

Final report

1.1 Project details

Project title	Dynamisk frikøling
Project identification (program abbrev. and file)	64011-0344
Name of the programme which has funded the project	EUDP
Project managing company/institution (name and address)	InVentilate ApS Orionvej 2 7430 Ikast
Project partners	Ålborg Universitet Teknologisk Institut Ekolab
CVR (central business register)	32446809
Date for submission	2015-07-27

1.2 Short description of project objective and results

1.3 Executive summary

1.4 Project objectives

1.5 Project results and dissemination of results

1.6 Utilization of project results

1.7 Project conclusion and perspective

Annex

Annex 1: Ekolab - Arbejdsnotat afsluttende fase

Annex 2: AAU – MicroVent (Summary) - DCE Contract Report No 165

1.2 Short description of project objective and results

The project "Dynamic Free Cooling" aimed to develop an energy-reducing free cooling system for buildings. Instead of using the energy on air conditioning, the cold external air is used for cooling. By combining micro ventilation with a comfort module a multifunctional system is designed which to a higher degree is able to meet the alternating requirements for cooling and ventilation in buildings.

The result of the project is a prototype of a comfort module that can be combined with a MicroVent ventilation device and comfort control strategies. Together this gives the user of the room an improved thermal comfort.

Målet for projektet "Dynamisk frikøling" var at udvikle et energireducerende frikølesystem til bygninger. I stedet for at bruge energi på aktiv køling af bygninger anvendes kold udeluft til nedkøling. Ved at kombinere mikroventilation med et komfortmodul designes et multifunktionelt system, som i øget grad kan efterleve bygningers vekslende behov for køling og ventilation.

Resultaterne af projektet er en prototype af et komfortmodul, som kan kombineres med en MicroVent ventilationsenhed og strategier for komfortstyring. Sammen giver dette brugeren af rummet en forbedret termisk komfort.

1.3 Executive summary

Projektet tager basis i ventilationsenheden MicroVent og har arbejdet med at finde muligheder og begrænsninger i brugen af frikøling til nedkøling af lokaler med udeluft og med bedst mulig komfort for personer i lokalerne.

Der er udviklet en prototype, som kombinerer MicroVent med et komfortmodul og strategier for komfortstyring for at kunne frikøle et opholdsrum og at det sker med minimal oplevelse af træk. Derved designes der et multifunktionelt system, som kan efterleve bygningers vekslende behov for køling og ventilation.

Systemet er baseret på fire overordnede driftstilstande som tilsammen kan opfylde bygningens samlede behov for ventilation og køling:

- 1 Atmosfærisk ventilation inkl. varmeindvinding
- 2 Atmosfærisk ventilation med reduceret varmegenvinding
- 3 Frikøling og termisk ventilation
- 4 Frikøling og forceret termisk ventilation

Projektet udnytter, at der i mikroventilationskonceptet implicit er et potentiale for kapacitetsforøgelse uden øget energiforbrug opgjort ift. volumen, når driften overgår fra tilstand 2 til 3, og varmegenvindingen ikke skal være aktiv. Med Dynamisk frikøling bliver det muligt at genere tilstrækkelig luftskifte til, at bygningen kan køles med luften udefra ved frikøling.

Komfortmodul:

Forøget luftskifte skaber øget risiko for komfortgener. Til at eliminere komfortgener har InVentilate opfundet et komfortmodul som udligner indblæsningstemperaturen med temperaturen i rummet, hvorved komfortgener undgås.

Resultaterne af projektet er en prototype på et system, som giver væsentlige energibesparelser og hertil relaterede driftsbesparelser på bygningsdrift.

Konceptet er særdeles egnet til energirenovering af den eksisterende bygningsmasse, idet anlægsomkostningerne til det multifunktionelle system er lavere i forhold til eksisterende teknologier.

Teknisk har vi erfaret, at følgende parametre er væsentlige for oplevelsen af komfort ved brug af systemet.

- Det er acceptabelt og ofte også en fordel, at lufthastighederne stiger over "normalt" niveau, såfremt at temperaturen er for høj til termisk komfort for personerne
- Komfortniveauet vil opleves bedre af brugerne, hvis de selv har mulighed for stille på systemet. Det kunne være temperatur, luftskifte, indvendig lufthastighed eller en kombination heraf
- Komfortmodulet skal udformes således, at retningen af lufttilførslen kan ændres, gerne af brugerne selv.

Prototypen af komfortmodulet bør tilføjes muligheden for at brugeren kan justeres på retningen på indblæsningsluften og mængden af udeluft/opblandingsluft.

En anden erfaring fra projektet er, at de nuværende indblæsningsriste til MicroVent (uden opblandingsmodul) faktisk fungerer ret godt, selv med forholdsvis store temperaturforskelle mellem indblæsningsluften og rummets luft. Denne erfaring taler for at undersøge mulighederne mere med implementering af frikøling uden komfortmodul yderligere.

Efter projektet vil vi arbejde videre med dette for at afgøre, om der skal være produksalg af frikølingssystemet med komfortmodul eller om vi skal lave en simplere og billigere system uden komfortmodul.

1.4 Project objectives

Herunder gennemgås indhold og resultater af de planlagte arbejdsopgaver:

Pakke 01: Modifikation af mikroventilationsenhed.

InVentilate og Teknologisk Institut har beregnet på mikroventilationsenheden og fundet, at det var muligt at reduceres indbygningsdybden på enheden med kun en mindre reduktion i varmegenvindingsgraden. Således er der mere plads til indbygning af et komfortmodul.

Ventilatorerne til komfortmodulet blev valgt ud fra lydniveau, størrelse og pris.

Pakke 02: Udredning af driftstilstande

Effekten af Driftstilstandene 01 til 04 er udredt på teoretisk niveau af Ekolab i samarbejde med InVentilate og Aalborg Universitet. Der er lavet beregninger i excel og BSIM på eksempler af skoler og administrationslokaler. Heraf fremgår det, at det er muligt at sænke antallet af timer med overtemperaturer betydeligt ved brug af driftstilstandene med et lavt energiforbrug.

Pakke 03: Udvikling af komfortmodulets opblandingsdel

Flere koncepter er vurderet og det blev besluttet at gå videre med et temperere luften i et opblandingskammer.

På denne basis har Teknologisk Institut udviklet en prototype af et komfortmodul, som kan påmonteres MicroVent i stedet for den indvendige rist. Efterfølgende kaldes denne Mixer 1.

Denne opbygning giver mulighed for at eftermontere komfortmoduler i installationer, som er i første omgang er lavet med MicroVent decentrale ventilationsenheder.

En alternativ og mere enkel udformning (Mixer 2) blev lavet til forsøg ved Ålborg Universitet.

Pakke 04: Styringsalgoritme til samspil mellem komfortmodul og mikroventilationsenhed.

Flere algoritmer har været overvejet. I praksis drejer det sig om at styre graden af opblanding i komfortmodulet afhængig af mængden af udeluft, temperaturforskellen på udeluft/rum, den ønskede køleeffekt og ønsket lufthastighed i opholdszonen.

Netop lufthastigheden er dog mere kompleks at fastsætte. Den afhænger af rummets størrelse, placeringen af enhederne i rummet, afstanden til loftet, deltatemperatur samt indblæsningens retning og udformning.

Forventningen var, at målinger af træk fra på komfortmodulet skulle give en multi-parameter-model for valg af optimal opblandingsniveau. Målingerne viste sig efterfølgende, at der som sådan ikke var et optimum på opblandingsniveauet men nærmere et minimum, hvorunder luften "falder ned" i opholdszonen. Og at ved meget store opblandingsforhold bliver lufthastighederne i rummet naturligt øget, så dette kan give komfortproblemer ved lavere rumtemperaturer.

Vores seneste erfaringer er, at graden af opblanding måske bør være justerbar for personerne i rummet. Således kan den bedre tilpasses personernes ønsker, aktivitetsniveau og påklædning. Der er erfaring for, at brugeren generelt bliver mere tilfreds med ventilationen, hvis brugeren har indflydelse på graden af ventilation.

Pakke 05: Udvikling af reguleringsmekanisme til regulering af flowretning

Kravene til reguleringsmekanismen blev identificeret i forbindelse med arbejdet i Pakke 2. Ud fra dette er der lavet en styring, som kan skifte mellem de forskellige tilstande.

Vi har valgt at lægge den aktive del af styringen ind i den MicroVent, som er en del af modulet. Parametrene omkring opblandingsmodulet kan klassificeres med nogle

konfigurationsvariabler, så det er ikke nødvendigt med ekstra sensorer. Komfortmodul kan således styres fra MicroVent-enheden ud fra allerede tilgængelige inputdata.

Pakke 06: Test af koncept og komfortmodul

Komforttest blev lavet ved Ålborg Universitets (AAU) faciliteter, da vi havde brug for reproducerbare data til vurdering af komfortniveauerne ved forskellige arbejds-punkter. Hvis vi skulle bruge aktuelle ude/inde-forhold ville testene tage meget længere tid end i laboratoriet ved AAU, der giver mulighed for at lave forsøg med at variere flere samtidige parametre.

Under de første forsøg blev der lavet en matrix af dynamiske målinger, hvor der blev målt temperatur og lufthastigheder i flere positioner og hvor måleudstyret blev flyttet flere gange i lokalet under samme test.

Resultaterne fra disse forsøg gav anledning til at lave flere forsøg (Part 2), hvori der blev sat fokus på forløbene af indblæsningsluftens bevægelse i rummet som funktion af indblæsningstemperaturens forløb gennem hver MicroVent cyklus. Formålet med dette var at se om de efterfølgende målinger kunne laves som stationære målinger i stedet, da dette kunne øge datagrundlaget væsentligt (mindst en faktor 100).

Resultatet var, at de statiske målinger ville være repræsentative for en "øjeblik" i de dynamiske målinger og at vi så derefter kunne transformere dynamiske data fra målepunkter ved komfortmodul til "virtuelle" målepunkter i opholdszonen. Dog med en vis fordrejning, da de stationære forhold først bliver stabile efter en given tid i et lokale.

En tredje forsøgsrække ved AAU havde variationer på temperaturdifferensen mellem rumtemperaturen og den (til komfortmodul) tilførte luft samt opblandingsforholdet mellem rumluft og udeluft. Desuden blev der lavet sammenlignelige forsøg uden komfortmodul (uden opblanding) samt en løsning med et andet design af komfortmodul (Mixer 2)

Dette forsøg viste, at det generelt forbedrer komforten i rummet, at der laves en opblanding af udeluften inde i rummet. Dog var det overraskende at se, at forbedringen ikke var meget større end at køre helt uden komfortmodul.

Det skal pointeres, at den nuværende indvendig rist til MicroVent er blevet forbedret og derfor giver mindre trækgener end de første udgaver. Dette var ikke udgangspunktet ved projektets start og er derfor ændrede forudsætninger. Men selv om denne rist er blevet bedre, så er det stadig markedsinteressant at se, om komfortniveauet kan forbedres. Det er vigtigt at pointere, at træk generelt er det største "klage" omkring ventilation (se senere afsnit), hvorfor den subjektive opfattelse altid vil være væsentlig ved ventilation.

Umiddelbart var det overraskende for projektet, at der var så lille forskel på det teoretiske komfortniveau ved en "standardrist" (no mixer) og med det udviklede komfortmodul (mixer 1). Det er dog vigtigt at se på, at udgangspunktet fra testen var den teoretiske oplevede Draft Rate (DR).

Resultaterne fra dette forsøg lå meget sent i projektforsøget, så vi har efterfølgende ikke haft mulighed for at lave flere parametervariationer på denne konklusion.

De efterfølgende diskussioner og litteratursøgninger viser dog, at man ikke ensidigt kan bruge draft rate som et parameter til at ekskludere en løsning. Tværtimod kan en øget lufthastighed i opholdszonen være en fordel under visse forhold. En kort opsummering er:

Ved lave rumtemperaturer vil højere lufthastigheder give flere utilfredse personer – ved høje lufttemperaturer giver højere lufthastighed færre utilfredse personer

Ved sommerbeklædning (normalt i køletilstand) skal man op over 26C for at høje lufthastigheder giver mere tilfredshed (det føles mindre varmt), men der er en grænse for lufthast på 0,50 før at det føles værre.

Ved normalbeklædning giver rumtemperaturer fra 24C og opefter ønske om højere lufthastigheder – også ved lufthastigheder over 1,0 m/s

Ved høj dresscode (jakkesæt) er høj lufthastighed at foretrække allerede fra 20C, men ved høje rumtemperaturer udlignes effekten af lufthastighed.

Vi har derfor afledt, at DR ikke er totalt repræsentativ for den oplevede komfort i et lokale under en kølingstilstand. Det er også vigtigt at give brugeren mulighed for tilpasning af sin ventilationstilstand for at øge tilfredsheden.

En mulighed for at ændre indblæsningsretningen fra ventilationsenheden vil også være at foretrække, da der vil være individuelle forskelle fra person til person i et rum.

Forsøgsrække 3 lavede også målinger med en "Mixer 2". Resultaterne var ikke gode, så dette designforslag skal ændres væsentligt, hvis det skal have en berettigelse fremadrettet.

Kapacitetsmålinger viste sig at være væsentligt mindre relevante end først antaget. Selv med variationer på 10-20% i målingerne ved AAU, så vil det ikke ændre de overordnede konklusioner omkring performance. Desuden vil kapacitetsmålingerne skulle gøres om hver gang, at vi ændrede lidt på komfortmodulet. Så produktets kapacitetsmålinger bør vi afvente indtil, at komfortmodulet er tættere på et endeligt design.

Tidsplanen for projektet er skredet en del undervejs. Dette skal primært tilskrives, at de involverede personer i InVentilate har været en del af en lille organisation, som har måttet prioritere de daglige driftsopgaver højt, specielt i en periode med introduktionen af det primære produkt, MicroVent. Der har i projektperioden været begrænsede personale- og økonomiske ressourcer i InVentilate, specielt i projektets første fase. Dette har klart afledt manglende fremgang i projektet.

Desuden har komfortmålingerne været forsinket væsentligt pga. AAU-instituttets flytning til andre lokaliteter. Her har AAU måttet opbygge et midlertidigt laboratorium med simulering af udeforhold i et kælderlokale. Der har desuden været væsentlige forsinkelser fra leverandøren, som skulle kalibrere de følere, som skulle bruges i forbindelse med måleserie 3.

Projektets milepæle var oprindeligt defineret som:

1. Udredning af driftstilstande
2. Komfortmodul – valg af udviklingsvej
3. Komforttest – indledende test

4. Komfortmodul – funktionsmodel
5. Komforttest– af funktionsmodel
6. Styringsfunktion
7. Kapacitetstest
8. Komfortmodul– Prototype

Bortset fra de generelle forsinkelser nævnt tidligere og ændringen omkring kapacitetstest har projektet fulgt de oprindelige forventninger. Der har derfor ikke været store indholdsmæssige ændringer i aktiviteterne. Resultaterne undervejs har nogle gange været overraskende og udfordrende, men det oprindelige projektgrundlag var været stærkt nok til at holde fokus på projektets målsætninger.

Desuden har projektets erfaringer og konklusioner givet ny viden og inspiration til deltagerne, som kan virke som startpunkt til nye retninger indenfor energioptimal ventilation og køling.

1.5 Project results and dissemination of results

Projektets overordnede tekniske resultater er beskrevet i afsnit 1.4. og har været både forventelige og overraskende. Det nærmere indhold af systemets driftstilstande og komponenter uddybes herunder.

Behovet for ventilation og køling i bygningen varierer med klimaet omkring bygningen og bygningens anvendelse. Behovet består af det atmosfæriske behov, som skyldes luftens CO₂-indhold og andre gasser, og det termiske behov, som skyldes ønske om ændringer i rumtemperaturen eller fastholdelse, når der er varmekilder i rummet i form af personer, udstyr eller solindfald.

I en situation, hvor tilskudsvarmen præcis svarer til bygningens varmeafgivelse til omgivelserne er bygningen i balance; kaldet balancetemperaturen. Er tilskudsvarmen mindre end varmeafgivelsen, opstår et behov for opvarmning af bygningen. Er tilskudsvarmen større end bygningens varmeafgivelse, stiger temperaturen i bygningen, og der opstår et behov for køling af bygningen. Med de skærpede krav til isolering af bygninger ligger balancetemperaturen ved moderne administrationsbygninger i intervallet 0-5 grader. I sådanne bygninger er man ofte nødsaget til at bortventilere luften længe inden, at den har nået et kritisk CO₂-niveau svarende til, at det atmosfæriske behov er dækket.

Driftstilstande (DTS)

Inden for projektet har vi arbejdet med fire overordnede DTS, som tilsammen kan opfylde bygningens samlede behov for ventilation og køling:

1: Atmosfærisk ventilation

Under tilstand 1 er virkningsgraden på varmegenvindingen høj. Cyklussen i ventilationenshedernes retningskifte afpasses således, at varmegenvindingen på enhederne er på det maksimale niveau, f.eks. 90.%. Denne DTS anvendes, når varmesystemet er i drift.

2: Termisk ventilation

I DTS 2 udnyttes det forhold, at regeneratorens evne til at genvinde varmen aftager med hyppigheden af flowets retningsskifte. Når cyklustiden forøges, reduceres den mængde varme, regeneratoren afgiver til indblæsningsluften. DTS 2 anvendes, når tilskudsvarme alene er nok til at opvarme bygningen og der optræder et behov for køling. Behovet udsættes således ved at øge bygningens varmeafgivelse til omgivelserne ved at reducere på genvindingsgraden i ventilationsenhederne. Luftskiftet kan øges til maksimal kapacitet, dvs. over det atmosfæriske behov.

Dog vil der være et minimum på varmegenvindingen, da indblæsningstemperaturen ved lave udetemperaturer ellers kan blive så lav, at det giver trækgener i bygningen. Dette er dog ikke relevant, når der ikke er personer i bygningen.

Hvis udetemperaturen er høj, så vil varmegenvindingen kunne gøres minimal. Her vil den ene halvdel af bygningens ventilationsenheder fungere som indblæsningsenheder og den anden halvdel fungere som udsugningsenheder. Flowet kan dog skifte retning af og til for at få en jævn ventilation/køling af hele bygningen

3: Frikøling med opblanding

DTS 3 træder i drift, når det ikke er tilstrækkeligt at sikre bygningens termiske indeklima med reducere af varmegenvinding uden, at der også opstår trækgener for personer i rummet. Her er det være nødvendigt at blande udeluften med luften i rummet for at gøre luftstrømmen varmere. Derved kan luften blive længere tid ved loftet, så det ikke falder ned i opholdszonen som en kold luftstrøm, der kan give trækgener.

Der er dog en begrænsning på, hvor meget opblanding, man kan tillade, da det "oplevede" luftskifte i rummet øges med opblandingen. Dette giver anledning til større lufthastigheder i rummet, som også kan opfattes som trækgener.

DTS 3 er kun relevant, når der er personer i bygningen.

4: Frikøling og forceret termisk ventilation

DTS 4 træder i kraft, når det termiske luftskifte når maksimum flow i DTS 3. Ved overgangen til DTS 4 skifter gruppen af ventilationsenheder, som under DTS 3 fungerede som udsugningsenheder, retning således, at alle enheder fungerer som indblæsningsenheder. Overtryk elimineres ved at enhederne koordineres med central udsugningsventilator eller ved at åbne vinduer.

I overgangen mellem DTS 3 til 4 forøges systemets ydelse med 100 % uden at enhedernes energiforbrug forøges. Merforbruget ved fordoblingen består alene i energiforbruget til en eventuel udsugningsventilator, som har et begrænset energiforbruget i forhold til luftskifte (lavt SEL).

Benyttes udsugningsventilatorerne til at etablere et undertryk i bygningen, kan ventilationskapaciteten forøges yderligere.

Opblanding bruges i DTS 4, når indblæsningstemperatur giver anledning til træk og at der er personer i bygningen.

Komfortmodul

Frikøling med luft kan give komfortgener. Indblæses større mængder luft i en bygning med en temperatur væsentligt under temperaturen i bygningen, giver det trækgener for bygningens brugere. Det er helt vitalt, at systemet ikke giver komfortgener. Som følge heraf har vi udviklet et komfortmodul, som monteres i forlængelse af mikroventilationsenheden.

Komfortmodulet træder i kraft i DTS 3 og DTS 4, når systemet registrerer indblæsningstemperaturer under komfortgrænsen.

Kold luft fra mikroventilationsenheden ledes gennem et opblandingskammer sammen med varm luft fra rummet. Udeluften blandes med luften fra rummet og temperaturforskellen udlignes. Resultatet er, at man kan udskifte en større luftmængde uden komfortgener end ved simpel termisk ventilation samtidig med, at køling af den overopvarmede luft opnås. Ved at kende temperature og luftmængder kan opblandingen reguleres således, at indblæsningstemperaturen og samlet luftmængde give den bedste komfort for personerne i bygningen.

Vedrørende offentliggørelse af resultater, så har AAU offentliggjort resultaterne af deres forsøgsrækker i "MicroVent (Summary) - DCE Contract Report No 165", se appendix. Der har ikke været andre offentliggørelse af resultater og produktet er ikke lanceret på markedet endnu.

1.6 Utilization of project results

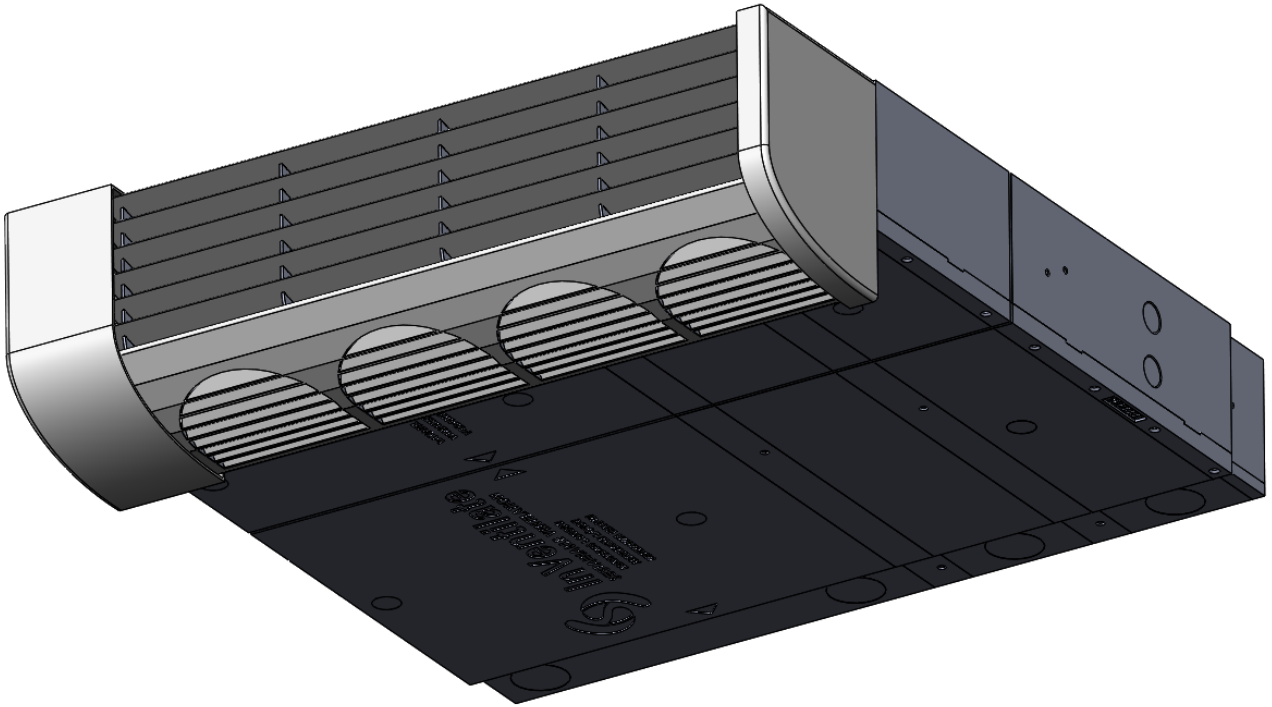
Det vil kunne lade sig gøre at introducere et frikøling-produkt til markedet, når det er produktionsmodnet. Men hvorvidt det er forretningsmæssigt interessant at lancere produktet hænger også sammen med, om brugerens komfortmæssige oplevelse vil kunne retfærdiggøre en forøgelse af installationsprisen svarende til et komfortmodul og en eventuel udvidelse af betjeningsinterfacet. Det er dog vores vurdering, at det er økonomisk relevant.

Før introduktion til markedet bør der laves field tests, hvori brugere vurderer systemets praktiske anvendelighed. Under forsøgene skal brugeren kunne give inputs til funktioner og kunne vælge driftstilstande og parametre heri. Via logning vil vi så kunne finde en sammenhæng mellem behov og brug.

Det er klart relevant at frikøle bygninger både energimæssigt og økonomisk.

InVentilate ønsker at kunne tilbyde et unikt produkt til frikøling og har gennem projektet fået viden og erfaringer til at kunne færdiggøre et produkt. Vi har en fungerende prototype af opblandingsmodul og styring, som kan gøres klar til markedet forholdsvis hurtigt.

Især muligheden for at eftermontere opblandingsmodulet og styringen på "normale" MicroVent installationer er meget interessant. Det er vores erfaring, at brugere af bygninger ofte oplever, at luften i lokalerne bliver for varm og at de efterfølgende ønsker yderligere køling.



1.7 Project conclusion and perspective

Generelt er det meget relevant med frikøling i nyt lavenergi-byggeri og specielt i skoler.

En veldesignet frikølingsenhed vil primært kunne forbedre det termiske indeklima ved reduktion af de varme timer op til 25 °C. Ved at anvende dobbeltindblæsning i kombination med særskilt udsugningssystem kan frikølingspotentialitet i udeluften udnyttes yderligere og dermed reducere de varme timer ved 26-27 °C.

Det vurderes at denne type frikøling i flere tilfælde dermed er tilstrækkelig til overholdelse af de termiske krav for lavenergi-byggeri, specielt ved optimal udnyttelse af ønsket om højere lufthastigheder i køletilstand. Det er dog en betingelse at modulet designes, således at indblæsningshastigheden kan tilpasses relativt store luftmængder - og at der indarbejdes størst mulig brugeroverstyring for at opnå accept igennem individuel tilpasning.

En ny måde at betragte mikroventilations-enheden er, at se den som friskluftleverandør til en 'klimatiseringsenhed', som sørger for den optimale levering af luft til lokalet.

April 2015/JL

Afrapportering på udvikling af frikølingsenhed

Dette er et arbejdsnotat til den afsluttende fase med konklusioner og sammendrag af de enkelte arbejdsområder. Notatet er udført af Ekolab med input fra de øvrige projektdeltagere.

Hovedkonklusion

Generelt er det meget relevant med frikøling i nyt lavenergibyggeri og specielt i skoler. En veldesignet frikølingsenhed vil primært kunne forbedre det termiske indeklime ved reduktion af de varme timer op til 25 °C. Ved at anvende dobbeltindblæsning i kombination med særskilt udsugningssystem kan frikølingspotentialitet i udeluften udnyttes yderligere og dermed reducere de varme timer ved 26-27 °C. Det vurderes at denne type frikøling i flere tilfælde dermed er tilstrækkelig til overholdelse af de termiske krav for lavenergibyggeri, specielt ved optimal udnyttelse af ønsket om højere lufthastigheder i køletilstand. Det er dog en betingelse at modulet designes, således at indblæsningshastigheden kan tilpasses relativt store luftmængder - og at der indarbejdes størst mulig brugeroverstyring for at opnå accept igennem individuel tilpasning. En ny måde at betragte mikroventilations-enheden er, at se den som friskluft-leverandør til en 'klimatiseringsenhed', som sørger for den optimale levering af luft til lokalet. I den forbindelse kan der overvejes supplerende med aktiv køling. For en nærmere afklaring af en komfort- og energimæssig optimering af driftsformer og design, er det nødvendigt med grundige tilrettelagte forsøg i praksis. Forsøg skal udføres i tilstrækkelig omfang for at fastlægge betydende faktorer. *April 2015/Ekolab/Jørgen Lange*

INDHOLD

Sammenfattende konklusion på udvikling af frikølingsenhed

Del 1 – Diverse opsamling på udvikling af frikølingsenhed

Del 2 - Vurdering af termisk indeklime

Del 3 - Input til 'de fire spørgsmål'

Del 4 - Bearbejdning af simuleringer (BSIM)

BILAG

Bilag 1: TI notat til de fire spørgsmål

Bilag 2: Uddrag ISO 7730



Figure 1: One InVentilote unit.



Figure 3: Pictures of the different configurations tested (from left to right: no grille / grille / grille with cover / mixer 1 / mixer 2).

Sammenfattende konklusion på udvikling af frikølingsenhed

Frikøling er relevant i byggeri hvor der er stort varmetilskud og lavt varmetab. Projektets grundide er at udnytte udeluften i større grad ved at supplere frikølingsenheder til mikro-enheden, som dermed kan opblande den kolde udeluft med varm rumluft.

Dynamiske simuleringer viser der generelt kan findes relevans ved både nybyggeri og til dels ældre byggeri af kontorer og skoler. Specielt skolers varmebalance og brugsmønster viser at have stor indflydelse fra frikølingsenhederne. De afsluttende dynamiske simuleringer viser, at man med dobbelt indblæsning via alle mikro-enheder kan tilføre køleeffekter, som reducerer de varmere timer (over 26-27C). Dette princip øger dog risiko for negativt oplevet termisk indeklima ved lave udetemperaturer. Der kan i stedet fastholdes en mindre luftmængde og via en frikølingsenhed udnyttes en større temperaturdifferens mellem rumluften og udeluften. Simuleringer viser en markant reduktion af antal varme timer op til 26C med frikølingsenheden. Enheden kan i øvrigt medføre en lufthastighed, som kan være positiv for oplevelsen af det termiske indeklima ved en køletilstand (personen er ikke i termisk balance og synes der er for varmt).

Målinger viser at den udviklede rist til selve mikro-enheden giver et indblæsningsmønster i rummet, som ikke forbedres væsentligt med de nuværende design af frikølingsenheder. Der opnås med opblanding en lavere indblæsningstemperatur, men lufthastigheden bliver modsat øget. Trækoplevelsen (udtrykt ved Draft Rating værdi) vil derfor være næsten den samme for personer der er i termisk balance. Oplevelse af termisk komfort er imidlertid et sammenfald af en lang række faktorer og oplevelse af lufthastigheden er afhængig af personens aktuelle termiske balance. Der bør derfor foretages helhedsvurderinger med anvendelse i praksis.

Praktiske forsøg til overbevisning af byggebranchen vurderes at være et meget vigtigt virkemiddel for at de vil anvende nye klimatiseringsløsninger. Teoretiske forsøg kan supplere for at foretage detaljerede betragtninger og for at eliminere usikkerheder i praktiske målinger i felten. Forsøgsrækkerne skal derfor designes og tilrettelægges nøje for at kunne lokalisere og fastlægge de vigtigste designparametre for komfort.

Frikølingsenhederne skal optimeres ved at kunne håndtere varierende luftmængder via en tilpasning af indblæsningsareal, luftstrålens form og retning. For at understøtte beslutningen hos projekterende og bygherrer om at foretage et alternativ valg af løsninger, skal der i enhederne indarbejdes fleksibilitet over tid i ydelse, multifunktionalitet og fremtidssikring. Man gå i retningen af et samlet modul som 'klimatiseringsenhed'. Design bør i øvrigt ske ved hensyntagen til minimum påvirkning af klimaskærm.

Der er teoretisk komfortmæssige udfordringer ved luftkøling via vægindblæsning. Potentialet i systemløsninger til det praktisk oplevede indeklima i køletilstand, bør derfor udnyttes fuldt ud. Brugerindflydelsen er absolut altafgørende for accept af løsningen i praksis. Der bør her ske inspiration fra andre brancher vedr. brugervenlige og produktionsvenlige løsninger til påvirkning af strålens retning og ventilatorstyring. Her tænkes specielt på forbedret komfortoplevelse i køletilstand ved at forøge lufthastigheder og luftstrålens karakter.

Del 1 - Diverse opsamling på udvikling af frikølingsenhed

Indhold:

- Resultatet af komfortmålinger
- Relevansen af udeluft til frikøling
- Udfordringen ved vægindblæsning
- Udnyttelse af kølekapacitet i luftbevægelser
- Brugerindflydelse som fokusområde
- Designkriterier for løsningen
- Afprøvning gennem helhedsbetragtninger

Resultatet af komfortmålinger

AAU har foretaget laboratiemålinger og udført målerapporter af flere omgange på følgende:

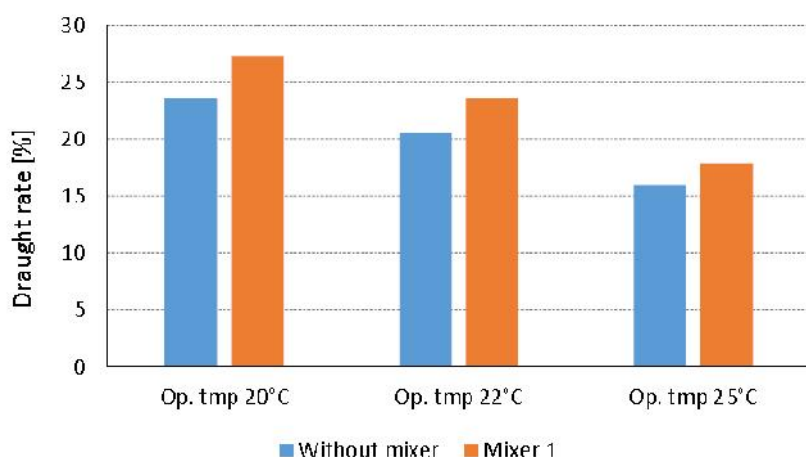
- Part 1: Measurement of the air jet and some chosen parameters (cycles 30 and 120 seconds)
- Part 2: Measurement of the air jet and some chosen parameters (cycles 240 and 360 seconds)
- Part 3: Measurement of the draught rate in the occupied zone

Udgangspunkterne for AAUs målinger på trækrisiko (DR-værdien) er følgende:



The conclusions of this study are based on the following case:

- one inlet and one outlet composed of 4 fans each
- room geometry of the study case (LxWxH = 7.5 to 4 m x 5.4 m x 2.3m)
- air change rate between 0.7 up to 1.3 ACH
- operative temperature not lower than 22°C
- steady-state air flow in the room



Resultatet af målingerne er at opblandingsenheden har begrænset effekt på DR værdien, fordi en forhøjet lufthastighed reducerer effekten af en højere lufttemperatur. Generelt er DR værdierne højere i det korte rum pga. et større luftskifte. Mixer 2 resulterer generelt i for store lufthastigheder.

Figure 6: Estimation of the draught risk when changing the operative temperature. The calculation are based on the standard DS/CN ISO 7730-2006.

Generelt konkluderes at man kan anvende mikro-enheden med rist uden yderligere tiltag til opblanding eller påvirkning af luftstrålen. Der kan ikke umiddelbart peges på forbedringsforlag til mixeren. Der konkluderes at der kan indblæses temperaturer ned til 12C (forudsat rumtemperatur på 22C). Kommentarer til målinger ses af bilag.

Relevansen af udeluft til frikøling

Velisolerede bygninger med stor intern og ekstern tilskudsvarme vil forekomme i stigende grad. De nordiske lande har gode muligheder for at udnytte udeluften til frikøling en meget stor del af året. Vores nye og efterisolerede bygningerne har en balancetemperatur for opvarmning helt ned til frysepunktet, og de har derfor i driftstiden kølebehov i mange af årets måneder.

En recirkuleringsenhed kan udnytte en koldere udetemperatur end normalt til køling via opblanding med rumluft. Ved blandingsforholdet på blot 1:1, og etablering af systemer til indblæsning af undertemperaturer på op til 10K, kan der indtages udeluft ned til ca. 5C. Dette giver en køleeffekt på ca. 10W/m² svarende til ca. halvdelen af behovet i overgangsperioder i vel designede bygninger. Denne recirkuleringsenhed vil således kunne reducere antal timer over ønsket rumtemperatur i overgangsperioder, men selvfølgelig have sin begrænsning i årets varme perioder. Forudsætningen er optimal funktionalitet af opblandingsenheden og at der ikke opstår for høje lufthastigheder i opholdszonen via design af indblæsningsåbningers størrelse og retning.

Udfordringen ved vægindblæsning

Generelt er der udfordringer ved ensidig indblæsning fra vægriste frem for jævn fordelte loftarmaturer optimeret i design for stor induktionsevne. Modsat anvender branchen enkeltrumsaggregater (f.eks. Airmaster) til skoler og kontorer hvor der er mindre jævn fordelt indblæsning. Units med få angrebepunkter i facade og samtidig bedst mulig spredning af lufttilførslen bør tilstræbes.

Udnyttelse af kølekapacitet i luftbevægelser

I årets varmeste periode er den tilgængelig temperaturdifferens mindre og dermed er der mindre køleeffekt til rådighed hvor kølebehovet er størst. Som compensation for forøget rumtemperatur kan der derfor tilstræbes bedre termisk komfort igennem en øget lufthastighed. Yderligere oplevelse af komfortforbedring kan muligvis ske med luftstråler med højere turbulensintensitet. Her vil en supplerende recirkuleringsenhed med stor ventilator kapacitet være anvendelig under forudsætning af, at der er brugerindflydelse ved påvirkning af på både luftmængde og luftretning.

Tabel C.3 – Anbefalede kriterier for luftbevægelse i sommersituationen efter PMV-metoden (DS/EN ISO 7730:2006)

Operativ temperatur [°C]	Beklædningsisolans [clo]	Maksimal middellufthastighed [m/s]		
		Kategori I	Kategori II	Kategori III ^{a)}
24	0,7	0,35	0,75	1,0
25	0,6	0,45	0,9	1,0
26	0,5	0,6	1,0	1,0

^{a)} Lufthastigheder over 1,0 m/s er uden for PMV-metodens gyldighedsområde og anbefales desuden af praktiske hensyn ikke.

Brugerindflydelse som fokusområde

Der vil ud over det termiske indeklima være en lang række andre fysiske og psykosociale faktorer, som påvirker oplevelsen af indeklima - jo flere 'håndtag' til brugerne jo bedre. Generelt bør brugerindflydelsen derfor sættes meget højt i udviklingsarbejdet frem mod lancering på markedet. Ved øget indflydelse hæves acceptgrænse ved at der er selvbestemmelse og ved at mulighederne for individuelle behov bedre kan tilgodeses.

De tidligere design af multi-indstillelige riste i udviklingsprojektet blev fraveget ud fra produktionshensyn, men der bør kunne findes inspiration til simple riste fra bilindustrien eller fra producenterne af fancoils.

Designkriterier for løsningen

Forudsætningen for komfortrigtig klimatisering er en optimal opblanding af udeluft og recirkuleringsluft. Det primære kriterie for indblæsningen er, at der ikke opstår for høje lufthastigheder i opholdszonen, hvilket skal søges igennem design af indblæsningsåbningens størrelse og retningspåvirkning ved de relativ små drivkræfter i luftstrålen. Specielt her er kræfterne ved undertemperaturen relativt højere i forhold til hastighedsenergien.

Den samlede ventilationsanordning med mikro-enhed og recirkulerings-enhed skal også designes for små friskluftmængder i opvarmningssæsonen, uden at medfører drop i luftstråle med risiko for diskomfort i nærzonen. Ligeledes designes for 2-3 gange så store luftmængder i kølesituationen, uden at give for høje lufthastigheder længere væk fra indblæsning.

Generelt bør der ud fra en helhedsbetragtning i bæredygtigt byggeri tilstræbes at lave løsninger med færrest mulige units med flest mulige funktioner, fleksibilitet mht. udbygning (fremtidigt luftbehov/Køleunit) og den højest mulig grad af brugerpåvirkning (gerne i forskellige 'tilkøbs' pakker). Færrest mulige enheder er normalt prisoptimerende, men færrest mulige gennem-brydninger af klimaskærmen har også energimæssige og lyd-mæssige kvaliteter. Flexibiliteten skal ses som muligheden for at op/ ned gradere sine klimatiseringsløsninger – f.eks. ved at have muligheden for at tilføje ekstra ventilation- og/eller kølekapacitet. Ligeledes er fleksibilitet også løbende opgraderinger af brugerindflydelse og optimeringsfunktioner. Nyeste trends er servicering med opgraderinger via nettet (f.eks. bilmærket Tesla) hvilket kan overvejes i fremtiden.

Afprøvning gennem helhedsbetragtninger

Konkrete målinger i praksis med positive brugeroplevelser er mere overbevisende for rådgiverbranchen og beslutningstagere end producentens egne laboratorietest eller ekstern indkøbte laboratoriemålinger. Så det grundlæggende spørgsmål er derfor: 'Hvilke målinger og afprøvninger skal der til for at overbevise branchen om en risikofri anvendelse?'

De anvendte normer for indeklima skal følges og er gode retningslinjer, men teorierne skal også udfordres i deres definerings af det acceptable indeklima. Indeklima er et mix af mange påvirkninger og alene indenfor det termiske indeklima er der flere faktorer. Det er derfor ikke et tilstrækkeligt beslutningsgrundlag at foretage delmålinger i laboratorier, men der skal i højere grad søges 'helhedsmålinger' udsat for praksis i felten. Modsat er laboratoriemålinger bedre til at eliminere usikkerheder der naturligt vil være i praksis. Pga. de mange faktorer bør der foretages en forsøgsrække for at retvisende grundlag for at konkludere.

Målinger i mindre kontorer med 2-4 personer hvor der ventileres efter max 1000 ppm CO2 kan være en passende overskuelig ramme. Der kan opdeles mellem forskellige forsøgsrækker med varierende påklædning og aktivitets niveauer (CLO/MET værdier) og varierende rumtemperatur. Forsøgene bør udføres over et halvår fra sommer til overgangsperiode til vinter hvor brugernes egne indstillinger af ventilerings (hastighed, lamelstilling og placering i lokalet) kan evalueres.

Del 2 - Vurdering af termisk indeklima

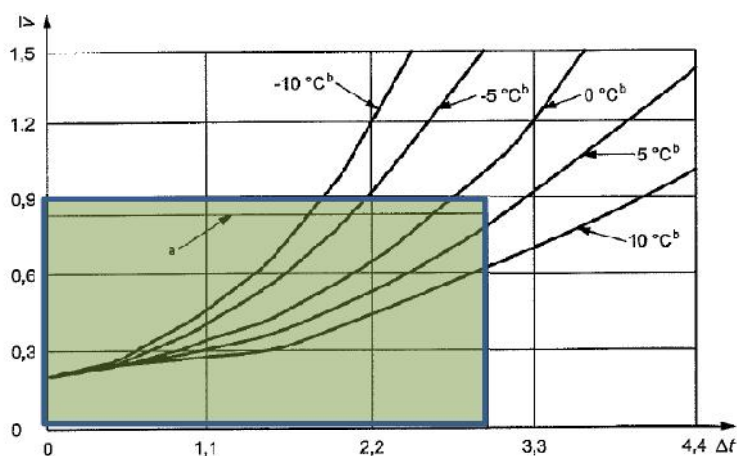
Samlet set vurderes og designes termisk indeklima ud fra kategorier af forventede utilfredse ud fra helhedsbetragtning og for lokale faktorer. Helhedsbetragtning sker ud fra en PPD-værdien som udtrykker antal utilfredse i %. Som grundlag for PPD anvendes PMV værdien hvor der indgår en lang række faktorer primært omfattende aktivitet, beklædning og omgivelsestemperaturer (strålingsudveksling med omgivende flader og lufttemperatur) samt lufthastighed.

Table A.1 — Categories of thermal environment

Category	Thermal state of the body as a whole		Local discomfort			
	PPD %	PMV	DR %	PD %		
				vertical air temperature difference	warm or cool floor	radiant asymmetry
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$	< 30	< 10	< 15	< 10

Der tages dermed ikke højde for lokale afkølinger og periodiske temperatursvingninger, hvilket opleves negativt generelt. Men det kan også opleves positivt i en køletilstand. Jf. ISO 7730 opleves, der ved lufttemperaturer med relevans for køletilstanden (25-27 C), generelt en forbedret termisk komfort (PMV-værdi) ved højere lufthastigheder end den typisk valgte 0,15 m/s. Forbedringen er afhængig af beklædning (CLO værdi) og aktivitetsniveau (MET værdi). Ved eksempelvis MET på 1,2 (kontorarbejde): Ved en CLO 0,5 (sommertøj) og rumtemperatur 26C er der bedre komfort med en lufthastighed på 0,30 m/s end ved 0,15 m/s. Ved en CLO1,0 (alm. tøj) og rumtemperatur 24C er der bedre komfort med en lufthastighed på 1,0 m/s end ved 0,30 m/s.

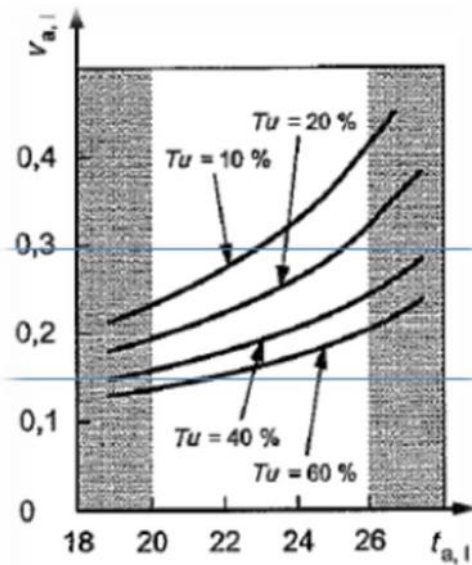
Som supplement til PPD/PMV værdien (ved fastsættelse af indeklima kategori) indgår der fire faktorer til vurdering af lokal diskomfort. I dette tilfælde er DR værdien (Draft %) det mest relevante. I DR formlen indgår den lokale rumtemperatur og lufthastighed samt en vurderet værdi af turbulensintensitet. Generelt indgår temperaturdifferensen mellem luftstrålen (lokal rumtemperatur) og temperatur og strålingspåvirkninger fra omgivelserne ikke i DR formlen, hvilket gør at lufthastighed og temperaturen i luftstrålen er afgørende for DR værdien.



I Annex G pointeres også at der ikke er nogen bestemt lufthastighed der skal være til stede for at opleve komfort – og at en forhøjet lufthastighed kan anvendes til at modvirke en oplevelse af varme ved stigende rumtemperaturer. Der anføres at køleeffekten ved forøget lufthastighed er afhængig af CLO og MET værdi samt forskellen mellem rumtemperaturen og personens overflade (tøj/hud).

Annex 1

Generelt anbefales at man har rumtemperaturer under 29C og lufthastigheder under 0,82 m/s. Ved eksempelvis ens rumtemperatur og strålingstemperatur (kurve 0) vil der med lufttemperatur 28C og lufthastighed 0,6 m/s som ved opleves samme komfort som ved lufttemperatur 26C og lufthastighed 0,3 m/s. Hvis rumtemperaturren er høj og strålingstemperaturen lav er effekten mindre af forøget lufthastighed – og modsat vil forhøjet lufthastighed have stor effekt ved høje strålingstemperaturer (f.eks. ved ophold tæt på varme flade som eksempelvis solbeskinnede vinduer).



Category B: DR = 20 %

Turbolensintensiteten anvendt i formlen for DR vurderes ud fra den valgte ventilationsform, men den har jf. ISO 7730 stor betydning. Ved lave værdier (Tu værdier) accepteres højere lufthastigheder – og modsat.

Fastlæggelsen af værdien for turbulens bør derfor have større opmærksomhed og ved Mikroventilationen er der yderligere det forhold at luftstrømningen kan være periodisk og med varierende temperaturer.

Del 3 – Input til de fire spørgsmålSamtale TI v/Christian Drivsholm d. 28/4 vedr. Spørgsmål fra Inventilate i mail fra JB af 21/4:

Er det en fordel (subjektivt), at bruge mixer? Det fremgår af målingerne, at trækraten ikke bliver væsentlig bedre ved at bruge mixer i stedet for at køre med MicroVent med standardrist. Vil en person subjektivt opleve en forbedring med mixer, da delttemperaturen i opholdszonen bliver mindre på bekostning af, at lufthastigheden bliver højere? Man kunne forestille sig situationer ved høje indetemperaturer (f.eks. 25 grader), at en person faktisk vil ønske en højere lufthastighed.

Er der behov for at kunne styre retningen på indblæsningen? Hvis arbejdspladsen er placeret lige under indblæsningsretningen, så kan man forestille sig, at der periodisk kan falde koldere luft ned på en arbejdsplads. Dette er mest kritisk uden mixer, hvor indblæsningstemperaturen er lavere.

Input til forbedringer af mixeren Har I forslag til, hvordan designet af mixeren kan forbedres ved fremtidige aktiviteter? Det kan f.eks. være afstand til loftet, indblæsningsbredde (areal?), stilbar riste (i 2 akser?) og brugerstyring af mixeren.

Design af forsøg Vi kan ikke køre flere forsøg indenfor projektperioden, men det vil være værdifuldt at finde frem til en testmetode, hvori mixerens subjektive virkning kan undersøges i forhold til en MicroVent med standardrist. Kunne det f.eks. udføres som en fieldtest, hvor der laves en miks af parametre: Med/uden mixer, justerbare riste, brugerstyring?

Kort opsummering af samtale:

- Generelt er der udfordringer ved vægriste frem for optimerede loftarmaturer med stor induktionsevne. Modsat er Airmasters enkeltrumsunit til skoler med mindre jævn fordelt indblæsning
 - Det er meget centralt med en brugerstyring. De tidligere design af multi-indstillelige riste blev afvist ud fra produktionshensyn, men der bør kunne findes inspiration til riste fra bilindustrien eller fra fancoils
 - Indeklima er et mix af mange påvirkninger og alene indenfor det termiske indeklima er der flere faktorer. Det er derfor ikke et tilstrækkeligt beslutningsgrundlag at foretage delmålinger, men der skal i højere grad søges 'helhedsmålinger' i felten. Modsat er laboratoriemålinger bedre til at eliminere usikkerheder
 - Konkrete målinger i praksis med positive brugeroplevelser er mere overbevisende for rådgiverbranchen og beslutningstagere end egne eller købte laboratoriemålinger – så det grundlæggende spørgsmål er derfor: 'Hvilke målinger og afprøvninger skal der til for at overbevise branchen om en risikofri anvendelse'
 - Målinger i mindre kontorer 2-3 personer hvor der ventileres efter max 1000 ppm CO2 kunne være en passende ramme. Der kunne opdeles mellem forskellige forsøgsrækker:
 - Varierende CLO, MET og rumtemperatur over et år med brugerens egne indstillinger af ventilering (hastighed, lamelstilling og placering i lokalet)
 - Der bør tilstræbes få units med flere funktionaliteter, fleksibilitet mht. udbygning (fremtidigt luftbehov/Køleunit) og højest mulig grad af brugerpåvirkning (i forskellige tilkøbslevels)
- ⇒ **TI udarbejder notat som forholder sig til de enkelte delspørgsmål specielt med hovedfokus på fremtidige forsøg**

Mail fra Per Heiselberg d 30/4:

Er det en fordel (subjektivt), at bruge mixer?

Det fremgår af målingerne, at trækraten ikke bliver væsentlig bedre ved at bruge mixer i stedet for at køre med MicroVent med standardrist. Vil en person subjektivt opleve en forbedring med mixer, da deltatemperaturen i opholdszonen bliver mindre på bekostning af, at lufthastigheden bliver højere?

Man kunne forestille sig situationer ved høje indetemperaturen (f.eks. 25 grader), at en person faktisk vil ønske en højere lufthastighed.

Beregnings af trækrisiko forudsætter at personen er i komfort. Når personen er i komfort vil det ikke være en fordel med mixeren selv ved en temperatur på 25 C, se figur 6 i summary report. Er personen ikke i komfort og føler at temperaturen er for høj, vil en øget lufthastighed kunne kompensere for det og mixeren vil være en fordel.

Er der behov for at kunne styre retningen på indblæsningen?

Hvis arbejdspladsen er placeret lige under indblæsningsretningen, så kan man forestille sig, at der periodisk kan falde koldere luft ned på en arbejdsplads. Dette er mest kritisk uden mixer, hvor indblæsningstemperaturen er lavere.

Mulighed for brugeren for styring af luftens retning vil altid være en fordel. Vores målinger forudsætter normal (gennemsnitlig) følsomhed overfor træk. Men der vil altid være personer med høj følsomhed, hvor selv "normalt acceptable" forhold er utilfredsstillende.

Input til forbedringer af mixeren

Har I forslag til, hvordan designet af mixeren kan forbedres ved fremtidige aktiviteter? Det kan f.eks. være afstand til loftet, indblæsningsbredde (areal?), stilbar riste (i 2 akser?) og brugerstyring af mixeren.

Ved brug af mixeren øges "luftskiftet" til 3-6 h-1. Dette er meget tæt på grænsen for lufttilførsel ved opblandingsventilation med tilførsel fra siden. Skal man have større luftskifter er man nødt til at bruge loftsarmaturer ligeligt fordelt i rummet. Ligeledes bliver acceptable undertemperaturer i størrelsesordenen 3-4 C, hvilket også er typisk for opblandingsventilation. Mixeren kan sikkert optimeres, men jeg tror ikke det vil flytte grænserne for anvendelse afgørende.

Design af forsøg

Vi kan ikke køre flere forsøg indenfor projektperioden, men det vil være værdifuldt at finde frem til en testmetode, hvori mixerens subjektive virkning kan undersøges i forhold til en MicroVent med standardrist. Kunne det f.eks. udføres som en fieldtest, hvor der laves en miks af parametre: Med/uden mixer, justerbare riste, brugerstyring?

Ja, det kan gennemføres ved en fieldtest. Udfordringen består i at få et tilstrækkeligt stort antal testpersoner, der har tilnærmelsesvis sammenlignelige forhold og som er indstillet på at være forsøgskaniner. Forskningsmæssigt er det også en udfordring at sikre uafhængig vurdering, da mange ikke vurderer situationen objektivt, men ofte sammenligner med det tidligere, dvs. er det bedre eller dårligere. Skal man korrigere for det, skal personerne udsættes for forskellige løsninger i forskellig/tilfældig rækkefølge (hvilket kræver endnu flere forsøgspersoner). Men det er absolut muligt.

Del 4 – Bearbejdning af simuleringer (BSIM)

Konklusion

Ved typisk anvendte luftmængder i kombination med de typiske interne/eksterne varmebelastninger kan det konkluderes, at nye skoler/institutioner (og til dels kontorer) har et stort frikølingspotentiale. Simuleringerne viser også, at udnyttelsen af frikølingen kan øges - enten ved at udnytte en stor undertemperatur via opblanding med en optimeret frikølingsenhed, eller ved (i perioder uden behov for varmegenvinding) at anvende dobbeltindblæsning. Denne indblæsningsform skal kombineres med et supplerende udsugningssystem eller automatisk vinduesåbning. En anvendelse af frikølingsenhed til temperering af indblæsningsluften, i kombination med dobbeltindblæsning, vil medføre meget store luftmængder. Det vurderes derfor ikke realistisk at anvende denne kombination ved risteindblæsning fra væg, såfremt draft rate skal holdes på et lavt niveau. En lavt draft rate vil nok kræve en konceptændring til bredt indblæsningsområde, jævn fordelt loftindblæsning eller lavimpulsventilation fra loft.

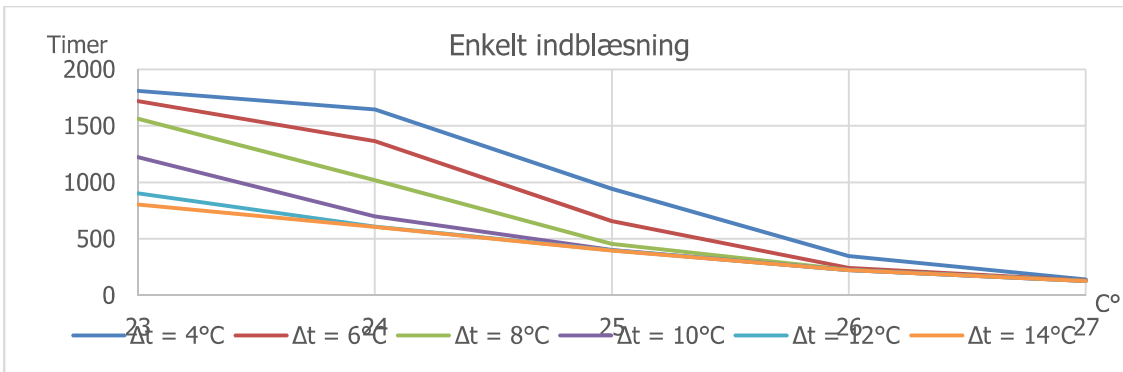
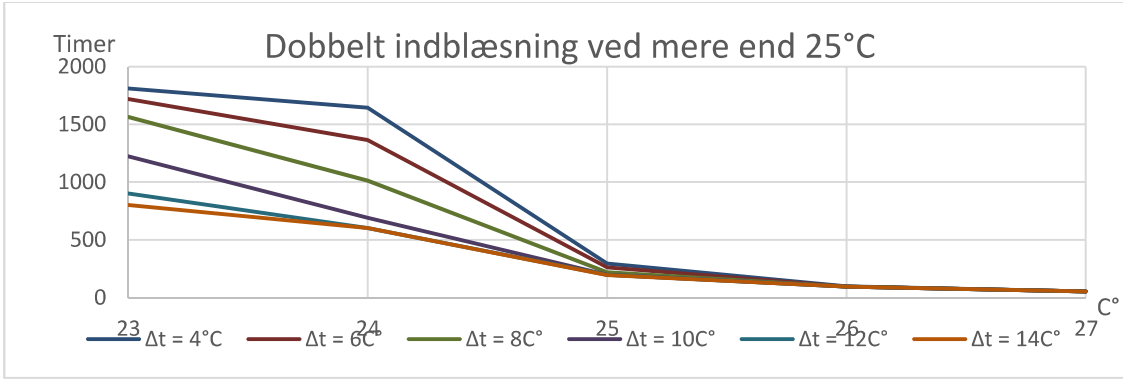
Potentialet for frikøling stiger naturligt sammen med et mindsket varmetab og stigende intern/ekstern varmebelastning. Frikølingen har imidlertid naturligt sin begrænsning i at forhindre overtemperaturer i perioder med høje udetemperaturer. I forbindelse med Bygningsreglementets krav til indeklima i lavenergibygninger, så skal overtemperaturer begrænses til 100 timer over 26 °C og 25 timer over 27 °C. Generelt er temperaturer over 23-25 °C også for høje for en stor gruppe mennesker. Derfor er timeantallet i disse situationer også formålstjenligt at få reduceret mest muligt. En reduktion af timeantallet vil i øvrigt give den afledte effekt at brugerne vil have en mere positiv oplevelse af det atmosfæriske indeklima.

Som det ses af nedenstående grafer og tabeller har indblæsningstemperatur (dvs. udeluften uden evt. opblanding) og indblæsningsmængde stor indvirkning på antallet af de varme timer. Det ses at kontoret ikke har samme udbytte af at udnytte frikøling som skolen har, hvilket bl.a. er pga. varmebelastningen er mindre. Overhedningssituationer skal forekomme i de dele af året hvor udeluften er tilstrækkelig kold til at køle med. Potentialet ved dobbeltindblæsning, hvor alle enheder anvendes til indblæsning (suppleret med central udsugning), bliver ligeledes udvidet ved større varmebelastning.

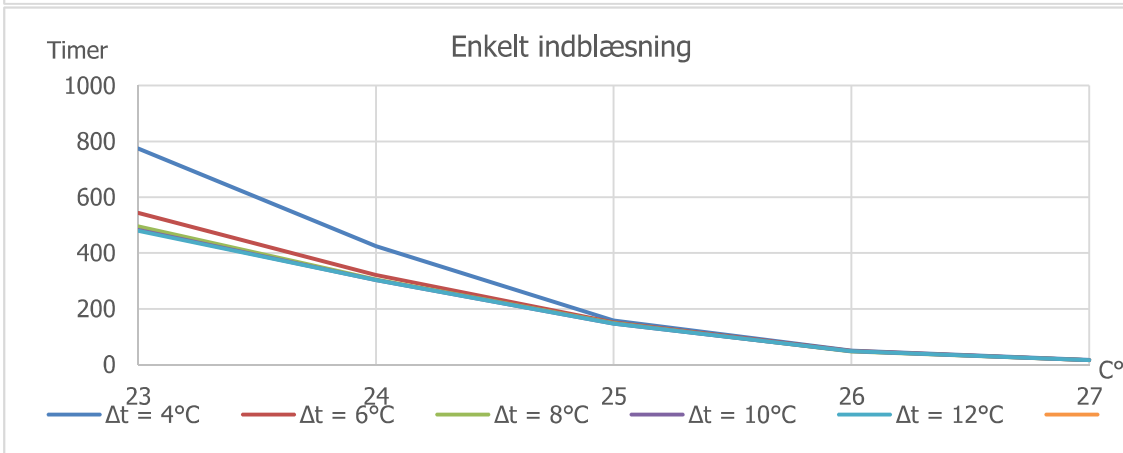
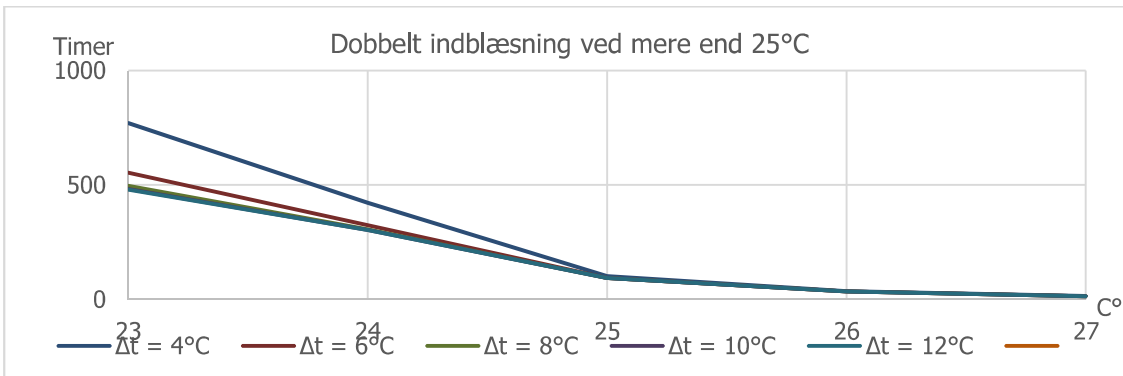
Ud fra nedenstående kurver grafer og tabeller kan opsamles følgende hovedpointer:

- For både skoler (og kontorer til dels) ses at dobbeltindblæsning har en effekt på begrænsning af timeantallet over 24-26°C, og at der er en mindre effekt på timeantallet ved 26-27°C. De store luftmængder indebærer imidlertid en høj risiko for negativ påvirkning af det termiske indeklima. Det vurderes dog at der med en optimal placering af mikro-enheder, kombineret med gode muligheder for brugerstyring, kan anvendes de forøgede luftmængder uden alvorlige komfortgener. Det kan i øvrigt også konkluderes, at der ikke er effekt ved dobbeltindblæsning på timeantallet op til 24°C
- For skoler og institutioner ses at større temperaturdifferens har stor effekt på begrænsningen af timer ved 23-25°C og ved enkeltindblæsning en moderat effekt for timer ved 25-27°C. Dette viser relevansen for et frikølingsmodul, som kan tempererer indblæsningsluften aht. komfort
- For kontorer ses at en større temperaturdifferens og dobbeltindblæsning kun har en begrænset effekt på begrænsningen af timer (kun ved 23-24°C()), hvilket i mindre grad underbygger relevansen af et frikølingsmodul

Skoler:



Kontorer:



Tidligere og tilknyttede Ekolab notater

KS-notat til " Resultater ved forskellige indblæsningstemperaturer" dateret 30.04.15

Resultater ved forskellige indblæsningstemperaturer dateret 30.04.15

Supplerende dateret 12.10.12

"BSim vurdering af frikøling i kontor/skole" dateret 27.09.12.

Overtemperaturer 13.08.12

Udredning af driftstilstande dateret 04.04.2012

Bilag 1: TI notat til de fire spørgsmål

Er det en fordel (subjektivt), at bruge mixer?

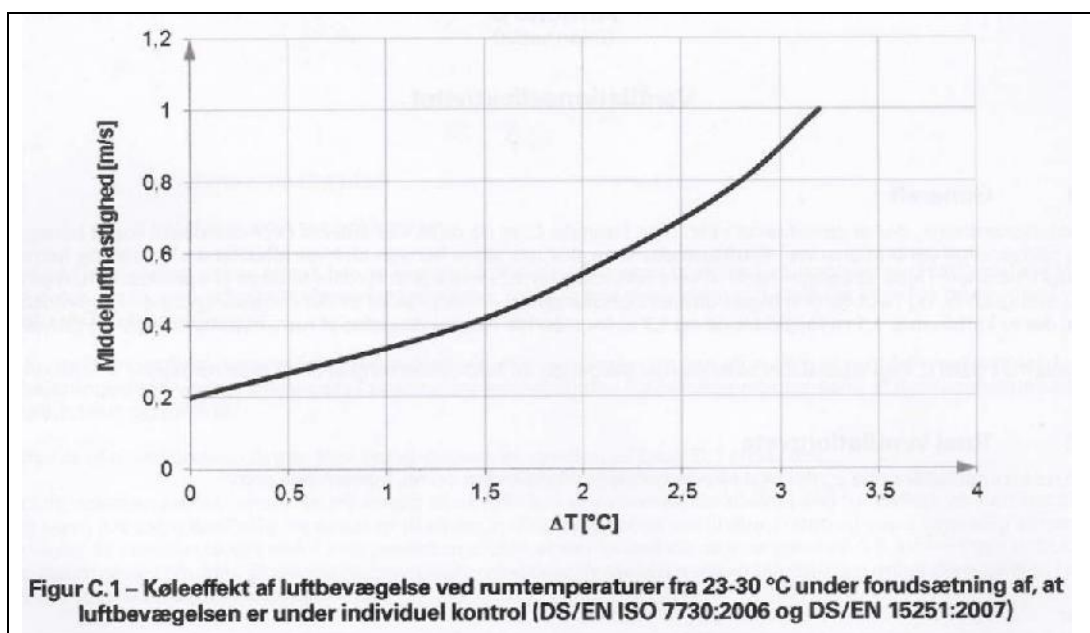
Det fremgår af målingerne, at trækraten ikke bliver væsentlig bedre ved at bruge mixer i stedet for at køre med MicroVent med standardrist. Vil en person subjektivt opleve en forbedring med mixer, da deltatemperaturen i opholdszonen bliver mindre på bekostning af, at lufthastigheden bliver højere?

Man kunne forestille sig situationer ved høje indetemperaturen (f.eks. 25 grader), at en person faktisk vil ønske en højere lufthastighed.

DS – 447 angiver muligheder for at justere på lufthastigheden i lokaler i varme sommerperioder, se tabel C.3 og tabel C.1. Øges lufthastigheden over 0,2 m/s, skal den være under personlig kontrol. Dvs. personen kan selv bestemme, hvornår der ønskes en højere lufthastighed. Herved kan den termiske komfort øges i varme perioder med en integreret mixer. Det kan være fristende, at blæse direkte ind i lokalet med en køligere lufttemperatur; men risikoen for trækgener vil være højere.

Operativ temperatur [°C]	Beklædningsisolans [clo]	Maksimal middellufthastighed [m/s]		
		Kategori I	Kategori II	Kategori III ^{a)}
24	0,7	0,35	0,75	1,0
25	0,6	0,45	0,9	1,0
26	0,5	0,6	1,0	1,0

^{a)} Lufthastigheder over 1,0 m/s er uden for PMV-metodens gyldighedsområde og anbefales desuden af praktiske hensyn ikke.



Er lufttemperaturen i rummet fx 28 grader C, vil en lufthastighed omkring 0,5-0,6 m/s medføre, at lufttemperaturen føles ca. 2 grader C lavere, dvs. 26 grader C.

I en situation med lavere indblæsningstemperatur end rumtemperaturen har det i nogle tilfælde været "vanskeligt" at bruge Fangers træklingning fordi de 3 parametre normalt bygger på en gennemsnitsmåling fx

Annex 1

over 180 sekunder: $\langle T_{\text{luft}} \rangle$, $\langle v \rangle$ og rms. Ofte har den beregnede trækværdi DR ikke afsløret problemer; men den tager ikke hensyn til temperatursvingninger i målepunktet. Røgforsøg i kontorlokaler har afsløret ikke stationære luftbevægelser forårsaget af selve indblæsningen. Hvis en uønsket kølig luftstråle rammer personen uden noget egentlig mønster og frekvens, kan det virke generende selvom DR ikke viser høj værdi. Figuren viser, hvorledes P O Fanger har gennemført sine trækforsøg.

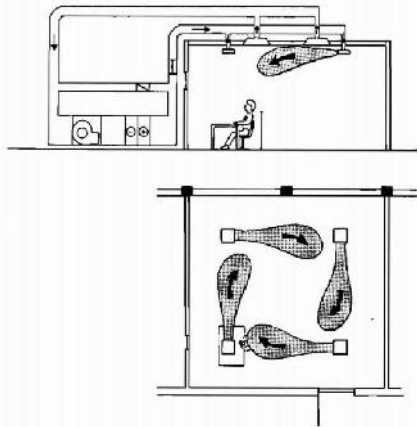


Figure 2. A subject in the draught chamber with the velocity sensor behind the neck, with the air flow from the diffusers indicated and the air-conditioning system shown in the control room.

Den beregnede DR er vist her:

$$DR = (34 - t_{\text{luft}}) \cdot (v_{\text{luft}} - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v_{\text{luft}} \cdot T_u + 3,14)$$

Er der behov for at kunne styre retningen på indblæsningen?

Hvis arbejdspladsen er placeret lige under indblæsningsretningen, så kan man forestille sig, at der periodisk kan falde koldere luft ned på en arbejdsplads. Dette er mest kritisk uden mixer, hvor indblæsningstemperaturen er lavere.

Styring af luftretningen, vil være et stort plus for enheden i modsætning til en statisk rist med fast indblæsningsretning. Man skal ikke undervurdere fordelene ved at brugeren har mulighed for at kunne finjustere luftretningen. Det vil alt andet lige give større tilfredshed med enheden. Intet lokale er 100 % ens. Selvfølgelig kan have forskelligt udseende. Ofte vil det derfor være behov for mindre justeringer. Loftarmaturer tilknyttet centrale ventilationsanlæg har som regel også denne mulighed.

Vi mener der kan hentes inspiration fra fx bilindustrien, hvor justerbare dobbeltlamel indblæsningsriste har været på markedet i mange år, se de efterfølgende billeder:



Indblæsningsristen til venstre blæser skråt opad. Indblæsningsristen til højre blæser skråt nedad.



To indblæsningsriste ved siden af hinanden, som begge blæser skråt opad.

Input til forbedringer af mixeren

Har I forslag til, hvordan designet af mixeren kan forbedres ved fremtidige aktiviteter? Det kan f.eks. være afstand til loftet, indblæsningsbredde (areal?), stilbar riste (i 2 akser?) og brugerstyring af mixeren.

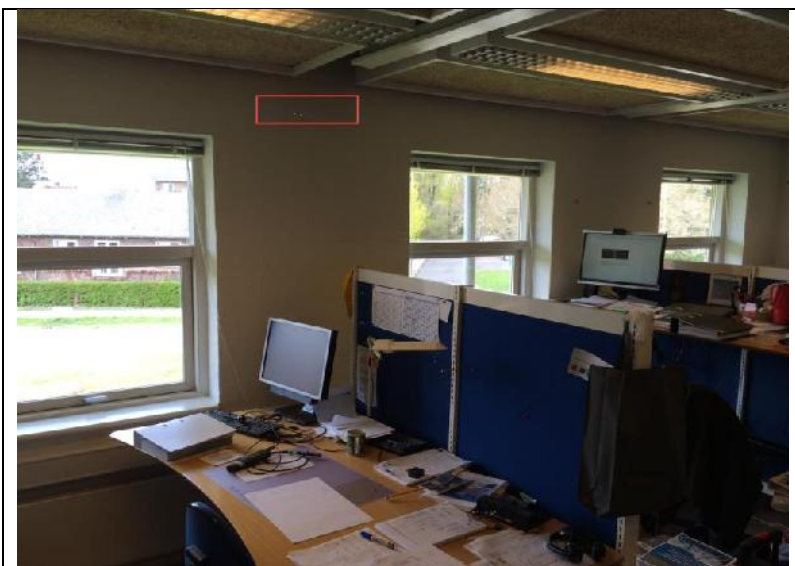
Det vil være en stor fordel, hvis alt sættes ind på at reducere lydniveauet. Følsomheden er ”desværre” forskelligt fra person til person. Omdrejningstallet på de forskellige ventilatorer bør kunne ændres ved hjælp af fjernbetjening. Indblæsningstemperaturen skal ligeledes kunne ændres. Den samlede enheds størrelse (performance/kapacitet) bør nøje vurderes i forhold til lokalebehov. Det kan fx ske i henhold til DS 1752, hvad angår luftbehov pr. m² gulvareal.

En brugerstyring af mixeren vil give store fordele og mindre utilfredshed med enheden. Flere forsøg på DTU har vist, at øges graden af kontrol øges også tilfredsheden med indeklimaet.

Design af forsøg

Vi kan ikke køre flere forsøg indenfor projektperioden, men det vil være værdifuldt at finde frem til en testmetode, hvori mixerens subjektive virkning kan undersøges i forhold til en MicroVent med standardrist. Kunne det f.eks. udføres som en fieldtest, hvor der laves en miks af parametre: Med/uden mixer, justerbare riste, brugerstyring?

Den færdige basisenhed med integreret mixer bør udsættes for en sluttet (læs praktisk test) i et kontorlokale med 2-3 personer, se billede. Enheden bør kunne justeres på flere parametre ved hjælp af en fjernbetjening. Ud fra vores erfaringer er den bedste feedback – foruden bagvedliggende tekniske indeklimamålinger – brugerinterviews. Det forudsætter, at der kan datalogges på enheden (historik trace) ellers kan det blive vanskeligt, at identificere brugsmønstre, hvilke parametre bruges meget og hvilke parametre bliver mindre brugt.



Bilag 2: Relevante uddrag fra ISO7730

4 Predicted mean vote (PMV)

4.1 Determination

The PMV is an index that predicts the mean value of the votes of a large group of persons on the 7-point thermal sensation scale (see Table 1), based on the heat balance of the human body. Thermal balance is obtained when the internal heat production in the body is equal to the loss of heat to the environment. In a moderate environment, the human thermoregulatory system will automatically attempt to modify skin temperature and sweat secretion to maintain heat balance.

Table 1 — Seven-point thermal sensation scale

+ 3	Hot
+ 2	Warm
+ 1	Slightly warm
0	Neutral
- 1	Slightly cool
-2	Cool
- 3	Cold

Formler til bestemmelse af PMV er omfattende og løses iterativt med følgende parametre:

M is the metabolic rate, in watts per square metre (W/m^2);

W is the effective mechanical power, in watts per square metre (W/m^2);

I_{cl} is the clothing insulation, in square metres kelvin per watt ($m^2 \cdot KW$);

f_{cl} is the clothing surface area factor;

t_a is the air temperature, in degrees Celsius ($^{\circ}C$);

\bar{t}_r is the mean radiant temperature, in degrees Celsius ($^{\circ}C$);

v_{ar} is the relative air velocity, in metres per second (m/s);

p_a is the water vapour partial pressure, in pascals (Pa);

h_c is the convective heat transfer coefficient, in watts per square metre kelvin [$W/(m^2 \cdot K)$];

t_{cl} is the clothing surface temperature, in degrees Celsius ($^{\circ}C$).

5 Predicted percentage dissatisfied (PPD)

The PMV predicts the mean value of the thermal votes of a large group of people exposed to the same environment. But individual votes are scattered around this mean value and it is useful to be able to predict the number of people likely to feel uncomfortably warm or cool.

The PPD is an index that establishes a quantitative prediction of the percentage of thermally dissatisfied people who feel too cool or too warm. For the purposes of this International Standard, thermally dissatisfied people are those who will vote *hot*, *warm*, *cool* or *cold* on the 7-point thermal sensation scale given in Table 1.

With the PMV value determined, calculate the PPD using Equation (5), see Figure 1:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,033\,53 \cdot PMV^4 - 0,217\,9 \cdot PMV^2) \quad (5)$$

A.1 Categories of thermal environment

The desired thermal environment for a space may be selected from among the three categories, A, B and C according to Table A.1. All the criteria should be satisfied simultaneously for each category.

Table A.1 — Categories of thermal environment

Category	Thermal state of the body as a whole		Local discomfort			
	PPD %	PMV	DR %	PD % caused by		
				vertical air temperature difference	warm or cool floor	radiant asymmetry
A	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	- 0,7 < PMV < + 0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

6.2 Draught

The discomfort due to draught may be expressed as the percentage of people predicted to be bothered by draught. Calculate the draught rate (*DR*) using Equation (6) (model of draught):

$$DR = (34 - t_{a,l}) (\bar{v}_{a,l} - 0,05)^{0,62} (0,37 \cdot \bar{v}_{a,l} \cdot Tu + 3,14) \quad (6)$$

For $\bar{v}_{a,l} < 0,05$ m/s: use $\bar{v}_{a,l} = 0,05$ m/s

For $DR > 100$ %: use $DR = 100$ %

where

$t_{a,l}$ is the local air temperature, in degrees Celsius, 20 °C to 26 °C;

$\bar{v}_{a,l}$ is the local mean air velocity, in metres per second, < 0,5 m/s;

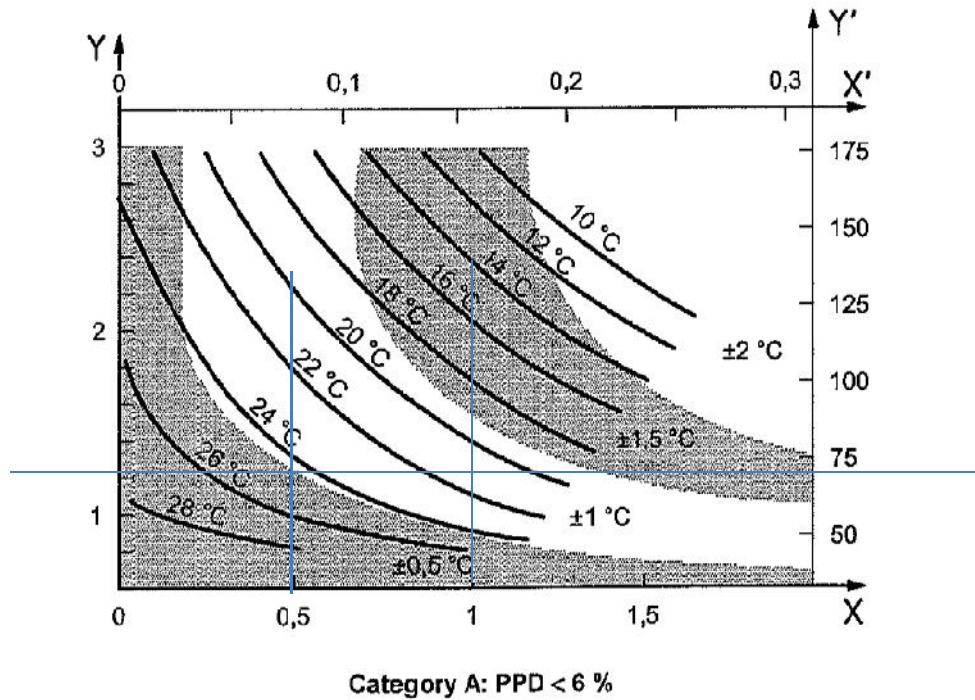
Tu is the local turbulence intensity, in percent, 10 % to 60 % (if unknown, 40 % may be used).

The model applies to people at light, mainly sedentary activity with a thermal sensation for the whole body close to neutral and for prediction of draught at the neck. At the level of arms and feet, the model could overestimate the predicted draught rate. The sensation of draught is lower at activities higher than sedentary (> 1,2 met) and for people feeling warmer than neutral. Additional information on the effect of air velocity can be found in Annex G.

A.3 Local thermal discomfort

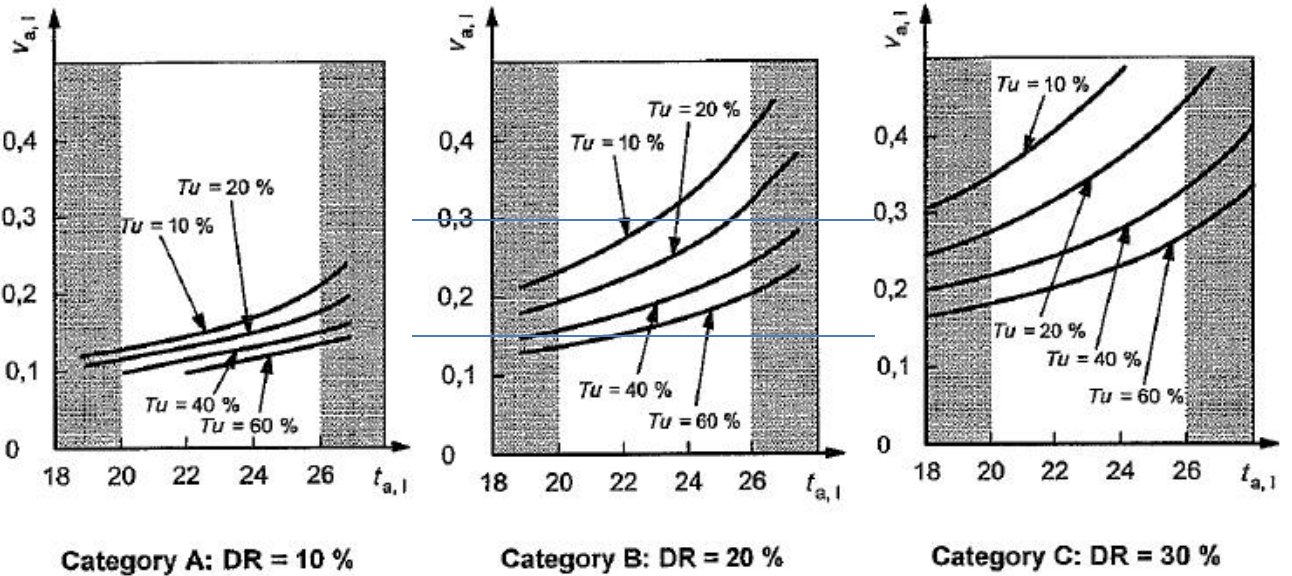
Figure A.2 give ranges for local thermal discomfort parameters for the three categories presented in Table A.1.

The max. allowable mean air velocity is a function of local air temperature and turbulence intensity. The turbulence intensity may vary between 30 % and 60 % in spaces with mixed-flow air distribution. In spaces with displacement ventilation or without mechanical ventilation, the turbulence intensity may be lower.



Key

- PPD predicted percentage dissatisfied, %
- X basic clothing insulation, in clothing units, (clo)
- X' basic clothing insulation, in clothing units, $m^2 \cdot ^\circ C/W$
- Y metabolic rate, in metabolic units, (met)
- Y' metabolic rate, in metabolic units, W/m^2



Key
 $t_{a,l}$ local air temperature, °C
 $v_{a,l}$ local mean air velocity, m/s
 Tu turbulence intensity, %

Figure A.2 — Max. allowable mean air velocity as function of local air temperature and turbulence intensity

A.4 Design criteria for different types of space — Examples

The design criteria specified in Table A.5 are derived under certain assumptions. For the thermal environment, the criteria for the operative temperature are based on typical levels of activity, for clothing of 0,5 clo during summer ("cooling season") and 1,0 clo during winter ("heating season"). The criteria for the mean air velocity apply for a turbulence intensity of approximately 40 % (mixing ventilation). The design criteria are valid for the occupancy conditions as given, but could also be applicable to other types of spaces used in similar ways.

Table A.5 — Example design criteria for spaces in various types of building

Type of building/space	Activity W/m ²	Category	Operative temperature °C		Maximum mean air velocity ^a m/s	
			Summer (cooling season)	Winter (heating season)	Summer (cooling season)	Winter (heating season)
Single office	70	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,12	0,10
Landscape office						
Conference room		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,19	0,16
Auditorium						
Cafeteria/restaurant		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,24	0,21 ^b
Classroom						

Table B.1 — Metabolic rates

Activity	Metabolic rate	
	W/m ²	met
Reclining	46	0,8
Seated, relaxed	58	1,0
Sedentary activity (office, dwelling, school, laboratory)	70	1,2
Standing, light activity (shopping, laboratory, light industry)	93	1,6
Standing, medium activity (shop assistant, domestic work, machine work)	116	2,0
Walking on level ground:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Table D.1 — Example output

Run no.	Air temperature °C	Mean radiant temperature °C	Air velocity m/s	RH %	Metabolic rate met	Clothing insulation clo	PMV	PPD
1	22,0	22,0	0,10	60	1,2	0,5	-0,75	17
2	27,0	27,0	0,10	60	1,2	0,5	0,77	17
3	27,0	27,0	0,30	60	1,2	0,5	0,44	9
4	23,5	25,5	0,10	60	1,2	0,5	-0,01	5
5	23,5	25,5	0,30	60	1,2	0,5	-0,55	11
6	19,0	19,0	0,10	40	1,2	1,0	-0,60	13
7	23,5	23,5	0,10	40	1,2	1,0	0,50	10
8	23,5	23,5	0,30	40	1,2	1,0	0,12	5
9	23,0	21,0	0,10	40	1,2	1,0	0,05	5
10	23,0	21,0	0,30	40	1,2	1,0	-0,16	6
11	22,0	22,0	0,10	60	1,6	0,5	0,05	5
12	27,0	27,0	0,10	60	1,6	0,5	1,17	34
13	27,0	27,0	0,30	60	1,6	0,5	0,95	24

Kommentar: Ved lave rumtemp giver højere lufthastighed flere utilfredse – ved høje lufttemperaturer giver højere lufthastighed færre utilfredse

Ved sommerbeklædning (normalt i køletilstand) skal man op over 26C for at høje lufthastigheder giver mere tilfredshed (det føles mindre varmt), men der er en grænse for lufthast på 0,50 før at det føles værre. Ved normalbeklædning giver rumtemperaturer fra 24C og op efter ønske om højere lufthastigheder – også ved lufthastigheder over 1,0 m/s

Ved høj dresscode (jakkesæt) er høj lufthastighed at foretrække allerede fra 20C, men ved høje rumtemperaturer udlignes effekten af lufthastighed

Table E.3 — Activity level: 69,6 W/m² (1,2 met)

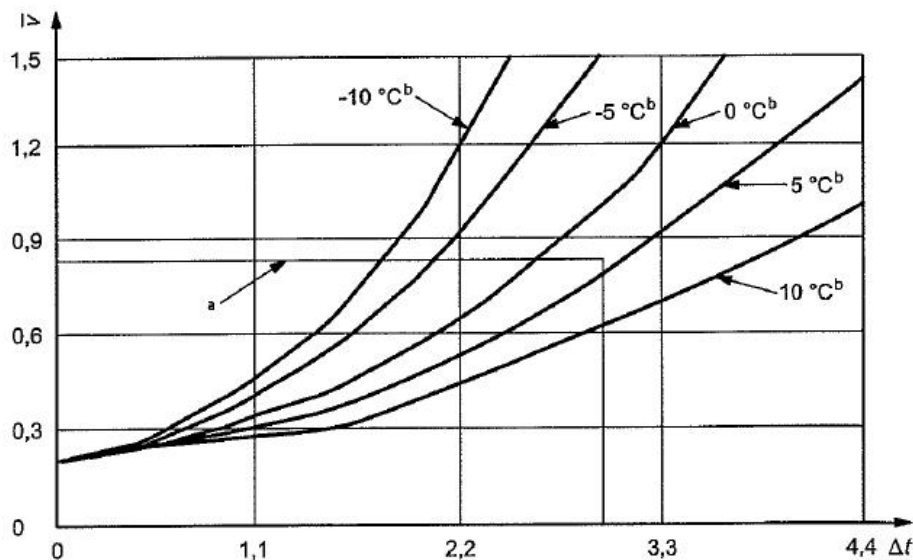
Clothing		Operative temperature °C	Relative air velocity								
clo	m ² · K/W		m/s								
			< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	
0,50	0,078	18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70				
		20	-1,41	-1,41	-1,58	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42		
		22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17	
		24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35	
		26	0,44	0,39	0,26	0,16	-0,01	-0,11	-0,21	-0,52	
		28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-0,31	
		30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14	
		32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99	
1,00	0,155	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12	
		18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59	
		20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07	
		22	0,13	0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52	
		24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02	
		26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,58	
		28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12	
		30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67	
1,50	0,233	12	-1,09	-1,09	-1,19	-1,27	-1,39	-1,48	-1,55	-1,75	
		14	-0,75	-0,75	-0,85	-0,93	-1,03	-1,11	-1,17	-1,35	
		16	-0,41	-0,42	-0,51	-0,58	-0,67	-0,74	-0,79	-0,96	
		18	-0,06	-0,09	-0,17	-0,22	-0,31	-0,37	-0,42	-0,56	
		20	0,28	0,25	0,18	0,13	0,05	0,00	-0,04	-0,16	
		22	0,63	0,60	0,54	0,50	0,44	0,39	0,36	0,25	
		24	0,99	0,95	0,91	0,87	0,82	0,78	0,76	0,67	
		26	1,35	1,31	1,27	1,24	1,20	1,18	1,15	1,08	

Annex G (informative)

Air velocity

The air velocity in a space influences the convective heat exchange between a person and the environment. This influences the general thermal comfort of the body (heat loss) expressed by the PMV-PPD index (see Clauses 4 and 5) and the local thermal discomfort due to draught (Clause 6). There is no minimum air velocity that is necessary for thermal comfort. However, increased air velocity can be used to offset the warmth sensation caused by increased temperature.

Often, the air velocity is increased by opening of windows or use of fans to adapt to warmer environments. Under summer conditions, the temperature can be increased above the level allowed for comfort if a means is provided to also elevate the air velocity. The amount by which the temperature may be increased is shown in Figure G.1. The combinations of air velocity and temperature defined by the lines in this figure result in the same total heat transfer from the skin. The reference point for these curves is 26 °C and 0,20 m/s of air velocity. The benefits that can be gained by increasing air velocity depend on clothing, activity, and the difference between the surface temperature of the clothing/skin and the air temperature. Figure G.1 shows the air velocity that is required for typical summer clothing (0,5 clo) and sedentary activities (1,2 met) that correspond to summer comfort.



For light primarily sedentary activity, Δt should be < 3 °C and $\bar{v} < 0,82$ m/s.

Key

Δt temperature rise above 26 °C

\bar{v} mean air velocity, m/s

^a Limits for light, primarily sedentary, activity.

^b $(\bar{t}_r - t_a)$, °C (t_a , air temperature, °C; \bar{t}_r , mean radiant temperature, °C).

Figure G.1 applies to an increase of temperature above 26 °C with both t_r and t_a increasing equally. When the mean radiant temperature is low and the air temperature is high, elevated air velocity is less effective at increasing heat loss. Conversely, elevated air velocity is more effective at increasing heat loss when the mean radiant temperature is high and the air temperature is low. Thus, the curve in Figure G.1 that corresponds to the relative difference between air temperature and mean radiant temperature must be used. Large individual differences exist between people with regard to the preferred air velocity. Therefore, the elevated air velocity must be under the direct control of the affected occupants and adjustable in steps no greater than 0,15 m/s.

Summary of measurements with MicroVent

Investigation of the draught risk in the occupied zone

Jérôme Le Dréau
Per Heiselberg
Rasmus Lund Jensen



Aalborg University
Department of Civil Engineering
Architectural Engineering

DCE Contract Report No. 165

**Summary of measurements with MicroVent
Investigation of the draught risk in the occupied zone**

by

Jérôme Le Dréau
Per Heiselberg
Rasmus Lund Jensen

March 2015

© Aalborg University

Scientific Publications at the Department of Civil Engineering

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

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

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

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

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

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

Published 2015 by
Aalborg University
Department of Civil Engineering
Sofiendalsvej 11
DK-9200 Aalborg, Denmark

Printed in Aalborg at Aalborg University

ISSN 1901-726X
DCE Contract Report No. 165

1) Objective of the study

InVentilate is a decentralised ventilation system, with heat recovery ($\eta \approx 0.85$) and with a low energy consumption for running the fans ($SEL \approx 300 \text{ J/m}^3$). The ventilation system has already been characterised for heating conditions (cf. internal report *"MicroVent Part I"*). Two additional studies have been performed for cooling conditions: *"MicroVent Part II"* focussed on the characterisation of the inlet jet, and *"MicroVent Part III"* focussed on the characterisation of comfort inside the occupied zone. Only the results of *"MicroVent Part III"* are presented in this summary.

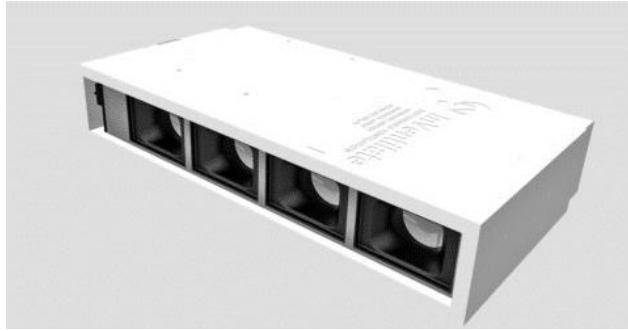


Figure 1: One InVentilate unit.

This summary presents the main results when MicroVent is used in the cooling case, without heat recovery. Experiments have thus been performed with relatively low inlet air temperature (below 15°C). Different solutions have been compared to decrease the risk of draught in the occupied zone:

- using an inlet grille
- using an inlet cover
- using a mixer (2 designs)

2) Experimental set-up

The objective of this experimental set-up is to assess thermal comfort in the occupied zone and assess the draught risk. Therefore, operative and air temperature and velocity sensors are placed in the occupied zone as indicated in Figure 2. The tests are conducted in a chamber of two different lengths: 7.5 and 4 m. The width and the height of the test room is not changed ($W \times H = 5.4 \text{ m} \times 2.3 \text{ m}$). The operative temperature is kept constant, at $22 \pm 0.5^\circ\text{C}$ (variations due to the chiller and the electric carpet).

Sensors:

The location of sensors has been set according to DS/EN 15726. In the vertical position, velocities are measured at 0.1, 1.1 and 1.6 m high from the floor level (the top measurement has been adjusted to fit the ceiling height). In the horizontal position, velocities are measured in the centre line of the room and in two planes, one the left and one on the right from the centre line, that are each 0.5 m from the side walls of the test room. It results in a total of 45 measurement points inside the test room.

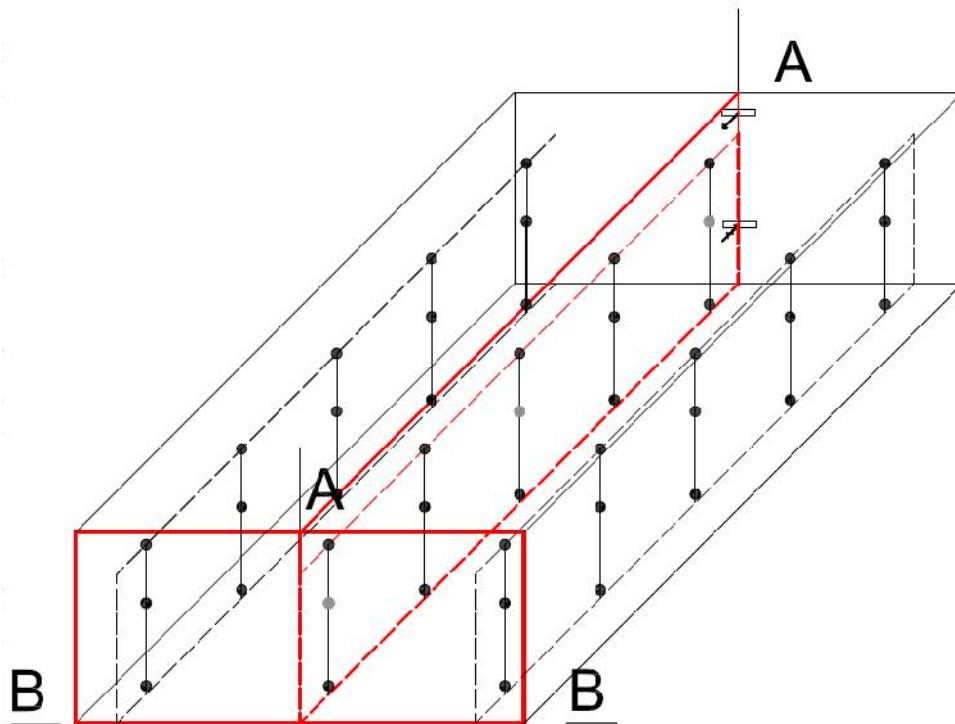


Figure 2: Location of the test planes. Black dots indicate anemometers and grey dots indicate operative temperature sensors.

Both air temperature and air velocity are measured with hot sphere anemometers from Dantec (9054R0102). Each air velocity sensor has been calibrated individually in a wind tunnel (using an orifice plate and a FC510 micro-manometer).

Moreover, the primary inlet jet, jet after mixing, admixed air and outlet temperature are measured using type K thermocouples. The operative temperature is measured in three locations as presented in Figure 2 (1.1 m high), using type K thermocouples inserted in a grey mat sphere. The temperature calibration has been performed using the precise thermometer F200 from Tinsley, and the uncertainty for operative, inlet and outlet temperature measurement is 0.15 K.

Evaluation of the draught rate

The air velocity and the temperature are measured at 5 Hz, and the average value is calculated over 3 minutes (according to DS/EN 13182-2002, "Ventilation For Buildings - Instrumentation Requirements For Air Velocity Measurements In Ventilated Spaces"). The draught rate is calculated based on DS/EN ISO 7730-2006:

$$DR = (34 - t_a)(v - 0.05)^{0.62}(0.37 * v * Tu + 3.14)$$

where: DR draught rating, percentage of people dissatisfied due to draught [%]

t_a local air temperature [°C]

v local mean air velocity [m/s]

Tu local turbulence intensity, ratio of standard deviation of the local air velocity to the local mean air velocity [%]

The limit for draught rate has been set to 20% (according to DS/EN ISO 7730-2006 and DS/CEN/CR 1752-1998). The measurements are performed over 1h30min, and the maximum value of draught rate is then extracted from the measurement, i.e.:

$$DR = \max(\max(DR_{probe\ 1}), \dots, \max(DR_{probe\ 45}))$$

Therefore, a value for 15% means that the draught rate of one probe was equal to 15% for 3 minutes. This type of analysis is in line with DS/EN 13779-2007 and DS/EN 15251-2007:

- From DS/EN 13779-2007 ("Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems"), it is written that "the specified values shall be fulfilled in the occupied zone *in all situations* with normal operation" (part 7.3.4 Air velocities and draught rate).
- From DS/EN 15251-2007 ("Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics"), it is stated that the comfort criteria should be fulfilled for *95% of the space and 97% of the time* (Annex G1).

Air flow from the fans:

Both mixer and MicroVent are equipped with 4 different fans. Due to time limitations, the air flow from the fans has not been measured. Therefore, the nominal values have been used to evaluate the airflow. The formulas used for the conversion voltage-air flow are:

- MicroVent:

$$Q_{MicroVent} = V_{fan} - 2.05 \quad [L/s \text{ per fan}]$$

- Mixer 1 and 2 (SanAce 120 S):

$$Q_{Mixer} = \begin{cases} 0 & \text{if } V_{fan} < 2 \text{ V} \\ 2.38 * V_{fan} + 4.76 & \text{else} \end{cases} \quad [L/s \text{ per fan}]$$

3) Analysis of the results

For the different cases, the inlet temperature has been changed from 5°C up to 17°C, with steps of 3°C. The risk of draught in the room has been tested for different airflows of the MicroVent, and different mixing rates (for the last two cases).

The different inlet designs are presented in Figure 3. The angle of the inlet cover has been determined based on smoke tests measurements. The optimum design is 35° angle and 10 cm from the ceiling. However, it is difficult to find the optimum angle, as it is a trade-off between lowering the momentum and having the jet flowing over the ceiling. When using the mixer, the MicroVent air flow is kept constant, at 4.4 L/s per fan. Mixer 2 has been inclined 15° towards the ceiling.



Figure 3: Pictures of the different configurations tested (from left to right: no grille / grille / grille with cover / mixer 1 / mixer 2).

Without mixer:

The risk of draught with the first three designs has been assessed (Figure 4). It can be observed that the grille decreases the risk of draught (minimum allowed inlet temperature of 11°C instead of 13°C under nominal conditions). However, the use of an additional inlet cover does not decrease the draught rate, and even tends to increase the risk. Similar results have been obtained with the 4 meters room.

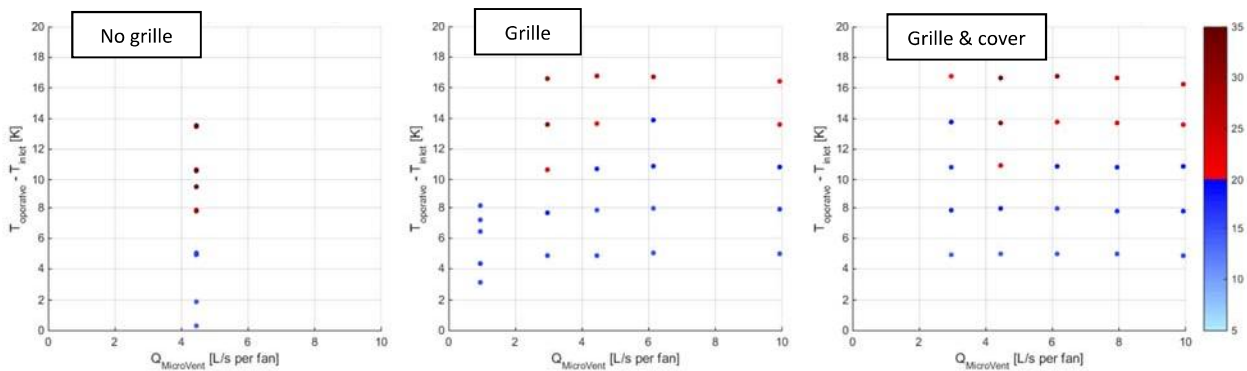


Figure 4: Maximum draught rate in the occupied zone with different inlet designs (7.5 m room).

With mixer:

Another solution to decrease the risk of draught is to increase the inlet air temperature by using a mixer. This solution has been tested for different mixing ratio, from 1:2 up to 1:5 (Figure 5).

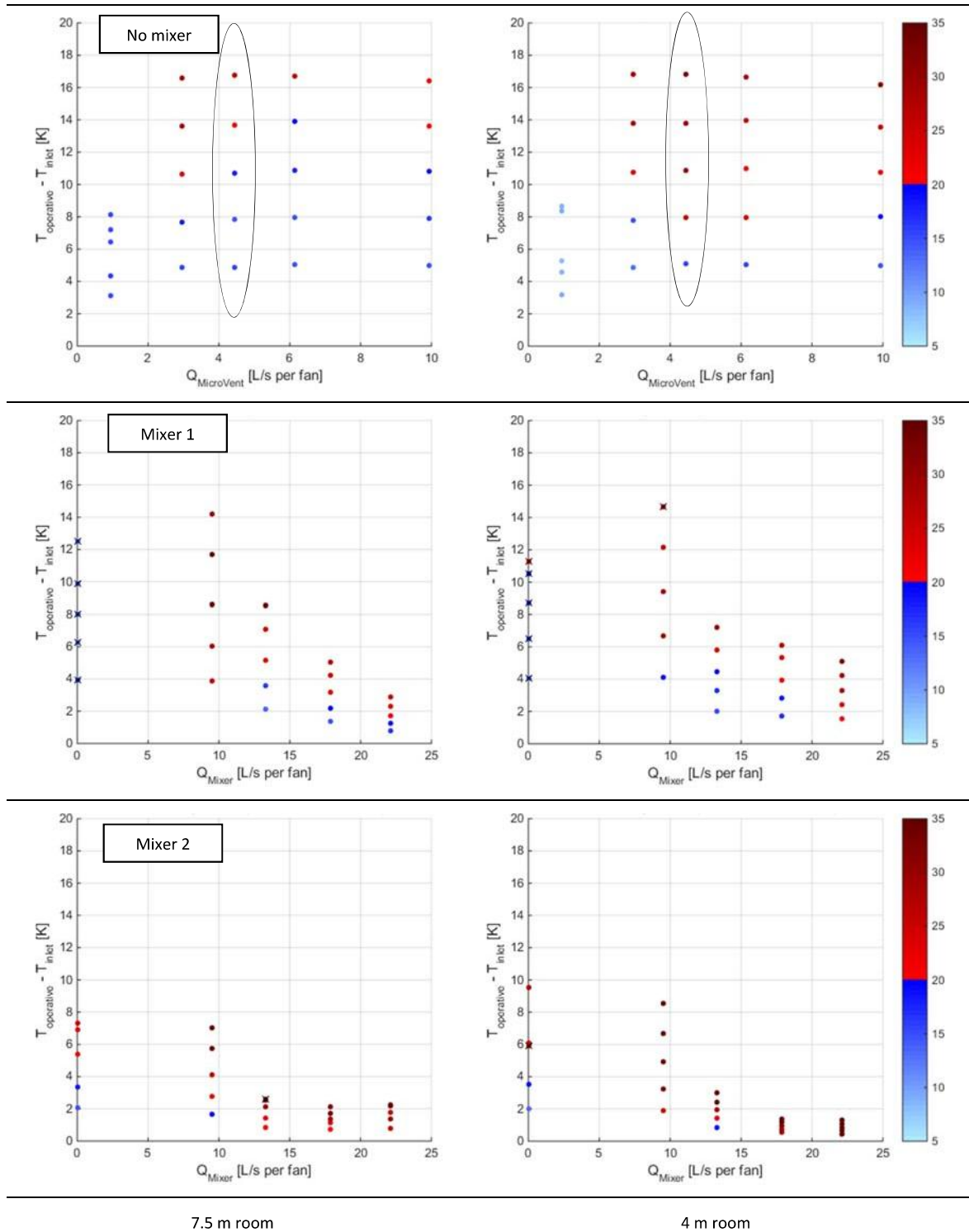


Figure 5: Risk of draught with mixer 1 and mixer 2, and for different room sizes.

For the case without mixer, the following observation can be made:

- It can be observed that the smaller the room, the higher the risk of draught. In fact, the air change rate increases with decreased room size, thus increasing the mean air velocity.
- Changing the fan speed of the MicroVent does not affect much the risk of draught.
- The minimum air temperature without mixer is still relatively high in the occupied zone (around 20°C, for an operative temperature of 22°C).

When adding the mixer, changes can be observed:

- The airflow with the two mixers is different:
 - o Mixer 1 is working properly only when the airflow is higher than 10 L/s (ratio Mixer-MicroVent higher than 2.5). Otherwise, the mixing is not effective and the jet is dropping after the inlet.
 - o Mixer 2 is recirculating a large amount of air from the room.
- When increasing the mixer fan speed, the maximum velocity and thus the risk of draught increases (even though it is not always observed for the 7.5 meters room due to the large spacing between the probes).
- The decrease of draught risk with the mixer cannot be observed clearly. The mixer improves the mixing of the air (and thus increasing the lowest air temperature), but it also increases the air velocity.
- Mixer 2 creates too high air velocity in the occupied zone, and is not suitable to decrease the risk of draught.

4) Conclusion and perspective

For a case with a heating need in the building and the MicroVent heat recovery activated, the results confirm that the risk of draught is below acceptable limits set by the relevant indoor environmental standards.

For a case with a cooling need in the building, the risk of draught will be below acceptable limits set by the relevant indoor environmental standards, if the outdoor temperature is above 12°C or if the heat recovery unit ensures an inlet temperature above 12°C for lower outdoor temperatures. This limits the cooling capacity of the unit to about 100 W in the winter period (2 fans of 4l/s with heat recovery) and to about 200 W in the spring/fall period (4 fans of 4l/s), where outdoor temperatures are above 12°C.

In order to increase the cooling capacity of the MicroVent unit, different changes on the design of the inlet were tested. However, none of the designs decreased the risk of draught in the occupied zone. The use of a grille is the best compromise to keep the draught risk low. However, the inlet air temperature (after heat recovery) should still not be lower than 11-14°C to ensure an acceptable draught risk. The minimum air temperature is dependent on the room size and the air flow rate: the higher the air change rate, the higher the inlet air temperature.

The limitation on the design of the inlet is due to the low momentum from the inlet, which does not allow the jet to attach properly to the ceiling. The use of an inlet cover decreases too much the jet momentum. The use of a mixer creates too high air velocity in the occupied zone.

For other operative temperatures than 22°C, the draught risk changes, but the relative performance of the different solution is the same. With an operative temperature of 20°C, the draught rate would have increased (+4 pp), but the difference between the cases with and without mixer would have remained the same. The most important parameter in the evaluation of draught is the air velocity (for this range of temperature). If the operative temperature in the room is changed to 25°C, the draught rate will then get below 20 % due to the higher air temperature.

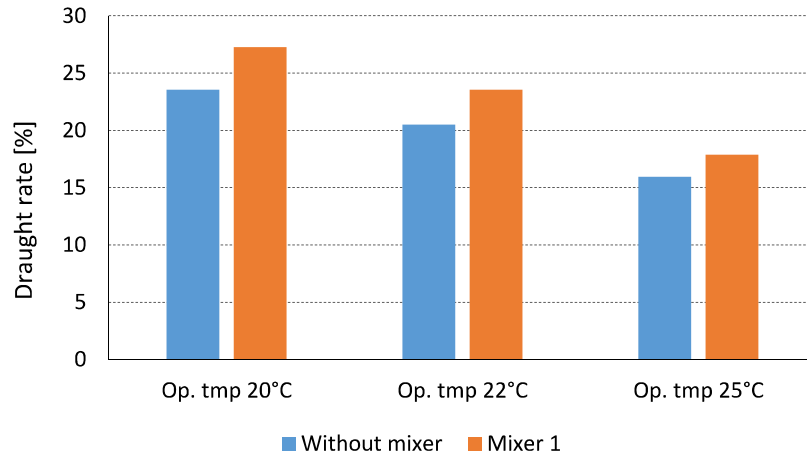


Figure 6: Estimation of the draught risk when changing the operative temperature. The calculation are based on the standard DS/EN ISO 7730-2006.

The conclusions of this study are based on the following case:

- one inlet and one outlet composed of 4 fans each
- room geometry of the study case ($L \times W \times H = 7.5 \text{ to } 4 \text{ m} \times 5.4 \text{ m} \times 2.3 \text{ m}$)
- air change rate between 0.7 up to 1.3 ACH
- operative temperature not lower than 22°C
- steady-state air flow in the room

