

wentylacja, budownictwo jednorodzinne,
budownictwo niskoenergetyczne,
wymyenniki gruntowe, odzysk ciepła

Maria KOSTKA*, Agnieszka ZAJĄC*

SYSTEMY WENTYLACJI MECHANICZNEJ NAWIEWNO-WYWIEWNEJ W BUDOWNICTWIE JEDNORODZINNYM

W artykule zaprezentowano rozwiązania systemów mechanicznej wentylacji nawiewno–wywiewnej, stosowane w nowoczesnym budownictwie indywidualnym. Dla przykładowego budynku jednorodzinne o powierzchni 150 m² wykonano analizę kosztów eksploatacji instalacji w całorocznym cyklu działania. Obliczenia wykonano dla 3 różnych lokalizacji na terenie Polski, charakteryzujących się odmiennymi warunkami klimatycznymi.

1. WPROWADZENIE

Tendencją polskiego sektora budownictwa, uwidocznioną w zmianach przepisów budowlanych, jest dążenie do minimalizacji zużycia energii. W dniu 1 stycznia 2014 r. weszła w życie kolejna nowelizacja *Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*, w której przeważająca część zmian dotyczy właśnie, bezpośrednio lub pośrednio, wymagań związanych z zapotrzebowaniem budynków na energię. W związku z powyższymi zmianami, w branży instalacyjnej i budowlanej dominuje obecnie temat budownictwa energooszczędnego i pasywnego. Wielu inwestorów, ze względu na pojawiające się możliwości otrzymania dotacji, np. z programu Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW), rozważa ewentualność budowy takich obiektów.

Wątpliwości i pytania osób chcących zbudować dom energooszczędny dotyczą często konieczności zastosowania w nim wentylacji mechanicznej. W starszych bu-

* Instytut Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wroclawska

dynkach, w których stosowana jest wentylacja naturalna, zapotrzebowanie na energię związaną z przewietrzaniem pomieszczeń nie dominuje w całościowej strukturze potrzeb energetycznych. Inaczej sytuacja przedstawia się w obiektach nowoczesnych, w których dużą wagę przykładają się do dobrej izolacyjności przegród zewnętrznych - ścian, okien, dachów, itd. W budynkach takich zużycie energii związane z koniecznością ogrzania powietrza wentylującego, zaczyna wyraźnie górować nad pozostałymi potrzebami energetycznymi obiektu. Aby możliwe było zmniejszenie ilości energii zużywanej na ten cel, konieczne jest zastosowanie wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła z powietrza usuwanego z budynku.

2. ODZYSK CIEPŁA W SYSTEMACH WENTYLACYJNYCH

Podstawowym procesem obróbki powietrza, będącym jednocześnie bodźcem do stosowania wentylacji mechanicznej w budownictwie jednorodzinym, jest odzysk ciepła z powietrza wywiewanego. Znowelizowane *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* mówi o obowiązku stosowania odzysku ciepła w systemach wentylacyjnych, w których strumień powietrza wynosi co najmniej 500 m³/h, przy czym jego sprawność powinna wynosić nie mniej niż 50%. Co prawda w przypadku domów jednorodzinnych o standardowej powierzchni tak duże strumienie powietrza zazwyczaj nie występują, jednak wykorzystanie procesu odzysku ciepła jest zasadne i powszechnie stosowane. Przeglądając ofertę wymienników stosowanych w centralach domowych na pierwszy plan wysuwają się wymienniki krzyżowe, krzyżowe – przeciwprądowe oraz obrotowe. O ile pierwsze z nich mają możliwość odzysku wyłącznie ciepła jawnego (odzysk temperatury), to kolejne mogą zostać wykonane w wersji odzyskującej tylko ciepło jawne lub jawne i utajone (odzysk wilgoci). Jeżeli wymiennik zbudowany jest z wielu równoległe ustawionych płyt (przepon), pomiędzy którymi utworzone są kanaliki, przez które na przemian przepływa powietrze zewnętrzne oraz wywiewane, mówimy o procesie rekuperacji. W przypadku wymiennika obrotowego odzysk ciepła odbywa się w obracającym się bębnie (rotorze), który omywany jest częściowo przez powietrze zewnętrzne, a częściowo przez wywiewane – następuje tu proces regeneracji.

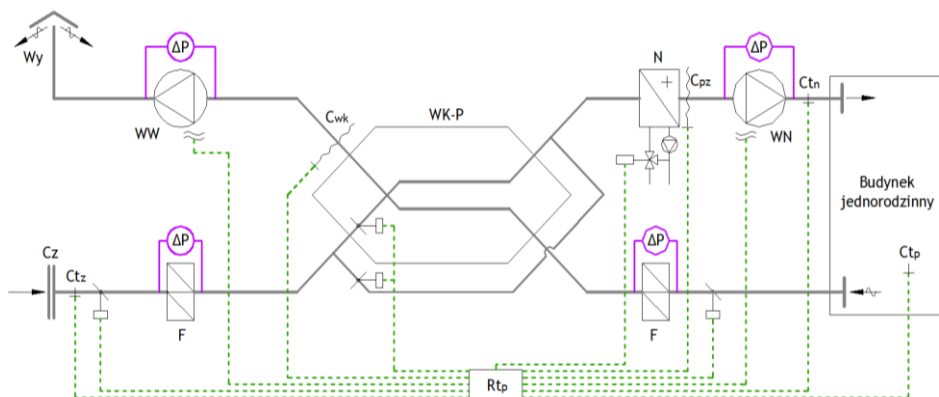
W wymiennikach płytowych strumień powietrza nawiewanego do pomieszczeń ulega ogrzaniu na skutek przekazania ciepła z powietrza wywiewanego poprzez przeponę urządzenia. W każdych warunkach, gdy powierzchnia ścianki wymiennika ma niższą temperaturę od punktu rosy powietrza usuwanego, następuje wykroplenie wilgoci zawartej w powietrzu wywiewanym. Co za tym idzie, w okresie występowania ujemnych temperatur zewnętrznych, należy się liczyć z możliwością wystąpienia szronienia urządzenia. Zamarzanie wody w szczelinach doprowadzić może do czę-

ściowego bądź całkowitego zablokowania przepływu powietrza usuwanego z budynku, co z kolei warunkuje konieczność zastosowania zabezpieczenia przeciwmroźniowego wymiennika. Niefortunnie, im wyższa jest sprawność odzysku ciepła, tym wymiennik jest bardziej narażony na wystąpienie szronienia, co z kolei powoduje wzrost kosztów związanych z eksploatacją systemu wentylacyjnego, a konkretnie - z działaniem zabezpieczenia przeciwmroźniowego, które w wymiennikach przepływowych często przybiera formę by-passa (kanału obejściowego wymiennika) bądź nagrzewnicy wstępnej. Wymienniki obrotowe są mniej narażone na zamarzanie, a ich zabezpieczenie realizowane jest poprzez okresowe spowolnienie obrotów wirnika.

W domowych centralach wentylacyjnych dostępnych na polskim rynku, znaleźć można również rozwiązanie zabezpieczenia przeciwmroźniowego wymiennika polegające na okresowym zmniejszeniu wydajności wentylatora nawiewnego lub zwiększeniu - wywiewnego. Ze względu na niekorzystny wpływ powstającego wówczas w budynku podciśnienia (infiltracja powietrza zewnętrznego do pomieszczeń) rozwiązanie to nie zostało szczegółowo opisane w dalszej części artykułu.

3. SYSTEMY WENTYLACJI MECHANICZNEJ NAWIEWNO - WYWIEWNEJ

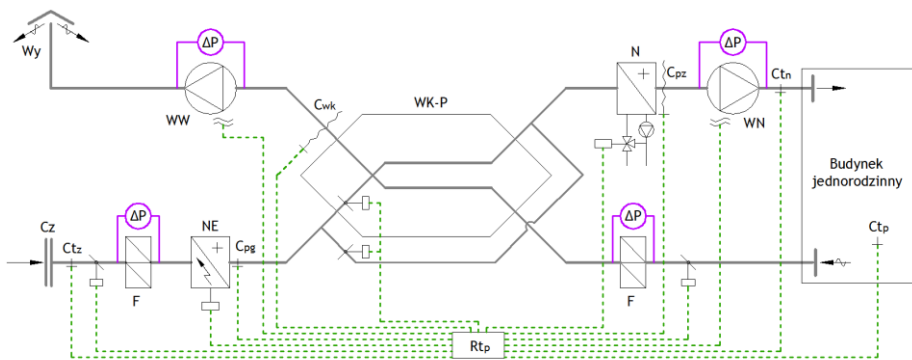
Na rysunku 1 przedstawiono schemat systemu wentylacyjnego z odzyskiem energii z powietrza wywiewanego w wymienniku krzyżowo – przeciwpływowym z obejściem i wodną nagrzewnicą główną (WK-P – wymiennik krzyżowo – przeciwpływowym, WW - wentylator wywiewny, WN – wentylator nawiewny, F – filtr powietrza, N – nagrzewnica, Cz – czerpnia, Wy – wyrzutnia, ΔP – presostat, Ctz – czujnik temperatury powietrza zewnętrznego, Ctp – czujnik temperatury powietrza w pomieszczeniu, Ctn – czujnik temperatury powietrza nawiewanego, Cpz – czujnik przeciwmroźniowy, Cwk – czujnik temperatury powietrza usuwanego)



Rys. 1. Schemat systemu wentylacyjnego z odzyskiem energii z powietrza wywiewanego na wymienniku krzyżowo – przeciwpływowym z obejściem i wodną nagrzewnicą główną (WK-P – wymiennik krzyżowo – przeciwpływowym, WW - wentylator wywiewny, WN – wentylator nawiewny, F – filtr powietrza, N – nagrzewnica, Cz – czerpnia, Wy – wyrzutnia, ΔP – presostat, Ctz – czujnik temperatury powietrza zewnętrznego, Ctp – czujnik temperatury powietrza w pomieszczeniu, Ctn – czujnik temperatury powietrza nawiewanego, Cpz – czujnik przeciwmroźniowy, Cwk – czujnik temperatury powietrza usuwanego)

Zabezpieczenie przeciwzamrożeniowe wymiennika realizowane jest poprzez bypass i uruchomione zostaje gdy temperatura wskazana przez czujnik C_{wk} , umieszczony na powietrzu usuwanym, spadnie poniżej nastawy – standardowo $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. W przedstawionym systemie wiąże się to z koniecznością zastosowania nagrzewnicy wodnej lub elektrycznej, o stosunkowo dużej mocy, po stronie powietrza nawiewanego do pomieszczeń. Zastosowanie nagrzewnicy wodnej wymaga doprowadzenia do centrali przewodów grzewczych wraz z niezbędną dla tego obiegu armaturą (zawory regulacyjne, odcinające, itp.) oraz zastosowania zabezpieczenia przeciwzamrożeniowego. Zastosowanie nagrzewnicy elektrycznej z kolei będzie wiązało się z podłączeniem instalacji elektrycznej, zastosowaniem zabezpieczeń przeciwprzegrzaniowych oraz zwiększeniem kosztów eksploatacyjnych.

Alternatywą dla przedstawionego na rysunku 1 rozwiązania jest układ, w którym na napływie powietrza nawiewanego do wymiennika zastosowana jest wstępna nagrzewnica elektryczna, zastępująca nagrzewnicę główną lub będącą jej uzupełnieniem. Urządzenie to podgrzewa powietrze do bezpiecznej temperatury, eliminując możliwość wystąpienia szronu po drugiej stronie wymiennika (od strony powietrza wywiewanego). Podobnie jak w poprzednim przypadku uruchomienie nagrzewnicy wstępnej następuje po spadku temperatury powietrza usuwanego za wymiennikiem poniżej $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Przykład takiego rozwiązania został przedstawiony na rysunku 2.

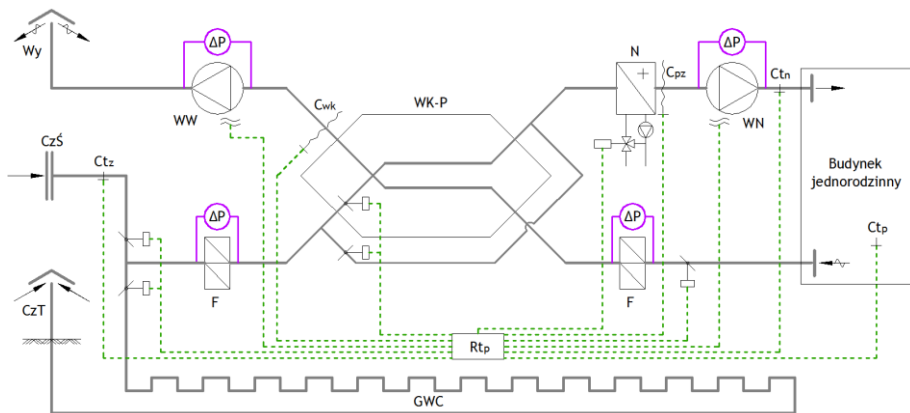


Rys. 2. Schemat systemu wentylacyjnego z odzyskiem energii z powietrza wywiewanego na wymienniku krzyżowo – przeciwprądowym z obejściem i elektryczną nagrzewnicą wstępną (WK-P – wymiennik krzyżowo – przeciwprądowy, WW – wentylator wywiewny, WN – wentylator nawiewny, F – filtr powietrza, NE – nagrzewnica elektryczna, N – nagrzewnica wtórna (opcjonalnie), Cz – czerpnia, Wy – wyrzutnia, ΔP – presostat, C_{tz} – czujnik temperatury powietrza zewnętrznego, C_{tp} – czujnik temperatury powietrza w pomieszczeniu, C_{tn} – czujnik temperatury powietrza nawiewanego, C_{pg} – czujnik przeciwprzegrzaniowy i zaniku przepływu powietrza, C_{pz} – czujnik przeciwzamrożeniowy, C_{wk} – czujnik temperatury powietrza usuwanego)

Metodą na obniżenie kosztów eksploatacyjnych związanych z zabezpieczeniem wymiennika przed zamarzaniem jest zastosowanie przeponowego bądź bezprzepono-

wego gruntowego wymiennika ciepła. Schemat takiego rozwiązania przedstawiono na rysunku 3. W wymienniku gruntowym powietrze napływające do systemu wentylacyjnego ulega wstępnemu ogrzaniu - zimą i ochłodzeniu latem. Wymienniki projektowane są w sposób umożliwiający podgrzanie powietrza do temperatury ok. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ - w czasie trwania najniższych temperatur zewnętrznych oraz jego ochłodzenie do ok. $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - w czasie największych upałów. Wzrost temperatury powietrza w okresie zimowym do $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ eliminuje możliwość zamarzania wymiennika do odzysku ciepła i jednocześnie doprowadza do układu „darmową” energię gruntu, co uwidacznia się wyraźnie w zmniejszeniu kosztów eksploatacyjnych systemu. W okresie letnim ochłodzenie powietrza w wymienniku gruntowym jest również pewnym zyskiem energetycznym związanym z chłodzeniem budynku, jednakże niewielki strumień powietrza przepływającego w systemie powoduje, że ilość uzyskanej energii nie jest wystarczająca do widocznego obniżenia temperatury w pomieszczeniach.

W przypadku systemów wentylacyjnych z wysokosprawnymi wymiennikami do odzysku ciepła (wymenniki krzyżowo – przeciwprądowe lub obrotowe, $\eta \geq 80\%$) zastosowanie wymiennika gruntowego prowadzi najczęściej do całkowitej eliminacji z układu nagrzewnicy powietrza. Jeżeli natomiast w centrali wentylacyjnej zastosowano wymiennik do odzysku ciepła o niewielkiej sprawności (wymennik krzyżowy $\eta \approx 50 - 70\%$), nagrzewnica stosowana jest w miejscu przedstawionym na rysunku 3 i jest to najczęściej urządzenie elektryczne o niewielkiej mocy.



Rys. 3. Schemat systemu wentylacyjnego z odzyskiem energii z powietrza wywiewanego na wymienniku krzyżowo – przeciwprądowym z obejściem i wymiennikiem gruntowym (WK-P – wymiennik krzyżowo – przeciwprądowy, GWC – gruntowy wymiennik ciepła, WW - wentylator wywiewny, WN – wentylator nawiewny, F – filtr powietrza, N – nagrzewnica wtórna (opcjonalnie), CzT – czerpnia terenowa, CzŚ – czerpnia ścienna, Wy – wyrzutnia, ΔP – presostat, Ctz – czujnik temperatury powietrza zewnętrznego, Ctp – czujnik temperatury powietrza w pomieszczeniu, Ctn – czujnik temperatury powietrza nawiewanego, Cpz – czujnik przeciwzamroziowy, Cwk – czujnik temperatury powietrza usuwanego)

Rozwiązanie systemu wentylacyjnego z gruntowym wymiennikiem jest polecane dla budownictwa niskoenergetycznego i pasywnego. Co więcej, w wymaganiach dopłat z funduszy NFOŚiGW [1] jest to rozwiązanie obowiązkowe dla domów pasywnych zlokalizowanych z IV i V strefie klimatycznej Polski. Również wśród osób nieubiegających się o dotację jest to system szybko zyskujący na popularności ze względu na wyraźne i odczuwalne finansowo zalety jego stosowania.

Kolejną możliwością zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych systemu wentylacji budynku jednorodzinego jest zastosowanie centrali z podwójnym odzyskiem ciepła z powietrza wywiewanego w standardowym wymienniku płytowym lub obrotowym lub też za pomocą powietrznej pompy ciepła. Rozwiązanie to, ze względu na stosunkowo wysoki koszt inwestycyjny, nie jest jednak zbyt popularne, zdecydowanie rzadziej stosowane od systemów przedstawionych na rysunkach 1-3.

4. CAŁOROCZNE KOSZTY EKSPLOATACYJNE

Na potrzeby artykułu wykonano porównanie kosztów eksploatacyjnych systemów wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej przedstawionych na rysunkach 1-3. Obliczenia wykonano w oparciu o przeciętny czas występowania temperatur zewnętrznych, wg danych meteorologicznych udostępnionych na stronie Ministerstwa Transportu i Gospodarki Morskiej [2]. Strumień powietrza wentylującego, dla przykładowego domku jednorodzinego o powierzchni 150 m^2 , został określony w oparciu o Polskie Normy [3]. Założono 3 lokalizacje budynku na terenie Polski, charakteryzujące się odmiennymi warunkami klimatycznymi – Hel, Wrocław oraz Zakopane. Strumień powietrza wynoszący $250 \text{ m}^3/\text{h}$ dostarczany i usuwany jest z budynku przez wentylatory o współczynniku poboru mocy elektrycznej wynoszącym $0,4 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ – dwa wentylatory po 100 W każdy. Ponadto, dla systemu z gruntowym wymiennikiem ciepła, ze względu na występowanie w nim dodatkowych strat ciśnienia na przepływie powietrza, założono 30% wzrost mocy wentylatora nawiewnego. Każdy układ wyposażony jest w krzyżowy – przeciwprądowy wymiennik do odzysku ciepła z powietrza wywiewanego o sprawności 80%. W systemie z nagrzewnicą wstępną założono zastosowanie urządzenia elektrycznego. Dla uproszczenia obliczeń przyjęto całodobową pracę centrali wentylacyjnej ze stałą wydajnością oraz brak wewnętrznych zysków ciepła w budynku. Pokrywanie wentylacyjnych strat ciepła, wynikających z ogrzewania powietrza od temperatury uzyskanej za odzyskiem ciepła do temperatury nawiewu ($20 \text{ }^\circ\text{C}$), realizowane jest bezpośrednio lub pośrednio (nagrzewnica wodna) przez układ centralnego ogrzewania o jednostkowym koszcie energii $0,22 \text{ zł}/\text{kWh}$. W systemach z nagrzewnicą elektryczną założono jednostkowy koszt energii $0,60 \text{ zł}/\text{kWh}$, a dla systemu z nagrzewnicą wodną -moc elektryczną pompy obiegowej 20 W .

Dla każdego rozwiązania założono 3-krotną wymianę filtrów powietrza w ciągu roku. Wyniki obliczeń kosztów eksploatacyjnych systemów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Porównanie całorocznych kosztów eksploatacyjnych systemów wentylacyjnych stosowanych w budownictwie jednorodzinym

		HEL	WROCLAW	ZAKOPANE
Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła w wymienniku krzyżowym - przeciwprądowym i z wtórnym uzdatnieniem powietrza w nagrzewnicy wodnej	Uzdatnianie powietrza, zł	425	491	668
	Transport powietrza, zł	1051	1051	1051
	Transport czynnika grzewczego, zł	99	96	101
	Filtry powietrza, zł	60	60	60
	KOSZT SUMARYCZNY, zł	1635	1698	1880
Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła w wymienniku krzyżowym - przeciwprądowym i z wtórnym uzdatnieniem powietrza w nagrzewnicy elektrycznej	Uzdatnianie powietrza, zł	1158	1340	1821
	Transport powietrza, zł	1051	1051	1051
	Filtry powietrza, zł	60	60	60
	KOSZT SUMARYCZNY, zł	2270	2451	2933
Wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła w wymienniku krzyżowym - przeciwprądowym, ze wstępną nagrzewnicą elektryczną i wtórnym uzdatnieniem powietrza przez system centralnego ogrzewania	Uzdatnianie powietrza, zł	526	716	1095
	Transport powietrza, zł	1051	1051	1051
	Filtry powietrza, zł	60	60	60
	KOSZT SUMARYCZNY, zł	1637	1828	2206
Wentylacja mechaniczna z gruntowym wymiennikiem ciepła, z odzyskiem ciepła w wymienniku krzyżowym - przeciwprądowym oraz z wtórnym uzdatnieniem powietrza przez system centralnego ogrzewania	Uzdatnianie powietrza, zł	261	260	300
	Transport powietrza, zł	1209	1209	1209
	Filtry powietrza, zł	60	60	60
	KOSZT SUMARYCZNY, zł	1530	1529	1569
System wentylacji naturalnej	Uzdatnianie powietrza, zł	1890	1935	2350

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule zaprezentowano rozwiązania systemów mechanicznej wentylacji nawiewno - wywiewnej, stosowane w nowoczesnym budownictwie indywidualnym. Dla

przykładowego budynku jednorodzinnego o powierzchni 150 m² wykonano analizę kosztów eksploatacji instalacji w całorocznym cyklu działania. Analizę przeprowadzono dla 4 najczęściej stosowanych konfiguracji systemów wentylacji mechanicznej nawiewno – wywiewnej oraz odniesiono je do kosztów uzdatniania powietrza w systemie wentylacji naturalnej o tej samej wydajności. Obliczenia wykonano dla 3 różnych lokalizacji na terenie Polski, charakteryzujących się odmiennymi warunkami klimatycznymi.

Z przeprowadzonej analizy można wysunąć wniosek, że wybór systemu wentylacyjnego dla domu jednorodzinnego powinien być ściśle powiązany z lokalizacją obiektu na terenie Polski oraz z rodzajem źródła energii, którym dysponuje inwestor. Im bardziej surowy jest klimat w miejscu usytuowania obiektu tym wyraźniejsze są różnice w kosztach uzdatniania powietrza, na co największy wpływ ma działanie systemu przeciwwamrozeniowego wymiennika do odzysku ciepła. Najmniej wrażliwym na zmianę warunków klimatycznych jest układ wykorzystujący gruntowy wymiennik ciepła jako element wstępnego uzdatniania powietrza wentylującego. Pamiętać należy również, że rozbieżność pomiędzy tym systemem a pozostałymi będzie się zwiększać jeśli w budynku zastosowane zostanie źródło ciepła o większym jednostkowym koszcie przygotowania energii. W przeprowadzonej analizie nie uwzględniano kosztów uzdatniania powietrza w okresie letnim. Założono, że pomieszczenia nie są chłodzone, a więc niemożliwe było uwzględnienie zysków energii z tytułu pracy gruntowego wymiennika ciepła w lecie, które należy jednak zakwalifikować jako dodatkowy atut tego rozwiązania.

Podczas przeprowadzania analizy założono, że strumień powietrza doprowadzony do budynku w systemie wentylacji naturalnej jest analogiczny do strumienia dostarczanego mechanicznie. Ze względu na ścisły związek pomiędzy wydajnością wentylacji naturalnej i nieustannie zmieniającą się różnicą temperatury pomiędzy wnętrzem budynku a otoczeniem, jest to pewne uproszczenie, które ma pozwolić czytelnikowi na orientację w wysokości kosztów ponoszonych z tytułu pracy takiego systemu.

LITERATURA

- [1] Dopłaty do kredytów na domy energooszczędne. Wymagania techniczne dla budynków (wg <http://www.nfosigw.gov.pl>).
- [2] Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków (wg <http://www.transport.gov.pl>).
- [3] PN-83/B-03430. Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania wraz ze zmianą PN-83/B-03430/Az3, PKN Warszawa, luty 2000.
- [4] PRZYDRÓŻNY E., Wysokosprawne systemy wentylacji i klimatyzacji – technologia i projektowanie, Prace Naukowe Instytutu Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007r.

MECHANICAL VENTILATION SYSTEMS FOR SINGLE FAMILY HOUSES

The paper presents the mechanical ventilation systems used in modern, single family houses. Authors performed the operating costs analysis of the systems for an exemplary detached building with a floor area of 150 m². Calculations were made for three locations in Poland, characterized by different climatic conditions.