



Wpływ parametrów powietrza zewnętrznego na procesy uzdatniania w systemie klimatyzacji - ujęcie na wykresie Molliera

The influence of outside air parameters on the treatment processes in the air conditioning system - presented in the Mollier diagram



Mgr inż. Pamela Koszut

Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Krakowska



Dr inż. Jarosław Müller, prof. PK

ORCID ID: [0000-0001-6624-628X](https://orcid.org/0000-0001-6624-628X)
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Krakowska
jaroslaw.muller@pk.edu.pl

Słowa kluczowe: klimatyzacja, wentylacja, parametry powietrza zewnętrznego, wykres Molliera, procesy uzdatniania powietrza

Streszczenie

Zapewnienie warunków komfortu w budynkach jest jednym z głównych celów klimatyzacji. Parametry, które m.in. decydują o odczuciu komfortu, to temperatura powietrza oraz wilgotność względna. Centrala klimatyzacji w systemie uzdatniania powietrza służy do regulacji tych parametrów, jednak jej praca uwarunkowana jest stanem powietrza doprowadzanego do centrali. Projektowe warunki powietrza zewnętrznego, które przedstawiane są w normach, odnoszą się do stanu charakterystycznego dla danej strefy klimatycznej, co oznacza, że są wartości średnie statystyczne. W procesie projektowania parametry te przyjmuje się jako pojedynczy punkt na wykresie Molliera, odpowiadający najbardziej niekorzystnym warunkom zewnętrznym, przy których centrala wentylacyjna powinna zapewnić utrzymanie wymaganych parametrów powietrza wewnętrznego. W praktyce warunki powietrza zewnętrznego są zmienne w czasie i w niektórych przypadkach znacznie odbiegają od warunków projektowych. Zadaniem automatyki centrali klimatyzacyjnej jest dopasowanie przemian uzdatniania do zróżnicowanych parametrów powietrza trafiającego do systemu.

Niniejszy artykuł analizuje wpływ zmiennych parametrów powietrza zewnętrznego na procesy uzdatniania w systemie klimatyzacji sali audytorijnej. W opracowaniu odniesiono się do projektu instalacji klimatyzacji sali z nawiewem powietrza spod foteli i wywiewem przez kanały zlokalizowane pod stropem. Analiza została przeprowadzona na podstawie danych meteorologicznych obejmujących okres funkcjonowania obiektu i zilustrowana na wykresie Molliera. Wyznaczono punkty charakterystyczne i strefy, w których najczęściej występują parametry powietrza, a następnie oceniono przebiegi przemian w wybranych jednostkach centrali (wymiennik odzysku ciepła, chłodnica, nagrzewnica czy komora mieszania). Analiza wykazała konieczność uwzględnienia więcej niż jednego punktu obliczeniowego przy projektowaniu systemów klimatyzacyjnych.

Keywords: fair conditioning, ventilation, outdoor air parameters, Mollier diagram, air treatment processes

Abstract

Ensuring comfortable conditions in public buildings is one of the main goals of air conditioning. The parameters that primarily determine the feeling of comfort are temperature and relative humidity. The air handling unit (AHU) in the air treatment system regulates these conditions, but the operation of this part of the air conditioning system is determined by the condition of the air supplied to the AHU. Design outdoor air conditions presented in the literature refer to the conditions characteristic of a given climate zone, meaning they are statistical average values. In design practice, these values are treated as a single point on the Mollier diagram, representing the most unfavourable outdoor conditions that the system should handle. In practice, outdoor air conditions vary over time and, in some cases, significantly deviate from the design conditions. The task of the AHU automation system is to adapt the treatment processes to the varying parameters of the air entering the system.

This work analyses the impact of variable outdoor air parameters on the treatment processes in the air conditioning system of an auditorium. The study addressed the design of an installation in which a ventilation and air conditioning system was designed for a hall with air supply from under the seats and exhaust through the ceiling. The analysis was conducted based on meteorological data covering the facility's operational period and illustrated with a Mollier diagram. Characteristic points and zones where air parameters most frequently occur were identified, and then the processes of change in the air handling unit's devices, such as the heat recovery exchanger, cooler, heater, and mixing chamber, were assessed. The study demonstrated the significant impact of variability in external conditions on air conditioning processes and the need to consider more than one calculation point when designing air conditioning systems.

Wstęp

Zapewnienie warunków komfortu w budynkach użyteczności publicznej jest jednym z głównych celów instalacji klimatyzacji. Parametry, które decydują o odczuciu komfortu, to m.in. temperatura oraz wilgotność względna powietrza. Centrala klimatyzacja w systemie uzdatniania powietrza służy do regulacji m.in. tych warunków, jednak jej praca jest uwarunkowana stanem powietrza doprowadzanego do centrali. Warunki projektowe powietrza zewnętrznego, które przedstawiane są w normach, odnoszą się do stanu charakterystycznego dla danej strefy klimatycznej, co oznacza, że są to wartości średnie statystyczne. W praktyce projektowej te wartości traktuje się jako jeden punkt na wykresie Molliera, który reprezentuje najbardziej niekorzystne warunki zewnętrzne, przy których centrala wentylacyjna powinna zapewnić utrzymanie wymaganych parametrów powietrza wewnętrznego. W praktyce warunki powietrza zewnętrznego są zmienne w czasie i w niektórych przypadkach znacznie odbiegają od warunków projektowych. Zadaniem automatyki centrali klimatyzacyjnej jest zatem dopasowanie przemian uzdatniania powietrza do zróżnicowanych parametrów powietrza trafiającego do systemu. W literaturze można znaleźć analizy energetyczne opracowane dla różnych strategii pracy systemów klimatyzacji jednak bez odniesienia do sezonowych zmian parametrów powietrza (Limphitakphong, 2019; Mijakowski & Narowski, 2016; Sowa & Mijakowski, 2020). Celem niniejszego artykułu jest analiza wpływu parametrów powietrza zewnętrznego na procesy uzdatniania w systemie klimatyzacji sali audytorijnej z wykorzystaniem wykresu Molliera na bazie projektu przedstawionego w (Koszut, 2024). Opracowanie ma na celu zobrazowanie, jak przyjęcie różnych wartości parametrów powietrza zewnętrznego wpłynie na przemiany zachodzące w centrali klimatyzacyjnej oraz wskazanie, w jakim stopniu te parametry determinują pracę poszczególnych elementów w centrali.

Metody

Źródłem parametrów wykorzystanych w analizie były dane meteorologiczne, które zostały pobrane ze strony

Tabela 1. Liczba godzin w analizowanym sezonie wystąpienia danego wariantu warunków powietrza zewnętrznego w analizowanym okresie. Źródło: opracowanie własne

Table 1. Number of hours in the analysed season of occurrence of a given variant of outdoor air conditions in the analysed period. Source: authors' own study

Kategoria - temperatura powietrza zewnętrznego	Kategoria - wilgotność względna powietrza zewnętrznego	Warunki powietrza zewnętrznego	Liczba punktów wystąpienia danego wariantu
Chłodno	Sucho	Chłodno i sucho	0
Chłodno	Umiarkowanie wilgotno	Chłodno i umiarkowanie	98
Chłodno	Wilgotno	Chłodno i wilgotno	436
Umiarkowanie ciepło	Sucho	Umiarkowanie i sucho	24
Umiarkowanie ciepło	Umiarkowanie wilgotno	Umiarkowanie i umiarkowanie	646
Umiarkowanie ciepło	Wilgotno	Umiarkowanie i wilgotno	638
Gorąco	Sucho	Gorąco i sucho	23
Gorąco	Umiarkowanie wilgotno	Gorąco i umiarkowanie	118
Gorąco	Wilgotno	Gorąco i wilgotno	6

Ministerstwa Inwestycji i Rozwoju. Stacja meteorologiczna najbliższa lokalizacji obiektu mieści się w Nowym Sączu. Dane meteorologiczne zawierają szereg wartości niezbędnych do obliczeń energetycznych budynków, jednak do przeprowadzenia analizy, wykorzystano: numer godziny w roku (N), miesiąc (M), dzień (D), godzinę (H), temperaturę termometru suchego (DBT) oraz wilgotność względną (RH). Spośród tych parametrów wybrano 10 punktów charakterystycznych.

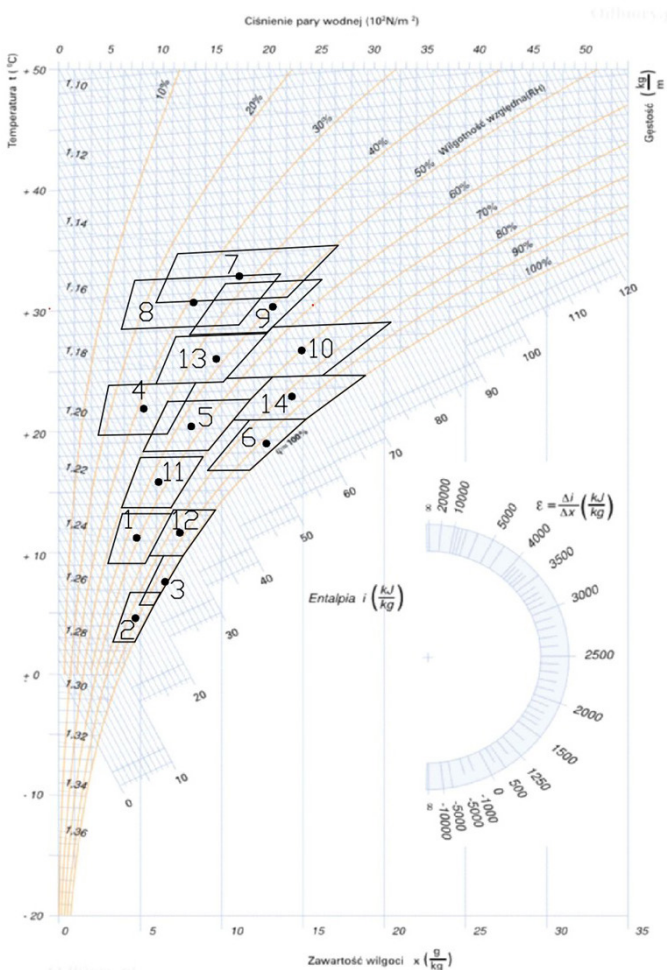
Analizę przeprowadzono dla okresu, w którym system klimatyzacji jest najbardziej obciążony, czyli w czasie gdy temperatura zewnętrzna jest najwyższa w ciągu roku; założono, że maksymalna temperatura, przy wahaniach wilgotności, może wystąpić w okresie od maja do września. Założono również, że system klimatyzacji pracuje w czasie otwarcia obiektu, czyli w godzinach od 8 do 20. Ponadto na potrzeby analizy przyjęto własną klasyfikację warunków temperaturowych oraz wilgotnościowych powietrza zewnętrznego, tj. dane zostały pogrupowane według kategorii opisowych: „chłodno”, „umiarkowanie ciepło”, „gorąco” – dla temperatury oraz „sucho”, „umiarkowanie wilgotno”, „wilgotno” – dla wilgotności względnej powietrza. Zakres temperatury powietrza powodującej odczucie chłodu oraz gorąca założono na poziomie 15°C i 25°C i na tej podstawie przyjęto następujący podział odczuć odniesionych do temperatury powietrza zewnętrznego: DBT (dry bulb temperature) < 15°C – chłodno, DBT = 15–25°C – umiarkowanie ciepło, DBT > 25°C – gorąco. W odniesieniu do wilgotności względnej wprowadzono podział na trzy kategorie: RH < 40% – sucho, RH = 40–65% - umiarkowanie wilgotno, RH > 65% – wilgotno. Ustalenie zakresów temperatury oraz wilgotności względnej powietrza umożliwiło wyznaczenie dziewięciu możliwych kombinacji spośród wszystkich danych: (1) chłodno i sucho, (2) chłodno i umiarkowanie wilgotno, (3) chłodno i wilgotno, (4) umiarkowanie ciepło i sucho, (5) umiarkowanie ciepło i umiarkowanie wilgotno, (6) umiarkowanie ciepło i wilgotno, (7) gorąco i sucho, (8) gorąco i umiarkowanie wilgotno, (9) gorąco i wilgotno. W Tabeli 1 przedstawiono ilość godzin występowania wybranych warunków.

Analiza danych meteorologicznych oraz wyznaczenie punktów charakterystycznych

W ramach kolejnego etapu analizy określono na wykresie h-x punkty, które miały reprezentować założone wcześniej cechy i jednocześnie odpowiadać parametrom wejściowym powietrza zewnętrznego do centrali uzdatniającej powietrze dla celów klimatyzacji pomieszczenia.

W celu uporządkowania sposobu ich wyznaczania, przyjęto następujący schemat wyboru punktów charakterystycznych, bazujący na analizie danych meteorologicznych, tj.: przyjęto trzy skrajne kombinacje warunków: „chłodno i wilgotno”, „gorąco i sucho” oraz „gorąco i wilgotno” i dla każdej z nich wyznaczono po dwa punkty charakterystyczne, co pozwoliło uwzględnić rzeczywisty rozkład danych meteorologicznych oraz brak jednoczesnego występowania ekstremalnych wartości temperatury i wilgotności względnej:

- W wariancie I doboru punktu za parametr wiodący przyjęto temperaturę powietrza (maksymalną lub minimalną, zależnie od analizowanego przypadku), a następnie wyszukiwano najwyższą lub najniższą możliwą wilgotność względną występującą przy tej temperaturze w zbiorze danych.
- W wariancie II analogicznie potraktowano wilgotność



Rysunek 1. Końcowy podział wykresu Molliera na 14 stref.
 Źródło: opracowanie własne
 Figure 1. Final division of the Mollier chart into 14 zones.
 Source: authors' own study

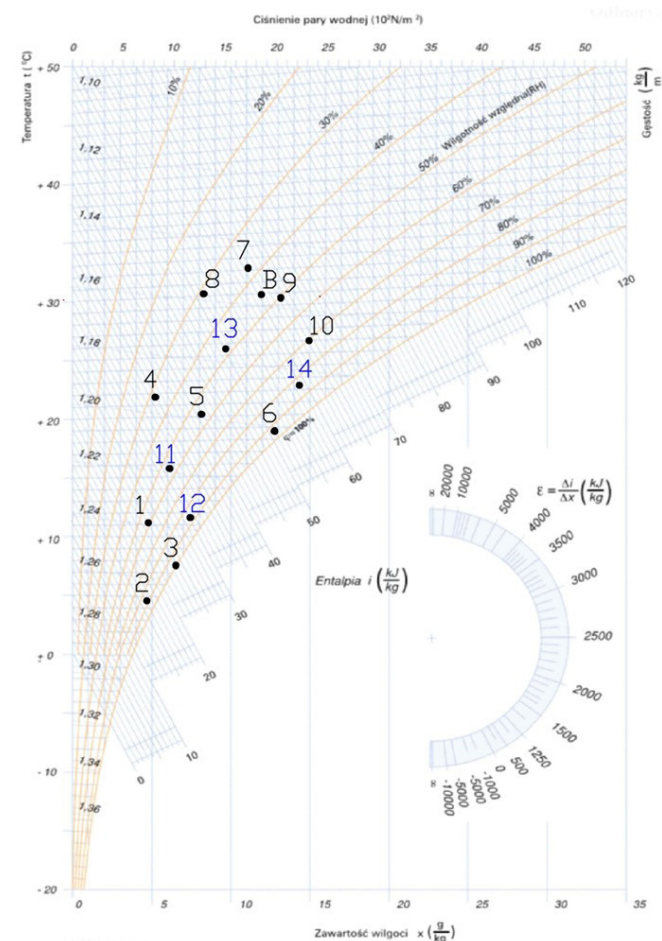
względna jako parametr wiodący, do której dopasowywano skrajną możliwą wartość temperatury powietrza. Otrzymane pary wartości stanowiły dwa punkty charakterystyczne dla danej kombinacji warunków.

- Dla przypadków, w których jeden z parametrów określono jako umiarkowany, wyznaczano po jednym punkcie charakterystycznym. Wartości umiarkowane określano jako środkowe w danym przedziale zmienności, obliczając średnią arytmetyczną temperatury lub wilgotności względnej, a następnie wybierając z danych rzeczywistych wartość najbliższą tej średniej.

Zastosowanie opisanej procedury pozwoliło na wybór łącznie 10 punktów charakterystycznych, reprezentujących zarówno warunki skrajne, jak i pośrednie, które posłużyły do dalszej analizy procesów uzdatniania powietrza na wykresie h-x.

Podział wykresu Molliera na strefy

Dla wybranych 10 punktów charakterystycznych wyznaczono odpowiadające im strefy, które stanowiły obszar wykresu h-x wokół punktu charakterystycznego. Wewnątrz każdej ze stref znajdowały się punkty pomiarowe, opisujące rzeczywiste parametry powietrza zewnętrznego. Każda grupa punktów w danej strefie zawierała punkt charakterystyczny, reprezentujący daną strefę. Podział na strefy umożliwił zobrazowanie obszarów, które podlegają analizie. W pierwszym etapie wykres podzielono na



Rysunek 2. Położenie punktów charakterystycznych na wykresie Molliera. Źródło: opracowanie własne
 Figure 2. Location of characteristic points on the Mollier diagram. Source: authors' own study

Tabela 2. Ilość godzin występujących w danej strefie. Źródło: opracowanie własne

Table 2. Number of hours occurring in a given zone. Source: authors' own study

Numer punktu	Zakres temperatury		Zakres wilgotności względnej		Liczba godzin w strefie
	min	max	min	max	
1	9,2	13,2	43	73	69
2	2,8	6,8	73	100	8
3	5,7	9,7	84	100	58
4	19,8	23,8	17	47	81
5	18,2	22,2	40	70	359
6	16,8	20,8	78	100	173
7	30,2	34,2	22	52	18
8	28,3	32,3	16	46	18
9	27,7	31,7	35	65	27
10	24,0	28,0	55	85	67
11	13,8	17,8	40	70	242
12	9,7	13,6	73	100	224
13	20,8	24	68,0	98	110
14	23,8	27,6	32,0	62	127

10 stref, odpowiadających punktom charakterystycznym. Obszary te zostały wyznaczone poprzez określenie granic odnoszących się do temperatury oraz wilgotności. Zakres temperatury dla danej strefy to $\pm 2^{\circ}\text{C}$ oraz $\pm 15\%$ wilgotności względnej w odniesieniu do reprezentantów danej grupy. W celu wypełnienia pustych przestrzeni w kolejnym etapie wprowadzono dodatkowe 8 stref. W rezultacie do dalszej analizy zakwalifikowano cztery nowe strefy, dla których wyznaczono kolejne punkty charakterystyczne. Na Rysunku 1 przedstawiono ostateczny podział wykresu Molliera na 14 stref. Każdej ze stref odpowiadał jeden punkt charakterystyczny, który stanowił wartość reprezentatywną dla pozostałych punktów pomiarowych w danym obszarze. Bazując na danych meteorologicznych dokonano określenia liczby godzin występujących w danym przedziale przedstawionych w Tabeli 2.

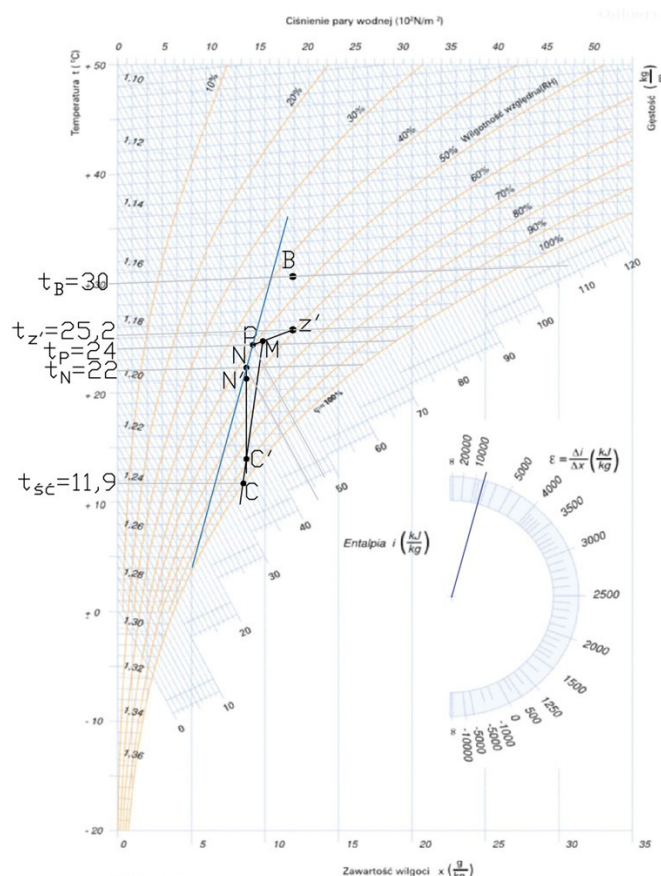
Dla każdej z wyznaczonych stref określono liczbę punktów należących do danego zbioru danych. W analizowanym okresie, odpowiadającym czasowi funkcjonowania systemu uzdatniania powietrza, łączna liczba dostępnych punktów wynosiła 1989. Spośród nich do dalszej analizy zakwalifikowano 1632 punkty, co stanowiło 82% wszystkich danych pomiarowych. Analiza objęła zatem zdecydowaną większość przypadków występujących w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych.

Pozostałe 18% punktów nie uwzględniono, ponieważ odpowiadały one rzadko występującym kombinacjom parametrów powietrza zewnętrznego, które nie mają istotnego wpływu na pracę systemu klimatyzacji. Wyznaczone strefy objęły zatem kluczowe warunki charakterystyczne, w największym stopniu determinujące sposób działania układu uzdatniania powietrza.

Zakresy temperatury powietrza i wilgotności względnej przypisane do poszczególnych stref, wraz z odpowiadającą im liczbą godzin występowania, zestawiono w Tabeli 2.

Rozmieszczenie punktów charakterystycznych na wykresie Molliera

W celu zobrazowania zróżnicowania położenia punktów charakterystycznych naniesiono je na wykres Molliera. Już na poziomie wstępnej obserwacji zaobserwowano znaczące różnice w rozmieszczeniu punktów. Stanowiło to podstawę do przeprowadzenia analizy jak parametry powietrza zewnętrznego wpływają na działanie systemu klimatyzacji. Wariant bazowy, oparty na obowiązujących normach był zestawem przemian uzdatniania powietrza, które uwzględnia się, podczas typowego procesu projektowego. Jest on oparty na normatywnych danych meteorologicznych powietrza zewnętrznego (temperatura i wilgotność względna) oraz na normatywnych wartościach klimatu wewnętrznego (również temperatura i wilgotność względna). Na wykresie Molliera (Rysunek 2) punkt bazowy jest reprezentowany przez punkt „B”. System nawiewno-wywiewny został zaprojektowany dla warunków normatywnych, jednak na podstawie Rysunku 2, przedstawiającego położenie punktu „B” oraz pozostałych punktów charakterystycznych (1–14) na wykresie Molliera, można zauważyć, że większość rzeczywistych stanów powietrza zewnętrznego znajduje się poza bezpośrednim sąsiedztwem punktu normatywnego, obejmując szerszy zakres temperatury oraz wilgotności względnej niż przyjęty w wariancie bazowym.



Rysunek 3. Przemiany na wykresie Molliera dla wariantu bazowego. Punkt bazowy jest opisany jako „B”. Źródło: opracowanie własne

Figure 3. Treatment processes on the Mollier diagram for the basic variant. Base point is described as „B”. Source: authors' own study

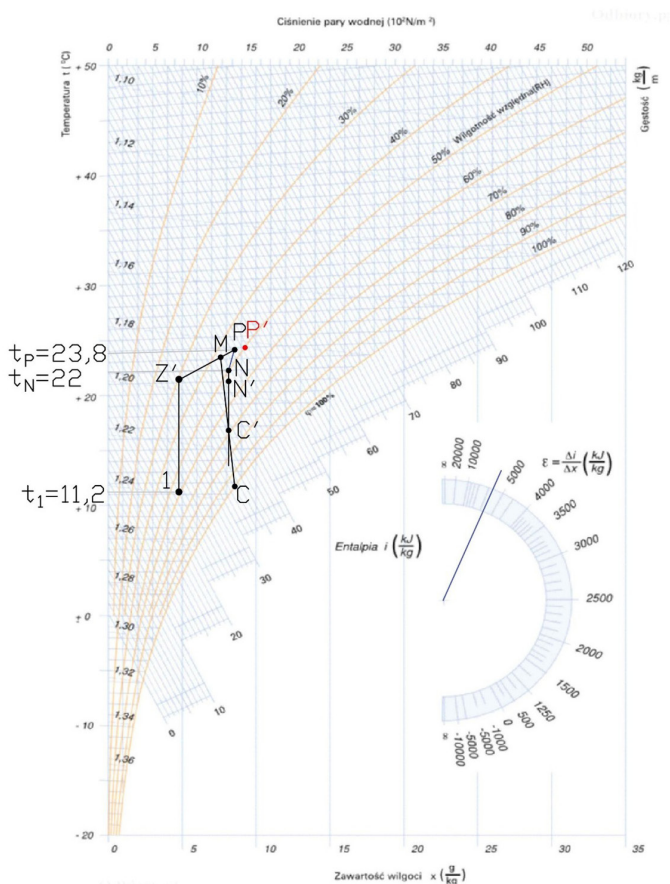
Na Rysunku 3 zaznaczono poszczególne punkty przedstawiające stan powietrza oraz procesy uzdatniania realizowane w centrali klimatyzacyjnej. Procesy te obejmowały: odzysk ciepła, mieszanie powietrza świeżego z obiegowym, chłodzenie i zmniejszenie zawartości wilgoci w chłodnicy oraz dogrzewanie w nagrzewnicy wtórnej. Umożliwiło to zobrazowanie rzeczywistej pracy układu w warunkach projektowych oraz określenie punktu wyjścia do dalszych analiz obejmujących zmienne parametry powietrza zewnętrznego.

W analizie wszystkich wariantów nie wprowadzono zmiany kierunku przemiany powietrza w pomieszczeniu (niebieska linia, tzw. „epsilon”) na wykresie Molliera, która pozostaje niezmienna niezależnie od warunków zewnętrznych. Kierunek przemiany został wyznaczony w oparciu o sumę maksymalnych sumarycznych zysków ciepła i wilgoci, które wystąpiły w sali audytornej i sceny.

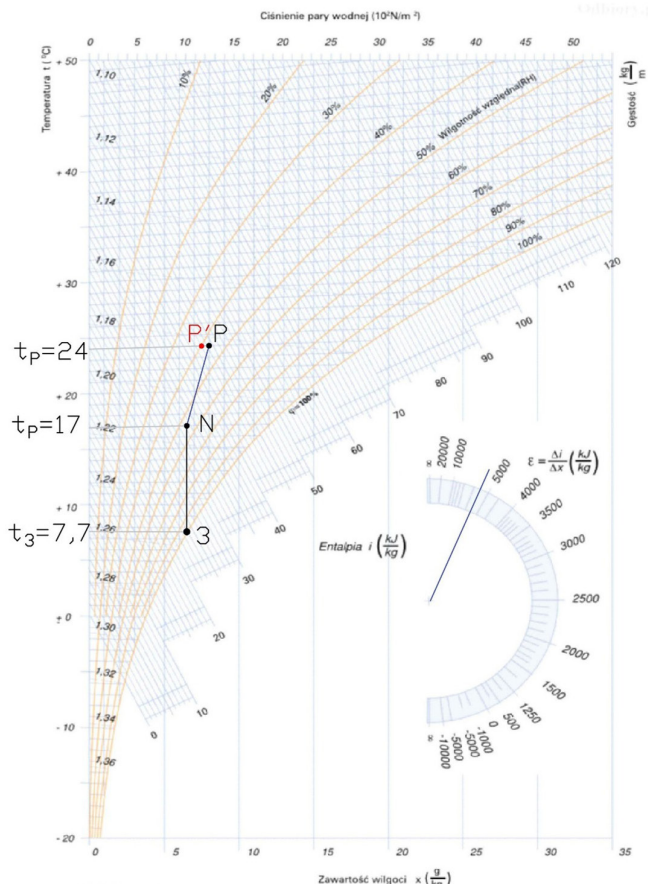
Na Rysunkach 4–6 przedstawiono przykładowe procesy uzdatniania powietrza dla niektórych analizowanych punktów. Wykresy te obrazują, jak bardzo rzeczywiste przebiegi procesów uzdatniania powietrza różnią się od projektowanych przy zmianie punktów bazowych w stosunku do procesów przedstawionych na Rysunku 3. Analogiczne wykresy sporządzono dla wszystkich punktów charakterystycznych, jednak ze względu na objętość artykułu zdecydowano się przedstawić tylko najbardziej interesujące.

W wariantie 1 (Rysunek 4) proces uzdatniania powietrza przebiega analogicznie do wariantu bazowego (Rysunek 3) i obejmuje odzysk ciepła, mieszanie, chłodzenie z częściowym osuszeniem oraz dogrzanie w nagrzewnicy wtórnej. Powietrze przechodzi przez wszystkie elementy centrali klimatyzacyjnej, co zapewnia pełne uzdatnienie zgodnie z przyjętymi założeniami. Podstawową różnicą w stosunku do wariantu bazowego są odmienne warunki zewnętrzne, wynikające z przesunięcia punktu wyjściowego na wykresie Molliera i korekty położenia punktu P (pierwotnie P') przy niezmiętej kolejności procesów. Dla strefy obejmującej ten punkt liczba godzin występowania takich warunków wynosi 69.

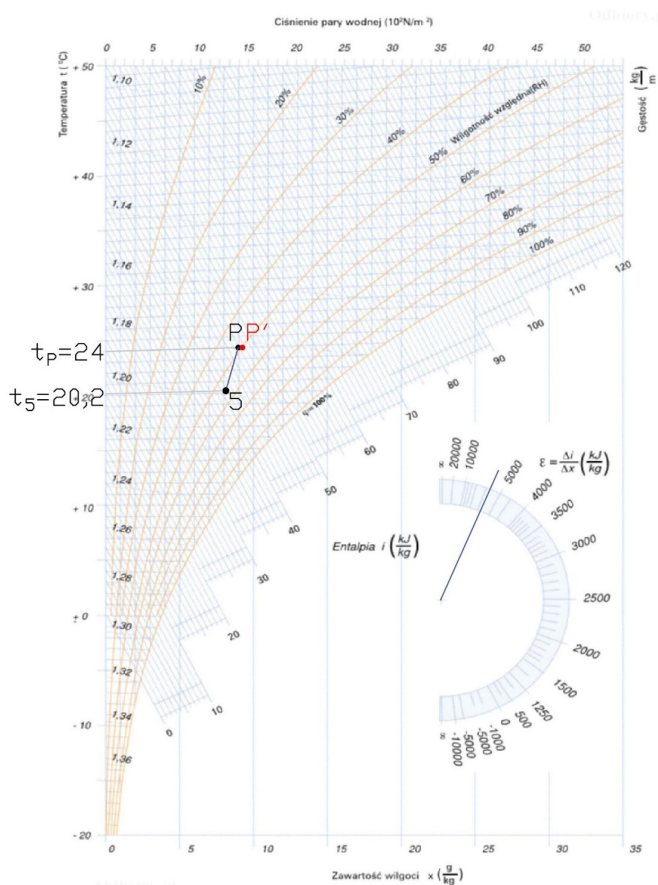
Wariant 3 (Rysunek 5) ilustruje istotne zmiany przebiegu procesu uzdatniania powietrza przy odmiennych warunkach zewnętrznych. Powietrze zewnętrzne w punkcie Z charakteryzuje się bardzo wysoką wilgotnością względną, zbliżoną do 100%, dlatego kierowane jest bezpośrednio do nagrzewnicy. W wyniku podgrzewania następuje wzrost temperatury przy niezmiętej zawartości wilgoci, co pozwala na uzyskanie parametrów powietrza nawiewanego bez konieczności stosowania pozostałych urządzeń centrali. W porównaniu do wariantu bazowego proces uzdatniania realizowany jest wyłącznie w nagrzewnicy, a zmiana położenia punktu P skutkuje ograniczeniem różnicy entalpii i zmniejszeniem wymaganego strumienia powietrza nawiewanego. Dla strefy obejmującej ten punkt liczba godzin występowania takich warunków wynosi 58.



Rysunek 4. Przemiany na wykresie Molliera dla wariantu 1.
 Źródło: opracowanie własne
 Figure 4. Air treatment on the Mollier diagram for variant 1.
 Source: authors' own study



Rysunek 5. Przemiany na wykresie Molliera dla wariantu 3.
 Źródło: opracowanie własne
 Figure 5. Air treatment on the Mollier diagram for variant 3.
 Source: authors' own study



Rysunek 6. Przemiany na wykresie Molliera dla wariantu 5.

Źródło: opracowanie własne

Figure 6. Air treatment on the Mollier diagram for variant 5.

Source: authors' own study

Wariant 5 (Rysunek 6) stanowi najprostszy przypadek spośród analizowanych, wynikający z korzystnych warunków zewnętrznych, których parametry są zbliżone do wymaganych dla nawiewu. W tym przypadku powietrze zewnętrzne jest bezpośrednio nawiewane do pomieszczenia bez konieczności jego uzdatniania, co na wykresie Molliera obrazuje linia kierunku przemiany łącząca punkt 5 z punktem P. W odróżnieniu od wariantu bazowego (Rysunek 3) nie są wykorzystywane żadne urządzenia uzdatniające, a praca centrali ogranicza się wyłącznie do wentylatora zapewniającego wymagany przepływ powietrza. Korekta położenia punktu P umożliwia bezpośrednie połączenie punktów na wykresie przy zachowaniu założeń projektowych. Dla strefy obejmującej ten punkt liczba godzin występowania takich warunków wynosi 359, co stanowi największą wartość w całym analizowanym zakresie i wskazuje, że wariant ten występuje najczęściej w rzeczywistej pracy centrali.

Zastrzeżenie: Oświadczenia, opinie i dane przedstawione w publikacjach są wyłączną odpowiedzialnością ich autorów i nie odzwierciedlają stanowiska redakcji *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek szkody dotyczące osób lub mienia wynikające z idei, metod, zaleceń lub produktów omawianych w treści publikacji. *Artykuł udostępniony na licencji Creative Commons CC BY 4.0.*

Disclaimer: The statements, opinions, and data presented in the publications are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the views of the editorial board of *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. The editorial board assumes no responsibility or liability for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content of the publications. *The article is distributed under the Creative Commons CC BY 4.0 license.*

Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono analizę wpływu warunków powietrza zewnętrznego na proces uzdatniania w systemie klimatyzacji sali audytornej, zbadano jak dane warunki wpływają na przebieg procesów uzdatniania. Analizy dokonano w oparciu o wykres o Molliera, na którym przedstawiono przemiany dla wybranych punktów.

Analiza wykazała, że parametry projektowe nie pozwalają na całościową ocenę pracy systemu, która dopiero przy uwzględnieniu zmiennych warunków powietrza zewnętrznego, umożliwi przedstawienie warunków eksploatacji systemu, w tym m.in. fakt, że warto korzystać w odpowiednich okresach z bezpośredniego nawiewu powietrza do pomieszczenia, z wykorzystaniem wyłącznie wentylatora. Jednocześnie duża zmienność stanów powietrza zewnętrznego może utrudniać utrzymanie stałych parametrów nawiewu, co wymaga zastosowania elastycznego systemu regulacji i sterowania. Analiza wykazała również, że w niektórych przypadkach uzdatnianie powietrza wiąże się z koniecznością zmiany parametrów punktu P, opisującego warunki powietrza w pomieszczeniu, jednak w każdym z analizowanych wariantów jego położenie pozostaje zbliżone do założeń projektowych i mieści się w przyjętych limitach. Zmiany te zostały zobrazowane na wykresach Molliera poprzez przedstawienie zarówno pierwotnego, jak i skorygowanego położenia punktu P. Dla czytelności analizy pierwotne położenie punktu oznaczono kolorem czerwonym (P'), co umożliwi bezpośrednie porównanie zakresu zmian parametrów powietrza w poszczególnych wariantach pracy instalacji.

Bibliografia

- Koszut, P. (2024). Projekt instalacji wentylacji budynku Miejskiego Domu Kultury. *Politechnika Krakowska*, praca inżynierska
- Limphitakphong, N. (2019). Performance of air conditioning system in educational building for energy conservation. *International Journal of Geomate*, 16(56). <https://doi.org/10.21660/2019.56.4774>
- Mijakowski, M., & Narowski, P. (2016) Indoor Climate and Energy Standard of School Buildings with Different Ventilation Strategy. *CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress. Volume 10*
- Sowa, J., & Mijakowski, M. (2020). Humidity-Sensitive, Demand-Controlled Ventilation applied to multiunit Residential Building—Performance and energy consumption in DFB Continental Climate. *Energies*, 13(24), 6669. <https://doi.org/10.3390/en13246669>