

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY

M106

Ewa Zender-Świercz

**ZDECENTRALIZOWANA WENTYLACJA FASADOWA
SPOSOBEM NA POPRAWĘ JAKOŚCI
POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO**
diagnoza • analiza • poprawa



Politechnika Świętokrzyska

Kielce 2018

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY

M106

Ewa Zender-Świercz

**ZDECENTRALIZOWANA WENTYLACJA FASADOWA
SPOSOBEM NA POPRAWĘ JAKOŚCI
POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO**

diagnoza • analiza • poprawa

Kielce 2018

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY NR M106

Redaktor Naukowy serii

NAUKI TECHNICZNE – INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

prof. dr hab. inż. Andrzej KULICZKOWSKI

Recenzenci:

dr hab. inż Wioletta ROGULA-KOZŁOWSKA, prof. SGSP

dr hab. inż Dariusz HEIM, prof. PŁ

Redakcja

Irena PRZEORSKA-IMIOŁEK

Projekt okładki

Tadeusz UBERMAN

Zdjęcie na okładce

Mariusz ŚWIERCZ

© Copyright by Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2018

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana
czy rozpowszechniana w jakiejkolwiek formie, w jakikolwiek sposób:
elektroniczny bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem
na taśmy lub przy użyciu innych systemów, bez pisemnej zgody wydawcy.

PL ISSN 1897-2691

PL ISBN 978-83-65719-41-6

Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej
25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
tel./fax 41 34 24 581
e-mail: wydawca@tu.kielce.pl
www.wydawnictwo.tu.kielce.pl

Wykaz skrótów i symboli	5
Wprowadzenie	7
1. WYBRANE PROBLEMY JAKOŚCI POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO	11
2. SPOSÓBY POPRAWY JAKOŚCI POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO I OCENA ICH SKUTECZNOŚCI	28
3. PROJEKTOWANIE INSTALACJI WENTYLACJI – WYBRANE PROBLEMY I ICH ROZWIĄZANIE	39
4. BADANIA PARAMETRÓW POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO KREOWANYCH PRZEZ ZDECENTRALIZOWANE FASADOWE URZĄDZENIE DO WENTYLOWANIA POMIESZCZEŃ	45
4.1. Analiza wpływu zdecentralizowanego fasadowego urządzenia do wentylowania pomieszczeń na temperaturę i wilgotność powietrza wewnętrz pomieszczeń	53
4.2. Analiza prędkości powietrza nawiewanego i usuwanego	66
4.3. Analiza szybkości rozcieńczenia zanieczyszczeń	70
5. FUNKCJONOWANIE ZDECENTRALIZOWANEGO FASADOWEGO URZĄDZENIA DO WENTYLOWANIA POMIESZCZEŃ – SYMULACJE	78
6. POPRAWA JAKOŚCI POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO – ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW	100
6.1. Zastosowana metoda analizy statystycznej	100
6.2. Ocena wpływu nastawy i lokalizacji na wartości średnie redukcji oraz czasu	106
6.3. Ocena wpływu nastawy i lokalizacji na wartości średnie temperatury wewnętrznej	120
Podsumowanie	126
Bibliografia	129
Załączniki	139
Streszczenie	149
Summary	151

- Alves C., Nunes T., Silva J., Duarte M.: *Comfort Parameters and Particulate Matter (PM10 and PM2.5) in School Classrooms and Outdoor Air*, Aerosol and Air Quality Research 13 (2013), pp. 1521-1535, DOI: 10.4209/aaqr.2012.11.0321.
- Apte M.G., Fisk W.J., Daisey J.M.: *Association between indoor CO₂ concentration and sick building syndrome symptoms in U.S. office buildings: an analysis of the 1994-1996 BASE study data*, Indoor Air 10(4) (2000a), pp. 246-257.
- Apte M.G., Fisk W.J., Daisey J.M.: *Indoor carbon dioxide concentrations and SBS in office workers*, Proceedings Healthy Building (2000b) 1, pp. 133-138.
- Ayodele J.T., Adekiya A.O., Yakubu I.: *Carbon monoxide as indoor pollutant in Kano Metropolis*, Journal of Applied Science and Environmental Management, Vol. 11, No 03 (2007), pp. 27-30.
- Badyda A.J., Dąbrowiecki P., Czechowski P.O., Majewski G.: *Risk of bronchi obstruction among non-smokers – Review of environmental factors affecting bronchoconstriction*, Respiratory Physiology & Neurobiology, Vol. 209 (2015), pp. 39-46.
- Badyda A.J., Dąbrowiecki P., Czechowski P.O., Majewski G., Doboszyńska A.: *Traffic – Related Air Pollution and Respiratory Tract Efficiency*, Advances in Experimental Medicine and Biology, Springer 2015, Vol. 834, pp. 31-38, DOI 10.1007/5584_2014_13.
- Ben-David T., Michael S.: *Waring Impact of natural versus mechanical ventilation on simulated indoor air quality and energy consumption in offices in fourteen U.S. cities*, Building and Environment 104(2016), pp. 320-336.
- Bhandari M., Gupta A.: *Radon i Indoor Air: An Indian Context*, Indian Journal Environmental Protection, Vol. 29, No 4 (2009), pp. 323-329.
- Błaszczyk E., Rogula-Kozłowska W., Klejnowski K., Kubiesa P., Fulara I., Mielżyńska-Śvach D.: *Indoor air quality In Urban and rural kindergartens: ahort-term studies in Silesia, Poland*, Air Quality Atmosphere &Health, Vol. 10, Issue 10 (2017), pp. 1207-1220, <https://doi.org/10.1007/s11869-017-0505-9>.
- Bomberg M., Kisilewicz T., Nowak K.: *Is there an optimum range of airtightness for a building?*, Journal of Building Physics, Vol. 39 (5), 2016, pp. 395-421, DOI: 10.1177/174425915603041.
- Bonino S.: *Carbon dioxide detection and indoor air quality control*, Occupational health and safety 85(4) (2016), pp. 46-48.
- Broderick Á., Byrne M., Armstrong S., Sheahan J., Coggins A.M.: *A pre and post evaluation of indoor air quality, ventilation, and thermal comfort in retrofitted co-operative social housing*, Building and Environment, Vol. 122, 2017, pp. 126-133, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.020>.

- Calautit J.K., O'Connor D., Hughes B.R.: *Determining the optimum spacing and arrangement for commercial wind towers for ventilation performance*, Building and Environment, 82 (2014), pp. 274-287.
- Chao C.Y., Wan M.P.: *Experimental study of ventilation performance and contaminant distribution of underfloor ventilation systems vs. traditional ceiling-based ventilation system*, Indoor Air, Vol. 14, pp. 306-316, 2004, doi:10.1111/j.1600-0668.2004.00248.x.
- Claudio L.: *Planting Healthier Indoor Air*, Environmental Health Perspectives (2011) 119(10), DOI: 10.2307/41263034.
- Colbeck I., Sidra S., Ali Z., Ahmed S., Nasir Z.A.: *Spatial and temporal variations in indoor air quality in Lahore, Pakistan*, International Journal of Environmental Science and Technology (2018), pp. 1-8, <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1693-z>.
- Coydon F., Herkel S., Kuber T., Pfafferott J.: *Energy performance of fac, ade integrated decentralised ventilationsystems*, Energy & Buildings, 107 (2015), pp. 172-180.
- Cui S., Cohen M., Stabat P., Marchio D.: *CO₂ tracer gas concentration decay method for measuring air change rate*, Building and environment 84 (2015), pp. 162-169.
- Daisey J.M., Angell W.J., Apte M.: *Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information*, Indoor Air 13 (2003), pp. 53-64.
- Dermentzis G., Ochs F., Siegele D., Feist W.: *Renovation with an innovative compact heating and ventilation system integrated into the façade – An in-situ monitoring case study*, Energy & Buildings, 165 (2018), pp. 451-463.
- Dickemann J., Cooperman A., Brodrick J.: *What are the benefits and pitfalls Personal ventilation*, ASHRAE Journal, Vol. 52, Issue 10 (2010), pp. 70-75.
- Dudzińska M.R., Staszowska A., Polednik B.: *Preliminary Study of Effect of Furniture and Finishing Materials on Formaldehyde Concentration in Office Rooms*, Environment Protection Engineering, Vol. 35, Issue 3 (2009), pp. 225-233.
- Edwards R., *Handbook of domestic ventilation*. Elsevier Ltd. 2005, London Great Britain.
- Fanger P.O., Melikov A.K., Hanzawa H. et al., *Air turbulence and sensation of draught*, Energy and Building 12(1) (1988), pp. 21-39.
- Fanger P.O., Popiołek Z., Wargocki P.: *Środowisko wewnętrzne. Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
- Fisk W.J., Mirer A.G., Mendell M.J.: *Quantitative relationship of sick building syndrome symptoms with ventilation rates*. Indoor Air, Vol. 19 (2009), pp. 159-165, doi:10.1111/j.1600-0668.2008.00575.x.
- Földváry V., Bekö G., Langer S., Arrhenius K., Petráš D.: *Effect of energy renovation on indoor air quality in multifamily residential buildings in Slovakia*, Building and Environment Vol. 122 (2017), pp. 363-372, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.009>.
- Francisco P.W., Pigg S., Cautley D., Rose W.B., Jacobs D.E., Cali S.: *Carbon monoxide measurements in homes*, Science and Technology for the Built Environment, 24:2 (2018), pp. 118-123, DOI: 10.1080/23744731.2017.1372806.

- Garrett M.H., Hooper M.A., Hooper B.M.: *Nitrogen dioxide in Australian homes: levels and sources*, Journal of the Air and Waste Management Association 49(1) (1999), pp. 76-81, DOI: 10.1080/10473289.1999.10463781.
- Gharehchahi E., Mahvi A.H., Amini H., Nabizadeh R., Akhlaghi A.A., Shamsipour M., Yunesian M.: *Health impact assessment of air pollution in Shiraz, Iran: a two – part study*, Journal of Environmental Health Science and Engineering 11:11 (2013), <https://doi.org/10.1186/2052-336X-11-11>.
- Górny R.L.: *Submikronowe cząstki grzybów i bakterii – nowe zagrożenie środowiska wewnętrz*, Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce, 2005, s. 25-40.
- Gunner A., Hultmark G., Vorre A., Afshari A., Bergsøe N.C.: *Energy-saving potential of a novel ventilation system with decentralised fans in an office building*, Energy and Buildings , Vol. 84 (2014), pp. 360-366.
- Haverinen-Shaughnessy U., Moschandreas D.J., Shaughnessy R.J.: *Association between substandard classroom ventilation rates and students academic achievement*, Indoor Air 21 (2011), pp. 121-131.
- Hazar N., Karbakhsh M., Yunesian M., Nedjat S., Naddafi K.: *Perceived risk of exposure to indoor residential radon and its relationship to willingness to test among health care providers in Tehran*, Journal of Environmental Health Science and Engineering 12:18 (2014), <https://doi.org/10.1186/s40201-014-0118-2>.
- Heidt F.D., Höptner S., Kalender V.: *Façade – integrated ventilation units with heat recovery – energy efficiency and indoor air quality*, Proceedings: Indoor Air 2002 4B5p3, pp. 295-300.
- Hodgson M.: *Relationship between HVAC airflow rates and noise levels, and noise control in a mechanically-ventilated university building*, ASHRAE Transactions, Vol. 116, Issue 1 (2010), No OR-10-058, pp. 550-555.
- Hui P.S., Wong L.T., Mui K.W.: *Using carbon dioxide concentration to assess indoor air quality in offices*, Indoor and Built Environment, Vol. 17, Issue 3 (2008), pp. 213-219, <https://doi.org/10.1177/1420326X08091773>.
- Huttunen K.: *Indoor Air Pollution* [in:] *Clinical Handbook of Air Pollution – Related Diseases*, Springer 2018, ed. Capello F., Gaddi A.V., pp. 107-114, <http://doi.org/10.1007/978-3-319-62731-1>
- Ilyas S.Z., Khattak A.I., Nasir S.M., Quarashi T., Durrani R.: *Air pollution assessment in urban areas and its impact on human health in the city of Quetta, Pakistan*, Clean Technologies and Environmental Policy, Vol. 12, Issue 3 (2010), pp. 291-299.
- Jeźwiecka-Kabsch K., Szewczyk H.: *Mechanika płynów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.
- Johnson D.L., Lynch R.A., Floyd E.L., Wang J., Bartels J.N.: *Indoor air quality in classrooms: Environmental measures and effective ventilation rate modeling in urban elementary schools*, Building and Environment, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.040>.
- Kaiser K., Wolski A.: *Hałas i zanieczyszczenia w wentylacji pomieszczeń*, Wydawnictwo MASTA, Gdańsk 2011.

- Khazaei B., Shiehbeigi A., Haji A.R., Kani M.A.: *Modeling indoor air carbon dioxide concentration using artificial neural network*, International Journal of Environmental Science and Technology (2018), <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1642-x>.
- Kim K.S.: *Sources, Effects, and Control of Noise in Indoor/Outdoor Living Environments*, Journal of the Ergonomics Society of Korea , Vol. 34, Issue 3 (2015), pp. 265-278, DOI: 10.5143/JESK.2015.34.3.265.
- Kim M.K., Baldini L.: *Energy analysis of a decentralized ventilation system compared with centralized ventilation systems in European climates: Based on review of analyses*, Energy & Buildings, 111 (2016), pp. 424-433.
- Kisilewicz T.: *O związkach między szczelnością budynków, a mikroklimatem, komfortem wewnętrzny i zużyciem energii w budynkach niskoenergetycznych*, Napędy i Sterowanie, Vol. 12, 2014, pp. 94-97.
- Klavina A., Proskurina J., Rodins V., Martinsone I.: *Carbon dioxide as indoor air quality indicator in renovated schools in Latvia*, Conference: Indoor Air 2016 The 14th International Conference of Indoor Air Quality and Climate At: Ghent, Belgium.
- Kodama Y., Arashidani K., Tokui N., Kawamoto T., Matsuno K., Kunugita N., Minakawa N.: *Environmental NO₂ concentration and exposure in daily life along mai roads in Tokyo*, Environmental Research 89(3) (2002), pp. 236-244, DOI: 10.1006/enrs.2002.4350.
- Kong L., Xin J., Zhang W., Wang Y.: *The empirical correlations between PM2.5, PM10 and AOD in the Beijing metropolitan region and the PM2.5, PM10 distributions retrieved by MODIS*, Environmental Pollution 216 (2016), pp. 350-360, DOI: 10.1016/j.envpol.2016.05.085.
- Kornacki J., Mielniczuk J.: *Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
- Koruba D., Zender-Świercz E., Piotrowski J., Orman Ł., Telejko M.: *Próba poprawy jakości powietrza wewnętrznego w przedszkolu*, Budownictwo i Architektura 13(4), 2014, s. 7-13.
- Lan L., Wargocki P., Lian Z.: *Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort*, Energy Building 43 (2011), pp. 1057-1062.
- Lazovic I., Stevanović Z.M., Jovašević-Stojanović M., Živković M.M., Banjac M.: *Impact of CO₂ concentration on indoor air quality and correlation with relative humidity and indoor air temperature in school building in Serbia*, Thermal Science 20(00) (2015), pp. 173-173, DOI: 10.2298/TSCI150831173L.
- Leung R., Lam C.W.K., Chan A., Lee M., Chan I.H.S., Pang S.W., Lai C.K.W.: *Indoor environment of residential homes in Hong Kong – relevance to asthma and allergic disease*, Clinical and Experimental Allergy, Vol. 28 (1998), pp. 585-590.
- Lindgren T., Norbäck D.: *Health and perceptron of cabin air quality among Swedish commercial airline crew*, Indoor Air 15 (2005), pp. 65-72.
- Lipska B.: *Kontrola jakości numerycznego modelowania przepływu powietrza w pomieszczeniach wentylowanych* Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej nr 1718, Gliwice 2006.

- Liu S., Mak C.M., Niu J.: *Numerical evaluation of louver configuration and ventilation strategies for the windcatcher system*, Building and Environment, 46 (2011), pp. 1600-1616.
- Madureira J., Paciência I., Rufo J.C., Moreira A., Fernandes E.: *Thermal and indoor air conditions in Portuguese residential buildings: risk factors for childhood health*, 28th Annual Conference International Society for Environmental, Italy 2016a.
- Madureira J., Paciência I., Rufo J., Moreira A., Fernandes E., Pereira A.: *Radon in indoor air of primary schools: determinant factors, their variability and effective dose*, Environmental Geochemistry and Health , Vol. 38, Issue 2 (2016b), pp. 523-533, DOI: 10.1007/s10653-015-9737-5.
- Maisch D., Podd J., Rapley B.: *Electromagnetic Fields in the Built*, BDP Environment Design Guide – Design for Minimal Radiation Exposure 76 (2006).
- Mann M., Segalla C.: *CFD-simulation of smoke propagation and ventilation efficiency of tunnel fire incidents*, International conference “Tunnel safety and ventilation” 2002, Graz, Austria, pp. 167-174.
- Marchetti N., Cavazzini A., Pasti L., Catani M., Malagù C., Guidi V.: *A campus sustainability initiative: Indoor air quality monitoring in classroom* (2015), XVIII AISEM Annual Conference, DOI: 10.1109/AISEM.2015.7066774.
- Mašková L., Smolík J., Ďurovič M.: *Characterization of indoor air quality in different archives – Possible implications for books and manuscripts*, Building and Environment, Vol. 120 (2017), pp. 77-84, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.009>.
- Mazumdar S., Yin Y., Guity A., Marmion P., Gulick B., Chen Q.: *Impact of moving objects on contaminant concentration distributions in an inpatient ward with displacement ventilation*, HVAC & R Research, Vol. 16, Issue 5 (2010), pp. 545-563, DOI: 10.1080/10789669.2010.10390921.
- Melikov A.K., Arakelian R.S., Halkjaer L. et al.: *Spot Cooling – Part 2: Recommendations for design of spot cooling systems*, ASHRAE Transactions 100 Pt.2.
- Mendell M.J., Heath G.A.: *Do indoor pollutants and thermal conditions in school influence student performance? A critical review of the literature*, Indoor Air 15 (2005), pp. 27-52.
- Mijakowski M.: *Wilgotność powietrza w relacjach człowiek, środowisko wewnętrzne, architektura*, Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce, 2005, s. 105-121.
- Milinevsky G., Danylevsky V., Miatselskaya N., Han W., Shulga V., Simon A., Yuke W.: *Evaluation of air quality by particulate matter PM2.5/PM10 in the Ukraine and China cities* [in:] Astronomy and Space physics in the Kyiv University International Conference 2018.
- Miśkiewicz P.: *Jakość powietrza wewnętrznego – perspektywa światowej organizacji zdrowia*, Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce, 2005, s. 137-140.
- Montazeri H., Montazeri F.: *CFD simulation of cross-ventilation in buildings using rooftop wind-catchers: Impact of outlet openings*, Renewable Energy 118 (2018), pp. 502-520.

- Mora-Pérez M., Guillen-Guillamón I., López-Jiménez P.A.: *A CFD study for evaluating the effects of natural ventilation on indoor comfort conditions*, AIMS Environmental Science, 4(2), 2017, pp. 289-309, doi: 10.3934/environsci.2017.2.289.
- Mora-Pérez M., López-Patino G., Guillen-Guillamón I., López-Jiménez P.A.: *CFD model of thermal and velocity conditions in a particular indoor environment*, International Journal of Energy and Environment, Vol. 4, Iss. 6, 2013, pp. 903-910.
- Muchič S., Butala V.: *The influence of indoor environment in office building on their occupants: expected – unexpected*, Building and Environment 39 (2004), pp. 289-296.
- Nagendra S.M., Harika P.: *Indoor air quality assessment in a school building in Chennai City*, India Air Pollution, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol. 136 (2010), pp. 275-286, DOI: 10.2495/AIR100241.
- Nakai S., Nitta H., Maeda K.: *Respiratory health associated with exposure to automobile exhaust. Personal NO₂ exposure levels according to distance from roadside*, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 5(2) (1995), pp. 125-136.
- Nelson D.I., Nelson R.Y., Concha-Barrientos M. and Fingerhut M.: *The global burden of occupational noise-induced hearing loss*, American Journal of Industrial Medicine 48(6) (2005), pp. 446-458.
- Nomura M., Hiyama K.: *A review: Natural ventilation performance of office buildings in Japan*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 74 (2017), pp. 746-754.
- Omranı S., Garcia-Hansen V., Capra B., Drogemuller R.: *Natural ventilation in multi-storey buildings: Design process and review of evaluation tools*, Building and Environment 116 (2017), pp. 182-194.
- Pantelic J., Rysanek A., Miller C., Peng Y., Teitelbaum E., Meggers F., Schlüter A.: *Comparing the indoor environmental quality of a displacement ventilation and passive chilled beam application to conventional air-conditioning in the Tropics*, Building and Environment, Vol. 130, pp. 128-142, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.026>.
- Pitarma R., Marques G., Caetano F.: *Monitoring indoor air quality to improve occupational health*, New Advances in Information Systems and Technologies Vol. 445 (2016), pp. 13-21, https://doi.org/10.1007/978-3-319-31307-8_2.
- Pogorzeliski J.A.: *Zagadnienia cieplno-wilgotnościowe przegród budowlanych*, Budownictwo ogólne, Tom 2, Fizyka Budowli p.r. Klemm P., Arkady 2005.
- Połednik B.: *Zanieczyszczenia a jakość powietrza wewnętrznego w wybranych pomieszczeniach*, Polska Akademia Nauk, Vol. 116, Lublin 2013.
- Pope C.A., Dockery D.W., Schwartz J.: *Review of epidemiological evidence of health effects of particulate air pollution*, Inhal. Toxicol. 7 (1995) 1e18, <http://dx.doi.org/10.3109/08958379509014267>.
- Ramalho O., Wyart G., Mandin C., Blondeau P., Cabanes P.A., Leclerc N., Mullot J.U., Boulanger G., Redaelli M.: *Association of carbon dioxide with indoor air pollutants and exceedance of health guideline values*, Building and Environment, Vol. 93 (2015), pp. 115-124.

Roelofsen P.: *The impact of office environments on employee performance: the design of the workplace as strategy for productivity enhancement*, Journal Facilities Management, Vol. 1, Issue 3 (2002), pp. 247-264, <https://doi.org/10.1108/14725960310807944>.

Rogula-Kozłowska W., Klejnowski K., Rogula-Kopiec P., Ośródka L., Krajny E., Błaszczał B., Mathews B.: *Spatial and seasonal variability of the mass concentration and chemical composition of PM_{2.5} in Poland*, Air Quality, Atmosphere & Health, Vol. 7, Issue 1 (2014), pp. 41-58, <https://doi.org/10.1007/s11869-013-0222-y>.

Rösch C., Kohajda T., Röder S., Bergen M., Schlink U.: *Relationship between sources and patterns of VOCs in indoor air*, Atmospheric Pollution Research 5 (2014), pp. 129-137, DOI: 10.5094/APR.2014.016.

Rumana H.S., Sharma R.C., Beniwal V., Sharma A.K.: *A retrospective approach to assess human health risks associated with growing air pollution in urbanized area of Thar Desert, western Rajasthan, India*, Journal of Environmental Health Science and Engineering 12:23 (2014), <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-23>.

Runeson R., Wahlstedt K., Wieslander G., Norbäck D.: *Personal and psychosocial factors and symptoms compatible with sick building syndrome in the Swedish workforce*, Indoor Air 16 (2006), pp. 445-453.

Sandberg M.: *What is ventilation efficiency?*, Building and Environment 16 (1981), pp. 123-135.

Seppanen O.A., Fisk W.J.: *Effects of temperature and outdoor air supply rate on the performance of call center operators in the tropics*, Indoor Air 7 (2004), pp. 102-118.

Seppanen O.A., Fisk W.J., Mendel M.J.: *Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and industrial buildings*, Indoor Air 9(4) (1999), pp. 226-252.

Sharma V.K.: *Importance of source apportionment modeling in air pollution abatement policy*, Clean Technologies and Environmental Policy, Vol. 12, Issue 1 (2010), pp. 3-4.

Sherman M.: *Infiltration in ASHRAE's Residential Ventilation Standards*, ASHRAE Transactions, Vol. 115, Part 2, No LO-09-085, pp. 887-896, 2009.

Sherman M., Walker I.S.: *Measured air distribution effectiveness for residential mechanical ventilation*, HVAC & R Research, Vol. 15, Issue 2 (2009), pp. 211-229, DOI: 10.1080/10789669.2009.10390834.

Silva G., Martins A., Fernandes E., Guedes J., Vasconcelos M.T.S.D.: *VOCs in indoor air in several schools of Porto*, Proceeding Euroacademy on ventilation and indoor climate 2006, pp. 391-392, DOI: 10.13140/RGT.2.2.23605.3704.

Silva S., Monteiro A., Russo M.A., Valente J., Alves C., Nunes T., Pio C., Miranda A.I.: *Modelling indoor air quality: validation and sensitivity*, Air Quality, Atmosphere and Health, Vol. 10, Issue 5 (2017), pp. 643-652, DOI: 10.1007/s11869-016-2458-4.

Sireesha N.L.: *Corelation amongst Indoor Air Quality, Ventilation and Carbon Dioxide*, Journal of Scientific Research 9(2) (2017), pp. 179-192.

Sowa J.: *Jakość powietrza we wnętrzach jako istoty element płynący na komfort pracy*, Cyrkulacje 37 (2017), s. 32-33.

- Sowa J.: *Jakość powietrza wewnętrz, a komfort życia i efekty ekonomiczne*, Cyrkulacje 35 (2016), s. 30.
- Sowa J.: *Ocena wpływu wybranych procesów heterogenicznych na bilans dwutlenku węgla w pomieszczeniu*, Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce, 2005, s. 197-208.
- Spencer M., Dutton, Banks D. Brunswick S., Fisk W.J.: *Health and economic implications of natural ventilation in California offices*, Building and Environment 67(2013), pp. 34-45.
- Szczurek A., Maciejewska M., Połoczański R., Teuerle M., Wołomańska A.: *Dynamics of carbon dioxide concentration in indoor air*, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, Vol. 29, Issue 8 (2015), pp. 2193-2199.
- Sztarbała E., Sztarbała G.: *Wykorzystanie metod obliczeniowej mechaniki płynów (CFD) do opracowania koncepcji systemu wentylacji pożarowej tunelu drogowego*, Chłodnictwo & Klimatyzacja 5(207), 2016, s. 76-78.
- Takada S., Sasaki A., Kimura R.: *Fundamental study of ventilation in air layer in clothing considering real shape of the human body based on CFD analysis*, Building and Environment, Vol. 99 (2016), pp. 210-220.
- Taus N., Badea M., Taus R., Prediger E.: *Indoor air pollution and acute intoxication with carbon monoxide*, Journal of environmental protection and ecology 9(4) (2008), pp. 773-781.
- Telejko M., Zender-Świercz E.: *An attempt to improve air quality in primary schools*, 10th International Conference: Environmental Engineering, DOI: <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.051>.
- Telejko M., Zender-Świercz E.: *Attempt to improve indoor air quality in kindergartens*, Procedia Engineering 161 (2016), pp. 1704-1709, WMCAUS 2016.
- Toftum J., Zhou G., Melikov A.K.: *Effect of airflow direction on human perception of draught*, Proceedings of CLIMA 200, Aug. 30-Sept., Brussels, sessions 1.
- Topp R., Thefeld W., Wichmann H.E., Heinrich J.: *The effect of environmental tobacco smoke exposure on allergic sensitization and allergic rhinitis in adults*, Indoor Air 15 (2005), pp. 222-227.
- Vilčeková S.: *Indoor Nitrogen Oxides* [in:] *Advanced Air Pollution*, IntechOpen Rijeka 2011, DOI: 10.5772/716819.
- Vimalanathan K., Babu T.R.: *The effect of indoor office environment on the work performance, health and well being of office workers*, Journal of Environmental Health Science and Engineering 12:113 (2014), DOI: 10.1186/s40201-014-0113-7.
- Vizi G.N., Vandebosch G.A.E.: *Building materials and electromagnetic radiation: The role of material and shape*, Journal of Building Engineering, Vol. 5 (2016), pp. 96-103, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2015.11.010>.
- Wang Z., Xie D., Tang R., Sheng X.: *Investigation on Indoor Air Quality at Rural Houses in Winter in Severe Cold Region*, Proceedings of the 8th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (2014), pp. 69-75, DOI: 10.1007/978-3-642-39584-0_8.

- Wargocki P., Wyon D.P.: *Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork*, Building and Environment 112 (2017), pp. 359-366, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.020>.
- Weidong L., Dong L., Naiping G.: *CFD study on gaseous pollutant transmission characteristics under different ventilation strategies in a typical chemical laboratory*, Building and Environment, Vol. 126 (2017), pp. 238-251.
- Wolverton: *How to Grow Fresh Air: 50 House Plants that Purify Your Home Or Office*, New York, NY: Penguin Books 1997.
- Woodburn P.J., Britter R.E.: *CFD simulations of a tunnel fire – Part 1*, Fire safety journal 26 (1996), pp. 35-62.
- Xie T.: *Indoor air pollution and control technology*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 170 (2018) 032084, DOI: 10.1088/1755-1315/170/3/032084 2nd International Symposium on Resource Exploration and Environmental Science.
- Xu Z., Wang L., Hou H.: *Formaldehyde removal by potted plant – soil system*, Journal of Hazardous Materials 192 (2011), pp. 314-318.
- Yang D.S., Pennisi S.V., Son K.-C., Kays S.J.: *Screening Indoor Plants for Volatile Organic Pollutant Removal Efficiency*, Hort Science 44 (5) (2009), pp. 1377-1381.
- Youngs I.J.: *Electromagnetic radiation in buildings*, Conference: IEE Two Day Conference. Getting the Most Out of the Radio Spectrum, DOI: 10.1049/ic:20020258.
- Zabiegała B.: *Organic compounds in indoor environment*, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 15, Issue 3 (2006), pp. 383-393.
- Zabiegała B.: *Związki organiczne, ich źródła emisji i wpływ na jakość powietrza wewnętrz- nego*, Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce, 2007, s. 233-254.
- Zender-Świercz E.: *Improving the indoor air quality using the Individual Air Supply System*, International Journal of Environmental Science and Technology 2018.
- Zender-Świercz E., Piotrowski J.: *Urządzenie do wentylowania pomieszczeń* (2017), Patent nr PL 228624 B1.
- Zender-Świercz E., Telejko M.: *The impact of insulation building on the work of ventilation*, Procedia Engineering 161 (2016), pp. 1731-1737, WMCAUS 2016.
- Zhao B., Li X., Li D., Yang J.: *Revised air exchange efficiency considering occupant distribution in ventilated rooms*, Journal of the Air & Waste Management, Association 53 (2003), pp. 759-763.
- Zhao B., Li X., Wu J., Guan P.: *Evaluating the Ventilation Effect of Different Ventilation Types by Occupant Air Exchange Efficiency*, ASHRAE Transactions, Vol. 111, Part 2, No 4808 (2005), pp. 264-270.
- Zhisheng L., Dongmei L., Sheng M., Guoqiang Z., Jianlong L.: *Noise Impact and Improvement on Indoors Acoustic Comfort for the Building Adjacent to Heavy Traffic Road*, Chinese Journal of Population Resources and Environment, Vol. 5, Issue 1 (2007), pp. 17-25, DOI: 10.1080/10042857.2007.10677482.

Zota A., Adamkiewicz G., Levy J.I., Spengler J.D.: *Ventilation in public housing: implications for indoor nitro gen dioxide concentration*, Indoor Air 15(6) (2005), pp. 393-401, DOI: 10.1111/j.1600-0668.2005.00375.x.

Akty prawne

ASHRAE-ANSI-ASHRAE Standard 62.1-2016 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2014, poz. 817).

Obwieszczenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 7 czerwca 2017 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2017, poz. 1348).

PN-EN 12569:2017-12 Cieplne właściwości użytkowe budynków i materiałów – Określanie właściwej szybkości przepływu powietrza w budynkach – Metoda rozcieńczania gazu znacznikowego.

PN-EN ISO 13788:2013-05 Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondesacja międzywarstwowa – metody obliczania.

PN-EN ISO 7730:2006 Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu termicznego.

PN-EN 15251:2012 Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę

World Health Organization (WHO) 1989 Indoor air quality: organic pollutants. Euro Reports and Studies No. 111.

World Health Organization (WHO) Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. Geneva: World Health Organization; 2010.

World Health Organization (WHO) Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide Global update 2011.

World Health Organization. World Health Statistics 2018 (WHO – WHS): Monitoring health for the SDGS.

ZDECENTRALIZOWANA WENTYLACJA FASADOWA SPOSOBEM NA POPRAWĘ JAKOŚCI POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO

DIAGNOZA • ANALIZA • POPRAWA

Jakość powietrza w obiektach różnego przeznaczenia jest niewystarczająca. Dlatego naukowcy poszukują rozwiązań poprawiającego mikroklimat przy niewielkich nakładach finansowych. Jako sposób na poprawę parametrów powietrza wewnętrz budynków stosowane są między innymi zdecentralizowane, fasadowe urządzenia wentylacyjne. Analiza jednego z tego typu rozwiązań wykazała, iż są systemem pozwalającym na poprawę mikroklimatu wnętrz.

W opracowaniu poddano ocenie wpływ urządzenia, z układem przepustnic otwieranych i zamykanych cyklicznie, na jakość powietrza w pomieszczeniu. Stężenie dwutlenku węgla, zastosowanego jako gaz wskaźnikowy, zostało zredukowane przy zadowalającej godzinowej krotności wymian. Pozytywny wpływ urządzenia na rozcieńczenie zanieczyszczenia powietrza potwierdziła analiza statystyczna, która dowiodła, iż koncentracja CO₂ uległa istotnej redukcji podczas jego funkcjonowania.

W zastosowanym rozwiążaniu nie zamontowano nagrzewnicy powietrza ani wymiennika do odzysku ciepła, a mimo to analiza zależności temperatury powietrza wewnętrznego od temperatury powietrza zewnętrznego nie wykazała obniżenia wartości parametru. Oznacza to, iż urządzenie nie powoduje wychładzania pomieszczeń. Jedyną wątpliwość może budzić prędkość powietrza nawiewanego. Przy krótkim cyklu nawiewu/wywiewu (2-4 minuty), czas, w którym powietrze przepływało z prędkością 3 m/s, był krótki. Stąd nie wywoływał uczucia przeciągu. Przy dłuższym cyklu 10 minut czas ten był dłuższy, co mogło powodować odczucie ruchu powietrza jako nieprzyjemnego, biorąc pod uwagę temperaturę powietrza nawiewanego. Mając na uwadze automatyczne sterowanie układem, możliwe jest krótkotrwałe zwiększenie długości cyklu w przypadku wystąpienia dużej emisji zanieczyszczeń. Jednocześnie należy zaznaczyć, iż nawet przy krótkim cyklu krotność wymian powietrza wynosiła 2,4 h⁻¹, co jest wielkością wystarczającą z punktu widzenia pomieszczeń biurowych czy mieszkalnych.

Sposób rozprływu powietrza w pomieszczeniu w cyklu nawiew/wywiew został zaprezentowany w postaci symulacji CFD. Jest to metoda, którą można z powodzeniem stosować do projektowania instalacji i prognozowania przepływu powietrza w pomieszczeniach. Jej zastosowanie pozwala na ograniczenie kosztów prowadzenia eksperymentów.

Na uwagę zasługuje fakt możliwości zastosowania odzysku ciepła w zdecentralizowanych, fasadowych urządzeniach wentylacyjnych, co będzie przedmiotem dalszych analiz. W tym przypadku również możliwe jest przeprowadzenie symulacji pozwalających na prognozowanie ilości ciepła, którą można przenieść z powietrza wywieranego do strumienia nawiewanego.

Wobec współczesnych trendów uszczelniania obiektów istniejących i często braku możliwości zastosowania w nich wentylacji mechanicznej zdecentralizowane systemy wentylacji fasadowej są rozwiązaniem, które poprawia warunki mikroklimatyczne pomieszczeń przy niewielkich nakładach finansowych. Dodatkowo wprowadzając do układu wymiennik do odzysku ciepła, rozwiązanie pozwoli na zrównoważoną gospodarkę energetyczną obiektów budowlanych. Natomiast synergia modyfikacji układu wentylacji oraz ocieplenia przegród budowlanych zakończy sukcesem proces termomodernizacyjny obiektów.

DECENTRALIZED FAÇADE VENTILATION AS A WAY TO IMPROVE THE INDOOR AIR QUALITY

DIAGNOSIS • ANALYSIS • IMPROVES

The air quality in the facilities of various uses is insufficient. Therefore, scientists are looking for a solution that improves microclimate with low financial outlay. As a way to improve the parameters of the air inside buildings, the decentralized, façade ventilation devices are used, among others. The analysis of one of these types of solutions has shown that they are a system that allows the improvement of the interior microclimate.

The study assessed the impact of the device, equipped with the system of open and closed dampers, on the air quality in the room. The concentration of carbon dioxide, which used as indicator gas, was reduced with a satisfactory hourly exchange rate. The positive effect of the device on the dilution of air pollution was confirmed by statistical analysis, which proved that the concentration of CO₂ significantly reduced during operation of the device.

In the applied solution, no air heater or heat recovery exchanger was installed, and yet the analysis of the dependence of the internal air temperature on the outside air temperature did not show a decrease in temperature value. This means that the device does not cool the rooms. The only doubt can be caused by the speed of the supply air. With a short supply/exhaust cycle (2-4 minute), the time when the air was flowing at 3 m/s was short. Hence, it did not cause a feeling of drafts. With a longer cycle of 10 minutes, this time was longer, which could cause unpleasant feel of the air movement especially considering the supply air temperature. Taking into account the possibility of automatic control of the system, it is possible to change the length of the cycle in the event of a high emission of pollutants. At the same time, it should be noted that even with a short cycle, the air exchange rate was 2.4 h⁻¹, which is a sufficient value for offices or residential premises.

The way of the air distribution in the room in the supply/exhaust cycle was presented in the form of CFD simulation. It is a method that can be successfully applied to the design of the installations and the forecasting of air flow in rooms. Its use allows you to reduce the costs of conducting experiments.

Noteworthy is the possibility of using heat recovery in decentralized façade ventilation devices, what will be the subject of further analysis. In this case, it is

also possible to carry out simulations allowing for forecasting the amount of heat that can be transferred from the exhaust air to the supply stream.

In view of the current trends in sealing existing facilities and the often inability to use mechanical ventilation in them, the decentralized facade ventilation systems are a solution that improves the microclimatic conditions of rooms, with low financial outlays. In addition, by introducing the heat recovery exchanger to the system, the solution will allow for a sustainable energy management of buildings. In turn, the synergy of modification of the ventilation system and the insulation of building partitions will result in the successful completion of the thermo-modernization process of the buildings.