

Prawie wszystkie materiały stosowane w budownictwie, zarówno pochodzenia naturalnego jak i sztucznego, mają strukturę porowatą. Materiały takie zawierają zawsze pewną ilość wilgoci. Fakt ten ma duże znaczenie praktyczne, gdyż wilgoć wpływa niekorzystnie na szereg własności oraz wartość użytkową materiałów budowlanych w tym na ich trwałość. Zawilgocenie przegród budowlanych powoduje obniżenie ich izolacyjności cieplnej, wskutek czego zwiększają się straty ciepła z pomieszczeń. Przy dużej zawartości wilgoci przegrody budowlane mogą nie spełniać w sposób zadowalający podstawowego zadania, jakim jest zapewnienie wymaganych warunków sanitarno-higienicznych w pomieszczeniach oraz ochrona przed wpływami klimatu zewnętrznego.

Wilgoć jest również głównym czynnikiem powodującym starzenie materiałów i konstrukcji. Wilgotne materiały i przegrody ulegają znacznie szybciej zniszczeniu niż materiały i przegrody suche. Trwałość niektórych materiałów budowlanych wielokrotnie zmniejsza się pod wpływem zawilgocenia. Przykładem mogą być materiały pochodzenia roślinnego, które w stanie wilgotnym ulegają gniciu, lub lekkie betony komórkowe, które przy dużym zawilgoceniu niszczą się łatwo pod wpływem działaniem mrozu.

Aby zapobiec ujemnym skutkom zawilgocenia materiałów budowlanych należy poznać przyczyny zawilgocenia, oraz zjawiska warunkujące ruch wilgoci w tych materiałach. Wśród przyczyn powodujących zawilgocenie materiałów budowlanych można wymienić:

- a) **Zawilgocenie technologiczne**, którego ilość zależy od sposobu wykonywania robót budowlanych, rodzaju konstrukcji i zastosowanych materiałów a także od warunków atmosferycznych. Wilgoć ta powinna być usunięta do czasu oddania budynku do użytkowania.
- b) **Zawilgocenie wodą gruntową**, przenikającą do przegrody wskutek podciągania kapilarnego. Można mu zapobiec przez prawidłowe wykonanie izolacji wodoszczelnej.
- c) **Sorpcyjność** materiałów budowlanych. Zjawisko to powoduje, że materiały zawsze zawierają pewną ilość wilgoci zależną głównie od wilgotności względnej otoczenia.
- d) **Opady atmosferyczne** Wnikająca, wskutek podciągania kapilarnego oraz ciśnienia wiatru, woda może spowodować znaczne zwiększenie wilgotności materiału, przy czym zależy ono od jakości robót dekarских oraz właściwości zewnętrznych warstw przegrody.
- e) **Kondensacja pary wodnej** na powierzchni i wewnątrz przegród budowlanych. Wielkość tego zawilgocenia zależy od wilgotności względnej powietrza, izolacyjności cieplnej, zdolności do przepuszczania pary wodnej przez warstwy przegrody oraz od

układu tych warstw. Należy zapobiegać kondensacji dyfundującej przez przegrodę pary wodnej przez odpowiednie zaprojektowanie przegrody budowlanej.

WILGOTNOŚĆ materiałów określana jest procentową zawartością wody w stosunku wagowym lub objętościowym. Wilgotność materiału, oznaczoną symbolem w , obliczamy ze wzoru:

$$w = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100\%$$

NASIĄKLIWOŚĆ to zdolność całkowitego pochłaniania wody przez pory i kapilary materiału.

Po wartości nasiąkliwości możemy ocenić strukturę materiału. Materiały o porach zamkniętych lub ich przewadze oraz materiały o małej porowatości wykazują bardzo małą nasiąkliwość. W naturalnych warunkach woda wypiera z materiału tylko część powietrza. Ilość wypieranego powietrza zależna jest od wielkości porów. W porach bardzo małych woda zastępuje około 30% objętości powietrza, zaś w porach dużych do 70%.

Materiałami porowatymi nazywa się takie ciała stałe, które zawierają dużą ilość pustych przestrzeni o wielkości względnie małej, w porównaniu z wymiarami charakterystycznymi samego ciała, charakteryzują się dobrze rozwiniętą powierzchnią wewnętrzną. Przestrzenie takie (niezależnie od ich kształtu) nazywa się porami, a przestrzeń zajętą przez ciało stałe - szkieletem.

Pory występujące w materiałach budowlanych są bardzo różnorodne, a ich kształt i wielkość zależą głównie od struktury szkieletu ciała porowatego.

Podstawową cechą, która charakteryzuje materiały porowate, jest ich **porowatość efektywna** (m^3/m^3):

$$\varepsilon = V_p/V$$

gdzie:

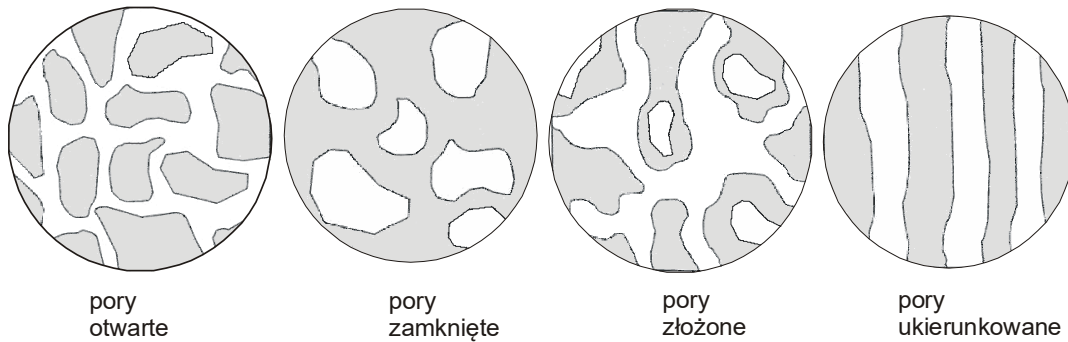
V_p - objętość porów otwartych zawartych w próbce m^3 ,

V - objętość próbki, m^3 .

Porowatość efektywna jest miarą zdolności materiałów porowatych do wchłaniania wilgoci.

Pory połączone można zróżnicować dalej, na przykład wg ich ukierunkowania. Wyróżnić tu można pory ukierunkowane (anizotropowe) oraz nieukierunkowane (izotropowe). Kształty geometryczne porów mogą być między innymi: cylindryczne, kuliste, szczelinowe itp. W jednym materiale

występują zwykle pory o zróżnicowanych kształtach :



Wielkością określającą porowatość ciała jest także efektywny promień jego porów. Pory dzieli się na:

- **mikropory** - o promieniach $r < 2 \text{ nm}$,
- **mezopory** (pory pośrednie) - o promieniach większych niż $2 \text{ nm} < r < 50 \text{ nm}$,
- **makropory** - o promieniach większych $r > 50 \text{ nm}$.

Makropory odgrywają decydującą rolę w przenoszeniu wilgoci do mezoporów i mikroporów.

W mezoporach odbywa się transport wilgoci, a na ich powierzchni zachodzi adsorpcja. Mikropory stanowią podstawowy nośnik właściwości sorpcyjnych materiału. W budowlanych materiałach porowatych występują zazwyczaj pory należące do wszystkich grup.

Wilgoć wchłonięta przez materiał porowaty znajduje się na jego wewnętrznej powierzchni oraz we wnętrzu zawartych w nim porów. Cząsteczki wody ciekłej oddziałują wzajemnie z cząsteczkami materiału oraz z cząsteczkami wilgotnego powietrza zawartego w porach. Występujące przy tym siły międzycząsteczkowe powodują napięcie powierzchniowe wody i jej migrację w materiale. Wilgoć utrzymuje się w materiale porowatym w sposób najbardziej trwały, gdy jej ilość jest nieznaczna. W materiale silnie zawilgoconym woda związana jest z nim nietrwale i może się stosunkowo swobodnie przemieszczać.

HIGROSKOPIJNOŚĆ materiału jest to wilgotność w próbki materiału o określonej objętości osiągnięta w określonym czasie przy niedokończonym procesie sorpcji, w powietrzu o wilgotności względnej 100%. Pojęcie higroskopijności. zostało wprowadzone dla zorientowania się w podatności materiałów na wchłanianie wilgoci. Parametr ten określa maksymalny poziom wilgoci materiału, który nie ma bezpośredniego kontaktu z wodą (w stanie ciekłym).

Osiągnięcie wilgotności ponadhigroskopijnej przez materiał jest możliwe w wyniku podciągania kapilarnego.

Wilgotność wywiera szczególnie silny wpływ na przewodność cieplną materiałów budowlanych. Zjawisko to związane jest min. ze znaczną przewodnością cieplną wody.

W związku z tym należy zwrócić uwagę na okoliczność, że wilgoć w przegrodach

budowlanych nie tylko pogarsza warunki higieniczne, lecz przyczynia się do powiększania się strat ciepła, co oprócz znaczenia czysto technicznego ma duży aspekt ekonomiczny.

Zawartość wilgoci w materiale związana jest przede wszystkim z jego porowatością. lecz również dużą rolę spełnia sama substancja materiału, która może być drewnem, skałą, metalem, szkłem lub innym tworzywem.

SORPCJA WILGOCI

Materiały porowate o właściwościach hydrofilowych chłoną wilgoć z powietrza w ilości zależnej od jego wilgotności względnej. Chłonięcie w ten sposób wilgoci z powietrza nazywa się sorpcją, a oddawanie jej do powietrza otoczenia - desorpcją.

Pomiędzy cząsteczkami każdej substancji znajdującej się w jednym ze stanów skupienia działają siły, zwane ogólnie siłami międzycząsteczkowymi lub molekularnymi. W głębi fazy siły te się równoważą, a ich wypadkowa jest równa zero. Cząsteczki znajdujące się na powierzchni graniczących ze sobą faz lub w jej pobliżu, podlegają działaniu niezrównoważonych sił ze strony tych faz. Wypadkowe tych sił skierowane są prostopadle do płaszczyzny powierzchni granicznej. Zatem cząsteczki powierzchniowe znajdują się w innym stanie energetycznym niż cząsteczki wnętrza fazy. Ta dodatkowa energia, zwana energią powierzchniową, powoduje szereg szczególnych właściwości obszaru powierzchniowego, bardzo znacznie różniących się od właściwości wewnętrznych części fazy.

Nadmiar energii powierzchniowej można obniżyć przez zmniejszenie powierzchni, lub przez redukcję nadmiernej energii wiązania atomów powierzchniowych, w wyniku adsorpcji cząstek pary wodnej z otaczającego powietrza. **Adsorbowana warstewka jest tym grubsza im wyższe jest względne ciśnienie pary wodnej zawartej w powietrzu, czyli jego wilgotność względna. Zatem wraz ze wzrostem wilgotności powietrza wzrasta zawartość wody w materiale porowatym.**

Krzywe przedstawiające równowagową zawartość wilgoci w ciele stałym, przy różnych stężeniach wilgoci w otoczeniu przy stałej temperaturze, noszą nazwę izoterm sorpcji

Wilgotność sorpcyjna

Absorpcja polega na przenikaniu jakiejś substancji w masę sorbentu (absorbentu). Proces ten przebiega powoli i stan równowagi w niektórych przypadkach ustala się po bardzo długim czasie.

Adsorpcja polega na zjawisku powierzchniowego przyciągania się niektórych substancji. Jednakże procesy związane z adsorpcją różnią się między sobą i w związku z tym rozróżniamy 3 rodzaje adsorpcji:

- sorpcję powierzchniową,
- adsorpcję kondensacyjną ,
- chemisorpcję.

Sorpcja powierzchniowa (adsorpcja właściwa) polega na zagęszczeniu się substancji na powierzchni adsorbentu pod działaniem sił przyciągania między-cząsteczkowego (sił *Van der Waalsa*). Procesy sorpcji odbywają się bardzo szybko. Jeżeli mamy do czynienia z adsorbentem w postaci ciała porowatego, proces sorpcji może ulec pewnemu opóźnieniu w zależności od przelotowości porów i naczyń włoskowatych, jednakże czas ten w praktyce wynosi kilka lub kilkanaście minut.

Adsorpcja kondensacyjna (tzw. **kondensacja kapilarna**) polega na skraplaniu par lub gazów w porach adsorbentu. Zjawiska te należą do odwracalnych i przebiegają bardzo szybko.

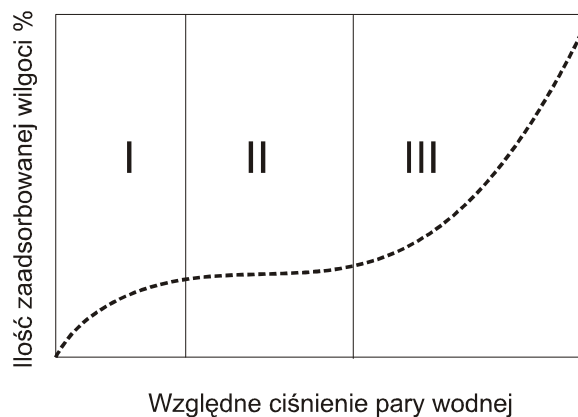
Chemisorpcja polega na zagęszczaniu się substancji adsorbowanych na powierzchni adsorbentu dzięki działaniu sił wartościowości. Powierzchnia adsorbentu uzyskuje jednocząsteczkową warstwę mało trwałego związku chemicznego pomiędzy cząsteczkami adsorbentu (np. porowatego materiału budowlanego) a cząsteczkami substancji adsorbowanej (np. wody).

W praktyce badań wilgotności materiałów budowlanych te trzy rodzaje sorpcji traktuje się łącznie, ponieważ przebiegają one najczęściej równocześnie. Procesy zawilgocenia wskutek wymienionych wyżej zjawisk sorpcji zachodzą często równocześnie z procesami wywołanymi procesami absorpcji, co w rezultacie powoduje trudności w rozróżnianiu tych zjawisk.

Zjawiska adsorpcji w dalszym ciągu dla uproszczenia będziemy nazywali zjawiskami sorpcji i traktowali jako typowe zjawisko powierzchniowe. Doświadczalnie stwierdzono, że ilość substancji adsorbowanej jest proporcjonalna do powierzchni porów adsorbentu, jeżeli oczywiście pomiędzy tymi substancjami nie zachodzą różnice natury chemicznej.

Ilość substancji adsorbowanej przez dany adsorbent zależy także od temperatury, przy czym im niższa jest temperatura, tym większa jest sorpcja. Jedynie przy sorpcji chemicznej może zachodzić wzrost sorpcji wraz z podwyższeniem temperatury

Typowa izoterma sorpcji materiału kapilarno-porowatego przedstawiona jest na wykresie poniżej. Można na niej wyróżnić trzy fazy procesu sorpcji, a mianowicie:



I. Pierwsze stadium, charakteryzujące się wypukłością izotermy sorpcji ku górze, kiedy na powierzchni porów jest adsorbowana tylko monomolekularna warstwa cząstek wody (odpowiada ono zakresowi wilgotności powietrza od 0 do 15-20%). Pierwsza zaadsorbowana warstwa ma największą energię wiązania, a jej własności najbardziej odbiegają od właściwości wody swobodnej.

II. Drugie stadium, kiedy jest adsorbowana bi- i polimolekularna warstwa cząsteczek wody (energia adsorpcji maleje dla każdej kolejnej warstwy).

III. Trzecie stadium, kiedy zaczyna zachodzić **kapilarna kondensacja**. Na izotermach sorpcji okres ten charakteryzuje się szybkim wzrostem wilgotności materiału. Zjawisko kondensacji kapilarnej zaczyna zachodzić przy wilgotności względnej powietrza około 60%.

Podciąganie kapilarne

Molekuły wodne znajdujące się poniżej powierzchni wody są otoczone podobnymi molekułami i podlegają ich przyciąganiu równomiernie ze wszystkich stron. Molekuły na powierzchni granicznej są przyciągane przez molekuły wody tylko od dołu, a od góry — przez molekuły powietrza. Wskutek powyższego w warstwie granicznej molekuł wody powstaje tzw. **napięcie powierzchniowe**. Napięcie powierzchniowe oraz adhezja (przyczepność) wody do porów i kapilar w materiałach porowatych powoduje powstanie ciśnienia kapilarnego. Woda w porach i kapilarach podnosi się tak wysoko, aż ciężar słupa podciągniętej wody zrównoważy siły napięcia powierzchniowego.

Podciąganiu kapilarnemu ulegają w mniejszym lub większym stopniu wszystkie materiały o właściwościach hydrofilowych, których część powierzchni styka się z wodą. Podciąganie

kapilarne decyduje o szybkości wysychania materiału przez odparowanie powierzchniowe /jako czynnik podstawowy; wysychanie materiałów odbywa się ponadto na drodze dyfuzji pary. Aby odparowanie powierzchniowe było zjawiskiem ciągłym, musi się odbywać stały dopływ wody z wnętrza materiału na drodze kapilarnej. Równomierność rozkładu wilgoci w materiale jest kształtowana przez zdolność podciągania.

W materiałach budowlanych rolę klasycznych rurek włoskowatych spełniają pory i kapilary oraz przestrzenie wokół styku ziaren. Jeśli pory i kapilary mają dostatecznie małe średnice, a w przypadku drobnego uziarnienia przestrzenie między ziarnami są również małe, występuje zjawisko podciągania. **Zjawisko podciągania kapilarnego występuje do momentu zrównoważenia ilości wody podciąganej i wody odparowywanej przez powierzchnię materiałów.**

Wysokość podciągania jest odwrotnie proporcjonalna do średnicy porów i kapilar. Badanie podciągania kapilarnego danego materiału powinno się przeprowadzać w temperaturze otoczenia /18-20 °C / oraz w temperaturze około 4 °C. W temperaturze zbliżonej do 0 °C ostateczna wysokość podciągania będzie większa z uwagi na:

- wzrost ciśnienia kapilarnego spowodowany zwiększeniem wartości napięcia powierzchniowego,
- zmniejszenie odparowania wody z powierzchni próbki.

Materiały o dużej zdolności podciągania są niedogodne do konstrukcji przegród budowlanych w miejscowościach o znacznych opadach połączonych z wiatrami /zacinanie deszczu/, gdyż wilgoć może być przierzucana na wewnętrzne powierzchnie przegród. Materiały takie wymagają ponadto starannej izolacji od wody gruntowej.

Powietrze atmosferyczne jest mieszaniną gazową zawierającą zawsze pewną ilość pary wodnej. Zawartość pary wodnej w powietrzu atmosferycznym zmienia się zależnie od okoliczności, a zachowanie się jej jest odmienne od pozostałych gazów (możliwość zmiany stanu skupienia) — do celów praktycznych można więc traktować powietrze atmosferyczne jako mieszaninę powietrza suchego (składającego się wyłącznie z gazów) oraz pary wodnej. Ilość pary wodnej znajdującej się w jednostce objętości powietrza nie może przekroczyć pewnej wielkości maksymalnej, która jest zależna od temperatury.

Powietrze **niedosycone** jest to powietrze, które może jeszcze w danej temperaturze wchłonąć pewną ilość pary wodnej, natomiast **powietrze nasycone** parą wodną zawiera już w sobie ilość pary wodnej maksymalną w danej temperaturze.

Prawo Daltona: Ciśnienie powietrza wilgotnego p_b (ciśnienie barometryczne) jest sumą ciśnienia powietrza suchego p_{pow} oraz ciśnienia pary wodnej p_i :

$$p_b = p_{pow} + p_i$$

W powietrzu **niedosyconym** ciśnienie cząstkowe pary wodnej p_i jest mniejsze od ciśnienia nasycenia pary wodnej w danej temperaturze. W powietrzu nasyconym parą ciśnienie cząstkowe pary wodnej jest równe ciśnieniu nasycenia w danej temperaturze — stan ten nazywa się również **punktem rosy**, gdyż najmniejsze obniżenie temperatury spowoduje wykroplenie się pewnej ilości pary w postaci **mgły** lub **rosy**.

Wilgotność bezwzględna objętościowa (absolutna) powietrza ρ jest to ilość gramów pary wodnej zawartej w 1 m^3 powietrza wilgotnego.

Zawartość wilgoci. Wilgotność bezwzględna wagowa czyli zawartość wilgoci jest to masa pary wodnej przypadająca na jednostkę masy suchego powietrza. Zawartość wilgoci oznacza się przez x w g/kg lub w kg/kg.

Wilgotność względna ϕ wyraża stosunek wilgotności bezwzględnej ρ do wilgotności bezwzględnej w stanie nasycenia ρ_{sat} lub ciśnienia cząstkowego pary wodnej w powietrzu do ciśnienia cząstkowego pary wodnej w powietrzu nasyconym parą wodną w tej samej temperaturze

$$\phi = p_i / p_{sat}$$

gdzie:

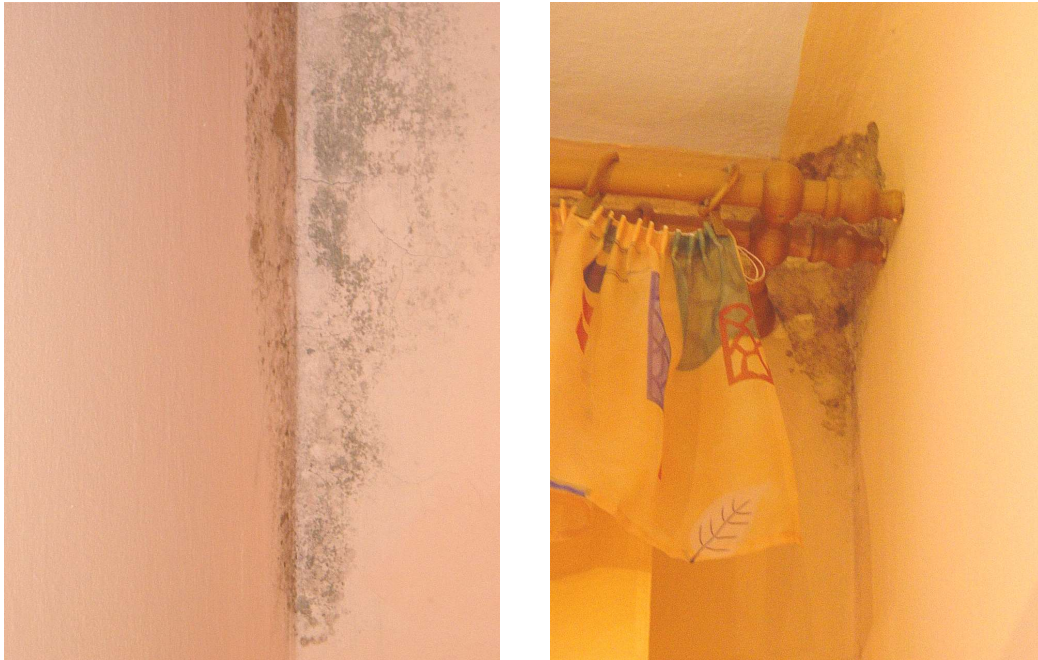
p_i — ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu,

p_{sat} — ciśnienie cząstkowe pary wodnej w powietrzu nasyconym parą wodną w tej samej temperaturze.

Pomiędzy temperaturą t_s , w której występuje kondensacja a ciśnieniem cząstkowym pary wodnej p_i zachodzi następujący związek :

$$t_s = \left\{ \begin{array}{l} \frac{2373 \cdot \ln\left(\frac{p_i}{6,105}\right)}{17,269 - \ln\left(\frac{p_i}{6,105}\right)} \quad \text{dla } p_i \geq 0,6105 \text{ hPa} \\ \frac{2655 \cdot \ln\left(\frac{p_i}{6,105}\right)}{21,875 - \ln\left(\frac{p_i}{6,105}\right)} \quad \text{dla } p_i < 0,6105 \text{ hPa} \end{array} \right.$$

Obniżenie temperatury przegrody budowlanej (ściany, stropu, stropodach) przy danej wilgotności do wartości określonej powyższym wzorem skutkuje zawilgoceniem tej przegrody. W stanie permanentnego zawilgocenia na przegrodzie mogą rozwinąć się szkodliwe dla człowieka pleśnie:



Fot. J.Sz.

Zawilgocenie przegrody obniża jej parametry fizyczne – w tym jej izolacyjność termiczną i wytrzymałość.



Korozja mrozowa – odspajanie tynku od ściany z betonu komórkowego (fot. J.Sz.)

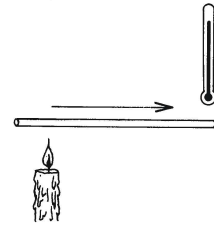
CIEPŁO

Ciepło - jest formą przekazywania energii. Ciepła forma przekazywania energii realizowana jest przy bezpośredniej wymianie energii między beładnie poruszającymi się cząsteczkami ciał działających wzajemnie na siebie. Dzięki przekazanej ciału energii wzrasta się nieuporządkowany ruch jego cząstek czyli zwiększa się energia wewnętrzna ciała. Na przykład, przy zetknięciu się ciała zimnego z gorącym szybko poruszające się cząsteczki ciała gorącego zderzają się z cząsteczkami ciała zimnego poruszającymi się wolniej i przekazują im część swojej energii kinetycznej. Przy tym energia wewnętrzna ciała gorącego zmniejsza się aż do chwili wyrównania temperatury obu ciał.

Wymiana ciepła między dwoma ciałami jest typowym przykładem przekazywania energii w postaci ciepła. Temperatura ciała jest więc zależna od energii wewnętrznej tego ciała, a przekazywanie energii cieplnej może zachodzić tylko w przypadku różnicy temperatury ciał. Ciepłem nazywamy również ilość przekazywanej energii.

Każde ciało oddaje ciepło na zewnątrz bądź do przylegających ciał chłodniejszych przez przewodnictwo lub konwekcję, bądź do ciał odległych - nawet oddzielonych próżnią - przez promieniowanie.

Przewodzenie (kondukcja) jest to przenoszenie ciepła przy bezpośrednim zetknięciu cząstek ciał wymieniających ciepło, które zderzając się ze sobą przekazują sobie energię kinetyczną drgań. Jest to mechanizm występujący w ciałach stałych i cieczech.



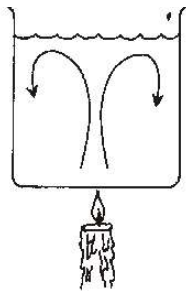
gęstość strumienia ciepła wymianianego droga przewodzenia opisuje równanie Fouriera:

$$q = -\lambda \cdot \Delta T$$

λ – współczynnik przewodzenia ciepła

ΔT – gradient temperatury

Konwekcja (unoszenie ciepła) występuje wtedy, gdy poszczególne makroskopowe cząstki



ośrodka, w których odbywa się ruch ciepła, zmieniają swoje położenie.

Rozróżnia się przy tym dwa rodzaje konwekcji: swobodną i wymuszoną.

Przy konwekcji swobodnej ruch ośrodka jest wynikiem różnic gęstości

spowodowanych wzrostem objętości przy ogrzewaniu. Przy konwekcji

wymuszonej ruch ośrodka spowodowany jest różnicą ciśnienia ogólnego

(w przypadku powietrza może ona być wynikiem działania wiatru lub

wentylatorów). Konwekcja zachodzi głównie w cieczech i gazach.

Gęstość strumienia ciepła wymianianego droga przewodzenia opisuje równanie Newtona:

$$q = \alpha \cdot (T_w - T_f)$$

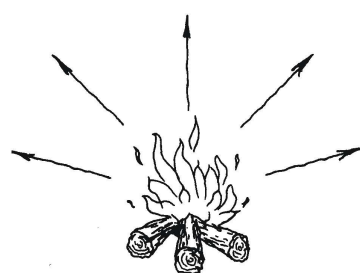
α – współczynnik przejmowania ciepła (wart. zależy od prędkości i lepkości powietrza,

chropowatości powierzchni...),

T_w – temperatura ścianki

T_f – temperatura płynu-powietrza

Promieniowanie (radiacja) jest to mechanizm przenoszenia ciepła, który odbywa się na



odległość i zachodzi za pośrednictwem fal elektromagnetycznych, przy czym następuje tu dwukrotna zmiana postaci

energii, tj. cieplnej na elektromagnetyczną na powierzchni ciała wymieniającego ciepło i elektromagnetycznej na cieplną na powierzchni ciała pochłaniającego ciepło.

Równanie Stefana - Boltzmana

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4,$$
$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]$$

ε -emisyjność <0:1>

σ - stała Boltzmana

A- pole powierzchni

Jedną z podstawowych wielkości fizycznych określających stan cieplny ciała lub układu jest **temperatura**, podana w określonej skali temperatur. Skalę temperatur określa się przez podanie jej zera oraz jednostki. Ustalenie zera może mieć charakter czysto umowny (np. w skali Celsjusza) lub wynikać z analizy własności materiałów (bezwzględna skala temperatur).

Pojęcie temperatury i jej skali wprowadza się w oparciu o kinetyczno-molekularną budowę materii i termodynamikę. Drobiny tworzące ciało posiadają energię, której wartość jest proporcjonalna do $k \cdot T$ (k - stała Boltzmana, T – temperatura). Ponieważ drobina znajdująca się w danym stanie ma jedną, określoną wartość energii, nie przyjmowaną umownie, więc jej pomiar poprzez pomiar temperatury musi być jednoznaczny. Wynika stąd bezwzględna skala temperatur. Położenie zera bezwzględnego w praktycznie przyjmowanej skali Celsjusza określa się w oparciu o prawo przemiany izochorycznej:

$$p = p_0 / (1 + \alpha t/)$$

gdzie:

t - temperatura w °C,

p - ciśnienie gazu w temperaturze 0°C,

$$\alpha = 1/273,16$$

Przyjmujemy, że w temperaturze zera bezwzględnego ciśnienie spada do zera. Z powyższego prawa wynika, że temperatura zera bezwzględnego odpowiada temperaturze - 273,16 °C. Twórcą skali, której zero odpowiada temperaturze zera bezwzględnego, był Kelvin.

Współczynnik przenikania ciepła (oznaczony symbolem U), wyraża ilość ciepła przenikającą w jednostce czasu przez 1m^2 przegrody przy różnicy temperatury powietrza przy jej przeciwległych powierzchniach 1°K .

Jednostką U jest $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$

W obliczeniach inżynierskich współczynnik przenikania ciepła przegrody budowlanej stykającej się z powietrzem oblicza się wg zasad określonych w normie PN-B ISO 6946:

$$U = \frac{1}{R_T} \left[\frac{W}{\text{m}^2 K} \right]$$

gdzie:

R_T – całkowity opór cieplny przegrody (opór przenikania ciepła),

Całkowity opór cieplny:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \left[\frac{\text{m}^2 K}{W} \right] \quad (3-2)$$

gdzie:

R_{si} – opór przyjmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni;

R_1, R_2, \dots, R_n – obliczeniowe opory cieplne jednorodnych warstw i pustek powietrznych;

R_{se} – opór przyjmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni;

Opory przyjmowania ciepła przyjmuje się w zależności od kierunku przepływu strumienia ciepła:

$R \left[\frac{\text{m}^2 \cdot K}{W} \right]$	Kierunek strumienia cieplnego		
	w górę \uparrow	poziomy \leftrightarrow	w dół \downarrow
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Opór pojedynczej warstwy zależy od jej grubości d_i oraz współczynnika przewodzenia ciepła λ_i materiału, z którego została wykonana.

$$R_i = d_i / \lambda_i$$

Obowiązują ważniejsze formuły i zależności pomiędzy $U, q, \Delta T, R, Q$ - wykorzystywane w sprawozdaniach i projekcie:

Opór przyjmowania $R_{si} = \frac{(T_i - T_1)}{q} \quad \left[\frac{\text{m}^2 \cdot K}{W} \right]$

współczynnik przenikania ciepła $U = \frac{\dot{q}}{\Delta T}$

Ilość ciepła $Q_h = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t$

Temperatura w przekroju x:

$$T_x = T_i - (T_i - T_e) \left(\frac{1}{R_T} \right) \cdot \sum R_{i-x}$$

Cząstkowe ciśnienie rzeczywiste:

$$p_i = \varphi_i \cdot p_{\text{sat}i} / 100\%$$

Cząstkowe ciśnienie rzeczywiste w przekroju x

$$p_x = p_i - (p_i - p_e) \left(\frac{1}{r_T} \right) \cdot \sum r_{i-x}$$

$$r = d / \delta$$