

Przegląd najnowszej wiedzy naukowej w zakresie klimatyzacji sal operacyjnych

Dr hab. inż. Anna Bogdan, prof. uczelni

Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska

Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych

**Politechnika
Warszawska**



Ograniczenia przedstawionego przeglądu

Celem było przedstawienie najbardziej aktualnych informacji dotyczących technicznych aspektów wentylacji szpitalnej sali operacyjnej, w tym:

- dotyczących jakości powietrza i kontroli zakażeń,*
- innych czynników, które pośrednio wpływają na pracę personelu chirurgicznego.*

Ograniczenie tylko do technicznego aspektu projektowania wentylacji sali operacyjnej i powiązanych dziedzin związanych z jakością powietrza.



Systemy wentylacji sal operacyjnych: Wentylacja mieszająca (przepływ turbulentny)

- czyste powietrze jest dostarczane do sali operacyjnej przez nawiewniki sufitowe lub ściennie i usuwane jest zwykle na poziomie podłogi
- systemy polegają głównie na rozcieńczaniu zanieczyszczeń ze środowiska sali operacyjnej
- eksperymentalne badanie gazu znacznikowego wykazały nieskuteczność systemów mieszania w równomiernym rozcieńczaniu zanieczyszczeń w sali operacyjnej (Kuivjõgi in in. 2019)
- inne czynniki wpływające na efektywność rozcieńczania to np. lokalizacja nawiewu i wywiewu, charakterystyka nawiewnika, układ i wymiary pomieszczenia, lokalizacja oraz wielkość zanieczyszczeń i źródeł ciepła (Traversari 2019).

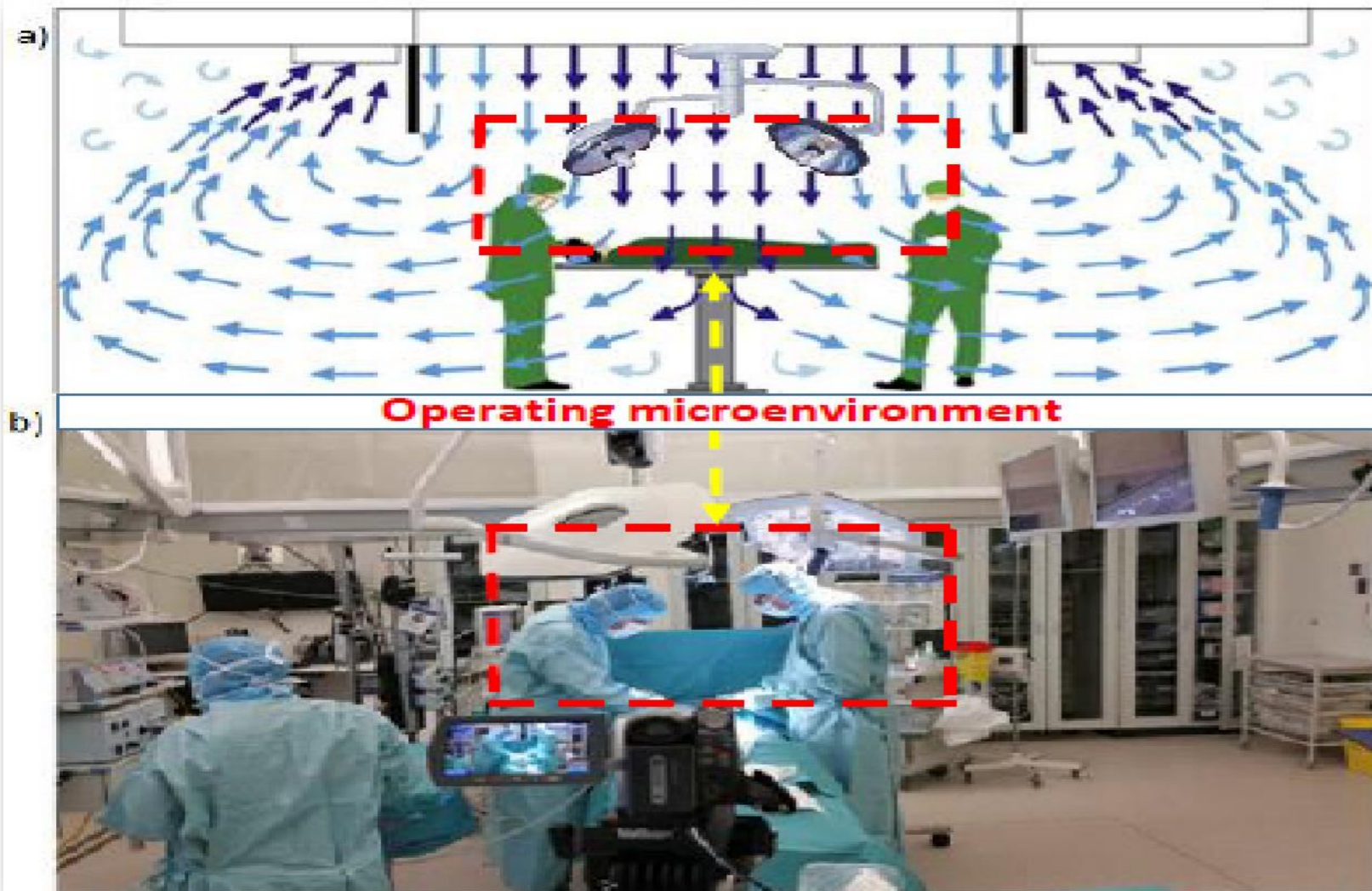


Źródła:

Kuivjõgi H, Guangyu Cao, A. Bogdan, MT, Christoffer, Pedersen YZ, Fan M, et al. Field investigation of thermal comfort level of patients and surgical staff in operating rooms at St. Olavs hospital. ISES-ISIAQ Jt. Conf. "The built, Nat. Soc. Environ. impacts Expo. Heal. well-being" 18-22nd Aug 2019

Traversari AAL. Aerogenic contamination control in operating theatres. Studies towards effective use of UDF systems, thesis - Maastricht University. 2019

Systemy wentylacji sal operacyjnych: Pionowe (sufitowe) systemy nawiewu powietrza



a) schematyczny zarys przepływu powietrza z jednostki LAF

b) przykład pionowego zainstalowanego LAF na sali operacyjnej Szpitala św. Olav w Trondheim (linie przerywane wskazują mikrośrodowisko operacyjne) (Aganovic 2019)

Systemy wentylacji sal operacyjnych: Pionowe (sufitowe) systemy nawiewu powietrza

- Prędkość powietrza przy nawiewnikach sufitowych jest istotnym czynnikiem i znacząco wpływa na wydajność systemów LAF.
- Whyte i in. (2015) wykazali, że prędkość nawiewu w zakresie ok 0,3–0,35 m/s skutkuje najniższym stężeniem mikrobiologicznym.
- Z drugiej strony prędkość powyżej 0,3 m/s może wpływać na komfort cieplny personelu chirurgicznego (Chen 1992)
- Od 2006 r. istnieje niejaki konsensus dla odpowiedniej prędkości powietrza nawiewanego (0,20–0,30 m/s) i wydajności filtracji cząstek stałych (HEPA-99,5–99,7%) (Melhado 2006).
- Od 1999 r. minimalne wymagania dotyczące całkowitego natężenia przepływu powietrza w LAF wzrosły ponad trzykrotnie: z 2400 m³/h do 9200 m³/h w 2008 roku, co wpłynęło na wielkość nawiewników LAF również wzrosła trzykrotnie. Nowe wytyczne wymagają, aby rozmiar sufitu był większy niż 3,2 × 3,2 m² a minimalna prędkość nawiewu 0,25 m/s.



Źródła:

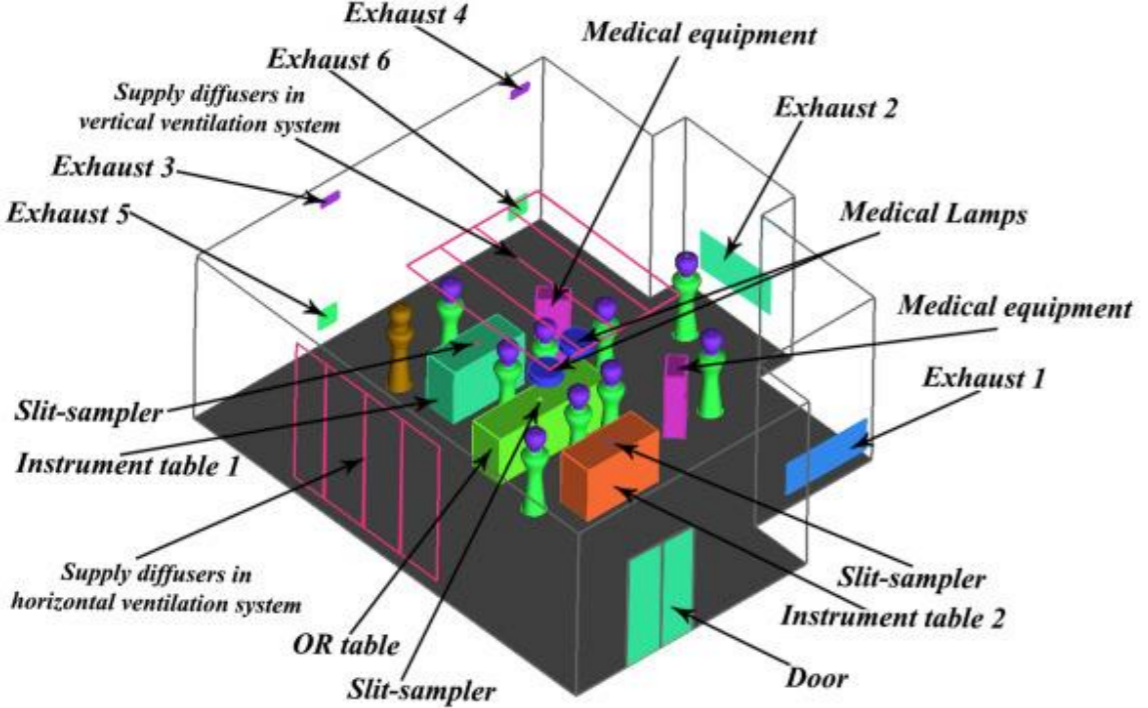
Whyte W, Agricola K, Derks M. Airborne particle deposition in cleanrooms: Deposition mechanisms. Clean Air Contain. Rev. 2015; 4–9

Chen Q, Jiang Z, Moser A. Control of Airborne Particle Concentration and Draught Risk in an Operating Room. Indoor Air 1992; 2:154–167

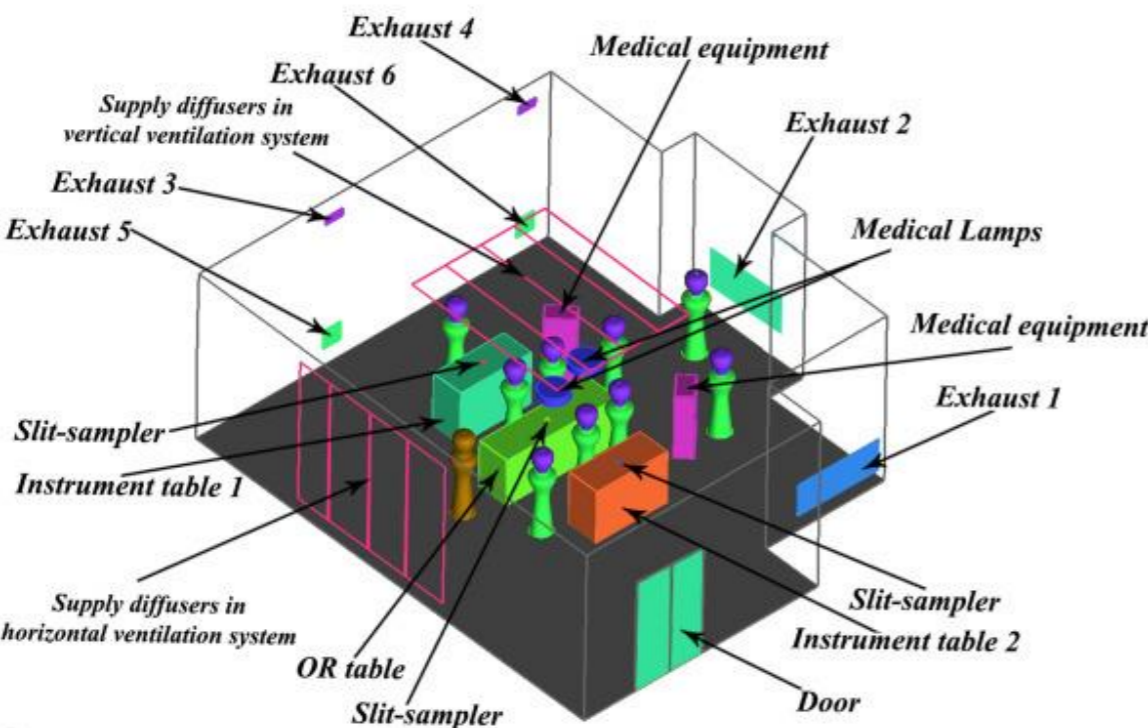
Melhado, M.D.A., Hensen, J.L.M., Hensen, J.L.M. & Loomans MGL. Review of operating room ventilation standards. Proc. 17th Int. Air-conditioning Vent. Conf. Prague 2006; 217–221

Külpmann R, Christiansen B, Kramer A, Lüderitz P, Pitten F-A, Wille F, et al. Hygiene guideline for the planning, installation, and operation of ventilation and air-conditioning systems in health-care settings - Guideline of the German Society for Hospital Hygiene (DGKH). GMS Hyg. Infect. Control 2016; 11:Doc03

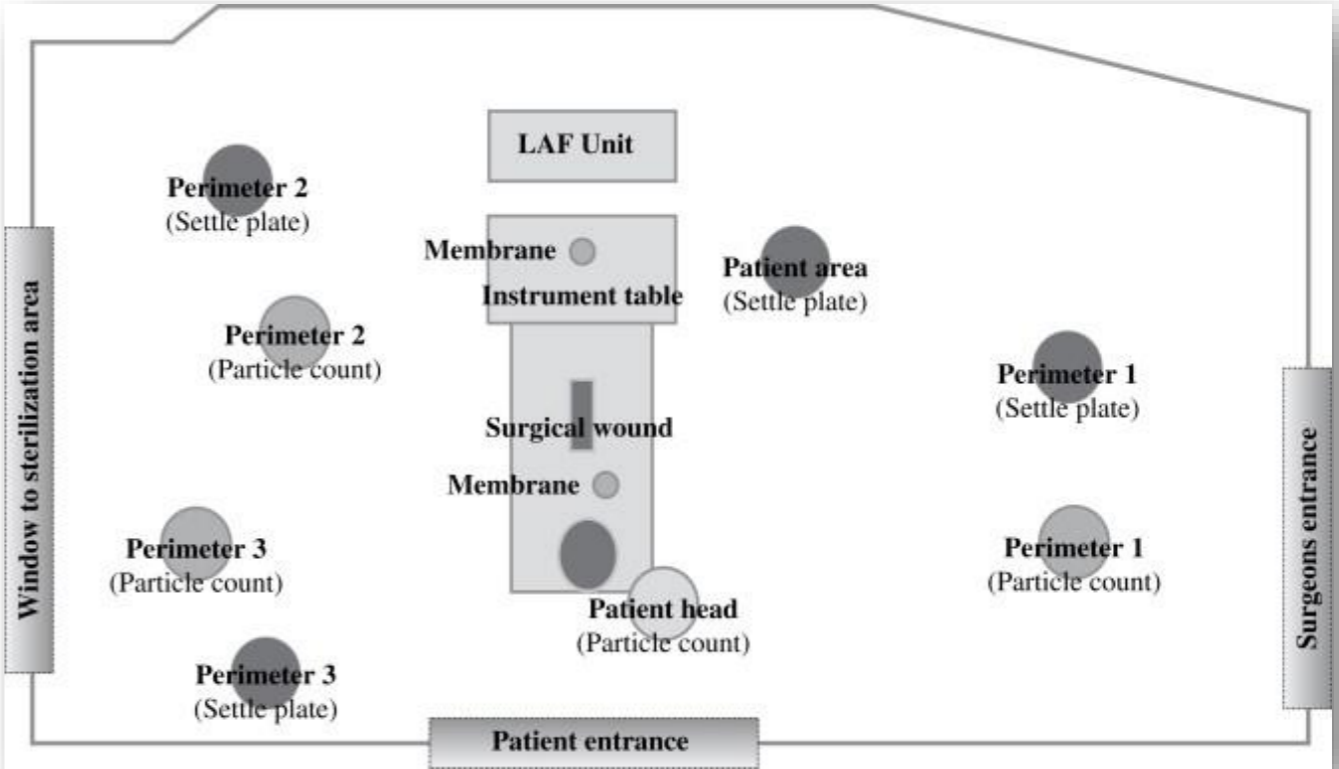
Systemy wentylacji sal operacyjnych: Systemy poziome i mobilne LAF



a



b

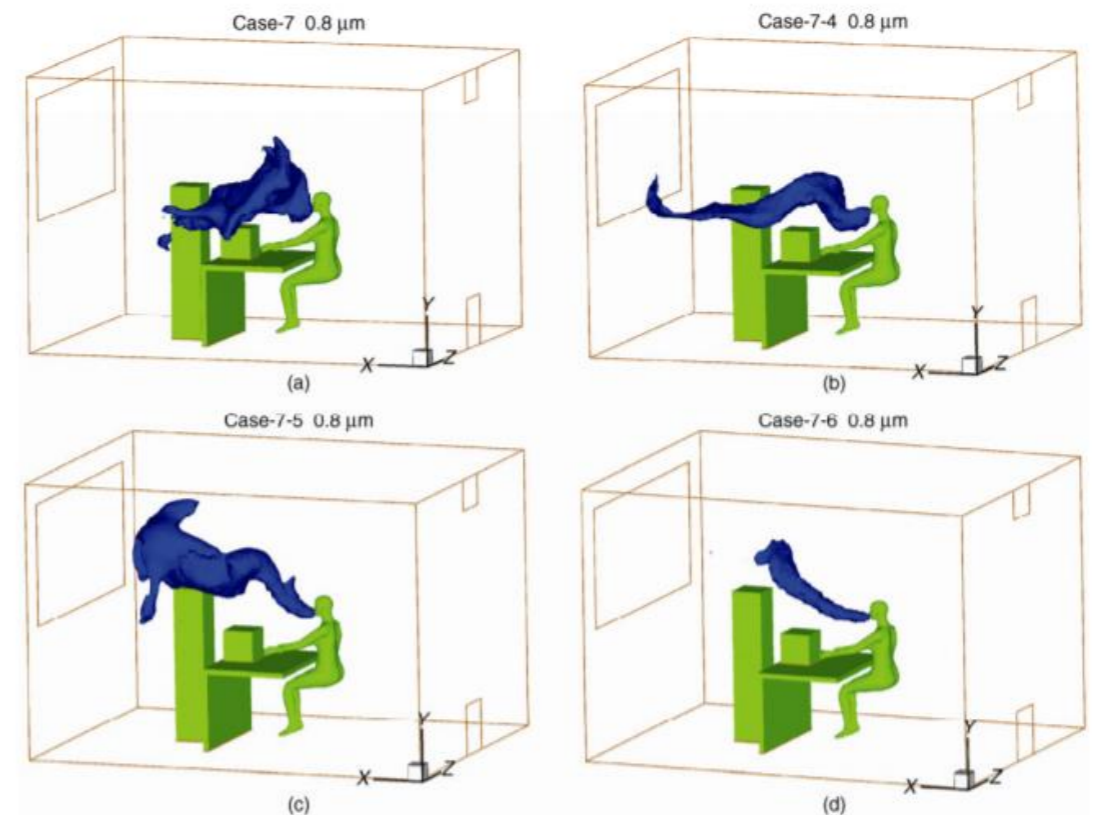


Źródła:
 Sadrizadeh S, Holmberg S, Tammelin A. A numerical investigation of vertical and horizontal laminar airflow ventilation in an operating room. *Buid. Environ.* 2014; 82
 Pasquarella C, Sansebastiano GE, Ferretti S, Sacconi E, Fanti M, Moscato U, et al. A mobile laminar airflow unit to reduce air bacterial contamination at surgical area in a conventionally ventilated operating theatre. *J. Hosp. Infect.* 2007; 66:313-319

Systemy wentylacji sal operacyjnych: Systemy wentylacji wyporowej

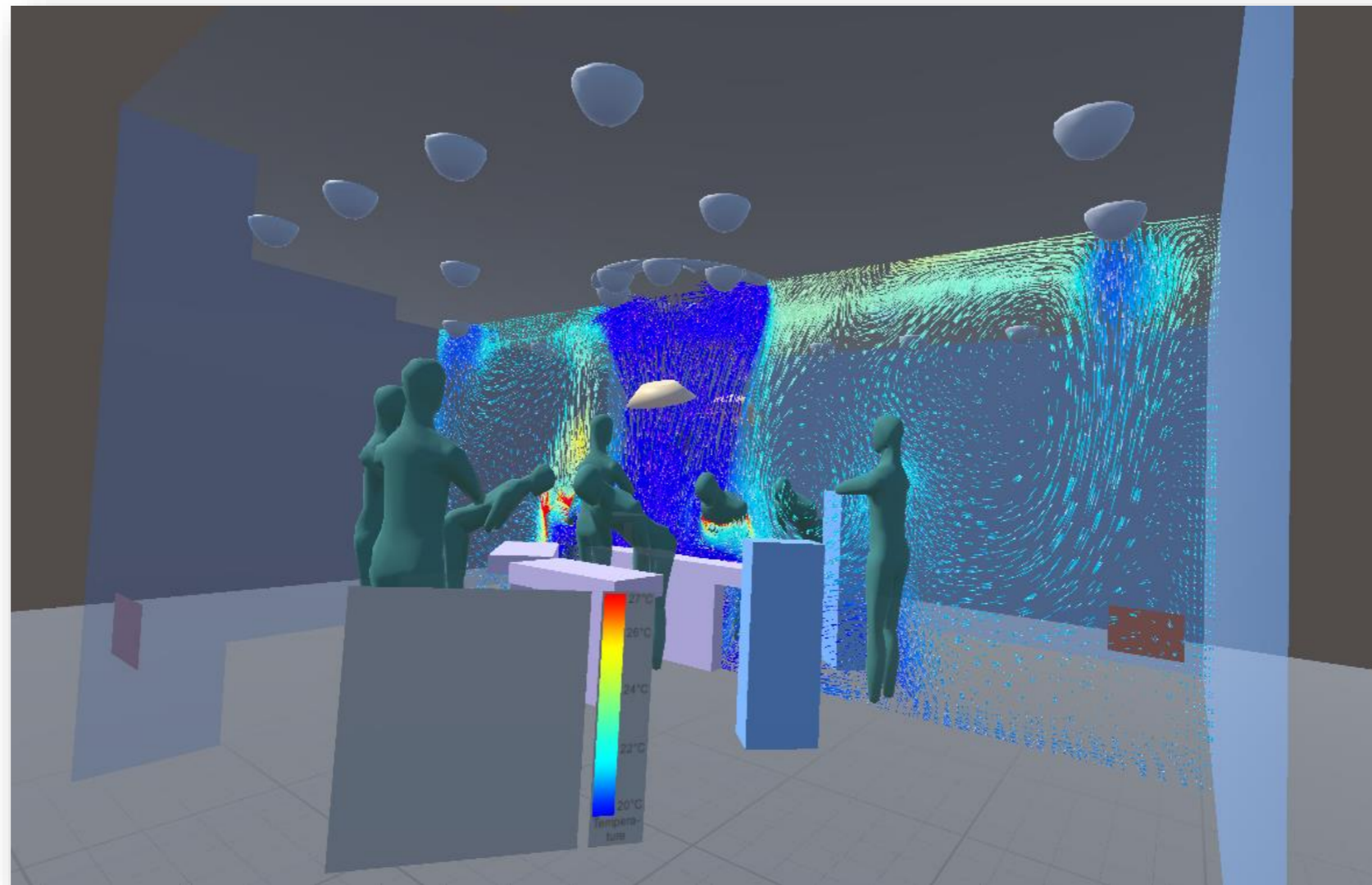


Figure 3: Displacement ventilation performs best when the exhalation is upward (top photo) and worst when the exhalation is sideways (bottom photo).⁷



Shape of the droplet cloud spatial volume (CSV) of $0.8 \mu\text{m}$ droplet ((a) case-7; (b) case-7-4; (c) case-7-5; (d) case-7-6)

Systemy wentylacji sal operacyjnych: Hybrydowe systemy wentylacyjne (TcAF)



Airflow disitribution concept	Location of supply	Location of exhaust	Air supply conditions as reported in field studies			Air supply conditions as defined by national guidelines			
			Velocity (m/s)	Air changes per hour (ACH)	Diffuser size (m ²)	Velocity (m/s)	Air changes per hour (ACH)	Diffuser size (m ²)	
Turbulent Flow Air distribution (TFAD)	The concentration of airborne contaminants is diluted by mixing the supply air with the contaminated OR air	Ceiling or wall-mounted	Wall mounted near floor	-	11.5 -23.8 [11] 12 [12] 15.5-21.3 [14] 50 [15] 5.3-27.6 [16]	-	N/A	≥20 [2,8]	N/A
Vertical Laminar Airflow (vLAF)	The unidirectional airflow swipes away the contaminants over the operating microenvironment	Ceiling-mounted	Ceiling and/or wall mounted near floor	0.25-0.38 [12]	26-178 [12] 80.5 [14] 58 [15] 15.1-59.9 [16]	2.4 × 2.4- 3.2 × 3.2 [11] 3.8 × 1.2- 5.18 × 3.83 [12]	= .38 [6] ≥ 0.23 [7] 0.25-0.35 [8] ≥ 0.22-0.45 [10]	≥20 [2,8]	≥ 3.0 × 3.0 [3] ≥ 3.2 × 3.2 [4]
Horizontal Laminar Airflow (hLAF)		Wall-mounted	Ceiling and/or wall mounted near floor		67 [17] 100 [18]	3.2 × 3.2 [14] 3.6 × 3.6 [17] 2.75 × 2.75 [18]	0.25-0.28 [12] 0.23-0.25 [13]		≥ 8 [7] ≥ 9 [10]
Mobile Laminar Airflow (mLAF)		In the vicinity of the operating table	Ceiling and/or wall mounted near floor	0.5-0.7 [19]	8.4 [20]	0.5 × 0.4 [19] 0.69 × 0.7 [21]	N/A	N/A	N/A
Displacement Ventilation Airflow (DV)	Cool air is supplied at floor level and is moved up displacing the contaminated air from the operating microenvironment	Wall mounted near floor	Ceiling or wall mounted near ceiling	0.09-0.15 [17]	21 [20]	-	N/A	N/A	N/A
Temperature-Controlled Airflow (TAF)	Combination of LAF (cool laminar airflow breaking convective currents in the operating microenvironment) and TFW (warm air maintaining temperature gradient)	Both cool and warm air is supplied from the ceiling	Wall mounted near floor	> 0.25 [18]	47 [18]	-	N/A	N/A	N/A

Komfort cieplny chirurgów i personelu medycznego

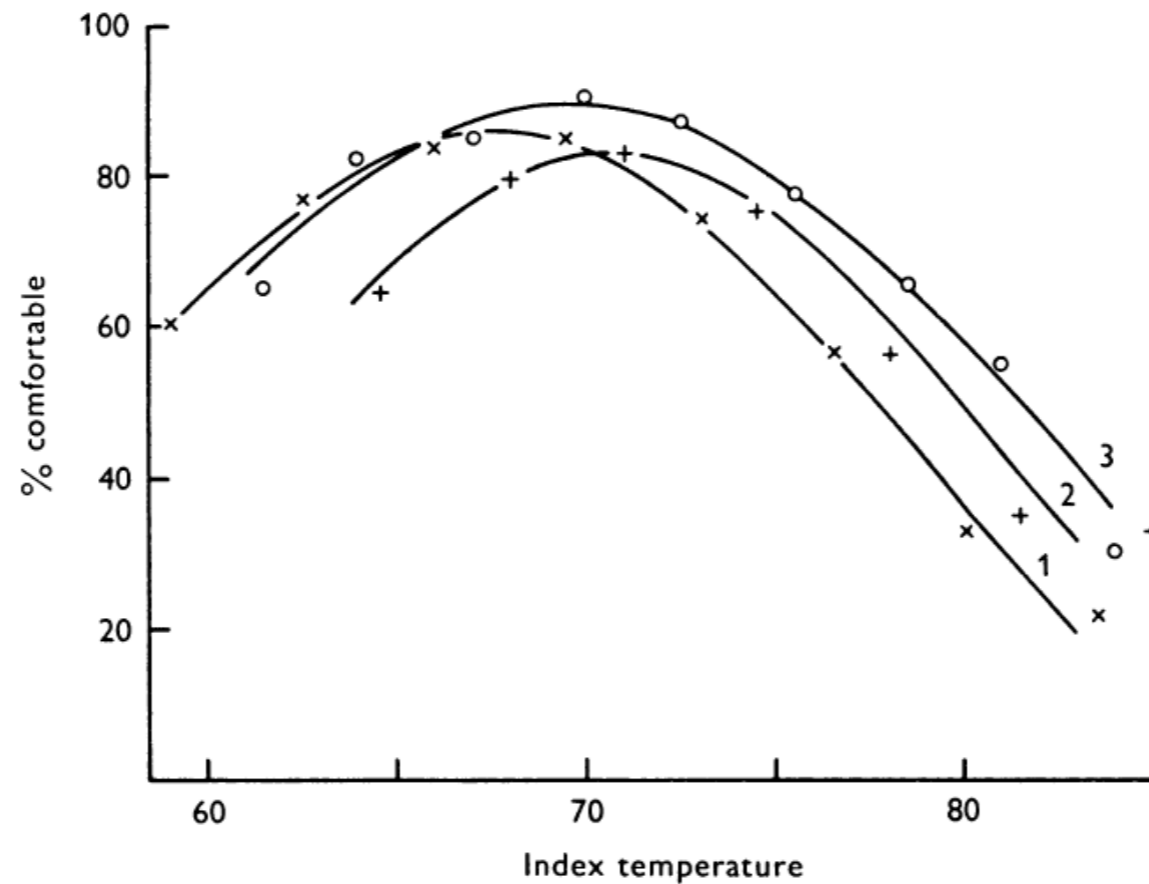


Fig. 1. Relation between index temperature and the proportion of individuals comfortable for different parts of the body. Curve 1, x, comfortable at head. Curve 2, +, comfortable at trunk. Curve 3, o, comfortable at feet. See text for definition of index temperature.

Komfort cieplny chirurgów i personelu medycznego

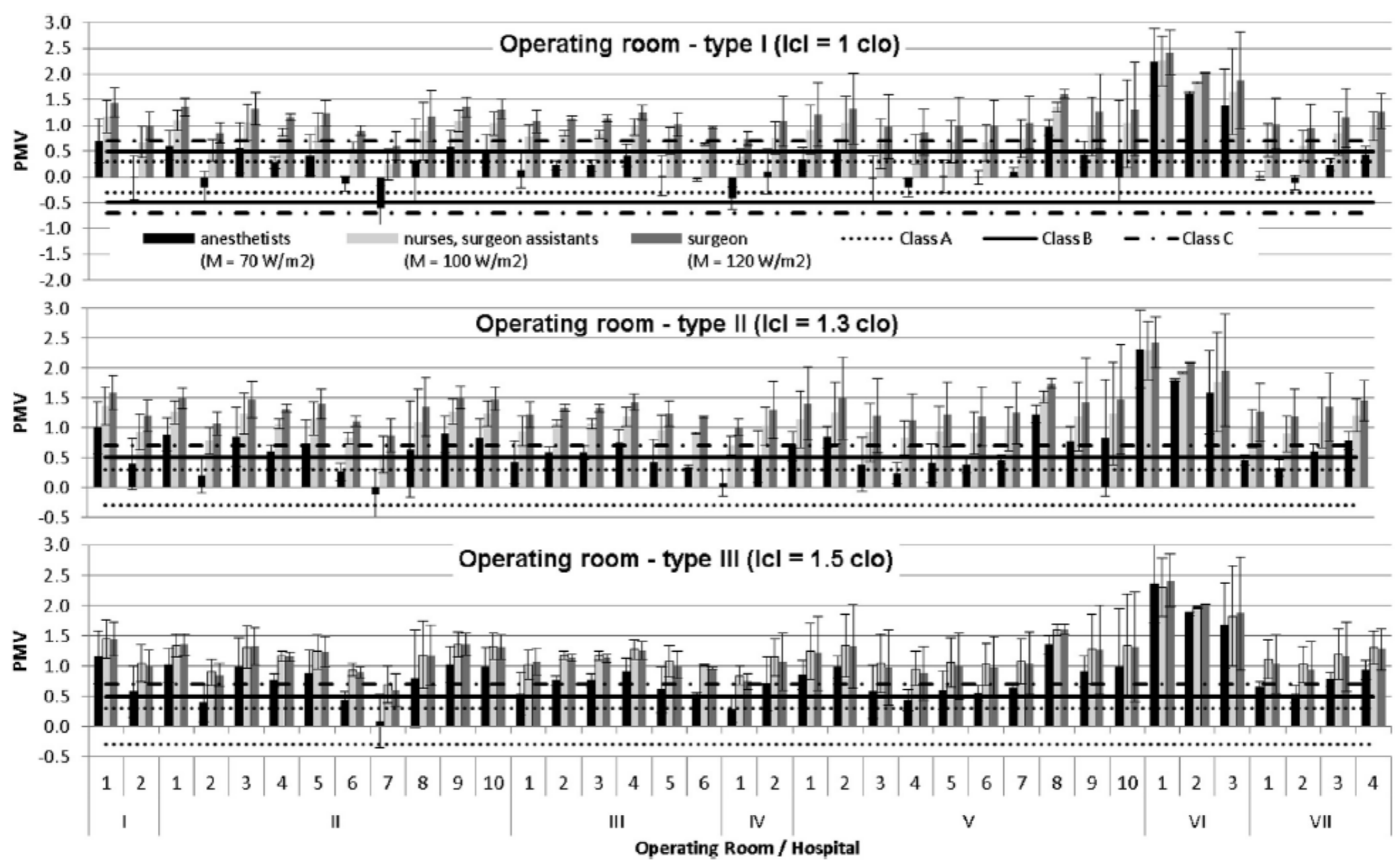
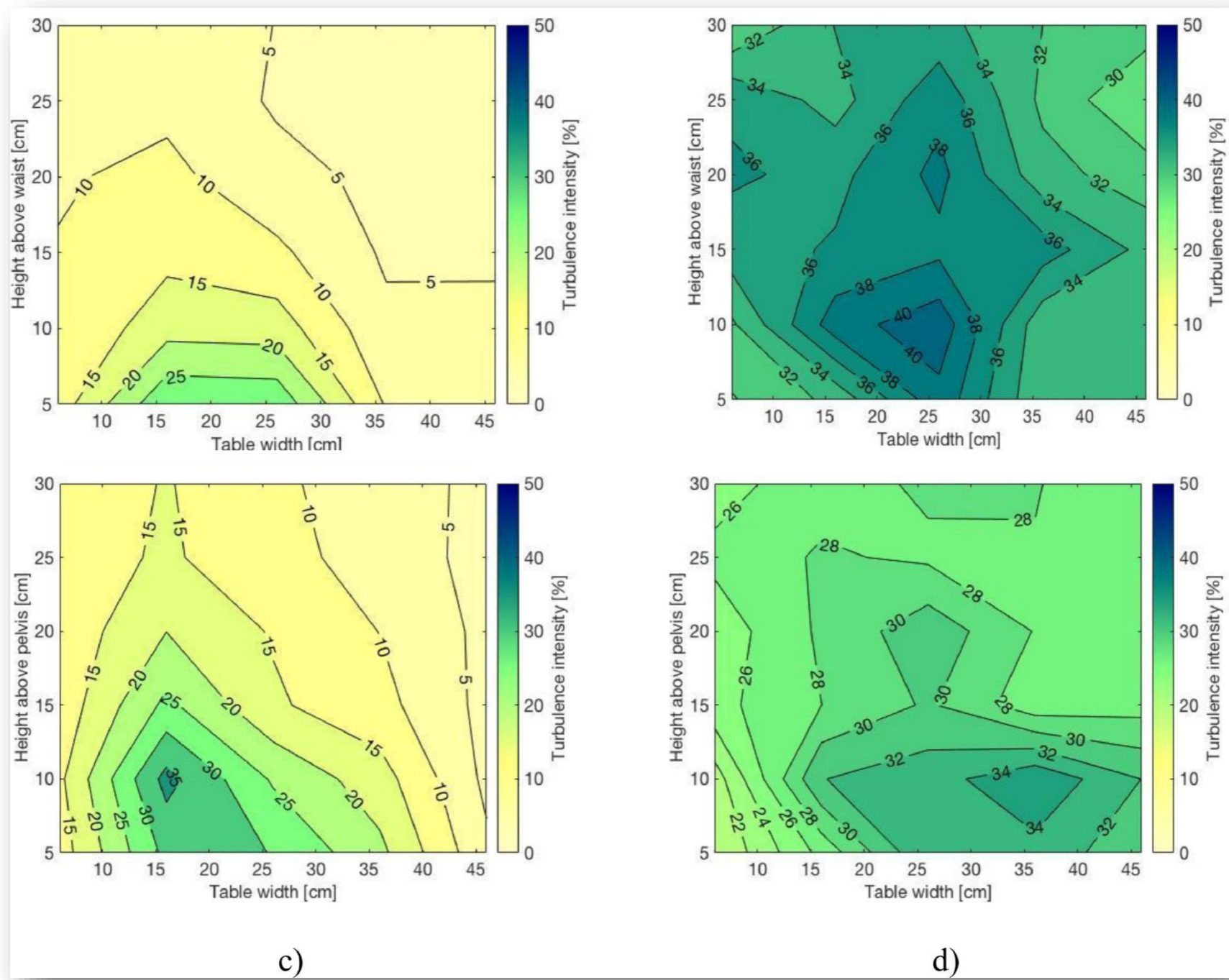


Fig. 3. Thermal comfort of medical staff in operating rooms – comparison of PMV indicators with the recommendations of the standard [29].



Komfort cieplny chirurgów i personelu medycznego



c)

d)



Źródło:

Cao G, Nilssen AM, Cheng Z, Stenstad LI, Radtke A, Skogås JG. Laminar airflow and mixing ventilation: Which is better for operating room airflow distribution near an orthopedic surgical patient? *Am. J. Infect. Control* 2019; 47:737-743

Komfort cieplny chirurgów i personelu medycznego



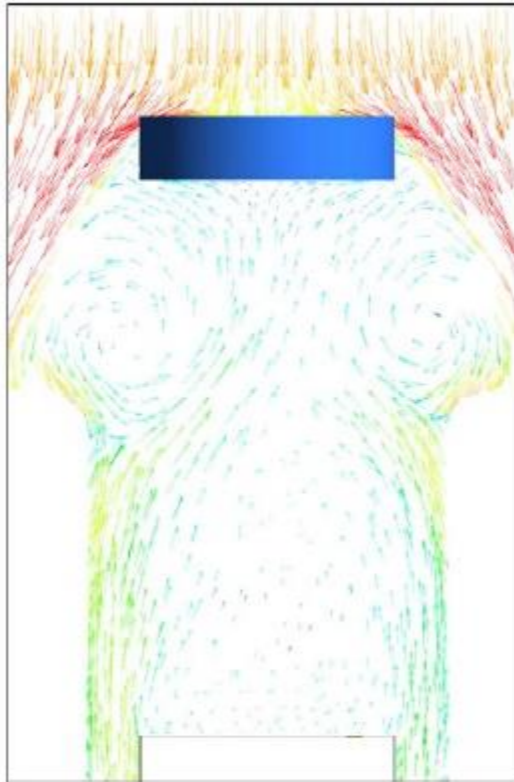
Figure 1. Thermal manikin wearing ensembles of surgical gowns (A – surgical underwear and ensemble A, B – surgical underwear and ensemble B; C - surgical underwear and ensemble C; D - surgical underwear and ensemble D).

Izolacja termiczna odzieży chirurgicznej waha się w granicach od 1 do 1,5 clo (Uścińowicz 2015), 0,2 - 1,10 clo (Mora 2001) lub 0,42 - 1,1 clo (Bogdan 2011), co doprowadzi do wzrostu temperatury skóry i wilgotności względnej między skórą a warstwą odzieży oraz w ten sposób na dyskomfort termiczny.

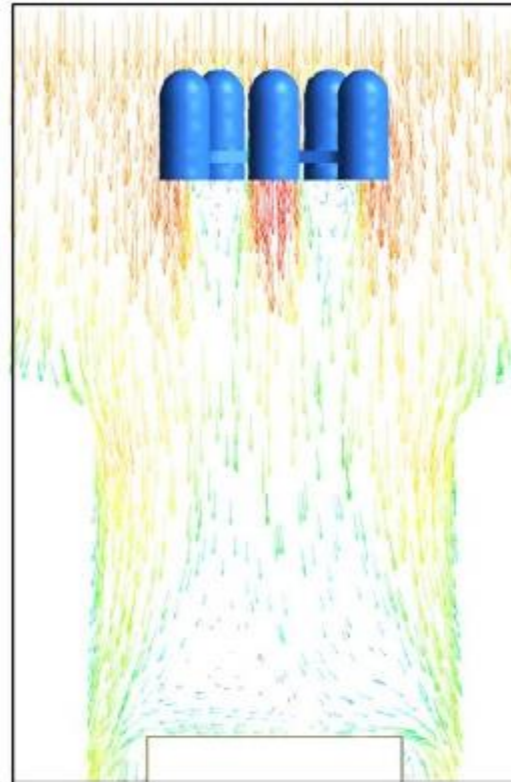
Nowoczesna odzież chirurgiczna musi spełniać kilka wymagań: powinna być wygodna, oddychająca, luźna, utrzymująca użytkownika w wygodnym stanie oraz pozwalająca na wymianę ciepła między ciałem a otoczeniem, przy jednoczesnym ograniczeniu uwalniania BCP ze skóry personelu.

Wpływ lamp chirurgicznych

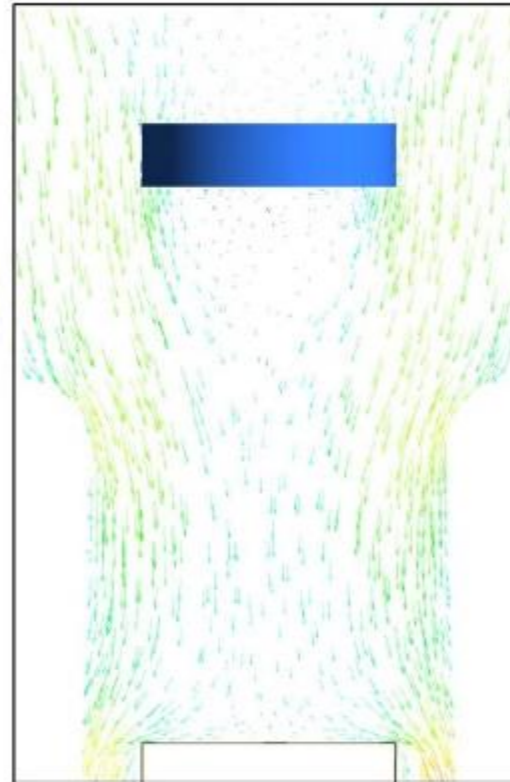
(a) LAF with closed-shape lamp



(b) LAF with open-shape lamp



(c) TAF with closed-shape lamp



(d) TAF with open-shape lamp

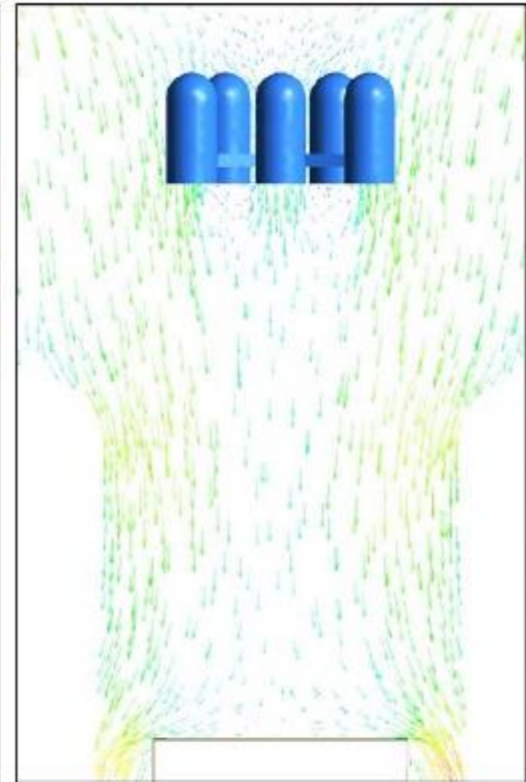
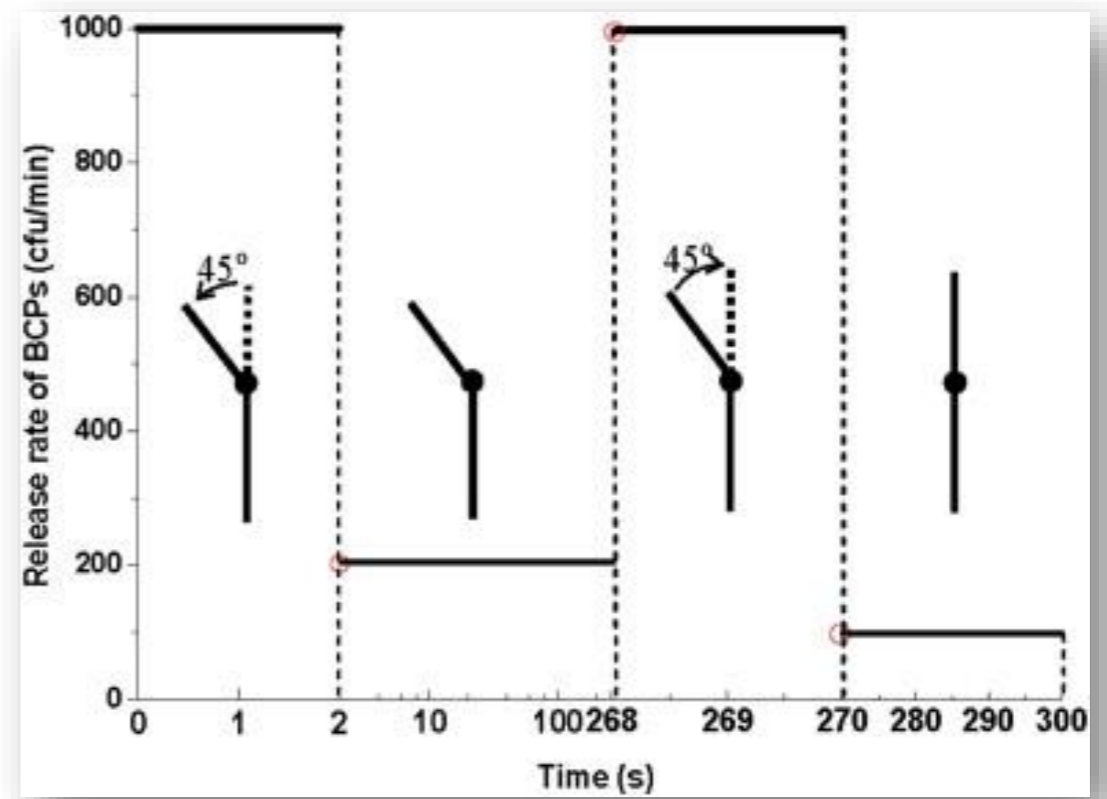
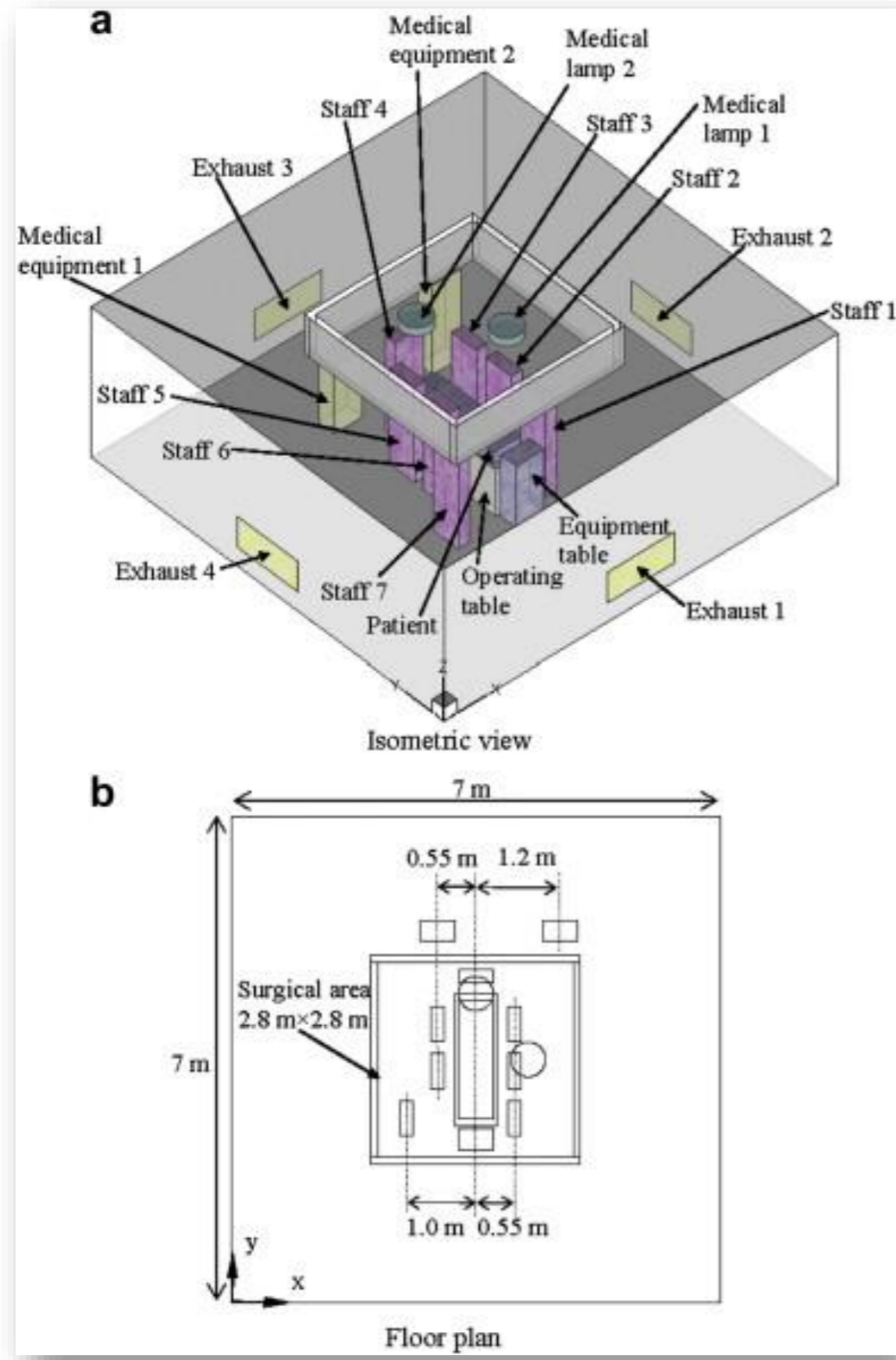


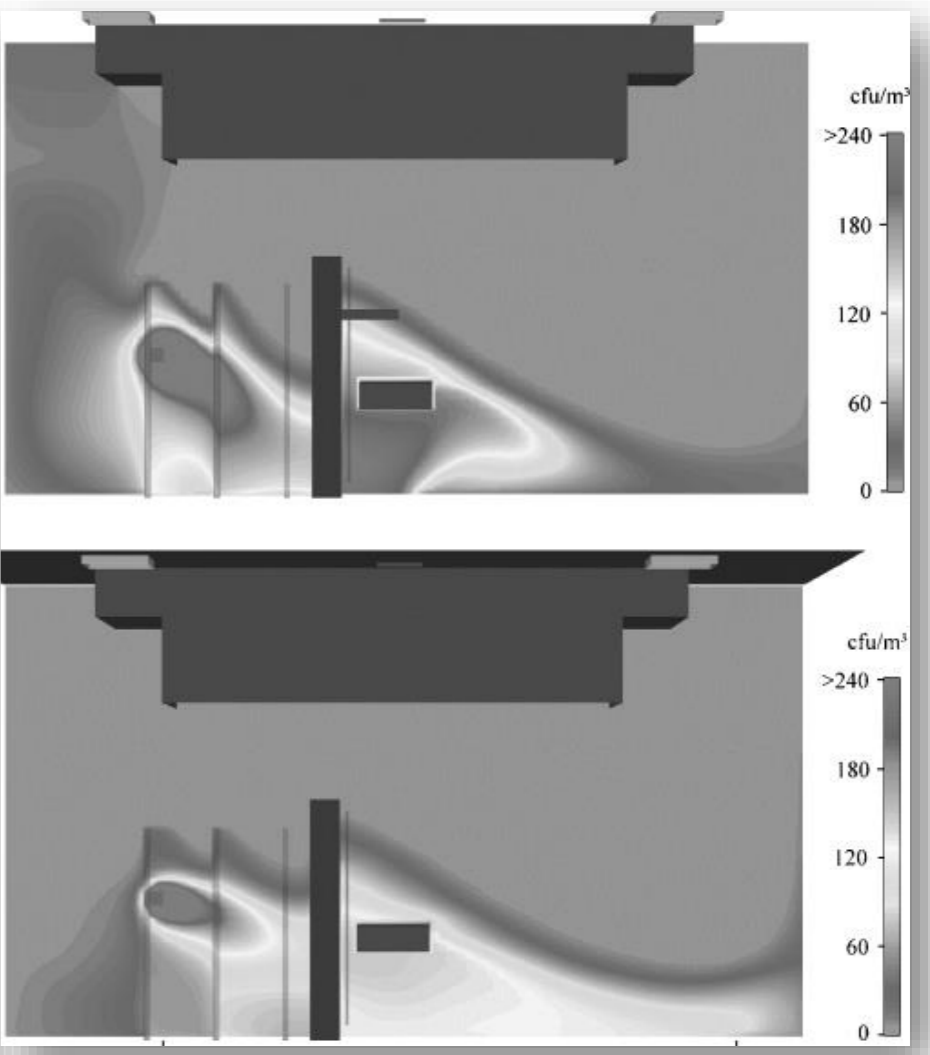
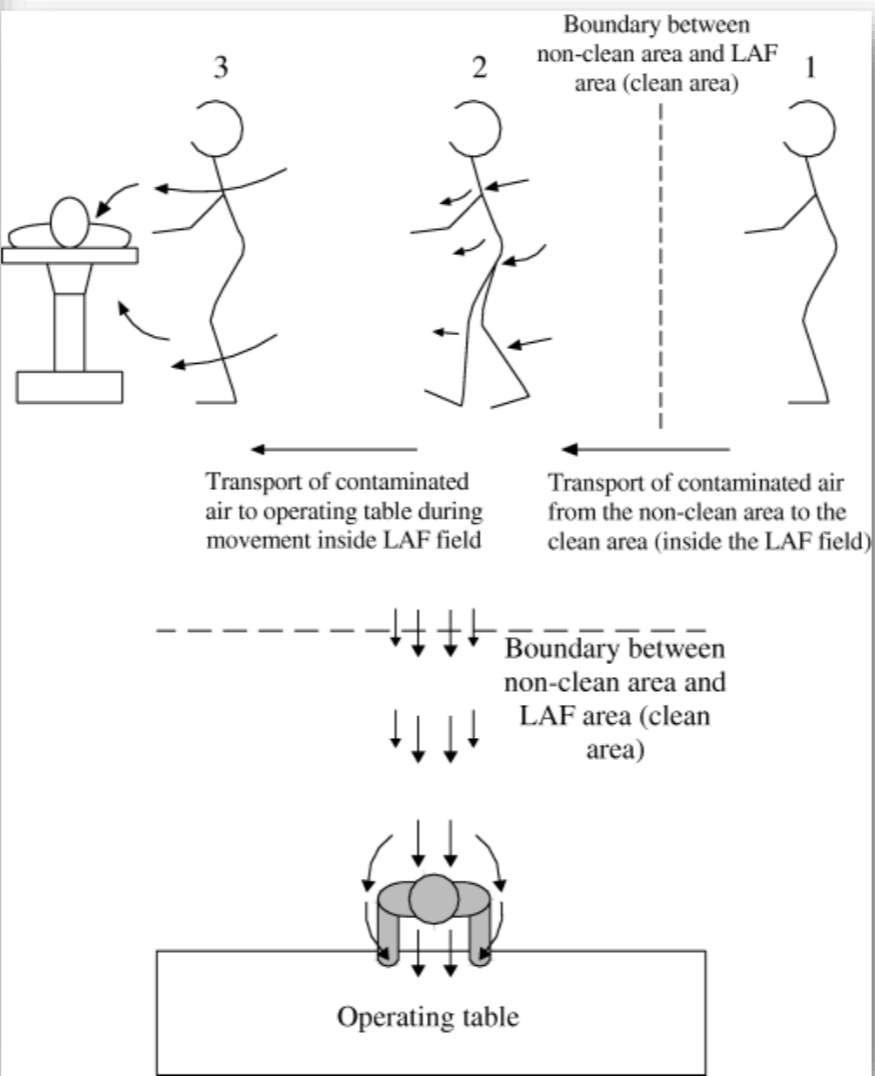
Figure 32. Velocity vector plot under surgical lamps for a) LAF with closed-shape lamp; b) LAF with open-shape lamp; c) TAF with closed-shape lamp; d) TAF with open-shape lamp.

Wpływ praktyk pracy personelu – ruch personelu



Źródło:
 Chow T-T, Wang J. Dynamic simulation on impact of surgeon bending movement on bacteria-carrying particles distribution in operating theatre. *Build. Environ.* 2012; 57:68-80

Wpływ praktyk pracy personelu – ruch personelu



Wpływ praktyk pracy personelu – otwieranie drzwi

Authors (year)	Type of surgery	Ventilation type	Door opening frequency [Openings/h]	Monitoring contamination / SSI?	Association between door openings and contamination?	Association between door openings and SSI rate?
Bediako-Bowan et al. (2020)	Abdominal	Mixing ³	59.3 ¹	SSI	-	Yes
Birgand et al. (2019)	Cardiac / orthopaedic	LAF / Mixing	20.2	Particles / CFU	Yes / Yes	-
DiBartola et al. (2019)	Orthopaedic	Unknown	27.0 – 34.8 ¹	-	-	-
Roth et al. (2019)]	Cardiac	LAF	32.4	SSI	-	Yes
Alsved et al. (2018)	Orthopedic	LAF/Mixing/TcAF	2.1 – 5.6	CFU	No	-
Hamilton et al. (2018)	Total joint arthroplasty	LAF	19.2 – 21.6 ¹	-	-	-
Perez et al. (2018)	Orthopaedic / general	LAF	12.6 – 36.6 ¹	CFU	Yes	-
Teter et al. (2017)	Plastic surgery	Unknown	13.4	Particles	Yes	-
Bohl et al. (2016)	Neurosurgery	LAF	46.2	SSI	-	No
Mathijssen et al. (2016)	Hip revision	Mixing	3.3 ¹	CFU	Yes	-
Elliott et al. (2015)	Cardiac / general	Unknown	33 - 54	-	-	-
Mears et al. (2015)	Joint Arthroplasty	Mixing ²	16.6 - 37.3 ¹	SSI	-	Unclear
Smith et al. (2013)	Orthopaedic	LAF	37.2 ¹	CFU	Yes	-
Andersson et al. (2012)	Orthopaedic	Displacement	12.5 ¹	CFU	Yes	-
Crolla et al. (2012)	Colorectal	Unknown	-	SSI	-	Yes
Panahi et al. (2012)	Total joint arthroplasty	LAF	41.4 ¹	-	-	-
Young and O'Regan (2010)	Cardiac	Unknown	19.2	SSI	-	Yes
Stocks et al. (2010)	Joint Arthroplasty	Mixing	33.6 ¹	Particles / CFU	- / No	-
Lynch et al. (2009)	Multiple	Unknown	19 – 50	-	-	-
Scaltriti et al. (2007)	Orthopaedic / urology / general	Mixing ²	56.4 ¹	Particles / CFU	No / Yes	-

Wpływ technologii ochrony osobistej pacjenta/chirurga

Reference number	type of particle	Discovered size	Concentration	Remarks
Davis 1962, Hughes 1963, Woods 1986, Tarvainen 1994	Skin scales/particles and bacteria	Data not provided	1:400 up to 1:1700 bacteria per skin sales, 10% , 0.5 to 5 % colonized	depend on the investigated situation
Tang 1993, Pastuszka 2005, Pasquarella2012, Landrin 2005, Kim 2007	Airborne bacteria	1.7 – 30.2 μm	12 CFU/ m^3 (rest), 80 CFU/ m^3 (operation)	measurements with Andersen cascade impactor in ORs
Hartmann 2020	Particles	< 5 μm	134-195 particles/s	different activities

Reference number	Type of clothing	Performance	Remarks
Lankester 2002	Disposable spun-bonded polyester gown	Reduction of emitted bacteria	Different materials, as well as cuts, has to be investigated concerning the ventilation system, thermal comfort, and wearing comfort
Tammelin 2012, 2013	Reusable woven polyester gown	Performance did not significantly decrease with the number of reuses	
Hubble 1996, Mitchell 1991, Webster 2010, Tunevall 1991, Friberg 2001, Humphreys 1991	Headgear and face masks	Controversially discussed, suggested for staff standing near the wound field	Connection with ventilation system necessary
Nicolai 1997	Gloves	Perforated gloves critical	Not influenced by the ventilation system



Podsumowanie

- Widoczny jest brak wzajemnego zrozumienia wśród inżynierów, ponieważ regularnie podawane są przeciwne wnioski na te same tematy. Na przykład kilka artykułów zalecało wdrożenie wentylacji LAF, podczas gdy inne donoszą o wyższym wskaźniku SSI przy zastosowaniu systemów LAF. Zgłaszano również, że otwieranie drzwi szkodzi czystości i wydajności wentylacji w salach operacyjnych, podczas gdy inne rejestrowały ograniczony wpływ lub brak wpływu na poziom zanieczyszczenia w OR.
- Istnieją jednak inne aspekty, w których można zaobserwować wyraźny konsensus, takie jak pozytywny wpływ właściwej praktyki pracy personelu lub korzystny wpływ odzieży ochronnej na ograniczenie emisji cząstek stałych.
- Najważniejsze wydaje się osiągnięcie statystycznie i klinicznie istotnych wyników, ponieważ większość badań naukowych z przeszłości nie uwzględniała wystarczającej wielkości próby, powtarzalności, walidacji i weryfikacji.



Podsumowanie

- Lampa operacyjna, sprzęt chirurgiczny i postawa chirurga stanowią istotne zakłócenia w przepływie powietrza wentylacyjnego, zwłaszcza w wentylacji LAF. Lampy operacyjne o specjalnie zamkniętym kształcie zapobiegają przedostawaniu się czystego powietrza do miejsca zabiegu, osłabiają efekt wymywania powietrza, a nawet tworzą strefę recyrkulacji pod lampą. Sprzeczne dowody dotyczące skuteczności wentylacji LAF w literaturze można częściowo przypisać negatywnemu wpływowi lampy chirurgicznej. Innowacyjne konstrukcje lamp chirurgicznych mogą w dużym stopniu złagodzić niekorzystny wpływ na jednokierunkowy przepływ powietrza.
- Personel chirurgiczny jest głównym źródłem BCP, a systemy odzieży są uważane za skuteczne w minimalizowaniu szybkości uwalniania zanieczyszczeń.
- Strategie dystrybucji powietrza i określone parametry środowiskowe, lokalne rozwiązania wymagają dalszych badań, aby zapewnić komfort termiczny dla wszystkich grup personelu medycznego i pacjenta w tym samym czasie.



Podsumowanie

- W zakresie norm widoczny jest również brak uniwersalnego standardu, a w niektórych przypadkach przeciwstawne zalecenia różnych norm.
- Zmniejszenie stopnia zakażeń miejsca operacji wymaga zaawansowanej i interdyscyplinarnej współpracy między inżynierami, projektantami, specjalistami ds. kontroli zakażeń, personelem chirurgicznym i specjalistami behawioralnymi. Z tej przyczyny niezbędne jest rozwijanie wspólnego języka między wszystkimi zaangażowanymi stronami.
- Większą uwagę należy zwrócić na mikrośrodowisko chirurgiczne, w którym występuje narażenie zakażenia miejsca operacji. Obecnie brakuje wystarczających badań, aby zbadać wpływ rozwiązań wentylacyjnych na jakość mikrośrodowiska chirurgicznego.



Bibliografia

2. Hirsch T, Hubert H, Fischer S, Lahmer A, Lehnhardt M, Steinau H-U, et al. Bacterial burden in the operating room: impact of airflow systems. *Am. J. Infect. Control* 2012; 40:e228-32
3. Diab-Elschahawi M, Berger J, Blacky A, Kimberger O, Oguz R, Kuelpmann R, et al. Impact of different-sized laminar air flow versus no laminar air flow on bacterial counts in the operating room during orthopedic surgery. *Am. J. Infect. Control* 2011; 39:e25-9
4. Sadrizadeh S. Design of Hospital Operating Room Ventilation using Computational Fluid Dynamics (PhD thesis). 2016;
6. HTM 01-03 Heating and Ventilation Systems, Specialised Ventilation for Healthcare Premises, Part A: Design and Validation; Department of Health and Social Care: London, UK., 2007;
7. DIN standard 1946-4, Ventilation and air conditioning –Part 4: VAC systems in buildings and rooms used in the health care sector. 2008;
8. . Association Francaise de Normalisation. NF S 90-351: 2003–2006 Etablissement de Santé: Salles Propres et Environnements Maîtrisés et Apparentés Association Francaise de Normalisation. 2003;
10. . ÖNORM H 6020:2019 06 01 Lüftungstechnische Anlagen für medizinisch genutzte Räume - Projektierung, Errichtung, Betrieb, Instandhaltung, technische Kontrollen und Hygienekontrollen. 2019;
11. UNE 100713:2005 Air Conditioning in Hospitals; Asociación Española de Normalización (AENOR): Madrid, Spain., 2005
12. Aune K.S. Design, Commissioning and Testing of Operating Theatre & Isolation Rooms in Norway. Norwegian Hospital Construction Agency. 2014. Available: <http://sjukehusbygg.no/wp-content/uploads/2015/11/presentasjonen.pdf> [Accessed 10th June 2018].
14. Bischoff P, Kubilay NZ, Allegranzi B, Egger M, Gastmeier P. Effect of laminar airflow ventilation on surgical site infections: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Infect. Dis.* 2017; 17:553–561
15. Langvatn H, Bartz-Johannessen C, Schrama JC, Hallan G, Furnes O, Lingaas E, et al. Operating room ventilation—Validation of reported data on 108 067 primary total hip arthroplasties in the Norwegian Arthroplasty Register. *J. Eval. Clin. Pract.* 2020; 26:1022–1029
16. Fischer S, Thieves M, Hirsch T, Fischer KD, Hubert H, Bepler S, et al. Reduction of airborne bacterial burden in the OR by installation of unidirectional displacement airflow (UDF) systems. *Med. Sci. Monit.* 2015; 21:2367–2374
17. Birgand G, Toupet G, Rukly S, Antoniotti G, Deschamps M-N, Lepelletier D, et al. Air contamination for predicting wound contamination in clean surgery: A large multicenter study. *Am. J. Infect. Control* 2015; 43:516–521
18. Vonci N, Marco MF De, Grasso A, Spataro G, Cevenini G, Messina G. Association between air changes and airborne microbial contamination in operating rooms. *J. Infect. Public Health* 2019; 12:827–830
19. Erichsen Andersson A, Petzold M, Bergh I, Karlsson J, Eriksson BI, Nilsson K. Comparison between mixed and laminar airflow systems in operating rooms and the influence of human factors: Experiences from a Swedish orthopedic center. *Am. J. Infect. Control* 2014; 42:665–669
20. Alsved M, Civilis A, Ekolind P, Tammelin A, Andersson AE, Jakobsson J, et al. Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow. *J. Hosp. Infect.* 2018; 98:181–190
21. Pasquarella C, Sansebastiano GE, Ferretti S, Saccani E, Fanti M, Moscato U, et al. A mobile laminar airflow unit to reduce air bacterial contamination at surgical area in a conventionally ventilated operating theatre. *J. Hosp. Infect.* 2007; 66:313–319



Bibliografia

- DAVIES RR, NOBLE WC. Dispersal of bacteria on desquamated skin. *Lancet* (London, England) 1962; 2:1295-7
- Hughes MH. DISPERSAL OF BACTERIA ON DESQUAMATED SKIN. *Lancet* 1963; 281:109
- Tang H, Yoshizawa S, Fang C, Liu C. Particle Size Distribution and correlation between biological and total particles in clean operating rooms. *Proc. Indoor Air* 1993; 255-260
- Pastuszka JS, Marchwińska-Wyrwał E, Wlazło A. Bacterial aerosol in Silesian hospitals: Preliminary results. *Polish J. Environ. Stud.* 2005; 14:883-890
- Hartmann A, Lange J, Rotheudt H, Kriegel M. Emission rate and particle size of bioaerosols during breathing, speaking and coughing. *Preprint* 2020; 1-5
- Pasquarella C, Vitali P, Saccani E, Manotti P, Boccuni C, Ugolotti M, et al. Microbial air monitoring in operating theatres: experience at the University Hospital of Parma. *J. Hosp. Infect.* 2012; 81:50-7
- Landrin a, Bissery A, Kac G. Monitoring air sampling in operating theatres: can particle counting replace microbiological sampling? *J. Hosp. Infect.* 2005; 61:27-9
- Woods JE, Brayman DT, Rasmussen RW, Reynolds GL, Montag GM. Ventilation Requirements in Hospital Operating Rooms - Part I: Control of Airborne Particles. *ASHRAE Trans.* 1986; 92:396-426
- Tarvainen K Mattila-Sandholm T WG. Preventing airborne microbial risks in rooms with special hygiene requirements. *Proc. Heal. Build.* 1994; 2:217-222
- Kim KY, Kim CN. Airborne microbiological characteristics in public buildings of Korea. *Build. Environ.* 2007; 42:2188-2196
- Lankester BJA, Bartlett GE, Garneti N, Blom AW, Bowker KE, Bannister GC. Direct measurement of bacterial penetration through surgical gowns: a new method. *J. Hosp. Infect.* 2002; 50:281-285
- Tammelin A, Ljungqvist B, Reinmüller B. Comparison of three distinct surgical clothing systems for protection from air-borne bacteria: A prospective observational study. *Patient Saf. Surg.* 2012; 6:23
- Tammelin A, Ljungqvist B, Reinmüller B. Single-use surgical clothing system for reduction of airborne bacteria in the operating room. *J. Hosp. Infect.* 2013; 84:245-247
- Hubble MJ, Weale AE, Perez J V, Bowker KE, MacGowan a P, Bannister GC. Clothing in laminar-flow operating theatres. *J. Hosp. Infect.* 1996; 32:1-7
- Mitchell NJ, Hunt S. Surgical face masks in modern operating rooms--a costly and unnecessary ritual? *J. Hosp. Infect.* 1991; 18:239-42
- Webster J, Croger S, Lister C, Doidge M, Terry MJ, Jones I. Use of face masks by non-scrubbed operating room staff: A randomized controlled trial. *ANZ J. Surg.* 2010; 80:169-173
- Tunevall TG. Postoperative wound infections and surgical face masks: A controlled study. *World J. Surg.* 1991; 15:383-387
- Friberg B, Friberg S, Ostensson R, Burman LG. Surgical area contamination--comparable bacterial counts using disposable head and mask and helmet aspirator system, but dramatic increase upon omission of head-gear: an experimental study in horizontal laminar air-flow. *J. Hosp. Infect.* 2001; 47:110-5
- Humphreys H, Russell AJ, Marshall RJ, Ricketts VE, Reeves DS. The effect of surgical theatre head-gear on air bacterial counts. *J. Hosp. Infect.* 1991; 19:175-180
- Nicolai P, Aldam CH, Allen PW. Increased awareness of glove perforation in major joint replacement. A prospective, randomised study of regent biogel reveal gloves. *J. Bone Jt. Surg. - Ser. B* 1997; 79:371-373
- Bediako-Bowan AAA, Mølbak K, Kurtzhals JAL, Owusu E, Debrah S, Newman MJ. Risk factors for surgical site infections in abdominal surgeries in Ghana: Emphasis on the impact of operating rooms door openings. *Epidemiol. Infect.* 2020;
- Birgand G, Azevedo C, Rukly S, Pissard-Gibollet R, Toupet G, Timsit J-F, et al. Motion-capture system to assess intraoperative staff movements and door openings: Impact on surrogates of the infectious risk in surgery. *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* 2019; 40:566-573



Bibliografia

- DiBartola AC, Barron C, Smith S, Quatman-Yates C, Chaudhari AMW, Scharschmidt TJ, et al. Decreasing Room Traffic in Orthopedic Surgery: A Quality Improvement Initiative. *Am. J. Med. Qual.* 2019; 34:561–568
- Roth JA, Juchler F, Dangel M, Eckstein FS, Battegay M, Widmer AF. Frequent Door Openings During Cardiac Surgery Are Associated With Increased Risk for Surgical Site Infection: A Prospective Observational Study. *Clin. Infect. Dis.* 2019; 69:290–294
- Alsved M, Civilis A, Ekolind P, Tammelin A, Andersson AE, Jakobsson J, et al. Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow. *J. Hosp. Infect.* 2018; 98:181–190
- Hamilton WG, Balkam CB, Purcell RL, Parks NL, Holdsworth JE. Operating room traffic in total joint arthroplasty: Identifying patterns and training the team to keep the door shut. *Am. J. Infect. Control* 2018; 46:633–636
- Perez P, Holloway J, Ehrenfeld L, Cohen S, Cunningham L, Miley GB, et al. Door openings in the operating room are associated with increased environmental contamination. *Am. J. Infect. Control* 2018; 46:954–956
- Teter J, Guajardo I, Al-Rammah T, Rosson G, Perl TM, Manahan M. Assessment of operating room airflow using air particle counts and direct observation of door openings. *Am. J. Infect. Control* 2017; 45:477–482
- Bohl MA, Clark JC, Oppenlander ME, Chapple K, Budde A, Lei T, et al. The Barrow Randomized Operating Room Traffic (BRITE) Trial: An Observational Study on the Effect of Operating Room Traffic on Infection Rates. *Neurosurgery* 2016; 63:91–95
- Mathijssen NMC, Hannink G, Sturm PDJ, Pilot P, Bloem RM, Buma P, et al. The Effect of Door Openings on Numbers of Colony Forming Units in the Operating Room during Hip Revision Surgery. *Surg. Infect. (Larchmt)*. 2016; 17:535–540
- Elliott S, Parker S, Mills J, Meeusen L, Frana T, Anderson M, et al. STOP: Can We Minimize OR Traffic? *AORN J.* 2015; 102:409.e1-409.e7
- Mears SC, Blanding R, Belkoff SM. Door Opening Affects Operating Room Pressure During Joint Arthroplasty. *Orthopedics* 2015; 38:e991–e994
- Smith EB, Raphael IJ, Maltenfort MG, Honsawek S, Dolan K, Younkins E a. The effect of laminar air flow and door openings on operating room contamination. *J. Arthroplasty* 2013; 28:1482–5
- Andersson AE, Bergh I, Karlsson J, Eriksson BI, Nilsson K. Traffic flow in the operating room: an explorative and descriptive study on air quality during orthopedic trauma implant surgery. *Am. J. Infect. Control* 2012; 40:750–5
- Crolla RMPH, van der Laan L, Veen EJ, Hendriks Y, van Schendel C, Kluytmans J. Reduction of Surgical Site Infections after Implementation of a Bundle of Care. *PLoS One* 2012; 7:e44599
- Panahi P, Stroh M, Casper DS, Parvizi J, Austin MS. Operating room traffic is a major concern during total joint arthroplasty. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2012; 470:2690–4
- Stocks GW, Self SD, Thompson B, Adame XA, O'Connor DP, O'Connor DP. Predicting bacterial populations based on airborne particulates: a study performed in nonlaminar flow operating rooms during joint arthroplasty surgery. *Am. J. Infect. Control* 2010; 38:199–204
- Lynch RJ, Englesbe MJ, Sturm L, Bitar A, Budhiraj K, Kolla S, et al. Measurement of foot traffic in the operating room: implications for infection control. *Am. J. Med. Qual.* 2009; 24:45–52
- Scaltriti S, Cencetti S, Rovesti S, Marchesi I, Bargellini A, Borella P. Risk factors for particulate and microbial contamination of air in operating theatres. *J. Hosp. Infect.* 2007; 66:320–6



Przegląd najnowszej wiedzy naukowej w zakresie klimatyzacji sal operacyjnych

Dr hab. inż. Anna Bogdan, prof. uczelni

Politechnika
Warszawska

