

Metoda oceny efektywności energetycznej systemów wentylacji budynków mieszkalnych

Maciej MIJAKOWSKI, Jerzy SOWA, Piotr NAROWSKI^{*}, Aleksander D. PANEK^{**})

Istnieje wiele metod oceny efektywności energetycznej budynków w tym także systemów wentylacji, które się w nich znajdują. Od prostych metod bazujących na bilansach miesięcznych (np. na potrzeby sporządzania audytów energetycznych) do złożonych metod symulacyjnych (np. zaimplementowanych w programie TRYNSYS). Brakuje jednak stosunkowo prostej metody uwzględniającej, obok zużycia energii, również jakość środowiska jaka jest zapewniana przez oceniany system. Jest to tym bardziej niezrozumiałe, że przyjęty poziom komfortu w budynku w oczywisty sposób jest skorelowany z zużyciem energii.

Przykładowo, wraz ze wzrostem intensywności wentylacji poprawia się jakość powietrza lecz jednocześnie rośnie zużycie energii. Należy przy tym pamiętać, że nawet w budynkach o umiarkowanym poziomie jakości powietrza zużycie energii na cele wentylacji i klimatyzacji, odgrywa bardzo dużą rolę. Naturalne wydaje się zatem poszukiwanie oszczędności energii dotyczące tych systemów. Istnieje wiele możliwości ograniczenia zużycia energii w systemach wentylacji jednak decydując się na konkretny zestaw przedsięwzięć modernizacyjnych, nie tylko ogranicza się zużycie energii, ale także zmienia się jakość powietrza, poziom komfortu cieplnego, elastyczność systemu itd.. Oznacza to zatem, że w przypadku wentylacji i klimatyzacji rozpatrywanie inwestycji energooszczędnych w relacji nakłady inwestycyjne – zyski eksploatacyjne na skutek ograniczenia zużycia energii jest bardzo dużym uproszczeniem i niekoniecznie system zużywający mniejszą ilość energii powinien być polecony do zastosowania.

Podobne zjawisko wystąpiło w początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku, gdy wiele kampanii informacyjnych mających na celu racjonalizację zużycia energii propagowało radykalne doszczelnienie budynków, co w budynkach z wentylacją grawitacyjną, doprowadziło do ograniczenia wentylacji, a co za tym idzie, wzrostu wilgotności i w konsekwencji do zagrożenia mikologicznego.

Pewnym rozwiązaniem tego problemu miała być norma PN-EN 15251:2007 (Kryteria środowiska wewnętrznego, obejmujące warunki cieplne, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i hałas [5]), w której zdefiniowano klasy jakości środowiska wewnętrznego (tabela 1), co miało między innymi zapobiec nadmiernemu ograniczaniu intensywności wentylacji.

Tabela 1. Opis kategorii jakości środowiska wewnętrznego wg PN-EN 15251:2007 [5]

Kategoria	Charakterystyka
I	Warunki na wysokim poziomie Kategoria zalecana dla przestrzeni, w których przebywać będą osoby bardzo wrażliwe na warunki środowiska i mało odporne na wystąpienie dyskomfortu (osoby niepełnosprawne, chorzy, niemowlęta, ludzie w podeszłym wieku, itp.).
II	Poziom normalny Kategoria zalecana dla budynków nowo wznoszonych lub remontowanych.
III	Warunki na średnim, ale jeszcze akceptowanym poziomie oczekiwań Kategoria może być przyjmowana dla istniejących budynków.
IV	Warunki nie spełniają kryteriów kategorii od I do III, takie odstępstwo może być akceptowane jedynie wówczas gdy będzie występować w ciągu roku w ograniczonych okresach czasu.

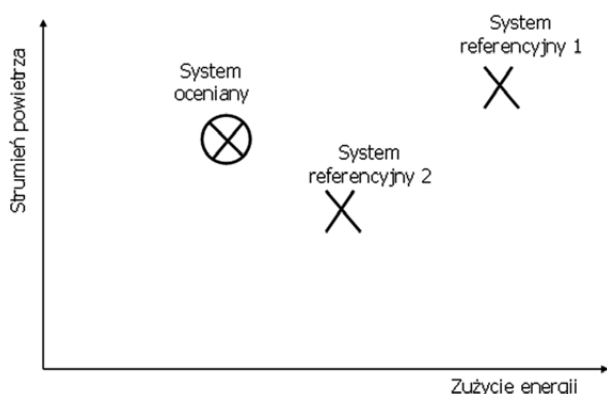
Biorąc pod uwagę, z jednej strony, istniejące metody szacowania zużycia energii, a z drugiej, konieczność uwzględnienia pewnych kryteriów jakościowych, w artykule podjęto próbę zdefiniowania stosunkowo prostej metody, która umożliwia porównanie systemów wentylacji w budynku mieszkalnym z uwzględnieniem kryteriów jakości środowiska wewnętrznego jakie zapewnia oceniany system.

Założenia metody

Ocena efektywności energetycznej powinna polegać na porównaniu rocznego zużycia energii (ogrzewanie i napędy związane z wentylacją) oraz strumienia powietrza (minimum, maksimum i średnia – dla temperatury zewnętrznej poniżej 12°C) w budynku mieszkalnym posiadającym oceniany system wentylacji ze zużyciem energii w takim samym budynku

^{*}) dr inż. Maciej MIJAKOWSKI; dr inż. Jerzy SOWA; dr inż. Piotr NAROWSKI – Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska

^{**}) dr inż. Aleksander D. PANEK – Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska; Narodowa Agencja Poszanowania Energii S.A. – Prezes



Rys. 1. System wentylacji budynku wyposażonego w referencyjne systemy wentylacji naturalnej i mechanicznej wywiewnej

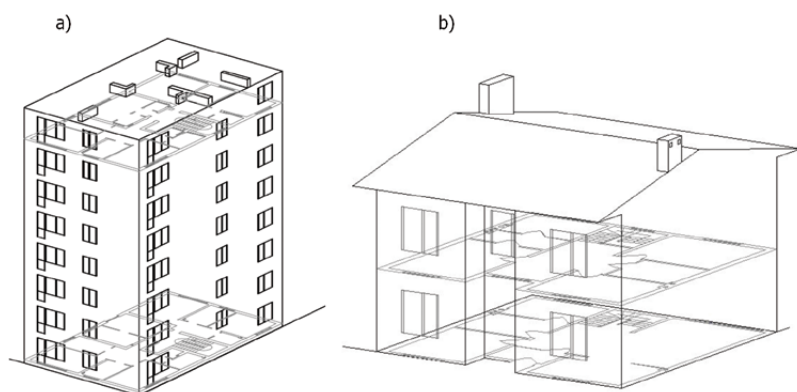
wyposażonym w referencyjne systemy wentylacji naturalnej i mechanicznej wywiewnej (rys. 1).

Dzięki wprowadzeniu budynku referencyjnego i systemu referencyjnego zdefiniowana zostanie skala pozwalająca na ocenę systemów.

Budynek referencyjny musi być zatem zdefiniowany jako budynek typowy w swoim rodzaju (np. wielorodzinny budynek mieszkalny lub jednorodzinny budynek mieszkalny, w dalszej kolejności również np. budynek biurowy odpowiedniej klasy). Budynek taki powinien być szczegółowo opisany zarówno pod względem architektoniczno-konstrukcyjnym jak i sposobu użytkowania. Widok budynku stanowiącego podstawę opisu budynku referencyjnego przedstawia rys. 2.

Podstawowe założenia dla budynku referencyjnego wielorodzinnego to:

- budynek 8 kondygnacyjny podpiwniczony;
- mieszkania typu M1, M2 i M3 (i odpowiednie założenia odnośnie sposobu użytkowania budynku);
- dach płaski;
- parametry cieplne przegród budowlanych (minimalne wymagania wg warunków technicznych, [8] dla budynków nowowznoszonych);
- ogrzewanie wodne przy pomocy grzejników konwekcyjnych;
- źródło ciepła – sieć ciepłownicza;
- dwa warianty wentylacji referencyjnej:
 - wentylacja grawitacyjna (okna z nawiewnikami, kanały wentylacji grawitacyjnej tak aby spełnione były wymagania PN-83/B-03430/Az3:2000, [7]),



Rys. 2. Widok wielorodzinnego (a) i jednorodzinnego (b) budynku referencyjnego

- wentylacja mechaniczna wywiewna o stałym strumieniu powietrza zgodnym z PN-83/B-03430/Az3:2000, [7] i mocy właściwej wentylatorów zgodnej z aktualnymi warunkami technicznymi, [8].

Podstawowe założenia dla budynku referencyjnego jednorodzinnego to:

- budynek dwukondygnacyjny niepodpiwniczony;
- pomieszczenia funkcjonalne: parter – pokój dzienny, gabinet, kuchnia z jadalnią, łazienka/WC, korytarz; I piętro – 3 sypialnie, 2 łazienki/WC, garderoba, korytarz;
- garaż przylegający do budynku nieogrzewany;
- dach dwuspadowy;
- parametry cieplne przegród budowlanych (minimalne wymagania wg warunków technicznych, [8] dla budynków nowowznoszonych);
- ogrzewanie wodne przy pomocy grzejników konwekcyjnych;
- źródło ciepła – wielofunkcyjny kocioł gazowy (sprawność 90%);
- sposób użytkowania (4 osobowa rodzina – 2+2);
- dwa warianty wentylacji referencyjnej:
 - wentylacja grawitacyjna (okna z nawiewnikami, kanały wentylacji grawitacyjnej tak aby spełnione były wymagania PN-83/B-03430/Az3:2000, [7]),
 - wentylacja mechaniczna wywiewna o stałym strumieniu powietrza zgodnym z PN-83/B-03430/Az3:2000, [7] i mocy właściwej wentylatorów zgodnej z aktualnymi warunkami technicznymi, [8].

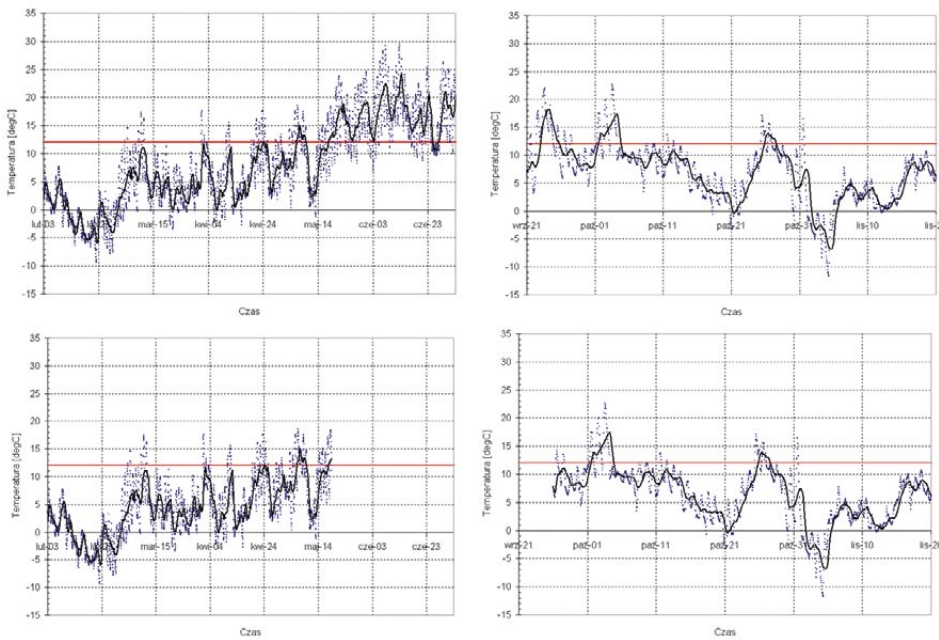
Dane meteorologiczne

Do obliczeń zużycia energii cieplnej i wielkości strumienia powietrza wentylacyjnego wykorzystano typowe godzinowe dane meteorologiczne wg normy PN-EN ISO 15927-4:2007, [6].

Typowy rok meteorologiczny ISO dla obliczeń energetycznych został opracowany przez International Organization for Standardization przez CEN jako norma EN ISO 15927-4, [6]. Roczny ciąg danych pogodowych dla obliczeń energetycznych tworzony jest z 12 miesięcy wybranych z okresu minimum 10 lat obserwacji meteorologicznych dla danej lokalizacji. Wybór miesiąca przeprowadza się poprzez wyznaczenie z wieloletnia trzech miesięcy, dla których suma statystyk Finkelsteina-Schafera dla natężenia całkowitego promieniowania słonecznego, temperatury termometru suchego i wilgotności względnej jest najmniejsza. Spośród tych trzech miesięcy jako najlepszy wybiera się ten, dla którego odchylenie średniej prędkości wiatru od miesięcznej średniej wieloletniej jest najmniejsze. Dane typowego roku meteorologicznego ISO dla Warszawy dostępne są na stronie internetowej Ministerstwa Infrastruktury pod adresem: http://www.mi.gov.pl/2-48203f1e24e2f-1787735-p_1.htm.

Do obliczeń wykorzystana będzie temperatura powietrza wg termometru suchego, przebieg rocznej zmienności całkowitego natężenia promieniowania słonecznego, prędkość i kierunek wiatru, wilgotność powietrza, temperatura nieboskłonu.

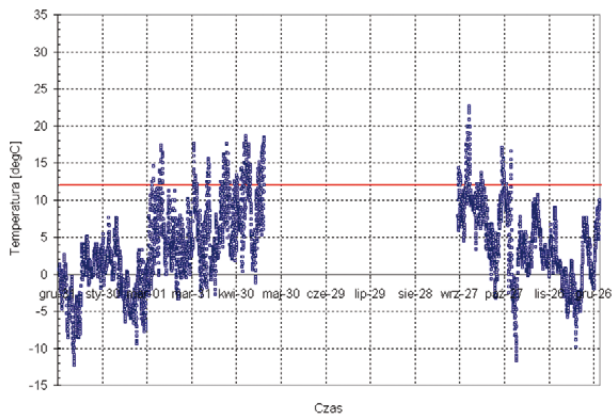
Obliczenia przeprowadzono jedynie dla okresu sezonu ogrzewczego. Założono początek i koniec sezonu ogrzewczego wynikający z wartości temperatury śred-



Rys. 3. Ilustracja wyboru początku i końca sezonu ogrzewczego

nio dobowej przekraczającej 12°C. Ilustrację wyboru początku i końca sezonu ogrzewczego zamieszczono na wykresach przedstawionych na rys. 3.

Wybrany w ten sposób okres sezonu ogrzewczego charakteryzuje się ilością stopniodni wynoszącą 3855 degC dzień, wobec 3885 degC dzień ilości stopniodni dla Warszawy (rys. 4) według popularnej normy PN-B-02025 [3].



Rys. 4. Przebieg zmienności temperatury termometru suchego powietrza zewnętrznego typowego roku meteorologicznego ISO dla Warszawy przyjętego do analiz energetycznych i symulacji przepływów powietrza

Obliczenia strumienia powietrza

Obliczenia strumienia powietrza przeprowadzone zostały zgodnie z danymi dla odpowiedniego budynku referencyjnego wyposażonego w referencyjny system wentylacji grawitacyjnej oraz wentylacji mechanicznej wywiewnej. Obliczenia wykonano w programie CONTAM 3.0, [9]. Program CONTAM powstał na początku lat 90 XX wieku. Program jest nieustannie modyfikowany i ulepszany przez zespół naukowców z NIST. Możliwości ostatniej wersji programu przeznaczonego dla środowiska MS Windows (CONTAMW ver.

3.0, [9]) są już bardzo szerokie i uwzględniają:

- analizy przepływów powietrza: infiltrację, eksfiltrację, przepływy powietrza między pomieszczeniami, ciśnienie wywołane przez wiatr działające na zewnętrznej powierzchni budynku oraz działanie wyporu termicznego wywołanego różnicą temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego;

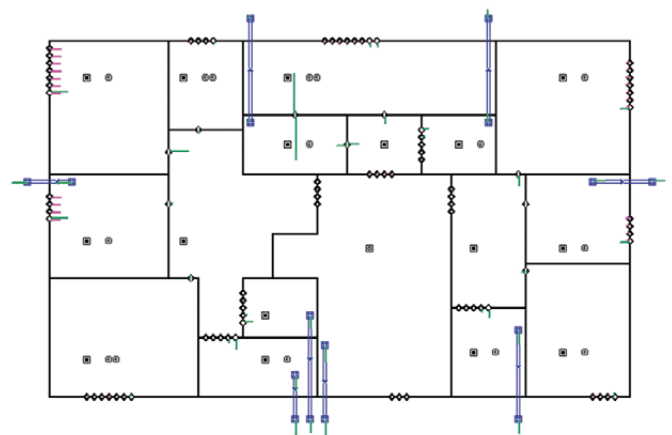
- analizy stężenia zanieczyszczeń: rozcieńczanie zanieczyszczeń przez przepływające powietrze, przemiany chemiczne zanieczyszczeń powietrza, procesy filtracji, adsorpcji i desorpcji z materiałów budowlanych;

- dla 1 pomieszczenia istnieje dodatkowo możliwość mo-

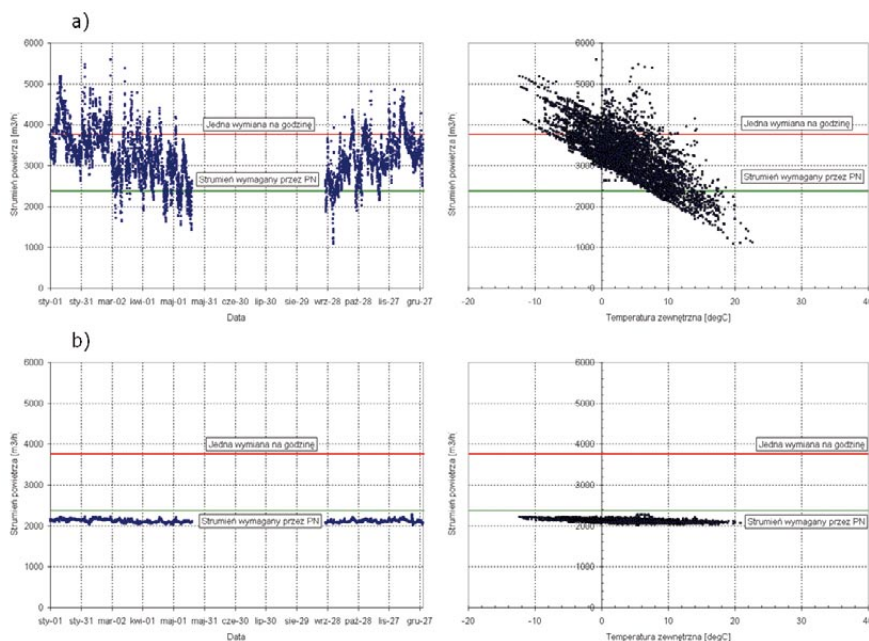
delowania zjawisk konwekcyjno-dyfuzyjnych przy pomocy techniki CFD;

- szacowanie ekspozycji ludzi na działanie zanieczyszczeń: przewidywane ekspozycji ludzi znajdujących się wewnątrz pomieszczenia na działanie zanieczyszczeń lotnych w celu oszacowania ryzyka.

CONTAM może mieć wiele zastosowań. Możliwość określenia przepływów powietrza w budynku pomocna jest przy określaniu działania instalacji wentylacyjnych. Możliwość określenia stężeń zanieczyszczeń wewnątrz budynku może być wykorzystana przy ocenie jakości powietrza wewnętrznego, ocenie wpływu zastosowanych materiałów budowlanych w budynku na jakość powietrza oraz ocenie ryzyka związanego z ekspozycją na zanieczyszczenia powietrza. Szczegółowy opis programu można znaleźć na stronie <http://www.bfrl.nist.gov/IAQanalysis/CONTAM/index.htm>. Ilustrację opisu



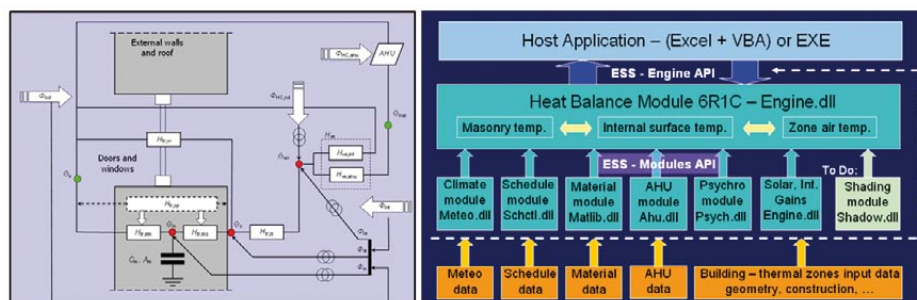
Rys. 5. Ilustracja opisu przykładowej kondygnacji jednego z budynków referencyjnych wyposażonego w referencyjny system wentylacji naturalnej w programie CONTAM



Rys. 6. Wyniki obliczeń strumienia powietrza wentylacyjnego dla referencyjnego budynku wielorodzinnego wyposażonego w referencyjny system wentylacji grawitacyjnej (a) i mechanicznej wywiewnej (b)

przykładowej kondygnacji jednego z budynków referencyjnych w programie CONTAM przedstawiono na rysunku 5.

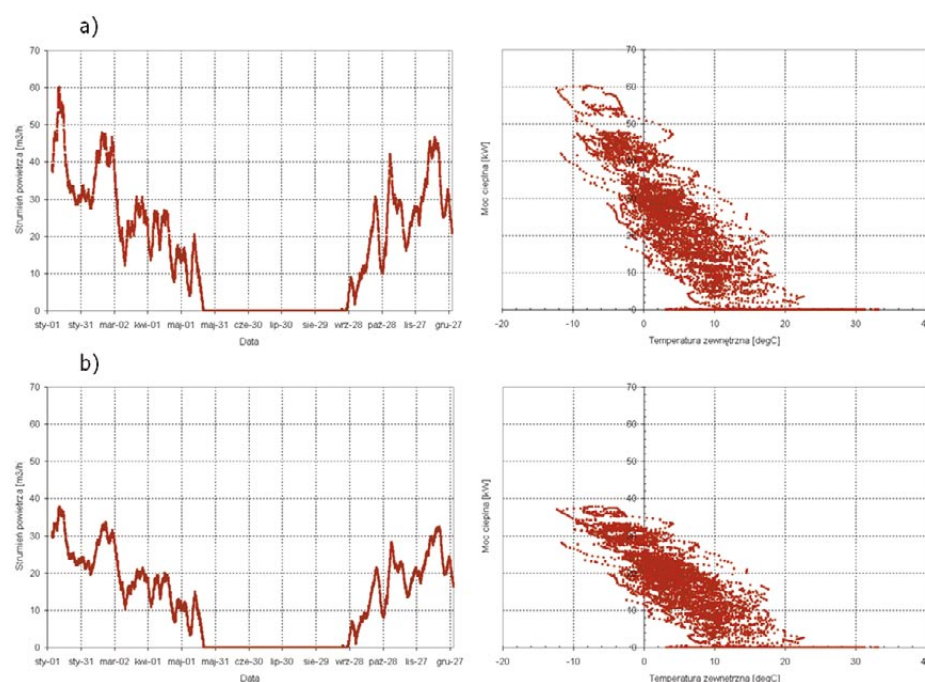
Wyniki uzyskane dla budynku wielorodzinnego wyposażonego w referencyjny system wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej wywiewnej przedstawiono na rysunku.



Rys. 7. Ilustracja metody 6R1C wraz ze schematem implementacji

Obliczenia zużycia energii

Obliczenia zużycia energii przeprowadzone zostały zgodnie z danymi dla danego budynku referencyjnego i referencyjnej wentylacji grawitacyjnej oraz oddzielnie dla budynku z wentylacją referencyjną mechaniczną wywiewną. Obliczenia energetyczne wykonano zgodnie z PN-EN ISO 13790 (*Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling*), [4] przy pomocy zmodyfikowanej metody godzinowej 6R1C, w układzie jednostrefowym (budynek stanowi jedną strefę) [2]. Strumienie powietrza dla całego budynku obliczone przy pomocy programu CONTAM [9], stanowiły daną wejściową do modelu 6R1C. Ilustrację metody 6R1C wraz z im-



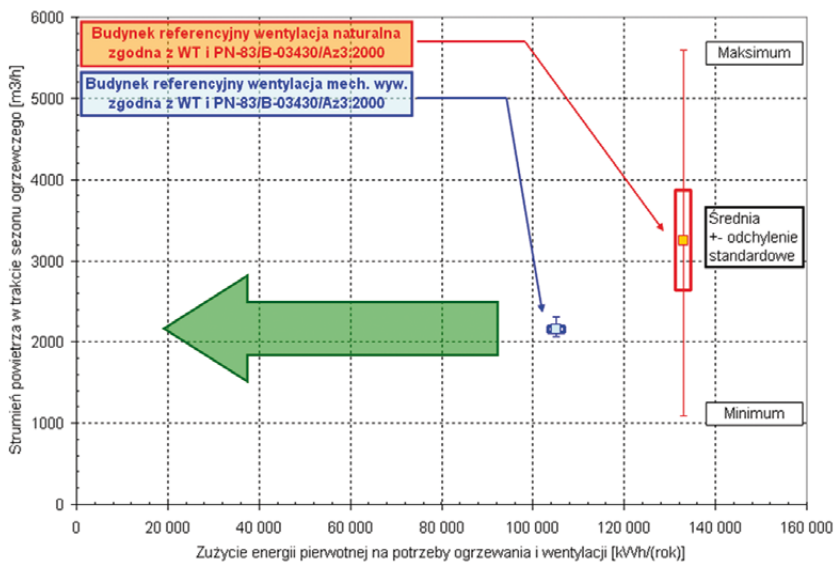
Rys. 8. Wyniki obliczeń zużycia energii cieplnej dla referencyjnego budynku wielorodzinnego wyposażonego w referencyjny system wentylacji grawitacyjnej (a) i mechanicznej wywiewnej (b)

plementacją przedstawiono na rysunku 7.

Wyniki uzyskane dla budynku wielorodzinnego wyposażonego w referencyjny system wentylacji grawitacyjnej i mechanicznej wywiewnej przedstawiono na rysunku 8.

Suma zużycia energii cieplnej i elektrycznej została przeliczona na energię pierwotną i dla budynku wielorodzinnego otrzymano: 132 889 kWh/rok dla wentylacji grawitacyjnej i 106 681 kWh/rok dla wentylacji mechanicznej (rys. 9).

Wyniki wielkości strumienia powietrza wentylacyjnego i zużycia energii naniesione na dwu wymiarowy wykres stanowią tło będące podstawą do oceny innych systemów wentylacyjnych.



Rys. 9. Referencyjne poziomy zużycia energii pierwotnej i strumienia powietrza wentylacyjnego wraz z kierunkiem optymalnych działań modernizacyjnych

Przykładowa ocena

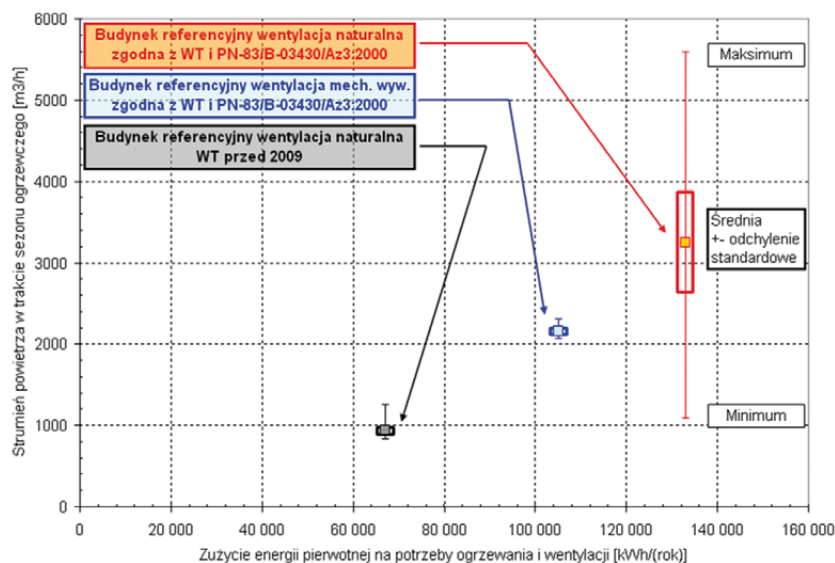
Korzystając z przedstawionej procedury można wykonać obliczenia dla innego systemu wentylacyjnego i otrzymane wyniki przedstawić na tle wyników referencyjnych. Przykładowo ocenie poddano system wentylacji grawitacyjnej o charakterystyce wynikającej z poprzednich wymagań WT [8] (przed nowelizacją w roku 2009).

Wyniki obliczeń i ich porównanie przedstawiono na rysunku 10.

Wyniki uzyskane dla tego systemu, potwierdziły częstą sytuację jaka miała miejsce w Polsce na początku procesów termomodernizacji, kiedy otrzymywano redukcję zużycia energii również na skutek ograniczenia intensywności wentylacji.

Podsumowanie

Opisana metoda określania efektywności energetycznej systemów wentylacji dla budynków mieszkalnych charakteryzuje się prostotą ob-



Rys. 10. Ocena systemu wentylacji grawitacyjnej według wymagań WT przed 2009, [8]

liczeniową, a jednocześnie pozwala na uwzględnienie:

- zużycia energii elektrycznej do napędów;
- zmian strumienia wynikających ze zmian temperatury i prędkości wiatru;
- zmian strumienia wynikających ze sterowania elementów wentylacyjnych;
- zmniejszenia zużycia ciepła na skutek stosowania odzysku ciepła (w tym uwzględnienia szrońienia wymiennika oraz ograniczenia sprawności odzysku ciepła w okresach przejściowych);
- jakości powietrza zapewnianej przez oceniany system wentylacji (w tym spełnienia wymagań minimalnych zdefiniowanych w polskich przepisach budowlanych).

Dzięki temu metoda spełnia szereg warunków, które umożliwiają zastosowanie jej do rzetelnej oceny różnych dostępnych na polskim rynku systemów wentylacji budynków mieszkalnych.

Bibliografia

- [1] EN 15241 Ventilation for buildings – Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration in commercial buildings
- [2] Narowski P., Mijakowski M., Panek A.D., Rucińska J., Sowa J., Integrated 6R1C Energy Simulation Method – Principles, Verification And Application, Preceedings of the 10th Rehva World Congress “Sustainable Energy Use in Buildings” CLIMA 2010, May 9-12 2010, Antalya, Turkey
- [3] PN-B 02025 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego
- [4] PN-EN 13790: 2009 Energetyczne właściwości budynków – Obliczanie zużycia energii na ogrzewanie i chłodzenie przestrzeni
- [5] PN-EN 15251:2007 Kryteria środowiska wewnętrznego, obejmujące warunki cieplne, jakość powietrza wewnętrznego, oświetlenie i hałas
- [6] PN-EN ISO 15927-4:2007 – Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe budynków – Obliczanie i prezentacja danych klimatycznych – Część 4: Dane godzinowe do oceny rocznego zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia
- [7] PN-83/B-03430/Az3:2000, Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 wraz z późniejszymi zmianami w szczególności Dz.U. 2008 nr 201 poz. 1238 2009.01.01
- [9] Walton G.N., Dols S.W., CONTAM – User Guide and Program Documentation, NISTIR 7251, October 2005