



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska
Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki
Odnawialnej

Kierunek studiów:
Odnawialne Źródła Energii

Ewa Zender – Świercz

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

PODSTAWY TWORZENIA MIKROKLIMATU W POMIESZCZENIACH

opracowane w ramach realizacji Projektu
**„Dostosowanie kształcenia
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb
współczesnej gospodarki”**
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2025



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

*Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej
gospodarki”
nr FERS.01.05-IP.08-0234/23*



Spis treści

1.	Wpływ jakości powietrza na człowieka.....	3
1.1.	Czynniki wpływające na mikroklimat wewnątrz	7
1.2.	Ocena jakości powietrza.....	8
1.3.	Oczyszczanie powietrza	9
1.4.	Regulacja temperatury i wilgotności powietrza	12
1.5.	Wpływ prędkości powietrza na mikroklimat pomieszczeń.....	15
2.	Jakość powietrza w obliczeniach	18
2.1.	Obliczanie strumienia powietrza w zależności od jakości powietrza zewnętrznego.....	20
2.2.	Obliczanie strumienia powietrza w oparciu o wykres Moliera	21
2.3.	Obliczanie temperatury odczuwalnej, wynikowej, operacyjnej	24
2.4.	Zadania.....	25
4.	Spis literatury	29



Materiały dydaktyczne objęte licencją Creative Commons BY 4.0.

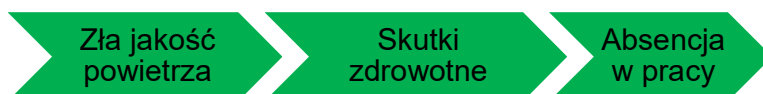
Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>





1. Wpływ jakości powietrza na człowieka

Akceptowalna jakość powietrza rozumiana jest jako powietrze, w którym nie występują znane zanieczyszczenia w stężeniach uznanych za szkodliwe. To powietrze, w którym znacząca większość przebywających osób ($\geq 80\%$ osób) nie wyraża niezadowolenia z powodu komfortu cieplnego, hałasu, wibracji, czy też oświetlenia.

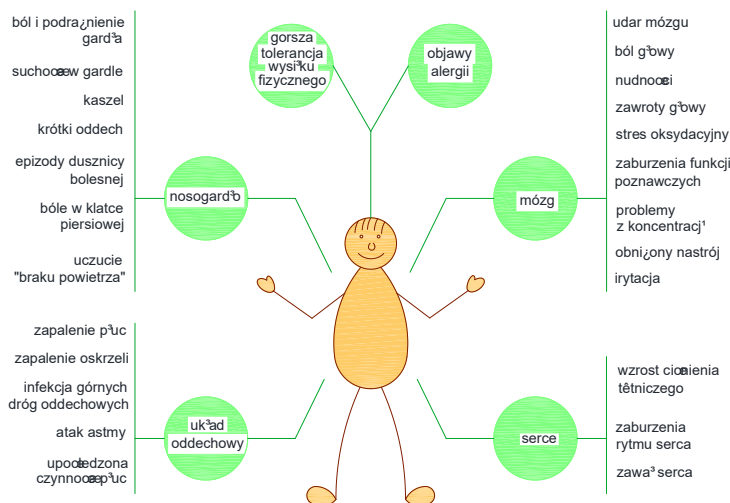


Tekst alternatywny. Diagram pokazujący w pierwszej strzałce złą jakość powietrza, która wskazuje na drugą strzałkę oznaczającą skutki zdrowotne wynikające ze złej jakości powietrza. Druga strzałka przenosi do trzeciej prezentującej absencję w pracy jako konsekwencje skutków zdrowotnych.

Rys. 1 Schemat wpływu złej jakości powietrza na pracowników.

Zła jakość powietrza może powodować skutki zdrowotne (Rys. 1 i 2) w postaci m.in. problemów z układem oddechowym, układem krążenia, alergiami, a także objawami SBS (sick building syndrome) – syndromu chorego budynku. Stąd istotne jest dążenie do poprawy parametrów powietrza wewnętrznego. Działanie polegające na kształtowaniu mikroklimatu wewnątrz związane są z kosztami inwestycyjnymi, jednak te są 4 – 40 razy niższe niż koszty, jakie ponosi pracodawca w związku ze zwolnieniami lekarskimi pracowników.





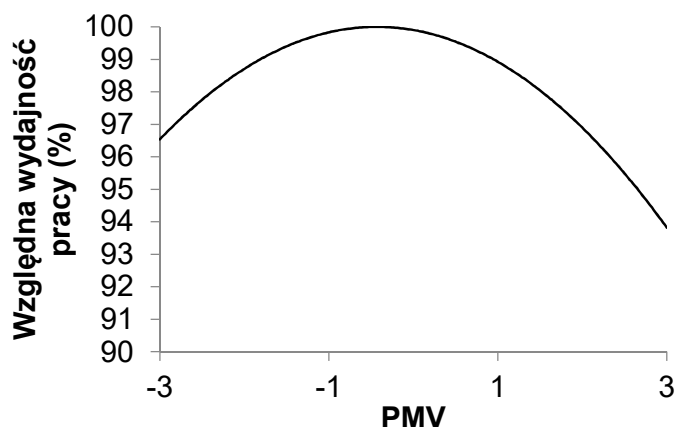
Tekst alternatywny.
Na rysunku widać symbolicznego człowieka. Nad jego lewym ramieniem w zielonym kole widnieje napis „nosogardło”, od którego prowadzi linia do spisu dolegliwości związanych z tą częścią ciała. Na dole po lewej stronie znajduje się koło, w którym widnieje napis „układ oddechowy”, od którego prowadzi linia do spisu dolegliwości związanych z tym układem. Od głowy poprowadzona jest linia prowadząca do dwóch kół po lewej stronie z napisem „gorsza tolerancja wysiłku fizycznego” i po prawej z napisem „objawy alergii”. Nad prawym ramieniem człowieka w zielonym kole widnieje napis „mózg”, od którego prowadzi linia do spisu dolegliwości związanych z tą częścią ciała. Na dole po prawej stronie znajduje się koło, w którym widnieje napis „serce”, od którego prowadzi linia do spisu dolegliwości



związanych z tym
narzędziem.

Rys. 2 Skutki zdrowotne narażenia na zanieczyszczenia.

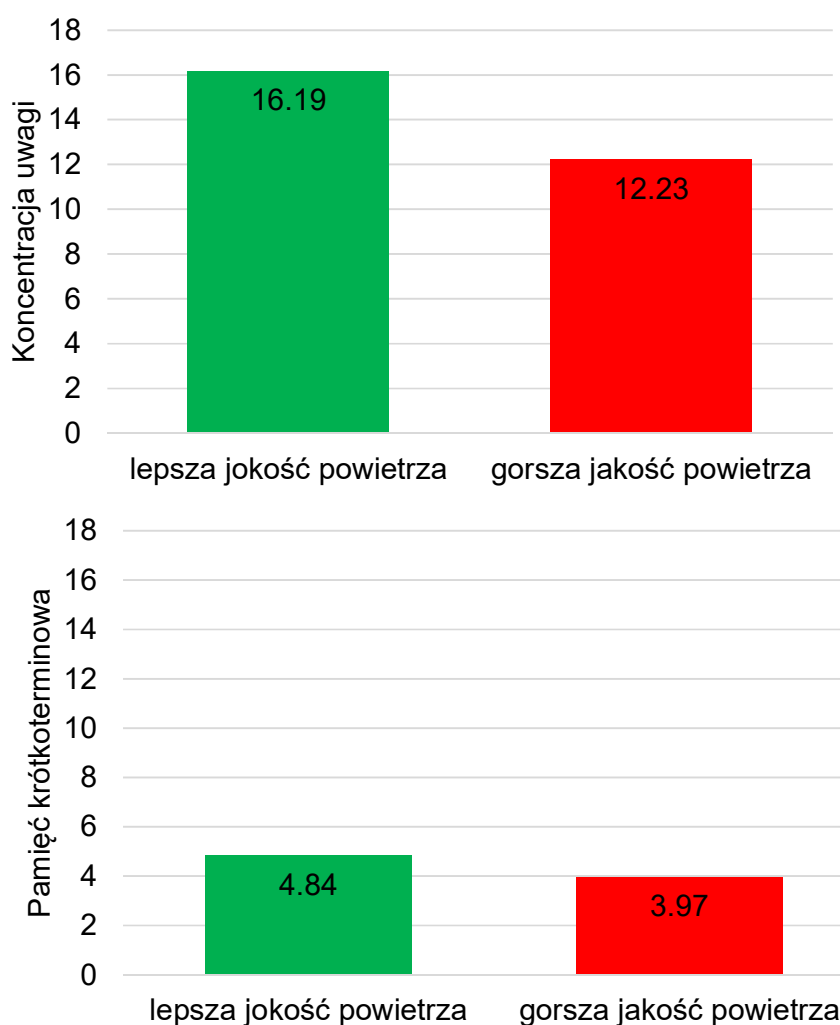
Jakość powietrza wpływa nie tylko na zdrowie człowieka, ale też na efektywność wykonywanej pracy biurowej oraz efektywność przyswajania wiedzy. Dyskomfort termiczny obniża wydajność pracy (Rys. 3). Zanieczyszczenie powietrza pyłami zawieszonymi PM2.5 oraz PM10 zaburza funkcje poznawcze uczniów (Rys. 4). W szczególności widoczny jest wpływ pyłów zawieszonych na pamięć długoterminową.



Tekst alternatywny.
Wykres wykładowy zależności wydajności pracy od komfortu termicznego. Opis osi X – kolejne wartości -3 - +3, opis osi Y – wydajność pracy w procentach. Na wykresie znajdują krzywa w kolorze czarnym pokazująca jak zmienia się wydajność pracy od wartości wskaźnika komfortu termicznego PMV.

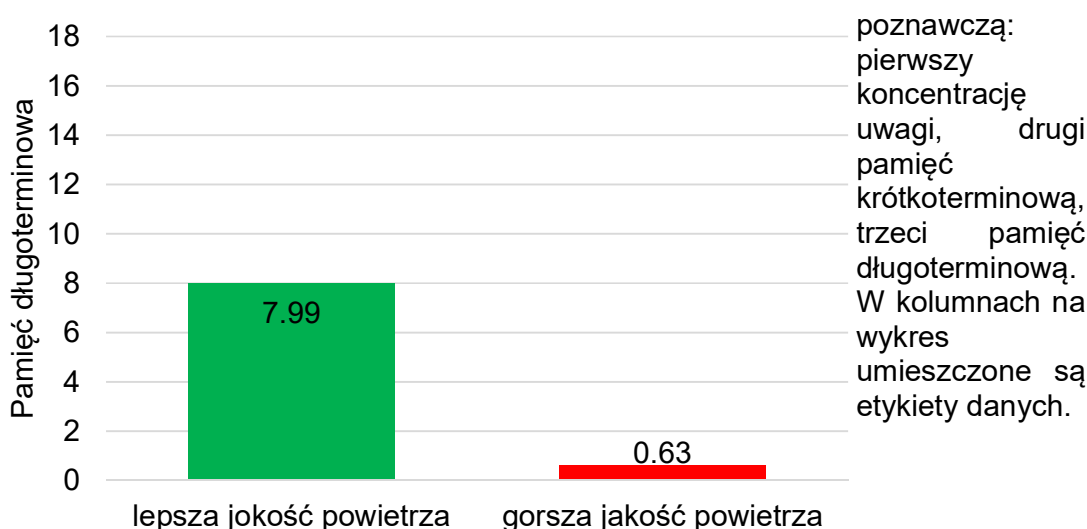
Rys. 3 Zależność wydajności pracy od wartości wskaźnika PMV (predicted mean vote) – przewidywanej średniej oceny.





Tekst alternatywny. Trzy wykresy słupkowe w układzie pionowym przedstawiające zależność funkcji poznawczych i jakości powietrza. Opis osi X – dwie serie lepsza i gorsza jakość powietrza, opis osi Y – punktowa ocena funkcji poznawczych 0-18. Na każdym wykresie znajdują się dwie kolumny: kolor czerwony – gorsza jakość powietrza; kolor zielony – lepsza jakość powietrza. Każdy wykres przedstawia inną funkcję





Rys. 4 Zależność funkcji poznawczych uczniów od jakości powietrza określonej na podstawie stężenia pyłów PM2.5, PM10. (Wyniki z projektu w ramach programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą: "Nauka dla Społeczeństwa" Nr projektu NdS/548429/2022/2022, kwota finansowania 888,870.00 PLN).

1.1. Czynniki wpływające na mikroklimat wewnątrz

Celem kształtowania mikroklimatu w pomieszczeniach stosuje się rozwiązania konstrukcyjne, architektoniczne oraz techniczne służące do regulowania parametrów wewnętrznych: temperatury, wilgotności, prędkości oraz składu powietrza.

Czynniki wpływające na mikroklimat wewnątrz:

- Architektura – lokalizacja obiektu budowlanego ma istotne znaczenie dla jakości powietrza wewnętrznego. Posadowienie budynku w pobliżu zakładów przemysłowych wiąże się z ryzykiem napływu zanieczyszczeń do wnętrza budynków. Odpowiednie usytuowanie budynku, a w szczególności stolarki okiennej i drzwiowej względem stron świata pozwala na lepsze wykorzystanie nasłonecznienia oraz wiatru do kształtowania parametrów powietrza wewnętrznego. Lokalizacja budynku wpływać może również negatywnie na hałas wewnątrz pomieszczeń (np. budynek mieszkalny w pobliżu ruchliwej drogi zagrożony jest hałasem komunikacyjnym podczas przewietrzania pomieszczeń)
- Konstrukcja – przegrody przezroczyste zwiększają dopływ światła widzialnego, ale jednocześnie powodują w budynku straty ciepła zimą (i zyski ciepła latem) i w zależności od szczelności powietrznej zwiększają lub zmniejszają infiltrację/eksfiltrację powietrza. Przegrody nieprzezroczyste charakteryzują różne właściwości cieplne. Zbudowane z materiałów o większej pojemności cieplnej charakteryzują się znacznym opóźnieniem wzrostu temperatury na powierzchni wewnętrznej (zimą niepożądanym,

Strona 7 z 30





latem wręcz przeciwnie). Same materiały budowlane mogą być źródłem zanieczyszczeń emitowanych do wnętrza pomieszczeń: LZO (lotnych związków organicznych), formaldehydu, amoniaku, związków kancerogennych, czy zapachów.

- Wyposażenie budynków – elementy wyposażenia wnętrz, jak maszyny w budynkach przemysłowych, czy w budynkach mieszkalnych kuchenki, pralki, suszarki itd. są źródłem ciepła, wilgoci i zanieczyszczeń gazowych i stałych.
- Człowiek – ludzie sami w sobie stanowią źródło zanieczyszczeń, ciepła i wilgoci. W zależności od zaludnienia, aktywności fizycznej, stanu zdrowia osób przebywających w pomieszczeniu ich wpływ może być mniejszy lub większy.
- Wyposażenie techniczne budynku – rodzaj i sposób działania systemu HVAC (Heating Ventilation and Air-conditioning) – ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji. W zależności od zastosowanego rozwiązania użytkownik może mieć mniejszą lub większą możliwość regulacji i kontroli parametrów powietrza w pomieszczeniu. Układy mogą być wyposażane w filtry o różnej klasie, co przekłada się na efektywność oczyszczania dopływającego do pomieszczeń powietrza.
- Hałas – zarówno dopływający z zewnątrz, jak i powstający w pomieszczeniach. Wszystkie urządzenia stosowane w pomieszczeniach wyposażone w elementy ruchome, silniki, czy wirniki generują dźwięki, które nie mogą przekraczać dozwolonych wartości, np. w środowisku pracy najwyższe dopuszczalne natężenie dźwięku wynosi 85 dB (Hałas 2023), a w budynkach mieszkalnych 40 dB w dzień i 30 dB w nocy (PN-B-02151-2:2018-01).

1.2. Ocena jakości powietrza

Na jakość powietrza wewnętrznego istotnie wpływa wydzielanie zanieczyszczeń. Intensywność ich wydzielania opisuje „równoważnik osobowy”, czyli liczba standardowych osób (olf), które spowodują zanieczyszczenie powietrza równie uciążliwe jak analizowane źródło (CEN, CR 1752). Odczuwalną jakość powietrza wyraża się w decybolach (dp). 1 dp odpowiada stężeniu zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego, wywołanemu obecnością standardowej osoby, emitującej zanieczyszczenie 1 olf, przy przepływie powietrza zewnętrznego w ilości $36 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, w warunkach idealnego wymieszania strumieni powietrza.





1.3. Oczyszczanie powietrza

1. Filtracja

Metoda filtracyjna polega na mechanicznym zatrzymaniu cząstek stałych na materiałach i urządzeniach filtrujących. W technice wentylacyjnej i klimatyzacyjnej stosowane są filtry różnej klasy. W przypadku pomieszczeń o specjalnych wymaganiach, jak obiekty służby zdrowia powszechnie wykorzystywane są filtry HEPA oraz filtry elektrostatyczne o wysokiej skuteczności w usuwaniu cząstek o wymiarach nawet poniżej $0,3 \mu\text{m}$.

Wyróżnia się filtry mechaniczne oraz chemiczne. Wśród pierwszych można wymienić filtry:

- kieszeniowe – złożone z kieszeni wypełnionych materiałem filtracyjnym,
- kompaktowe – złożone z kaset lub paneli wykonanych z materiałów filtracyjnych,
- cylindryczne – złożone z cylindrów wypełnionych materiałem filtracyjnym,
- panelowe – złożone z paneli filtrujących (głównie do wstępnego oczyszczania),
- workowe – złożone z worków z materiałów filtracyjnych (głównie w odpylaczach przemysłowych).

Filtry chemiczne budowane są ze specjalnych materiałów, które mogą absorbować oraz neutralizować substancje chemiczne szkodliwe dla człowieka (np. amoniak, siarkowodór, gazy kwasów).

Jednym z nowoczesnych sposobów filtracji powietrza jest zastosowanie nanomateriałów. Są to substancje chemiczne lub materiały o wielkości cząstek $1 - 100 \text{ nm}$ w co najmniej jednym wymiarze. Ich zwiększone pole powierzchni właściwej skutkuje faktem, iż mogą mieć inne właściwości w porównaniu z tym samym materiałem bez cech nanoskali. Jako nanomateriały w drodze odstępstwa uznaje się również fulereny, płatki grafitowe oraz jednościenne nanorurki węglowe o co najmniej jednym wymiarze poniżej 1 nm . Nanomateriały mają zastosowanie w oczyszczaniu powietrza w pomieszczeniach charakteryzujących się zagrożeniami biologicznymi jak np. szpitale. Nanocząstki metalu hamują rozwój bakterii i wirusów uszkadzając mechanicznie struktury komórkowe, destabilizując błonę komórkową i zwiększając jej przepuszczalność, a także powodując powstawanie reaktywnych form tlenu szczególnie istotnych w zwalczaniu wirusów. Nanomateriały mogą być wykorzystywane w formie nanopowłoki antybakteryjnej, albo jako nanowłókna do filtracji powietrza z pyłów i bioaerozoli. Wadą stosowania nanomateriałów jest ich nieznany wpływ na zdrowie człowieka i bezpieczeństwo środowiska.

W metodzie filtracyjnej należy pamiętać o wzrastającym podczas eksploatacji spadku ciśnienia na filtrach co wiąże się ze zwiększonym zużyciem energii.





2. Dezynfekcja

Dezynfekcję rozumiemy jako zabieg z wykorzystaniem czynników fizycznych i chemicznych, którego celem jest zmniejszenie liczby mikroorganizmów (w tym chorobotwórczych) poprzez zniszczenie ich form żywych i przetrwalnikowych.

Wyróżniamy dezynfekcję:

- termiczną,
- chemiczną,
- fizyczną.

W dezynfekcji powietrza popularną metodą jest metoda fizyczna z wykorzystaniem promieniowania ultrafioletowego UVC (promieniowania o długości fali 200 – 230 nm). Jej celem jest dezaktywacja wirusów, bakterii i grzybów, a działanie polega na uszkodzaniu struktury kwasów nukleinowych i białek na poziomie molekularnym. Takie działanie powoduje, iż mikroorganizmy stają się niezdolne do replikacji. W dezynfekcji powietrza stosowane są lampy bakteriobójcze. Podczas wykorzystywania tej metody dezynfekcji należy pamiętać o szkodliwości promieniowania dla organizmów żywych, co oznacza, iż nie może być wykorzystywane w obecności ludzi.

3. Urządzenia i systemy

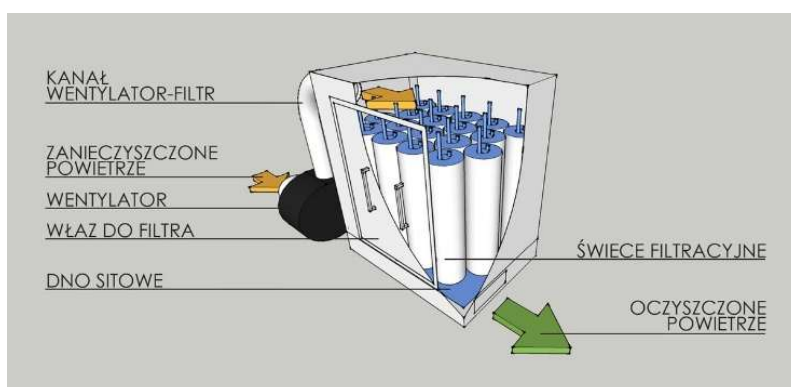
Nowoczesne rozwiązania technologiczne skierowane są głównie do wentylowania pomieszczeń przemysłowych, gdzie różnorodność zanieczyszczeń jest ogromna. W środowisku tym występują pyły, opary chemiczne, jak również toksyczne gazy. Szkodliwość zanieczyszczeń również może być różna. W przemyśle spożywczym niebezpieczne mogą być produkty powstające w procesach mielenia, pakowania, czy obróbki termicznej. W przemyśle chemicznym mogą występować pary różnych substancji, substancje lotne. W przemyśle metalurgicznym dym, cząstki stałe, gorące gazy.

W usuwaniu cząstek stałych filtry często nie są skuteczne w środowisku przemysłowym, stąd stosowane są systemy odpylania:

- suchego – wyposażone w cyklony oraz odpylacze workowe,
- mokrego – wyposażone w separatory mgły olejowej i emulsyjnej,
- systemy z węglem aktywnym.

Systemy z węglem aktywnym do usuwania gazów i zapachów. Przykład mogą stanowić filtry świecowe (Rys. 5), które składają się z perforowanego stalowego korpusu i kosza z węglem aktywnym.





Tekst alternatywny.
Rysunek przedstawiający po lewej stronie pojedynczą świecę filtrującą, po prawej stronie układ świec z oznaczonym żółtą strzałką dopływem zanieczyszczonego powietrza i zieloną strzałką odpływem oczyszczonego powietrza. W obudowie znajdują się świece filtrujące oznaczone kolorem białym z niebieskim króćcem w górnej części. W dolnej części niebieskim kolorem oznaczono dno sitowe.

Rys. 5 Pojedyncza świeca filtracyjna i schemat filtra świecowego
(www.zdpwa.com.pl)

4. Ozonowanie

W pomieszczeniach, w których występują niepożądane zapachy stosuje się ozonowanie polegające na dostarczaniu do powietrza ozonu. Jego zadaniem jest poprawa jakości powietrza (usuwanie grzybów i zawiesin) oraz dezodoryzacja. Ozonowanie trwa około 30 minut na 10 m² powierzchni pomieszczenia. Pamiętać należy, iż ozon nie jest obojętny dla człowieka. Z uwagi na swe silne właściwości utleniające, wywiera nasilone działanie drażniące na spojówki i błonę śluzową dróg oddechowych, czego efektem mogą być piekące bóle i zaczerwienienie spojówek, kaszel, świszczący oddech, trudności w oddychaniu, pogorszenie funkcji płuc w badaniu spirograficznym, wzrost częstości i ciężkości napadów astmy u osób cierpiących z powodu tej choroby oraz nasilenie dolegliwości u osób ze współistniejącymi chorobami układu oddechowego i układu krążenia (<https://www.gov.pl>). Ponadto może negatywnie wpływać na roślinność, a także powodować uszkodzenia elementów wyposażenia pomieszczeń (szczególnie podatne





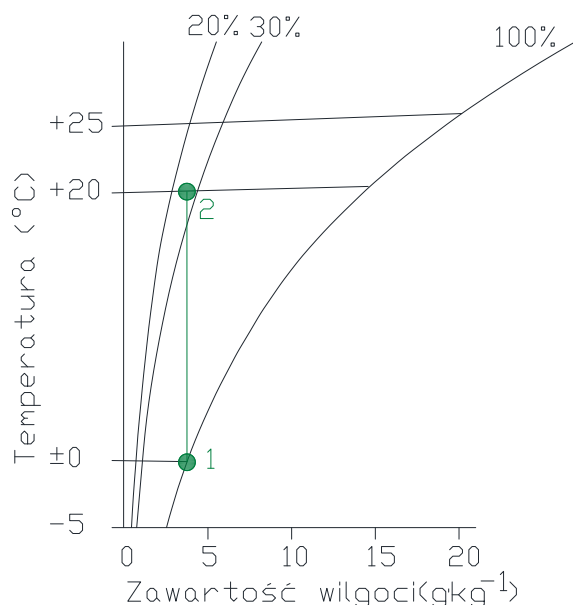
materiały zawierające gumę), a to wiąże się z koniecznością usunięcia ich z pomieszczenia przed zabiegiem ozonowania (<https://www.gov.pl>). Stąd ważne jest, aby po przeprowadzonej procedurze wywietrzyć pomieszczenie.

1.4. Regulacja temperatury i wilgotności powietrza

Utrzymywanie temperatury i wilgotności powietrza na właściwym poziomie pozwala uzyskać w pomieszczeniach warunki komfortu cieplnego. Jest to niezwykle istotne z uwagi na fakt oddziaływania środowiska termicznego na koncentrację uwagi, efektywność pracy/uczenia się, czy w warunkach szpitalnych efekty leczenia. Oczekiwane wartości temperatury i wilgotności powietrza zależą od rodzaju budynku, przeznaczenia pomieszczenia, aktywności fizycznej przebywających ludzi, ich odzieży itd. Istotna w tym przypadku jest również pora roku. Sposobami na uzyskiwanie parametrów na właściwym poziomie jest wykorzystanie wyposażenia technicznego budynku.

1. Instalacje ogrzewcze

System grzewczy powinien być dopasowany do typu budynku, charakteryzować się małą bezwładnością i umożliwiać użytkownikom regulację temperatury. Należy pamiętać, iż każdy proces podgrzewania powietrza obniża wilgotność względną (Rys. 6), stąd istotne dla tworzenia mikroklimatu jest monitorowanie wilgotności i jej regulacja.



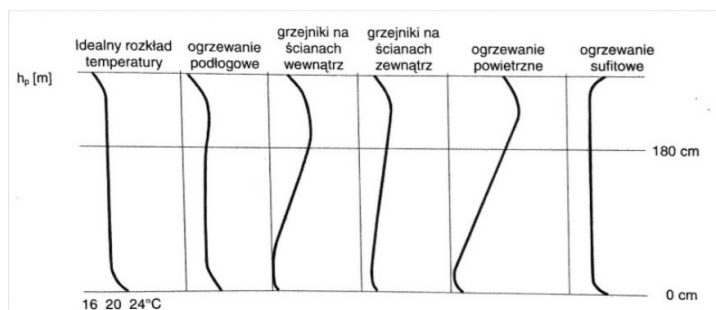
Tekst alternatywny. Schematyczny wykres Moliera prezentujący proces ogrzewania powietrza. Krzywe oznaczają wilgotność bezwzględną. Opis osi X – zawartość wilgoci 0-20 g·kg⁻¹, opis osi Y – temperatura -5-+25 °C. Zielone koła oznaczają początek (1) i koniec (2) przemiany. Linia zielona – proces podgrzewania powietrza.

Rys. 6 Przebieg procesu podgrzewania powietrza na wykresie Moliera.





Na odczuwanie komfortu cieplnego w pomieszczeniach ma wpływ pionowy profil temperatury, który jest zależny od stosowanego systemu ogrzewania (Rys. 7). Rozkład temperatury nie jest jednorodny w całym pomieszczeniu. Inaczej wyglądał np. przy oknie, inaczej w środku pomieszczenia itd. Jednak w największym stopniu zależy od sposobu doprowadzania ciepła do pomieszczenia, a dla ogrzewania podłogowego jest najbardziej zbliżony do idealnego.



Tekst alternatywny.
Pionowy rozkład temperatury powietrza wewnętrznego w zależności od rodzaju zastosowanego systemu grzewczego. Od lewej: 1- idealny rozkład temperatury, 2- rozkład temperatury przy ogrzewaniu podłogowym, 3- rozkład temperatury przy grzejnikach umieszczonych na ścianach wewnętrznych, 4- rozkład temperatury przy grzejnikach umieszczonych na ścianach zewnętrznych, 5- rozkład temperatury przy ogrzewaniu powietrznym, 6- rozkład temperatury przy ogrzewaniu sufitowym. Dolna linia pozioma oznacza poziom stóp (0 cm), linia pozioma po środku rysunku oznacza wysokość strefy przebywania ludzi (180 cm).

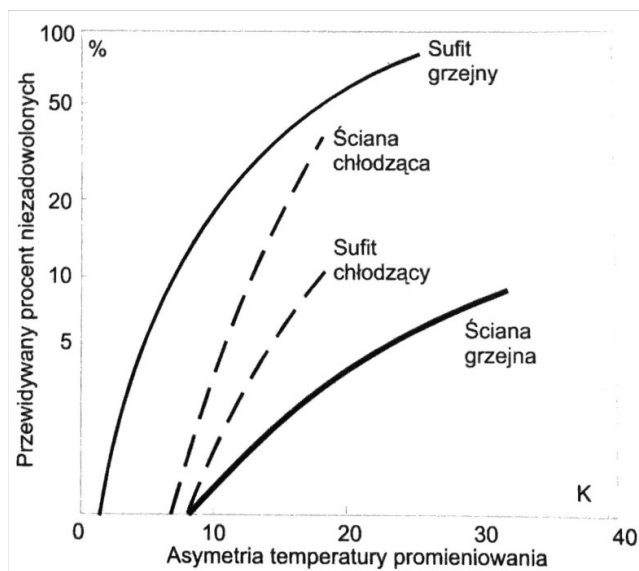
Rys. 7 Pionowy profil temperatury powietrza w pomieszczeniu (Koczyk 2005)

Jednocześnie należy zauważyć, iż samo utrzymywanie temperatury w pomieszczeniu na odpowiednim z punktu widzenia komfortu cieplnego poziomie nie jest wystarczające. Istotnym parametrem jest asymetria promieniowania wyrażana jako różnica temperatury promieniowania po dwóch stronach (np. po lewej i prawej stronie lub górnej i dolnej przestrzeni). Na Rys. 8 pokazano wpływ asymetrii





promieniowania w zależności od zastosowanego systemu na przewidywane odsetek niezadowolonych (PPD – predicted percentage dissatisfied).



Tekst alternatywny. Wykres zależności PPD od asymetrii temperatury promieniowania. Opis osi X – asymetria temperatury promieniowania 0-40 (°C), opis osi Y – PPD 0-100 (%). Na wykresie znajdują się krzywe oznaczające przebieg dla różnych rozwiązań technicznych. Linie ciągłe oznaczają: po lewej stronie – sufit grzejny, po prawej – ściana grzejna. Linie przerywane: po lewej ściana chłodząca, po prawej – sufit chłodzący.

Rys. 8 Wpływ asymetrii temperatury promieniowania na przewidywany odsetek niezadowolonych wg Fanger'a (Koczyk 2005)

2. Nagrzewnice i chłodnice powietrza w instalacji wentylacji i klimatyzacji

Elementem instalacji wentylacji i klimatyzacji służącym do zmiany temperatury powietrza nawiewanego są nagrzewnice wodne i elektryczne oraz chłodnice suche (bez wykraplania) i mokre (z wykraplaniem). Istotną rolę w przypadku tych wymienników ciepła jest układ sterowania i automatyki, który odpowiada za możliwość wykonywania nastaw i regulowania temperatury powietrza nawiewanego, aby osiągnąć cel – uzyskać żądaną wartość temperatury powietrza wewnętrznego.

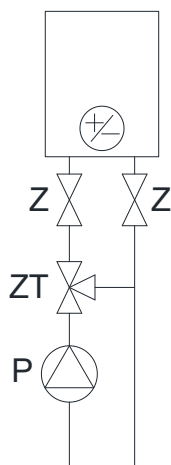
Sposoby sterowania nagrzewnicy elektrycznej:

- on/off (włącz/wyłącz) – polega na włączaniu i wyłączaniu elementu grzejnego w zależności od osiągnięcia zadanej wartości temperatury w pomieszczeniu (lub nawiewu),
- PWM (Pulse Width Modulation – z modulacją czasu) – polega na włączaniu i wyłączaniu elementu grzejnego w zależności od zadanego czasu trwania stanu „włączony” i „wyłączony”,
- PID (proporcjonalno-całkująco-różniczkujący) – opiera się na obliczaniu przez sterownik mocy grzania na podstawie różnicy między temperaturą zadaną a aktualną.

W przypadku nagrzewnicy wodnej oraz chłodnicy (suchej i mokrej) regulacja może odbywać się ilościowo lub jakościowo. W przypadku regulacji ilościowej instalacja wyposażona jest w zawór dwudrogowy, który poprzez zamykanie i otwieranie zmienia



ilość przepływającego czynnika celem zmiany temperatury powietrza nawiewanego. Regulacja jakościowa (Rys. 9) odbywa się dzięki zastosowaniu trójdrogowego zaworu mieszającego. Zmieszanie czynnika zasilającego i powrotnego umożliwia zmianę temperatury czynnika dopływającego do wymiennika ciepła. Do sterowania zaworami służy regulator PID.



Z – zawór
ZT – zawór
trójdrogowy
P – pompa

Tekst alternatywny. Schemat nagrzewnicy wodnej/chłodnicy z przyłączonymi przewodami czynnika zasilającego i powracającego z wymiennika. Układ wyposażony w dwa zawory umożliwiające odłączenie nagrzewnicy/chłodnicy, zawór trójdrogowy do regulacji temperatury oraz pompę obiegową.

Rys. 9 Schemat regulacji jakościowej mocy wymiennika ciepła.

3. Nawilżacze powietrza

Kolejnym parametrem istotnym dla mikroklimatu pomieszczeń jest wilgotność względna. Jak już wspomniano proces podgrzewania powietrza powoduje obniżenie wilgotności, stąd konieczne jest nawilżanie powietrza w okresie funkcjonowania instalacji ogrzewczej w budynku. Jednak również w instalacji klimatyzacji stosowanie nawilżacza jest niezmiernie istotne. W precyzyjnym sterowaniu temperaturą i wilgotnością celem uzyskania pełnego komfortu termicznego powietrze najpierw jest schładzane (proces chłodzenia związany jest ze znacznym podniesieniem wilgotności), a następnie ogrzewane (mimo wysokich wartości temperatury powietrza zewnętrznego). Tutaj znów proces ogrzewania obniża znacząco wilgotność, stąd stosowanie nawilżaczy. Stosowane rozwiązania mogą być zasilane wodą (nawilżacze adiabaticzne) lub parą (nawilżacze parowe).

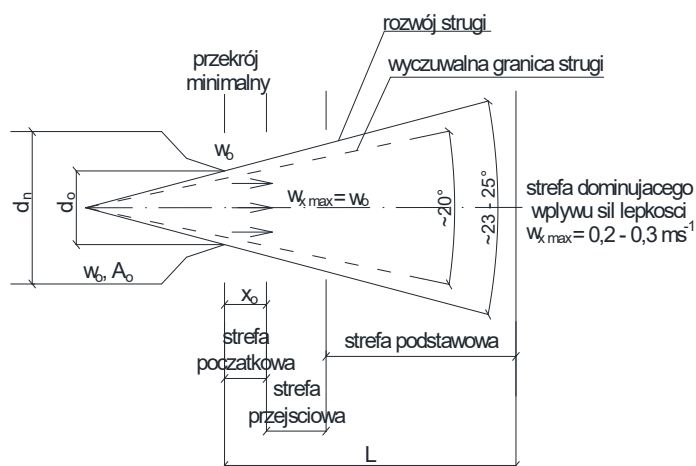
1.5. Wpływ prędkości powietrza na mikroklimat pomieszczeń

W pomieszczeniach zamkniętych wyposażonych w instalacje grzewcze (w okresie zimowym) oraz systemy klimatyzacji (lub wentylacji z chłodzeniem) każdy ruch powietrza jest niepożądanym zjawiskiem. Zgodnie z Tabelą 1 możemy wskazać potencjalny wpływ prędkości powietrza na użytkowników budynku.

Tabela 1. Wpływ różnych prędkości powietrza na poziom komfortu użytkowników budynku (Auliciems i Szokolay 1997)

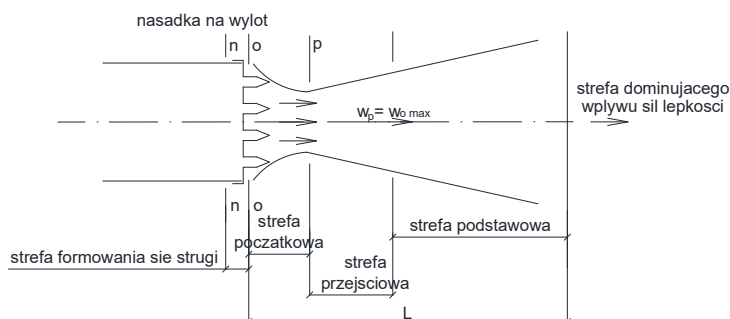
Prędkość powietrza ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Wpływ na użytkowników pomieszczeń
$< 0,25$	nieodczuwany
$0,25 - 0,5$	przyjemnie
$0,5 - 1,0$	świadomość ruchu powietrza
$1,0 - 1,5$	odczucie przeciągu
$> 1,5$	uciążliwy przeciąg

Na prędkość powietrza w pomieszczeniu istotnie wpływają elementy końcowe układu nawiewnego instalacji wentylacji i klimatyzacji. Rozkład prędkości w strudze powietrza zależy od rozwiązania technicznego zakończenia. W przypadku strugi wypływającej z przewodu bez kratki nawiewnej (Rys. 10) można zauważyć, iż w osi elementu prędkość powietrza jest najwyższa, a granica strugi jest wyraźnie wyczuwalna. W przypadku zastosowania nawiewnika (Rys. 11) prędkości w obrębie przekroju strugi są wyrównane.



Tekst alternatywny. Schemat stref strugi wypływającej z otworu bez kratki wentylacyjnej. Linie wymiarowe pokazują wymiar kanału (d_n) oraz średnicę wypływu powietrza z kanału (d_o). W dolnej części rysunku linie wymiarowe pokazują długości stref rozwoju strugi: początkowej, przejściowej i podstawowej. Wymiar L pokazuje zasięg strugi. Linie wymiarowe łuków pokazują kąt rozwarcia wyczuwalnej granicy strugi (linia przerywana) oraz kąt rozwarcia rozwiniętej strugi (linia ciągła).

Rys. 10 Rozkład prędkości w strudze powietrza wypływającej przez otwór bez kratki.



Tekst alternatywny.
Schemat stref strugi
wypływającej z otworu
wyposażonego w kratkę
wentylacyjną. W dolnej
części rysunku linie
wymiarowe pokazują
długości stref rozwoju
strugi: formowania strugi,
początkowej, przejściowej
i podstawowej. Wymiar L
pokazuje zasięg strugi.

Rys. 11 Rozkład prędkości w strudze powietrza wypływającej przez otwór wyposażony w kratkę wentylacyjną.

Zgodnie z kryterium Rydberga (Rys. 12) przepływ powietrza powoduje chłodzenie na skórze człowieka, gdyż ruch powietrza względem ciała człowieka powoduje odczucie temperatury niższej o 8 prędkości powietrza w $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (wzór 1).

$$v_x = \Delta t_x + 8 \cdot w_x \quad (1)$$

gdzie: v_x – zdolność chłodząca strugi, $^{\circ}\text{C}$

Δt_x – różnica temperatury pomiędzy powietrzem w pomieszczeniu, a strumieniem powietrza nawiewanego w odległości x od nawiewnika, $^{\circ}\text{C}$

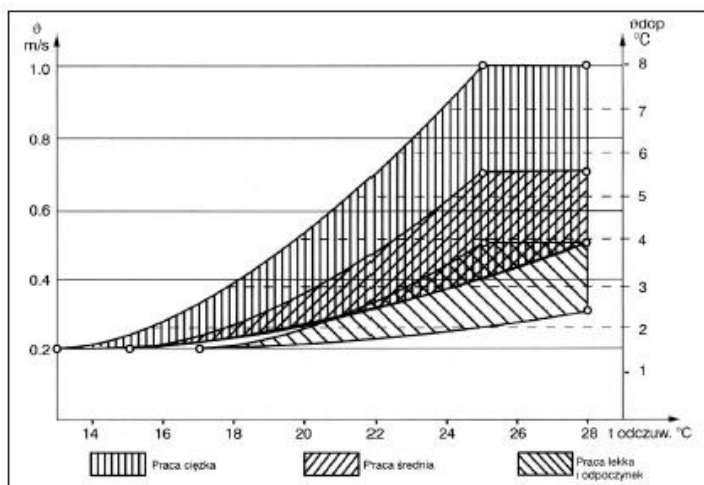
w_x – prędkość powietrza nawiewanego w odległości x od nawiewnika, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Kryterium Rydberga umożliwia obliczenie (wzór 2), na podstawie przyjętej zdolności chłodzącej strugi, dopuszczalnej prędkości powietrza (przy $\Delta t_x \neq 0$).

$$w_{x_{dop}} = \frac{v_{dop} - \Delta t_{x_{rzecz}}}{8} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (2)$$

gdzie: v_{dop} – przyjęta dopuszczalna zdolność chłodząca strugi, $^{\circ}\text{C}$

$\Delta t_{x-rzecz}$ – rzeczywista różnica temperatury pomiędzy powietrzem w pomieszczeniu, a strumieniem powietrza nawiewanego w odległości x od nawiewnika, $^{\circ}\text{C}$



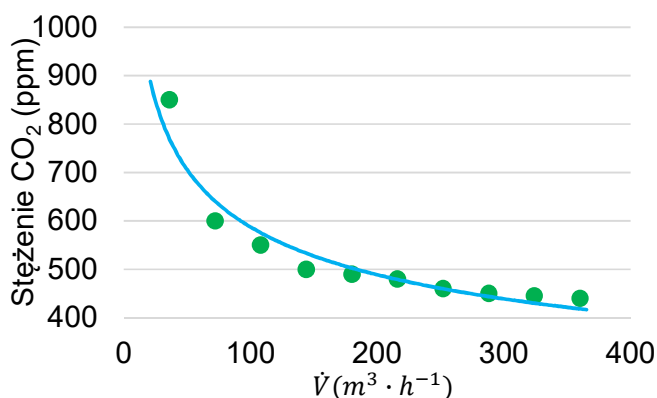
Tekst alternatywny.
Kryterium Rydberga
pokazujące dopuszczalne
wartości zdolności
chłodzącej strugi podczas
pracy ciężkiej (obszar
zakresowany liniami
pionowymi), średniej
(obszar zakresowany
liniami pochyłymi
w prawą stronę) oraz
lekkiej (obszar
zakresowany liniami
pochyłymi w lewą
stronę). Opis osi X –
temperatura
odczuwalna 13 – 29 °C,
opis lewej osi Y –
prędkość powietrza 0,2 –
1,0 m·s⁻¹, opis prawej osi
Y – dopuszczalna
zdolność chłodząca 0 –
8 °C.

Rys. 12 Dopuszczalne wartości zdolności chłodzącej strugi powietrza (Maczek i inni 2004)

2. Jakość powietrza w obliczeniach

Podczas projektowania wyposażenia technicznego budynku kierujemy się energooszczędnością systemów. Jednak mając świadomość, iż jakość powietrza wewnętrznego jest ściśle związana z ilością powietrza wentylacyjnego (Rys. 13) nie wolno redukować strumienia w dowolny sposób.





Tekst alternatywny. Wykres punktowy zależności stężenia dwutlenku węgla od strumienia powietrza wentylacyjnego. Opis osi X – strumień powietrza wentylacyjnego 0-400 ($m^3 \cdot h^{-1}$), opis osi Y – stężenie dwutlenku węgla w ppm. Na wykresie znajdują się punkty w kolorze zielonym pokazujące wysokość stężenia CO_2 przy określonej ilości powietrza wentylacyjnego. Kolorem niebieskim oznaczono linię trendu dla prezentowanych danych.

Rys. 13 Zależność stężenia dwutlenku węgla od wielkości strumienia wentylacyjnego (na podstawie Yerragolam i inni 2024)

Najstarszym wskaźnikiem mikroklimatu jest wartość Kata, czyli siła chłodząca powietrza. Jest to parametr mierzony katatermometrem (Rys. 14) określający natężenie chłodzenia powietrza lub siłę chłodzącą powietrza. Wyrażany jest w katastopniach suchych i wilgotnych. Pomiar katatermometrem polega na podgrzaniu termometru (np. poprzez włożenie jego dolnej części do gorącej wody) w taki sposób, aby poziom alkoholu sięgnął do połowy rozszerzonej rurki kapilarnej. Po zawieszeniu swobodnie przyrządu obserwuje się poziom słupa alkoholu. W momencie, gdy obniży się do poziomu wskazanego jako 38 °C należy rozpocząć pomiar czasu z wykorzystaniem stopera/sekundomierza. Pomiar uznaje się za zakończony, gdy słup alkoholu osiągnie wartość 35 °C. Intensywność chłodzenia uwzględnia w tym przypadku temperaturę i prędkość powietrza, a pozyskany wynik wyraża się w katastopniach suchych. Aby uwzględnić wilgotność powietrza podczas pomiaru czasu zbiorniczek z alkoholem musi być osłonięty zwilżonym materiałem (np. muślinem), wówczas uzyskany wynik wyraża się w katastopniach wilgotnych. Uzyskany czas pozwala na obliczenie wielkości chłodzącej powietrza H (wzór 3).

$$H = 41,868 \cdot \frac{G}{\tau} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (3)$$

gdzie: G – stała katatermometru, mcal·cm²

τ – czas ochładzania katatermometru, s



Tekst alternatywny. Rysunek katatermometru. W dolnej części zbiorniczek z alkoholem. Na podziałce oznaczono dwie wartości temperatury 35 °C oraz 38 °C. W górnej części widoczna jest rozszerzona część rurki kapilarnej.

Rys. 14 Katatermometr (źródło rysunku - <https://stacjameteo.com>)

Optymalne wartości Kata umieszczono w Tabeli 2. Zależą od aktywności fizycznej osób przebywających w pomieszczeniu.

Tabela 2. Wartości Kata w zależności od rodzaju pracy (na podstawie Skrzyniowska 2012)

Rodzaj pracy	Wartość Kata ($W \cdot m^{-2}$)
Spoczynek	168 – 210
Praca umysłowa	222 – 251
Lekka praca fizyczna	251 – 335
Ciężka praca fizyczna	503 – 753

2.1. Obliczanie strumienia powietrza w zależności od jakości powietrza zewnętrznego

Jakość powietrza zewnętrznego (c_o) może być przyjmowana jako:

- > 1 decypol dla dużych miast o złej jakości powietrza, przy niekorzystnych warunkach pogodowych,
- 0,05 – 0,3 decypol dla miast o średniej jakości powietrza,
- = 0,01 decypol dla terenów pozamiejskich, górskich, nad morzem.

Wielkość strumienia wentylacyjnego ($\dot{V}$) obliczamy na podstawie wzoru 4.

$$\dot{V} = 10 \cdot \frac{G}{c_i - c_o} \cdot \frac{1}{\varepsilon_a} \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (4)$$

gdzie: G – całkowity strumień zanieczyszczeń wydzielanych w pomieszczeniu, olf
 c_i – zakładana jakość powietrza, decypol
 ε_a – efektywność rozprowadzania powietrza w pomieszczeniu (0,9).





Zakładaną jakość powietrza obliczamy na podstawie wzoru (5) w zależności od odsetka osób niezadowolonych ze środowiska wewnętrznego – PPD (predicted percentage dissatisfied) opisanego w normie PN-EN ISO 7730.

$$c_i = 112 \cdot [\ln(PPD) - 5,98]^{-4} [\text{decypol}] \quad (5)$$

gdzie: G – całkowity strumień zanieczyszczeń wydzielanych w pomieszczeniu, olf

c_i – zakładana jakość powietrza, decypol

ε_a – efektywność rozprowadzania powietrza w pomieszczeniu (0,9).

Całkowity strumień zanieczyszczeń wydzielanych w pomieszczeniu (wzór 6) oblicza się na podstawie emisji pochodzącej od przebywających osób oraz emisji z materiałów budowlanych i systemów wentylacyjnych (Tabela 3).

Tabela 3. Emisje z materiałów budowlanych i systemów wentylacyjnych (Pełech 2008)

Rodzaj budynku	Wartość średnia (olf·m ⁻²)	Zakres (olf·m ⁻²)
Budynki istniejące		
Biura	0,6	0 – 3,0
Salę lekcyjne	0,3	0,12 – 0,54
Przedszkola	0,4	0,20 – 0,74
Salę konferencyjne	0,3	0,13 – 1,32
Budynki nowe		
Niskoemisyjne	0,1	
Inne	0,2	

$$G = l.os. \cdot G_{os} + A \cdot G_m [\text{decypol}] \quad (6)$$

gdzie: $l.os.$ – liczba osób w pomieszczeniu

G_{os} – emisja od standardowej osoby, olf·os

A – powierzchnia podłogi pomieszczenia, m²

G_m – emisja z materiałów budowlanych i systemów wentylacyjnych, olf·m⁻².

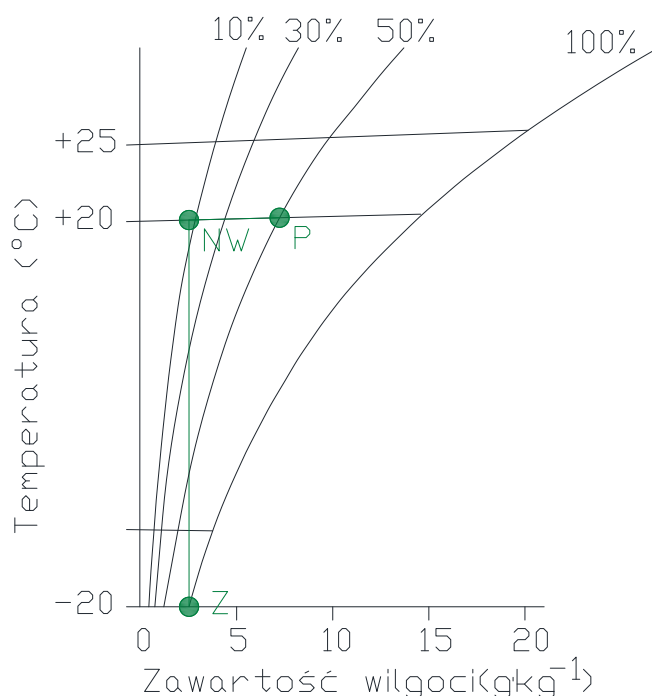
2.2. Obliczanie strumienia powietrza w oparciu o wykres Moliera

Wykres Moliera stanowi doskonałe narzędzie do projektowania instalacji wentylacji i klimatyzacji. Znajomość przebiegu procesów obróbki powietrza pozwala określić stan powietrza na poszczególnych etapach oraz obliczyć strumień powietrza i moce urządzeń stosowanych w danym układzie wentylacji/klimatyzacji. Na Rys. 15 przedstawiono sposób realizacji wymiany powietrza w instalacji wentylacji mechanicznej podczas pracy w okresie zimowym bez uwzględnienia przemian powietrza w pomieszczeniu. Powietrze zewnętrzne (Z) o temperaturze -20 °C

Strona 21 z 30



i wilgotności 100 % jest podgrzewane w nagrzewnicy do momentu osiągnięcia temperatury powietrza równej temperaturze powietrza w pomieszczeniu (NW). Ostatnim procesem obróbki powietrza w tym prostym układzie jest nawilżanie parowe (P) przy stałej wartości temperatury do osiągnięcia wilgotności 50 %. Powietrza o temperaturze 20 °C i wilgotności 50 % jest w tym przypadku nawiewane do pomieszczenia. W takim najprostszym rozwiązaniu systemu wentylacyjnego ilość powietrza określa się na podstawie krotności wymian, minimum higienicznego lub stężenia zanieczyszczeń gazowych/pyłowych.

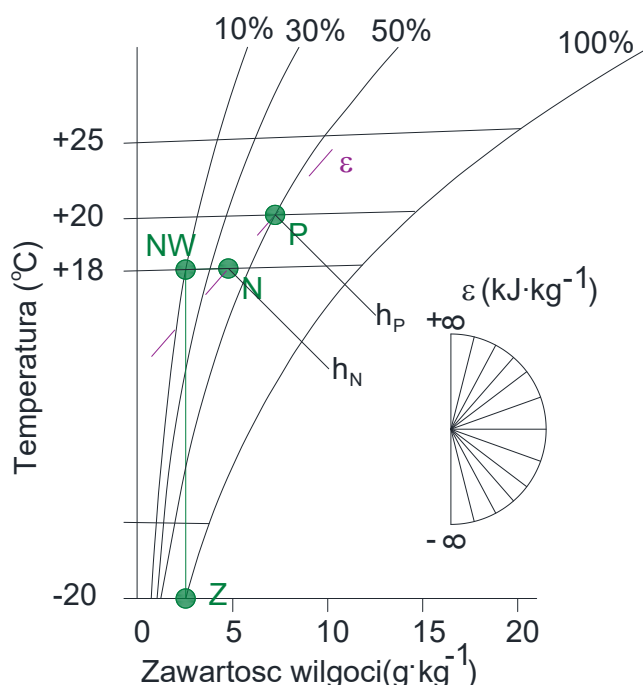


Tekst alternatywny.
Schematyczny wykres
Moliera pokazujący
przemiany w centrali
wentylacyjnej – linia koloru
zielonego. Wielkimi literami
oznaczono kolejne stany
powietrza przepływającego
przez urządzenia do obróbki:
Z – powietrze zewnętrzne,
NW – powietrze za
nagrzewnicą, P – powietrze
za nawilżaczem powietrza.

Rys. 15 Przebieg procesu uzdatniania powietrza w centrali wentylacyjnej bez uwzględnienia przemian w pomieszczeniu.

Bardziej skomplikowanym procesem uzdatniania powietrza (Rys. 16), a zarazem lepszym z punktu widzenia możliwości kształtowania mikroklimatu jest projektowanie z uwzględnieniem współczynnika kierunkowego przemiany (ϵ). Współczynnik kierunkowy przemiany jest stosunkiem zysków ciepła od ludzi do zysków wilgotności od ludzi przebywających w pomieszczeniu. Znajomość współczynnika kierunkowego pozwala na wykreślenie fioletowej linii na wykresie Moliera. Powietrze zewnętrzne (Z) o temperaturze -20 °C i wilgotności 100 % jest podgrzewane w nagrzewnicy do momentu osiągnięcia temperatury nawiewu ustalonej jako niższej od temperatury powietrza w pomieszczeniu o 2 – 4 K (NW). Ostatnim procesem obróbki powietrza w omawianym układzie jest nawilżanie parowe (P) przy stałej wartości temperatury do osiągnięcia wilgotności określonej przez współczynnik kierunkowy przemiany.

Powietrze o temperaturze 18 °C i wilgotności 45 % jest w tym przypadku nawiewane do pomieszczenia. Po opuszczeniu nawiewnika powietrze jest nasycane ciepłem i wilgocią od ludzi i uzyskuje żądane parametry temperaturę 20 °C i wilgotność 50 %. W takim rozwiązaniu systemu do obliczenia ilości powietrza wentylacyjnego wykorzystujemy wymienione wcześniej metody oraz metodę na podstawie różnicy entalpii powietrza w pomieszczeniu i powietrza nawiewanego oraz zysków ciepła w pomieszczeniu.



Tekst alternatywny.
Schematyczny wykres Moliera pokazujący przemiany w centrali wentylacyjnej – linia koloru zielonego. Kolorem fioletowym oznaczono współczynnik kierunkowy przemiany. Wielkimi literami oznaczono kolejne stany powietrza przepływającego przez urządzenia do obróbki: Z – powietrze zewnętrzne, NW – powietrze za nagrzewnicą, N – powietrze za nawilżaczem powietrza nawiewane do pomieszczenia, P – powietrze w pomieszczeniu.

Rys. 16 Przebieg procesu uzdatniania powietrza w centrali wentylacyjnej z uwzględnieniem przemian w pomieszczeniu.

Projektowanie z wykorzystaniem wykresu Moliera pozwala również obliczyć wymagane moce urządzeń oraz ilość wilgoci wymaganej dla nawilżacza powietrza. Na przykładzie Rys. 15 i 16 można zauważyć, iż uwzględnienie przemian powietrza w pomieszczeniu wpływa również na te parametry. Podgrzewanie powietrza przebiega pomiędzy punktami Z oraz NW, jak można zauważyć w przypadku braku uwzględnienia przemian powietrza w pomieszczeniu odcinek pomiędzy tymi dwoma punktami jest dłuższy, a to oznacza większą wymaganą moc nagrzewnicy. Nawilżanie z kolei przebiega pomiędzy punktami NW oraz P (N – rys. 15). W tym przypadku również można zauważyć, iż odcinek pomiędzy tymi dwoma punktami jest dłuższy jeżeli nie uwzględniono przemian powietrza w pomieszczeniu. To oznacza, iż system wymaga większej ilości pary do nawilżacza.



2.3. Obliczanie temperatury odczuwalnej, wynikowej, operacyjnej

Średnia temperatura promieniowania (wzór 7) definiowana jest jako jednorodna temperatura otaczających czarnych przegród, która powodowałaby straty ciepła na drodze promieniowania równe rzeczywistym stratom w pomieszczeniu. Podejście do temperatury promieniowania zgodnie z przytoczoną definicją jest właściwe dla pomieszczeń, gdzie wartości temperatury przegród budowlanych nie różnią się znacząco.

$$T_{mR-1} = \frac{T_1 \cdot A_1 + T_2 \cdot A_2 + \dots + T_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} [^{\circ}\text{C}] \quad (7)$$

gdzie: $T_1, T_2, \dots, T_n$ – temperatura przegród pomieszczenia, $^{\circ}\text{C}$
 $A_1, A_2, \dots, A_n$ – powierzchnia przegród pomieszczenia, m^2

Jeżeli w pomieszczeniu występują znaczne różnice wartości temperatury przegród (np. powierzchnia grzewcza po jednej stronie i oszklona przegroda po drugiej) należy obliczyć średnią temperaturę efektywną promieniowania powierzchni zgodnie ze wzorem 8.

$$T_{mR-2} = T_1 \cdot \varphi_1 + T_2 \cdot \varphi_2 + \dots + T_n \cdot \varphi_n [^{\circ}\text{C}] \quad (8)$$

gdzie: $T_1, T_2, \dots, T_n$ – temperatura przegród pomieszczenia, $^{\circ}\text{C}$
 $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ – współczynnik kierunkowy promieniowania i-tej powierzchni, obliczony względem człowieka (lub wyznaczony z tablic w Fanger 1974), -

Temperatura promieniowania oraz temperatura powietrza w pomieszczeniu są podstawowymi parametrami komfortu cieplnego. Połączenie ich pozwala określić temperaturę odczuwalną (wzór 9) oraz wynikową (operacyjną) (wzór 10). Zasadniczo te dwa parametry różni podejście do średniej temperatury promieniowania, jeżeli w obliczeniach wykorzystywana jest średnia temperatura promieniowania mówimy o temperaturze odczuwalnej, jeżeli średnia temperatura efektywna promieniowania, o temperaturze operacyjnej.

$$T_{odcz} = \frac{T_i + T_{mR-1}}{2} [^{\circ}\text{C}] \quad (9)$$

$$T_{op} = \frac{T_i + T_{mR-2}}{2} [^{\circ}\text{C}] \quad (10)$$

gdzie: T_i – temperatura powietrza w pomieszczeniu, $^{\circ}\text{C}$





2.4. Zadania

1. Oblicz ilość powietrza wentylacyjnego dla pomieszczenia biurowego, w którym przebywa 5 osób. Powierzchnia podłogi wynosi 20 m². Budynek zlokalizowany jest na terenie o średniej jakości powietrza, a odsetek niezadowolonych ze środowiska wewnętrznego wynosi 15 %. Sprawdź jak zmieni się ilość powietrza, jeżeli pomieszczenie zlokalizowane byłoby poza miastem. Oceń, czy ilość powietrza wentylacyjnego spełnia wymagania minimum higienicznego.

Dane:

$$A = 20m^2$$

$$l.os. = 5$$

$$PPD = 20\%$$

Szukane:

$$\dot{V}_s = ?$$

$$\dot{V}_d = ?$$

Założenie:

$$G_m = 0,6 \frac{olf}{m^2}$$

$$c_{os} = 0,13decypol$$

$$c_{od} = 0,01decypol$$

- obliczenie całkowitego strumienia zanieczyszczeń wydzielanych w pomieszczeniu

$$G = 5 \cdot 1 + 20 \cdot 0,6 = 17 [olf]$$

- obliczenie zakładanej jakości powietrza

$$c_i = 112 \cdot [\ln(15) - 5,98]^{-4} = 0,9772[decypol]$$

- obliczenie strumienia powietrza wentylacyjnego dla lokalizacji na terenie o średniej jakości powietrza

$$\dot{V} = 10 \cdot \frac{17}{0,9772 - 0,13} \cdot \frac{1}{0,9} = 223 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

- obliczenie strumienia powietrza wentylacyjnego na osobę

$$\dot{V}_{os} = \frac{147}{5} = 45 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

- sprawdzenie, czy ilość powietrza na osobę jest wystarczająca

$$45 \left[\frac{m^3}{h} \right] > 30 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

- obliczenie strumienia powietrza wentylacyjnego dla lokalizacji na terenie dużego miasta





$$\dot{V} = 10 \cdot \frac{17}{0,9772 - 0,01} \cdot \frac{1}{0,9} = 195 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

- obliczenie strumienia powietrza wentylacyjnego na osobę

$$\dot{V}_{os} = \frac{195}{5} = 39 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

- sprawdzenie, czy ilość powietrza na osobę jest wystarczająca

$$39 \left[\frac{m^3}{h} \right] > 30 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Odp.

Ilość powietrza dla usunięcia zanieczyszczeń emitowanych w pomieszczeniu na terenie średniego miasta wyniesie $223 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, a na terenie poza miastem $195 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. W obu lokalizacjach osiągnięta jest minimalna ilość powietrza wymagana dla jednej osoby.

2. Oblicz dopuszczalną prędkość powietrza w odległości 2 m od nawiewnika, w pomieszczeniu, gdzie wykonywana jest lekka praca. Różnica temperatury powietrza w pomieszczeniu i powietrza nawiewanego w odległości 2 m od nawiewnika wynosi 2 K.

Dane:

$$\Delta T_{2m_{rzecz}} = 2K$$

lekka praca

Szukane:

$$w_{2m_{dop}} = ?$$

Założenie:

$$v_{dop} = 3^\circ\text{C} \text{ dla pracy lekkiej z Rysunku 10}$$

$$w_{2m_{dop}} = \frac{3 - 2}{8} = 0,125 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Odp.

Dopuszczalna prędkość powietrza w odległości 2 m od nawiewnika wynosi $0,125 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3. Dokonaj oceny zdolności chłodzącej strugi powietrza o temperaturze 20°C , dopływającej do pomieszczenia, w którym wykonywana jest lekka praca. Prędkość powietrza w pomieszczeniu wynosi $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, a temperatura odczuwalna 22°C .

Dane:

$$t_{odcz} = 22^\circ\text{C}$$

Szukane:

$$v_x = ?$$





$t_n = 20^{\circ}\text{C}$
lekka praca

Założenie:

$v_{dop} = 2,5^{\circ}\text{C}$ dla pracy lekkiej, prędkości $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i temperatury 22°C z Rysunku 10

- obliczenie zdolność chłodzącej strugi powietrza

$$v_x = 2 + 8 \cdot 0,3 = 4,4[^{\circ}\text{C}]$$

- sprawdzenie, czy zdolność chłodząca strugi powietrza jest odpowiednia dla pomieszczenia, w którym wykonywana jest lekka praca fizyczna
 $4,4[^{\circ}\text{C}] > 2,5[^{\circ}\text{C}]$

Odp.

Zdolność chłodząca strugi jest za duża. Instalacja wentylacji wymaga regulacji, aby zachowany był komfort termiczny w pomieszczeniu.

4. Oblicz temperaturę odczuwalną w pomieszczeniu o wymiarach $4 \times 5 \times 2,8 \text{ m}$. W pomieszczeniu utrzymywana jest temperatura powietrza 21°C . W ścianie o długości 4 m umieszczono okno zajmujące 80% jej powierzchni. Temperatura okna wynosi 17°C .

Dane:

$A = 4 \text{ m}$
 $B = 5 \text{ m}$
 $h = 2,8 \text{ m}$
 $t_i = 21^{\circ}\text{C}$
 $t_o = 17^{\circ}\text{C}$

Szukane:

$T_{odcz} = ?$

Założenie:

temperatura przegród pomieszczenia jest równa temperaturze powietrza w pomieszczeniu

- obliczenie powierzchni ścian wewnętrznych

$$\begin{aligned} A_1 &= 4 \cdot 2,8 = 11,2[\text{m}^2] \\ A_2 &= 0,2 \cdot 4 \cdot 2,8 = 2,24[\text{m}^2] \\ A_3 &= 5 \cdot 2,8 = 14[\text{m}^2] \\ A_4 &= 5 \cdot 2,8 = 14[\text{m}^2] \\ A_5 &= 4 \cdot 5 = 20[\text{m}^2] \\ A_6 &= 4 \cdot 5 = 20[\text{m}^2] \\ A_{okno} &= 0,8 \cdot 4 \cdot 2,8 = 8,96[\text{m}^2] \end{aligned}$$





- obliczenie średniej temperatury promieniowania

$$T_{mR-1} = \frac{21 \cdot 11,2 + 21 \cdot 2,24 + 21 \cdot 14 + 21 \cdot 14 + 21 \cdot 20 + 21 \cdot 20 + 17 \cdot 8,96}{11,2 + 2,24 + 14 + 14 + 20 + 20 + 8,96} \\ = 20,6[^\circ\text{C}]$$

- obliczenie temperatury odczuwalnej

$$T_{odcz} = \frac{21 + 20,6}{2} = 20,8[^\circ\text{C}]$$

Odp.

Temperatura odczuwalna w pomieszczeniu wyniesie 20,8 °C.





4. Spis literatury

- ✓ materiały zwarte:
 - Auliciems A., Szokolay S. V. (1997) *Thermal Comfort, Design Tools and Techniques. Passive and Low Energy Architecture International*, No. 3, PLEA Notes. Brisbane: International Passive and Low Energy Architecture (PLEA) Organisation, and Dept. of Architecture, University of Queensland.
 - Fanger P.O. (1974) *Komfort cieplny*, Arkady, Warszawa
 - Koczyk H. (2005) *Ogrzewnictwo praktyczne. Projektowanie – Montaż – Eksploatacja*. Systherm Serwis Danuta Gazińska S.J., Poznań
 - Maczek K., Schnotale J., Skrzyniowska D., Sikorska – Bączek R. (2004) *Uzdatnianie powietrza w Inżynierii Środowiska* dla celów wentylacji i klimatyzacji, Politechnika Krakowska, Kraków
 - Pelech A. (2008). *Wentylacja i klimatyzacja*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
- ✓ artykuły/statystyki:
 - Skrzyniowska D. (2012), Parametry powietrza wewnątrz pomieszczeń do stałego przebywania ludzi, *Środowisko. Czasopismo techniczne*, zeszyt 28, rok 109, 4-Ś/2012, str. 15 – 35
 - Yerragolam G.S., Howland C.J., Yang R., Stevens R.J.A.M., Verzicco R., Lohse D. (2024), Effect of airflow rate on CO₂ concentration in downflow indoor ventilation, *Indoor Environments*, vol.1 issue 2, 100012, <https://doi.org/10.1016/j.indenv.2024.100012>
- ✓ normy:
 - PN-B-02151-2:2018-01 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach - Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach
 - PN-EN ISO 7730:2006 Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu termicznego
 - CEN, CR 1752:1998: Ventilation for Buildings. Design Criteria for the Indoor Environment.
 -
- ✓ źródła internetowe:
 - Hałas (2023). *Powiatowa Stacja Sanitarno – Epidemiologiczna*. [online]: <https://www.gov.pl/web/psse-szczecin/halas> (dostęp 19.05.2025)
 - Filtry świecowe do redukcji H₂S i innych odorów <https://www.zdpwa.com.pl/weglowe-filtry-swieczowe-do-redukcji-h2s-siarkowodoru-i-innych-odorow-z->





powietrza.html?gad_source=1&gad_campaignid=14262602636&clid=Cj0KCQjwlrBBhDnARIsAHEQgOR43FzfSdoYWrwDAh5eR4peTg2szbXlOZIF3OI6a6sf1_ZOGs8zO8EaAgENEALw_wcB

(dostęp 22.05.2025)

- Ozonowanie pomieszczeń. *Powiatowa Stacja Sanitarno – Epidemiologiczna* [online]: <https://www.gov.pl/web/psse-wrzesnia/ozonowanie-pomieszczen> (dostęp 23.05.2025)
- Katatermometr T017 <https://stacjameteo.com/pl/p/Katatermometr-T017/507> (dostęp 22.05.2025)

