

DA LI PERSONALIZOVANA VENTILACIJA MOŽE DA UMANJI RIZIK OD INFEKCIJE BOLESTIMA KOJE SE PRENOSE PUTEM VAZDUHA?

CAN PERSONALIZED VENTILATION MITIGATE THE INFECTION RISK OF AIRBORNE TRANSMISSIBLE DISEASE?

JOVAN PANTELIC & KWOK WAI THAM,
National University of Singapore, School and Design and Environment,
Department of Building, Singapore,
GIN NAM SZE-TO & CHRISTOPHER Y. H. CHAO,
The Hong Kong University of Science and Technology, Department of
Mechanical Engineering, Hong Kong

Uloga personalizovane ventilacije u zaštiti od mogućih bolesti koje se prenose vazduhom, ispitivana je korišćenjem kapljica od kašlja koju ispušta mašina za simuliranje kašlja, simulirajući ljudski kašalj na različitim udaljenostima (1 m, 1,75 m i 3 m) od korisnika personalizovane ventilacije. Primenjen je model doze i reakcije za neujednačenu, nepotpuno pomešanu sredinu, kako bi se odredilo smanjenje rizika zaraze dvema čestim bolestima koje se prenose putem vazduha. Personalizovanom ventilacijom mogli su se smanjiti vršni nivoi koncentracije aerosola i skratiti vreme izloženosti na svim ispitivanim udaljenostima od ubrizgavanja kapljica. Personalizovana ventilacija bi mogla da smanji rizik od infekcije dvema bolestima, gripom tipa A i tuberkulozom, i to za 27–65%. Rezultati ove studije prikazuju mogućnost desktop personalizovane ventilacije da smanji rizik od infekcije bolestima koje se prenose putem vazduha.

The protective role of personalized ventilation against plausible airborne transmissible disease was investigated using cough droplets released from a “coughing machine” simulating the human cough at different distances (1 m, 1.75 m and 3 m) from the personalized ventilation user. A dose-response model for unsteady imperfectly mixed environment was used to estimate the reduction of infection risk of two common diseases that can be transmitted by airborne mode. Personalized ventilation (PV) was able to reduce both the peak aerosol concentration levels and shorten the exposure time in all examined injection distances. Personalized ventilation could reduce the infection risks of two diseases, influenza A and tuberculosis, by between 27–65%. Results of this study demonstrate the ability of desktop personalized ventilation to mitigate the infection risk of airborne transmissible disease.

Ključne reči: personalizovana ventilacija; bolest; infekcija; metod

Key words: personalzied ventilation; disease; infection; method

Uvod

U Smernicama CDC-a iz 2007. godine, daje se sledeća definicija: "Prenošenje vazduhom nastaje širenjem kapljičnih jezgara ili malih čestica veličine koja se može udahnuti, a koje sadrže zarazne agense koji zadržavaju infektivnost tokom vremena i na daljinu. Mikroorganizmi koji se prenose na taj način mogu se raspršiti na veliku daljinu vazdušnom strujom i mogu ih udahnuti osetljive osobe koje nisu imale lične kontakte sa zaraženim pojedincem (niti su bile u istoj prostoriji sa njim)." U nedavnom pregledu literature, Li i dr. (2007) navode sledeći zaključak: "Postoji jak i dovoljan dokaz da se pokaže veza između ventilacije i kontrolisanja pravca vazdušne struje u zgradama, sa jedne strane, i prenošenja i širenja zaraznih bolesti, kao što su male boginje, TB, ovčije boginje, antraks, grip, velike boginje i SARS, sa druge strane."

U nekoliko preglednih studija (Tang i dr., 2006; Morawska, 2006) pažnja je usmerena na određivanje faktora koji doprinose prenošenju bolesti putem vazduha. Tang i dr. (2006) navode da su to sledeći faktori: sposobnost zaraznog agensa da se prenosi putem aerosola, izvor zaraznog agensa, mehanika prenošenja zaraznog agensa u aerosolu, preživljavanje zaraznih agenasa u okolini, infektivna doza agenasa koji se prenose aerosolom i metode kontrolisanja zaraznog aerosola (strateško filtriranje ventilacije ili klimatizacije i odnos protoka recirulisanje/spoljašnjeg vazduha).

Melikov (2004) ukazuje da personalizovana ventilacija (PV) može da smanji prenošenje zaraznih bolesti putem vazduha u odnosu na ukupnu mehaničku ventilaciju ukupne zapremine. Umesto razblaživanja ukupne zapremine vazduha, zonu inhalacije treba čistiti od kapljica koje nose patogene organizme i kapljična jezgra dovodenjem čistog klimatizovanog vazduha u neposrednu blizinu osobe koja boravi u toj prostoriji. Personalizovana ventilacija koja dovodi čist vazduh do zone inhalacije može da smanji koncentraciju zagađivača koji se udišu za 2 do 50 puta u poređenju sa situacijom kada je primenjena ventilacija ukupne zapremine (Melikov i dr., 2002). Cermak & Melikov (2007) navode da je personalizovana ventilacija primenjena zajedno sa ventilacijom kroz pod delotvornija u zaštiti ljudi od patogena koji se prenose putem vazduha, a koji se ispuštaju izdisanjem, nego kada se primeni samo ventilacija kroz pod.

Istraživanja u ovoj studiji imaju za cilj da ispitaju zaštitnu ulogu desktop personalizovane ventilacije (DPV) u kombinaciji sa ventilacijom kojom se meša vazduh u smanjenju širenja bolesti koje se prenose putem vazduha. Zaštitna uloga je ispitivana tako što su ispuštane kapljice kašlja pomoću mašine za simulaciju kašlja, mašine koja simulira kašalj ljudi iz sedećeg položaja na različitim udaljenostima od korisnika personalizovane ventilacije. Primenjen je model doze i reakcije za sredinu sa neujednačenim nepotpunim mešanjem vazduha, kako bi se procenilo smanjenje faktora frekvencije dvema uobičajenima bolestima koje se mogu preneti putem vazduha.

Metode

Eksperimentalna komora (Field Experimental Chamber – FEC). Ova studija obavljena u jednoj eksperimentalnoj komori (FEC) na Nacionalnom univerzitetu u

Singapuru (slika 1). Šesnaest istoventnih radnih stanica sa personalizovanom ventilacijom poredano je u četiri grupe od po četiri i simetrično postavljeno unutar komore. Za potrebe ove studije, tri radne stanice u jednoj od ovih grupa iznete su iz komore kako bi se smestila oprema potrebna za ovaj eksperiment. Za ispitivanje mikroklimе korišćena je jedna radna stanica koja ima personalizovanu ventilaciju.

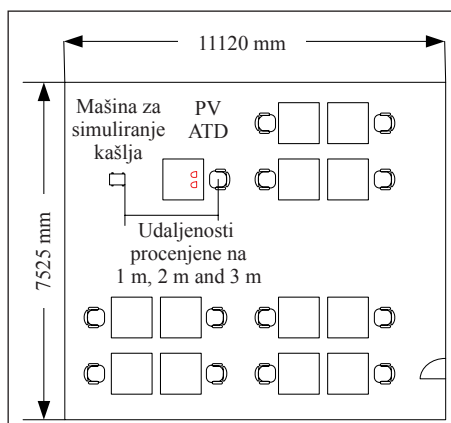
Mašina za simulaciju kašlja. Mašina za simulaciju kašlja koristi se da simulira višefaznu struju koja se sastoji od izdisajnih kapljica koje lebde u vazduhu, a koje stvara ljudski kašalj. Mašina za simulaciju kašlja ispušta oblake polidisperzivnih kapljica koje simuliraju ljudski kašalj. Ljudsku pljuvačku simulirala je mešavina vode (94% od ukupne zapremine) i glicerina (6% od ukupne zapremine). Oni simuliraju profil distribucije kapljica od kašlja o kojoj piše Duguid (1946) i srednju brzinu struje ili mlaza kašlja o kojoj govore Zhu i dr. (2006).

Merač koncentracije aerosola. Spektrometar aerosola A Grimm 1.108 sa 16 kanala za veličine (opseg merenja veličine je od 0,3 μm do 20 μm) korišćen je za merenje koncentracije aerosola u realnom vremenu u zoni inhalacije eksperimentalne lutke.

Toplotna lutka koja diše (Breathing Thermal Manikin – BTM). Za simulaciju korisnika personalizovane ventilacije, korišćena je toplotna lutka koja diše u sedećem položaju. Lutka je oblikovana tako da ima visinu žene od 168 cm i postavljena je u sedeći položaj. Svaki od 26 segmenata tela greje se i pojedinačno kontroliše u “režimu ugodnosti”, koji zahteva da temperatura površine lutke bude održavana na vrednosti temperature kože prosečnog čoveka. Da bi se simuliralo disanje pri laganom kancelarijskom poslu, zapremina ventilacije pluća je podešena na 6 L/min, sa 10 ciklusa disanja u minutu koji obuhvataju udisaj od 2,5 s, pauzu od 1,0 s, izdisaj od 2,5 s i ponovo pauzu od 1,0 s, što je slično vrednostima koje su usvojene kod Zhu i dr. (2005). Ekvivalentan protok udisaja/izdisaja podešen je na 0,24 L/s.

Mlaznik mašine za simulaciju kašlja je postavljen na 3 različite udaljenosti ispred lutke: 1 m, 1,75 m i 3 m, na visini od 1,15 m od poda, tako da predstavlja osobu koja je izvor zaraze u sedećem položaju. U studiji je ispitivan uticaj dve različite strategije ventilacije: (a) plafonska mehanička ventilacija (MV) i (b) kombinacija personalizovane ventilacije PV i plafonske MV. U studiji su korišćena dva desktop PV ATD-a za dovođenje spoljašnjeg klimatizovanog vazduha do lutke u slučaju (b). Bili su postavljeni na površini stola, na 250 mm od nosa lutke. PV ATD su takođe rotirani tako da dovode spoljašnji vazduh prema zoni inhalacije (nosu) lutke.

Broj kapljica u zoni inhalacije lutke meren je pomoću spektrometra „grimm 1.108”. Izokinetička sonda je bila postavljena 15 mm ispod nosa lutke i 15 mm od gornje usne. Koncentracija broja kapljica je merena u intervalima



Slika 1. Postavka eksperimenta u eksperimentalnoj komori

od 1 s. Merenja su vršena sa lutkom u dva režima: sa disanjem i bez disanja. Prosečna količina aerosola u prvih 10 s pre ubrizgavanja kapljica uzeta je kao prosečna količina čestica u sredini (background particle level), koja se kasnije oduzimala od podataka o koncentraciji broja kapljica sakupljenih nakon ubrizgavanja kapljica kašlja. Svako merenje je vršeno 60 s, zbog toga što se iz praćenja koncentracije aerosola u realnom vremenu zaključuje da je 60 sekundi dovoljno da se nivo koncentracije spusti na prosečan nivo u svim razmatranim scenarijima. Izvršeno je deset ponovljenih merenja na svakoj udaljenosti (1 m, 1,75 m, 3 m).

Temperatura vazduha u prostoriji održavana je na 23°C sa dovodnom/povratnom plafonskom mehaničkom ventilacijom.

Mehanička ventilacija je u prostoriji obezbedila 6 izmena vazduha na sat. Personalizovana ventilacija se sastojala od 100% spoljašnjeg vazduha i ukupno je dovedeno 5 L/s (2,5 L/s za svaki ATD) na temperaturi od 23°C. Relativna vlažnost u prostoriji održavana je ispod 60%. Ovim uslovima postignuto je stabilno stanje pre nego što su ispuštene kapljice kašlja. Kada su ispuštene kapljice kašlja, one su stvorile nestabilne uslove u unutrašnjem ambijentu. Kada su kapljice kašlja rastvorene, uslovi u eksperimentalnoj komori su vraćeni u stabilno stanje.

Procena rizika od infekcije

Procena rizika od infekcije obuhvata određivanje doze unetog zaraznog agensa i određivanje verovatnoće infekcije uz unetu dozu. Određivanje unete doze zahteva poznavanje stepena zaraznog agensa, trajanja izloženosti i brzine unošenja. Znajući unetu dozu, verovatnoća infekcije može se modelovati matematičkom funkcijom koja opisuje odnos doze i zaraze (Haas i dr., 1999).

Stepen izloženosti patogenu koji se prenosi vazduhom može se odrediti direktnim računanjem profila vremena koncentracije izdisajnog aerosola u zoni inhalacije zajedno sa karakteristikom održivosti patogena koji se prenosi vazduhom (Sze To i dr., 2008):

$$E(t_o) = \theta t_o c p \int_0^{t_o} v(t) f(t) dt \quad (1)$$

gde $E(t_o)$ predstavlja stepen izloženosti osetljive osobe patogenom agensu tokom vremenskog intervala izloženosti, t_o , θ – učestalost kašlja iz izvora zaraze, c predstavlja koncentraciju patogena u respiratornoj tečnosti, p – brzinu disanja osobe, $f(t)$ – funkciju održivosti virusa u aerosolu i $v(t)$ – gustinu zapremine izdisajnih kapljica u zoni inhalacije nakon jednog kašljanja.

Kada lice udahne patogene koji se prenose vazduhom, deo udahnutog aerosola koji sadrži patogeni virus može da se taloži na ciljnom mestu zaraze u respiratornom traktu. Usled zavisnosti taloženja u respiratornom traktu od veličine aerosola, aerosoli imaju različite frakcije taloženja na različitim delovima respiratornog trakta. Pored toga, patogeni obično imaju različitu infektivnost u različitim delovima respiratornog trakta zbog toga što postoje različiti imunološki mehanizmi u različitim delovima respiratornog trakta. Budući da taloženje aerosola u organima za disanje zavisi od veličine aerosola, takođe je posmatrana varijacija infektivnosti patogena kada ih prenose zarazne čestice različite veličine, što je pokazano u mnogim eksperimentalnim studijama o infekcijama (npr. Wells, 1955). Da bi se uzeo u obzir ovaj fak-

tor, potrebno je da se stepen izloženosti podeli na nivoe različite veličine u modelu za procenu rizika (Sze To i dr., 2008):

$$P_I(t_0) = 1 - \exp\left(-\sum_{j=1}^m r_j \beta_j \theta t_0 c p \int_0^{t_0} v(t)_j f(t) dt\right) \quad (2)$$

gde je $P_I(t_0)$ verovatnoća da se osetljiva osoba zarazi, m je ukupan broj nivoe, $v(t)_j$ je gustina zapremine kapljica j -tog nivoe, β predstavlja frakciju taloženja zarazne čestice. Jednačina (2) predstavlja eksponencijalni model doze i reakcije. Infektivnost patogena r računa se pomoću podataka o zaraznoj dozi (Haas, 1999).

Podaci o merenju koncentracije aerosola u zoni inhalacije lutke koriste se za dobijanje $v(t)_j$. Merene veličine aerosola predstavljaju veličine kapljičnih jezgara. Merene veličine jezgra se podešavaju do njihovih početnih veličina kapljica $v(t)_j$ (Sze To i dr., 2008), jer se c u jednačini (1) odnosi na koncentraciju patogena u ljudskoj respiratornoj tečnosti pre aerosolizacije. Veličine jezgra aerosola su prilagođene za β_j i r_j , budući da one predstavljaju veličine udahnute čestice. Procena rizika od infekcije osobe koja sedi na različitim udaljenostima od mesta ubrizgavanja patogena sa zaštitom i bez zaštite, pomoću personalizovane ventilacije vršena je pomoću jednačine (2).

Vršena je procena rizika od infekcije dvema bolestima, tuberkulozom i gripom tipa A. Virusi gripa A su biološke čestice nanometarske veličine koje mogu da zaraze i gornji i donji respiratorni trakt. Bacili tuberkuloze su bakterijske ćelije čija veličina varira od 1 do 4 μm (Cole & Cook, 1998) i one inficiraju samo alverolarnu regiju. Pošto čestice veličine $>10 \mu\text{m}$ obično ne dospevaju do alveolarne regije i kapljice veličine $<1 \mu\text{m}$ ne sadrže bacile, aerosoli sa veličinom jezgra $>10 \mu\text{m}$ i kapljice veličine $<1 \mu\text{m}$ isključene su iz proračuna rizika od infekcije tuberkulozom. U svim scenarijima je korišćen vremenski interval izloženosti od 8 sati.

Rezultati i razmatranje

Poboljšano čišćenje aerosola u zoni inhalacije

Kako je teoretski potrebno dosta vremena da se koncentracija aerosola vrati na njen prosečan nivo, vreme čišćenja se definiše kao vreme potrebno da koncentracija aerosola padne sa vršnog nivoe na vrednost koja je 1,2 puta veća od početnog nivoe. Personalizovanom ventilacijom je moguće smanjiti vršnu količinu i vreme čišćenja (purging time), te tako smanjiti stepen u kojem je lice izloženo izdisajnim kapljicama. Uticaj disanja na vremenske profile koncentracije aerosola nije značajan, kao što je prikazano na slici 2, a i b. Takođe je, u principu, slično vreme potrebno da se smanji koncentracija broja aerosola na prosečan nivo. To ukazuje da obrazac periodičnog disanja u zoni inhalacije neće značajno uticati na stepen izloženosti. Razlike u stepenu izloženosti sa disanjem i bez disanja nisu bile od značaja ni za jedan od ispitivanih slučajeva. Obavljen je test statističkog značaja (statistical significance test – t-test), kako bi se uporedili stepeni izloženosti između slučajeva sa PV i bez PV. Sve t-vrednosti su veće od kritične t-vrednosti sa 95% pouzdanosti, što ukazuje da je smanjenje izloženosti pomoću uređaja za PV statistički značajno u svim ispitivanim scenarijima.

Smanjenje rizika od infekcije

Procene rizika od infekcije gripom A i tuberkulozom zasnovane na stvarnim epidemiološkim podacima, prikazane su na slici 3. Srednja vrednost unete doze koristi se za proračun rizika umesto vrednosti unete doze iz jednog testa. Budući da jednačina (2) već sadrži varijabilnost unete doze primenom Puasonovog koncepta verovatnoće (Haas, 1999), u jednačini treba koristiti srednju vrednost.

Na osnovu rezultata, personalizovana ventilacija ima potencijal da smanji rizik od inficiranja obema bolestima u svim scenarijima. Takođe je zaključeno da uticaj disanja ne igra značajnu ulogu za stepen rizika. Intuitivno se očekuje sledeće: što je manja udaljenost između izvora zaraze i osetljivog lica, veći je rizik da se osetljivo lice zarazi, ali na daljini od 1,75 m sa personalizovanom ventilacijom, rizici su malo veći nego u slučajevima kada je udaljenost 1 m.

Na udaljenosti od 1,75 m, struja kašlja je u najdužem trajanju uspeła da oduva struju personalizovane ventilacije (1,1 s PIV merenje nije obuhvaćeno u ovom radu) u svim ispitivanim slučajevima, te je u tom slučaju PV pružila najmanju zaštitu. Čak i u tom slučaju, personalizovana ventilacija je i dalje mogla da smanji rizik od infekcije na toj udaljenosti. Procentualno smanjenje rizika od infekcije prikazano je u tabeli 1.

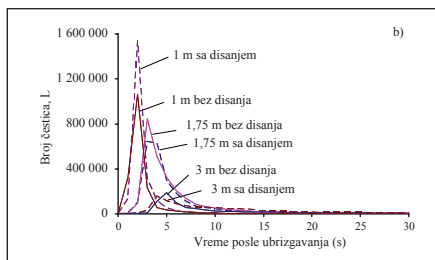
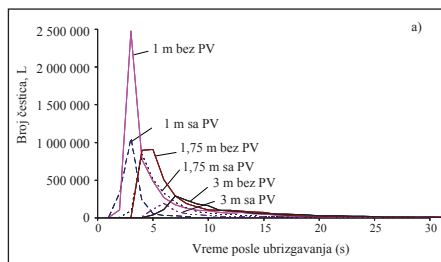
Potencijalna smanjenja rizika od infekcije tuberkulozom veća su nego kod infekcije gripom A na svim udaljenostima. To se dešava usled nelinearnosti odnosa doze i infekcije. Uz isto procentualno smanjenje stepena izloženosti, smanjenje rizika od infekcije biće značajnije u manjem stepenu rizika nego u većem stepenu rizika.

Tuberkuloza ima niži nivo rizika nego grip A u svim proučavanim slučajevima, te je smanjenje nivoa rizika značajnije pod istom kontrolnom merom.

Za obe bolesti, procentualna smanjenja na udaljenosti od 1 m i 3 m su slična, dok je procentualno smanjenje na udaljenosti od 1,75 m manje nego na drugim dvema udaljenostima. To pokazuje da je u slučaju udaljenosti od 1,75

Tabela 1. Procentualno smanjenje rizika infekcije korišćenjem zaštite koju pruža personalizovana ventilacija

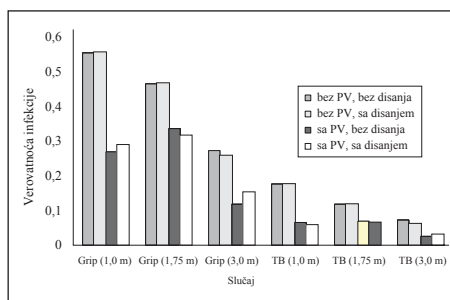
Udaljenost (m)	Smanjenje (%)	
	Grip A	Tuberkuloza
1,0	51,3	63,0
1,75	27,7	41,4
3,0	54,5	64,6



Slika 2. Vremenski profili prosečne koncentracije aerosola iz 10 testova na tri različite udaljenosti sa primenom personalizovane ventilacije i bez nje; (a) funkcija disanja lutke bila je isključena tokom ovog skupa merenja, (b) vremenski profili koncentracije aerosola sa personalizovanom ventilacijom. Funkcija disanja lutke nema značajan uticaj na ova merenja

m zaštita najmanja od sve tri udaljenosti koje su u ovom radu proučavane. Smanjenje rizika od infekcije ukazuje na to da tehnologija zaštite primenom personalizovane ventilacije može značajno da smanji širenje bolesti koje se prenose putem vazduha. Personalizovana ventilacija može značajno da smanji nivo rizika, čak i na udaljenosti od samo 1 m, što ukazuje na to da ova tehnologija može takođe da obezbedi zaštitu korisniku u neposrednoj blizini izvora zaraze.

U trenutnoj pandemiji gripa A H1N1, ponavlja se brzo širenje prenosivih bolesti u svetu. U nekim studijama daju se procene da je prenošenje virusa gripa putem vazduha dominantno u odnosu na ostale načine prenošenja (Atkinson i Wein, 2008), dok se u drugoj studiji procenjuje da je dominantan način prenošenja putem kontakta i kapljica (Nicas i Jones, 2009). Razlika u njihovim zaključcima javlja se možda zbog različitih uslova koji su primenjeni u proceni rizika. To takođe ukazuje na to da su u različitim scenarijima takođe važni i ostali načini prenošenja, a ne samo prenošenje putem vazduha. U svakom slučaju, prenošenje putem vazduha i dalje predstavlja ozbiljnu brigu kada je reč o širenju gripa kao i ostalih respiratornih zaraznih bolesti. Sadašnji rezultati pokazuju da personalizovana ventilacija može da obezbedi zaštitu od prenošenja bolesti putem vazduha.



Slika 3. Rezultat procene rizika od infekcije. "Grip" označava virus Influenza A, "TB" označava tuberkulozu

Zaključak

Personalizovanom ventilacijom smanjeni su vršni stepen koncentracije aerosola i vreme izloženosti na svim ispitivanim udaljenostima od mesta gde se ubrizgava zarazni agens. Personalizovana ventilacija je mogla da smanji rizik od infekcije dvema bolestima, gripom tipa A i tuberkulozom, za 27–65%. Takođe je zaključeno da disanje nema značajan uticaj na nivo rizika. Zaštita koju nudi personalizovana ventilacija najmanja je na udaljenosti od 1,75 m u odnosu na druge udaljenosti, kao što je pokazano u rezultatima procene rizika, i to zato što je struju koju je stvorila personalizovana ventilacija u najdužem trajanju oduvala struja koju je stvorio kašalj. Personalizovana ventilacija može značajno da smanji nivo rizika čak i na udaljenosti od samo 1 m; to ukazuje na to da ova tehnologija takođe može da ponudi zaštitu korisniku koji se nalazi u neposrednoj blizini izvora zaraze.

Literatura

- [1] Atkinson, M. P., & L. M. Wein, 2008. *Quantifying the routes of transmission for pandemic influenza*, Bulletin of Mathematical Biology 70 (3), 820–867.
- [2] *** Center of Disease Control 2007, *Guideline for Isolation Precautions: Preventing Transmission of Infectious Agents in Healthcare Settings*.
- [3] Cermak, R., & A. K. 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.

- [4] **Cole, E. C. & C. E. Cook**, 1998, *Characterization of Infectious Aerosols in Health Care Facilities: An Aid to Effective Engineering Controls and Preventive Strategies*, American Journal of Infection Control, 26, 453–464.
- [5] **Duguid, J.**, 1946, *The size and duration of air-carriage of respiratory droplets and droplet nuclei*, The Journal of hygiene, 4, 471–480.
- [6] **Haas, C. N., J. B. Rose, & C. P. Gerba**, 1999, *Quantitative Microbial Risk Assessment*, New York: JohnWiley & Sons, Inc.
- [7] **Melikov, A. K., R. Cermak, O. Kovar, & L. Forejt**, 2003, *Impact of airflow interaction on inhaled air quality and transport of contaminants in rooms with personalized and total volume ventilation*, Proceedings Healthy Building, 2, 500–10. Singapore.
- [8] **Melikov, A. K.**, 2004. *Personalized ventilation*, Indoor Air, 14 (Suppl. 7), 157–67.
- [9] **Morawska, L.**, 2006, *Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection?* Indoor Air; 16: 335–347.
- [10] **Nicas, M., R. M. Jones**, 2009, *Relative contributions of four exposure pathways to influenza infection risk*, Risk Analysis, 29(9), 1292–1303.
- [11] **Riley, R. L., C. C. Mills, W. Nyka et al.**, *Aerial dissemination of pulmonary tuberculosis. A two-year study of contagion in a tuberculosis ward*, 1959. Am J Hyg 1959;70:185–96.
- [12] **Sze, To, G. N., M. P. Wan, C. Y. H. Chao, L. Fang, & A. Melikov**, 2009, *Experimental study of dispersion and deposition of expiratory aerosols in aircraft cabins and impact on infectious disease transmission*, Aerosol Science and Technology, 43, 466–485.
- [13] **Sze, To, G. N., M. P. Wan, C. Y. H. Chao, F. Wei, S. C. T. Yu, & J. K. C. Kwan**, 2008, *A methodology for estimating airborne virus exposures in indoor environments using the spatial distribution of expiratory aerosols and virus viability characteristics*, Indoor Air, 18, 425–438.
- [14] **Tang, J. W., Y. Li, I. Eames, P. K. S. Chan, G. L. Ridgway**, 2006, *Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises*, Journal of Hospital Infection 64, 100–114.
- [15] **Tellier, R.**, 2006, *Review of aerosol transmission of influenza A Virus*, Emerging Infectious Disease, 12(11), 1657–1662.
- [16] **Wells, W. F.**, 1955 *Airborne Contagion and Air Hygiene*, Cambridge, Mass: Cambridge University Press, 117–122.
- [17] **Zhu, S., S. Kato, S. Murakami, T. Hayashi**, 2005, *Study on inhalation region by means of CFD analysis and experiment*, Building and Environment 40, 1329–1336.
- [18] **Zhu, S., S. Kato, & J. H. Yang**, 2006, *Study on transport characteristics of saliva droplets produced by coughing in a calm indoor environment*, Building and Environment 41, 1691–1702.

kgH