

# WŁASNOŚCI WYBRANYCH MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

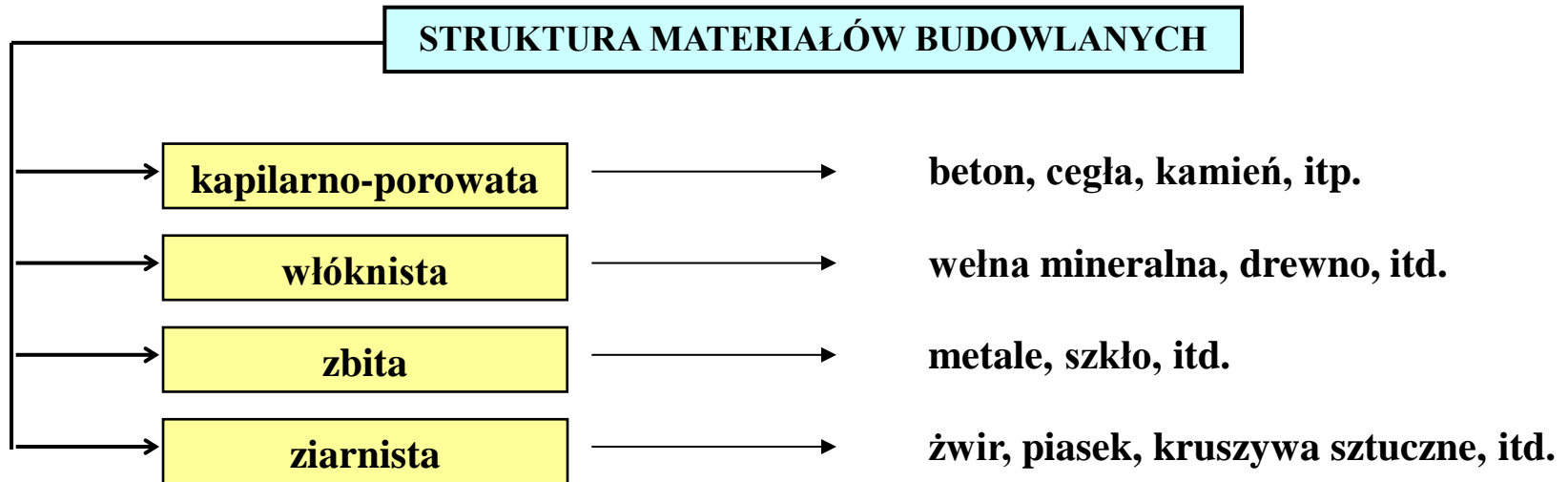
W celu właściwego zaprojektowania przegród budynków pod względem zarówno cieplno-wilgotnościowym (komfort cieplny), jak i z uwagi na jakość powietrza wewnętrznego (emisja substancji przykrych, uciążliwych lub nawet toksycznych), konieczny jest dobór odpowiednich materiałów budowlanych i wyposażających pomieszczenia (meble, tapety, farby, kleje, itp.).

W stosunku do materiałów budowlanych niezbędna jest znajomość:

- ✓ *właściwości strukturalnych*
- ✓ *właściwości wilgotnościowych*
- ✓ *właściwości cieplnych*
- ✓ *przepuszczalności powietrza*

zaś w stosunku do materiałów wykończeniowych i wyposażających (nie omawianych): *właściwości cieplne i wilgotnościowe, emisja substancji zanieczyszczających (przykrych lub toksycznych) oraz sposób wykorzystania w pomieszczeniach*

# Właściwości materiałów budowlanych



## Masa objętościowa (gęstość pozorna).

Wynika ona ze struktury materiału i oznaczana jest przez " $\rho$ " ( $\text{kg/m}^3$ ) w jego stanie powietrzno-suchym

Rodzaj materiału	Masa objętościowa $\rho$ , $\text{kg/m}^3$
Beton żwirowy	2200
Beton komórkowy	500 ÷ 700
Cegła ceramiczna pełna (mur z cegły)	1800
Drewno miękkie	550
Wełna mineralna	60 ÷ 200
Styropian	20 ÷ 40

# Porowatość

Wyraża ona stosunek objętościowy porów do całkowitej objętości danego materiału. Wpływa bardzo mocno na takie cechy cieplno-fizyczne jak: przewodność cieplna, kapilarność, sorpcyjność, nasiąkliwość, paroprzepuszczalność - (przy czym za istotne uważać należy strukturę porowatości, tzn. wielkość i kształt porów, powierzchnia właściwa, budowa masy materiałowej czyli fazy)

## Właściwości wilgotnościowe

### Wilgotność materiałów

Jest to stosunek zawartości masowej (lub objętościowej) wody do suchej masy (lub objętości) materiału. Nie jest to w zasadzie cecha materiału, lecz właściwość określająca stan jego wilgotnościowy. Mając wilgotność masową (podawana w normatywach) można określić wilgotność objętościową:

$$W_v = \frac{W_m \times \rho}{1000} (\%)$$

**Wzrost zawartości wody (pary wodnej w materiale, wpływa niekorzystnie na jego przewodność cieplną oraz trwałość. Dla większości materiałów określone zostały wartości maksymalne dopuszczalnej wilgotności masowej, z których część zestawiono w 3 kolumnie poniższej tabeli**

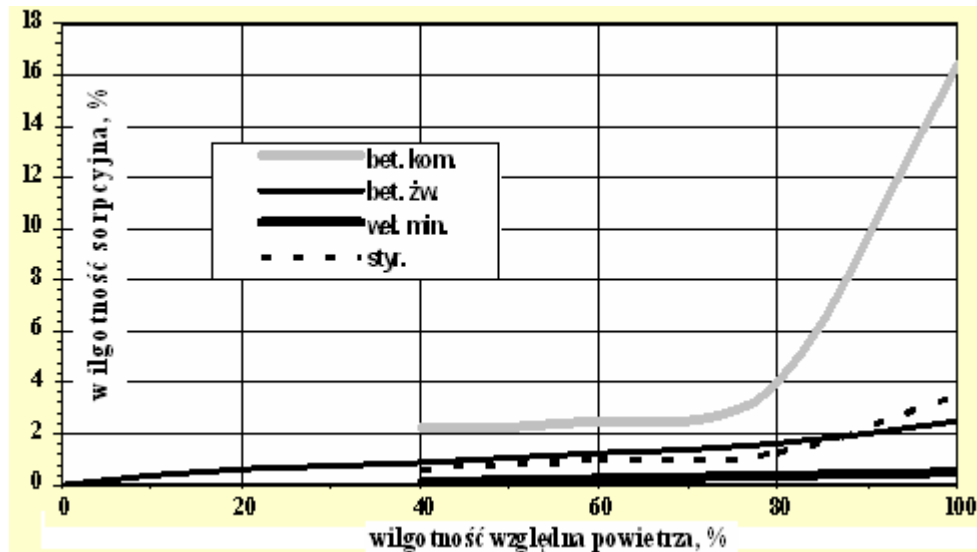
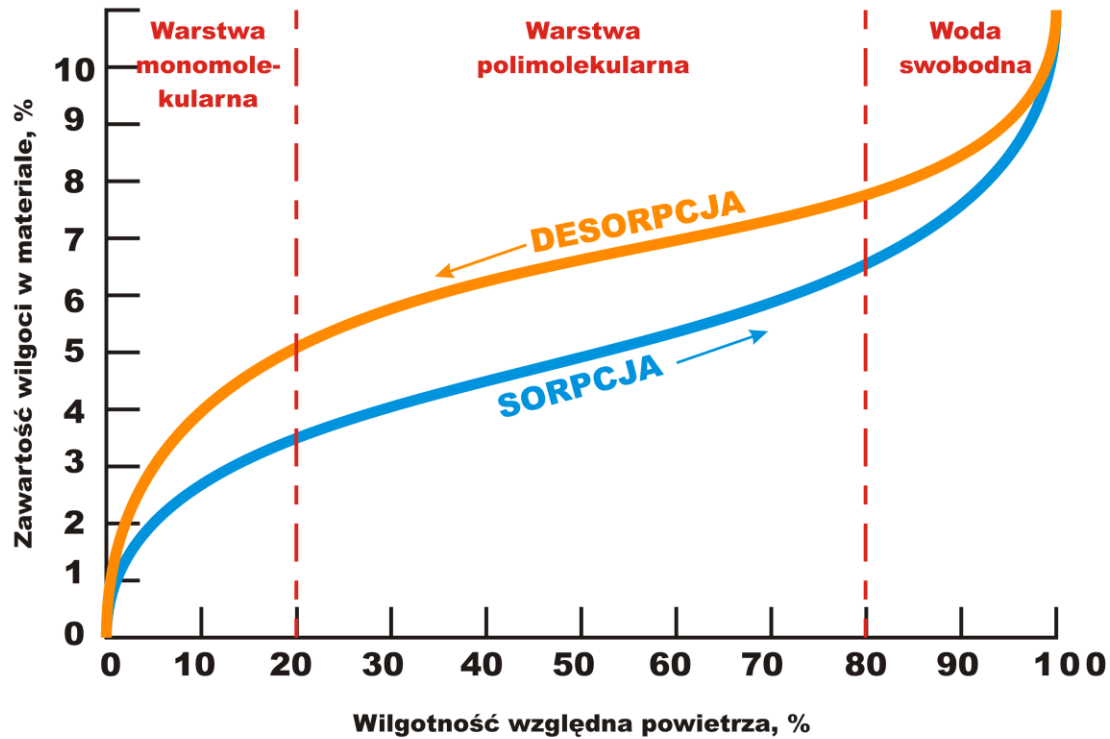
<b>Rodzaj materiału (lub przegrody)</b>	<b>Wilgotność przed zawilgoceniem, W, %</b>	<b>Dopuszczalny wzrost wilgotności, ΔW, %</b>
Ściana z cegły ceramicznej	1,5	1,5
Ściana z pustaków ceramicznych	1,0	2,0
Ściana z cegły wapienno-piaskowej	3,0	2,0
Ścian z betonu komórkowego	8,0	4,0
Płyty wiórowo-cementowe	12,0	6,0
Płyty pilśniowo-porowate	15,0	5,0
Płyty trzciniowe	15,0	3,0
Szkło piankowe	2,0	4,0
Włna mineralna, wata szklana	2,0	6,0
Styropian	15,0	50,0
Pianka poliuretanowa	10,0	30,0
Zasyпки organiczne (trociny, torf)	15,0	5,0
Zasyпки mineralne (keramzyt, żużel)	5,0	3,0

# Sorpcyjność

Jest to zdolność materiału do pochłaniania wilgoci (pary wodnej) z powietrza (określana w %), a więc zależy głównie od wilgotności powietrza otaczającego materiał (przegrodę budowlaną). W poniższej tabeli porównano orientacyjne wartości wilgotności sorpcyjnej wybranych materiałów.

<b>Rodzaj materiału</b>	<b>Wilgotność sorpcyjna (%) przy wilgotności względnej powietrza, <math>\varphi</math></b>		
	<b>50 %</b>	<b>70 %</b>	<b>100 %</b>
<b>Drewno miękkie</b>	<b>7,0</b>	<b>11,0</b>	<b>26,0</b>
<b>Beton komórkowy</b>	<b>2,4</b>	<b>3,5</b>	<b>17,4</b>
<b>Beton żwirowy</b>	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>	<b>2,3</b>
<b>Włna mineralna</b>	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>1,9</b>
<b>Cegła ceramiczna pełna</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>1,0</b>
<b>Styropian</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>3,3</b>

# Izotermy sorpcji dla wybranych materiałów budowlanych



# Kapilarność

Kapilarne podciąganie ma miejsce gdy w porach materiału znajduje się woda i jest ono (obok sorpcji) jedną z podstawowych form występowania wilgoci. Miarą jego jest z reguły wysokość podnoszenia się wody, liczona od jej poziomu w czasie (np. 24 godzin) lub stopień zawilgocenia materiału na różnych odległościach od poziomu wody. Wysokość kapilarnego podciągania dla niektórych materiałów zestawiono w poniższej tabeli

<b>Rodzaj materiału</b>	<b>Wysokość podciągania w cm/godzinę</b>
<b>Cegła ceramiczna pełna</b>	<b>22</b>
<b>Beton komórkowy</b>	<b>7,5</b>
<b>Beton żwirowy</b>	<b>5</b>
<b>Włna mineralna</b>	<b>3 ÷ 7</b>
<b>Drewno miękkie</b>	<b>0,5 ÷ 2,5</b>
<b>Styropian</b>	<b>0</b>

# Paroprzepuszczalność (parochłonność)

Od paroprzepuszczalności przegrody budowlanej zależy zawilgocenie eksploatacyjne przegrody budowlanej. Parochłonność charakteryzowana jest tzw. współczynnikiem paroprzepuszczalności, określającym ilość pary wodnej (w gramach) przenikającej przez 1 m<sup>2</sup> materiału o grubości 1 m, w ciągu 1 godziny, przy różnicy ciśnień cząstkowych pary wodnej równej 1 Pa. Oznaczany jest zwykle przez " $\mu$ ", a jego wymiar to  $g_{H_2O}/(mhPa)$ . Pomimo, że w praktyce istnieje zależność wartości tego współczynnika od wilgotności i temperatury materiału, zależność tą jest zwykle pomijana. W poniższej tabeli zestawiono wartości " $\mu$ " dla niektórych materiałów budowlanych

Rodzaj materiału	Współczynnik " $\mu$ ", $g_{H_2O}/(mhPa)$
Włna mineralna	$480 \times 10^{-6}$
Beton komórkowy (ściana z bloczków)	$150 \div 260 \times 10^{-6}$
Cegła ceramiczna pełna	$105 \times 10^{-6}$
Drewno miękkie (prostopadle do włókien)	$60 \times 10^{-6}$
Beton żwirowy (zwykły)	$30 \div 75 \times 10^{-6}$



## W typowych dla budownictwa przegrodach wielowarstwowych:

- w warstwach leżących od wnętrza należy stosować materiały o niskiej parochłonności (aby uniknąć zawilgocenia przegrody),
- w warstwach leżących od strony zewnętrznej przegrody wykorzystywać należy materiały o dużej parochłonności (aby umożliwić jej suszenie czyli "ujście" ewentualnie zebranej pary wodnej na zewnątrz)

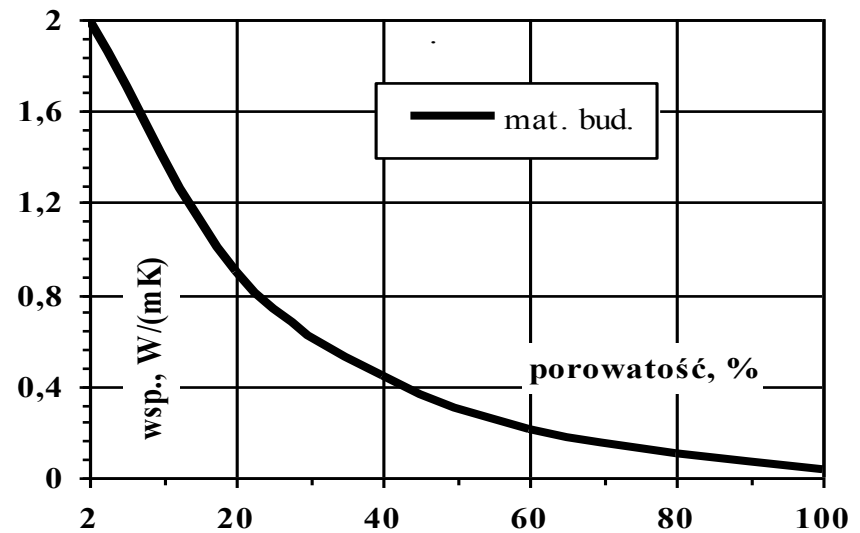
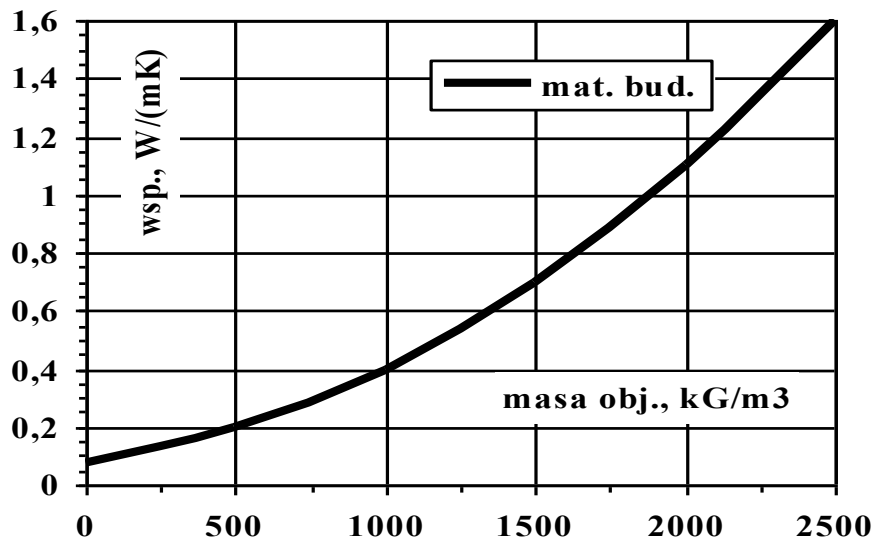
# Właściwości cieplne

## Przewodność cieplna

Zdolność przewodzenia ciepła przez dany materiał charakteryzuje współczynnik przewodności cieplnej. Określa on ilość ciepła przewodzoną przez powierzchnię  $1 \text{ m}^2$  materiału o grubości  $1 \text{ m}$ , w jednostce czasu i przy różnicy temperatur równej  $1 \text{ K}$ ; współczynnik ten oznaczamy jest przez " $\lambda$ " i ma on wymiar  $\text{W}/(\text{mK})$ . Wartość współczynnika przewodzenia ciepła zależy od struktury materiału, jego porowatości, substancji materiałowej stanowiącej jego "szkielet", od temperatury i wilgotności materiału (a także w pewnych materiałach od kierunku przepływu strumienia ciepła)

# Zależność współczynnika " $\lambda$ " od struktury materiału

Przewodność cieplna zależy od masy objętościowej, a zatem od porowatości oraz wielkości i kształtu porów. Ogólnie można stwierdzić, że wartość współczynnika  $\lambda$  rośnie ze wzrostem masy objętościowej; wzrost ten jest jednak różny dla różnych grup materiałów budowlanych



Zależność od porowatości nie jest ścisła, ponieważ materiał o małej ilości dużych i otwartych porów lepiej przewodzi ciepło niż materiał o dużej ilości, ale małych i zamkniętych porów (przy dużych i otwartych porach występuje konwekcyjny ruch powietrza, który ustaje przy porach małych); współczynnik  $\lambda$  dla powietrza w porach o średnicy  $\approx 0,1\text{mm}$  wynosi  $0,023\text{W}/(\text{mK})$ , a w porach o średnicy  $2\text{mm}$  jest większy i wynosi  $0,03\text{W}/(\text{mK})$ ; zjawisko to występuje np. w zasypkach z luźno usypanych ziaren kruszywa

## Zależność współczynnika " $\lambda$ " od rodzaju szkieletu (materiału)

Każdy materiał budowlany składa się z właściwej substancji (masy) stanowiącej jego szkielet oraz porów powietrznych. W praktyce wartość współczynnika  $\lambda$  jest zatem zawsze średnią ze współczynników dla masy szkieletu i porów (powietrza). Współczynnik ten zmienia się w zależności od budowy materiału (fazy). Przykładowo, przy budowie krystalicznej  $\text{SiO}_2$  - ma  $\lambda = 9 \text{ W/(mK)}$ , przy budowie amorficznej spada do  $1,4 \text{ W/(mK)}$ . Z tego wynika podstawowy wniosek, że materiały o budowie amorficznej mają lepsze własności izolacyjne od materiałów krystalicznej (oczywiście, przy tej samej masie objętościowej)

## Zależność współczynnika " $\lambda$ " od temperatury

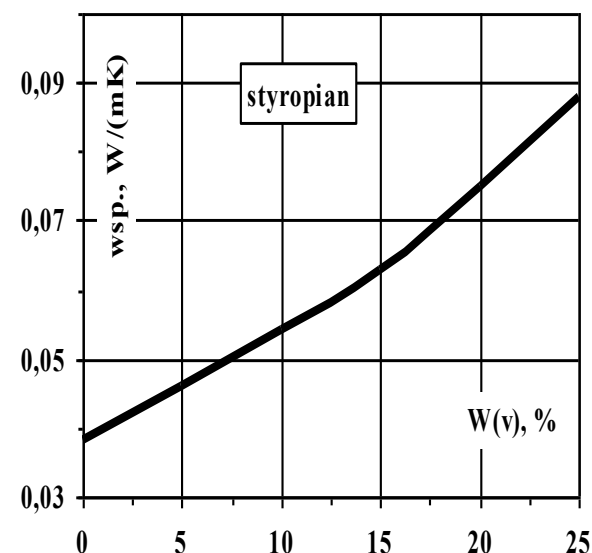
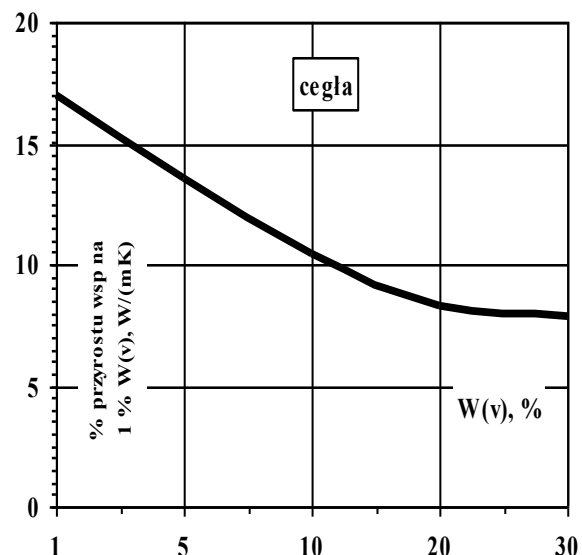
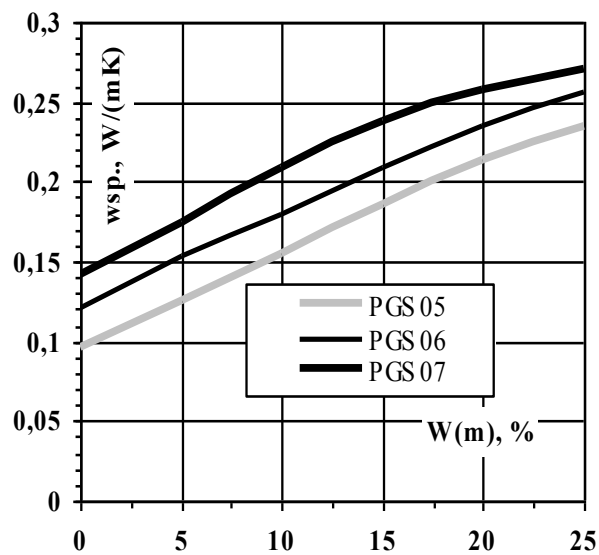
Przewodność cieplna materiałów rośnie wraz ze wzrostem temperatury, głównie w wyniku wzrostu przewodności powietrza w porach, a zatem wzrost wartości współczynnika  $\lambda$  będzie największy dla materiałów o dużej porowatości (i dużych porach). Oznacza to, że w wysokich temperaturach lepsze (efektywniejsze) będą materiały cięższe, w których wzrost współczynnika  $\lambda$  ze wzrostem temperatury jest niewielki (stąd też np. do obudowy kotłów stosuje się cegłę termalitową). Wzrost wartości współczynnika  $\lambda$  jest jednak wyraźny dopiero w wyższych temperaturach (np. kotłach, kominach przemysłowych, przewodach grzejnych, itp.). W zakresie temperatur występujących w budownictwie (od  $-30^\circ\text{C}$  do  $+40^\circ\text{C}$ ) wzrost ten nie jest istotny i dlatego wartości współczynnika  $\lambda$  nie są różnicowane. Zmiany wartości współczynnika  $\lambda$  w zakresie do  $100^\circ\text{C}$  można oszacować ze wzoru:

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + \beta_t)$$

gdzie  $\lambda_0$  to wartość współczynnika przy temperaturze  $0^\circ\text{C}$ ;  $\lambda_t$  - przy temperaturze  $t^\circ\text{C}$ , zaś  $\beta_t$  jest współczynnikiem temperaturowym (rozszerzalności) równym około 0,0025.

# Zależność współczynnika " $\lambda$ " od wilgotności !!!!!

Na przewodność cieplną wpływ ma wilgotność materiału. Wpływ ten wytłumaczyć można dyfuzją wilgoci oraz wypełnieniem porów wodą. **Współczynnik  $\lambda$  dla powietrza wynosi około 0,025W/(mK), zaś dla wody - 0,58W/(mK).** Zatem woda ma 20 razy większą przewodność cieplną od przewodności powietrza. Pomimo tego nie ma dotychczas jednoznacznie ustalonych wartości współczynników  $\lambda$  w funkcji zmian wilgotności materiału. Trudność sprawia tu fakt występowania istotnych różnic w zależności od grup materiałów budowlanych. W literaturze podawane są wskaźniki wzrostu współczynnika  $\lambda$  dla określonego wzrostu wilgotności. Dla materiałów organicznych przyjmuje się, że wzrost ten wynosi około 1 % na każdy procent zawartości wilgotności masowej, W przypadku materiałów nieorganicznych wpływ ten jest różny dla różnych materiałów i z reguły maleje ze wzrostem wilgotności



Materiały wbudowane na *mokro* (zła produkcja, złe składowanie, niska jakość montażu, itp.) mają, początkowo większą przewodność cieplną, która stopniowo ulega zmniejszeniu na skutek ich wysychania (jeżeli jest to możliwe). Czas wysychania zależy od rodzaju materiału i orientacji przegrody. **Przykładowo betony komórkowe umieszczone w ścianach północnych wysychają do 10 lat.** Przewodność cieplna w temperaturach ujemnych kształtuje się inaczej niż można byłoby się tego spodziewać. Wydawać by się mogło, że woda znajdująca się w porach i stająca się lodem ( $\lambda_1 = 2,3 \text{ W/mK}$ ) spowoduje wzrost współczynnika  $\lambda$ . Nie jest jednak tak; okazuje się że dla materiałów o dużych porach wartość tego współczynnika w temperaturach ujemnych jest bardzo często mniejsza niż w temperaturach dodatnich (osadzanie się szronu). W materiałach o małych porach nie odnotowuje się istotnych zmian wartości współczynnika  $\lambda$ . Podkreślić należy że woda w małych porach zamarza w znacznie niższych temperaturach, tym niższych im mniejsze są średnice porów.

## **Zależność współczynnika " $\lambda$ " od kierunku ruchu strumienia**

Zależność ta ma istotne znaczenie dla włóknistych materiałów budowlanych (np. drzewa, niektórych materiałów termoizolacyjnych), dla których wartość współczynnika  $\lambda$  jest większa w kierunku równoległym do włókien, a mniejszy w kierunku prostopadłym. Przykładowo, dla drewna sosnowego  $\lambda_{\perp} = 0,30 \text{ W/ (mK)}$ ,  $\lambda_{||} = 0,16 \text{ W/ (mK)}$

## Wartości współczynników przewodzenia ciepła (obliczeniowe)

Aby poprawnie zaprojektować przegrody zewnętrzne należy dysponować wartościami współczynników  $\lambda$  dla zastosowanych materiałów w ściśle określonych warunkach pracy. Jednak dla uproszczenia podaje się zwykle dwie wartości tych współczynników, a mianowicie dla warunków średnio-wilgotnych (tzn. dla materiałów pracujących w środowisku o wilgotności względnej mniejszej od 75 %) oraz dla warunków wilgotnych (kiedy wilgotność ta jest większa od 75 %)

<b>Rodzaj materiału</b>	<b>Wartość współczynnika <math>\lambda</math>, W/ (mK)</b>	
	<b>dla <math>\varphi \leq 75</math> %</b>	<b>dla <math>\varphi \geq 75</math> %</b>
Beton żwirowy (ciężki)	1,50	1,70
Żelbet	1,70	1,80
Mur z cegły pełnej (ceramicznej)	0,78	0,92
Mur z betonu komórkowego 05 (w bloczkach)	0,25	0,30
Drewno miękkie (równoległe do włókien)	0,30	0,35
Drewno miękkie (prostopadle do włókien)	0,16	0,30
Płyty z wełny mineralnej	0,05	0,055
Styropian	0,045	0,05

# Ciepło właściwe

Jest to ilość ciepła (wyrażona w J) niezbędna do ogrzania 1 kg masy materiału o 1 K. Zależy ono silnie od wilgotności materiału (rośnie ze wzrostem jego wilgotności)

Rodzaj materiału	Ciepło właściwe, J/ (kgK)
Beton żwirowy (ciężki)	837
Cegła ceramiczna	837
Beton komórkowy	837
Drewno miękkie	2720
Wełna mineralna	753
Styropian	1465

## Promieniowanie cieplne

Zasady ruchu ciepła przez promieniowanie zakładają, że każdy materiał którego powierzchnia ma temperaturę wyższą od zera bezwzględnego stanowi źródło promieniowania. Możliwość promieniowania cieplnego z materiału budowlanego określana jest przez tzw. współczynnik promieniowania, który podaje ilość ciepła wypromieniowanego z  $1\text{m}^2$  jego powierzchni o temperaturze bezwzględnej równej  $100^4\text{K}$  w jednostce czasu. Wymiar tego współczynnika to  $\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ . Wartość tego współczynnika uzależniona jest od składu chemicznego materiału, sposobu wykończenia jego powierzchni i zakresu temperatury (polerowanie zmniejsza znacznie jego wartość). Wpływ koloru materiału ma istotne znaczenie przy temperaturach wyższych od  $500^{\circ}\text{C}$

<b>Rodzaj materiału</b>	<b>Współczynnik C, W/ (m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>)</b>
Cegła ceramiczna (pełna)	5,36
Papa	5,26
Drewno	4,96
Blacha stalowa (matowa)	3,95
Beton żwirowy	3,60
Blacha stalowa (polerowana)	1,40
Blacha stalowa ocynkowana	1,31

## Rozszerzalność cieplna

Większość materiałów budowlanych rozszerza się przy wzroście temperatury (z wyjątkiem wody, która w zakresie od 0°C do +4°C kurczy się). Zwiększenie długości materiału i objętości w temperaturze „t” w stosunku do temperatury 0°C można obliczyć ze wzorów:

$$l_t = l_0 + \alpha \times l_0 \times t = l_0(1 + \alpha \times t) \quad \alpha - \text{współczynnik rozszerzalności liniowej (1/ } ^\circ\text{C)}, l_0 - \text{długość początkowa (cm)}$$

$$V_t = V_0(1 + \beta \times t) \quad \beta - \text{współczynnik rozszerzalności objętościowej (1/ } ^\circ\text{C)}, V_0 - \text{objętość początkowa (cm}^3\text{)}$$