

Wewnętrzne urządzenia klimatyzacyjne w pomieszczeniach mieszkalnych – analiza możliwości zastosowania na przykładzie rzeczywistych rozwiązań

Indoor air-conditioning devices in residential apartments - analysis on the example of the use of real solutions

DOMINIKA STAWSKA, AGNIESZKA ZAJĄC

DOI 10.36119/15.2020.10.4

W artykule rozważono zastosowanie klimatyzacyjnych urządzeń indywidualnych w apartamentach mieszkalnych. Dla jednego pomieszczenia reprezentatywnego przeprowadzono analizę możliwości zastosowania klimakonwektorów wentylatorowych i belek aktywnych. Porównano ilość energii niezbędnej do przeprowadzenia procesów uzdatniania powietrza.

Słowa kluczowe: klimatyzacja, budownictwo wielorodzinne, klimakonwektor wentylatorowy, belki aktywne

The article considers the use of individual air-conditioning devices in residential apartments. For one representative room, an analysis of the possibility of using fan coils and active beams was carried out. The amount of energy required for air treatment processes was compared.

Keywords: air conditioning, multi-family housing, fan coils, active beams

Wstęp

W apartamentowcach mieszkalnych, w budynkach hotelowych czy biurowych znajduje się wiele pomieszczeń, które cechują się różnymi zyskami ciepła. Ze względu na konieczność stosowania coraz bardziej energooszczędnych rozwiązań niezbędne okazuje się wykonywanie analizy pracy urządzeń pod kątem zużycia energii, co pozwoli na wybór optymalnego rozwiązania. Różnice mające wpływ na zamiany w zużyciu energii, które należy uwzględnić w analizie, to zmiany: temperatury, wilgotności względnej, entalpii właściwej powietrza zewnętrznego, ciśnienia atmosferycznego, prędkości wiatru i natężenia promieniowania słonecznego [1]. Różnice w energochłonności pomieszczeń wynikają głównie z ich położenia w stosunku do kierunku świata, liczby osób w nich przebywających oraz zastosowanych urządzeń wewnętrznych generujących zyski ciepła. W wyniku wykonania obliczeń bilansowych zazwyczaj można zauważyć znaczące zróżnicowanie związane z zapotrzebowaniem na energię chłodniczą czy ciepłą w ciągu dnia w różnych pomieszczeniach. W takich obiektach rzadko można zastosować centralne systemy klimatyzacji

z jednostopniowym uzdatnianiem powietrza. Ze względu na inne zapotrzebowania na energię w tym samym czasie najlepszym rozwiązaniem w tego typu obiektach są systemy klimatyzacji z zastosowaniem wymienników ciepła w drugim stopniu uzdatniania – bezpośrednio w pomieszczeniach. Ten układ pozwala na uzyskanie w każdym z pomieszczeń wymaganych parametrów mikroklimatu, nawet jeśli w tym samym czasie w jednym pomieszczeniu konieczne jest chłodzenie, a w innym ogrzewanie [2].

Generalnie w każdym projekcie technicznym w obecnych czasach niezbędne jest zmniejszenie zużycia energii. Konieczność ta wynika zarówno z wymagań jakie stawia Unia Europejska, ale również z zasady zachowania zrównoważonego rozwoju, jak i zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska [3]. Najważniejszą zasadą jest zmniejszanie strat ciepła zimą, a latem ograniczenie zysków ciepła. Strumień ciepła jaki dostarczany jest w okresie letnim można zredukować przez zastosowanie zasłon okiennych (w postaci specjalnych tkanin lub ruchomych żaluzji), sterowanych automatycznie w zależności od kierunku padania promieni słonecznych lub przez zwiększanie akumulacyjności budyn-

ków. Jednym ze sposobów na spełnienie wymagań jest też wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii. Urządzenia, które będą stosowane w celu uzyskania komfortu w mieszkaniach muszą cechować się niską energochłonnością oraz wysoką efektywnością [3]. W przypadku apartamentów zapotrzebowanie na chłód wynosi od 50 do 120 W/m² [4].

Obecnie w budynkach istniejących, w przypadku braku możliwości zastosowania instalacji kanałowej, coraz częściej stosowane są systemy zdecentralizowane. W takim rozwiązaniu możliwe jest wykorzystanie odzysku ciepła (podgrzania powietrza) oraz jego filtracji [5]. Wpływa to na wyższość tego systemu w porównaniu z przewietrzaniem pomieszczeń. W każdym pomieszczeniu w ścianie zewnętrznej będzie znajdować się rekuperator lub mini centralka w pomieszczeniu lub mechaniczny system wyciągowy współpracujący z nawiewnikami okiennymi. Jednakże stosując to rozwiązanie w elewacji zewnętrznej budynku konieczne jest wykonanie licznych otworów w celu zamontowania tych urządzeń. Ze względu na zastosowanie rekuperacji w ścianie często nie ma możliwości zastosowania dodatkowych wymienników ciepła, a to wiąże się z koniecznością wyko-

rzystania centralnego ogrzewania w okresie zimowym. W okresie letnim, w celu usunięcia zysków ciepła, niezbędne będzie zastosowanie dodatkowych urządzeń np. klimatyzatorów. Do wad takiego rozwiązania można zaliczyć również brak możliwości i miejsca do zastosowania wysokowydajnych filtrów powietrza (elektrostatycznych, węglowych, itp.), tłumików hałasu oraz urządzeń do nawilżania powietrza. Wiąże się to z doprowadzeniem do pomieszczenia nieoczyszczonego w odpowiednim stopniu powietrza z zapachami i smogiem, zbyt wysokim poziomem hałasu w pomieszczeniach oraz niską zawartością wilgoci zimą, która może być m.in. przyczyną chorób górnych dróg oddechowych, migracji kurzu i ładunków elektrostatycznych. Do głównych zalet takiego rozwiązania można zaliczyć możliwość indywidualnego rozliczania kosztów użytkowych (eksploatacyjnych) przez właścicieli mieszkań. Wynika to z braku wspólnego systemu dystrybucji powietrza. Dodatkowo w układach tych możliwa jest realizacja wentylacji DCV umożliwiająca dopasowanie strumienia powietrza do potrzeb mieszkańców. W przypadku gdy dane pomieszczenie nie jest użytkowane system pozwala na zmniejszenie strumienia powietrza wentylującego. Dzięki temu możliwe jest ograniczenie wentylacyjnej straty ciepła oraz obniżenie kosztów uzdatniania. W porównaniu z systemami centralnymi ze zmiennym strumieniem powietrza VAV w rozwiązaniu tym nie trzeba stosować dodatkowych regulatorów przepływu i czujników ciśnienia. Układy te można wykorzystywać w obiektach termomodernizowanych, jak i obiektach energooszczędnych [5].

Wybór odpowiedniego systemu wentylacji i klimatyzacji to najważniejsza decyzja jaką musi podjąć projektant takiej instalacji. Mianowicie musi ona zapewnić komfort, a przy tym powinna być tak zoptymalizowana, aby zminimalizować zużycie energii [3]. Ważny jest również aspekt finansowy, dlatego dobrany układ nie powinien generować zbyt dużych kosztów inwestycyjnych, jak i eksploatacyjnych.

Urządzenia drugiego stopnia uzdatniania

W celu uzyskania odpowiednich parametrów w pomieszczeniach stosuje się zespoły urządzeń, które muszą cechować się energooszczędnością, ekologią i bezpieczeństwem podczas ich stosowania. Wśród systemów chłodniczych można wyróżnić systemy z bezpośrednim odparowaniem oparte na pracy z czynnikami gazowymi lub z wymiennikami pośrednimi, w których ziębiwem jest woda lub wodny r-r glikolu [6]. Jednym ze sposobów na chłodzenie pomiesz-

czeń jest zastosowanie systemu z bezpośrednim odparowaniem, dzięki czemu można się pozbyć dodatkowych wymienników i płynu pośredniczącego. W celu asymilacji zysków ciepła z pomieszczenia stosuje się klimatyzatory (kompaktowe, splity, multisplity), roooftopy czy systemy bezpośrednie ze zmiennym przepływem czynnika VRF [7].

Rozwiązanie typu split (klimatyzator w każdym pomieszczeniu) jest najpopularniejszym, co wynika głównie z niższych kosztów inwestycyjnych, którymi kierują się inwestorzy. Często pomijany jest fakt, że w skład każdego urządzenia wchodzi skraplacz, który generuje duże zyski ciepła. Zauważalną wadą takiego rozwiązania jest konieczność wyprowadzenia skraplaczy od każdego klimatyzatora na zewnątrz i zamontowanie ich po zewnętrznej stronie budynku. Nieumiejętne ukrycie tych skraplaczy prowadzi do nieestetycznego wyglądu budynku i podniesienia poziomu hałasu w jego otoczeniu.

Lepszym rozwiązaniem może okazać się zatem zastosowanie kilku jednostek wewnętrznych połączonych z jedną jednostką zewnętrzną. Wyróżnia się systemy multisplit, gdzie przewody od jednostki zewnętrznej do poszczególnych urządzeń chłodniczych (wewnętrznych) doprowadzane są osobno oraz VRF zmiennego przepływu czynnika chłodniczego, w których instalacja łączona jest przy pomocy trójników lub rozdzielaczy. Zwiększa to efektywność energetyczną, ale koszty inwestycyjne są znacznie większe. Wśród systemów VRF można wymienić dwu lub trzyrurowe [7]. Zaletą wyboru systemów VRF są mniejsze średnice przewodów instalacji chłodniczej dzięki możliwości założenia niejednoczesności pracy jednostek wewnętrznych. Jednocześnie jeden system może chłodzić lub ogrzewać pomieszczenia a nawet odzyskiwać ciepło (przekazywać je) pomiędzy nimi. Łatwiej i precyzyjniej można zatem uzyskać wymagane parametry w pomieszczeniach. Dużą zaletą jest też możliwość współpracy kilku jednostek zewnętrznych. Przy wyborze tego systemu trzeba pamiętać, już na etapie projektu, o zachowaniu odległości (poziomej i w pionie) między jednostką wewnętrzną a zewnętrzną oraz między samymi jednostkami wewnętrznymi.

W obecnych rozwiązaniach z bezpośrednim odparowaniem coraz częściej stosowany jest R32 do małych jednostek z niewielkim napełnieniem (do ok. 1,8 kg i mocy chłodniczej 9 kW), a dla większych jednostek czynnik R410A. Zastosowanie systemu multisplit lub VRF jest więc ograniczone ze względu na rodzaj i ilość f-gazu znajdującego się wewnątrz układu chłodniczego (tzw. zład instalacji). W każdej chwili istnieje ryzyko rozszczelnienia instalacji. Wówczas zastosowany gaz spowoduje wyparcie tlenu

z pomieszczenia, w którym nastąpiło jego uwolnienie. Taka sytuacja stwarza warunki palne i wybuchowe, czyli zagrażające życiu i zdrowiu ludzi. Inną wadą zastosowania układów rozbudowanych na R410A jest konieczność wymiany całego f-gazu, gdy nastąpi jego ubytek, co wiąże się z wysokimi kosztami [6]. W celu zmniejszenia wpływu czynników na emisję substancji niszczących ozon oraz powodujących wzrost efektu cieplarnianego stale podejmuje się poszukiwanie czynników, które byłyby bezpieczne dla środowiska, a przy tym możliwa byłoby do uzyskania jak największa wydajność urządzeń.

Zamiast klimatyzatorów można zastosować indywidualne pompy ciepła. Wśród zalet tych rozwiązań można wyróżnić mniejsze napełnienie f-gazem (np. w porównaniu z układami multisplit) oraz możliwość chłodzenia i ogrzewania za pomocą jednego urządzenia. System pozwala na niezależność pomieszczeń od pozostałej części budynku, dzięki czemu można odpowiednio wyregulować parametry według indywidualnych obciążeń cieplnych. Jednakże, tak jak w przypadku klimatyzatorów, do każdej pompy ciepła konieczne jest zamontowanie skraplacza chłodzonego powietrzem, który będzie musiał znaleźć się na zewnątrz budynku.

Rozwiązaniem, które w znacznym stopniu ogranicza wykorzystanie czynników chłodniczych, są układy pośrednie. W porównaniu z układami bezpośrednimi, gdzie f-gaz krąży w całej instalacji, to w układach pośrednich wykorzystywany jest on tylko w agregacie chłodniczym. Układy te są przyjazne środowisku, efektywne energetycznie i mogą konkurować z bardziej powszechnymi układami bezpośrednimi [8]. Jednakże następuje konieczność stosowania większej ilości elementów hydraulicznych niezbędnych do regulacji ilości płynącego ziębiwa w celu uzyskania wymaganej mocy chłodniczej [6].

Układy pośrednie znajdują swoje zastosowanie między innymi w obiektach o wielu pomieszczeniach, gdzie generowane są stosunkowo duże i zróżnicowane zyski ciepła. Jako urządzenia indywidualne wykorzystywane są klimakonwektory, belki lub stropy chłodzące. Do uzyskania wymaganych parametrów można wykorzystać powietrze recyrkulowane, nie zapominając o minimalnym strumieniu powietrza zewnętrznego na osobę. W tego typu obiektach można zastanowić się również nad układami wykorzystującymi zmienny strumień powietrza. W celu odpowiedniego wyboru należy przeanalizować cechy budynku oraz udział powietrza zewnętrznego w wentylującym.

Klimakonwektory można podzielić ze względu na sposób zasysania powietrza na indukcyjne lub wentylatorowe (fancoile). W pierwszych wykorzystuje się zjawisko

indukcji w celu wywołania przepływu powietrza, w drugim natomiast to wentylator zasysa powietrze obiegowe. Indukcja wykorzystana jest do zasiania powietrza obiegowego przez dostarczane powietrze zewnętrzne. W drugim rozwiązaniu zastosowany jest wentylator wyposażony w silnik elektryczny, który umożliwia zmianę prędkości obrotowej (posiada od 3 do 6 biegów, ale tylko trzy z nich można ustawić w klimakonwektorze). Im wyższy bieg tym urządzenie ma większą moc chłodniczą, ale generuje też większy poziom hałasu. Zadaniem klimakonwektorów jest uzdatnianie powietrza obiegowego tak, aby asymilować zyski ciepła lub pokryć jego straty w pomieszczeniu. To one odpowiadają za uzyskanie zadanych parametrów w pomieszczeniu, dzięki czemu układ ten jest bardzo elastyczny w stosunku do różnych wymagań [2,9,10]. Za dostarczenie ziębiwa (wody, wodnego r-ru glikolu) odpowiada układ centralny znajdujący się w maszynowni chłodniczej, skąd ziębiwo jest rozprowadzane po budynku.

Ziębiwo nie musi być jednak produkowane tylko centralnie. Znany jest system hybrydowy łączący układ chłodzenia bezpośredni z pośrednim. Z systemu VRF została wykorzystana automatyka i sposób pracy sprężarek, a z zalet systemu wodnego wykorzystano możliwość uzyskania większej mocy i precyzyjniejszej temperatury [15]. Wykorzystanym w tym układzie czynnikiem może być R32 ze względu na mniejszą długość rurociągów gazowych. Ziębiwo przygotowywane jest w specjalnych rozdzielaczach z wymiennikami umieszczonych np. w korytarzach na poszczególnych piętrach, a w mieszkaniach zastosowane są urządzenia pośrednie np. klimakonwektory wentylatorowe [7]. Układ może pracować zarówno w trybie grzania, jak i chłodzenia.

Innym rozwiązaniem opartym na układzie pośrednim są belki aktywne/pasywne lub stropy chłodzące. Zasada ich działania jest oparta na procesie promieniowania, w którym schłodzona belka lub strop powoduje obniżenie temperatury. Belki pasywne służą tylko do chłodzenia powietrza w pomieszczeniu przez przepływ zimnego powietrza w kierunku podłogi ze względu na wzrost jego gęstości. Urządzenia te mogą być widoczne lub ukryte w stropie, a napływ powietrza realizowany jest od góry. W belkach aktywnych możliwe jest zapewnienie dostarczenia strumienia higienicznego, jak i ogrzania lub ochłodzenia powietrza obiegowego. Zasada działania tych urządzeń polega na zasysaniu powietrza obiegowego przez wypyływający z dysz strumień powietrza zewnętrznego, wykorzystując zjawisko indukcji. Powietrze obiegowe jest ogrzewane lub ochładzane, a po zmieszaniu z zewnętrznym doprowadzane jest do pomieszczenia [2,9].

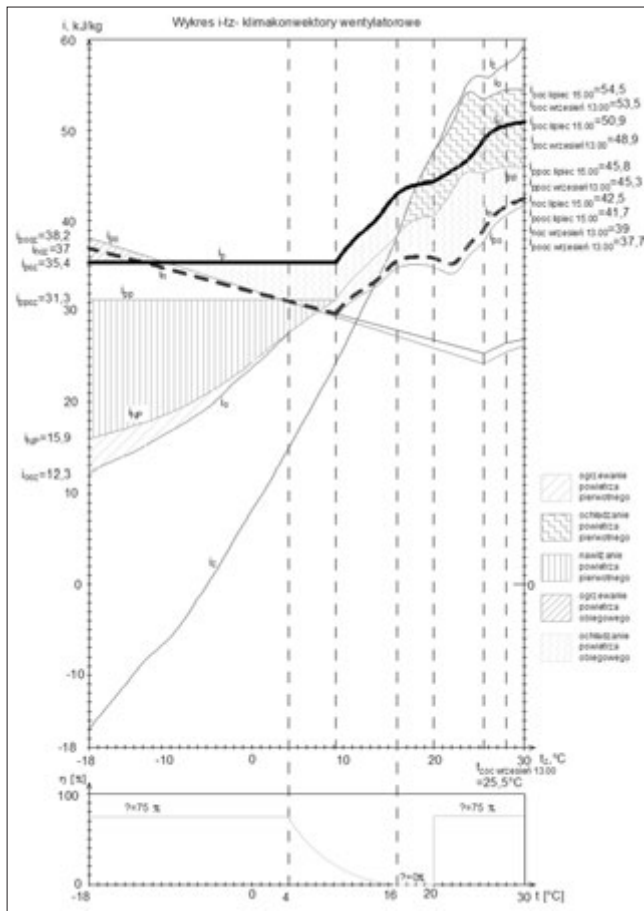
Omawiając zalety i wady urządzeń drugiego stopnia uzdatniania należy jeszcze zwrócić uwagę na zawartość wilgoci w pomieszczeniach typu mieszkalnego. Nieumiejętne przyjęcie temperatury zasilania ziębiwa lub temperatury odparowania f-gazu, przy wysokiej zawartości wilgoci w pomieszczeniu (od suszenia prania, gotowania, częstych kąpiei i podlewania kwiatów), doprowadzi do wykroplenia tej wilgoci na powierzchni chłodnicy. Gdy wykroplenie następuje w centrali powietrza zewnętrznego, klimakonwektorze wentylatorowym czy klimatyzatorze split to odprowadzenie tej wilgoci następuje z zamontowanych w urządzeniach tac za pomocą pompki skroplin. Natomiast gdy do wykroplenia dojdzie w belce lub na stropie chłodzącym, to wiąże się to z możliwością zniszczenia konstrukcji budynku i spadającymi kroplami z sufitu. W rozwiązaniu z belkami za usunięcie wilgoci częściowo odpowiada powietrze pierwotne, które chłodzone i osuszane jest w chłodnicy centralnej. Możliwość osuszenia powietrza zależy będą od temperatury ścianki chłodnicy oraz od strumienia powietrza. Wybierając w projekcie belki chłodzące, należy więc szczególnie zwrócić uwagę na zabezpieczenie przed wykropleniem (zabezpieczenie temp. punktu rosy) czy przed otwieraniem okien zewnętrznych np. przy burzy.

Analiza porównawcza urządzeń indywidualnych

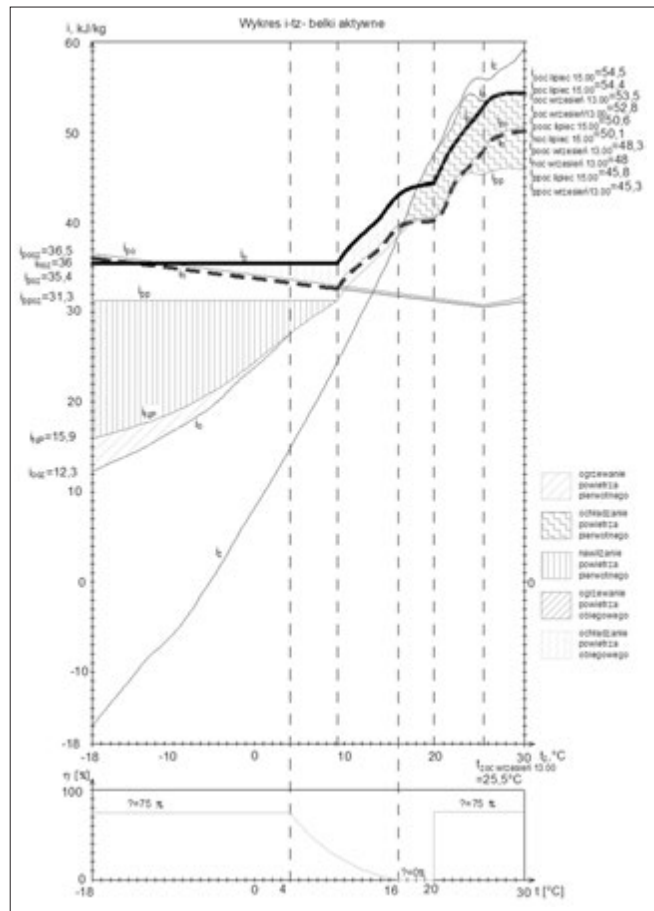
W omawianym przykładzie za priorytet uznano utrzymanie wilgotności względnej na minimalnym poziomie 40% w ciągu całego roku. Wiąże się to z koniecznością nawilżania powietrza pierwotnego w okresie zimowym, dlatego analizę przeprowadzono w oparciu o system centralny dwustopniowy. Jednocześnie należy zwrócić uwagę, że to inwestor z projektantem decydujący, który z systemów (zdecentralizowany/centralny) zastosują w danym obiekcie, przy uwzględnieniu możliwości architektonicznych i budowlanych. Porównania rozwiązań dokonano dla reprezentatywnego pomieszczenia mieszkalnego znajdującego się w apartamentowcu na drugim (środkowym) piętrze ze ścianą zewnętrzną od strony południowej. Dobrano do niego jeden klimakonwektor wentylatorowy kanałowy przykładowego producenta [16] pracujący na środkowym biegu, o strumieniu powietrza obiegowego 500 m³/h. Na podstawie programu doborowego innego producenta [17] dobrano dwie belki aktywne czterorurkowe, strumień powietrza obiegowego dla jednej belki 550 m³/h. Rozważono klimakonwektory wentylatorowe pracujące na parametry

czynnika grzejnego 50/45°C, i chłodziwa 10/15°C oraz belki aktywne pracujące na parametry czynnika grzejnego 55/45°C, i chłodziwa 14/17°C. W obu rozwiązaniach różnica temperatury między temperaturą w pomieszczeniu, a powietrza pierwotnego wynosi 4K i powietrze zewnętrzne dostarczane jest na tłoczenie. Katalogowa moc chłodnicza klimakonwektorów wentylatorowych jest większa od belek, dlatego w celu osiągnięcia wymaganych parametrów wystarczy zastosowanie jednego urządzenia do pomieszczenia, gdy w przypadku belek konieczne są już dwa urządzenia, dla których wymagane jest zachowanie odległości (zasięgu) między urządzeniami. Pod względem architektonicznym i wystroju wnętrz łatwiej wykonać instalację dla klimakonwektorów wentylatorowych. Belki muszą być zamontowane w obsługiwany przez nie pomieszczeniu, natomiast klimakonwektory kanałowe nie muszą się w nim znajdować (można zamontować je nad korytarzem / przedpokojem lub w łazience). Dzięki czemu nie ma konieczności montażu sufitu podwieszanego na powierzchni całego pomieszczenia. Większa ilość urządzeń jest jednoznaczna z wyższymi kosztami montażu i serwisu.

W belkach w celu uzyskania wymaganej mocy urządzeń na dyszach konieczne jest osiągnięcie spadku ciśnienia na poziomie 90 Pa oraz stopnia indukcji 10,2. Niezwykle ważne jest uzyskanie jak najmniejszych oporów i nieprzekroczenie dopuszczalnych wartości hałasu, co również wpływa na wielkość urządzenia. W klimakonwektorach wentylatorowych kanałowych zamontowany jest wentylator, który wywołuje przepływ powietrza dzięki czemu nie ma konieczności uzyskania odpowiedniego stopnia indukcji, a moc urządzenia może być zmieniona dzięki zmianie prędkości obrotowej urządzenia. Porównując oba urządzenia, dzięki zastosowaniu odpowiedniej wielkości belek aktywnych oraz kanałów akustycznych i pozostałych elementów tłumiących przy klimakonwektorach wentylatorowych, żadne z tych urządzeń nie przekroczy dopuszczalnej wartości hałasu. Wadą klimakonwektorów wentylatorowych jest niestety większe zużycie energii w porównaniu z belkami. Urządzenia centralne pracują z taką samą mocą, różnice można zaobserwować przy urządzeniach indywidualnych. Konieczność ogrzewania pomieszczenia w obu przypadkach następuje do temperatury zewnętrznej ok. -9°C. Powyżej tej temperatury pomieszczenia będą chłodzone przez urządzenia drugiego stopnia uzdatniania. Różnice w zużyciu energii wynikają przede wszystkim w różnicy strumieni obiegowych. Dla klimakonwektora wentylatorowego wynosi on 500 m³/h, natomiast w celu dostarczenia



Rys. 1.
Wykres i-tz przy zastosowaniu klimakonwektora wentylatorowego
Fig. 1. i-tz diagram when using a fan coil



Rys. 2.
Wykres i-tz przy zastosowaniu belek aktywnych
Fig. 2. i-tz diagram when using active beams

110 m³/h powietrza pierwotnego jedna belka indukcyjna 550 m³/h. Strumień obiegowy dla belek jest więc ponad dwukrotnie większy. Do każdej z belek doprowadzona jest połowa strumienia powietrza pierwotnego przypadająca na to pomieszczenie. Temperatura powietrza obiegowego jest wyższa latem, a niższa zimą dla belek, dzięki czemu urządzenie to zużywa mniej energii.

Wyraźnie można to zaobserwować na zatoczonych wykresach i-tz. Na podstawie tych wykresów oraz danych dotyczących czasu występowania temperatury powietrza zewnętrznego dla Wrocławia, dla urządzenia pracującego cały rok, określano ilość zużywanej energii grzewczej i chłodniczej dla centrali i urządzeń indywidualnych. Na podstawie wykonanych wykresów określono moc urządzeń w przedziałach dwustopniowych. Według [11] określono czas trwania temperatury zewnętrznej dla urządzeń pracujących w ciągu całego roku.

Oznaczenia na rysunku 1 oraz 2:

- i_z – entalpia właściwa powietrza zewnętrznego; kJ/kgK,
- i_o – entalpia właściwa powietrza za wymiennikiem do odzysku ciepła: w okresie zimowym i_{ooz} i w okresie letnim i_{ooc} ; kJ/kgK,

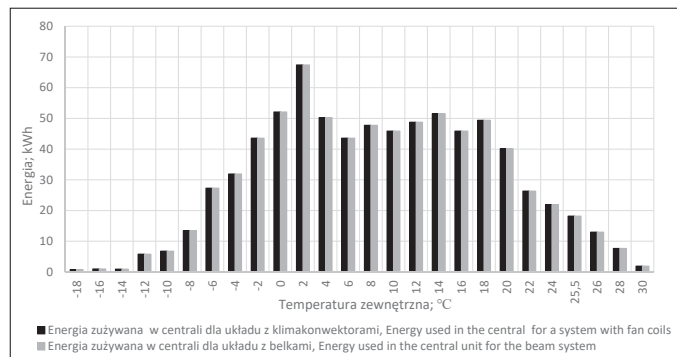
- i_p – entalpia właściwa powietrza w pomieszczeniu: w okresie zimowym i_{poz} i w okresie letnim i_{pocz} ; kJ/kgK
- i_n – entalpia właściwa powietrza nawiewanego: w okresie zimowym i_{noz} i w okresie letnim i_{noc} ; kJ/kgK
- i_{po} – entalpia właściwa powietrza obiegowego: w okresie zimowym i_{pooz} i w okresie letnim i_{pococ} ; kJ/kgK
- i_{pp} – entalpia właściwa powietrza pierwotnego: w okresie zimowym i_{ppoz} i w okresie letnim i_{ppoc} ; kJ/kgK
- i_{Np} – entalpia właściwa przed procesem nawilżania parowego; kJ/kgK
- μ – sprawność odzysku ciepła; %
- t_z – temperatura zewnętrzna.

Utrzymanie temperatury i wilgotności w pomieszczeniu realizowane jest za pomocą centrali i urządzeń indywidualnych. Dzięki nim uzyskiwane są odpowiednie parametry mikroklimatu w pomieszczeniu. Latem w wymienniku ciepła następuje wstępne ochłodzenie powietrza zewnętrznego przez strumień powietrza usuwanego. Gdy wartość temperatury powietrza wywiewanego jest większa od zewnętrznej, odzysk ciepła nie pracuje. Następnie uzdatniane powietrze jest chłodzone i osuszone w chłodnicy centralnej

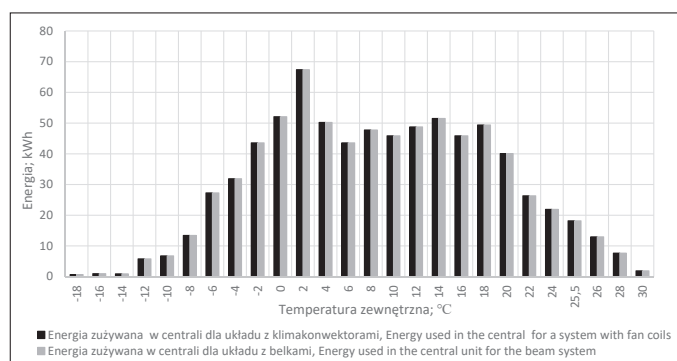
do osiągnięcia temperatury i wilgotności względnej powietrza pierwotnego. Temperatura ta uzyskiwana jest tak, aby utrzymać stałą wartość 4 K różnicy między powietrzem w pomieszczeniu a powietrzem pierwotnym. W urządzeniu indywidualnym następuje ochłodzenie (w klimakonwektorze również osuszenie) i zmieszanie powietrza pierwotnego z obiegowym do temperatury nawiewu, dzięki której zostaną uzyskane wymagane parametry w pomieszczeniu. Zimą przebieg procesów jest podobny, centralnie powietrze jest ogrzewane i nawilżane, a indywidualnie ogrzewane lub chłodzone w zależności od zysków ciepła w pomieszczeniu. Zimą powietrze zewnętrzne zostaje wstępnie ogrzane przez wymiennik pracujący z maksymalną sprawnością. Następnie za pomocą nagrzewnicy centralnej uzyskuje temperaturę powietrza pierwotnego. W każdym mieszkaniu następuje zmieszanie powietrza pierwotnego z ogrzonym lub ochłodzonym w urządzeniu indywidualnym powietrzem obiegowym tak, aby zostały uzyskane zadane parametry w pomieszczeniu. Praca nagrzewnicy lub chłodnicy klimakonwektora wentylatorowego lub belki aktywnej zależy od aktualnych zysków lub strat ciepła w pomieszczeniu. W okresie

zimowym konieczna jest praca nagrzewnicy, gdy w pomieszczeniu niezbędna jest kompensacja strat ciepła. Gdy zyski ciepła w pomieszczeniu wzrosną, zostaje załączona chłodnica. W wyniku wzrostu temperatury powietrza zewnętrznego moc nagrzewnicy centralnej maleje aż do temperatury zewnętrznej ok. 9°C, kiedy to zostaje wyłączona. Odzysk ciepła pracuje wówczas z maksymalną sprawnością, ale powyżej tej temp. ulega stopniowemu zmniejszaniu aż do ok. 16°C. Powietrze pierwotne w tym zakresie temperatur uzyskuje wymaganą temperaturę tylko za pomocą odzysku ciepła. Od tego momentu rozpoczyna się praca chłodnicy w centrali. Do temperatury zewnętrznej 20°C stosowanie odzysku ciepła jest nieopłacalne wówczas temperatura powietrza za wymiennikiem równa się temperaturze powietrza zewnętrznego. Do temperatury zewnętrznej 20°C w pomieszczeniach utrzymywana jest stała temperatura, a w związku z tym stała jest również temperatura powietrza pierwotnego. W celu osiągnięcia wymaganych parametrów wilgotności względnej musi być ono nawilżone. W tym przypadku stosuje się nawilżanie parowe, a powietrze nawilżone do stanu wilgotności 40%. Operacja ta ma miejsce do temperatury zewnętrznej 9,2°C, wówczas są zachowane minimalne parametry mikroklimatu w pomieszczeniu. Od tego punktu dla wyższych temperatur zewnętrznych dopuszczony jest wzrost zawartości wilgoci do 60%. Latem odzysk ciepła wykorzystywany jest tylko, gdy temperatura powietrza za wymiennikiem jest niższa od temperatury zewnętrznej. Wówczas odzysk wraca do pracy z pełną sprawnością. Temperatura powietrza w pomieszczeniu, aż do uzyskania 24°C, czyli do temperatury zewnętrznej 28°C, jest temperaturą nadążną. Od tego punktu temperatura powietrza w pomieszczeniu ma być utrzymywana na stałym poziomie 24°C. W związku z tym również temperatura powietrza pierwotnego wzrasta wraz ze wzrostem temperatury powietrza zewnętrznego, a od temperatury zewnętrznej 28°C utrzymywana jest na stałym poziomie [12].

Na rysunku 3 i 4 zamieszczono wykresy zużycia energii do uzdatniania powietrza pierwotnego w centrali i powietrza obiegowego w urządzeniach indywidualnych. Przedstawione wyniki dotyczą jednego pomieszczenia umieszczonego na drugim piętrze od południowej strony świata. Całkowita ilość energii zużywana w ciągu roku dla układu z klimakonwektorami wentylatorowymi wynosi w przybliżeniu 5000 kWh, a dla belek 4500 kWh. Największe różnice w zużyciu energii występują w okresie przejściowym. Jednakże osiągnięte wyniki są bardzo porównywalne, a różnica ok. 500



Rys. 3. Porównanie zużycia energii w centrali
Fig. 3. Comparison of energy consumption by an air handling unit AHU



Rys. 4. Porównanie zużycia energii w urządzeniach indywidualnych
Fig. 4. Comparison of energy consumption by individual devices

kWh zużytej energii do ochładzania, osuszenia, ogrzewania i nawilżania powietrza nie jest wysoką. Bezpieczniej wydaje się wybór klimakonwektorów wentylatorowych, ponieważ w tych urządzeniach można wykorzystać energię utajoną i możliwe jest odprowadzenie skroplin. W porównaniu belki aktywne nie mogą korzystać z energii utajonej, ponieważ wykroplona wilgoć nie jest odprowadzana i może spowodować zniszczenie konstrukcji sufitu. W tym rozwiązaniu temperatura ścianki chłodnicy musi wynosić nie mniej niż 13°C [2], w analizowanym układzie przyjęto, że ją na poziomie 16°C. Dla klimakonwektora wentylatorowego temperatura ścianki chłodnicy wynosi ok. 13°C. W przypadku belek konieczne jest zamontowanie większej ilości urządzeń. Ze względu na mniejszą różnicę temperatur zasilania i powrotu dla belek strumień przepływu ziębiwa jest większy, a więc konieczne jest zastosowanie większych średnic przewodów. Mniejsze różnice temperatur w belkach stosowane są, aby zniwelować problem jakim jest obniżenie ich wydajności spowodowany wysokimi temperaturami zasilania. Na podstawie mocy katalogowej urządzenia dla temperatury zewnętrznej 30°C, różnicy temperatury ziębiwa, ciepła właściwego i gęstości dla glikolu propylenowego 30% określono strumień przepływu dla jednego klimakonwektora wentylatorowego i dwóch belek aktywnych. W celu porównania mocy pompy obiegowej założono, że straty ciśnienia będą równać się stratom na urządzeniu, a strumień przepływu do jednego mieszkania. Obieg dla klimakonwektorów wentylatorowych i belek aktywny pracuje na innych

parametrach niż agregat chłodniczy i chłodnica w centrali. Z tego względu moc niezbędną do zasilania w energię elektryczną pomp obiegowych w omawianym przykładzie (z uwzględnienia tylko strat na urządzeniu) dla klimakonwektora wentylatorowego wynosi 0,8 W, a dla dwóch belek aktywnych 3,2 W.

Porównano również moc wentylatora nawiewnego w centrali dla belek aktywnych oraz dla układu z klimakonwektorami wentylatorowymi z uwzględnieniem mocy wentylatora w tym urządzeniu. Strumień powietrza pierwotnego jest wartością wymaganą dla jednego mieszkania. Okazuje się, że moc wentylatora nawiewnego dla belek aktywnych jest większa. Wynika to z faktu konieczności uzyskania wymaganej spadku ciśnienia na dyszach (90 Pa). Dla strumienia powietrza pierwotnego dla tego mieszkania i założonego ciśnienia dyspozycyjnego 100 Pa, moc wentylatora w centrali dla układu z klimakonwektorami wentylatorowymi wyniesie 5 W, a dla układu z belkami 9,5 W. Jednakże trzeba pamiętać, że mocy elektrycznej wymaga sam klimakonwektor wentylatorowy i jest to wartość rzędu 71 W. Wybierając klimakonwektor wentylatorowy należy pamiętać, że mimo zmniejszenia mocy w urządzeniach głównych konieczne jest doprowadzenie energii elektrycznej do każdego urządzenia indywidualnego. Mimo tego wentylatory dają większą elastyczność regulacji ich mocy, co zapewni wyższy komfort użytkownikom [13]. Istnieje jednak możliwość oszczędzenia energii w tym urządzeniu przez regulację strumienia pierwotnego w zależności od ilości osób znajdujących się

w mieszkaniu. W tym celu należałoby zastosować czujniki obecności (czujniki stężenia CO₂). Dla belek aktywnych ze względu na zależność mocy od strumienia i nadwyżki ciśnienia nie zaleca się stosowania takiego systemu [13].

W rozwiązaniu z belkami aktywnymi konieczne jest również odwilżanie powietrza pierwotnego. Proces ten wynika z braku możliwości odprowadzenia wilgoci z belki. Związane jest to z osuszaniem do niskich temperatur w chłodnicy, a następnie podgrzaniem powietrza do wymaganych parametrów powietrza pierwotnego. Powoduje to wzrost zużycia energii przez urządzenie chłodnicze i centralę. Dla układów z belkami aktywnymi w centralach można też zastosować urządzenia do osuszania powietrza lub wymienniki z lamelami pokrytymi materiałem higroskopijnym. Pochłonięty kondensat przepływa do wnętrza wymiennika, gdzie odparowuje. Rozwiązanie to pozwala na czasowe obniżenie temperatury zasilania nawet 4 K poniżej punktu rosy. Innym sposobem na poradzenie sobie z problemem kondensacji są czujniki punktu rosy [9].

Podsumowanie

W artykule przedstawiono możliwości klimatyzacji pomieszczeń mieszkalnych w apartamentowcach. Zwrócono uwagę na układy zdecentralizowane i centralne w aspekcie utrzymania właściwego mikroklimatu tych pomieszczeń. Przedstawiono szereg urządzeń indywidualnych do zastosowania w drugim stopniu uzdatniania, czyli w pomieszczeniu. Przeanalizowano urządzenia z bezpośrednim odparowaniem oraz pracujące na czynnik pośredni. W ramach analizy, która została wcześniej wykonana na potrzeby pracy dyplomowej [12], porównano zużycie energii do uzdatniania powietrza w części centralnej i indywidualnej w dwóch rozwiązaniach: z klimakonwektorami wentylatorowymi i belkami chłodzącymi dla wytypowanego apartamentu.

Dla użytkowników obu z tych rozwiązań znajdzie się wiele zalet, zarówno związanych z komfortem (indywidualna regulacja), z możliwością ustawienia kąta napływu powietrza, estetyką i montażem urządzeń nawet w wąskich przestrzeniach, jak i z możliwością włączenia ich do systemu zarządzania budynkiem BMS. Maszynownie w obiektach, gdzie zastosowane zostaną powyższe rozwiązania, są znacznie mniejsze, ponieważ przepływa przez nie tylko powietrze pierwotne. Z tych samych względów ograniczone są również wymiary kanałów, co ułatwia ich prowadzenie w budynku. Dla matych układów powietrze nie musi być wywiewane, a odbywać się to może przez naciśnięcie [2,9].

Tabela 1. Porównanie klimakonwektorów wentylatorowych i belek aktywnych.
Table 1. Comparison of fan coil units and active beams

	Klimakonwektor wentylatorowy			Belki aktywne		
Strumień masowy czynnika pośredniczącego na zasilaniu	m _w	0,09	kg/s	m _w	0,16	kg/s
Strumień masowy czynnika pośredniczącego na powrocie	m _w	0,09	kg/s	m _w	0,16	kg/s
Moc chłodnicza	Qch	1,77	kW	Qch	1,82	kW
Ciepło właściwe czynnika na zasilaniu	Cp	3,87	kJ/kgK	Cp	3,85	kJ/kgK
Ciepło właściwe czynnika na powrocie	Cp	3,84	kJ/kgK	Cp	3,83	kJ/kgK
Obliczeniowa różnica temperatury między zasilaniem a powrotem	Δt	5,00	K	Δt	3,00	K
Strumień objętościowy czynnika pośredniczącego na zasilaniu	V	0,32	m ³ /h	V	0,55	m ³ /h
Strumień objętościowy czynnika pośredniczącego na powrocie	V	0,32	m ³ /h	V	0,55	m ³ /h
Gęstość czynnika na zasilaniu	ρ	1032,00	kg/m ³	ρ	1030,32	kg/m ³
Gęstość czynnika na powrocie	ρ	1029,90	kg/m ³	ρ	1029,06	kg/m ³
Straty ciśnienia dla 1 urządzenia	p	4,57	kPa	p	10,90	kPa
Moc pompy	N	0,40	W	N	1,66	W
Sprawność układu pompowego dla pompy 0,7, dla silnika 0,75	N	0,77	W	N	3,17	W
Zewnętrzne ciśnienie statyczne klimakonwektor/całkowita strata ciśnienia na belce	ESP	30,00	Pa	pt	90,00	Pa
Strumień powietrza obiegowego 1 urządzenia	V	498,00	m ³ /h	V	551,00	m ³ /h
Strumień powietrza pierwotnego dla wszystkich urządzeń w apartamentowcu	Vpp	108,00	m ³ /h	Vpp	108,00	m ³ /h
Założone ciśnienie dyspozycyjne wentylatora	p	0,10	kPa	p	0,10	kPa
Moc wentylatora nawiewnego w centrali dla wentylatora 0,75, dla silnika 0,8	N	5,00	W	N	9,50	W
Moc wentylatora dla klimakonwektora	N	71,00	W	-	-	W

Patrząc całościowo na układ z klimakonwektorami wentylatorowymi lub z belkami są to rozwiązania, w których można zastanowić się nad zastosowaniem swobodnego chłodzenia lub chłodzenia wysokotemperaturowego, gdzie temperatury ziębiwa na zasilaniu są wysokie. Pozwoli to na znaczne zmniejszenie zużycia energii. System z wysokimi parametrami znajduje zastosowanie głównie w budynkach o znacznym zróżnicowaniu na energię cieplną. Wówczas można wykorzystać ziębiwo o wyższej temperaturze powracające z pomieszczenia chłodzonego do ogrzania innego pomieszczenia. Oczywiście w rozwiązaniu takim możliwe jest tylko chłodzenie lub ogrzewanie [9].

Wybierając jedno z rozwiązań, należy zastanowić się nad indywidualnymi potrzebami obiektu, który będzie obsługiwany przez dane urządzenie. Przy wyborze belek trzeba zwrócić uwagę na konieczność zachowania stosunkowo wysokich parametrów dla ziębiwa (temperatura na zasilaniu musi być wyższa od temperatury punktu rosy - minimum 13 °C), tak aby nie doszło do kondensacji na ich powierzchni. Wpływa to również na konieczność przepływu przez wymiennik większego strumienia ziębiwa, żeby uzyskać założoną moc. W wyniku tego klimakonwektorów wentylatorowych nie ma takiej konieczności, ponieważ można zastosować tace ociekowe i odprowadzić skropliny grawitacyjnie lub za pomocą pompki skropliny [13].

LITERATURA

- [1] Dariusz Kwiecień, Wpływ wyboru statystycznych danych klimatycznych na zapotrzebowanie energii do uzdatniania powietrza klimatyzującego, INSTAL. 2020, 20 str. 30-38
- [2] Edward Przydróżny, Franciszek Ruszel, Klimakonwektory i belki chłodzące w systemach kli-

matyzacyjnych, Chłodnictwo i Klimatyzacja. 2007

- [3] Wojciech Cepiński, Maria Kostka, Agnieszka Zajac, Możliwości wykorzystania swobodnego chłodzenia w warunkach klimatycznych Polski, Eko-Dok. 2016, 103
- [4] Andrzej Grzebielec, Zapotrzebowanie na chłód przez budynki o przeznaczeniu mieszkaniowym, komercyjnym i przemysłowym, Nowa Energia. 2019, 2
- [5] Łukasz Amanowicz, Katarzyna Ratajczak, Edward Szczechowiak, Analiza możliwości stosowania systemu wentylacji zdecentralizowanej w budynkach edukacyjnych, INSTAL. 2019, 10 str. 20-25
- [6] Redakcja, Woda lodowa czy freon? Jaki system klimatyzacji będzie najlepszy?, www.budynkipodkontrola.pl. 2017
- [7] Marian Rubik, Bezpośrednie systemy ogrzewania i chłodzenia obiektów- układy VRF, Rynek Instalacyjny. 2019, 12
- [8] Wojtas Kazimierz, Systemy chłodzenia z cieczą pośredniczącą w energooszczędnych budynkach użyteczności publicznej, Rynek Instalacyjny. 2014, 3
- [9] Joanna Ryńska, Systemy wodno-powietrzne w klimatyzacji - belki chłodzące i klimakonwektory, Rynek Instalacyjny. 2017, 6 oraz 2018, 6
- [10] Joanna Ryńska, Klimakonwektory, Rynek Instalacyjny. 2017, 11
- [11] Agnieszka Zajac, Maria Kostka, Wojciech Cepiński. Czatoroczna analiza pracy urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, Air & Heat - Water & Energy. 2011
- [12] Dominika Stawska, Klimatyzacja pomieszczeń mieszkalnych w apartamentowcu we Wrocławiu, 2020
- [13] GRYFIT, Kazimierz Wojtas, Klimakonwektory wentylatorowe, Poradnik projektanta, CIAT. 2007
- [14] Kaliszczuk Arkadiusz, Klimakonwektory- sprytny sposób na ogrzewanie i chłodzenie, Magazyn Instalatora. 2018
- [15] Mitsubishi Electric, Karta katalogowa Hybrid VRF
- [16] Trane, Karta katalogowa klimakonwektorów Slim Line HFR
- [17] Lindab, Karta katalogowa belek aktywnych Premium