

WPLYW ZAŁOŻONEGO ZAKRESU ZMIENNOŚCI PARAMETRÓW POWIETRZA W POMIESZCZENIACH NA CAŁOROCZNE ZUŻYCIE ENERGII

Jerzy SOWA^{*}, Maciej MIJAKOWSKI^{**}, Piotr NAROWSKI^{***}

*Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Zakład Klimatyzacji i Ogrzewnictwa
ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa*

^{}e-mail: jerzy.sowa@is.pw.edu.pl*

*^{**}e-mail: maciej.majakowski@is.pw.edu.pl*

*^{***}e-mail: piotr.narowski@is.pw.edu.pl*

Streszczenie: W artykule przeanalizowano wpływ założonego zakresu zmienności temperatury powietrza i wilgotności względnej powietrza na roczne zużycie energii. W pierwszej części przedstawiono główne wymagania dotyczące parametrów powietrza w pomieszczeniach zawarte w normach polskich oraz standardach europejskich. W celu sformułowania wniosków o charakterze jakościowym jak i ilościowym przeprowadzone zostały symulacje rocznego zużycia energii w budynku biurowym o regulowanych parametrach powietrza. Do analiz stosowano model 6R1C + AHU (rozwinęty model 5R1C opisany w normie EN ISO 13790:2007 rozszerzony o moduł analizujący pracę central klimatyzacyjnych). Obliczenia przeprowadzono stosując godzinowy krok czasowy. Analizy przeprowadzono dla 3 systemów klimatyzacji ze stałym strumieniem powietrza (CAV): dwuczynnikaowego systemu powietrzno-wodnego, systemu powietrznego z odzyskiem ciepła oraz systemu powietrznego z recyrkulacją.

Słowa kluczowe: obliczenia energetyczne, system wentylacji i klimatyzacji, procesy uzdatniania powietrza

1. WPROWADZENIE

Prawidłowy dobór parametrów ciepłno - wilgotnościowych pomieszczeń ma bardzo istotny wpływ na komfort i produktywność ludzi oraz na trwałość konstrukcji. O ile jednak w literaturze spotkać można bardzo wiele informacji na temat zalecanych wartości temperatury oraz innych parametrów powietrza to bardzo niewiele jest informacji na temat konsekwencji energetycznych przyjmowanych założeń. Celem tego artykułu jest przedstawienie następstw wynikających z czynionych założeń odnośnie parametrów powietrza wewnętrznego. W analizach określano roczne zużycie energii użytecznej (bez start związanych z wytwarzaniem, magazynowaniem i transportem). Ze względu na

bardzo szeroki zakres zagadnienia ograniczono się do komfortu cieplnego w środowiskach termicznych umiarkowanych, w których ludzie wykonują lekką pracę (< 1,2 met). Artykuł nie odnosi się także do zagadnień adaptacyjnego modelu komfortu cieplnego.

2. ZALECANE PARAMETRY CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWE W POMIESZCZENIACH

W Polsce parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego przyjmuje się na podstawie normy PN-78/B-03421 [9]. W okresie zimowym dla aktywności fizycznej małej (całkowita starta energii <200W, co odpowiada wartościom < 1.9 met) zaleca się utrzymywanie temperatury powietrza w zakresie 20±22 °C. Wartości te stosuje się jednak tylko w przypadkach gdy średnia temperatura wewnętrznych powierzchni przegród nie jest niższa o więcej niż 2 K od minimalnej temperatury powietrza wewnętrznego określonej dla danej aktywności. To dodatkowe zastrzeżenie wynika z konieczności uwzględnienia wpływu promieniowania cieplnego na temperaturę wewnętrzną. Za optymalny przedział wilgotności względnej powietrza dla okresu zimowego uważa się zakres 40÷60% określając jednocześnie minimalną wartość dopuszczalną na 30%. W uwagach szczegółowych znajduje się jednak zapis, iż w przypadku braku możliwości nawilżania powietrza dopuszcza się dla okresu zimowego nie dotrzymanie wartości dopuszczalnej minimalnej i przyjęcie do obliczeń wartości wynikającej z warunków zewnętrznych i bilansu wilgotnościowego pomieszczenia.

Dodatkowo jednak Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 1 grudnia 1998 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy na stanowiskach wyposażonych

w monitory ekranowe [10] wymaga, aby wilgotność względna powietrza w pomieszczeniach przeznaczonych do pracy z monitorami ekranowymi nie była mniejsza niż 40% (bez względu na typ monitora).

Norma PN-78/B-03421 [9] w okresie letnim dla aktywności fizycznej małej zaleca się utrzymywanie temperatury powietrza w zakresie 23÷26 °C. Za maksymalną wartość dopuszczalną uznaje się wartość t_z+3 (przy zyskach ciepła jawnego odniesionych do 1 m² powierzchni podłogi pomieszczenia lub strefy roboczej nie przekraczających 50 W/m²) oraz wartość t_z+5 gdy zyski ciepła jawnego przekraczają to kryterium. Symbol t_z oznacza temperaturę powietrza zewnętrznego w °C odpowiadającą temperaturze t_s wg PN-76/B-03420 [8]. Wartości temperatury dopuszczalnej w okresie letnim można przyjmować tylko w przypadku braku możliwości chłodzenia powietrza. Pośrednich wartości temperatury pomiędzy maksymalną optymalną a dopuszczalną nie należy przyjmować.

Dla okresu letniego za optymalny zakres wilgotności powietrza uważa się przedział 40÷55 %, podając jednak wartość maksymalną wynoszącą 70%. Jednakże w przypadku kontrolowania temperatury powietrza wg wymagań optymalnych dopuszczalne wartości maksymalnej wilgotności względnej powietrza należy przyjmować odpowiednio dla temperatury 26 °C - najwyżej 55%, a dla 23 °C najwyżej 65% wilgotności względnej.

Na poziomie norm europejskich szczegółowe kryteria środowiska wewnętrznego opisuje standard EN 15251 [2], który powstał w ramach akcji normalizacyjnej CEN wspomagającej wdrożenie dyrektywy EPBD [4] w krajach UE. W standardzie EN 15251 rekomendowane parametry biorą pod uwagę zarówno kryteria komfortu jak i aspekty energetyczne.

Wymagania formułowane są w odniesieniu do 4 kategorii jakości środowiska wewnętrznego:

- Kategoria I (dawniej A) Wysoki poziom oczekiwań; rekomendowany dla przestrzeni zajmowanych przez

osoby bardzo wrażliwe pod względem środowiskowym (inwalidzi, osoby chore, bardzo młode oraz osoby w podeszłym wieku).

- Kategoria II (dawniej B) Normalny poziom oczekiwań; rekomendowany dla budynków nowych i modernizowanych.
- Kategoria III (dawniej C) Akceptowalny, umiarkowany poziom oczekiwań; może być stosowany w odniesieniu do budynków istniejących.
- Kategoria IV (dawniej D) Wartości poza kryteriami dla powyższych kategorii; to kategoria może być akceptowana jedynie dla ograniczonych.

Zalecane kryteria środowiska termicznego w pomieszczeniach oparte są o wskaźniki PMV-PPD (Przewidywana Ocena Średnia i Przewidywany Odsetek Niezadowolonych) wg EN ISO 7730 [3]. Dla założonego poziomu aktywności metabolicznej oraz typowej wartości izolacyjności cieplnej odzieży możliwe jest ustalenie rekomendowanego zakresu operacyjnej temperatury powietrza. Jako wartości dla okresu ogrzewania przyjmowane są dolne ograniczenia przedziałów oszacowania, a dla wymiarowania systemów chłodzenia górne ograniczenia tych zakresów. W tabeli 1 (opracowanej na podstawie [2]) przedstawiono rekomendowane zakresy wskaźników PMV-PPD oraz wartości temperatury operacyjnej (dla aktywności metabolicznej 1,2 met).

Sformułowane w standardzie wymagania dotyczące wilgotności zależą po części od wymagań komfortu cieplnego i jakości powietrza, a po części od wymagań dla budynku (kondensacja, rozwój pleśni itp.). Jednakże wymagania dotyczące konieczności regulacji wilgotności względnej powietrza formułowane są szczególnie ostrożnie (tabela 2). Wg EN 15251 wilgoć ma niewielki wpływ na odczucie komfortu cieplnego i odczuwaną jakość powietrza w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi w pozycji siedzącej.

Tabela 1. Parametry termiczne powietrza wewnętrznego wg EN 15251 [2].
Table 1. Thermal parameters of indoor air according to EN 15251 [2].

Kategoria	Wrażenie termiczne dla całego ciała		Zalecana wartość temperatury operacyjnej °C	
	PPD - Przewidywany Odsetek Niezadowolonych %	PMV - Przewidywana Ocena Średnia	Minimalna temperatura dla ogrzewania (okres zimowy), ~ 1,0 clo	Maksymalna temperatura dla chłodzenia (okres letni), ~ 0,5 clo
I	< 6	-0.2 < PMV < + 0.2	21,0	25,5
II	< 10	-0.5 < PMV < + 0.5	20,0	26,0
III	< 15	-0.7 < PMV < + 0.7	19,0	27,0
IV	> 15	PMV < -0.7; lub +0,7 < PMV	-	-

Tabela 2. Przykład rekomendowanych kryteriów projektowych dla wilgotności powietrza w przypadku, gdy zainstalowane są systemy do nawilżania i osuszania powietrza (wg EN 15251 [2]).

Table 2. Example of recommended design criteria for the humidity if humidification or dehumidification systems are installed (EN 15251 [2]).

Typ budynku/przestrzeni	Kategoria	Obliczeniowe wartość wilgotności względnej dla procesu osuszania, %	Obliczeniowe wartość wilgotności względnej dla procesu nawilżania %
Pomieszczenia, w których kryteria są formułowane w odniesieniu do ludzi.	I	50	30
	II	60	25
	III	70	20
	IV	> 70	< 20

Jeżeli nie występują długo utrzymujące się wysokie wartości wilgotności powietrza, którą mogą powodować wzrost mikrobów, oraz długie okresy niskiej wilgotności (<15-20%), których następstwem mogą być suchość i podrażnienie oczu oraz dróg oddechowych, to wyłączając pomieszczenia zajmowane przez ludzi szczególnie wrażliwych, należy zrezygnować z regulacji wilgotności powietrza. Rekomenduje się także, iż w przypadkach gdy nawilżanie i osuszanie powietrza w pomieszczeniach jest stosowane to powinno być to czynione w ograniczonym zakresie.

Oczywiście w przypadkach budynków o przeznaczeniu specjalnym (muzea, budynki zabytkowe, kościoły) powinno się brać pod uwagę dodatkowe wymagania odnośnie wilgotności.

3. PRZEPROWADZONE ANALIZY

3.1. Opis zastosowanego modelu 6R1C +AHU

Norma EN ISO 13790:2007 [5] opisuje trzy sposoby określania zużycia energii na cele ogrzewania i chłodzenia budynków. Jedną z metod, uproszczona metoda godzinowa (5R1C), posługująca się analogiami z teorią układów elektrycznych, sprowadza budynek do układu 5 oporów przepływu ciepła i jednego kondensatora odpowiadającego skupionej pojemności cieplnej budynku. Na bazie tego modelu rozwinięto model autorski 6R1C (pełen opis modelu można znaleźć w pracy [7]) i dołączono możliwość jednoczesnej analizy pracy central klimatyzacyjnych (model 6R1C +AHU [6]).

W trakcie opracowywania szczegółowych modeli określających zużycie energii na potrzeby procesów uzdatniania powietrza w centrali klimatyzacyjnej korzystano z normy EN 15241 [1].

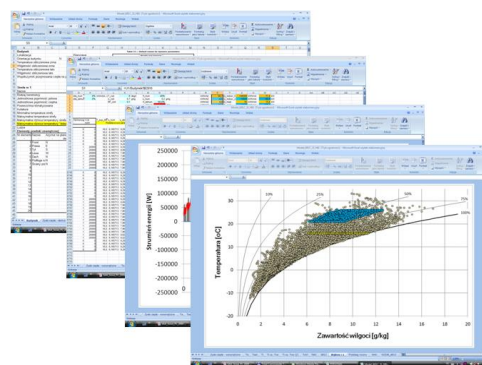
W przedstawionych w dalszej części obliczeniach zostały wzięte pod uwagę następujące procesy uzdatniania powietrza:

- odzysk ciepła z powietrza usuwanego,
- ogrzewanie powietrza,
- nawilżanie parowe,
- chłodzenie i osuszanie powietrza w chłodnicach powierzchniowych.

Dla dowolnej chwili czasowej ilość energii zużywana na poszczególne cele zależy od zmiennych w czasie warunków zewnętrznych, zmiennych w czasie zysków i strat ciepła, zysków wilgoci oraz od założonych warunków logicznych odwzorowujących działanie systemu automatycznej regulacji. Do analiz wykorzystuje się roczne dane klimatyczne dla najbliższej stacji meteorologicznej.

Należy także podkreślić, że model ma charakter otwarty i można go uzupełniać o inne składowe takie jak wymienniki gruntowe czy komora zraszania.

W celu sprawdzenia możliwości aplikacyjnych modelu wszystkie obliczenia przeprowadzono w środowisku arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel (rys 1).



Rys. 1. Ekrany arkusza kalkulacyjnego MS Excel w trakcie przeprowadzanych analiz.

Fig. 1. Screens from spread sheet MS Excel during performed analysis.

3.2. Charakterystyka analizowanych wariantów

Przedstawiane zagadnienia nie mają charakteru uniwersalnego i uzyskane wyniki silnie zależą od analizowanego obiektu oraz jego wyposażenia technicznego.

Na potrzeby niniejszego artykułu obliczenia wykonano dla wirtualnego budynku biurowego dla 400 osób zlokalizowanego w Warszawie. Jest to budynek o powierzchni 3640 m² i kubaturze 10920 m³. Przyjęto, że budynek został poddany testowi szczelności i przy nadciśnieniu 50 Pa uzyskano wskaźnik szczelności $n_{50} = 2 \text{ h}^{-1}$.

Obciążenie cieplne pomieszczeń zostało określone zakładając typowy sposób wykorzystania pomieszczeń.

Sprawdzając roczne zużycie energii przeanalizowano dolne ograniczenie temperatury powietrza dla okresu zimowego w zakresie 20÷23 °C. Dla okresu letniego przebadano zachowanie się systemów w zakresie temperatury powietrza w pomieszczeniach 23÷27 °C. W tych obliczeniach zakładano regulację wilgotności względnej powietrza w zakresie 40-60%.

Wpływ wilgotności względnej zbadano w zakresie: dolne ograniczenie 0÷60 %, oraz górne ograniczenie 40÷100 %. W tych symulacjach zakładano regulację temperatury powietrza w pomieszczeniach w zakresie 21÷26 °C.

Analizy przeprowadzono dla 3 systemów klimatyzacji ze stałym strumieniem powietrza (CAV):

- Wariant 1: dwuczynnikiowy system powietrzno-wodny, system powietrzny (strumień powietrza zewnętrznego 20000 m³/h (50 m³/h os) w okresach użytkowania pomieszczeń) odpowiedzialny za jakość powietrza i kontrolę wilgotności, system wodny odpowiedzialny za utrzymywanie założonego poziomu temperatury powietrza w pomieszczeniach,
- Wariant 2: system klimatyzacji powietrznej z odzyskiem ciepła ($\eta = 85\%$) odpowiedzialny za jakość powietrza oraz kontrolę temperatury i wilgotności powietrza, (strumień powietrza zewnętrznego 60000 m³/h (150 m³/h os) w okresach użytkowania pomieszczeń oraz ~1 h⁻¹ poza okresem użytkowania),
- Wariant 3: system klimatyzacji powietrznej z recykulacją powietrza (maksymalny udział powietrza obiegowego – 66,7%) odpowiedzialny za jakość powietrza oraz kontrolę temperatury i wilgotności powietrza, (strumień powietrza wentylacyjnego 60000 m³/h (minimalny strumień powietrza zewnętrznego 50 m³/h os) w okresach użytkowania pomieszczeń oraz ~1 h⁻¹ poza okresem użytkowania).

Podwyższone wartości strumienia powietrza zewnętrznego przypadające na osobę 50 m³/h zostały przyjęte, aby spełnić wymagania standardu EN 15251 dla II kategorii (budynki nowe) przy założeniu stosowania niskoemisyjnych materiałów wykończeniowych (dla analizowanego budynku strumień powietrza zewnętrznego odniesiony do 1 pracownika nie powinien być mniejszy niż 48,1 m³/h).

4. ANALIZA WYNIKÓW

W trakcie prezentacji wyników przyjęto generalną zasadę, iż wartości dodatnie oznaczają dostarczanie energii do przestrzeni (ogrzewanie nawilżanie powietrza) wartości ujemne oznaczają odprowadzanie energii z przestrzeni (chłodzenie i osuszanie). Określając wartości sumaryczne dodawano wartości bezwzględne.

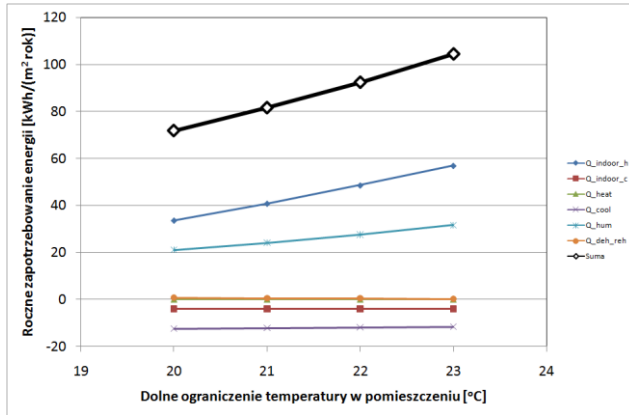
Wariant 1 obliczeń odnosi się do bardzo popularnego systemu klimatyzacji powietrzno – wodnej. W niniejszej analizie przyjęto, że przez cały rok powietrze nawiewane do pomieszczeń będzie miało temperaturę +16 °C. Zawartość wilgoci powietrza nawiewanego ustalana jest w taki sposób, aby powietrze w pomieszczeniu spełniało przyjęte kryteria wilgotności względnej. Założony poziom temperatury utrzymywany jest dzięki zmiennym w czasie strumieniom ciepła i chłodu doprowadzanym do pomieszczenia. Wyniki analiz przedstawiono w postaci graficznej na rys. 2-5.

Rys. 2 wskazuje, iż przy analizowanych założeniach uzyskano praktycznie zależność liniową wskazującą, że podwyższenie temperatury o 1 K powoduje wzrost rocznego zużycie energii o ok. 10 kWh/(m² rok). Warto zauważyć, iż podwyższanie temperatury powietrza wpływa nie tylko na strumień ciepła doprowadzany do pomieszczenia (~70%), ale także na ilość energii zużywanej przez system nawilżania powietrza (~30%). Wpływ górnego ograniczenia temperatury powietrza w pomieszczeniach na roczne zużycie energii przedstawia rys. 3. Uzyskano zależności nieliniowe wskazujące, iż wzrost zużycia energii na 1 K jest szczególnie duży (~7,5 kWh/(m² rok)) dla relatywnie niskich wartości temperatury 23÷24 °C i maleje do ok. (~1,5 kWh/(m² rok)) dla wartości temperatury 26÷27 °C.

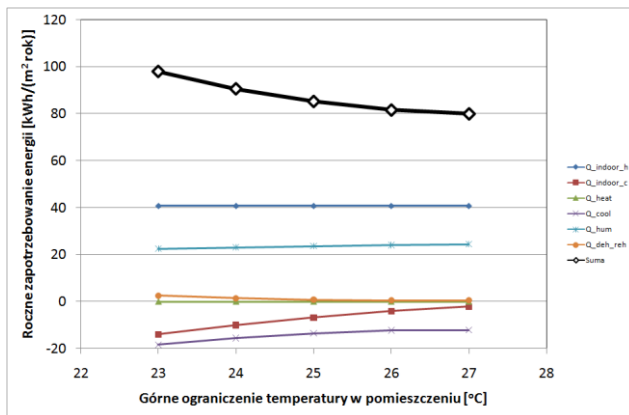
Przeprowadzone analizy wskazują na silną zależność zmian zużycia energii przez system nawilżania w zależności od przyjętych ograniczeń regulacji wilgotności powietrza (rys. 4 i 5).

W wariantcie 1 dolne ograniczenie regulacji wilgotności zaczyna być znaczące powyżej 20%. Dla tej wartości dodatkowe roczne zużycie energii to ~1,5 kWh/(m² rok), ale podwyższenie dolnego ograniczenia do 30% to już roczne zużycie ~9 kWh/(m² rok), a zwiększenie tego ograniczenia do wartości 40% powoduje wzrost zużycia energii do wartości ~24 kWh/(m² rok). Wpływ górnego ograniczenia regulacji wilgotności na zużycie energii staje się istotny dla wartości < 60% (~1,7 kWh/(m² rok)), by przy wartości 50% osiągnąć ~20,4 kWh/(m² rok).

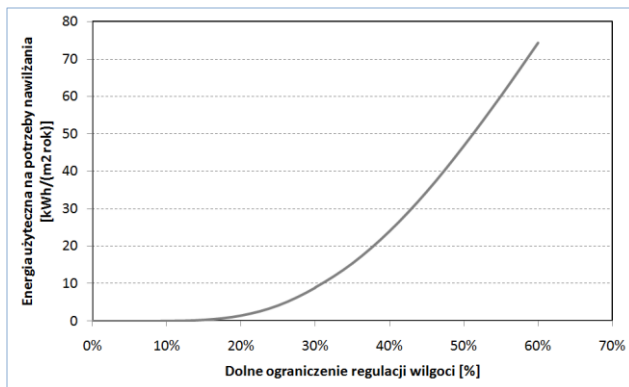
Dodatkowe zużycie energii wynika zarówno z konieczności silnego ochłodzenia powietrza w celu wykroplenia wilgoci, jak też z późniejszego jego podgrzania w celu uniknięcia dyskomfortu w pomieszczeniu (rys 5).



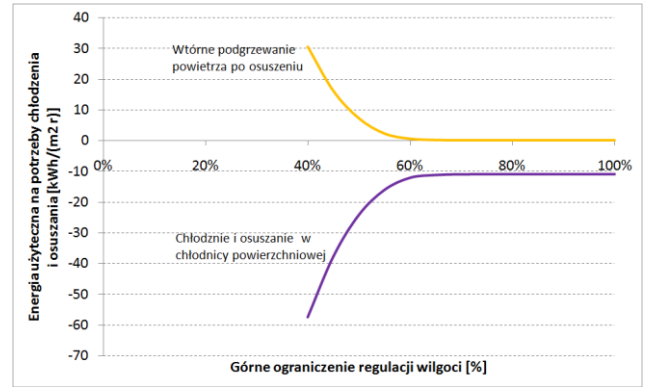
Rys. 2. Wpływ dolnego ograniczenia temperatury powietrza w pomieszczeniach na roczne zużycie energii (wariant 1).
Fig. 2. The influence of lower limit of indoor air temperature on annual energy use (option 1).



Rys. 3. Wpływ górnego ograniczenia temperatury powietrza w pomieszczeniach na roczne zużycie energii (wariant 1).
Fig. 3. The influence of upper limit of indoor air temperature on annual energy use (option 1).



Rys. 4. Wpływ dolnego ograniczenia regulacji wilgotności na roczne zużycie energii (wariant 1).
Fig. 4. The influence of lower limit of relative humidity on annual energy use (option 1).



Rys. 5. Wpływ górnego ograniczenia regulacji wilgotności na roczne zużycie energii (wariant 1).
Fig. 5. The influence of upper limit of relative humidity on annual energy use (option 1).

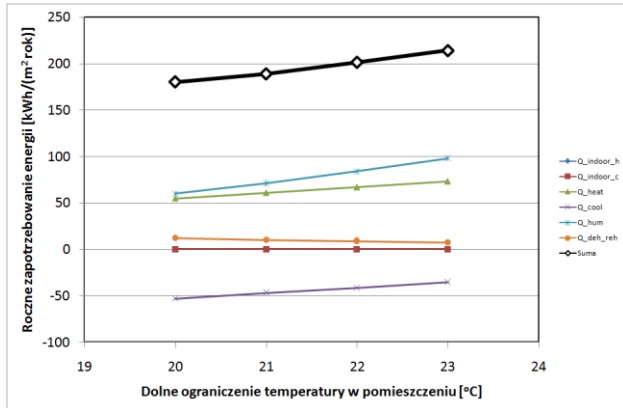
W wariant 2 przyjęto system klimatyzacji powietrznej, co skutkuje zwiększeniem całkowitego strumienia powietrza do wartości 60000 m³/h. Założono, że budynek pozbawiony jest systemu centralnego ogrzewania, a ogrzewanie dyżurne zapewnia wentylacja z ogrzewaniem powietrza (~ 1 h⁻¹). Przyjęto, że temperatura powietrza nawiewanego może się zmieniać w zakresie 16÷36 °C. Pomimo zastosowania wymiennika do odzyskiwania ciepła o dużej sprawności uzyskano znacznie wyższe wartości rocznego zużycia energii ~200 kWh/(m² rok).

Charakter zależności obrazujących wpływ ograniczeń temperatury w pomieszczeniu na zużycie energii jest zbliżony do wariantu 1. Jednakże ze względu na 3-krotne zwiększenie strumienia powietrza wentylacyjnego zmiany nastaw o 1 K prowadzą do znacznie większych różnic w zużyciu energii.

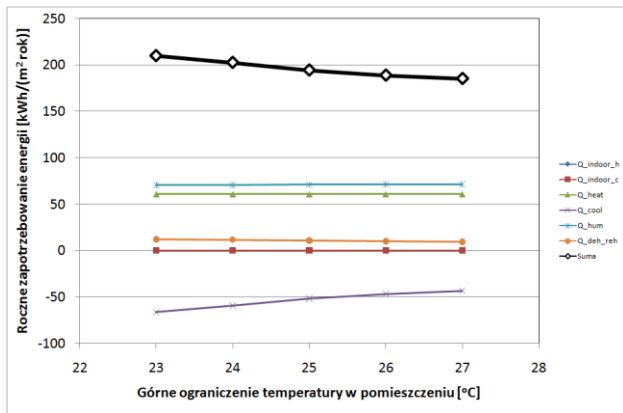
Podwyższenie dolnego ograniczenia temperatury o 1 K powoduje wzrost rocznego zużycia energii o ok. 9÷13 kWh/(m² rok), a ograniczenie górnego zakresu temperatury o 1 K wzrost od 3,5 do 7,5 kWh/(m² rok) w zależności od temperatury powietrza, do której odnoszony jest przyrost.

W wariant 2 uzyskano także zbliżone do wariantu 1 zależności dotyczące wpływu wilgotności na zużycie energii, ale wartości zmian zużycia energii są bardzo duże. Zapewnienie nawilżania powietrza do wilgotności względnej w pomieszczeniu równej 20% wymaga dodatkowego zużycia energii 5,3 kWh/(m² rok), ograniczenie do wartości 30% to 29,2 kWh/(m² rok), a do wartości wilgotności względnej 40% to 71,2 kWh/(m² rok).

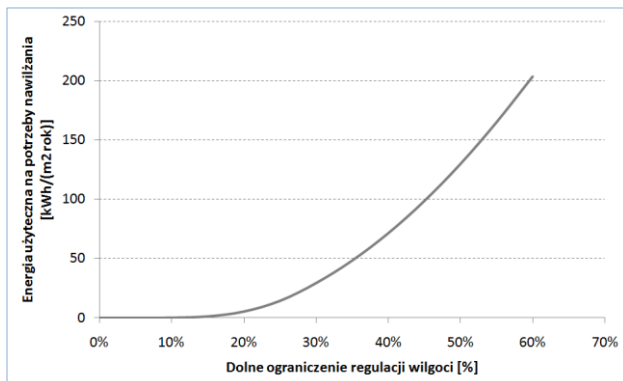
Jeszcze większe dodatkowe zużycie energii wywoływane jest przez chęć niedopuszczenia do pojawiania się nadmiernej wilgotności powietrza w pomieszczeniach. ograniczenie wilgotności do 70% to dodatkowe zużycie ~18 kWh/(m² rok), do 60% to dodatkowe zużycie 79 kWh/(m² rok), a do 50% to dodatkowe zużycie aż 236 kWh/(m² rok)!



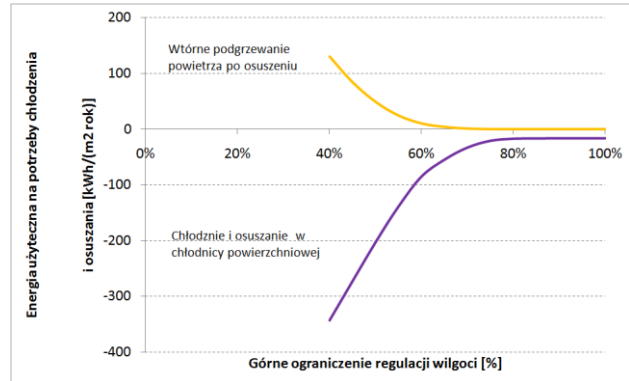
Rys. 6. Wpływ dolnego ograniczenia temperatury powietrza w pomieszczeniach na roczne zużycie energii (wariant 2).
Fig. 6. The influence of lower limit of indoor air temperature on annual energy use (option 2).



Rys. 7. Wpływ górnego ograniczenia temperatury powietrza w pomieszczeniach na roczne zużycie energii (wariant 2).
Fig. 7. The influence of upper limit of indoor air temperature on annual energy use (option 2).



Rys. 8. Wpływ dolnego ograniczenia regulacji wilgotności na roczne zużycie energii (wariant 2).
Fig. 8. The influence of lower limit of relative humidity on annual energy use (option 2).



Rys. 9. Wpływ górnego ograniczenia regulacji wilgotności na roczne zużycie energii (wariant 2).
Fig. 9. The influence of upper limit of relative humidity on annual energy use (option 2).

W wariantcie 3 przyjęto system klimatyzacji powietrznej, zbliżony do wariantu 2, ale w miejsce wymiennika do odzysku ciepła jawnego zastosowano recykulację powietrza obiegowego. Ze względu na chęć utrzymywania jakości powietrza wewnętrznego porównywalnej z innymi wariantami przyjęto, że maksymalny udział powietrza obiegowego nie może przekroczyć 66,7%.

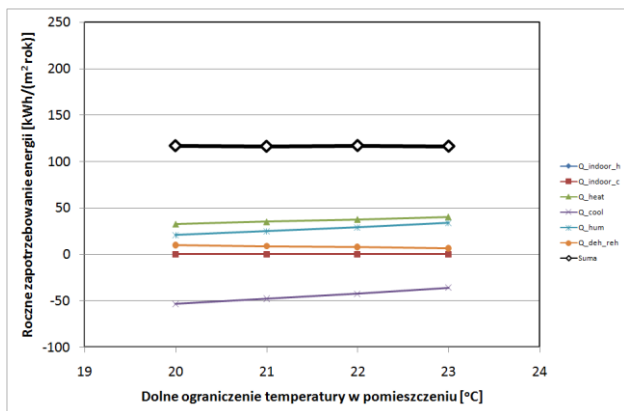
Ponieważ recykulacja umożliwia odzyskiwanie zarówno ciepła jawnego jak i utajonego (wilgoci) roczne zużycie energii dla tego wariantu są mniejsze niż w wariantcie 2 i wynosi ok. 120 kWh/(m² rok).

Przy przyjętych założeniach symulacja wykazała, że jakkolwiek zużycie energii na różne procesy klimatyzacyjne nieznacznie się zmienia wraz ze zmianą dolnego ograniczenia temperatury w pomieszczeniu to sumaryczne zużycie energii praktycznie pozostaje stałe (rys. 10). Zmiana górnego ograniczenia wpływa na zużycie energii w większym stopniu. Zmiana górnego ograniczenia temperatury powietrza o 1K powoduje zmianę rocznego zużycia energii w zakresie 4÷6 kWh/(m² rok).

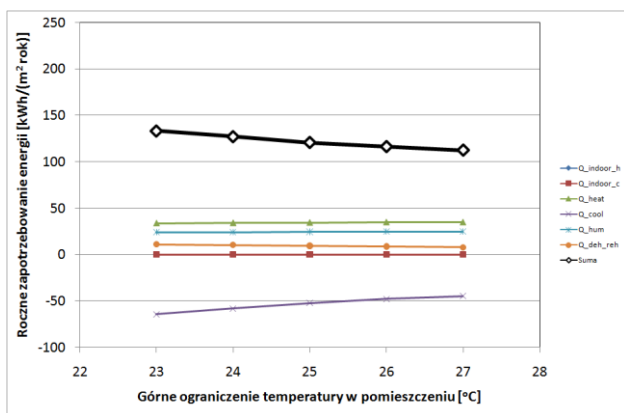
Wzmiankowany już odzysk ciepła utajonego wpłynął na mniejsze w stosunku do wariantu 2 zużycie energii na cele nawilżania powietrza (rys. 12).

Zapewnienie nawilżania powietrza do wilgotności względnej w pomieszczeniu równej 20% wymaga dodatkowego zużycie energii 1,5 kWh/(m² rok), ograniczenie do wartości 30% to 10 kWh/(m² rok), a do wartości wilgotności względnej 40% to 25 kWh/(m² rok).

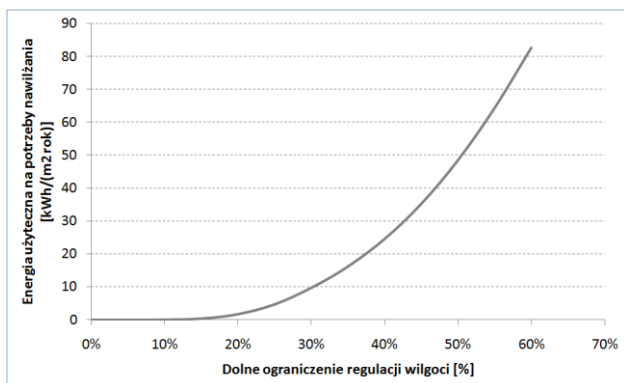
Odzyskiwanie chłodu i osuszanie powietrza poprzez mieszanie z bardziej suchym powietrzem usuwanym z pomieszczeń jest uzasadnione jedynie w ciągu niewielkiego okresu w roku. Sprawia to, iż rys. 9 i 13 przedstawiające dodatkowe zużycie energii na cele osuszania wariantcie 2 i 3 są bardzo podobne.



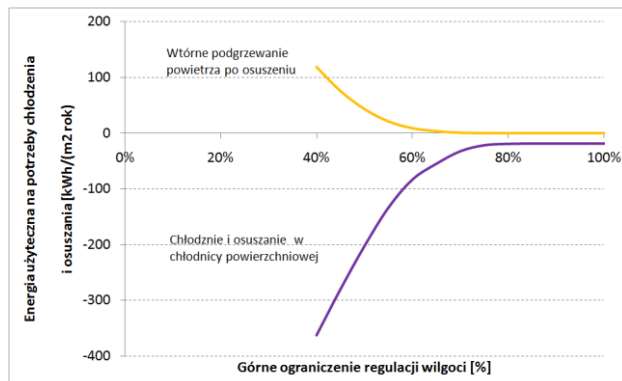
Rys. 10. Wpływ dolnego ograniczenia temperatury powietrza w pomieszczeniach na roczne zużycie energii (wariant 3).
Fig. 10. The influence of lower limit of indoor air temperature on annual energy use (option 3).



Rys. 11. Wpływ górnego ograniczenia temperatury powietrza w pomieszczeniach na roczne zużycie energii (wariant 3).
Fig. 11. The influence of upper limit of indoor air temperature on annual energy use (option 3).



Rys. 12. Wpływ dolnego ograniczenia regulacji wilgotności na roczne zużycie energii (wariant 3).
Fig. 12. The influence of lower limit of relative humidity on annual energy use (option 3).



Rys. 13. Wpływ górnego ograniczenia regulacji wilgotności na roczne zużycie energii (wariant 3).
Fig. 13. The influence of upper limit of relative humidity on annual energy use (option 3).

Przedstawione analizy wykazały dość duże zróżnicowanie w rocznym zużyciu energii pomiędzy analizowanymi systemami klimatyzacji. W zakresie swobodnych zmian temperatury 21÷26 °C i swobodnych zmian wilgotności względnej powietrza w zakresie 40-60%, roczne zużycie energii wyniosło od 81,5 kWh/(m² rok) w systemie dwuczynnikowym, poprzez 116,3 kWh/(m² rok) w systemie powietrznym z recykulacją powietrza aż do 189 kWh/(m² rok) w systemie z odzyskiem jedynie ciepła jawnego.

Uzyskane zależności przedstawiające wpływ zmian przyjmowanych parametrów na zużycie energii pod względem jakościowym są podobne w analizowanych systemach. Pod względem ilościowym występują jednak dość znaczne różnice.

Przeprowadzone analizy wykazały, iż największy wpływ na roczne zużycie energii może mieć decyzja o regulowaniu wilgotności powietrza w pomieszczeniach.

Aby spełnić wymagania polskie odnośnie wilgotności powietrza ([9] i [10]) należałoby utrzymywać w analizowanym budynku wilgotność względną w zakresie 40÷55%.

Przyjmując, wymagania europejskie dla nowo wznoszonych obiektów, w których nie przebywają osoby szczególnie wrażliwe pod względem środowiskowym zakres zmienności wilgotności mógłby zostać rozszerzony do 25÷60 %.

Konsekwencje energetyczne takich założeń przedstawiono w tabeli 3. Można zaobserwować, że aby spełnić wymagania polskie należy zużyć 4÷6 razy więcej energii niż przy spełnianiu wymagań europejskich. Jednocześnie raz jeszcze można zaobserwować bardzo istotne różnice pomiędzy poszczególnymi wariantami. Szczególnie niekorzystnie wypada na tym tle system klimatyzacji powietrznej z odzyskiem ciepła jawnego w okresie zimowym. Zużycie energii na cele regulacji wilgotności jest 8÷13 razy większe w porównaniu do systemów alternatywnych.

Tabela 3. Porównanie dodatkowego rocznego zużycia energii przez analizowane systemy przy spełnieniu wymagań polskich i europejskich odnośnie wilgotności powietrza.

Table 3. The comparison of additional annual energy use in analyzed systems if Polish or European requirements regarding air humidity are met.

Analizowany wariant	Dodatkowe roczne zużycie energii przy spełnieniu wymagań odnośnie wilgotności powietrza. kWh/(m ² rok)	
	Wymagania EN 15251	Wymagania PN-78/B-03421
Wariant 1	4,3	26,2
Wariant 2	56,9	218,3
Wariant 3	4,7	24,6

5. PODSUMOWANIE

Metoda godzinowa 6R1C + AHU umożliwia szeroką analizę zużycia energii w budynkach wraz ze zużyciem energii na przygotowanie powietrza w centralach klimatyzacyjnych. Możliwe jest także analizowanie zachowania się budynków pozbawionych aktywnych systemów kształtujących środowisko wewnętrzne np. analizy cieplne budynków pozbawionych chłodzenia w okresie letnim.

W artykule wykazano w jaki sposób metoda 6R1C + AHU może być wykorzystania do wstępnego wyboru systemu klimatyzacji oraz do dokonania świadomego wyboru parametrów powietrza w pomieszczeniach. Jest to szczególnie ważne gdyż w artykule wykazano, że różnice w zużyciu energii pomiędzy różnymi systemami mogą być bardzo istotne.

Przeprowadzone analizy wykazały, iż największy wpływ na roczne zużycie energii może mieć decyzja o regulowaniu wilgotności powietrza w pomieszczeniach.

Porównanie wymagań polskich i europejskich wskazuje, że wymagania polskie oparte na starszych badaniach dotyczących odczuwania komfortu, nie biorą pod uwagę aspektów energetycznych.

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

THE INFLUENCE OF ASSUMED RANGE OF INDOOR AIR PARAMETERS ON ANNUAL ENERGY USE

Summary: The paper discusses the influence of assumed range of indoor air temperature and relative humidity on annual energy use. In first part basic requirements related to indoor air parameters included in Polish and European standards have been presented. In order to formulate qualitative and quantitative conclusions the set of simulations of annual energy use in office building with regulated indoor parameters has been performed. The model 6R1C +AHU (model developed on 5R1C model described in standard EN ISO 13790:2007 and extended by modules analyzing performance of air handling unit) was used for simulations. The calculations were made with 1 hour time step. Analysis were performed for 3 different air-conditioning systems with constant air volume (CAV): dual mode air-water system, all air system with heat recovery and all air system with recirculation.

Literatura

- [1] EN 15241 *Ventilation for buildings – Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration in commercial buildings*
- [2] EN 15251, *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*
- [3] EN ISO 7730 *Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort*
- [4] EPBD, Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings
- [5] ISO-FDIS 13790: *Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*, ISO/TC 163/SC 2, 2007
- [6] Mijakowski M., Sowa J., Narowski P., *Godzinowa metoda obliczania zapotrzebowania na energię w systemach wentylacji i klimatyzacji* (artykuł przyjęty do druku w *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce* tom IV)
- [7] Narowski P., *Uproszczona metoda godzinowa obliczania ilości ciepła do ogrzewania i chłodzenia budynków*, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja; Wyd. SIGMA-NOT nr 1 2009
- [8] PN-76/B-03420 *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego*.
- [9] PN-78/B-03421 *Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*
- [10] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 1 grudnia 1998 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy na stanowiskach wyposażonych w monitory ekranowe. (Dz. U. Nr 148, poz. 973)