

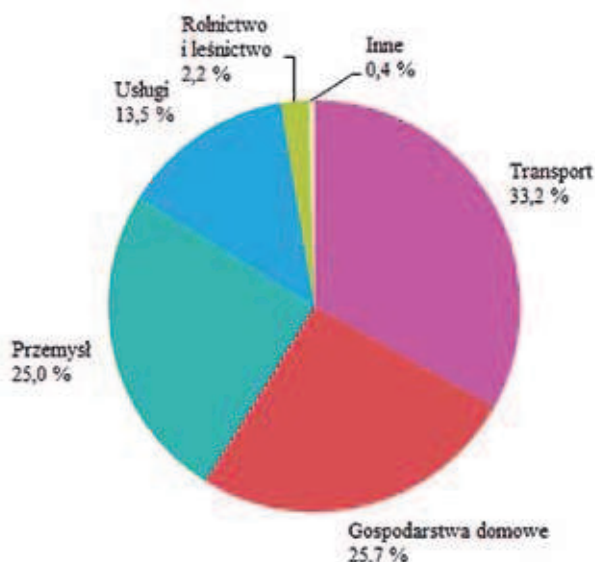
Przegląd elewacji z zastosowaniem przestrzeni wentylacyjnej w zakresie efektywności termicznej

Dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz, prof. PWr, mgr inż. Łukasz Zawiślak,
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska

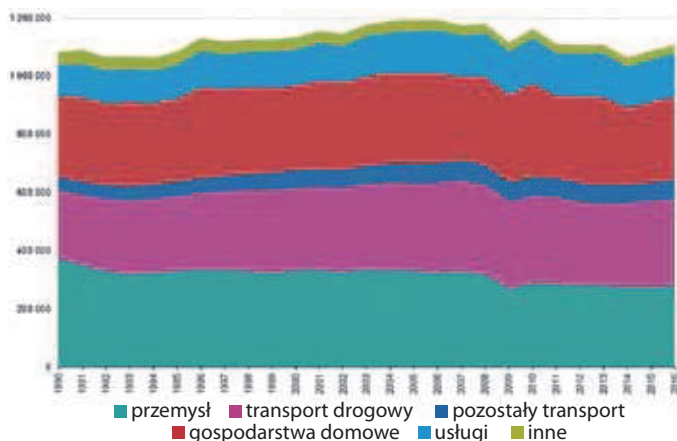
1. Wprowadzenie

W związku z coraz bardziej postępującymi zmianami w środowisku naturalnym większość organizacji światowych stara się ograniczyć zużycie energii. Na podstawie danych z Eurostatu z 2016 r. [49] w przypadku Europy sektor budownictwa to 24,8%, a sektor usług to 13,5% konsumpcji całkowitej energii w Unii Europejskiej. Łącznie daje to

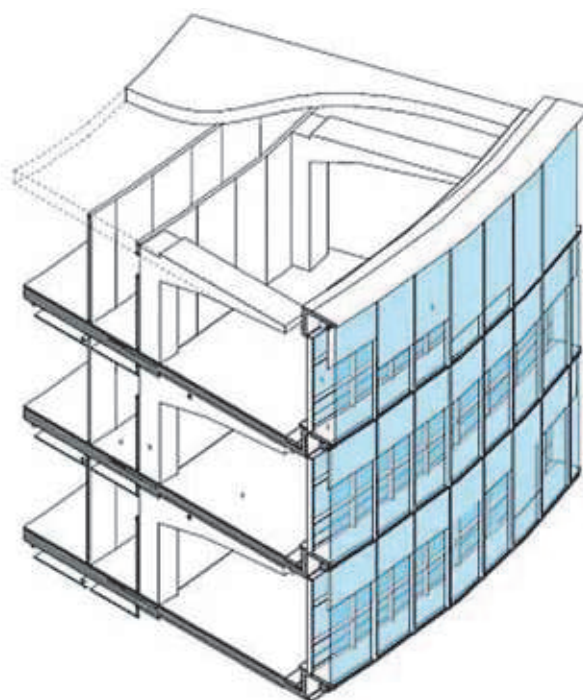
38,3% konsumpcji energii całkowitej w UE na sektor związany z użytkowaniem budynków, co pokazano na rysunku 1 [49]. Na potrzeby oceny budownictwa zrównoważonego powstały różne systemy oceny wielokryterialnej budynków, m.in. BREAAAM i LEED. Certyfikacja ww. organizacji dotyczy etapu projektowania, realizacji i użytkowania obiektów budowlanych. Całkowitą konsumpcję energii pokazano, na osi czasu, na rysunku 2 [49]. Na rysunku tym można zauważyć,



Rys. 1. Końcowe zużycie energii według sektorów – w %, [49]



Rys. 2. Końcowe zużycie energii według sektorów – wykres osi czasu [49]



Rys. 3. Schemat elewacji podwójnej (DSF) [13]

że pomimo ciągłego rozwoju krajów w UE poziom konsumpcji na sektor budownictwa waha się w obrębie kilku punktów procentowych. Jest to zasługą m.in. większej popularności budownictwa zrównoważonego propagowanego przez inwestorów i klientów.

Bardzo ważnym elementem budownictwa zrównoważonego są elewacje budynków. Są to elementy, które mają największą powierzchnię „stykającą” się ze środowiskiem naturalnym i muszą zabezpieczyć budynek przed niskimi i wysokimi temperaturami, nasłonecznieniem, opadami oraz wiatrem. Bardzo korzystną formą elewacji zapewniającą

ochronę przed oddziaływaniami ze strony środowiska naturalnego są elewacje używające kanałów wentylacyjnych/pustek powietrznych pomiędzy zewnętrzną i wewnętrzną częścią przegrody pionowej.

2. Rozwiązania konstrukcyjne elewacji z zastosowaniem przestrzeni wentylacyjnej

Obecnie stosuje się różne rozwiązania konstrukcyjne elewacji z zastosowaniem przestrzeni wentylacyjnej. Głównym kryterium zastosowanego rozwiązania technicznego jest uzyskanie odpowiedniego końcowego efektu wizualnego i materiału, z jakiego ma być wykonana elewacja. Wyróżniamy dwa główne rozwiązania konstrukcyjne:

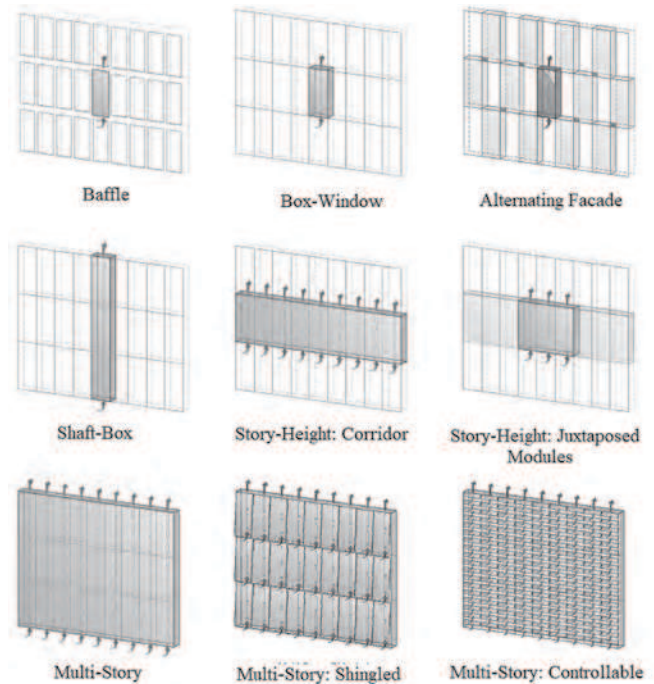
- elewacje podwójne (z ang. *Double-skin facade* – DSF),
- elewacje wentylowane (z ang. *Opaque ventilated facades* – OVF).

Wraz ze wzrostem wymagań klientów i inwestorów dotyczących komfortu użytkownika powierzchni, jak i rozwoju budownictwa zrównoważonego rozpoczęto stosowanie elewacji z komorą wentylacyjną w rejonach ciepłych z dużym nasłonecznieniem. Dotyczy to w szczególności Europy Południowej, Bliskiego Wschodu, Azji Południowej itp. W klimacie umiarkowanym te elewacje w ostatnich latach również zyskują na popularności.

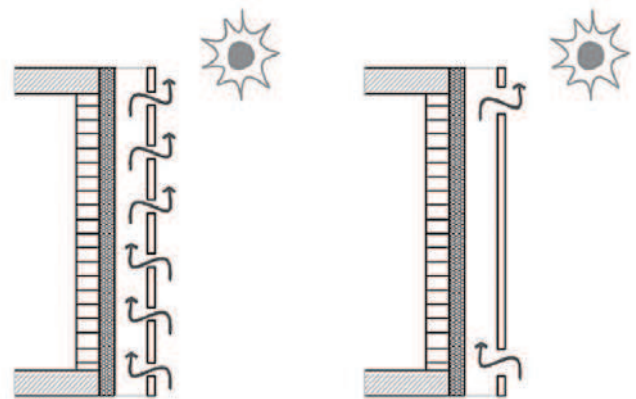
2.1. Rozwiązania konstrukcyjne elewacji podwójnych (DSF)

Wykonane są zazwyczaj w całości ze szkła i mają dwie powierzchnie: zewnętrzną i wewnętrzną, a pomiędzy nimi pozostawiona jest przestrzeń, która umożliwia ruch powietrza. Przepływ powietrza w komorze pomiędzy zewnętrzną i wewnętrzną częścią elewacji działa na zasadzie ciągu kominowego. Dodatkowo pomiędzy warstwami szyb na wysokości stropów są pomosty robocze – zazwyczaj przezierne, wykonane z krat, zapewniające możliwość konserwacji i mycia elewacji. Powietrze znajdujące się między dwoma płaszczyznami fasad, działa jak bufor termiczny, pełni funkcję izolatora, zapewniając stałą i kontrolowaną wentylację. Komora wentylacyjna w okresie letnim wpływa na mniejsze zużycia energii na potrzeby klimatyzacji. Dodatkowo duża przezierność elewacji dostarcza znaczną ilość energii dzięki nasłonecznieniu w okresie niskich temperatur. Duża powierzchnia szyb umożliwia wykorzystanie światła dziennego. Dodatkowo dzięki zastosowaniu dwóch powierzchni oddzielających część wewnętrzną budynku od zewnętrznej zyskuje się dużą izolacyjność akustyczną. Schemat rozwiązania elewacji podwójnej pokazano na rysunku 3.

Segmenty elewacji podwójnej, w których odbywa się ruch powietrza, mogą być ze względów technologicznych i środowiskowych wykonane w różnych podziałach. Różne rodzaje rozwiązań zaproponowane w [42] pokazano na rysunku 4. Podział „powłoki zewnętrznej” elewacji dzieli się od globalnego działania komory wentylacyjnej, tzw. wielopiętrowej



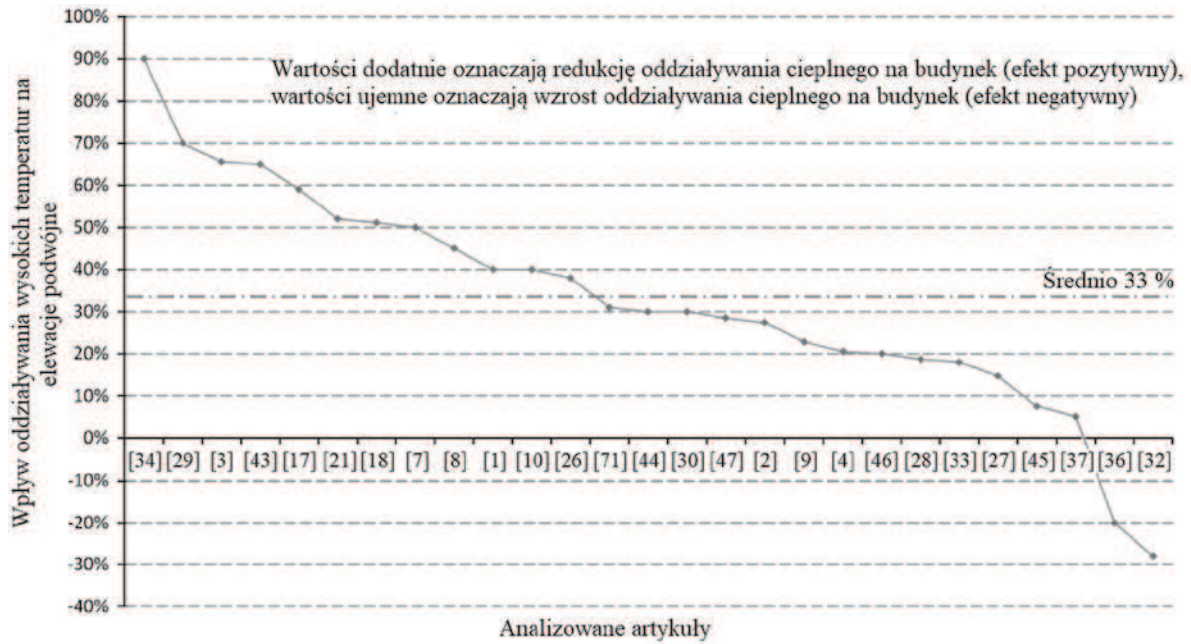
Rys. 4. Koncepcyjny podział elewacji podwójnych ze względu na dostarczanie i odprowadzanie powietrza zaproponowany przez Vaglio, J. C. [42]



Rys. 5. Typy zewnętrznych paneli: a) z otwartymi złączami, b) z zamkniętymi złączami [24]

(z ang. *multi-story*), poprzez komory wentylacyjne oddzielone na poziomie jednego piętra (*story-height: corridor*), bądź jednej kolumny (*shaft-box*), aż do lokalnych odpowiadających szerokości jednego przęsła i wysokości jednej kondygnacji (*box-window*).

Poza podziałem, ze względu na powierzchnie komory wentylacyjnej, fasady DSF dzielimy na pasywne i aktywne. Pasywne elewacje podwójne opierają się jedynie na wentylacji grawitacyjnej, a aktywne wyposażone są w wentylację mechaniczną bądź urządzenia odpowiadające za ogrzewanie, schładzanie powietrza w komorze wentylacyjnej. Systemy aktywne mogą obsługiwać również otwieranie i przewietrzanie elewacji w nocy, gdy temperatura jest niższa niż za dnia [25].



Rys. 6. Wartości zmiany energii odpowiadającej ogrzewaniu w elewacjach DSF [35]

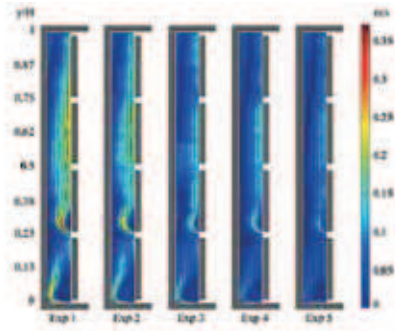


Rys. 7. Wartości zmiany energii odpowiadającej chłodzeniu w elewacjach DSF [35]

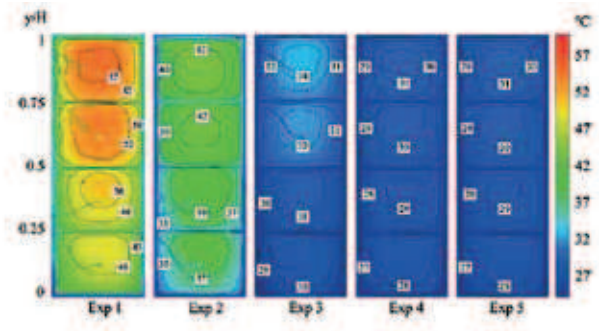
2.2. Rozwiązania konstrukcyjne elewacji wentylowanych (OVF)

Elewacje wentylowane (OVF), w odróżnieniu do elewacji typu DSF, pozwalają na kształtowanie zewnętrznych paneli z różnych materiałów i kolorów. Elewacje te charakteryzują się warstwą zewnętrzną przymocowaną za pomocą łączników do części nośnej ściany – pomiędzy warstwą zewnętrzną i warstwą nośną jest pustka powietrzna. Szerokość kanału wentylacyjnego w elewacjach wentylowanych zazwyczaj mieści się w przedziale od 40 do 100 mm [24], a w przypadku

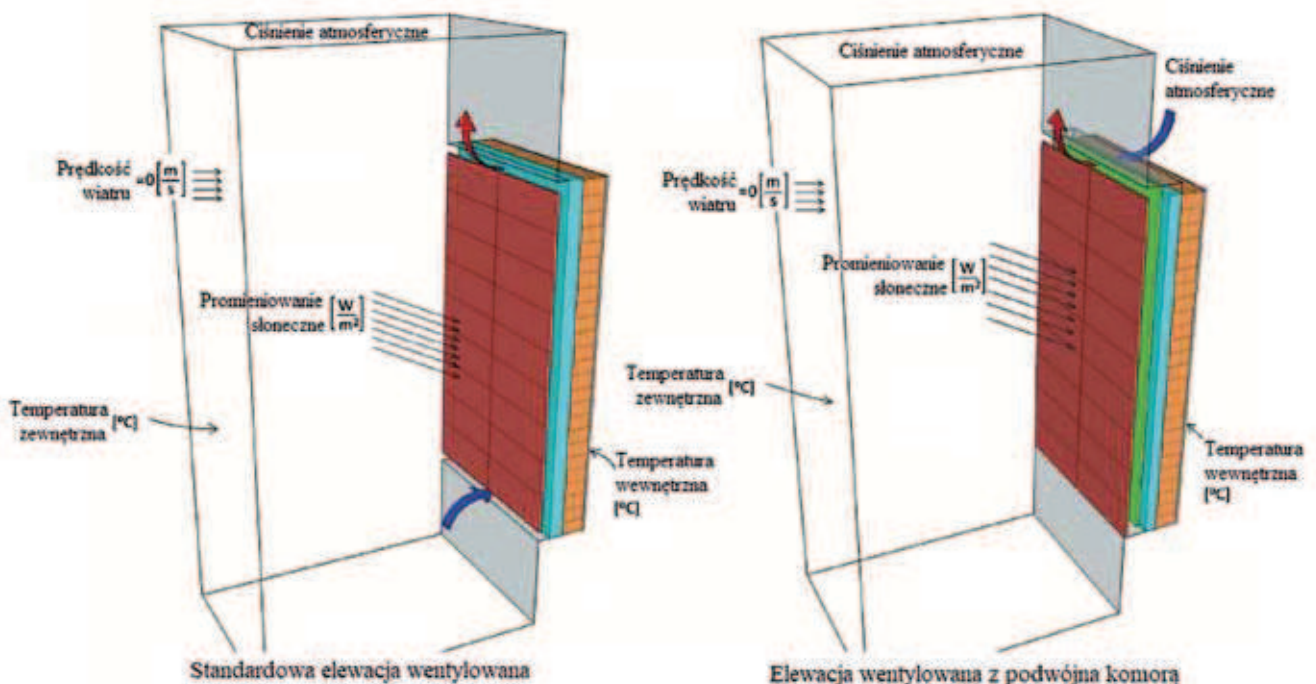
fasad DSF wynosi od kilkadziesiąt centymetrów do nawet kilku metrów. Ze względów technologicznych wyróżnia się dwa typy elewacji wentylowanych: z otwartymi i zamkniętymi złączami, tak jak to pokazano na rysunku 5 [24]. Korzyści stosowania elewacji wentylowanych są podobne jak w przypadku fasad typu DSF. Elewacje podwójne stosuje się jedynie w nowo powstających budynkach, natomiast elewacje wentylowane można stosować również w budynkach remontowanych i podlegających renowacji.



Rys. 8. Mapy wektorowe prędkości przepływu powietrza w pustce powietrznej [38]



Rys. 9. Temperatura na powierzchni ogrzewanych paneli [38]



Rys. 10. Schemat warunków brzegowych zaimplementowanych w modelu do symulacji [39]

3. Termodynamika elewacji z zastosowaniem przestrzeni wentylacyjnej

3.1. Elewacje podwójne (DSF)

Początki stosowania elewacji podwójnych to lata 70. i 80. XX wieku [6]. Z kolei szereg dokładniejszych badań i analiz tych elewacji w zakresie termodynamiki przeprowadzono na początku XXI wieku, w większości dotyczą one terenów o wyższych temperaturach i nasłonecznieniu, tj. Bliski Wschód i południowe Chiny. Tereny te mocno rozwijają się pod względem urbanistycznym. Należy podkreślić, że elewacje typu DSF dotyczą w większości budynków wysokościowych [14].

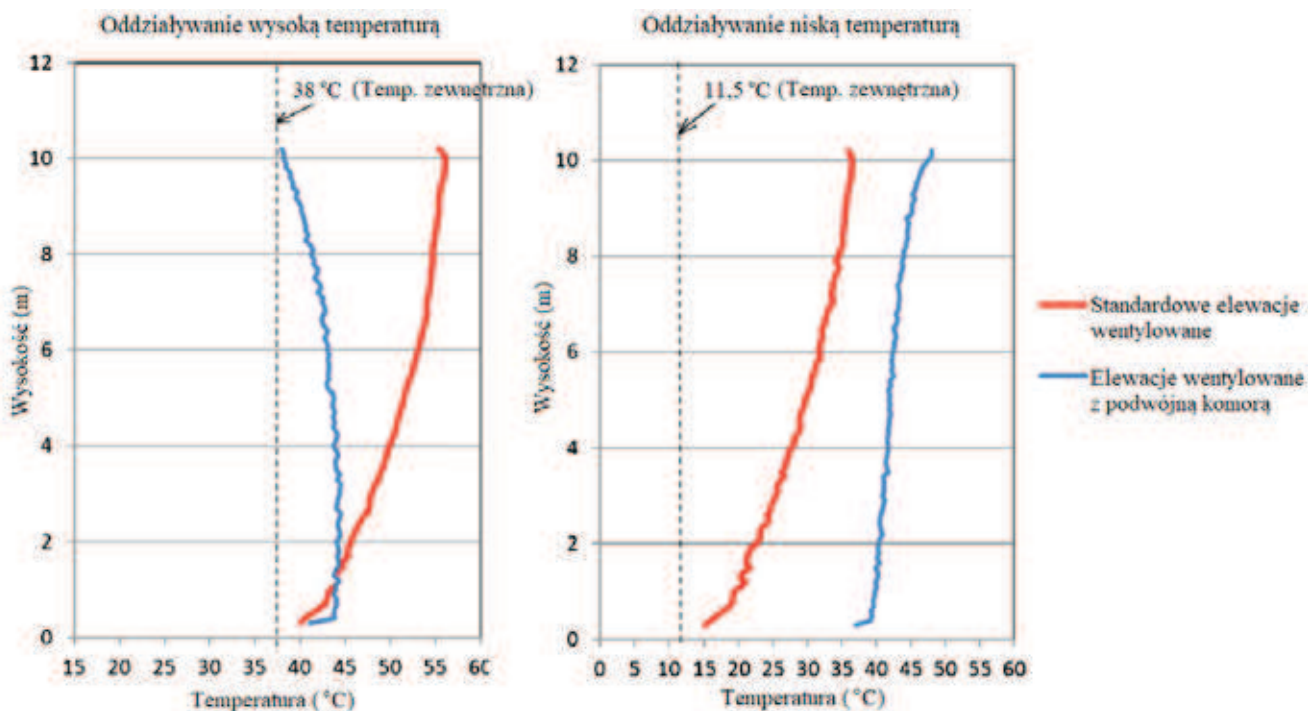
W artykule [35] przedstawiono zestawienia ukazujące dotychczasowe badania w zakresie efektywności energetycznej budynków z fasadami podwójnymi. Zestawienie procentowego zużycia energii w stosunku do elewacji o standardowych rozwiązaniach konstrukcyjnych przedstawiono na rysunku 6.

Średnia oszczędność energii w okresie letnim przy stosowaniu elewacji podwójnych w porównaniu do typowego rozwiązania wynosi 33%. Należy odnotować również fakt, że tylko 7,5% elewacji podwójnych, według [35], odnotowało większe zużycie energii w okresie wysokich temperatur w stosunku do elewacji o typowym rozwiązaniu.

Pomponi, F., Piroozfar, P. A. E., Southall, R., Ashton, P., Farr, E. R. P. [35] zebrali również dane odnośnie zużycia energii w okresie niskich temperatur na potrzeby ogrzewania, co przedstawiono na rysunku 7. Zużycie energii na potrzeby ogrzewania budynków z elewacjami DSF jest mniejsze o 28% w stosunku do tzw. elewacji szklanych konwencjonalnych.

3.2. Elewacje wentylowane (OVF)

Elewacje wentylowane są dobrze rozpoznane w zakresie korzyści w oszczędności energii w środowisku ciepłym z dużym nasłonecznieniem. Niestety bardzo mało jest wiedzy



Rys. 11. Temperatura na zewnętrznej powierzchni izolacji ($T_{\text{wewnętrzna}} = 22^{\circ}\text{C}$) [39]

w zakresie ich pracy w temperaturach ujemnych. Elewacje wentylowane z otwartymi złączami analizowano m.in. w pracach [38, 41]. W artykule [41] przeanalizowano „zachowanie” się tych elewacji na terenie Hiszpanii. Zastosowanie elewacji wentylowanej z otwartymi złączami daje szczególnie zysk od strony nasłonecznionej. Oszczędności w zużyciu energii do chłodzenia i ogrzania w skali roku to około 9% w porównaniu do standardowej elewacji. Elewacja wentylowana ze złączami otwartymi potrzebuje więcej energii do ogrzania budynku w okresie zimy, niż elewacja bez pustki wentylacyjnej, nawet od strony nasłonecznionej. Stosowanie elewacji wentylowanych od strony północnej, nawet w regionach ciepłych, ze względu na wzrost zużycia energii o około 4% jest niekorzystne [41].

W [38] przyjęto 5 badanych modeli elewacji wentylowanych z otwartymi złączami, stosując różny ich stopień nasłonecznienia. Zaobserwowano zależność, że im wyższy stopień nasłonecznienia, tym większa prędkość przepływu powietrza w komorze wentylacyjnej, co pokazano na rysunku 8. Znotowano również wzrost temperatury paneli wraz z ich wysokością, pomimo iż wszystkie panele były poddane takiemu samemu nasłonecznieniu (rys. 9).

Zauważono także zależność, że im większa prędkość przepływu powietrza w komorze powietrznej, tym większa wydajność termiczna takiej przestrzeni powietrznej [38]. Stwierdzony problem z efektywnością energetyczną stosowania elewacji wentylowanych w okresie zimowym spowodował, że badacze poszukują rozwiązań w celu zwiększenia korzyści stosowania tych elewacji. Cruz Astorqui K. S., Porrás-Amores C. [39] przedstawili koncepcję rozwiązania bazującego na podwójnej komorze, co pokazano na rysunku 10.

Jak pokazuje analiza CFD [39], porównując autorskie rozwiązanie podwójnej komory do standardowych rozwiązań elewacji wentylowanych, zauważalne są duże korzyści w izolacyjności termicznej. Jak pokazano na rysunku 11, różnica temperatury na powierzchni zewnętrznej izolacji wynosi nawet do kilkunastu stopni, a efektywność tego rodzaju rozwiązania rośnie wraz z większą wysokością komory wentylacyjnej.

4. Podsumowanie

Elewacje z zastosowaniem przestrzeni wentylacyjnej wraz z rozwojem technologii zaczynają dawać korzyści energetyczne również w klimacie umiarkowanym. Elewacje podwójne DSF bardzo dobrze sprawdzają się w budynkach usytuowanych na terenach, na których występują zarówno wysokie, jak i niskie temperatury. W przypadku niskich temperatur dotyczy to przede wszystkim elewacji podwójnych aktywnych. Redukują one zużycie energii na etapie użytkowania obiektu. Istotne wprawdzie jest, że koszty takich elewacji obecnie są znaczne i jak opisano to w [35] okres zwrotu takiej elewacji to około 35 lat.

W przypadku elewacji wentylowanych stosowanie ich w klimacie umiarkowanym tylko ze względu na oszczędności energii jest niekorzystne. W ciągu całego roku zużycie energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia będzie większe niż w przypadku zastosowania elewacji bez pustki powietrznej. Kierunek badań w zakresie stosowania elewacji wentylowanych w klimacie umiarkowanym powinien dotyczyć rozwiązań, które pozwoliłyby zwiększyć ich efektywność energetyczną również w okresie zimowym.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Andjelkovic A. S., Cvjetkovic T. B., Djakovic D. D., Stojanovic I. H., Development of simple calculation model for Energy performance of double skin facades, *Therm Sci* 16/2012
- [2] Arons D., Properties and applications of double-skin building facades, USA: Massachusetts Institute of Technology(MIT), 2000
- [3] Baldinelli G., Double skin facades for warm climate regions: analysis of a solution with an integrated movable shading system, *Build Environ* 44/2009
- [4] Ballestini G., De Carli M., Masiero N., Tombola G., Possibilities and limitations of natural ventilation in restored industrial archaeology buildings with a double-skin facade in Mediterranean climates, *Build Environ* 40/2005
- [5] Balocco C., A simple model to study ventilated facades Energy performance, *Energy Build*, 34/2002, str. 75–469
- [6] Barnaś J., Double-skin façades – the shaping of modern elevations – technology and materiale, *Architecture 7-A/2014*
- [7] Blumenberg J., Spinnler M., Sattelmayer T., Double-skin façade systems – a comprehensive review on thermal and energetic behavior. In: Proceedings of the international conference on recent advances in heat transfer. Karunya Institute of Technology and Sciences, Coimbatore, India, 2006
- [8] Cakmanus I., Optimization of double skin facades for buildings: an office building example In Ankara-Turkey. In: Proceedings of Clima 2007 Well-Being Indoors, Helsinki, June 10–14, 2007
- [9] Cetiner I., Ozkan E., An approach for the evaluation of Energy and cost efficiency of glass facades, *Energy Build*, 37/2005
- [10] Choi W., Joe J., Kwak Y., Huh J. H., Operation and control strategies for multi-storey double skin facades during the heating season, *Energy Build* 49/2012
- [11] Chou S. K., Chua K. J., Ho J. C., A study on the effects of double skin facades on the energy management in buildings, *Energy Convers Manag* 50/2009
- [12] Cruz Astorqui J. S., Porras-Amores C., Ventilated Façades with double chamber and flow control device, *Energy and Buildings* 149/2017, str. 471–482
- [13] D'Alençon, R., Double Skin Façades, Technology and Innovation in Architecture Learning from 20 years of experience in Germany, Conference: EES 2015 – Multidisciplinary Symposium on Energy, Efficiency and Sustainability
- [14] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2017, poz. 2285)
- [15] Eicker U., Fux V. U., Bauer U., Mei L., Infield D., Façades and summer performance of buildings, *Energy Build* 40/2008, str. 11–600
- [16] Faggembauu D., Costa M., Soria M., Oliva A., Numerical analysis of the thermal behaviour of glazed ventilated facades in Mediterranean climates. Part II: applications and analysis of results. *SolEnergy*, 75/2003, str. 39–229
- [17] Fallahi A., Haghghat F., Elsadi H., Energy performance assessment of double-skin facade with thermal mass, *Energy Build* 42/2010
- [18] Ghadamian H., Ghadimi M., Shakouri M., Moghadasi M., Moghadasi M., Analytical solution for Energy modeling of double skin façades building, *Energy Build* 50/2012, str. 651–58
- [19] Gratia E., De Herde A., Are Energy consumptions decreased with the addition of a double-skin? *Energy Build* 39/2007
- [20] Gratia E., De Herde A., Natural cooling strategies efficiency in a noffice building with adouble-skin facade, *Energy Build* 36/2004
- [21] Gratia E., De Herde A., Optimal operation of a south double-skin facade, *Energy Build* 36/2004
- [22] Gratia E., De Herde A., Themost efficient position of shading devices in adouble-skin facade, *Energy Build* 39/2007
- [23] Hensen J., Bartak M., Drkal F., Modeling and simulation of double-skin facade system. *ASHRAE Trans* 108/2002, str. 9–1251
- [24] Ibañez-Puy M., Vidaurre-Arbizu M., Sacristán-Fernández J. A., Martín-Gómez C., Opaque Ventilated Façades: Thermal and energy performance review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79/2017, str. 180–191
- [25] Kilaire A., Stacey M., Design of a prefabricated passive and active double skin façade system for UK Office, *Journal of Building Engineering* 123/2017, str. 161–170
- [26] Kim G., Schaefer L. A., Kim J. T., Development of a double-skin facade for sustainable renovation of old residential buildings, *Indoor Built Environ* 22/2013, str. 90–180
- [27] Kim Y. M., Kim S. Y., Shin S. W., Sohn J. Y., Contribution of natural ventilation in a double skin envelope to heating load reduction in Winter, *Build Environ* 44/2009, str. 44–2236
- [28] Kim Y. M., Lee J. H., Kim S. M., Kim S., Effects of double skin envelopes on natural ventilation and heating loads in office buildings, *Energy Build* 43/2011
- [29] Kolokotroni M., Robinson-Gayle S., Tanno S., Cripps A., Environmental impact analysis for typical office facades, *Build Res Inf* 32/2004, str. 2–16
- [30] Kragh M., Monitoring of advanced facades and environmental systems. The whole-life performance of facades, University of Bath, CWCT, 18/19 April 2001
- [31] Kragh M., Facade engineering and building physics. Examples of current best practice and recent innovations. *Integrated Facade Symposium*, San Francisco, 21 April 2010
- [32] Papadaki N., Papantoniou S., Kolokotsa D., A parametric study of the Energy performance of double-skin façades in climatic conditions of Crete, Greece. *Int J Low-Carbon Technologies* 2013
- [33] Pasquay T., Natural ventilation in high-rise buildings with double facades, saving or waste of energy *Energy Build* 36/2004, str. 9–381
- [34] Perez-Grande I., Meseguer J., Alonso G., Influence of glass properties on the performance of double-glazed facades, *Appl Therm Eng* 25/2005
- [35] Pomponi F., Piroozfar P. A. E., Southall R., Ashton P., Farr, E. R. P., Energy performance of Double-Skin Façades in temperate climates: A systematic review and meta-analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016
- [36] Saelens D., Carmeliet J., Hens H., Energy performance assessment of multiple-skin facades, *HVACR Res* 9/2003, str. 85–167
- [37] Saelens D., Roels S., Hens H., Strategies to improve the Energy performance of multiple-skin facades. *Build Environ* 43/2008
- [38] Sanchez M. N., Sanjuan C., Suarez M. J., Heras M.R., Experimental assessment of the performance of open joint ventilated facades with buoyancy-driven airflow. *Solar Energy*, 91/2013, str. 131–144
- [39] Stec W. J., van Paassen A. H. C., Maziarz A., Modelling the double skin facade with plants. *Energy Build* 37/2005
- [40] Stec W. J., van Paassen A. H. C., Symbiosis of the double skin facade with the HVAC system. *Energy Build* 37/2005
- [41] Suárez M. J., Sanjuan C., Gutiérrez A. J., Pistono J., Blanco E., Energy evaluation of an horizontal open joint ventilated façade, *Applied Thermal Engineering* 37/2012, str. 302-313
- [42] Vaglio J. C., Aerophysics of double-skin facades simulation-based determination of pressure coefficients for multi-story double-skin facades, 2015
- [43] Wigginton M., McCarthy B., The environmental second skin – research carried out for the UK Department of the Environment Transport and the Regions, 2000
- [44] Xu L., Ojima T., Field experiments on natural Energy utilization in a residential house with a double skin facade system, *Build Environ* 42/2007
- [45] Zerefos S.C., On the performance of double skin facades in different environmental conditions, *Int J Sustain Energy* 26/2007, str. 9–221
- [46] Høseggen R., Wachenfeldt B. J., Hanssen S. O., Building simulation as an assisting tool in decision making – case study: with or without a double-skin facade? *Energy Build* 40/2008
- [47] Yılmaz Z., Çetintaş F., Double skin façade's effects on heat losses of office buildings in Istanbul, *Energy Build* 37/2005, str. 7–691
- [48] Tanaka H., Okumiya M., Tanaka H., Yoon G. Y., Watanabe K., Thermal characteristics of a double-glazed external wall system with roll screen in cooling season, *Build Environ* 44/2009
- [49] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption