende figur 21 kumulerede, relative fordelinger af gennemsnitlig relativ fugtighed i henholdsvis køkken og baderum i både forsøgsboliger og referenceboliger. Figureerne indikerer, at der i gennemsnit generelt forekommer såvel lavere temperaturer som lavere relative fugtigheder i boliger, som er ventileret ved forsøgsanlægget.

Figur 22 side 25 viser den gennemsnitlige differens mellem rumluftens og udeluftens vanddampindhold. Det skal bemærkes, at kurverne er baseret dels på samtidige, kontinuerte målinger af indeluftens temperatur og relative fugtighed dels på ugeværdier fra DMI for udeluftens temperatur og relative fugtighed. Desuden er der ved beregningerne anvendt en gennemsnitstemperatur og en gennemsnitlig relativ luftfugtighed dannet ved et gennemsnit af målingerne i henholdsvis 8 referenceboliger og 7 forsøgsboliger. Kurverne rummer således på flere niveauer gennemsnitstal og kan sammenlignes med at repræsentere henholdsvis en gennemsnits referencebolig og en gennemsnits forsøgsbolig. Figuren antyder, at i forhold til referenceboligerne forekommer der et lavere vanddampindhold i rumluften i forsøgsboligerne. Beregninger af fugttilførslen viser, at den totale gennemsnitlige fugttilførsel pr. døgn i referenceboligerne er beregnet til lidt mere end 4 kg H<sub>2</sub>O/døgn, mens den i forsøgsboligerne er beregnet til lidt mere end 5 kg H<sub>2</sub>O/døgn. Forskellen er dog ikke signifikant, ligesom der ikke kan peges på betydende forskelle i husstandenes sammensætning og brug af boligerne.

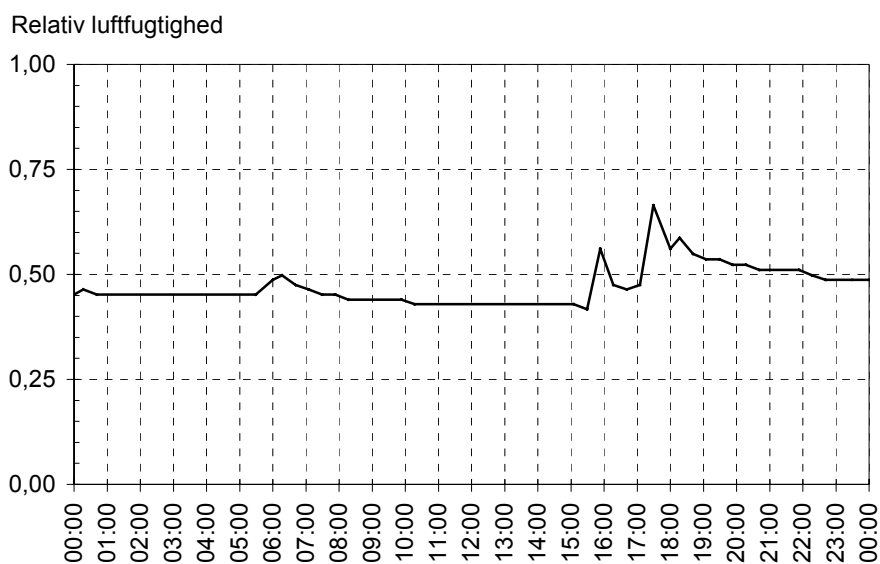
### *Registreringer og interviews*

Registreringer i boligerne viste, at i to boliger var der installeret en emhætte i køkkenet. Den ene bolig var beliggende i opgang A 2. tv. og var således en reference bolig, mens den anden var beliggende i opgang B st. tv., dvs. en forsøgsbolig. Emhætterne var tilsluttet de eksisterende aftrækskanaler ved en kanal på 5-6 m. Figur 7 side 13 viser et eksempel. I følge interviews med beboerne blev emhætten i

referenceboligen skønsmæssigt anvendt ca. 30 min. pr. døgn, mens emhætten i forsøgsboligen kun blev anvendt ca. 10 min. pr. døgn.

Af figur 13 side 21 fremgår det, at det gennemsnitlige luftskifte i de nævnte boliger er lavt sammenlignet med de øvrige målinger i de respektive grupper af boliger. Det er dog vanskeligt at udtale sig om, hvorvidt tilstedeværelsen af emhætten har en væsentlig indflydelse på ventilationsforholdene, og om det i så fald ville kunne afspejles i målinger af gennemsnitsventilationen. På den ene side ville en emhætte i drift kunne bidrage til et højere luftskifte, men på den anden side vil en emhætte i stilstandsperioder kunne hindre effektivt aftræk fra køkkenet. I betragtning af de relativt korte driftstider som er oplyst af beboerne, er det næppe sandsynligt at tilstedeværelsen af emhætterne har bidraget til et højere luftskifte – snarere tværtimod. Derimod er det muligt, at emhætterne har kunnet reducere den direkte fugtafgivelse til rumluften fx under madlavning. Der er ikke foretaget registreringer af driftstider og -perioder af emhætterne, og det er derfor ikke muligt at foretage tidsmæssige sammenligninger med målingerne af den relative fugtighed i køkkenerne.

Figur 25 viser forløbet af den relative fugtighed gennem et døgn i køkkenet i referenceboligen beliggende opgang A 2. tv. Figuren antyder, at køkkenet det pågældende døgn blev anvendt i lidt mindre end en time fra ca. kl. 5:30, hvorefter boligen formodentlig var ubenyttet (tom) indtil kl. 15:30. Kurveforløbet indikerer, at aktiviteter i køkkenet omkring kl. 16:00 og igen omkring 17:30 medførte, at emhætten blev aktiveret. Sammenlignes henfaldet af den relative luftfugtighed efter ca. kl. 17:30 med henfaldet efter kl. 6:15, tyder målingerne på, at emhætten ikke blev anvendt om morgenen.



Figur 25. Forløb gennem et døgn af den relative fugtighed i køkkenet i referencebolig A 2. tv., som havde en emhætte i køkkenet.

Tabel 2 side 26 og efterfølgende figur 23 viser resultaterne af målinger af volumenstrømme i aftrækskanalerne i de enkelte boliger. Volumenstrømmen i en aftrækskanal er beregnet som produktet af

målt lufthastighed ved kanalens åbning og åbningens tværsnitsareal. Resultaterne repræsenterer et øjebliksbillede, og skal derfor sammenlignes med forsigtighed med PFT-målingerne af luftskiftet, som angiver gennemsnittet over en periode. Resultaterne peger i retning af, at den udsugede volumenstrøm er noget større i forsøgsboligerne end i referenceboligerne.

Sammenlignes med de gældende krav i bygningsreglementet til ydelsen af mekaniske udsugningsanlæg i etageboliger – 20 l/s fra køkkener og 15 l/s fra baderum – viser figur 23, at der generelt opnås en samlet udsugning på omkring 35 l/s i forsøgsboligerne, mens udsugningen i referenceboligerne i almindelighed er noget lavere. Imidlertid ses det af tabel 2, at hvad angår fordelingen af den samlede udsugede volumenstrøm mellem køkken og baderum, så er bygningsreglementets krav ikke opfyldt. Den konstaterede ubalance kan skyldes måle- og beregningsusikkerhed, se diskussionen side 28, men en væsentlig grund kunne også være, at der ikke er indreguleringsmuligheder i forsøgsanlægget.

### *Indregulering*

Principielt bør ethvert ventilationssystem indreguleres. Indregulering går i korthed ud på at afbalancere trykkene i systemet på en sådan måde, at der opnås de ønskede volumenstrømme ved indblæsnings- og/eller udsugningsåbningerne. Udgangspunktet for indreguleringen er det disponible drivtryk.

I teorien er det uproblematisk at indregulere et mekanisk ventilationssystem, hvorimod det kan være vanskeligt eller endog umuligt at foretage en egentlig indregulering af et traditionelt naturligt ventilationssystem. Årsagen er, at drivkræfterne, der er til rådighed i et naturligt ventilationssystem, er små, når der sammenlignes med et mekanisk ventilationssystem, og ydermere er størrelsen af drivkræfterne ikke veldefineret i tid og sted.

I et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem kan man regne med at have et lidt større drivtryk til rådighed end i et traditionelt naturligt ventilationssystem. Systemet er netop baseret på, at når de naturlige drivkræfter bliver små, træder ventilatoren i kraft, således at der altid er et drivtryk af en vis størrelse til rådighed. Mulighederne for at indregulere et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem er derfor en smule mere gunstige end ved et traditionelt naturligt ventilationssystem. Et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem, som blandt andet skal kunne udnytte drivkræfterne fra termik og vind, må derfor indrettes på en sådan måde, at de naturlige drivkræfter kan udnyttes, når de optræder, men samtidig skal ventilatoren styres, så den gradvis tager over, når de naturlige drivkræfter er utilstrækkelige.

Én metode til indregulering af et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem er at afpasse antallet af udeluftventiler i de enkelte boliger i afhængighed af boligens etagemæssige placering. De lavest liggende boliger forsynes med færrest eller de mindste udeluftventiler, mens de højere liggende boliger gradvis forsynes med flere udeluftventiler eller udeluftventiler med større åbningsareal.

Metoden baseres på en forudsætning om, at drivkræfterne i systemet er domineret af termik, dvs. temperaturforskellen inde/ude. Såfremt vindkræfterne har en dominerende indflydelse eller de termiske drivkræfter er små, så ventilatorens ydelse dominerer, vil der forekomme en relativt større udsugning i de øverste boligenheder i ejendommen.

Korrekt fordeling af udeluftventiler og åbningsarealer kan under gunstige termiske forhold samtidig have en positiv indvirkning på funktionen af det almindelige naturlige ventilationssystem. Ulempen ved metoden kan være, at med mindre der monteres særlige ventiler eller eksisterende udeluftventiler modificeres, har beboerne mulighed for at ændre på ventilernes stilling, hvorved den forventede afbalancering af drivtrykkene forrykkes. Samtidig er det dog tænkeligt, at netop beboernes indgriben kan medvirke til, at systemet fungerer korrekt under varierende udeklimaforhold, dvs. ved varierende drivtryk. En binding ved metoden er, at udeluftventilernes åbningsarealer ikke kan vælges helt frit, idet bygningsreglementets krav til udeluftventilernes åbningsarealer skal respekteres. Som udgangspunkt er kravet, at der skal være et åbningsareal på  $30 \text{ cm}^2$  pr.  $25 \text{ m}^2$  gulvareal. Reglementet åbner dog mulighed for i stedet at bestemme udeluftventilarealet ud fra en ventilationsteknisk beregning.

En anden metode til at afbalancere trykkene i systemet er at anbringe reguleringsanordninger i aftrækskanalerne. Anordningerne kan anbringes enten ved kanalmundingerne i boligerne eller på toppen af de afkortede aftrækskanaler i sugekassen i loftsrummet. I det første tilfælde anbringes typisk udsugningsventiler i kanalmundingerne i rummene. Herved introduceres en modstand på et sted i kanalsystemet, som medfører, at tætheden af de eksisterende aftrækskanaler vil få en relativt større betydning. I det andet tilfælde, hvor der indbygges indreguleringsspjæld på toppen af de afkortede aftrækskanaler, opstår et praktisk problem, idet sugekassen må demonteres for regulering af spjældene. Indstillingen af spjældene er således snarere en form for forindstilling fremfor en indregulering. Uanset om reguleringsanordningerne anbringes ved kanalmundingerne i boligerne eller på kanaltoppene i sugekassen, vil de introducere en øget modstand i aftrækssystemet, så det traditionelle naturlige ventilationssystem kan have vanskeligt ved at fungere.

## *Elforbrug*

Ventilatorens elforbrug blev målt til 240 W og den transporterede luftmængde til ca. 280 l/s. Det specifikke elforbrug til lufttransporten er således 0,86 W pr. l/s. Denne værdi er på niveau med, hvad der kan opnås med et traditionelt mekanisk udsugningssystem.

Som forsøgsanlægget var udformet, var der et tryktab på ca. 150 Pa gennem det monterede udsugningssystem, og af dette tryktab var de ca. 100 Pa over blænden. Systemets el-effektivitet kan forbedres ved at undlade blænden – og dermed undgå tryktabet over den – og i stedet regulere eksempelvis efter et konstant undertryk i sugekassen. Denne løsning forventes at kunne reducere det specifikke elforbrug til ca. 0,3 W pr. l/s.

Tryktabet gennem udsugningssystemet kan reduceres yderligere ved at anvende større dimension af kanal, lyddæmper og ventilator. Imidlertid er der samtidig et behov for indregulering af udsugningen fra de enkelte boliger og rum, som igen vil introducere et tryktab i systemet. Resulterende kan det således ikke forventes, at det specifikke elforbrug kan bringes væsentligt ned under 0,3 W pr. l/s.

### *Konklusion og afsluttende bemærkninger*

Der er foretaget undersøgelser af et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem i en eksisterende etageejendom. Undersøgelserne viser, at der generelt opnås forbedrede ventilationsforhold i boligerne, og at det kan være enklere at installere et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem fremfor et traditionelt mekanisk udsugningssystem. Forudsætningen er dog, at de eksisterende aftrækskanaler kan anvendes.

På grund af behovet for indregulering af volumenstrømmen i de enkelte udsugningskanaler er det vanskeligt i væsentligt omfang at basere ventilationssystemet på de naturlige drivkræfter. Det kan derfor være mere relevant at udforme systemet som et *lavtryks* ventilationsanlæg med variabel ydelse. Resultaterne antyder, at elbehovet til ventilationen med et sådant system kan bringes ned på ca. 0,3 W pr. l/s eller ca. 10 W pr. bolig.

Undersøgelserne indikerer, at det er muligt at opnå et energiøkonomisk og driftsikkert system, men at der er behov for yderligere undersøgelser og videreudvikling af såvel den konstruktionsmæssige side af selve ventilatoropbygningen som den reguleringsmæssige del af det samlede system. Det bør fx undersøges, i hvilken udstrækning ventilatoren under stilstand – i afhængighed af udformningen – indvirker på funktionen af det eksisterende naturlige aftrækssystem. Desuden bør det undersøges, hvordan udformning og placering af ventilatorens afkasthætte på tagfladen indvirker på udnyttelsen af især vindkræfterne. Hvad angår regulering af ventilatorens omdrejningstal, er undersøgelsen forfejlet, på grund af det anvendte styringsprincip. Derfor bør mulighederne for at styre ventilatoren eksempelvis ved en udetemperaturføler eller ved en hastighedsføler i udsugningskanalen undersøges nærmere. Samtidig bør trinvis kontratrinløs regulering af omdrejningstallet overvejes. De videre undersøgelser kan gennemføres dels i praksis, dels under laboratorieforhold og dels ved computersimuleringer baseret på realistiske udeklima-data.

# Summary

## *SBI Bulletin 121: Fan-assisted natural ventilation. Testing of an experimental system in a multi-storey building.*

This bulletin describes investigations of a fan-assisted, natural ventilation system in a multi-storey building. The system is intended for use in existing, naturally ventilated buildings where improved ventilation may be needed, i.e. in connection with renovation of windows, but where it is not desirable to intervene on a major scale. The idea behind the system is to base ventilation of the flats on the existing natural ventilation system but to supplement it with mechanical exhaust during periods when natural driving forces are insufficient.

Briefly described, the practical establishment of a fan-assisted, natural ventilation system consists of shortening the existing exhaust ducts immediately above the floor of the attic. The ducts are joined in a suction chamber that is connected by a duct to a rooftop axial fan.

To gain more knowledge of the practical aspects of installation of a fan-assisted natural ventilation system, such a system was installed and tested in an existing multi-storey building. Moreover the purpose of the investigation was to provide a basis for assessing the possibilities of achieving improved ventilation as well as reduced energy consumption for ventilation in renovated multi-storey buildings.

In collaboration with KAB Building and Housing Administration a building for these investigations was selected. The building has four floors and flats of mainly 2 ½ rooms, each of approx. 60 m<sup>2</sup>. The windows are relatively new and provided with outdoor air inlets and each flat is provided with two separate exhaust ducts leading to terminal ridges.

In the attic of the building an experimental system was installed that services eight flats. The experimental system was designed in collaboration with Exhausto A/S, a ventilation company, which moreover donated the experimental system. As a reference for measurements performed in eight *experimental flats*, eight other flats were selected, *reference flats*, where ventilation was based on existing outdoor air inlets and exhaust ducts.

Measurement results of the air change rate in the flats show that the air change rate is higher in the experimental flats than in the reference flats. Over a 3-week measuring period the average air change rate in the experimental flats were measured to be 0.77 times per hour against 0.38 times per hour in the reference flats. The measurements were performed by means of passive tracer gas technique.

The air flow in the exhaust ducts in each individual flat was determined by multiplying the measured air velocity at the opening of the duct by the cross section of the duct. The results show that the extracted air volume is somewhat larger in the experimental flats

than in the reference flats. Total exhaust from the experimental flats comply with requirements to the performance of mechanical exhaust systems in multi-storey buildings stipulated in the Danish Building Regulations, whereas the proportion between kitchen and bathroom does not comply with these requirements. This disproportion is probably due to the fact that the experimental system lacks possibilities for balancing.

It should be noted that the investigation failed with regard to automatic control of fan performance. The way the experimental system was designed, a relatively large pressure loss occurred through the exhaust system from suction chamber to fan. The natural driving forces therefore only had a modest significance for the total exhaust and the need for fan support. The fan therefore worked at an almost constant, high speed during the experimental period.

The specific electricity consumption for air transport is calculated to be 0.86 W per l/s. By optimal design of the exhaust system from suction chamber to fan it is expected that the specific electricity consumption might decrease to approx. 0.3 W per l/s corresponding to 10 W per flat.

The investigations show that improved ventilation conditions can be achieved in the flats in general and it may be simpler to install a fan-assisted natural ventilation system in stead of a traditional mechanical exhaust system. The precondition is that the existing exhaust ducts can be used.

# Litteratur

- [1] Olufsen, Peter  
SBI-rapport 161: Boligventilationssystemer. Teori og erfaringer. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm, 1984.
  
- [2] Bergsøe, Niels C.  
SBI-rapport 227: Passiv sporgasmetode til ventilationsundersøgelser. Beskrivelse og analyse af PFT-metoden. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm, 1992.
  
- [3] Bergsøe, Niels C.  
SBI-rapport 241: Ventilationsforhold i renoverede og ikke-renoverede etageboliger. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm, 1994.
  
- [4] Bergsøe, Niels C.  
SBI-meddelelse 116: Naturlig ventilation i enfamiliehuse. Udarbejdet for Bygge- og Boligstyrelsen. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm, 1996.
  
- [5] Terpger Andersen, Karl  
SBI-rapport 301: Dimensionering af naturlig ventilation ved termisk opdrift. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm, 1998.

Meddelelsen beskriver undersøgelser af et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem. Anvendelse af systemet kan navnlig være aktuelt i forbindelse med renovering af etageboliger. Ideen er at basere ventilationen i boligerne på det eksisterende naturlige ventilationssystem og at supplere med mekanisk udsugning i de perioder hvor de naturlige drivkræfter er utilstrækkelige. Systemet er installeret i en eksisterende etageejendom, og der er foretaget målinger og registreringer i 7 forsøgsboliger og i 8 referenceboliger med det oprindelige naturlige ventilationssystem. Undersøgelserne viser, at der generelt opnås forbedrede ventilationsforhold i forsøgsboligerne, og at det kan være nemmere og billigere at installere et ventilatorunderstøttet naturligt ventilationssystem frem for et traditionelt mekanisk udsugningssystem. Forudsætningen er dog, at de eksisterende aftrækskanaler kan anvendes.