

Van gemeenschappelijk naar individueel geregeld

Ruimteventilatie gebaseerd op totale luchtvolume ventilatie is vaak inefficiënt voor het realiseren van een kwalitatief hoogwaardig binnenmilieu. Dit resulteert in een onnodig hoog energiegebruik. Geavanceerde luchtvoorzieningen die ontworpen zijn om lokaal in schone lucht te voorzien kunnen effectief verontreinigingen weg ventileren en tegelijkertijd thermisch comfort bewerkstelligen. Bovendien zorgen ze voor een hoge binnenluchtkwaliteit en verminderen ze het risico op de verspreiding van infectieziekten.

Prof.dr.ir. A.K. (Arsen) Melikov, Ashrae Fellow & professor bij het International Centre for Indoor Environment and Energy (Iciece) van de faculteit Civil Engineering op de Technische Universiteit Denemarken DTU)

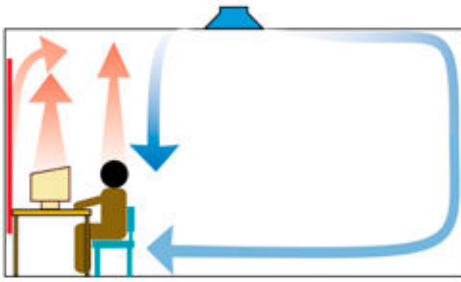
Het binnenmilieu beïnvloedt de gezondheid, het comfort en de prestatie van gebruikers. De energie die nodig is voor het verwarmen, koelen en ventileren van gebouwen is substantieel. Ventilatie is primair bedoeld om de gebruiker te voorzien van schone ademlucht. Vaak wordt de ventilatielucht geconditioneerd om een comfortabele temperatuur en luchtvochtigheid te handhaven. Met betrekking tot dit proces is de luchtdistributie van groot belang. Op dit moment wordt meng- en verdringingsventilatie, gebaseerd op de totale te verversen luchthoeveelheid in een ruimte, het meest toegepast in de praktijk. In veel gebouwen is er sprake van een matige binnenluchtkwaliteit, ook als het algemene ventilatiesysteem naar behoren functioneert. Dit laatste is zeer frustrerend voor de gebouwbeheerder en betrokken installatietechnici en tegelijkertijd uitdagend voor de HVAC-industrie. De huidige strategie gebaseerd op totale luchtvolumeventilatie (ook bekend als verdunningsventilatie) is inefficiënt. Totale luchtvolumeventilatie heeft een aantal nadelen:

- de schone en geconditioneerde lucht wordt toegevoerd ver van de gebruikers vandaan

- en gemengd met warme en verontreinigde ruimtelucht (deze kan ziektekiemen bevatten, uitgedemd door zieke personen) voordat deze de eindgebruikers bereikt;
- het is moeilijk om verontreinigen te verwijderen bij de bron (gebruikers, bouwmaterialen, apparatuur, etc.) voordat deze gemengd worden met de ruimtelucht; vaak bevordert het luchtstromingspatroon het transport van verontreinigingen die gegenereerd zijn buiten de leefzone (denk aan emissies van vluchtige stoffen bijvoorbeeld van wandoppervlakken) naar de leefzone toe; temperatuur, luchtsnelheid en de distributie van verontreinigingen in een ruimte is erg afhankelijk van de complexe interacties tussen het stromingsprofiel van luchttoevoerroosters, de thermische pluim boven gebouwgebruikers, verlichtingselementen, etc. en luchtstromingsverstoringen veroorzaakt door koude/warme oppervlakken (wanden, ramen) die moeilijk te beheersen zijn (figuur 1);
- filteren, conditioneren en distribueren van grote hoeveelheden toevoerlucht is noodzakelijk voor het ventileren van het gehele ruimtevolumen (inclusief de lucht volumes in

- ongebruikte ruimten!) en dit verhoogt het energiegebruik; extra grote luchtbehandelingskasten en luchtkanalen zijn benodigd deze nemen ruimte in beslag en verhogen de investeringskosten;
- flexibel ruimtegebruik wordt beperkt door de installatietechnische voorzieningen; totaal-luchtvolumesystemen hebben tot doel om een uniforme temperatuur en luchtsnelheid in zowel de leefzones als de rest van het gebouw te realiseren en om de omgeving te ontwerpen voor een 'gemiddelde gebruiker' terwijl er in werkelijkheid grote verschillen bestaan tussen personen als het gaat om hun binnenmilieuvorkeuren;
- wellicht geven weinig mensen de voorkeur aan een (te) uniforme omgeving, zoals die door het gemiddelde totaal-luchtvolumesysteem geleverd wordt.

De energiebesparingsstrategie die de afgelopen jaren is aangenomen in gebouwen, gebaseerd op een reductie van de verse luchttoevoer, is gevaarlijk, omdat deze de gezondheid en prestatie van de gebruikers negatief beïnvloedt. Een grote denkomslag is dan ook



-Figuur 1- Voorbeeld van luchtstromingsinteracties in een ruimte, met een toename van de sterkte van de thermische stroming nabij het raam door zoninstraling. De gebruiker en apparatuur kunnen het luchtstromingspatroon van de ventilatie veranderen. Dit kan dan weer resulteren in discomfort door tocht.



-Figuur 2- Foto van testopstelling voor een onderzoek naar de menselijke reactie op persoonlijke ventilatie [2]

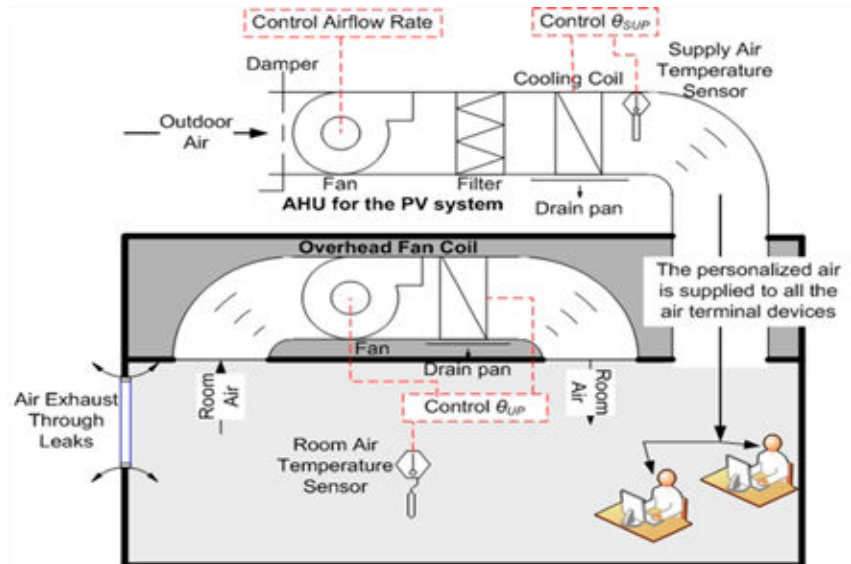
noodzakelijk: van het ontwerpen van een gemeenschappelijke binnenmilieu naar het ontwerpen van individueel geregeld micro-omgevingen.

■ ONDERZOEK

Om een kwalitatief hoogwaardig binnenmilieu te realiseren is het noodzakelijk om de luchtdistributiestrategie te veranderen. Het ventilatiesysteem kan aangevuld (of in sommige gevallen geheel vervangen) worden door een geavanceerd luchtdistributiesysteem. Persoonlijke ventilatie (PV) heeft als doel om schone, verse lucht bij elke werkplek direct in de ademzone van de gebruikers toe te voeren [1]. In de klimaatkamers en 'field labs' van het Centre for Indoor Environment and Energy van de Technische Universiteit van Denemarken (DTU), zijn in de loop der jaren verschillende pv-systemen onderzocht middels fysische metingen en evaluaties met meer dan 1.000 proefpersonen (figuur 2).

Op basis van die DTU onderzoeken kon een aantal conclusies getrokken worden:

- schone lucht, toegevoerd direct op de werk-



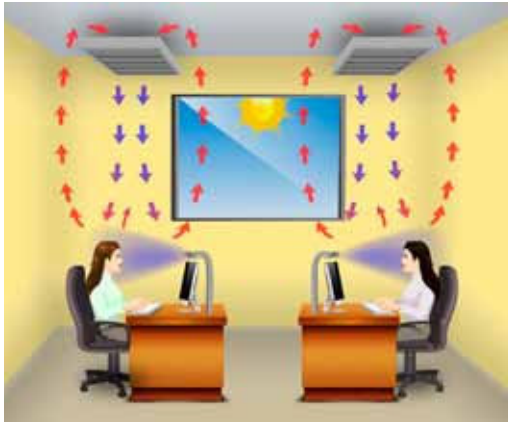
-Figuur 3- Een verbeterd binnenmilieu in de leefzone en verlaging van het energiegebruik door het koppelen van persoonlijke ventilatie met mengventilatie voor achtergrondklimatisering [12]

plek, verbetert de (objectieve en subjectieve) kwaliteit van de ingeademde lucht. Dit heeft op zijn beurt weer een positief effect op de gezondheid, het comfort en de prestatie van de gebruikers [2, 3]. Resultaten van experimenten met proefpersonen [2] hebben een significante verbetering laten zien van de zelf ingeschatte en de objectief gemeten prestatie (productiviteit) wanneer men beschikt over een persoonlijk ventilatiesysteem. Daarnaast blijkt het gebruik van pv de traanlaagstabiliteit te verbeteren (relevant in de context van oogirritaties);

- in een warme omgeving verbetert het thermisch comfort en de ervaren luchtkwaliteit van gebruikers wanneer zij blootgesteld worden aan een verhoogde luchtsnelheid, gegenereerd door (instelbare) pv-systemen. Dit effect werd ook gevonden wanneer gewerkt werd met (een traploos instelbare) tafelventilator die verontreinigde lucht verplaatst. Echter, het voordeel van persoonlijke ventilatie is dat de toegevoerde schone lucht resulteert in minder 'sick building symptomen' (gebouwgelerateerde gezondheidsklachten), en een verhoging van het algehele welzijn en de overall concentratie. Dit in tegenstelling tot de oplossing met de tafelventilator, waarbij dit niet gebeurt [4, 5]. In een recent gepubliceerd onderzoek werden de reacties van proefpersonen gemeten bij een luchttemperatuur van 28°C en een relatieve vochtigheid van 50%. Dit werd gedaan onder 3 testsituaties: 1. zonder enige koeling, 2. met koeling door middel van een tafelventilator die individueel geregeld kon worden en 3. met koeling door middel van persoonlijke ventilatie (toevoer van een isothermische stroming). Het gebruik van convectieve koeling (ventilator of persoonlijke ventilatie) verminderde het percentage personen dat discomfort rapporteerde van

32% zonder koeling (testsituatie 1) naar 8% met convectieve koeling (testsituatie 2 en 3). Tijdens de tests voerden de proefpersonen typische kantoortaken uit; na 4 uren was het percentage proefpersonen dat aangaf moeilijkheden met concentreren te hebben 8% bij het gebruik van persoonlijke ventilatie (testsituatie 3) en 20% bij het gebruik van een tafelventilator (testsituatie 2) of geen enkel koelingsmiddel (testsituatie 1);

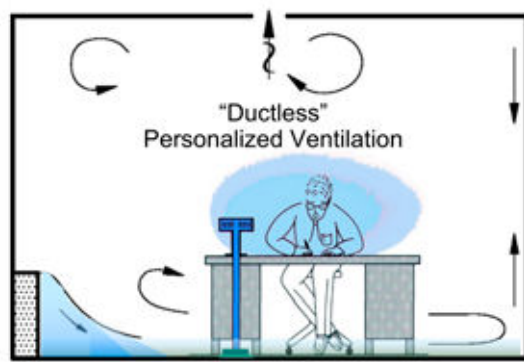
- het risico van luchtgebonden kruisbesmetting vermindert substantieel [6] en het koel-/verwarmingsvermogen van de toegevoerde lucht wordt veel efficiënter gebruikt als er gebruik gemaakt wordt van pv-systemen;
- individuele eindgebruikers zijn goed in staat om met de geteste PV-systemen de eigen geprefereerde thermische omgeving te verkrijgen door het zelf instellen van het luchtdebiet, de richting en de temperatuur van de lokaal toegevoerde lucht [7, 8]. Dit in aanvulling op de verbeterde waargenomen luchtkwaliteit van de ingeademde lucht, die de prestatie van de gebruikers (ook) positief zal beïnvloeden. Een onderzoek [7] met 48 proefpersonen, liet zien dat het gebruik van individueel geregeld lokale verwarming en koeling bij 20°C, 22°C en 26°C het thermisch comfort significant verbeterd ten opzichte van het thermisch comfort bij 22°C zonder individuele regeling;
- een juist ontwerp en juiste plaatsing van de luchttoevoer- en afvoeropeningen zorgt voor een beheersing van de luchtinteractie nabij het menselijk lichaam [9, 10] en een verwijdering van vervuiling voordat deze gemengd wordt met de ruimtelucht [11]. Hierdoor kunnen betere, schonere leefzones gerealiseerd worden met een (ten opzichte van reguliere ventilatiesystemen) verlaagd ventilatiedebiet.



-Figuur 4- Persoonlijke ventilatie voorziet in schone lucht in de ademzone gecombineerd met een passief koelplafond voor het afvoeren van de warmte die gegenereerd wordt in de ruimte. [14]



-Figuur 7- Persoonlijke ventilatie in een grote open kantoortuin in de VS [21]



-Figuur 5- Het principe van 'kanaallose' persoonlijke ventilatie in combinatie met verdringingsventilatie [16]



-Figuur 6- Persoonlijke ventilatie in een kantoor in Denemarken. Hier is het toevoerrooster boven de computermonitor gesitueerd. Gebruikers kunnen het debiet zelf instellen, en ook het veranderen van de uitblaasrichting - horizontaal en verticaal - is mogelijk. [20]

De toepassing van pv-systemen kan energie besparen [12, 13, 14, 15]. Schiavon et al. [12] lieten zien dat in een warm buitenklimaat (Zuiden van de VS) persoonlijke ventilatie, in combinatie met een traditioneel ventilatiesysteem (gebaseerd op recirculatie van de ruimtelucht voor het behouden van de luchttemperatuur), sprake kan zijn van energiebesparingen tot ca. 50% (een en ander in vergelijking tot alleen een mengventilatiesysteem). Die berekende maximale energiebesparing geldt wanneer de volgende regelingsstrategieën werden toegepast:

- het verminderen van de overall verse luchttoevoer wat mogelijk is door een hogere effectiviteit van pv;
- het verhogen van de maximale toegestane algehele luchttemperatuur 's zomers anticiperend op de lokale koelcapaciteit van de pv ten aanzien van het beheersen van het microklimaat op de werkplekken;
- enkel verse luchttoevoer van buiten wanneer de gebruiker aan zijn bureau zit (aanwezigheidsdetectie). Wanneer gecorrigeerd wordt voor het energiegebruik van een extra (elektrische) verwarmingsunit in de door Schiavon et al onderzochte pv-unit dan is de energiebesparing ongeveer 40% van het totale energiegebruik in plaats van de eerder genoemde 50%.

Onderzoek [14] laat zien dan in een gematigd buitenklimaat (Denemarken, Nederland, etc.)

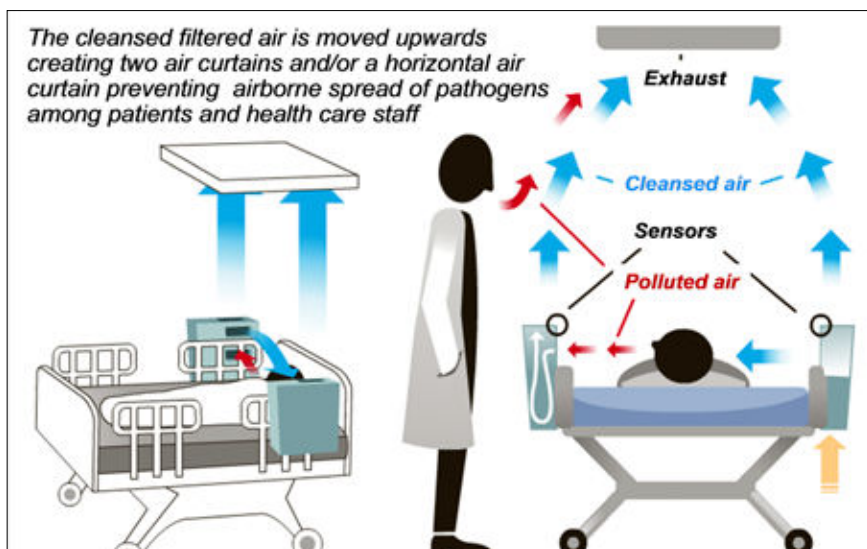
de toegevoerde ventilatielucht met tot 80% verminderd kan worden wanneer pv gecombineerd wordt met passieve koelplafonds voor regeling van de ruimtetemperatuur (figuur 4). De minimale hoeveelheid buitenlucht die benodigd is voor verdunning van de verontreinigingen afkomstig uit bouwmaterialen en kantoorapparatuur wordt toegevoerd op werplek-niveau of middels achtergrondventilatie. Het 'kanaallose' persoonlijke ventilatieconcept (DPV of Ductless Personal Ventilation) is een paar jaar geleden geïntroduceerd door DTU [16]. Wanneer dit gecombineerd wordt met verdringingsventilatie wordt de ervaren luchtkwaliteit en het thermisch comfort significant verbeterd ten opzichte van alleen verdringingsventilatie. Dit geldt voornamelijk voor warme omgevingen van 26-29°C [17, 18]. 'Kanaallose' persoonlijke ventilatie kan gecombineerd worden met apparatuur die lokaal de

lucht zuivert [19]. Uit energieanalyses blijkt dat wanneer DPV gecombineerd wordt met verdringingsventilatie het gebouw gebonden energiegebruik significant kan verminderen terwijl het tegelijkertijd voorziet in een goede luchtkwaliteit en het thermisch comfort voor de gebruikers. Dit geldt vooral wanneer het systeem alleen werkt op het momenten dat werkplekken bezet zijn [15].

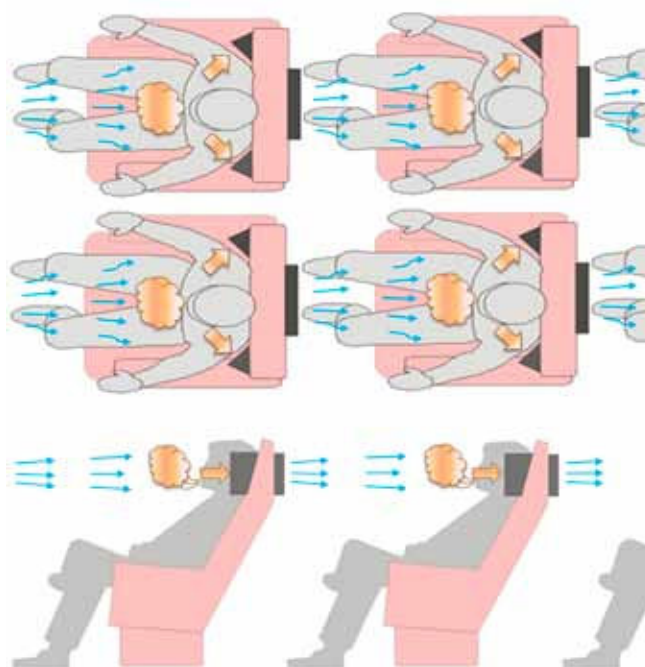
■ PRAKTIJKTOEPASSINGEN

In verschillende kantoorgebouwen – in verschillende landen – is al gebruik gemaakt van persoonlijke ventilatie [20, 21]. Gedetailleerde veldonderzoeken op het gebied van pv zijn schaars. Maar de oriënterende veldonderzoeken die zijn uitgevoerd en de informele terugkoppelingen van gebouwbeheerders laten zien dat de implementatie van persoonlijke ventilatie over het algemeen succesvol is. In figuur 6 en 7 zijn foto's weergegeven van twee gebouwen waarin persoonlijke ventilatie systemen geïnstalleerd zijn.

Geavanceerde luchtdistributie met microklimatisering heeft brede toepassingmogelijkheden in de praktijk. Zo is de binnenluchtkwaliteit in ziekenhuizen belangrijk voor het herstel van de patiënten en de prestatie van het personeel. De huidige mengventilatiesystemen hebben niet de potentie om de behoeften in moderne ziekhuisen te vervullen ten aanzien van het binnenmilieu en energiegebruik. De patiënten en het personeel hebben verschillende activiteiten en de fysiologische staat van het lichaam is verschillend, ze worden echter aan hetzelfde klimaat blootgesteld. Daarnaast is de bescherming tegen lucht gebonden kruisbesmetting met de huidige mengventilatiesystemen vaak inefficiënt omdat de pathogenen die worden gegenereerd door de ademhaling van geïnfecteerde patiënten gemengd worden met de ruimtelucht. Een nieuwe methode voor ventilatie van ziekenhuizen, gebaseerd op beheersing van de blootstelling aan pathogenen, is gedemonstreerd in een apart onderzoek [22]. Twee apparaten worden hierbij vastgemaakt aan het bed van de patiënt (figuur 8). Verontreinigde ruimtelucht wordt in de unit getrokken, gezuiverd (HEPA-filter en UVGI-licht) en vervolgens horizontaal ingeblazen vlak bij de patiënt. Hierbij wordt de verontreinigde uitgedemde/uitgehoeste lucht (die geïnfecteerd kan zijn) onttrokken door de uitlaatopening van het tweede apparaat die gericht is naar de patiënt voordat deze gemengd wordt met de ruimtelucht. De lucht wordt gezuiverd in het apparaat en wordt dan of in een opwaartse richting naar de uitlaat vrijgelaten als een luchtgordijn (transparante barrière) tussen de patiënt en de persoon die naast het bed staat, of vrijgelaten in de ruim-



-Figuur 8- Het principe van geïntegreerde ventilatie- en zuiveringsunits (Hbivcu) in een ziekenhuisbed als ventilatiemethode [22].



-Figuur 9- Geavanceerde persoonlijke ventilatie verwerkt in een stoel voor het verwijderen van de uitgedemde – mogelijke besmette – lucht bij de bron [26]

telucht (waarbij het apparaat de lucht eerst zuivert, dit is verder niet weergegeven in figuur 8). De units kunnen gekoppeld worden aan het bestaande (meng)ventilatiesysteem. Met deze nieuwe oplossing, ontwikkeld speciaal voor ziekenhuizen, wordt het debiet benodigd voor de achtergrondventilatie verminderd en het risico op lucht gebonden kruisbesmetting beperkt. Het 'plug and play'-principe kan toegepast worden en een flexibel ruimtegebruik kan bewerkstelligd worden (de patiënten in hun bed met geïntegreerde ventilatie- en zuiveringsunits kunnen samen met hun persoonlijke ventilatie verplaatst worden van de ene naar de andere ruimte). Er kan aanvullend voorzien worden in een individueel geregeld microklimaat nabij het bed door lokale koeling

en verwarming [23].

■ TOEPASSING IN VOERTUIGEN

Persoonlijke ventilatie wordt al jaren toegepast in theaters en auto's. In de meeste gevallen wordt dit gedaan voor het verbeteren van het thermisch comfort van de gebruikers. Transmissie van infectieziekten door de lucht door ademhalingsactiviteiten (ademen, hoesten en niezen) is een serieus probleem, voornamelijk in dicht bezette ruimten zoals reisomgevingen (vliegtuigen, treinen, bussen, auto's), theaters, etc. Voor de vermindering van lucht gebonden kruisbesmetting in voertuigcabines (vliegtuigen, bussen, treinen, etc.) wordt voorgesteld om geavanceerde ventilatiesystemen toe te passen [24, 25]. Figuur 10 laat een

methode zien voor geavanceerde ventilatie [26]. Deze methode is gebaseerd op het 'duw en trek'-ventilatieprincipe. De luchttoe- en afvoerunits zijn bevestigd in de stoelen en worden gebruikt om de luchtstromingsinteractie in de ademzone te regelen. Dit verhoogt niet alleen de verhouding van de schone lucht in de ingeademde lucht, maar verwijdert ook de meeste verontreinigde uitgeademde lucht bij de zitplek voordat deze gemengd wordt met de omringende lucht.

Dit leidt tot een vermindering van de verontreiniging van de cabinelucht. Schone lucht wordt toegevoerd vanuit de achterkant van de stoel naar de voorkant richting de ademzone van de passagiersstoel achter zich. De schone lucht penetreert in de vrije convectiestroming aan de voorkant van het lichaam van de passagier. De lucht wordt ingeademd voordat deze gemengd is met de omringende verontreinigde cabinelucht.

Deze gepersonaliseerde luchtstroming heeft een wisselwerking met de uitgeademde lucht en duwt deze terug richting de stoel die bezet wordt door de passagier, waarin uitlaatroosters aan beide kanten van het hoofd zijn bevestigd. De verontreinigde uitgeademde lucht wordt dus afgevoerd op de plek waar deze is gegenereerd, voordat deze gemengd wordt met de omringende lucht. Aan de hand van fysische metingen in een proefopstelling van een vliegtuigcabine is de prestatie en efficiëntie van het systeem aangetoond [26].

POTENTIE PV

Geavanceerde persoonlijke ventilatie heeft de potentie om te voorzien in een gezondere, comfortabelere en productievere omgeving in vergelijking tot de niveaus die behaald kunnen worden door de gebruikelijke meng- en verdringingsprincipes. Daarnaast kan wellicht ook het energiegebruik verminderd worden door toepassing van dergelijke systemen. De implementatie van pv-systemen in de praktijk is echter uitdagend. Verschillende praktische problemen gerelateerd aan esthetica, distributie en toevoer van schone lucht, geluid en bediening dienen opgelost te worden. Desalniettemin is de kennis en techniek, die benodigd is voor het met succes toepassen van geavanceerde, gelokaliseerde ventilatieoplossingen al beschikbaar. In de toekomst zal de ontwikkeling van efficiënte methoden voor het (lokaal) zuiveren van de ruimtelucht en het op de markt komen van kleine airconditioningsystemen het steeds beter mogelijk maken om op grote schaal over te stappen op persoonlijke ventilatiesystemen (en algemeen microklimatisering) geïntegreerd in het meubilair (bureau, stoel, bed, etc.).

REFERENTIES

- Melikov, A.K. 2004. Personalized ventilation. *Indoor Air 14* (supplement 7): 157-167
- Melikov, A.K., Skwarczynski, M., A., Kaczmarczyk, J., Zabecky, J., 2013, Use of personalised ventilation for improving health, comfort and performance at high room temperature and humidity, *Indoor Air*, 23 (3), pp. 250-263
- Kaczmarczyk J., Melikov A., Fanger, P.O., 2004, Human response to personalized and mixing ventilation, *Indoor Air*, 14 (suppl.8), 1-13
- Melikov, A.K. and Kaczmarczyk, J. 2012. Air movement and perceived air quality, *Building and Environment*, 47, pp. 400-409
- Melikov, A.K., Krejciriková, B., Duszyk, M., Sakoi, T., Kaczmarczyk, J., 2012, Use of local convective and radiant cooling at warm environment: effect on SBS symptoms, *Proceedings of Healthy Buildings 2012*, 8-12 July 2012, Brisbane, session 4G, paper 4G.7
- Cermak, R. and A. Melikov. 2007. Protection of occupants from exhaled infectious agents and floor material emissions in rooms with personalized and underfloor ventilation. *HVAC&R Research* 13(1): 23-38
- Melikov, A.K. and Knudsen, G.L., 2007, Human response to individually controlled environment, *HVAC&R Research*, vol. 13, no.4, pp. 645-660
- Zhang, H., Arens, E., Kim, D., Buchberger, E., Bauman, F. and Huizenga, C. (2010) Comfort, perceived air quality, and work performance in a low-power task-ambient conditioning system, *Build Environ*, 45(1), pp. 29-39
- Bolashikov, Z.D., Melikov A.K., Kranek, M., 2009, Improved Performance of Personalized Ventilation by Control of the Convection Flow around an Occupant's Body, *ASHRAE Transactions*, vol. 115, Part 2
- Khalifa H.E., M.I. Janos, J.F. Dannenhoffe. 2009. Experimental investigation of reduced-mixing personal ventilation jets. *Building and Environment* 44: 1551 – 1558
- Dyger R.K., T.Q. Dang. 2009. Localized suction-assisted contaminant removal strategies for improved IAQ. In: *Proceedings of Healthy Buildings 2009*, Paper ID: 217
- Schiavon, S., A.K. Melikov, C. Sekhar. 2010. Energy analysis of the personalized ventilation system in hot and humid climates." *Energy and Buildings* 42: 699-707
- Sekhar, C., Li, R., Melikov, A.K., 2010, Use of Heat-pipe for Energy Efficiency Improvement of Personalized Ventilation System Combined with Under-floor Air Distribution System in a Hot and Humid Climate, In: *Proceedings of Clima 2010*, Antalya, Turkey, Paper R5-T553-OP06
- Lyubenova, V., Holsoe, J., Melikov, A. 2011. Potential energy savings with personalized ventilation coupled with passive chilled beams. In *Proc. of Roomvent 2011*, Trondheim, paper 226.
- Lelong, C., Dalewski M., Melikov, A.K., 2013. Energy Analysis of the Ductless Personalized Ventilation. In: *Proceedings of 11th Rehva World Congress and the 8th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings*, Prague, Czech Republic, June 16 – 19, 2013, paper 806
- Halvoňová, B., A.K. Melikov. 2010. Performance of ductless personalized ventilation in conjunction with displacement ventilation: Impact of disturbances due to walking person(s), *Building and Environment* 45 (2): 427-436
- Dalewski, M., Veselý, M., Melikov, A.K., 2012, Human response to ductless personalized ventilation coupled with displacement ventilation, *Proceedings of Healthy Buildings 2012*, 8-12 July 2012, Brisbane, session 1A, paper 1A.1
- Dalewski, M., Bivolarova, M., Fillon, M., Melikov, A.K. 2013. Human Response to Ductless Personalized Ventilation with Local Air Cleaning: Air Quality and Prevalence of SBS Symptoms. In: *Proceedings of 11th REHVA World Congress and the 8th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings*, Prague, Czech Republic, June 16-19, 2013. Paper 699
- Dalewski, M., Veselý, M., Melikov, A.K., 2012, Ductless personalized ventilation with local air cleaning, *Proceedings of Healthy Buildings 2012*, 8-12 July 2012, Brisbane, session 3E, paper 3E.1
- Melikov, A.K., Groengeak, H., Nielsen, J.B., 2007, Personal Ventilation: from research to practical use, *Proceedings of Clima2007*, C03, paper 1612
- Dalewski, M., Khalifa, H.E., Melikov, A.K. 2013. Performance of Ductless Personalized Ventilation in Open-Plan Office - Field Survey. In: *Proceedings of 11th Rehva World Congress and the 8th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings*, Prague, Czech Republic, June 16-19, 2013. Paper 691
- Melikov, A., Z.D. Bolashikov, E. Georgiev. 2011. Novel ventilation strategy for reducing the risk of airborne cross infection in hospital rooms. In: *Proceedings of Indoor Air 2011*, Paper 1037
- Melikov, A.K., Li, Y., Georgiev, E., Wu, J., 2012, Bed Micro-environment in Hospital Patient Rooms with Natural or Mechanical Ventilation, *Proceedings of Healthy Buildings 2012*, 8-2 July 2012, Brisbane, session 10G, paper 10G.6
- Jacobs P, W.F. de Gids. 2006. Individual and collective climate control in aircraft cabins. *Int. Journal of Vehicle Design* 42(1): 57-66
- Melikov, A.K., Ivanova, T., Stefanova, G. 2012. Seat Headrest-Incorp. Personalized Ventilation: Thermal comfort and Inhaled Air Quality, *Building and Environment*, 47, pp. 100-107
- Melikov, A.K., Dzhartov, V., 2012, Advanced air distribution for minimizing airborne cross infection in aircraft cabin, *Proceedings of Healthy Buildings 2012*, 8-12 July 2012, Brisbane, session 3A, paper 3A.5