

1. Komfort cieplny pomieszczeń

Przy określaniu warunków panujących w pomieszczeniu używa się zwykle dwóch pojęć: mikroklimat i komfort cieplny.

Przez pojęcie *mikroklimatu wewnątrz* rozumie się zespół wszystkich parametrów fizycznych i chemicznych danego pomieszczenia, wywierający wpływ na organizm człowieka. Do głównych parametrów mikroklimatu zaliczyć można: temperaturę powietrza, średnią temperaturę powierzchni przegród, prędkość ruchu powietrza, wilgotność powietrza. Zespół czynników pozatermicznych to: zanieczyszczenie powietrza, jonizacja powietrza, poziom hałasów, oświetlenie itp., których wpływ jest mniejszy i mniej poznany.

Komfortem cieplnym określa się warunki dobrego samopoczucia, tj. taki stan otoczenia, w którym jest zachowana równowaga cieplna organizmu ludzkiego.

Odczuwanie ciepła lub zimna przez człowieka, czyli stopień obciążenia układu termoregulacyjnego organizmu, zależy od wymienionych głównych parametrów mikroklimatu. System regulacji termicznej człowieka, którego zadaniem jest utrzymywanie stałej temperatury ciała, wynoszącej ok. 37°C, oddziałuje na ilość ciepła oddawanego przez organizm przez promieniowanie, konwekcję, przewodzenie i odparowanie wilgoci. Ponadto ilość oddawanego ciepła związana jest z wydatkiem energetycznym organizmu, a więc zależy od rodzaju wykonywanych czynności. Równocześnie straty ciepła organizmu zależą od izolacyjności cieplnej odzieży.

Związki te można wyrazić ogólnym równaniem bilansu cieplnego organizmu

$$S = M - W \pm E \pm R \pm C \quad (1)$$

gdzie:

S - strumień ciepła związany ze wzrostem temperatury ciała (w warunkach równowagi cieplnej $S = 0$),

M - strumień ciepła produkowanego przez organizm w wyniku przemiany materii (metabolizm),

W - strumień ciepła związany z wykonywaniem pracy zewnętrznej,

E - strumień ciepła traconego w wyniku odparowania wody,

R - strumień ciepła tracony przez wypromieniowanie do otoczenia,

C - strumień ciepła traconego przez konwekcję.

Organizm człowieka może samoczynnie przystosować się tylko w pewnych niewielkich granicach do zmian warunków otoczenia. Przekroczenie tych granic prowadzi do zachwiania równowagi cieplnej organizmu, co grozi zdrowiu, a nawet życiu człowieka. Dlatego w pomieszczeniach przeznaczonych do mieszkania, pracy i wypoczynku, należy stwarzać optymalne warunki, w zależności od rodzaju ich użytkowania.

Strumień cieplny produkowany przez organizm w wyniku przemiany materii M zależy od rodzaju wykonywanego zajęcia i jest proporcjonalny do intensywności oddychania. Przykładowo, dla człowieka odpoczywającego w bezruchu (w pozycji siedzącej) strumień ciepła produkowanego przez organizm M jest w przybliżeniu stały i wynosi ok. 58 W na 1 m² powierzchni ciała w ciągu 1 godziny. Przy ciężkiej pracy fizycznej strumień ciepła wzrasta do wielkości ok. 1000 W/(m²h). Przy maksymalnym chwilowym wysiłku strumień ciepła może przekroczyć wielkość nawet kilku tysięcy W/(m²h).

Dodatnie wartości E , R , C we wzorze (1) odpowiadają wzrostowi temperatury, a ujemne jej spadkowi. Pracę W wykonywaną przez organizm traktuje się jako dodatnią.

Czynnikiem decydującym o odczuciu komfortu cieplnego jest temperatura powietrza i średnia temperatura powierzchni przegród otaczających. Dla pomieszczeń, w których

powietrze znajduje się w bezruchu można przyjąć, że temperatura odczuwalna t_M jest równa średniej arytmetycznej temperatury powietrza t i powierzchni otaczającej pomieszczenie t_r

$$t_M = \frac{t + t_r}{2} \quad (2)$$

W okresie zimowym w pomieszczeniach mieszkalnych oraz przeznaczonych na pracę umysłową i odpoczynek za najwłaściwszy poziom temperatury odczuwalnej przyjmuje się 20°C .

Natomiast w pomieszczeniach, w których wykonuje się pracę fizyczną, temperatura ta jest zróżnicowana, w granicach $12 \div 16^\circ\text{C}$, w zależności od intensywności pracy.

W pomieszczeniach ogrzewanych, w których temperatura powietrza wynosi $18 \div 23^\circ\text{C}$, wpływ wilgotności względnej powietrza jest niewielki.

Zróżnicowanie wilgotności powietrza w granicach $30 \div 60\%$, które występuje najczęściej w pomieszczeniach ogrzewanych, nie jest odczuwalne przez ludzi w sposób istotny. Również wpływ prędkości przepływu powietrza poniżej $0,2 \text{ m/s}$, co przeważnie ma miejsce w pomieszczeniach mieszkalnych i użyteczności publicznej, nie ma istotnego znaczenia na odczucie komfortu cieplnego.

W okresie letnim, oprócz temperatury powietrza i temperatury przegród otaczających, również i wilgotność powietrza oraz prędkość jego ruchu wpływają w istotny sposób na odczucie komfortu cieplnego.

Wzrost wilgotności powietrza w temperaturze ponad 23°C powoduje utrudnione odparowanie potu i jest odczuwalny jak wzrost temperatury. Natomiast wzrost prędkości ruchu powietrza w temperaturze poniżej 30°C odczuwa się jako spadek temperatury otoczenia. Wyklucza się gwałtowne ruchy powietrza (przeciągi), które mogą być szkodliwe dla zdrowia.

W Polsce nie normuje się temperatury w pomieszczeniach w okresie letnim, mimo że przy dużych przeszkleniach elewacji zysk ciepła od nasłonecznienia może podnieść temperaturę w pomieszczeniach znacznie ponad odczucie komfortu cieplnego. Według wymagań zagranicznych temperatura w pomieszczeniach latem nie powinna przekraczać 27°C . W stanie spoczynku lub pracy umysłowej za najwłaściwszą przyjmuje się temperaturę $+20^\circ\text{C}$, a przy ciężkiej pracy fizycznej w granicach $12-16^\circ\text{C}$.

2. Stabilizacja temperatury wewnętrznej w okresie zimowym

Amplitudę temperatur w pomieszczeniu będącej między innymi stateczności cieplnej przegród, można wyznaczyć z uproszczonej zależności:

$$\Theta_i = \frac{0,7mQ_{sr}}{\sum_j B_j P_j} \quad - \quad \text{Warunek Stateczności w okresie zimowym}$$

gdzie:

- Θ_i – amplituda temperatury powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu,
- $0,7$ – współczynnik wynikający z wzajemnego przesunięcia fazowego temperatury i strumienia cieplnego,
- m – współczynnik nierównomiernego ogrzewania

$$m = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{2Q_{\text{sr}}}$$

Q_{\max} , Q_{\min} – odpowiednio maksymalna lub minimalna wartość strumienia ciepła wydzielana przez urządzenia grzewcze

Q_{sr} – średnia wartość strumienia ciepła wydzielonego przez urządzenia grzewcze

B – wartość wyrażająca wpływ pojemności cieplnej przegrody określana z zależności

$$B = \frac{Y_i \alpha_i}{Y_i + \alpha_i}$$

Y_i – współczynnik przyswajania ciepła przez wewnętrzną powierzchnię przegrody zależny od współczynnika przenikania ciepła λ , ciepła właściwego c i gęstości materiału przegrody ρ ,

α_i – współczynnik przejmowania ciepła przez wewnętrzną powierzchnię przegrody.

3. Warunki w pomieszczeniach ogrzewanych w okresie zimowym

W naszym klimacie najtrudniejszym okresem z punktu widzenia zapewnienia warunków komfortu cieplnego dla ludzi jest zima. Wiąże się to nie tylko z ochroną od wpływu czynników atmosferycznych, ale głównie z zapewnieniem odpowiednio wysokiej temperatury w pomieszczeniach.

W warunkach ustalonego przepływu ciepła, przy istniejącej różnicy temperatur powietrza wewnątrz pomieszczeń i powietrza zewnętrznego, o zapewnieniu warunków komfortu cieplnego decydują: izolacyjność termiczna przegród (głównie zewnętrznych) oraz wydatek urządzeń grzewczych. W każdej chwili powinna się bilansować ilość wytworzonego ciepła z ilością traconego z pomieszczenia.

Straty ciepła z pomieszczenia do powietrza zewnętrznego są sumą strat ciepła przez przenikanie i na ogrzanie powietrza wentylacyjnego.

Przy zmiennej w czasie temperaturze powietrza zewnętrznego, istnieje konieczność zapewnienia stałej temperatury w pomieszczeniu.

Drugim podstawowym czynnikiem kształtującym warunki komfortu cieplnego jest izolacyjność termiczna ścian stykających się z powietrzem zewnętrznym

Wszystkie te ograniczenia mają na celu zmniejszenie energii zużywanej na ogrzewanie, jak również przyczyniają się do stabilizacji optymalnych parametrów komfortu cieplnego w okresie zimowym.

4. Stabilizacja temperatur w okresach letnich

$$J_c = J_B + J_R - \text{Całkowite natężenie promieniowania słonecznego}$$

gdzie:

J_B – promieniowanie rozproszone

J_R - promieniowanie bezpośrednie

Stateczność cieplną w okresie letnim określa się przyrostem temperatury powietrza w pomieszczeniu ponad temperaturę odniesienia (średnia temperatura

powietrza zewnętrznego w rozpatrywanym przedziale czasowym). Przyrost ten, a bardziej ogólnie mówiąc **zyski ciepła** w pomieszczeniu, zależą przede wszystkim od:

- wielkości powierzchni przeszklonych,
- współczynnika przepuszczalności energii cieplnej,
- orientacji elewacji z powierzchniami przeszklonym względem stron świata.

5. Warunki w pomieszczeniach w okresie letnim

Zmiany temperatury powietrza w pomieszczeniach w okresie letnim zachodzą głównie pod wpływem promieniowania słonecznego, przedostającego się do pomieszczeń przez okna.

Przy wyeliminowaniu wpływu nasłonecznienia, temperatura w pomieszczeniach jest praktycznie wyrównana i zbliżona do średniej temperatury powietrza zewnętrznego w rozpatrywanych kilku lub kilkunastu dni, traktowanej jako temperatura odniesienia. Od tej temperatury można liczyć wzrost temperatury spowodowanej nasłonecznieniem.

Natężenie promieniowania słonecznego, padającego na płaszczyznę prostopadłą do promieni na górnej umownej granicy atmosfery, jest w przybliżeniu stałe i równe średnio $I_0 = 1355 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (tzw. stała słoneczna).

Po przejściu przez warstwę powietrza natężenie promieniowania maleje wskutek absorpcji promieniowania przez parę wodną oraz rozpraszania go na stałych i ciekłych zawiesinach w powietrzu. W wyniku tego rozpraszania atmosfera staje się dodatkowym źródłem tzw. promieniowania rozproszonego.

W atmosferze nasyconej dymami, pyłami i parą wodną promieniowanie bezpośrednie maleje, natomiast promieniowanie rozproszone wzrasta.

Natężenie promieniowania słonecznego z kierunku wschodniego i zachodniego są jednakowe i symetryczne względem południa. W rzeczywistości przegrzanie pomieszczeń jest bardziej odczuwalne przy orientacji zachodniej, co wynika z faktu, że również temperatura powietrza osiąga maksimum po południu (ok. godziny piętnastej).

W wyniku pokrycia nieba chmurami może następować zanik promieniowania bezpośredniego, skompensowany tylko częściowo jednoczesnym wzrostem natężenia promieniowania rozproszonego.

Wpływ zachmurzenia ujmowany jest w stacjach klimatologicznych przez obserwacje nasłonecznienia, tj. czasu trwania promieniowania bezpośredniego.

Nasłonecznienie względne, liczone w procentach, dla okresu letniego przykładowo wynosi: na obszarze Polski 50 ÷ 60%, w Sztokholmie 57%, w Atenach 85%, a w Edynburgu 41%.

Temperatura powietrza zewnętrznego w okresie letnim wykazuje znaczną zmienność w ciągu doby przy jednoczesnych dużych różnicach między poszczególnymi dniami.

6. Reżim cieplny pomieszczeń w warunkach letnich

O ile reżim cieplny pomieszczeń w warunkach zimowych określony jest przez właściwości przegród (głównie zewnętrznych) i działanie urządzeń ogrzewczych, to w okresie letnim uzależniony jest on przez właściwości przegród otaczających pomieszczenie i ewentualne, działanie urządzenia klimatyzacyjnego. Zasadnicza różnica polega na tym, że pomieszczenia wymagające ochrony cieplnej zimą są przeważnie ogrzewane, natomiast stosowanie urządzeń klimatyzacyjnych, dla zapewnienia odpowiednich warunków latem nie jest tak powszechne nawet w krajach wysoko rozwiniętych. Stąd też należy odróżnić dwa odrębne przypadki:

- a) pomieszczeń klimatycznych, w których zakłada się najczęściej stałość temperatury wewnętrznej,
- b) pomieszczeń nieklimatyzowanych, w których powstają dość znaczne wahania tem-

peratury wewnętrznej pod wpływem zewnętrznych czynników klimatycznych.

W pierwszym przypadku przy założonej stałej temperaturze powietrza wewnętrznego oblicza się zyski ciepła eksploatacyjne i od czynników klimatu zewnętrznego (głównie promieniowania słonecznego). Najbardziej niekorzystne zyski ciepła przyjmuje się jako graniczne obciążenie instalacji klimatyzacyjnej, a dopasowanie jej wydajności do chwilowych rzeczywistych wartości zysków ciepła staje się zadaniem urządzeń regulacji automatycznej.

Przyjęcie stałej temperatury powietrza wewnętrznego (i tym samym przegród wewnętrznych i elementów wyposażenia wnętrza) powoduje pominięcie wpływu pojemności cieplnej przegród. W rzeczywistości dopuszczenie pewnych niewielkich wahań temperatury wewnętrznej (co jest możliwe np. w obiektach budownictwa ogólnego) poprzez częściowe wykorzystanie pojemności cieplnej przegród wewnętrznych wpływa na zmniejszenie niezbędnej wydajności urządzeń klimatyzacyjnych. Przy większym ograniczeniu wahań temperatury powietrza wewnętrznego (co może być podyktowane względami technologii produkcji np. w przemyśle elektronicznym) wpływu pojemności cieplnej przegród nie uwzględnia się.

Odwrotnie, w przypadku pomieszczeń nieklimatyzowanych pojemność cieplna przegród, zwłaszcza wewnętrznych, ma zasadnicze znaczenie. Im masywniejszy budynek i im mniejsze okna, tym uzyskuje się bardziej stabilną temperaturę pomieszczeń.

Ograniczymy się do omówienia w zasadzie tylko zagadnień dotyczących pomieszczeń nieklimatyzowanych, a więc wahań temperatur wewnętrznych pod wpływem zewnętrznych czynników klimatycznych. Wahania te zachodzą głównie pod wpływem promieniowania słonecznego przedostającego się do pomieszczeń przez okna. Przy wyeliminowaniu wpływu nasłonecznienia temperatura w pomieszczeniach jest wyrównana i zbliżona do średniej temperatury powietrza zewnętrznego w rozpatrywanym okresie kilku lub kilkunastu dni, traktowanej jako temperatura odniesienia. Od tej temperatury możemy liczyć wzrost temperatury spowodowany nasłonecznieniem.

Intensywność promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię pionową I_{rv} podano w postaci funkcji uwzględniającej chód dobowy Słońca, orientację elewacji i stopień zapylenia atmosfery. Zmienność temperatury powietrza zewnętrznego przyjęto wg krzywej harmonicznej o amplitudzie 8°C i maksimum o 3-ej godzinie czasu słonecznego licząc od południa.

PRZYROST TEMPERATURY POWIETRZA WEWNĘTRZNEGO można obliczyć ze wzoru:

$$\Delta t = \frac{F_o}{F_p} S \mu$$

gdzie:

F_o – powierzchnia okna,

F_p – powierzchnia podłogi,

S – TRI według PN-B-02025:1999 - współczynnik przepuszczalności energii cieplnej zależny od rodzaju ilości szyb i rodzaju szkła oraz stosowania innych zabezpieczeń typu żaluzje zewnętrzne, żaluzje wewnętrzne, rolety materiałowe lub wertikale.