BUDOWNICTWO
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
CIVIL ENGINEERING
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
2-B/2010
ZESZYT 4
ROK 107
ISSUE 4
YEAR 107

MACIEJ MIJAKOWSKI, JERZY SOWA, PIOTR NAROWSKI*

SPRAWNOŚĆ TEMPERATUROWA ODZYSKU CIEPŁA A ŚREDNIOSEZONOWE OGRANICZENIE ZUŻYCIA CIEPŁA W SYSTEMIE WENTYLACJI – WPŁYW STRATEGII ODZYSKU CIEPŁA Z POWIETRZA USUWANEGO

HEAT RECOVERY EFFICIENCY AND REDUCTION OF HEAT CONSUMPTION BY VENTILATION – EFFECT OF DIFFERENT STRATEGIES OF HEAT RECOVERY

S t r e s z c z e n i e

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń całorocznego zużycia energii cieplnej i chłodniczej przez centralę klimatyzacyjną dla różnych typów wymiennika do odzysku ciepła (definiowaną przez sprawność temperaturową oraz zabezpieczenie przed szronieniem) z powietrza usuwanego oraz różnych zależności pomiędzy temperaturą powietrza nawiewanego i usuwanego.

Słowa kluczowe: obliczenia energetyczne, procesy uzdatniania powietrza, odzysk ciepła

A b s t r a c t

The paper presents results of annual energy consumption for heating and cooling in ventilation unit for different types of heat recovery strategies. The analyses were performed for different heat recovery efficiency, different defrosting solution for heat recovery and different set points for supply temperature.

Keywords: energy performance, AHU simulation, heat recovery ventilation

* Dr inż. Maciej Mijakowski; dr inż. Jerzy Sowa; dr inż. Piotr Narowski, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

Odzysk ciepła z powietrza usuwanego jest jedną z najskuteczniejszych metod ograniczenia zużycia ciepła w budynkach bez pogorszenia jakości powietrza wewnętrznego czy komfortu dla osób przebywających w budynku. Praktycznie każdy współczesny budynek wyposażony w system wentylacji nawiewno-wywiewnej posiada tego typu urządzenie. Również dlatego, że zarówno poprzednie, jak i obecne warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki, zobowiązują do stosowania układów do odzysku ciepła z powietrza wywiewanego. Aktualnie warunki techniczne zaostrzyły wymagania, nakazując stosowanie odzysku ciepła już dla instalacji o strumieniu powietrza wynoszącym powyżej 2000 m^3/h.

Z drugiej strony istotne jest, w jakim stopniu stosowanie układu do odzysku ciepła ogranicza zapotrzebowanie na energię do przygotowania powietrza nawiewanego. Większość metod bilansowych opiera się na założeniu, że ograniczenie zużycia ciepła jest wprost proporcjonalne do sprawności temperaturowej wymiennika do odzysku ciepła.

W artykule, wykorzystując metodę godzinową 6R1C [1], przeanalizowano ograniczenie zużycia ciepła w systemie wentylacji dla różnych sprawności wymiennika, różnych zależności pomiędzy temperaturą powietrza usuwanego i nastawy temperatury powietrza nawiewanego oraz dla różnych strategii zabezpieczenia układu przed szronieniem.

2. Metoda

2.1. Model 6R1C dynamiki cieplnej budynku

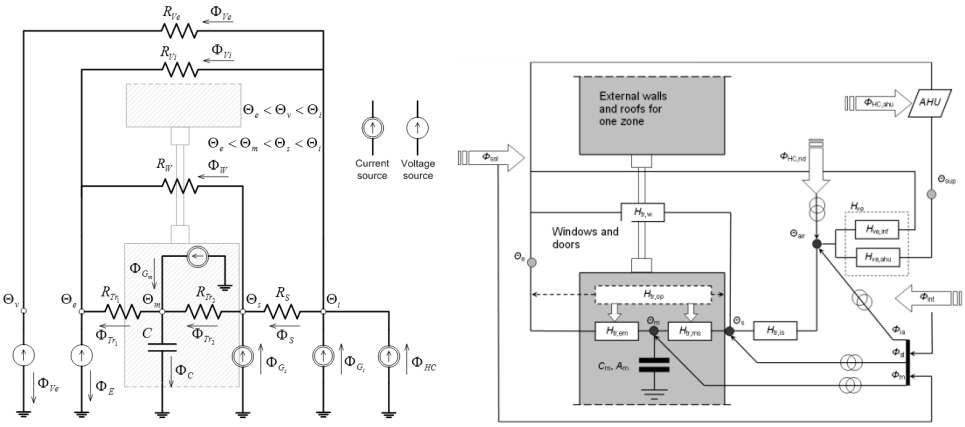
Przedstawiona w normie PN-EN-ISO 13790 [2] uproszczona metoda godzinowa wyznaczania ilości ciepła do ogrzewania i chłodzenia zakłada skupioną pojemność cieplną całego budynku oraz szereg oporów cieplnych na drodze wymiany ciepła. W analogii elektrycznej można taki układ traktować jako schemat jednego kondensatora i 5 oporników (5R1C). W przedstawionym modelu układ ten został rozbudowany o jeszcze jeden opór pozwalający na oddzielne obliczanie strumieni energii powietrza infiltrującego (o temperaturze powietrza zewnętrznego) i powietrza nawiewanego przez układ wentylacji mechanicznej do strefy o regulowanej temperaturze w budynku. Schemat zastosowanego w obliczeniach modelu 6R1C dynamiki cieplnej budynku lub strefy cieplnej został przedstawiony na rys. 1.

Pełen opis modelu 6R1C wraz z rozwiązaniem potrzebnym do wyznaczenia godzinowego zapotrzebowania na ciepło lub chłód budynku przedstawiono w [1]. Należy zaznaczyć, że zgodnie z modelem 6R1C zakładane zazwyczaj wartości:

– temperatury powietrza,
– temperatury masy cieplnej,
– temperatury powierzchni wewnętrznych

są obliczane dla każdej godziny.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

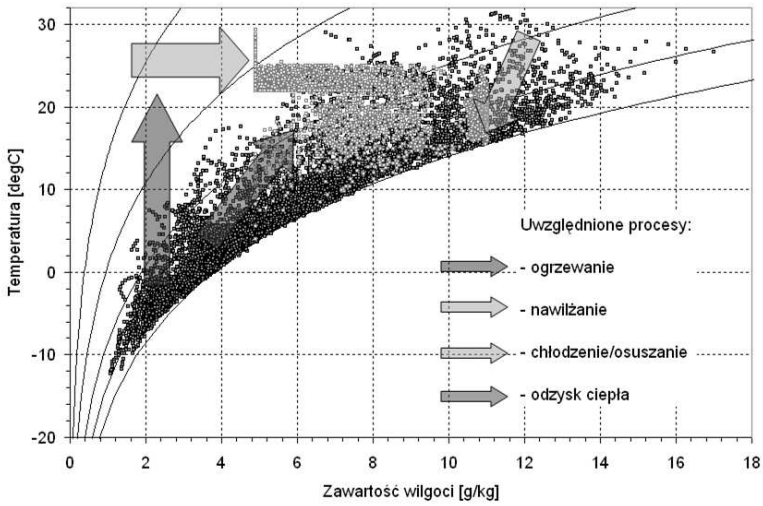


Rys. 1. Model 6R1C dynamiki cieplnej budynku [1]

Fig. 1. The building 6R1C heat exchange model [1]

2.2. Obliczenia energetyczne procesów uzdatniania powietrza

Obliczenia energetyczne procesów uzdatniania powietrza w centrali klimatyzacyjnej wykonane zostały na podstawie modelu przedstawionego w normie EN 15241 [3]. Jego główną ideą jest określenie energii potrzebnej do zmiany parametrów powietrza zewnętrznego do wymaganych parametrów powietrza nawiewanego (rys. 2).



Rys. 2. Idea obliczeń energetycznych procesów uzdatniania powietrza w centrali klimatyzacyjnej [4]

Fig. 2. The main idea of AHU calculation's method [4]

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

W obliczeniach można uwzględnić następujące procesy uzdatniania powietrza [4]: odzysk ciepła z powietrza usuwanego (ciepło utajone oraz jawne) w okresie zimowym i letnim, ogrzewanie, nawilżanie, chłodzenie, osuszanie.

Na potrzeby niniejszego artykułu ograniczono się jedynie do procesu odzysku ciepła, ogrzewania i chłodzenia.

Modele powyższych procesów określają zużycie energii (jeśli występuje np. proces odzysku ciepła, nie wymaga zużycia energii – energia dodatkowa do napędów może być liczona oddzielnie) oraz parametry powietrza po danym procesie. Pomimo, że równania opisujące dany proces są stosunkowo proste i mogą pochodzić np. z normy EN 15241 [3], to całoroczne procesy realizowane w centrali mogą być skomplikowane i wymagać zaawansowanych analiz zależności logicznych. Zmiany zarówno jakościowe, jak i ilościowe analizowanych procesów wynikają ze zmieniających się warunków klimatycznych oraz zmian obciążenia cieplnego pomieszczeń. Jednocześnie dostępne w danej chwili czasowej procesy wynikają z ograniczeń założonego systemu HVAC (*Heating Ventilation and Air-Conditioning*).

2.3. Opis budynku i systemów wybranych do analizy

Obliczenia wykonano dla wybranego budynku zlokalizowanego w Warszawie. Jest to budynek biurowy o ciężkiej konstrukcji, powierzchni 3640 m^2, kubaturze 10920 m^3, użytkowany przez 400 osób.

Obciążenie cieplne pomieszczeń zostało policzone dla typowych warunków konstrukcji ścian, okien, schematów użytkowania (dni powszednie od 7.00 do 20.00) itp. Nastawa temperatury dla zimy wynosiła 21°C (temperatura dyżurna – 16°C), dla lata 26°C.

Budynek jest wyposażony w system wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej o stałej ilości powietrza wynoszącej 20 000 m^3/h w godzinach użytkowania budynku. Wybrano do analizy możliwie najprostszy system, który uniemożliwia nawilżanie lub osuszanie powietrza (chłodnica pracuje z wykraplaniem pary wodnej, ale sterowana jest temperaturą powietrza nawiewanego). Strumień powietrza wynika z potrzeb higienicznych, utrzymanie konkretnych parametrów powietrza wewnętrznego spoczywa na oddzielnym, np. wodnym, systemie ogrzewania/chłodzenia. Na potrzeby dalszej dyskusji wybrano kilka układów odzysku ciepła, tak aby można było analizować wpływ następujących czynników:

- efekt różnej zadanej temperatury powietrza nawiewanego,
- efekt różnej sprawności temperaturowej odzysku ciepła,
- efekt różnej strategii ochrony przed szronieniem wymiennika.

Dla tych wariantów analizowano zmniejszenie zapotrzebowania energii na ogrzewanie i chłodzenie powietrza nawiewanego w odniesieniu do systemu bez odzysku ciepła. Stopień redukcji (sezonową efektywność odzysku ciepła) obliczono zgodnie z zależnościami

$$\mathrm{AHRE_H} = \frac{Qh_\mathrm{AHU}_{\mathrm{no_HR}} - Qh_\mathrm{AHU}_{\mathrm{HR}}}{Qh_\mathrm{AHU}_{\mathrm{no_HR}}} \tag{1}$$

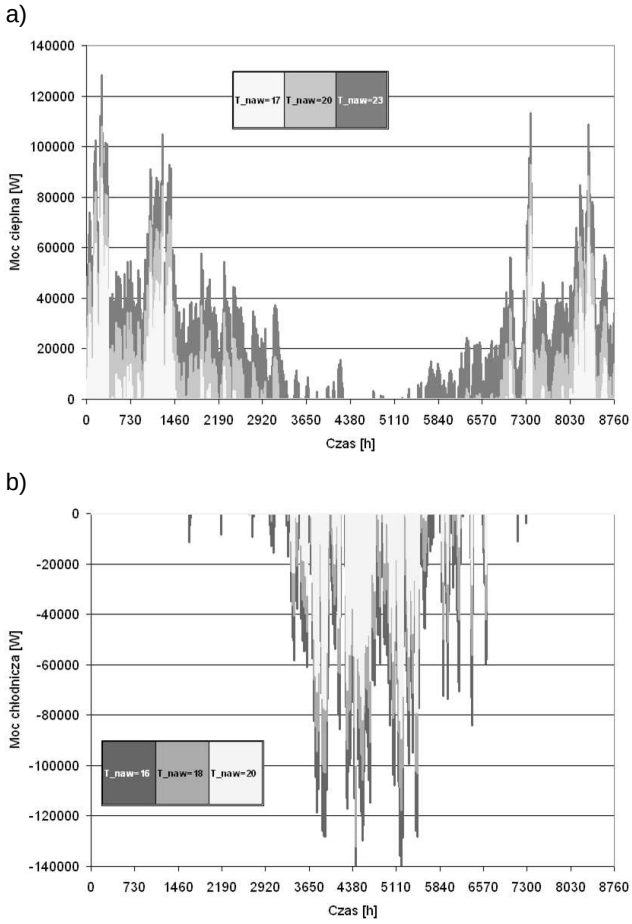
$$\mathrm{AHRE_C} = \frac{Qc_\mathrm{AHU}_{\mathrm{no_HR}} - Qc_\mathrm{AHU}_{\mathrm{HR}}}{Qc_\mathrm{AHU}_{\mathrm{no_HR}}} \tag{2}$$

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

3. Wyniki obliczeń

3.1. Efekt zmiany nastawy temperatury powietrza nawiewanego

Efekt ten został przeanalizowany poprzez przeprowadzenie rocznych symulacji dla założonej stałej temperatury powietrza nawiewanego na poziomie 17°, 20°, 23°C (w przypadku ogrzewania) i 16°, 18°, 20°C (w przypadku chłodzenia). Pozostałe parametry były utrzymywane na stałym poziomie: sprawność odzysku ciepła 80%, zabezpieczenie przed szronieniem 5°C (min. temperatura powietrza usuwanego). Wyniki całorocznych symulacji przedstawiono na rys. 3. Ograniczenie zużycia energii dla tego przypadku wynosi od 76% do 94% w przypadku energii cieplnej i od 2% do 7% w przypadku energii chłodniczej.



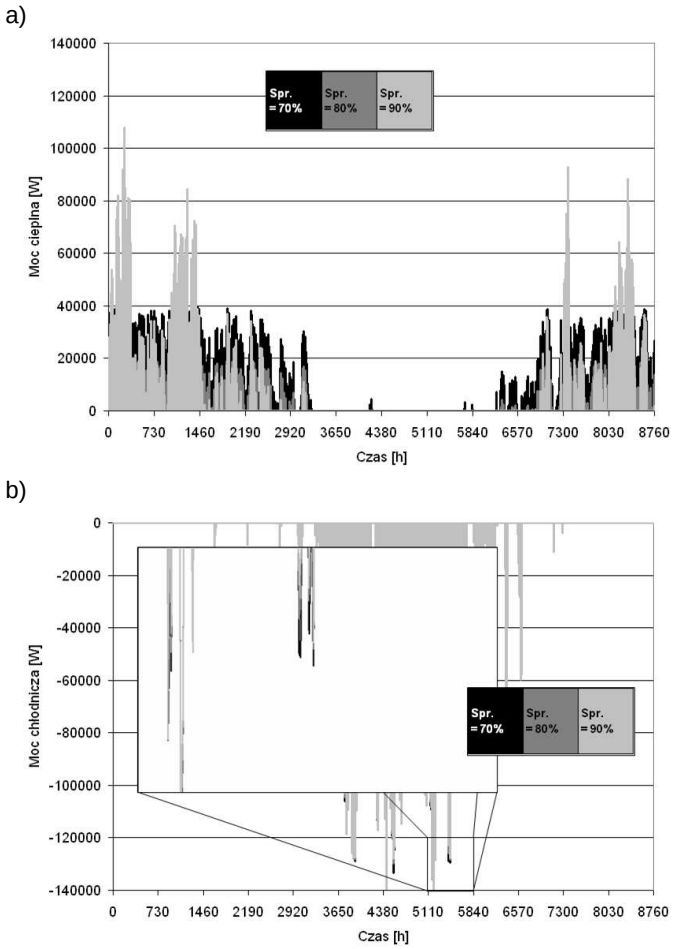
Rys. 3. Zużycie energii cieplnej (a) i chłodniczej (b) w systemie wentylacji dla różnych nastaw temperatury powietrza nawiewanego

Fig. 3. Heating (a) and cooling (b) energy consumption in AHU for different set points for supply air

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

3.2. Efekt różnej sprawności odzysku ciepła

Efekt ten został przeanalizowany poprzez przeprowadzenie rocznych symulacji dla założonej stałej sprawności temperaturowej na poziomie 70%, 80% i 90%. Pozostałe parametry były utrzymywane na stałym poziomie: nawiew 20°C (ogrzewanie) i 16°C (chłodzenie), zabezpieczenie przed szronieniem 5°C (min. temperatura powietrza usuwanego). Wyniki całorocznych symulacji przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Zużycie energii cieplnej (a) i chłodniczej (b) w systemie wentylacji dla różnej sprawności odzysku ciepła

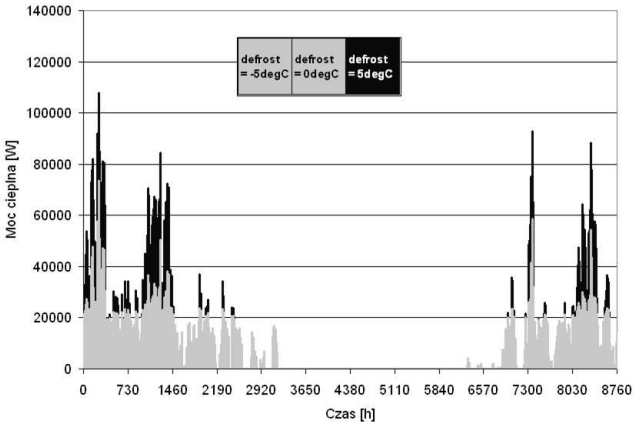
Fig. 4. Heating (a) and cooling (b) energy consumption in AHU for different efficiency of heat recovery

Ograniczenie zużycia energii dla tego przypadku wynosi od 79% do 89% dla energii cieplnej i od 2,2% do 2,8% dla energii chłodniczej, czyli wpływ jest zdecydowanie mniejszy niż w poprzednim przypadku.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

3.3. Efekt różnej strategii ochrony przed szronieniem

Efekt ten został przeanalizowany poprzez przeprowadzenie rocznych symulacji dla trzech wartości utrzymywania minimalnej temperatury powietrza wywiewanego na poziomie –5°C (np. obrotowy wymiennik ciepła), 0°C (wymiennik obrotowy dla warunków wilgotnych) i +5°C (wymiennik krzyżowy). Pozostałe parametry były utrzymywane na stałym poziomie: nawiew 20°C (tylko ogrzewanie), sprawność odzysku ciepła 80%. Wyniki całorocznych symulacji przedstawiono na rys. 5. Ograniczenie zużycia energii dla tego przypadku wynosi od 86% do 90%.



Rys. 5. Zużycie energii cieplnej w systemie wentylacji dla różnej nastawy minimalnej temperatury powietrza usuwanego

Fig. 5. Heating energy consumption in AHU for different minimum temperature of exhaust air

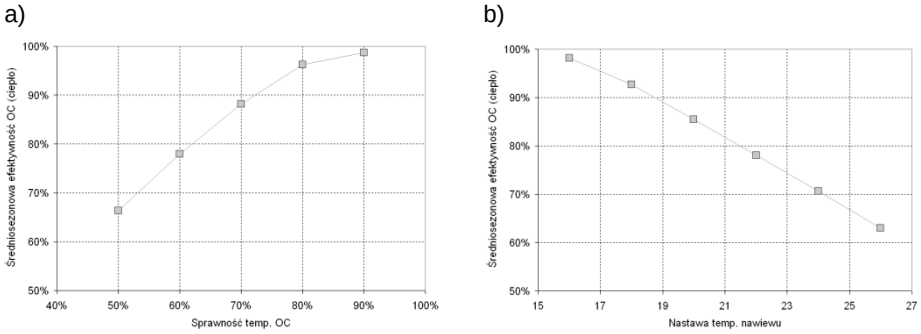
4. Podsumowanie

Uzyskane wyniki potwierdzają tezę o znaczącym wpływie odzysku ciepła i systemu wentylacji na charakterystykę energetyczną budynku. Okazało się również, co interesujące, że sprawność odzysku ciepła nie ma dominującego znaczenia. Przykładowo poprawa sprawności odzysku ciepła z 70% do 90% redukuje zapotrzebowanie na ciepło w nagrzewnicy o ok. 10% (dla analizowanego typowego budynku biurowego) – rys. 6a. Dużo większe znaczenie ma wzajemna zależność temperatury powietrza usuwanego i nastawa temperatury nawiewu – rys. 6b.

Dla typowych warunków klimatycznych i budynku biurowego korzystanie z układu do odzysku ciepła latem w większości przypadków nie jest wskazane. Efektywność odzysku ciepła latem może być znacząco podniesiona przy wykorzystaniu adiabatycznego chłodzenia powietrza wywiewanego – w takim przypadku definiowana zależnością 2 efektywność odzysku ciepła wynosi ok. 15%.

Wpływ strategii zabezpieczenia wymiennika przed szronieniem również nie ma większego znaczenia w całorocznym ograniczeniu zużycia energii. Proces ten nabiera jednak znaczenia w przypadku zastosowania wstępnego podgrzania powietrza szczególnie w przypadku nagrzewnic elektrycznych.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 6. Wpływ temperaturowej sprawności odzysku ciepła (a) i nastawy temperatury nawiewu (b) na średniosezonowe ograniczenia zużycia ciepła w systemie wentylacji

Fig. 6. Effect of heat recovery efficiency (a) and different supply temperature set point (b) for annual heat recovery efficiency for heating

Na zakończenie należy podkreślić, że redukcja zużycia energii przez system wentylacji nie musi być skorelowana z redukcją zużycia energii przez cały budynek. Przykładowo jeśli mniej energii jest dostarczane do pomieszczenia z powietrzem nawiewanym, może powiększyć się zużycie energii przez wodny system ogrzewania. Proces ten zależy od wielu parametrów, między innymi od profilu generowanych zysków ciepła, masy termicznej budynku czy temperatury powietrza zewnętrznego.

Literatura

[1] Narowski P., Sowa J., Mijakowski M., *Godzinowy model 6R1C dynamiki cieplnej budynku*, *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, tom IV, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, Politechnika Łódzka, 2009.

[2] PN-EN-ISO 13790: Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling.

[3] EN 15241: Ventilation for buildings – Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration in commercial buildings.

[4] Mijakowski M., Narowski P., Sowa J., *Integrated calculations of thermal behaviour of buildings and processes in AHU – the tool for assessment of energy performance of complex buildings*, 11th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition, Building Simulation 2009, 27th–30th July 2009, Glasgow, UK.

Ten artykuł został przygotowany w ramach projektu STEP PL0077 realizowanego dzięki wsparciu udzielonemu przez Islandię, Liechtenstein i Norwegię poprzez dofinansowanie ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowego.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ