

Podstawy fizyki budowli

Uwagi wstępne	3.1
Zakres informacji	3.1.1
Wielkości, oznaczenia i jednostki z zakresu fizyki budowli	3.1.2
Ochrona cieplna	3.2
Podstawy fizyczne	3.2.1
Izolacyjność cieplna	3.2.2
Wymagania formalne dotyczące izolacyjności cieplnej	3.2.3
Niestacjonarny przepływ ciepła	3.2.4
Ochrona przed kondensacją pary wodnej	3.3
Podstawy fizyczne	3.3.1
Dyfuzja pary wodnej	3.3.2
Ciśnienie pary wodnej w przegrodzie	3.3.3
Wykraplanie pary wodnej	3.3.4
Obliczanie ilości pary przenikającej przez przegrodę	3.3.5
Sprawdzanie warunków wilgotnościowych	3.3.6
Ochrona akustyczna	3.4
Podstawy fizyczne	3.4.1
Określanie izolacyjności akustycznej przegród	3.4.2
Zasady izolowania akustycznego	3.4.3
Izolacyjność akustyczna przegród masywnych	3.4.4
Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej	3.4.5
Literatura i normy	3.5

Budynki są przedmiotem różnych oddziaływań środowiskowych. Oddziaływania te mają różną naturę, częściowo pochodzą od wpływów naturalnych, częściowo zaś są wynikiem rosnącej roli techniki w życiu człowieka:

- wiatr, trzęsienie ziemi
- wahania temperatury i wilgotności powietrza
- woda (opady, woda gruntowa)
- hałas
- ogień
- oddziaływania mechaniczne, chemiczne i biologiczne
- elektryczność.

Budynki muszą być tak skonstruowane, aby przenieść wszystkie obciążenia i zminimalizować negatywne skutki oddziaływań zewnętrznych, a jednocześnie nie powodować degradacji środowiska naturalnego.

W przeszłości rozwiązania budowlane były weryfikowane empirycznie, dziś dysponujemy narzędziami teoretycznymi, które pozwalają eliminować błędy na etapie projektu i zapewniają pełną przydatność powstającego obiektu. Teoretyczne podstawy w budownictwie pochodzą głównie z fizyki, a szczególnie z jej działów takich jak: mechanika, termodynamika, akustyka itp. Zastosowanie nauk podstawowych w technice budowlanej wiązało się z powstaniem nowych dyscyplin, takich jak: statyka budowlana, wytrzymałość materiałów i fizyka budowli. Statyka i wytrzymałość pozwalają obliczać wielkość naprężeń powstających od sił zewnętrznych. Fizyka budowli zajmuje się natomiast problemami związanymi z ruchem ciepła i wilgoci w przegrodach budowlanych, akustyką, odpornością ogniową i innymi. Problemy te będą tu omawiane w kolejnych rozdziałach zatytułowanych: ochrona cieplna, ochrona przed wilgocią, ochrona akustyczna, ochrona przeciwpożarowa.

Ochrona cieplna

Zagadnienia ochrony cieplnej są związane z ruchem ciepła przez przegrody zewnętrzne budynku, powstającym w wyniku różnic temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego. Różnice temperatur występują zarówno w lecie jak i w zimie. Ochrona cieplna to między innymi problem oszczędzania energii. W modelach obliczeniowych zakłada się stałość temperatur w czasie.

Celem ochrony cieplnej jest:

- zapewnienie warunków komfortu cieplnego we wnętrzu
 - ograniczenie zapotrzebowania na energię grzewczą
 - obniżenie kosztów ogrzewania lub klimatyzacji
 - zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza
 - ochrona przegród budynku przed szkodami wywołanymi zawilgoceniem.
- W lecie izolacja cieplna budynku ma uchronić wnętrze przed przegrzewaniem.

Ochrona przed kondensacją pary wodnej

Ochrona przed kondensacją jest powiązana z izolacyjnością termiczną przegród budowlanych. Przedmiotem tego działu jest ruch wilgoci (głównie dyfuzja pary wodnej) przez przegrody, wywołany różnicą temperatur i wilgotności względnych powietrza w pomieszczeniu i na zewnątrz budynku. Przedmiotem obliczeń sprawdzających jest możliwość wykraplania pary wodnej na wewnętrznej powierzchni przegród, zgodnie z obowiązującymi przepisami oraz we wnętrzu przegród budowlanych. Ochrona przed kondensacją nie zajmuje się natomiast środkami zapobiegającymi przed opadami, podciąganiem wilgoci z gruntu, wodami gruntowymi.

mi. Celem ochrony przed kondensacją względną jest:

- stworzenie dogodnych warunków we wnętrzu
- utrzymanie właściwej izolacyjności termicznej
- ochrona przegród przed uszkodzeniem w wyniku nadmiernego zawilgocenia.
- zapewnienie trwałości fizycznej i jakości materiałów

Efektom ochrony przed wilgocią jest zdrowy mikroklimat oraz wnętrza pozbawione grzybów pleśniowych.

Ochrona akustyczna

W tym dziale mowa będzie o powstawaniu dźwięków i przenoszeniu się dźwięków od źródła do odbiorcy. Dźwięki powstają zarówno na zewnątrz jak i wewnątrz budynków. Tak więc przy ochronie akustycznej konieczne jest branie pod uwagę właściwości izolacyjnych przegród zewnętrznych i wewnętrznych. Źródła hałasu w budownictwie dzieli się na trzy grupy:

- pomieszczenia mieszkalne i miejsca pracy
- hałas od urządzeń technicznych w tym samym budynku
- hałas zewnętrzny (od ruchu ulicznego, zakładów przemysłowych itp.)

Zasadniczym problemem jest tu zmniejszenie natężenia dźwięku przechodzącego przez przegrodę od źródła do odbiorcy, a więc tzw. izolacyjność akustyczna przegrody. Mowa będzie także o akustycznej ocenie różnych urządzeń wewnętrznych i niezbędnych środkach, pozwalających na ograniczenie rozprzestrzeniania się hałasu.

Ochrona cieplna

Wielkość	oznaczenie	jednostka
temperatura	T	$^{\circ}\text{C}$
	T_s	K
wahania temperatury, różnica	ΔT	K
ciepło	Q	Ws, J
strumień ciepła	Φ	W
współczynnik przewodzenia ciepła	λ	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
opór cieplny	R	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
konduktancja cieplna	Λ	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
współczynnik przejmowania ciepła	h	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
opór przejmowania ciepła	R_s	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
współczynnik przenikania ciepła	U	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
ciepło właściwe	c	$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
aktywność cieplna	b	$\text{J}/(\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{s}^{0.5})$
pojemność cieplna objętościowa	C	$\text{J}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$
pojemność cieplna powierzchniowa	C_p	$\text{J}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
zakumulowana ilość ciepła w jednostce powierzchni przegrody	Q_a	J/m^2

Ochrona przed wilgocią

Wielkość	oznaczenie	jednostka
temperatura punktu rosy	T_s	$^{\circ}\text{C}$
wilgotność względna powietrza	φ	%
wilgotność powietrza	w	kg/m^3
wilgotność powietrza w stanie nasycenia	w_s	kg/m^3
ciśnienie cząstkowe pary wodnej	p	Pa
ciśnienie stanu nasycenia	p_s	Pa
współczynnik oporu dyfuzyjnego	μ	-
równoważna pod względem dyfuzyjnym grubość warstwy powietrza	s_d	m
współczynnik przepuszczania pary wodnej	δ	$\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$
przepuszczalność pary wodnej	W	$\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$
opór dyfuzyjny	Z_p	$\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}/\text{kg}$
gęstość strumienia pary wodnej	g	$\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$

3.1.2 Wielkości, oznaczenia i jednostki z zakresu fizyki budowli

Uwagi wstępne

strona 2

Ochrona akustyczna

Wielkość	oznaczenie	jednostka
częstotliwość	f	Hz
częstotliwość własna	f_o	Hz
częstotliwość graniczna	f_g	Hz
ciśnienie akustyczne	p	$N \cdot m^{-2}$
ciśnienie odniesienia	p_o	$N \cdot m^{-2}$
poziom dźwięku	L_A	dB
średni poziom dźwięku	L_{Am}	dB
poziom głośności	N	fon
głośność dźwięku	S	son
wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej	R	dB
wskaźnik ważony izolacyjności akustycznej; przybliżonej	R_w, R'_w	dB
poziom uderzeniowy znormalizowany	L_n	dB
wskaźnik ważony poziomu uderzeniowego znormalizowanego przybliżonego	$L_{n,w}; L'_{n,w}$	dB
równoważny ważony wskaźnik znormalizowanego poziomu uderzeniowego	$L_{n,w,eq}$	dB
szttywność dynamiczna	s'	MN/m^3
zmniejszenie poziomu uderzeniowego	ΔL	dB
wskaźnik ważony poprawy izolacyjności	ΔL_w	dB

Warunki komfortu cieplnego

Prawidłowe funkcjonowanie organizmu człowieka wymaga utrzymania temperatury ciała w określonym, wąskim zakresie temperatur. Nawet niewielkie odchylenia od średniej temperatury ciała wynoszącej około 37 °C są niebezpieczne dla zdrowia i mogą doprowadzić do śmierci. Człowiek jest narażony na duże wahania temperatur, musi więc osłaniać się od zewnętrznych wpływów klimatycznych przy pomocy sztucznej osłony, np. budynku.

Komfort cieplny w budynku będzie zapewniony wtedy, gdy uda się utrzymać niemal stałe warunki mikroklimatu wewnątrz. Na wykresie →□ 3.2.1/1. przedstawiono zależność komfortu od temperatury i wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu.

Ze względu na wypromieniowanie ciepła z organizmu ludzkiego duże znaczenie dla warunków komfortu cieplnego ma temperatura powierzchni przegród tworzących to pomieszczenie, →□ 3.2.1/2a. Szczególne znaczenie ma temperatura podłogi, ponieważ straty ciepłe z organizmu ludzkiego są tu dodatkowo powiększane przez przewodzenie ciepła →□ 3.2.1/2b.

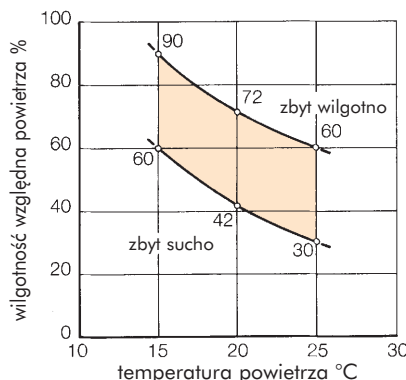
Kolejnym parametrem mającym wpływ na komfort cieplny wewnątrz jest ruch powietrza (prędkość ruchu powietrza). Nadmierna prędkość powietrza może wywoływać nieprzyjemne, miejscowe schłodzenie powierzchni ciała →□ 3.2.1/3.

Warunki klimatyczne we wnętrzu zapewniające komfort są utrzymywane poprzez właściwie dobrane przegrody i odpowiednie urządzenia techniczne (ogrzewanie, wentylacja). Zewnętrzna powłoka budynku ma za zadanie ograniczyć w jak największym stopniu wahania parametrów mikroklimatu.

Różnica temperatur wewnątrz i otoczenia budynku w zimie, musi prowadzić do strat ciepłych, które są następnie wyrównywane poprzez doprowadzanie ciepła z instalacji ogrzewczej. Aby ograniczyć do minimum zapotrzebowanie na energię i związane z tym zanieczyszczanie środowiska naturalnego, przegrody zewnętrzne muszą być dobrze izolowane.

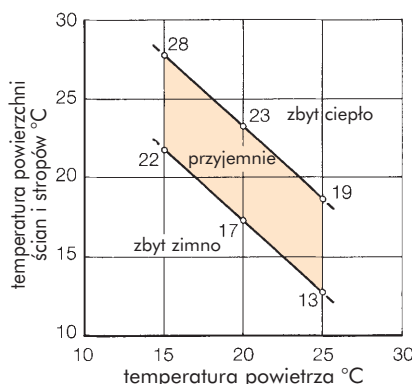
W lecie nadmiar ciepła dostaje się do wnętrza budynku głównie poprzez okna, w mniejszym stopniu przez przegrody nieprzeźroczyste. Przegrzewania wnętrza w lecie można w dużym stopniu uniknąć jeśli przegrody pełne mają dużą pojemność cieplną oraz stosując urządzenia osłaniające okna (np. żaluzje, okiennice itp.)

3.2.1/1



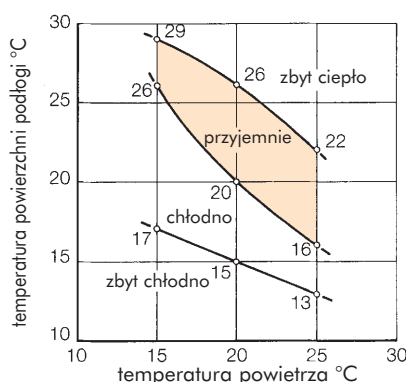
obszar komfortu w zależności od parametrów temperatury powietrza i wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu

3.2.1/2a



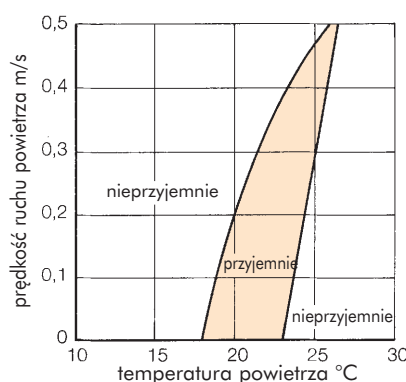
obszar komfortu w zależności od parametrów temperatury powietrza i średniej temperatury powierzchni przegród

3.2.1/2b



obszar komfortu w zależności od parametrów temperatury powietrza i temperatury powierzchni podłogi

3.2.1/3



obszar komfortu w zależności od parametrów temperatury powietrza i prędkości ruchu powietrza w pomieszczeniu

Energia cieplna i przepływ ciepła

Ciepło

Ciepło jest formą przekazywania energii, która jest związana z drganiami atomów lub molekuł w gazach, cieczach i ciałach stałych. Zmiana ruchu cząstek ciała jest równoznaczna ze zmianą stanu cieplnego ciała. Energię cieplną można pozyskiwać w procesie zmiany postaci innego rodzaju energii, np. energii elektrycznej.

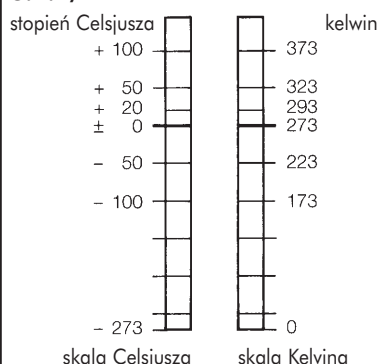
Ciepło (ilość ciepła)

Q , W·s lub J

Temperatura

Temperatura jest informacją o stanie energetycznym ciała. Jest ona umowną wielkością fizyczną, do jej liczbowego określania używa się dwóch skal: Celsjusza i Kelvina, →□ 3.2.1/4.

3.2.1/4



Zero w skali Celsjusza jest prawie identyczne z temperaturą mieszaniny kriogenicznej (mieszaniny wody z lodem). W skali Kelvina zero stopni odpowiada zera absolutnemu. W temperaturze zera absolutnego ustaje jakiegokolwiek ruch cząstek

Temperatura

T , °C

Różnica temperatur

ΔT , K

Temperaturę zwykle mierzy się w stopniach Celsjusza, a różnicę temperatur podaje się w stopniach Kelvina.

Ruch ciepła

Jeśli w obrębie ciała występuje różnica temperatur, albo też pojawia się różnica temperatur pomiędzy dwoma ciałami, to zgodnie z pierwszą zasadą termodynamiki uruchamiana jest naturalna dążność do wyrównywania temperatury. Energia cieplna przepływa od ciała cieplejszego do chłodniejszego tak długo, dopóki temperatury nie zostaną wyrównane. Przepływ ciepła może się odbywać na różne sposoby: poprzez przewodzenie ciepła, konwekcję i promieniowanie.

Przewodzenie ciepła

Przewodzenie ciepła to bezpośrednie przekazywanie energii kinetycznej od jednej molekuly do drugiej. Intensywność przewodzenia ciepła zależy od struktury i właściwości danego materiału. Straty cieplne z budynku przez przegrody budowlane są związane głównie z przewodzeniem ciepła →□ 3.2.1/5.

Konwekcja (unoszenie)

Konwekcyjne przenoszenie ciepła polega na makroskopowym ruchu ogrzanych cząstek gazu lub cieczy. Miejscowa różnica temperatur wywołuje konwekcję swobodną, tj. ruch cząstek na skutek zmiany gęstości powietrza →□ 3.2.1/6. Przy użyciu wentylatora można natomiast wywołać konwekcję wymuszoną.

Promieniowanie cieplne

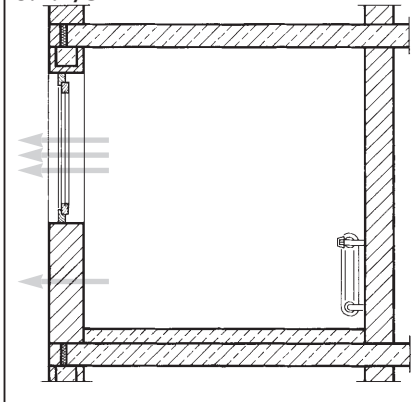
Promieniowanie cieplne to forma wymiany energii między dwoma ciałami, które nie stykają się wzajemnie ze sobą. Promieniowanie padające na powierzchnię ciała stałego jest częściowo absorbowane, a częściowo odbijane. Ciała o ciemnym kolorze absorbują więcej energii słonecznej niż jasne i ogrzewają się w ten sposób do wyższej temperatury. Promieniowanie słoneczne, a także promieniowanie od innych źródeł ciepła w budynku skutecznie podnosi temperaturę wnętrza. →□ 3.2.1/7.

Stacjonarny/niestacjonarny przepływ ciepła

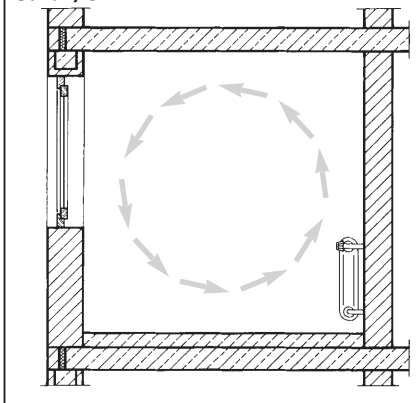
Jeśli przepływ ciepła odbywa się w warunkach stałych temperatur otoczenia, to mamy do czynienia ze stacjonarnym ruchem ciepła (takie założenie przyjmuje się

zwykle przy opisie wymiany ciepła w warunkach zimowych). Niestacjonarny przepływ ciepła występuje wtedy, gdy temperatury ulegają szybkim zmianom w czasie, np. wahania temperatury zewnętrznej lub wewnętrznej, kontakt bosej stopy z podłogą itp.

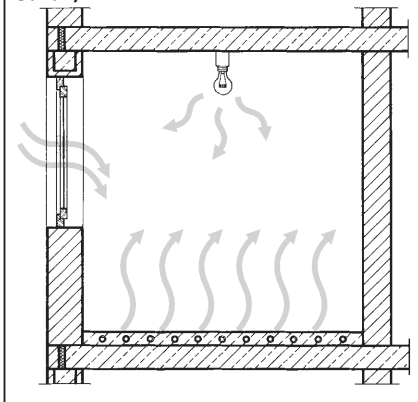
3.2.1/5



3.2.1/6



3.2.1/7



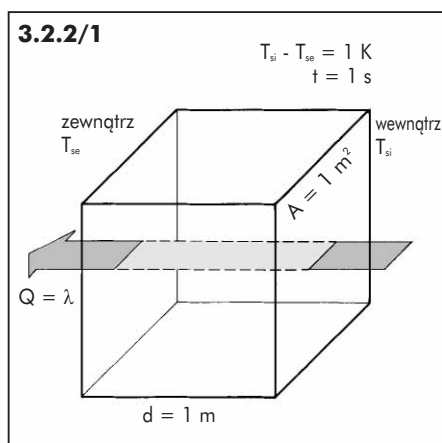
Właściwości materiałów

Przewodzenie ciepła

Zróżnicowane temperatury po obydwu stronach warstwy materiału wywołują przepływ ciepła, którego wielkość zależy od przewodności cieplnej materiału. Niektóre materiały przewodzą ciepło bardzo dobrze (np. metale), inne zaś przewodzą ciepło bardzo słabo (np. styropian). Zdolność materiału do przewodzenia ciepła określa współczynnik przewodzenia ciepła. Badanie i określanie współczynnika przewodzenia ciepła materiału jest wykonywane zgodnie z normami: PN ISO 8301 i PN ISO 8302 *Izolacja cieplna - Określanie oporu cieplnego i właściwości z nim związanych w stanie ustalonym - Aparat płytowy z osłoniętą płytą grzejącą oraz PN ISO 10456 Określanie deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych.*

Współczynnik przewodzenia ciepła

$$\lambda, \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$



Współczynnik przewodzenia ciepła mówi o ilości ciepła [Ws] jaka przepływa przez warstwę materiału o grubości 1 m przy następujących wartościach → **3.2.2/1**:

$$A = 1 \text{ m}^2, \Delta T = 1 \text{ K}, t = 1 \text{ s}$$

Ilość ciepła jaka jest tracona z ogrzewanego pomieszczenia poprzez jego przegrody zewnętrzne można opisać w sposób następujący:

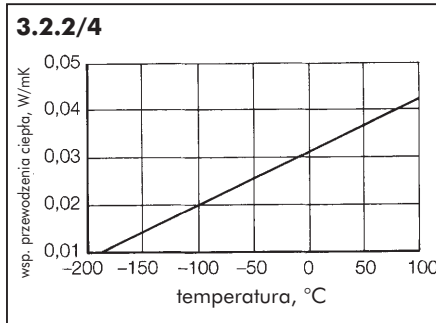
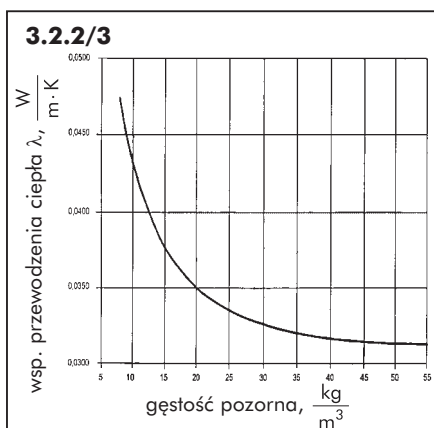
$$Q = \lambda \cdot \frac{A \cdot \Delta T \cdot t}{d}$$

- λ - współczynnik przewodzenia ciepła materiału
- d - grubość warstwy materiału
- A - powierzchnia przegrody
- ΔT - różnica temperatur
- t - czas

Zasadniczy wpływ na przewodność cieplną materiału ma jego porowatość. Ponieważ powietrze zamknięte w porach materiału posiada najniższą przewodność cieplną, to wzrost porowatości, a inaczej mówiąc spadek gęstości materiału obniża jego przewodność cieplną. Prawidłowość tę można obserwować w tabeli → **3.2.2/2**.

3.2.2/2		
materiał	$\rho, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\lambda, \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
stal	7800	60
beton	2500	2
szkło	2500	0.8
cegła pełna	1000	0.5
drewno	600	0.2
styropian	30	0.032
woda	1000	0.6
powietrze	1	0.02

W przypadku styropianu zależność współczynnika przewodzenia ciepła od gęstości ma inny charakter → **3.2.2/3**.



Oprócz porowatości i gęstości, wpływ na przewodność cieplną materiału ma jego wilgotność. Wraz ze wzrostem wilgotności szybko wzrasta przewodzenie ciepła. W praktyce budowlanej przy określaniu właściwości izolacyjnych przegród należy więc uwzględnić rzeczywisty stan wilgotnościowy materiałów oraz temperatury → **3.2.2/4**.

O deklarowanej i obliczeniowej wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ więcej informacji w 3.2.2 str. 3

Ciepło właściwe

Dla opisu niestacjonarnego przepływu ciepła przez przegrody budowlane nie wystarczy informacja tylko o przewodności cieplnej materiału. W tych warunkach bowiem, istotną rolę gra również inny parametr, a mianowicie ciepło właściwe materiału. Jest to informacja o tym, jaka ilość ciepła jest potrzebna do podgrzania materiału w warunkach wzrastającej temperatury.

Ciepło właściwe

$$c, \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad 1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$$

Ciepło właściwe materiału jest to ilość ciepła potrzebna, aby podgrzać 1 kg materiału o 1 K.

Wartości liczbowe ciepła właściwego dla różnych materiałów podano w tabeli → **3.2.2/5**.

3.2.2/5	
materiał	$c, \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
stal	400
beton	1000
szkło	800
cegła pełna	2100
drewno	2100
styropian	1500
woda	4200
powietrze	1000

Właściwości materiałów

Konduktancja

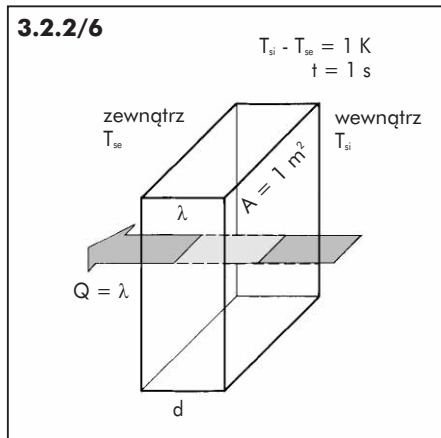
Współczynnik przewodzenia ciepła określa przepływ strumienia ciepłego przez warstwę materiału o grubości 1 m. Przy analizie przepływu ciepła przez konkretny element budowlany, należy uwzględnić jego rzeczywistą grubość:

$$Q = \frac{\lambda}{d} \cdot A \cdot \Delta T \cdot t$$

Iloraz przewodności cieplnej materiału i grubości jego warstwy jest określany jako konduktancja cieplna.

$$\Lambda = \frac{\lambda}{d}, \quad \frac{W}{m^2 K}$$

3.2.2/6



Konduktancja określa, jaka ilość ciepła [W·s] przepływa przez warstwę materiału budowlanego o grubości [d] przy następujących warunkach brzegowych:

$$A = 1 \text{ m}^2, \Delta T = 1 \text{ K}, t = 1 \text{ s}$$

Całkowita ilość ciepła, jaka jest przewodzona z pewnej objętości przez zamykającą ją powierzchnię zewnętrzną, jest więc równa:

$$Q = \Lambda \cdot A \cdot \Delta T \cdot t,$$

- Λ - konduktancja
- A - pole powierzchni
- ΔT - różnica temperatur
- t - czas

Opór przenikania ciepła

Warstwa materiału

Do oceny izolacyjności termicznej zewnętrznych przegród budowlanych, częściej niż konduktancji, używa się pojęcia oporu, jaki materiał stawia przepływowi ciepła. Opór cieplny warstwy materiału jest równy odwrotności konduktancji.

Opór cieplny pojedynczej warstwy materiału:

$$R = \frac{1}{\Lambda} = \frac{d}{\lambda}, \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Opór cieplny przegrody n-warstwowej:

$$R_n = \frac{1}{\Lambda} = \sum_n \frac{d_n}{\lambda_n}, \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Przykład:

20 cm betonu zwykłego:

$$R = \frac{1}{\Lambda} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,20}{2,10} = 0,095, \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

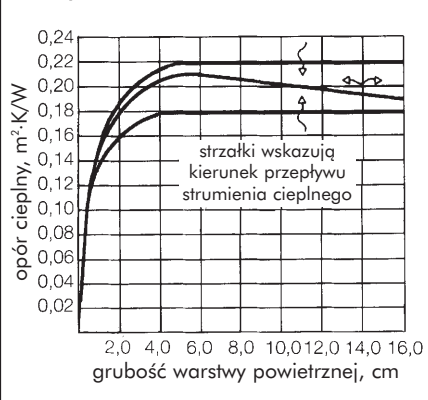
6 cm styropianu:

$$R = \frac{1}{\Lambda} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,06}{0,040} = 1,5, \quad \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Warstwa powietrzna

Właściwości izolacyjnych zamkniętej warstwy powietrznej nie da się opisać używając do tego celu jedynie przewodności cieplnej powietrza i grubości warstwy, ponieważ oprócz przewodzenia ciepła istotna jest tu również konwekcja. Zależność pomiędzy oporem cieplnym warstwy powietrza, a jej grubością pokazano na wykresie → 3.2.2/7.

3.2.2/7



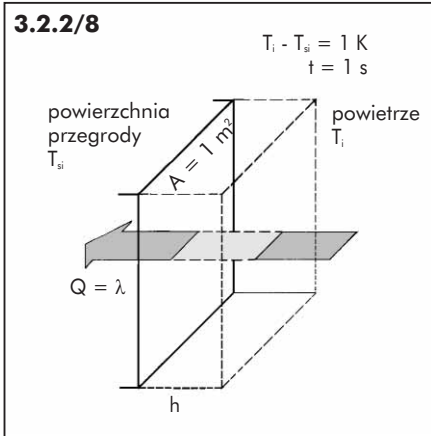
Współczynnik przejmowania ciepła

Zanim strumień cieplny dotrze do powierzchni przegrody, a od strony zewnętrznej zanim opuści przegrodę i przejdzie do powietrza zewnętrznego, musi pokonać opór przypowierzchniowych warstw powietrza. Wymiana ciepła, jaka zachodzi w tych miejscach, odbywa się głównie na drodze konwekcji i promieniowania. Określa się ją łącznie jako przejmowanie ciepła na powierzchni przegrody i opisuje przy użyciu współczynnika przejmowania ciepła.

Współczynnik przejmowania ciepła

$$h, \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

3.2.2/8



Współczynnik przejmowania ciepła określa ilość ciepła [W·s] jaka przepływa przez powierzchniową warstwę powietrza przy następujących warunkach:

$$A = 1 \text{ m}^2, \Delta T = 1 \text{ K}, t = 1 \text{ s}$$

Współczynnik przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni przegrody oznacza się jako h_i , po stronie zewnętrznej zaś jako h_e .

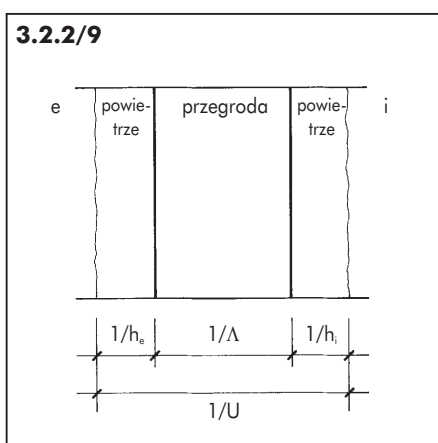
Opór przejmowania ciepła

Opór przejmowania ciepła jest odwrotnością współczynnika przejmowania ciepła. W obliczeniach oporu cieplnego przegród budowlanych, wartości oporów przejmowania ciepła, dla różnych przypadków układu przegród i kierunków przepływu strumienia ciepłego, podane są w normie PN EN ISO 6946: *Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła - Metoda obliczania*.

Właściwości materiałów

Całkowity opór cieplny

Przepływ ciepła przez materiały przegrody jest związany z ich przewodnością cieplną, zaś wymiana ciepła na powierzchni przegrody ze współczynnikiem przejmowania ciepła. Całkowity opór cieplny przegrody oblicza się jako sumę oporów przewodzenia poszczególnych warstw przegrody i oporów przejmowania ciepła na obydwu jej powierzchniach → **3.2.2/9**.



Całkowity opór cieplny

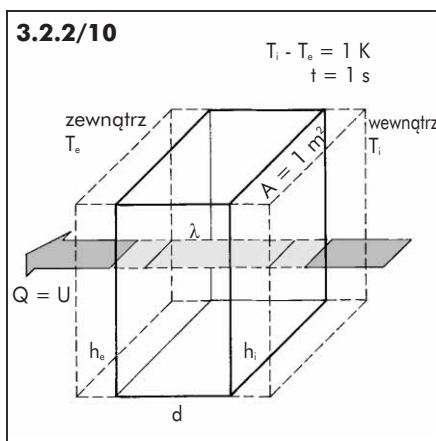
$$R_T = \frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{h_i} \quad , \quad \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Współczynnik przenikania ciepła

Współczynnik przenikania ciepła jest równy odwrotności całkowitego oporu cieplnego przegrody.

Współczynnik przenikania ciepła

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{h_i}} \quad , \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$



Współczynnik przenikania ciepła odpowiada ilości ciepła [W·s] jaka przenika przez przegrodę budowlaną, z uwzględnieniem przypowierzchniowych warstw powietrznych, przy następujących warunkach brzegowych:

$$A = 1 \text{ m}^2, \Delta T = 1 \text{ K}, t = 1 \text{ s}$$

Przy użyciu współczynnika przenikania ciepła można opisać ilość ciepła, jaka przenika przez przegrody osłaniające ogrzewane wnętrza budynku, w sposób następujący:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t$$

gdzie:

U - współczynnik przenikania ciepła

A - pole powierzchni przegród

ΔT - różnica temperatur

t - czas

Średni współczynnik przenikania ciepła przegrody niejednorodnej, tj. takiej w której występują obszary o zróżnicowanych lokalnie wartościach współczynników przenikania, oblicza się jako średnią ważoną lokalnych wartości. Wagami są powierzchnie A_n tych obszarów odniesione do całkowitej powierzchni $A = \sum A_n$ przegrody niejednorodnej.

Wpływ mostków termicznych jest uwzględniany zgodnie z punktem 6.2 normy.

Deklarowana i obliczeniowa wartość współczynnika przewodzenia ciepła

Dane dotyczące współczynnika przewodzenia ciepła i materiałów izolacji termicznej, przytaczane w ogólnych normach materiałowych, mają charakter orientacyjny, podają wartości, które w praktyce nie powinny być przekroczone, niezależnie od producenta materiału i innych warunków ich stosowania. Nie znaczy to jednak, że należy wszystkie materiały traktować w ten sposób, możemy bowiem kupując materiały firmowe skorzystać z informacji, które podaje i których wiarygodność gwarantuje producent.

Mowa tu o deklarowanej przez producenta wartości współczynnika przewodzenia ciepła. Ścisły sposób określania tej wartości jest przedmiotem osobnej normy europejskiej: PN EN ISO 10456:2004 *Materiały i wyroby budowlane - Procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych*, a także norm dotyczących odpowiednich materiałów. Tak więc wartość deklarowana przewodności cieplnej nie może być przedmiotem głośnych obietnic i zapewnień producenta, który chce się znaleźć na rynku, ale powinna być wynikiem trudnego procesu określania ważnej cechy produkowanego materiału.

Punktem wyjścia do określenia deklarowanej wartości współczynnika λ są badania, pobranych we właściwy sposób, próbek materiału. Sposób prowadzenia badań i stosowana w tym celu aparatura jest przedmiotem kolejnych kilku norm europejskich. W przypadku styropianu, producent powinien mieć co najmniej dziesięć wyników badań, przeprowadzonych w regularnych odstępach czasu, aby przystąpić do określania wartości deklarowanej.

Następnym krokiem jest obróbka statystyczna uzyskanych danych pomiarowych. Jej celem jest określenie deklarowanej wartości współczynnika przewodności cieplnej jako wartości reprezentującej co najmniej 90% produkcji przy 90% poziomie ufności. W języku statystyki deklarowana wartość λ jest tzw. statystyczną wartością oczekiwaną. Wartość liczbowa jest podawana z dokładnością do 0.001 W/(mK).

Ze względu na zależność przewodności cieplnej od temperatury i wilgotności, wartość deklarowana musi być określona dla ściśle sprecyzowanych warunków. Jeśli badania są prowadzone w innych warunkach, to wyniki tych badań należy poddać tzw. konwersji z uwagi na wilgotność i temperaturę. Współczynniki konwersji, czyli liczby określające jak zmienia się współczynnik prze-

Deklarowana i obliczeniowa wartość współczynnika przewodzenia ciepła (cd.)

wodzenia ciepła materiału wraz z warunkami, również podane są w normie dla dużej ilości stosowanych materiałów izolacyjnych. Określanie deklarowanej wartości współczynnika przewodzenia ciepła nie może być czynnością jednorazową. Zgodnie z zaleceniem normy, specyfikującej wyroby ze styropianu do izolacji cieplnej w budownictwie PN EN 13163:2004, wartość deklarowana powinna być przeliczana w odstępach czasu nie dłuższych niż trzy miesiące produkcji. Producent ma obowiązek wykazać zgodność wyrobu z wartościami deklarowanymi.

W dobrym projektowaniu stosowana jest jeszcze jedna wielkość związana z przewodzeniem ciepła przez materiały budowlane, a mianowicie: obliczeniowy współczynnik

przewodzenia ciepła. Jak wspomniano wcześniej, warunki eksploatacji budynku w postaci klimatu zewnętrznego i wewnętrznego mają wpływ na wielkość przewodzenia ciepła materiałów. Uwzględnienie ich wpływu na właściwości izolacji termicznej pozwoli w dokładny sposób ocenić stan przegrody budowlanej, faktyczne straty ciepła czy rozkład temperatur. Określenie wartości obliczeniowej polega na uwzględnieniu różnic temperatury i wilgotności pomiędzy warunkami, dla jakich została określona wartość deklarowana współczynnika przewodzenia ciepła, a średnimi warunkami, w których ten materiał faktycznie pracuje. Obliczenia są wykonywane przy użyciu wspomnianych powyżej współczynników konwersji.

Obliczenia tabelaryczne całkowitego oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła

Warstwa	d	λ	R	ΔT	T
	m	W/(m·K)	(m ² K)/W	K	°C
Powietrze wewnętrzne	-	-	-	-	
Powierzchnia wewn.	-	-			
Powietrze zewnętrzne	-	-			
			$R_T =$	$U_o = 1/R_T$	

Aktualne wymagania ochrony cieplnej budynków

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. Ustaw Nr 75, poz. 690, zmiana Dz. U. Nr 109/2004 poz. 1156

§ 328. Budynek i jego instalacje ogrzewcze, wentylacyjne i klimatyzacyjne powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby ilość energii cieplnej, potrzebnej do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem, można było utrzymać na racjonalnie niskim poziomie.

§ 329.1. Dla budynku mieszkalnego wielorodzinnego i zamieszkania zbiorowego wymagania określone w § 328 uznaje się za spełnione, jeżeli wartość wskaźnika E , określającego obliczeniowe zapotrzebowanie na energię końcową (ciepło) do ogrzewania budynku w sezonie grzewczym, wyrażone ilością energii przypadającej w ciągu roku na 1 m³ kubatury ogrzewanej części budynku, jest mniejsza od wartości granicznej E_0 , a także jeżeli przegrody budowlane odpowiadają wymaganiom izolacyjności cieplnej oraz innym wymaganiom określonym w załączniku do rozporządzenia.

§ 329.2. Dla budynku jednorodzinnego wymagania określone w § 328 uznaje się za spełnione, jeżeli:

1. wartość wskaźnika E , o którym mowa w ust. 1, jest mniejsza od wartości granicznej E_0 oraz jeżeli przegrody budowlane odpowiadają wymaganiom określonym w pkt 2 załącznika do rozporządzenia lub
2. przegrody budowlane odpowiadają wymaganiom izolacyjności cieplnej oraz innym wymaganiom określonym w załączniku do rozporządzenia.

§ 329.3. Dla budynku użyteczności publicznej i budynku produkcyjnego wymagania określone w § 328 uznaje się za spełnione, jeżeli przegrody budowlane odpowiadają wymaganiom izolacyjności cieplnej oraz innym wymaganiom określonym w załączniku do rozporządzenia.

§ 329.4. Wartości graniczne E_0 wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku, w zależności od współczynnika kształtu budynku A/V , dla budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego wynoszą:

1. $E_0 = 29 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \text{ rok})$ przy $A/V \leq 0,20$,
2. $E_0 = 26,6 + 12 A/V \text{ kWh}/(\text{m}^3 \text{ rok})$ przy $0,20 < A/V < 0,90$,
3. $E_0 = 37,4 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \text{ rok})$ przy $A/V \geq 0,90$,

gdzie:

A - jest sumą pól powierzchni wszystkich ścian zewnętrznych (wraz z oknami i drzwiami balkonowymi), dachów i stropodachów, podłóg na gruncie lub stropów nad piwnicą nieogrzewaną, stropów nad przejazdami, oddzielających część ogrzewaną budynku od powietrza zewnętrznego, gruntu i przyległych nieogrzewanych pomieszczeń, liczoną po obrysie zewnętrznym,

V - jest kubaturą netto ogrzewanej części budynku obliczaną jako kubatura brutto budynku pomniejszona o kubaturę wydzielonych klatek schodowych, szybów dźwigowych, a także zewnętrznych, niezamkniętych ze wszystkich stron części budynku, takich jak: podcienia, balkony, tarasy, loggie i galerie.

§ 329.5. Wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku mieszkalnego i zamieszkania zbiorowego E , o którym mowa w ust. 1, oblicza się zgodnie z Polską Normą dotyczącą obliczania sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków.

3.2.3

Wymagania formalne dotyczące izolacyjności cieplnej

strona 2

Aktualne wymagania ochrony cieplnej budynków (cd.)

Fragmenty załącznika do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r.:

Wymagania izolacyjności cieplnej i inne wymagania związane z oszczędnością energii

3.2.3/1 Budynek jednorodzinny

Lp	Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	$U_{k(max)}$ z $W/(m^2 \cdot K)$
1	2	3
1	Ściany zewnętrzne (stykające się z powietrzem zewnętrznym): a) przy $t_i > 16^\circ C$: - o budowie warstwowej* z izolacją z materiału o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda \leq 0.05 W/mK$, - pozostałe b) przy $t_i \leq 16^\circ C$ (niezależnie od rodzaju ściany)	0.30 0.50 0.80
2	Ściany piwnic nieogrzewanych	bez wymagań
3	Stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i > 16^\circ C$ b) przy $8^\circ C < t_i \leq 16^\circ C$	0.30 0.50
4	Stropy nad piwnicami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi	0.60
5	Stropy nad piwnicami ogrzewanymi	bez wymagań
6	Ściany wewnętrzne oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1.00

t_i - temperatura obliczeniowa w pomieszczeniu zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia

* - tynk zewnętrzny i wewnętrzny nie jest uznawany za warstwę

3.2.3/2 Budynek użyteczności publicznej

Lp	Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	$U_{k(max)}$ z $W/(m^2 \cdot K)$
1	2	3
1	Ściany zewnętrzne (stykające się z powietrzem zewnętrznym): a) przy $t_i > 16^\circ C$ - pełne - z otworami okiennymi i drzwiowymi - ze wspornikami balkonu, przenikającymi ścianę b) przy $t_i \leq 16^\circ C$ (niezależnie od rodzaju ściany)	0.45 0.55 0.65 0.70
2	Ściany wewnętrzne między pomieszczeniami ogrzewanymi a klatkami schodowymi lub korytarzami	3.00*
3	Ściany przylegające do szczelin dylatacyjnych o szerokości: a) do 5cm, trwale zamkniętych i wypełnionych izolacją cieplną na głębokość co najmniej 20 cm b) powyżej 5cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	3.00 0.70
4	Ściany piwnic nieogrzewanych	bez wymagań
5	Stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i > 16^\circ C$ b) przy $8^\circ C < t_i \leq 16^\circ C$	0.30 0.50
6	Stropy nad piwnicami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi	0.60
7	Stropy nad piwnicami ogrzewanymi	bez wymagań

* Jeżeli przy drzwiach wejściowych do budynku nie ma przedsionka, to wartość współczynnika U_i ściany wewnętrznej przy klatce schodowej na parterze nie powinna być większa niż $1.0 W/(m^2 K)$.

Wartości współczynnika przenikania ciepła U okien, drzwi balkonowych i drzwi zewnętrznych nie mogą być większe niż wartości U_{max} określone w tabelach:

3.2.3/3 Budynek mieszkalny i zamieszkania zbiorowego

Lp	Okna, drzwi balkonowe i drzwi zewnętrzne	$U_{k(max)}$ z $W/(m^2 \cdot K)$
1	2	3
1	Okna (z wyjątkiem połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przeźroczyste nieotwieralne w pomieszczeniach o $t_i \geq 16^\circ C$: - w I, II i III strefie klimatycznej - w IV i V strefie klimatycznej	2.6 2.0
2	Okna połaciowe (bez względu na strefę klimatyczną) w pomieszczeniach o $t_i \geq 16^\circ C$	2.0
3	Okna w ścianach oddzielających pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	4.0
4	Okna pomieszczeń piwnicznych i poddaszy nieogrzewanych oraz nad klatkami schodowymi nieogrzewanymi	bez wymagań
5	Drzwi zewnętrzne wejściowe do budynków	2.6

Aktualne wymagania ochrony cieplnej budynków (cd.)

3.2.3/4 Budynek użyteczności publicznej

Lp	Okna, drzwi balkonowe, świetliki i drzwi zewnętrzne	U_{max} , W/(m ² K)
1	2	3
1	Okna (z wyjątkiem połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne: a) przy $t_i > 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} < t_i \leq 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i \leq 8^\circ\text{C}$	2.3 2.6 bez wymagań
2	Okna połaciowe i świetliki	2.0
3	Okna i drzwi balkonowe w pomieszczeniach o szczególnych wymaganiach higienicznych (pomieszczenia przeznaczone na stały pobyt ludzi w szpitalach, żłobkach i przedszkolach)	2.3
4	Okna pomieszczeń piwnicznych i poddaszy nieogrzewanych oraz świetliki nad klatkami schodowymi nieogrzewanymi	bez wymagań
5	Drzwi zewnętrzne wejściowe do budynków	2.6

3.2.3/5 Minimalne wartości sumy oporów cieplnych dla podłóg układanych na gruncie

Lp	Składniki oporu ciepła	R_{min} [m ² x K/W]	
		$8^\circ\text{C} \leq t_i \leq 16^\circ\text{C}$	$t_i > 16^\circ\text{C}$
1	2	3	4
1	Warstwy podłogowe, izolacja cieplna (pozioma lub pionowa) oraz ściana zewnętrzna lub fundamentowa	1,0	1,5
2	Warstwy podłogowe i grunt przyległy do podłogi (w jej strefie środkowej)	bez wymagań	1,5

Współczynnik przenikania ciepła U_k uwzględnia wpływ dodatkowych strat cieplnych wywołanych obecnością mostków termicznych w przegrodzie wg zależności:

$$U_k = U + \frac{\sum \Psi_k l_k}{A} + \frac{\sum X_i}{A}$$

w której:

Ψ - liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka liniowego

l - długość mostka

X - punktowy współczynnik przenikania ciepła mostka punktowego

A - pole powierzchni przegrody.

■ w budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, budynku użyteczności publicznej, a także budynku produkcyjnym podłoga na gruncie w ogrzewanym pomieszczeniu powinna być izolowana dodatkową izolacją cieplną. Suma oporów cieplnych warstw podłogowych, dodatkowej izolacji cieplnej (poziomej lub pionowej) i gruntu, obliczona zgodnie z Polską Normą dotyczącą obliczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła, nie powinna być mniejsza od wartości określonych w tabeli → **3.2.3/5**. Podłogom stykającym się z gruntem w pomieszczeniach o temperaturze obliczeniowej $t_i \leq 8^\circ\text{C}$ oraz podłogom usytuowanym poniżej 0,6 m od poziomu terenu nie stawia się żadnych wymagań izolacyjności cieplnej.

■ w budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, budynku użyteczności publicznej, a także w budynku pro-

dukcyjnym wartości oporów cieplnych ścian stykających się z gruntem, na odcinku ściany równym 1,0 m, licząc od poziomu terenu, nie mogą być mniejsze niż:

a) przy $t_i > 16^\circ\text{C}$ - 1,0 m²·K/W,

b) przy $4^\circ\text{C} < t_i \leq 16^\circ\text{C}$ - 0,8 m²·K/W.

Na odcinku ściany poniżej 1,0 m, licząc od poziomu terenu, wartości oporu cieplnego nie ogranicza się

Inne wymagania związane z oszczędnością energii

■ w budynku jednorodzinnym pole powierzchni A_o , wyrażone w m², okien oraz przegród szklanych i przezroczystych, o współczynniku przenikania ciepła U_k nie mniejszym niż 2,0 W/(m²·K), obliczone wg ich wymiarów modularnych, nie może być większe niż wartość A_{0max} obliczona wg wzoru:

$$A_{0max} = 0.15A_z + 0.03A_w$$

gdzie:

A_z - jest sumą pól powierzchni rzutu poziomego wszystkich kondygnacji nadziemnych (w zewnętrznym obrysie budynku) w pasie o szerokości 5 m wzdłuż ścian zewnętrznych,

A_w - jest sumą pól powierzchni pozostałej części rzutu poziomego wszystkich kondygnacji po odjęciu A_z .

■ w budynku użyteczności publicznej pole powierzchni A_o , wyrażone w m², okien oraz przegród szklanych i prze-

zroczystych, o współczynniku przenikania ciepła U_k nie mniejszym niż 2,0 W/(m²·K), obliczone według ich wymiarów modularnych, nie może być większe niż wartość A_{0max} obliczona według wzoru

$$A_{0max} = 0.15A_z + 0.03A_w$$

jeśli nie jest to sprzeczne z warunkami odnośnie do zapewnienia niezbędnego oświetlenia światłem dziennym, określonymi w § 57 rozporządzenia.

■ w budynku produkcyjnym łączne pole powierzchni okien oraz ścian szklanych w stosunku do powierzchni całej elewacji nie może być większe niż:

a) w budynku jednokondygnacyjnym (halowym) - 15%,

b) w budynku wielokondygnacyjnym - 30%.

■ w budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, budynku użyteczności publicznej, a także w budynku produkcyjnym opór cieplny nieprzezroczystych przegród zewnętrznych powinien umożliwiać utrzymanie na wewnętrznych jej powierzchniach temperatury wyższej co najmniej o 1°C od punktu rosy powietrza w pomieszczeniu, przy obliczeniowych wartościach temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego oraz przy obliczeniowej wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu, obliczonej zgodnie z Polską Normą dotyczącą parametrów obliczeniowych powietrza wewnętrznego

3.2.3

Wymagania formalne dotyczące izolacyjności cieplnej

strona 4

- w pomieszczeniu klimatyzowanym, z utrzymywaną stałą wilgotnością względną powietrza, temperatura na wewnętrznej powierzchni przegród powinna być wyższa od punktu rosy powietrza w pomieszczeniu
- w budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, budynku użyteczności publicznej, a także w budynku produkcyjnym przegrody zewnętrzne nieprzezroczyste, złącza między przegrodami i częściami przegród oraz połączenia okien z ościeżkami należy projektować i wykonywać pod kątem osiągnięcia ich całkowitej szczelności na przenikanie powietrza
- W budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego i budynku użyteczności publicznej współczynnik infiltracji powietrza dla otwieranych okien i drzwi balkonowych w pomieszczeniach, w których napływ powietrza zewnętrznego jest zapewniony przez nawiewniki, powinien wynosić nie więcej niż $0,3 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{daPa}^{2/3})$, a w pozostałych przypadkach powyżej 0,5, lecz nie więcej niż $1,0 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{daPa}^{2/3})$, z zastrzeżeniem § 155 ust. 3 i 4 rozporządzenia

Obliczenia

Opór cieplny przegrody:

$$R_{\lambda} = \sum_n \frac{d_n}{\lambda_n} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n}$$

Współczynnik przenikania ciepła:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{\lambda} + R_{se}}$$

Współczynniki przenikania ciepła dla okien przyjmować można np.: wg procedur i danych zawartych w normie PN EN ISO 1077-1 i 2, orientacyjne dane podawane są np. w poradnikach technicznych i skryptach, natomiast szczegółowe informacje o swoich wyrobach podają producenci.

3.2.3/6		
Przewodność cieplna i gęstość niektórych materiałów		
materiał	ρ kg/m ³	λ W/m·K
mur z cegły pełnej	1800	0.77
mur z cegły dziurawki	1400	0.62
mur z cegły silikatowej pełnej	1900	0.90
płyty gipsowo-kartonowe	1000	0.23
beton	2400	1.70
tynk cementowo-wapienny	1850	0.82
tynk cementowy	2000	1.00
stal	2000	1.40
szkło płaskie	2500	0.80
drewno iglaste	550	0.16
płyty wiórowe	700	0.13
papa asfaltowa	1000	0.18
styropian	30	0.040

3.2.3/7			
Opór cieplny warstw powietrza, m ² ·K/W			
Grubość warstwy powietrza mm	Kierunek strumienia cieplnego		
	w górę	poziomy	w dół
0	0.00	0.00	0.00
5	0.11	0.11	0.11
7	0.13	0.13	0.13
10	0.15	0.15	0.15
15	0.16	0.17	0.17
25	0.16	0.18	0.19
50	0.16	0.18	0.21
100	0.16	0.18	0.22
300	0.16	0.18	0.23
Uwaga: Wartości pośrednie można otrzymać przez interpolację liniową			

3.2.3/8			
	Kierunek strumienia cieplnego		
	w górę	poziomy	w dół
R_{si}	0.10	0.13	0.17
R_{se}	0.04	0.04	0.04

Akumulacja ciepła

Z niestacjonarną wymianą ciepła mamy do czynienia wówczas, gdy temperatury w otoczeniu budynku ulegają zmianie lub dochodzi do zetknięcia dwóch ciał o różnicowanych temperaturach. Z niestacjonarnymi warunkami termicznymi są związane następujące zagadnienia:

- zmienna temperatura powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu wskutek nierównomiernego ogrzewania w okresie zimowym
- zmienna temperatura powietrza zewnętrznego wskutek nierównomiernego promieniowania słonecznego
- schłodzenie powierzchni bocznej stopy przy kontakcie z podłogą pomieszczenia.

Przebieg powyższych zjawisk jest związany przede wszystkim z pojemnością cieplną materiałów i elementów budowlanych. W obliczeniach projektowych, związanych z niestacjonarnymi warunkami przepływu ciepła, stosuje się następujące wielkości:

Cechy materiału

pojemność cieplna

$$C = c \cdot \rho \quad , \quad \frac{\text{J}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}$$

aktywność cieplna

$$b = \sqrt{c \cdot \rho \cdot \lambda} \quad , \quad \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{0.5}}$$

Cechy przegrody

pojemność cieplna powierzchniowa

$$C_p = c \cdot \rho \cdot d \quad , \quad \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

konduktancja cieplna

$$\Lambda = \frac{\lambda}{d} \quad , \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad \text{lub} \quad \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}}$$

Dla orientacji, podano w tabeli → **3.2.4/1** wartości pojemności cieplnej i aktywności niektórych materiałów budowlanych.

3.2.4/1

materiał	c J/(kg·K)	ρ kg/m ³	λ W/(m·K)	C J/(m ³ ·K)	b J/(m ² ·K·s ^{0.5})
stal	400	7800	60	310·10 ⁴	13680
beton	1000	2500	2	250·10 ⁴	2235
szkło	800	2500	0.8	200·10 ⁴	1265
mur ceglany	2100	1000	0.5	210·10 ⁴	1025
drewno	2100	600	0.2	125·10 ⁴	500
styropian	1500	30	0.04	5·10 ⁴	40
woda	4200	1000	0.6	420·10 ⁴	1590
powietrze	1000	1	(0.02)	0.1·10 ⁴	(4)

Gdy w warunkach zimowych pomieszczenie jest podgrzewane od temperatury początkowej równej temperaturze zewnętrznej do zwykłej temperatury użytkowej, to do momentu, kiedy nie zostanie osiągnięty stan ustalony, w przegrodach zmienia się ilość zakumulowanej energii.

Ilość ciepła zgromadzonego w warstwie materiału można określić następująco (oznaczenia wg rysunku → **3.2.4/2**):

$$Q_s = c \cdot \rho \cdot d \cdot (T_m - T_e) \quad , \quad \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

lub

$$Q_s = C \cdot d \cdot (T_m - T_e) \quad , \quad \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

lub

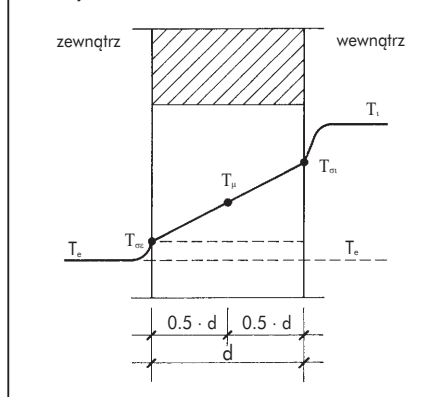
$$Q_s = C_p \cdot (T_m - T_e) \quad , \quad \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

W murze ceglanym zakumulowana jest znacznie większa ilość energii niż np. w przegrodzie zrobionej głównie z materiału izolacyjnego, np. lekkim stropodachu.

Ostonienie muru ceglanego warstwą izolacyjną od zewnątrz, pozwala zakumulować w ścianie większą ilość ciepła, aniżeli w przypadku izolacji wewnętrznej.

Tak więc, w przegrodach wielowarstwowych o tej samej powierzchni mogą być akumulowane zdecydowanie różne ilości energii.

3.2.4/2



Zagadnienia praktyczne

Wahania temperatury powietrza wewnętrznego

Do dużych wahań temperatury we wnętrzu dochodzi w przypadku budynków okresowo ogrzewanych, np. kościoły, obiekty sportowe, hale widowiskowe itp. Wyraźne wahania występują także w pomieszczeniach, w których stosuje się nocne obniżenia temperatury lub np. zachodzi awaria ogrzewania. Wpływ na przebieg nagrzewania i stygnięcia przegród ma pojemność cieplna przegród oraz ich konduktancja. W przegrodach wielowarstwowych istotny wpływ mają warstwy wewnętrzne przegród.

Ze względu na komfort cieplny w pomieszczeniu oraz ochronę przed wykropleniem pary wodnej na powierzchni wewnętrznej pożądanym jest długi czas stygnięcia przegród oraz krótki czas nagrzewania. Wymagania te realizuje się w następujący sposób:

■ długi czas stygnięcia

Pomieszczenie osłonięte przegrodą jednowarstwową o małej pojemności termicznej, ulega szybkiemu wychłodzeniu, a temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody spada szybko. Ponieważ czas stygnięcia przegrody jest proporcjonalny do ilorazu C_p/Λ , to sposobem na uniknięcie kondensacji pary wodnej na powierzchni lekkiej przegrody jest zwiększenie jej oporu cieplnego (zmniejszenie konduktancji).

■ szybkie nagrzewanie

Przegroda wielowarstwowa izolowana od wnętrza magazynuje mniejszą ilość ciepła, aniżeli przegroda izolowana od zewnątrz. Czas nagrzewania pomieszczenia osłoniętego takimi przegrodami jest więc krótszy niż przy izolacji zewnętrznej. Dlatego też pomieszczenia lub budynki tylko okresowo używane, w których wymaga się szybkiego nagrzewania wnętrza, mogą być izolowane właśnie od strony wewnętrznej.

Wahania temperatury powietrza zewnętrznego

W ciągu doby temperatura powietrza zewnętrznego zmienia się pomiędzy wartością maksymalną a minimalną. Zmiany te, w budynku nieklimatyzowanym, mają mniejsze znaczenie w zimie niż w lecie. Przegrody powinny chronić wnętrze przed nadmiernym wzrostem temperatury, a także umożliwić przesunięcie w czasie oddawanie ciepła ze ściany do wnętrza pomieszczenia. Miarą skuteczności przegród w ochronie przed przegrzewaniem wnętrza, jest tłumienie fali temperatury (stosunek amplitud) „A” i przesunięcie fazowe „ η ” → **3.2.4/3**.

Jeśli przegroda charakteryzuje się wysokim tłumieniem fali cieplnej (wysoka wartość A) to przesunięcie fazowe ma już tylko niewielkie znaczenie. Jeśli natomiast przegroda tłumí przepływ ciepła tylko w niewielkim stopniu, to wymagane jest przesunięcie fazowe temperatury rzędu 12 godzin. Dzięki temu maksymalny napływ ciepła do wnętrza pomieszczenia ma miejsce dopiero nad ranem, kiedy możliwe jest już intensywne chłodzenie powietrzem zewnętrznym.

Aktywność cieplna warstw podłogowych

Uczucie chłodu lub ciepła podczas stąpania bosą stopą po podłodze pomieszczenia jest związane z temperaturą kontaktową na styku stopy i podłogi. Jej wartość zależy od tzw. aktywności cieplnej warstw podłogowych. Im mniejsza jest wartość

$$b, \frac{J}{m^2 \cdot K \cdot s^{0.5}}$$

aktywności cieplnej, tym cieplejsza wydaje się podłoga przy dotknięciu stopy.

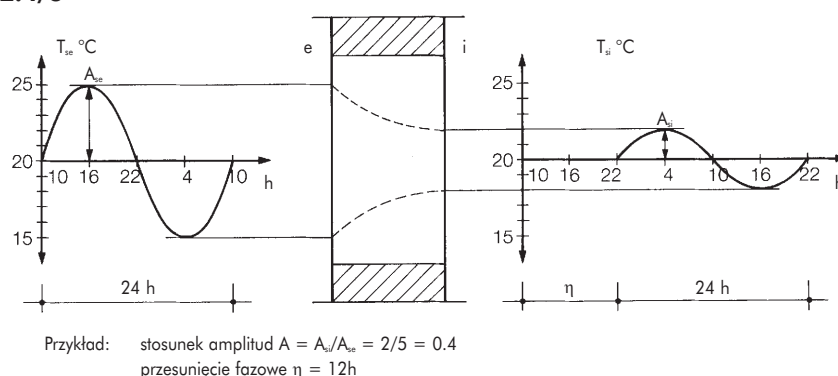
< 350	ciepło
= 350-700	wystarczająco
= 700-1400	zbyt chłodno
> 1400	zimno

Przy cienkich wykładzinach podłogowych, zwykle konieczne jest uwzględnienie właściwości materiałów położonych głębiej, a nie tylko warstwy wierzchniej podłogi → **3.2.4/4**.

3.2.4/4

odprowadzanie ciepła po 1 min kJ/m ²	po 10 min kJ/m ²	ocena
≤38	≤190	ciepło
>38 ≤50	>190 ≤294	wystarczająco
>50	>294	zbyt chłodno

3.2.4/3



Ochrona przed wilgocią

Powłoka zewnętrzna budynku chroni wnętrze przed wpływami środowiska, zapewniając w ten sposób prawidłowe warunki zdrowotne i właściwy mikroklimat. W całym zestawie tych wpływów środowiskowych bardzo istotne znaczenie ma wilgoć.

Przegrody zewnętrzne mają za zadanie izolować budynek od wilgoci z otoczenia, tak aby nie zakłócała ona warunków użytkowania. Natomiast wszystkie przegrody budynku, włącznie z wewnętrznymi, są poddane oddziaływaniu wilgoci związanej z eksploatacją wnętrza. Wszystkie przegrody muszą być więc zabezpieczone przed nadmiernym zawilgoceniem i wynikającymi z niego zagrożeniami:

- pogorszeniem mikroklimatu wnętrza; podwyższona wilgotność przegród powoduje wzrost wilgotności powietrza w pomieszczeniu, a w następstwie obniżoną sprawność użytkowników i zagrożenie chorobami reumatycznymi
- rozwojem grzybów; wilgotne przegrody stwarzają optymalne warunki dla rozwoju mikroorganizmów, jego skutkiem są przebarwienia i zniszczenia powierzchniowe ścian, a także zagrożenie dla zdrowia ludzi
- spadkiem izolacyjności termicznej przegród; wzrost zawilgocenia materiałów budowlanych wiąże się ze wzrostem ich przewodności cieplnej. Podwyższone w ten sposób straty ciepłe muszą być równoważone zwiększonym zużyciem energii, pociągając za sobą zwiększone obciążenie dla środowiska
- niszczeniem materiałów; nadmierna wilgotność materiałów budowlanych prowadzi do ich korozji chemicznej, biologicznej, niszczenia mechanicznego wskutek krystalizacji wewnątrz porów materiału, powstawania wykwitów, a także rozsadzania struktury materiału przy działaniu mrozu.

Formy działania wilgoci na budynek → **3.3.1/1**:

Od zewnątrz:

- opady atmosferyczne
- woda pochodząca od wsiąkających w grunt opadów oraz podciągana kapilarnie z głębi gruntu
- wody gruntowe, woda w gruncie budowlanym na warstwie nieprzepuszczalnej
- para wodna w powietrzu

Od wnętrza:

- wilgoć budowlana, pochodząca z tzw. mokrych procesów technologicznych
- wilgoć eksploatacyjna, pochodząca np. od gotowania, z łazienki i innych pomieszczeń mokrych oraz zmywania przegród
- para wodna w powietrzu, pochodząca od mieszkańców i wyposażenia obiektu.

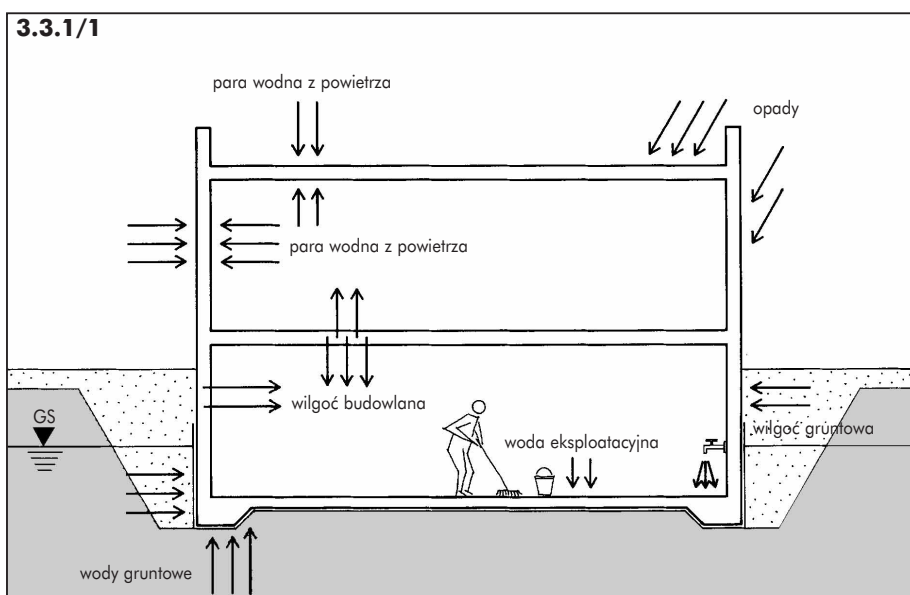
W początkowym okresie eksploatacji budynku, trwającym zwykle kilka lat, a wyjątkowo nawet kilkanaście lat, duże znaczenie może mieć również tzw. wilgoć początkowa. Jest ona wynikiem mokrych procesów technologicznych podczas produkcji mate-

riałów, składowania nieosłoniętego materiału, a w końcu wiąże się z mokrymi procesami konstruowania przegród.

Tylko niektórych wpływów wilgotnościowych można uniknąć całkowicie, większość z nich musi być natomiast brana pod uwagę już na etapie projektowania obiektu. W celu uniknięcia zawilgocenia przegrody stosowane są różnego rodzaju zabiegi konstrukcyjne i z zakresu fizyki budowli.

Odpowiednie projektowanie konstrukcyjne pozwala uzyskać szczelność budynku ze względu na opady atmosferyczne, wilgoć z gruntu i wody gruntowe oraz wilgoć eksploatacyjną. Mowa będzie o tym w dalszej części poradnika, poświęconej rozwiązaniom detali budowlanych.

Rozwiązania z zakresu fizyki budowli są związane z ochroną przegród przed działaniem pary wodnej znajdującej się w powietrzu i temperatur po obydwu stronach przegrody. Analizuje się w tym celu przebieg zjawisk cieplno-wilgotnościowych w różnych warunkach środowiskowych oraz dobiera tak układ warstw w przegrodach, aby uniknąć lub ograniczyć kondensację wilgoci w ich wnętrzu i na powierzchni.



Powietrze wilgotne

Temperatura

Stan ciepło-wilgotnościowy powietrza w pomieszczeniu jest opisywany przy użyciu dwóch parametrów:

temperatury i wilgotności.

Wartość temperatury jest podawana zwykle w stopniach Celsjusza, natomiast różnica temperatur w kelwinach.

Temperatura

$$T, ^\circ\text{C}$$

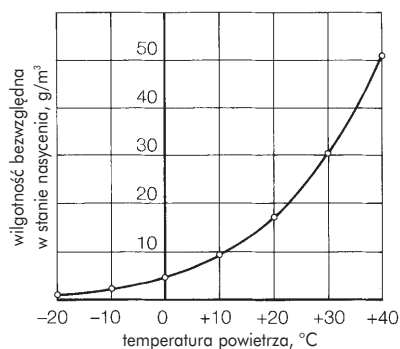
Różnica temperatur

$$\Delta T, \text{K}$$

Wilgotność

W powietrzu wilgotnym znajduje się para wodna, pochodząca od opadów atmosferycznych i odparowania wody z powierzchni ziemi. Powietrze może przyjąć maksymalnie ograniczoną ilość pary wodnej W_s , odpowiadającą stanowi nasycenia. Stan nasycenia jest ściśle zależny od temperatury powietrza → **3.3.1/2**:

3.3.1/2



Zwykle powietrze jest nienasycone, a więc znajduje się w nim ilość pary wodnej W , mniejsza niż ta, która odpowiada stanowi nasycenia. Taki stan wilgotnościowy powietrza jest opisywany przy użyciu pojęcia wilgotności względnej powietrza φ :

$$\varphi = \frac{W}{W_s}$$

Wilgotność względna powietrza

$$\varphi, \%$$

Sama wartość wilgotności względnej powietrza nie podaje informacji o rzeczywi-

stej zawartości pary wodnej, do tego bowiem potrzebna jest jeszcze temperatura powietrza. Na przykład więc, chłodne powietrze o wysokiej wilgotności względnej może zawierać mniejszą bezwzględną ilość wody, niż powietrze ciepłe o niskiej wilgotności względnej → **3.3.1/3**:

3.3.1/3

temperatura	rzeczywista zawartość pary wodnej $W, \text{g/m}^3$	zawartość pary wodnej w stanie nasycenia $W_s, \text{g/m}^3$	wilgotność względna powietrza $\varphi, \%$
$T, ^\circ\text{C}$			
10	7.51	9.39	80
30	15.18	30.36	50

Ciśnienie pary wodnej

W praktycznym opisie przebiegu zjawisk wilgotnościowych chętnie stosuje się jednak zamiast bezwzględnej zawartości wilgotności, pojęcie cząstkowego ciśnienia pary wodnej w powietrzu. Ciśnienie pary wodnej jest zależne od temperatury i wilgotności względnej powietrza → **3.3.1/4**. Jednostką ciśnienia jest Paskal [Pa].

Cząstkowe ciśnienie pary wodnej ($\varphi < 100\%$)

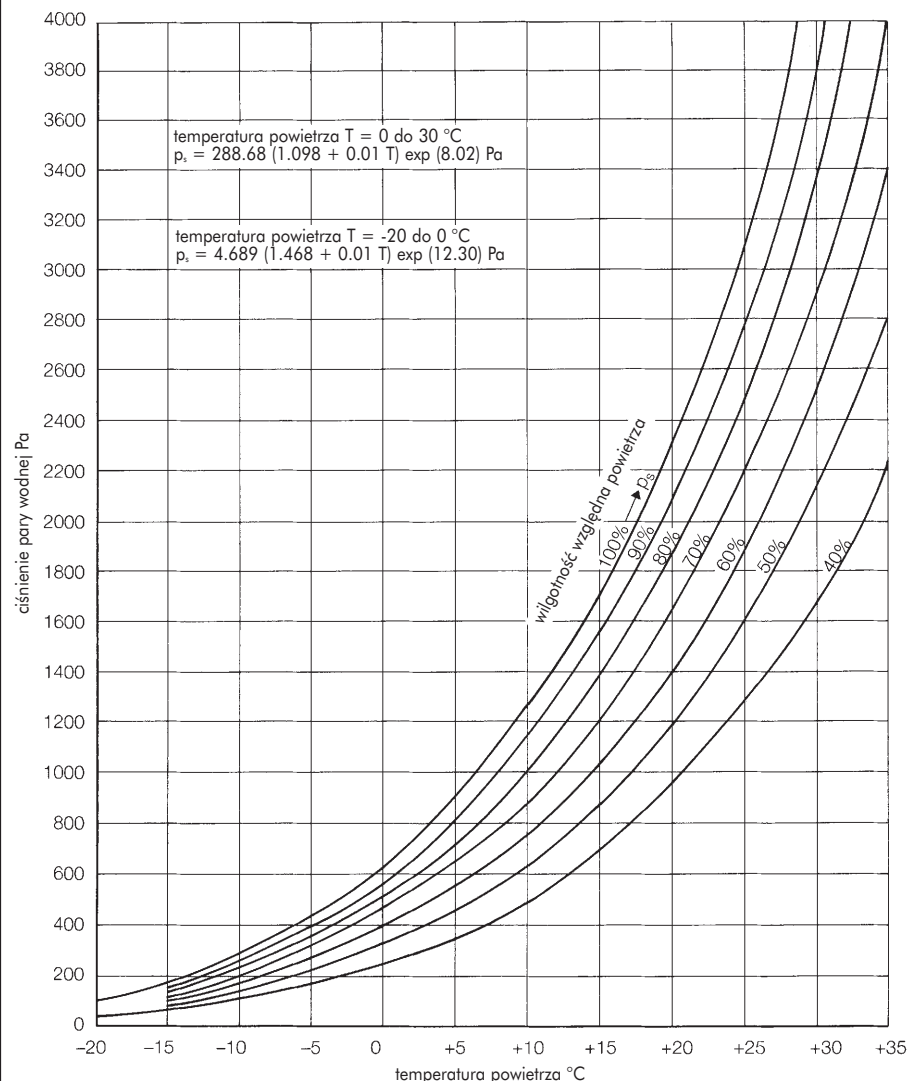
$$p, \text{Pa}$$

Ciśnienie stanu nasycenia ($\varphi = 100\%$)

$$p_s, \text{Pa}$$

Wilgotność względna: $\varphi = \frac{p}{p_s}$

3.3.1/4



Określanie ciśnienia pary wodnej

Do określania stanu wilgotnościowego przegród budowlanych oraz przebiegu zjawisk związanych z transportem wilgoci potrzebne są wartości ciśnienia rzeczywistego oraz ciśnienia stanu nasycenia pary wodnej w powietrzu dla całego zakresu występujących temperatur.

W tabeli → **3.3.1/5** można odczytać, dla określonej temperatury T , wartość ciśnienia stanu nasycenia p_s . Dla zadanej wartości wilgotności względnej powietrza j , ciśnienie rzeczywiste pary wodnej można wyliczyć z zależności:

$$p = \varphi \cdot p_s.$$

Przykład:

Temperatura w pomieszczeniu $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$,
a wilgotność względna $\varphi = 60\%$.

Ile wynosi wartość p i p_s ?

$$p_s = 2340 \text{ Pa}$$

$$p = 0.60 \cdot 2340 = 1404 \text{ Pa}$$

3.3.1/5										
temp. T, °C	ciśnienie stanu nasycenia p _s , Pa									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
30	4244									
29	4006	4030	4053	4077	4101	4124	4148	4172	4196	4219
28	3781	3803	3826	3848	3871	3894	3916	3939	3961	3984
27	3566	3588	3609	3631	3652	3674	3695	3717	3793	3759
26	3362	3382	3403	3423	3443	3463	3484	3504	3525	3544
25	3169	3188	3208	3227	3246	3266	3284	3304	3324	3343
24	2985	3003	3021	3040	3059	3077	3095	3114	3132	3151
23	2810	2827	2845	2863	2880	2897	2915	2932	2950	2968
22	2645	2661	2678	2695	2711	2727	2744	2761	2777	2794
21	2487	2504	2518	2535	2551	2566	2582	2598	2613	2629
20	2340	2354	2369	2384	2399	2413	2428	2443	2457	2473
19	2197	2212	2227	2241	2254	2268	2283	2297	2310	2324
18	2065	2079	2091	2105	2119	2132	2145	2158	2172	2185
17	1937	1950	1963	1976	1988	2001	2014	2027	2039	2052
16	1818	1830	1841	1854	1866	1878	1889	1901	1914	1926
15	1706	1717	1729	1739	1750	1762	1773	1784	1795	1806
14	1599	1610	1621	1631	1642	1653	1663	1674	1684	1695
13	1498	1508	1518	1528	1538	1548	1559	1569	1578	1588
12	1403	1413	1422	1431	1441	1451	1460	1470	1479	1488
11	1312	1321	1330	1340	1349	1358	1367	1375	1385	1394
10	1228	1237	1245	1254	1262	1270	1279	1287	1296	1304
9	1148	1156	1163	1171	1179	1187	1195	1203	1211	1218
8	1073	1081	1088	1096	1103	1110	1117	1125	1133	1140
7	1002	1008	1016	1023	1030	1038	1045	1052	1059	1066
6	935	942	949	955	961	968	975	982	988	995
5	872	878	884	890	896	902	907	913	919	925
4	813	819	825	831	837	843	849	854	861	866
3	759	765	770	776	781	787	793	798	803	808
2	705	710	716	721	727	732	737	743	748	753
1	657	662	667	672	677	682	687	691	696	700
0	611	616	621	626	630	635	640	645	648	653
-0	611	605	600	595	592	587	582	577	572	567
-1	562	557	552	547	543	538	534	531	527	522
-2	517	514	509	505	501	496	492	489	484	480
-3	476	472	468	464	461	456	452	448	444	440
-4	437	433	430	426	423	419	415	412	408	405
-5	401	398	395	391	388	385	382	379	375	372
-6	368	365	362	359	356	353	350	347	343	340
-7	337	336	333	330	327	324	321	318	315	312
-8	310	306	304	301	298	296	294	291	288	286
-9	284	281	279	276	274	272	269	267	264	262
-10	260	258	255	253	251	249	246	244	242	239
-11	237	235	233	231	229	228	226	224	221	219
-12	217	215	213	211	209	208	206	204	202	200
-13	198	197	195	193	191	190	188	186	184	182
-14	181	180	178	177	175	173	172	170	168	167
-15	165	164	162	161	159	158	157	155	153	152
-16	150	149	148	146	145	144	142	141	139	138
-17	137	136	135	133	132	131	129	128	127	126
-18	125	124	123	122	121	120	118	117	116	115
-19	114	113	112	111	110	109	107	106	105	104
-20	103									

Dyfuzja pary wodnej i kondensacja w przegrodzie

Następstwa zróżnicowanych warunków eksploatacji

Wartość rzeczywistego ciśnienia pary wodnej w powietrzu jest zależna od jego temperatury oraz wilgotności względnej. Z tego faktu wynikają istotne następstwa dla przegród budowlanych rozdzielających różne, pod względem ciepłno-wilgotnościowym, środowiska.

1. Każdej parze wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza odpowiada pewna wartość rzeczywistego ciśnienia pary wodnej.
2. W warunkach zróżnicowanych ciśnień pary wodnej po obydwu stronach przegrody, dochodzi do dyfuzji pary wodnej przez tą przegrodę.
3. Każdej temperaturze odpowiada pewna charakterystyczna wartość ciśnienia stanu nasycenia powietrza parą wodną.
4. Do kondensacji pary wodnej w przegrodzie lub na jej powierzchni dochodzi wtedy, gdy następuje bezpośrednie zetknięcie powietrza o określonej temperaturze i wilgotności względnej z materiałem o temperaturze, zwanej temperaturą punktu rosy.

Dyfuzja pary wodnej

Na skutek różnic klimatycznych pomiędzy środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym, dochodzi w zewnętrznych przegrodach budynku do dyfuzji pary wodnej. Dyfuzja jest to przemieszczanie się cząstek pary wodnej w porach materiałów tworzących przegrodę na skutek różnicy ciśnień cząstkowych pary po obydwu stronach tej przegrody. Para wodna przemieszcza się ze środowiska o wyższym ciśnieniu do środowiska o ciśnieniu niższym, → **3.3.1/6**.

Kondensacja pary wodnej

Do kondensacji pary wodnej może dochodzić:

- na wewnętrznej powierzchni ścian zewnętrznych budynku oraz
- wewnątrz przegrody.

Kondensacja na wewnętrznej powierzchni przegrody

Do kondensacji powierzchniowej pary wodnej na przegrodzie dochodzi wówczas, gdy powietrze stykające się z chłodną powierzchnią jest schładzane poniżej temperatury punktu rosy. Punkt rosy to temperatura, do której należałoby schłodzić wilgotne powietrze, aby rozpoczęła się kondensacja zawartej w nim pary, czyli wilgotność względna była równa 100%. Temperatura punktu rosy T_{rs} , zależy od

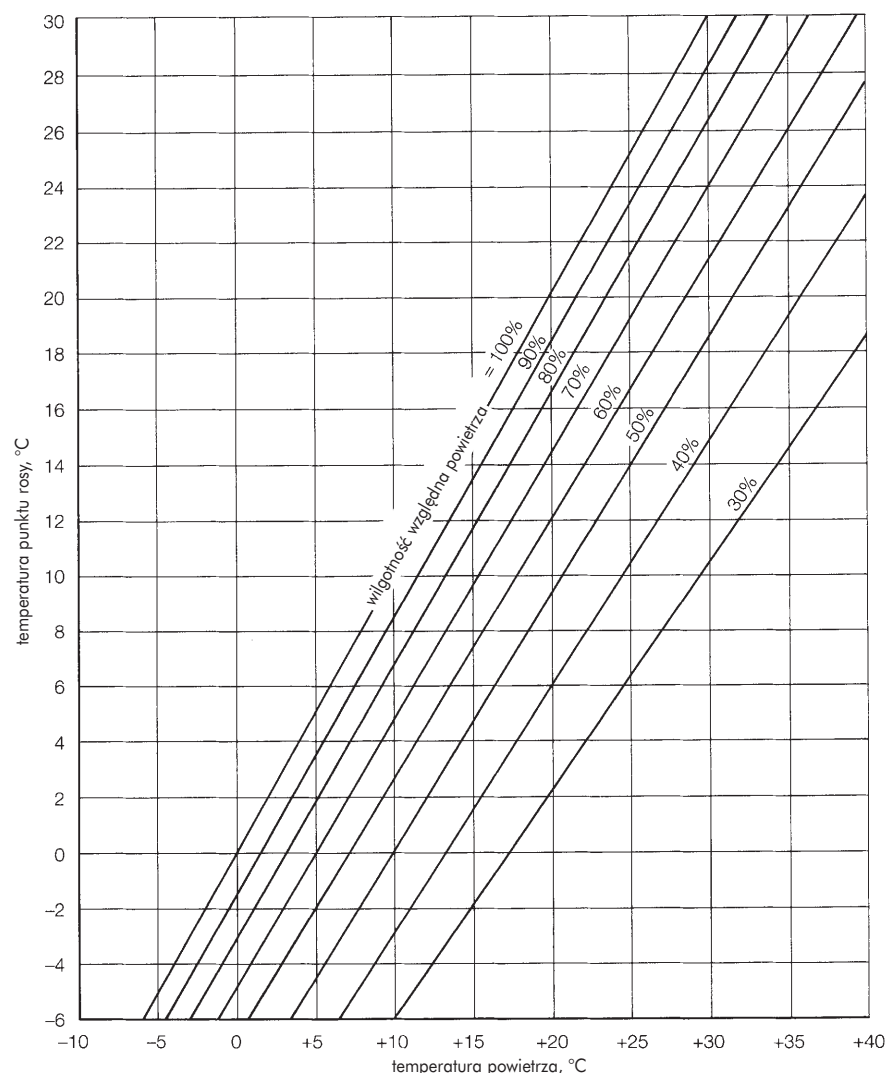
temperatury początkowej i wilgotności względnej powietrza → **3.3.1/7**.

Sprawdzenie możliwości wystąpienia kondensacji powierzchniowej polega na porównaniu temperatury powierzchni przegrody i temperatury punktu rosy dla powietrza w pomieszczeniu.

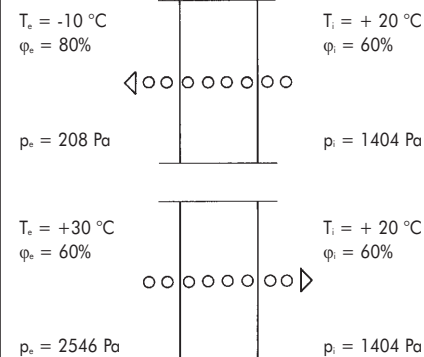
Kondensacja wewnątrz przegrody

Para wodna wykrapla się w takim miejscu przegrody, w którym wilgotność względna powietrza w porach materiału osiąga stan nasycenia, $\varphi = 100\%$. Ponieważ temperatura i ciśnienie pary wodnej ulega zmianie na grubości przegrody, to sprawdzenie czy nie dochodzi do kondensacji w głębi w przegrodzie wymaga porównania rozkładów ciśnień rzeczywistego i stanu nasycenia w każdym punkcie przegrody. Metoda ta jest oparta na prawie Fokina-Glasera.

3.3.1/7



3.3.1/6



Wielkości fizyczne

Współczynnik przepuszczania pary wodnej

Zróznicowane wartości ciśnienia pary wodnej po obydwu stronach przegrody sprawiają, że dochodzi do przepływu pary wodnej przez przegrodę. Zjawisko to nazywane jest zwykle dyfuzją pary wodnej, ale w rzeczywistości oprócz dyfuzji mogą tu również występować równolegle inne sposoby transportu wilgoci. Przebieg tego zjawiska zależy od tzw. współczynników przepuszczania pary wodnej materiałów tworzących przegrodę.

Współczynnik przepuszczania pary wodnej

$$\delta, \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}}$$

Współczynnik przepuszczania pary wodnej w materiale odpowiada ilości pary wodnej, która dyfunduje przez warstwę materiału o grubości 1m przy następujących warunkach:

$$A = 1 \text{ m}^2, \Delta p = 1 \text{ Pa}, t = 1 \text{ s}$$

Współczynnik oporu dyfuzyjnego

Współczynnik przepuszczania pary wodnej można definiować również w odniesieniu do paroprzepuszczalności powietrza δ_0 :

$$\delta = \frac{\delta_0}{\mu} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{\mu}, \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}}$$

Liczba μ , nazywana współczynnikiem oporu dyfuzyjnego, określa ile razy opór stawiany przez dany materiał przepływowi pary wodnej jest większy od oporu powietrza. Wielkość ta jest wygodna w użyciu i z tego względu chętnie stosowana w wielu krajach.

Współczynnik oporu dyfuzyjnego

$$\mu, \text{ bezwymiarowy}$$

3.3.2/1	
materiał	μ
powietrze	1
beton (żelbet)	20
szkło	∞
mur ceglany	7
drewno	20-100
styropian	20-60
papa bitum.	od 6 000
Folia PE	22 000

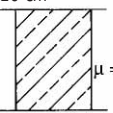
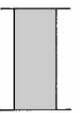
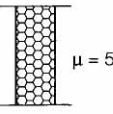
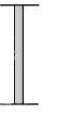
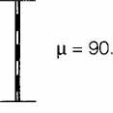

Równoważna pod względem dyfuzyjnym grubość warstwy powietrza

Do opisu dyfuzyjnych właściwości warstwy materiału względem powietrza stosowany jest iloczyn liczby μ i grubości tej warstwy d .

Grubość równoważnej warstwy powietrza

$$s_d = \mu \cdot d, \text{ m}$$

Tak przedstawiony opór dyfuzyjny warstwy materiału odpowiada grubości warstwy powietrza, która stawiałaby taki sam opór jak rozpatrywana warstwa materiału, $\rightarrow \square$ 3.3.2/2.

3.3.2/2	
warstwa materiału	grubość równoważnej warstwy powietrza
beton $d = 20 \text{ cm}$  $\mu = 110$	$s_d = 22 \text{ m}$ 
styropian $d = 10 \text{ cm}$  $\mu = 50$	$s_d = 5 \text{ m}$ 
folia PE $d = 1 \text{ mm}$  $\mu = 90.000$	$s_d = 90 \text{ m}$ 

Przepuszczalność pary wodnej

Przepuszczalność wilgoci odpowiada liczbowo ilości pary wodnej jaka dyfunduje przez warstwę materiału o grubości 1m. Aby obliczyć ilość pary wodnej, jaka dyfunduje przez warstwę materiału o grubości d , należy podzielić wartość współczynnika δ tego materiału przez grubość warstwy.

Przepuszczalność pary wodnej

$$W_p = \frac{\delta}{d}$$

$$W_p = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{\mu \cdot d} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_d}, \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}}$$

Przepuszczalność wilgoci to ilość pary wodnej, która dyfunduje przez warstwę materiału o grubości d przy następujących warunkach:

$$A = 1 \text{ m}^2, \Delta p = 1 \text{ Pa}, t = 1 \text{ s}$$

Oddychanie - pojęcie niezdefiniowane w normach i literaturze, potocznie wiąże się ono z wysoką paroprzepuszczalnością materiałów i możliwością kondensacji pary wodnej po stronie chłodnej na szczelnych warstwach elewacyjnych, co przy zastosowaniu izolacji ze styropianu zwykle nie występuje.

Opór dyfuzyjny

Opór dyfuzyjny jest informacją o oporze stawianym przez element budowlany dyfuzji pary wodnej.

Opór dyfuzyjny jest odwrotnością przepuszczalności pary wodnej.

Opór dyfuzyjny jednowarstwowego elementu:

$$Z_p = \frac{1}{W_p} = \frac{d}{\delta}$$

$$Z_p = \frac{s_d}{2 \cdot 10^{-10}}, \frac{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{kg}}$$

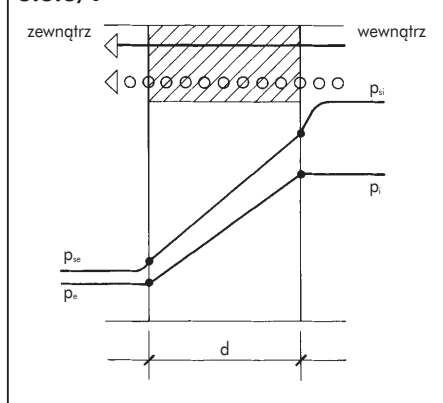
Opór dyfuzyjny wielowarstwowego elementu:

$$Z_p = \sum_n \frac{s_{dn}}{2 \cdot 10^{-10}}, \frac{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{kg}}$$

Rozkład ciśnienia pary wodnej w przegrodzie

W następstwie zróżnicowanych warunków ciepłno-wilgotnościowych po obydwu stronach zewnętrznej przegrody budowlanej, dochodzi do przepływu przez nią strumienia ciepła i wilgoci. W efekcie powstaje więc, charakterystyczny dla warunków i właściwości przegrody, rozkład temperatury i związanego z nią ciśnienia stanu nasycenia oraz rzeczywistego ciśnienia pary wodnej w przegrodzie → □ 3.3.3/1.

3.3.3/1



Znajomość rozkładu ciśnień pary wodnej w przegrodzie pozwala sprawdzić czy nie dochodzi do kondensacji pary wodnej (przy $\varphi = 100\%$ $p = p_s$), a także określić jaką ilość pary wodnej dyfunduje przez przegrodę.

Rozkład **ciśnień stanu nasycenia** powietrza parą wodną jest bezpośrednio zależny od rozkładu temperatury. Dla temperatur w przegrodzie, obliczonych wg sposobu podanego w punkcie 3.2.4, można odczytać wartości ciśnienia stanu nasycenia z tabeli → □ 3.3.1/5.

Rozkład ciśnień rzeczywistych pary wodnej w przegrodzie jest zależny od:

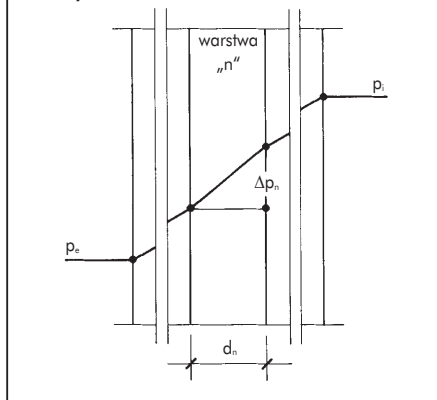
1. Ciśnień pary wodnej po obydwu stronach przegrody
2. Współczynnika oporu dyfuzyjnego i grubości warstw materiałowych przegrody.

Wpływ oporów dyfuzyjnych przypowierzchniowych warstw powietrza może być pominięty.

W warunkach stacjonarnych przez każdą warstwę przegrody przepływa taka sama ilość pary wodnej. Na tej podstawie można wyznaczyć spadki ciśnień pary na poszczególnych warstwach, a dalej także całkowity rozkład ciśnień w przegrodzie. Przebieg obliczeń został przedstawiony na → □ 3.3.3/2, → □ 3.3.3/3 i → □ 3.3.3/4.

Obliczanie rozkładu ciśnień cząstkowych pary wodnej w przegrodzie

3.3.3/2



3.3.3/3

grubość warstwy „n”	d_n , m
współczynnik oporu dyfuzyjnego	μ_n , bezwymiarowy
współczynnik przepuszczania pary wodnej	$\delta_n = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{\mu_n}$, $\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}}$
opór dyfuzyjny warstwy	$Z_{pn} = \frac{1}{W_{pn}} = \frac{d_n}{\delta_n}$
całkowity opór dyfuzyjny przegrody	$Z_p = \frac{1}{W_p} = \sum \frac{1}{W_{pn}} = \sum \frac{d_n}{\delta_n}$
opory przejmowania pary wodnej	zaniedbywalne
przepuszczalność pary wodnej	W_p
różnice ciśnień cząstkowych	
powierzchnia wewnętrzna	zaniedbywalne
warstwa „n”	$\Delta p_n = W_p \cdot \frac{1}{W_{pn}} (p_i - p_e)$
powierzchnia zewnętrzna	zaniedbywalne

3.3.3/4

grubość	d_n , m
współczynnik oporu dyfuzyjnego	μ_n , bezwymiarowy
grubości równoważnej warstwy powietrznej	$s_{dn} = \mu_n \cdot d_n$, m
różnice ciśnień cząstkowych	$\Delta p_n = \frac{s_{dn}}{\sum s_{dn}} (p_i - p_e)$

Tabelaryczne obliczanie rozkładu ciśnień pary wodnej w przegrodzie

Warstwa	d	T	p _s	μ	s _d	Δp	p	φ
	m	°C	Pa		m	Pa	Pa	%
Powietrze wewnętrzne	-			-	-	-		
Powierzchnia wewn.	-			-	-	-		
Powietrze zewnętrzne	-			-	-	-		

s_{dT} =

3.3.4

Ochrona przed kondensacją pary wodnej Wykraplanie pary wodnej

Układ warstw w przegrodzie

W przegrodzie zewnętrznej, rozdzielającej środowiska o zróżnicowanych warunkach klimatycznych, zachodzi dyfuzja pary wodnej przez warstwy przegrody. Podczas transportu wilgoci przez przegrodę zachodzi niebezpieczeństwo kondensacji pary wodnej na powierzchni lub wewnątrz przegrody. Wykroplenie pary wodnej na powierzchni wewnętrznej przegrody zależy jedynie od izolacyjności termicznej tej przegrody. Kondensacja we wnętrzu przegrody jest natomiast związana z właściwościami i układem warstw tej przegrody. Aby sprawdzić, czy dojdzie do kondensacji pary w przegrodzie, należy porównać wartości ciśnienia rzeczywistego i ciśnienia stanu nasycenia w poszczególnych warstwach tej przegrody. Kondensacja zachodzi wówczas, gdy ciśnienie rzeczywiste pary wodnej lokalnie równa się lub nawet przekracza wartości ciśnienia stanu nasycenia, tj. wykresy ciśnień stykają się lub przecinają (w rzeczywistości wartość ciśnienia rzeczywistego pary może jedynie być równa ciśnieniu stanu nasycenia). Układ wykresów pozwala wskazać obszar kondensacji w przegrodzie oraz określić ilość kondensatu.

Dla wskazania prawidłowego układu warstw w przegrodzie można analizę ilościową, opisywaną dokładniej w punkcie 3.3.3, zastąpić przybliżoną analizą jakościową przebiegu wykresów i rozkładów temperatury oraz ciśnień w przegrodzie:

- nachylenie krzywej temperatury (a więc także wykresu ciśnień stanu nasycenia) jest zależne od przewodności cieplnej materiału
- nachylenie wykresu ciśnień rzeczywistych w przegrodzie jest zależne od współczynnika oporu dyfuzyjnego.

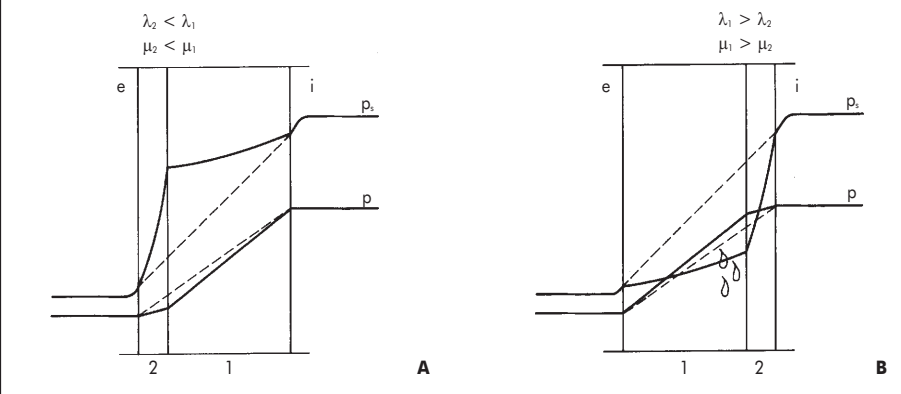
Przykłady jakościowej oceny układu warstw w przegrodzie pokazano na rysunkach → □ 3.3.4/1 i □ 3.3.4/2.

Przeanalizowano warianty przegród pod kątem:

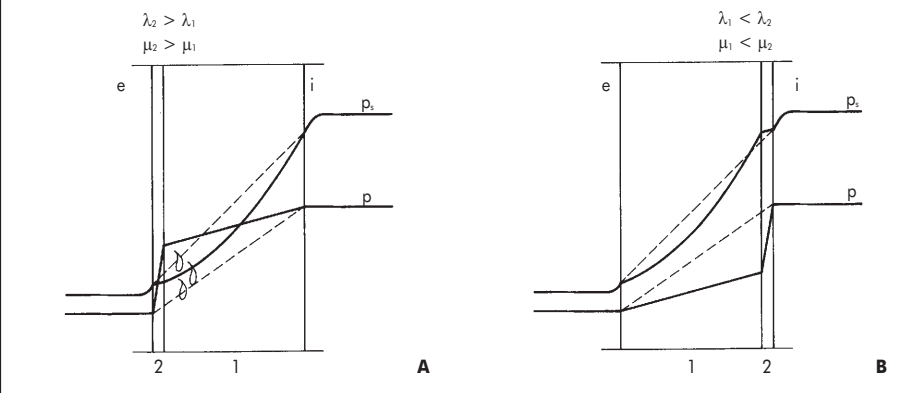
1. Położenia warstwy izolacji termicznej → □ 3.3.4/1. Warianty A i B mają jednakowe współczynniki przenikania ciepła.
2. Położenia paroizolacji → □ 3.3.4/2. Warianty A i B mają jednakowe współczynniki przenikania ciepła.

Kondensacja wewnątrz w przegrodzie zachodzi, gdy izolacja termiczna jest umieszczona od strony wewnętrznej → □ 3.3.4/1 lub warstwa paroizolacji po stronie zewnętrznej → □ 3.3.4/2.

3.3.4/1



3.3.4/2



Wnioski ogólne

- Zróżnicowane temperatury i wilgotności powietrza po obydwu stronach przegrody zewnętrznej wywołują przepływ strumienia cieplnego i dyfuzję pary wodnej przez przegrodę.
- Współczynnik przenikania ciepła przegrody nie zależy od kolejności warstw.
- Przedstawiona metoda daje jedynie pojęcie ogólne na temat możliwości kondensacji pary wodnej w przegrodzie. Uwzględnia ona tylko dyfuzję pary wodnej. Ogólniejsze zjawisko przenoszenia wilgoci związane jest z zagadnieniami bardziej złożonymi i uwzględnia dodatkowo:
 - dyfuzję roztworu
 - transport kapilarny
 - wilgoć związaną siłami sorpcji
- Kolejność ułożenia warstw w przegrodzie ma wpływ na przebieg dyfuzji pary wodnej i rozkład ciśnień pary wodnej.
- Materiał izolacji termicznej (niska wartość λ) powinien być umieszczony po zimnej stronie przegrody.
- Natomiast warstwa paroizolacyjna powinna znajdować się po ciepłej stronie przegrody.
- W przypadku izolacji termicznej umieszczonej od strony wnętrza, tj. po ciepłej stronie przegrody, kondensacji wewnątrz w przegrodzie można uniknąć stosując warstwę paroizolacji po stronie zewnętrznej.

Podstawy obliczeń

Ochrona przed kondensacją węglową w przegrodzie polega na sprawdzeniu jak przebiega w czasie całego roku dyfuzja pary wodnej przez tę przegrodę.

Wielkością wyjściową do obliczania ilości pary wodnej dyfundującej przez przegrodę jest równoważna grubość warstwy powietrznej

$$s_{dn} = \mu_n \cdot d_n, m$$

Po uwzględnieniu różnicy ciśnień cząstkowych pary wodnej Δp , która powstaje na warstwie materiału lub strefie przegrody otrzymuje się:

gęstość strumienia pary wodnej

$$g = \delta_0 \frac{\Delta p}{s_{dn}}, \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

gdzie

$$\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10}, \frac{kg}{m \cdot s \cdot Pa}$$

lub

$$g = W_p \cdot \Delta p, \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

Obliczanie ilości dyfundującej pary wodnej jest konieczne wtedy, gdy należy się spodziewać występowania w przegrodzie kondensacji. W tej sytuacji określa się strefę kondensacji w przegrodzie, oblicza się ilość wody wykraplanej w okresie kondensacji, oraz ilość wilgoci odsychającej w pozostałej części roku.

Do obliczania kondensacji i wysychania konieczne są wykresy rozkładów ciśnień pary wodnej, z których odczytuje się informacje o różnicach ciśnień w poszczególnych miejscach przegrody.

Okres kondensacji

Kondensacja w przegrodzie zachodzi wtedy, gdy ciśnienie rzeczywiste jest równe ciśnieniu stanu nasycenia, tj. obydwie wykresy stykają się lub przecinają. Ponieważ jednak rzeczywiste ciśnienie pary wodnej w powietrzu nie może być wyższe niż ciśnienie stanu nasycenia, to w strefie kondensacji wykres ciśnienia pary odpowiada wykresowi stanu nasycenia. Sposób uzyskania faktycznego (skorygowanego) przebiegu wykresu ciśnienia rzeczywistego w przegrodzie, wg graficznej metodyki Glaser'a → □ 3.3.5/1, przedstawiono poniżej:

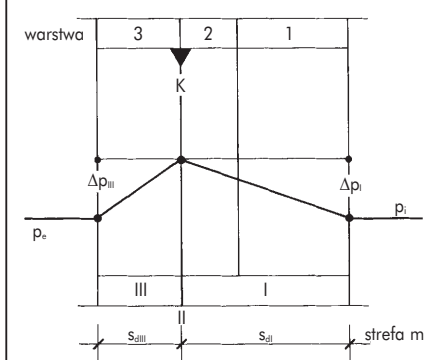
1. Obliczenie rozkładu ciśnień p i p_s w przegrodzie na podstawie danych klimatycznych dla okresu kondensacji.
2. Rysunek przekroju warstw materiałowych przegrody w skali grubości równoważnych pod względem oporu dyfuzyjnego warstw powietrza. Nanoszenie na przygotowany przekrój wykresów ciśnień, wykres p_s jest linią łamaną, a wykres p linią prostą pomiędzy punktami p_i i p_e .
3. Rzeczywisty przebieg ciśnienia pary wodnej otrzymuje się kreśląc styczne do wykresu p_s z punktów p_i i p_e . Przegroda jest w ten sposób podzielona na dwie strefy dyfuzyjne, dla których można odczytać oddzielne wartości s_{dI} i Δp .
4. Punkt styczności obydwu wykresów wskazuje **połazczynę lub strefę kondensacji** w przegrodzie.
5. do 7. Obliczenia gęstości strumienia pary wodnej g dla poszczególnych stref oddzielnie oraz **akumulacji kondensatu**.

Okres wysychania przegrody

W celu obliczenia ilości wody wysychającej z przegrody należy wg metodyki Glaser'a wykonać następujące kroki:

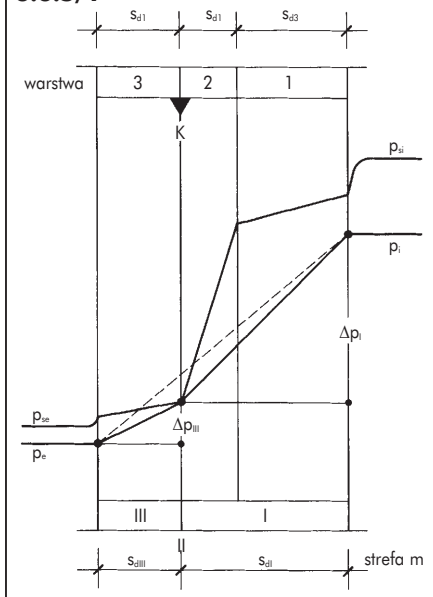
8. Obliczenie rozkładu ciśnień p i p_s w przegrodzie na podstawie danych klimatycznych dla okresu wysychania.
9. Naniesienie na przekrój przegrody, narysowany w skali równoważnych grubości warstw powietrznych, wykresów ciśnień stanu nasycenia i rzeczywistego. Odczytanie różnic ciśnień Δp_m .
10. do 12. Obliczenia gęstości strumienia parowania g dla poszczególnych stref oddzielnie.

3.3.5/2



Uwaga: Na wykresie → □ 3.3.5/2 i dalszych przyjęto symbolicznie równość ciśnień stanu nasycenia i rzeczywistych po obydwu stronach przegrody. W rzeczywistości te relacje będą różne w poszczególnych miesiącach okresu wysychania przegrody. W strefie kondensacji przyjmuje się równość ciśnienia stanu nasycenia i rzeczywistego.

3.3.5/1



3.3.5

Ochrona przed kondensacją pary wodnej Obliczanie ilości pary przenikającej przez przegrodę

strona 2

Strefa kondensacji, ilość kondensatu i wody wysychającej z przegrody

Okres kondensacji

1. Obliczenia wartości p_s , Pa i p , Pa
2. Wykresy p_s i p na przekroju przegrody w skali s_d , m.
3. Rzeczywisty przebieg ciśnienia p to styczna do wykresu p_s z punktów p_i i p_e . Powstają strefy I, II i III.
4. Obszar kondensacji: strefa K

$$d_{IIa} = \frac{s_{dIIIa}}{\mu_3}$$

$$d_{IIIi} = \frac{s_{dIIIi}}{\mu_2}$$

$$d_{II} = d_{IIa} + d_{IIIi}, \text{ m}$$

5. Przepuszczalność pary, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}}$

$$W_{pIII} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{dIII}}$$

$$W_{pI} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{dI}}$$

6. Gęstość strumienia pary, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$

$$g_{III} = W_{pIII} \cdot \Delta p_{III}$$

$$g_I = W_{pI} \cdot \Delta p_I$$

7. Ilość kondensatu $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

$$G_s = (g_I - g_{III}) \cdot t_k$$

Okres wysychania

8. Obliczenie wartości p , Pa
9. Wykres ciśnień pary wodnej

10. Przepuszczalność pary, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}}$

$$W_{pIII} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{dIII}}$$

$$W_{pI} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{dI}}$$

11. Gęstość strumienia pary, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$

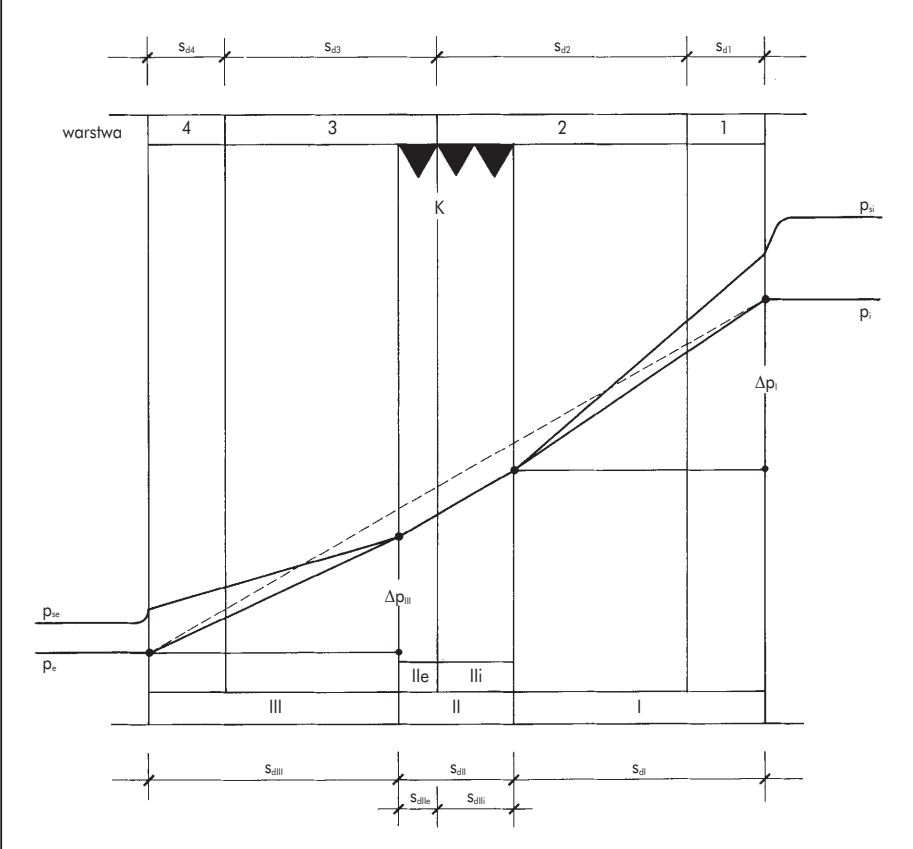
$$g_{III} = W_{pIII} \cdot \Delta p_{III}$$

$$g_I = W_{pI} \cdot \Delta p_I$$

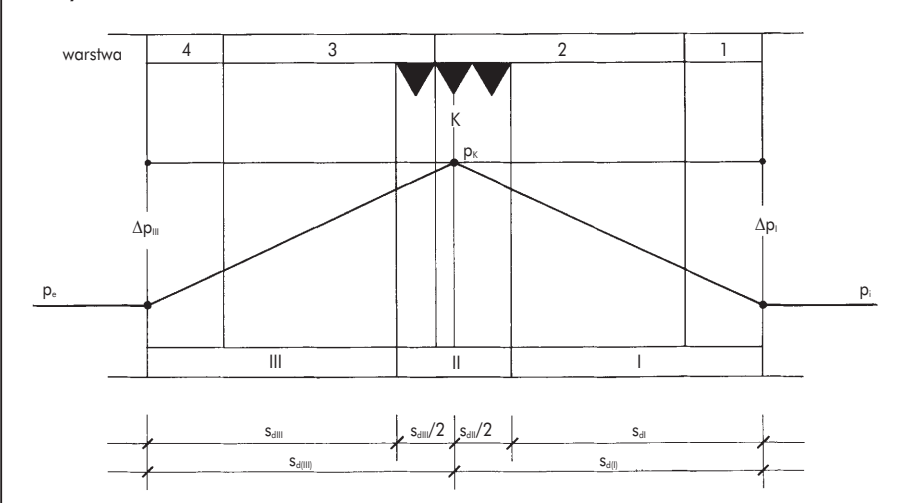
12. Ilość wody wysychającej, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

$$G_o = (g_{II} + g_{III}) \cdot t_o$$

3.3.5/3



3.3.5/4



Płaszczyzna kondensacji, ilość kondensatu i wody wysychającej z przegrody

Okres kondensacji

1. Obliczenia wartości p_s , Pa i p , Pa
2. Wykresy p_s i p na przekroju przegrody w skali $s_{d,i}$, m
3. Rzeczywisty przebieg ciśnienia p to styczna do wykresu p_s z punktów p_i i p_e . Powstają strefy I, II i III.

4. Obszar kondensacji: płaszczyzna K

5. Przepuszczalność pary, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}}$

$$W_{pIII} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{dIII}}$$

$$W_{pI} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{dI}}$$

6. Gęstość strumienia pary, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$

$$g_{III} = W_{pIII} \cdot \Delta p_{III}$$

$$g_I = W_{pI} \cdot \Delta p_I$$

7. Ilość kondensatu, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

$$G_s = (g_I - g_{III}) \cdot t_k$$

Okres wysychania

8. Obliczenie wartości p , Pa

9. Wykres ciśnień pary wodnej

10. Przepuszczalność pary, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}}$

$$W_{pIII} = \frac{0.67 \cdot 10^{-6}}{s_{dIII}}$$

$$W_{pI} = \frac{0.67 \cdot 10^{-6}}{s_{dI}}$$

11. Gęstość strumienia pary, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$

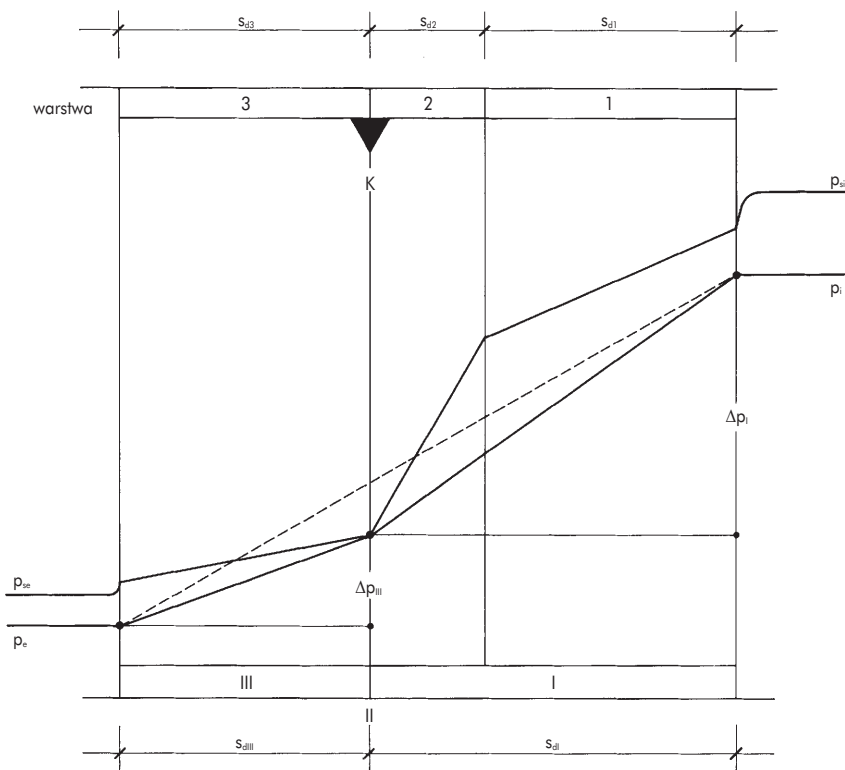
$$g_{III} = W_{pIII} \cdot \Delta p_{III}$$

$$g_I = W_{pI} \cdot \Delta p_I$$

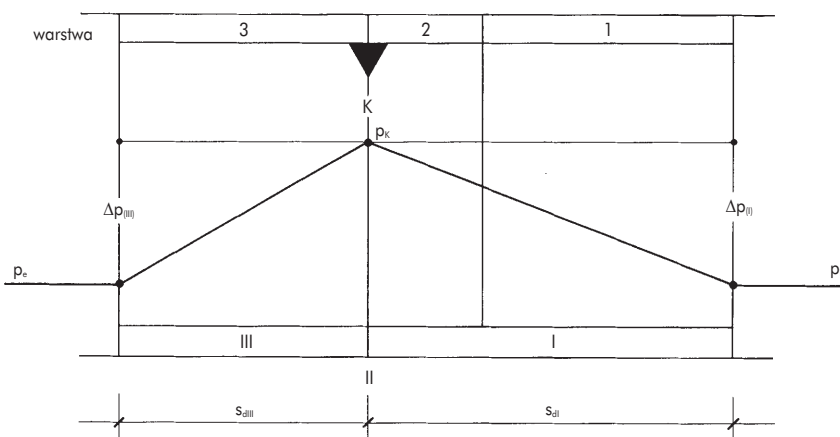
12. Ilość wody wysychającej, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

$$G_o = (g_I + g_{III}) \cdot t_o$$

3.3.5/5



3.3.5/6



3.3.5

Ochrona przed kondensacją pary wodnej Obliczanie ilości pary przenikającej przez przegrodę

strona 4

Dwie płaszczyzny kondensacji, ilość kondensatu i wody wysychającej z przegrody

Okres kondensacji

1. Obliczenia wartości p_s , Pa i p , Pa
2. Wykresy p_{si} i p na przekroju przegrody w skali s_d , m
3. Rzeczywisty przebieg ciśnienia p to styczna do wykresu p_s z punktów p_i i p_e . Powstają strefy I, II i III.
4. Obszar kondensacji: płaszczyzna K1 i K2

5. Przepuszczalność pary, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}}$

$$W_{pIII} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{dIII}}$$

$$W_{pII} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{dII}}$$

$$W_{pI} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{dI}}$$

6. Gęstość strumienia pary, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$

$$g_{III} = W_{pIII} \cdot \Delta p_{III}$$

$$g_{II} = W_{pII} \cdot \Delta p_{II}$$

$$g_I = W_{pI} \cdot \Delta p_I$$

7. Ilość kondensatu, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

$$G_{s1} = (g_I - g_{II}) \cdot t_k$$

$$G_{s2} = (g_{II} - g_{III}) \cdot t_k$$

Okres wysychania

8. Obliczenie wartości p , Pa
9. Wykres ciśnień pary wodnej

10. Przepuszczalność pary, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}}$

$$W_{pIII} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{dIII}}$$

$$W_{pI} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{dI}}$$

11. Gęstość strumienia pary, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$

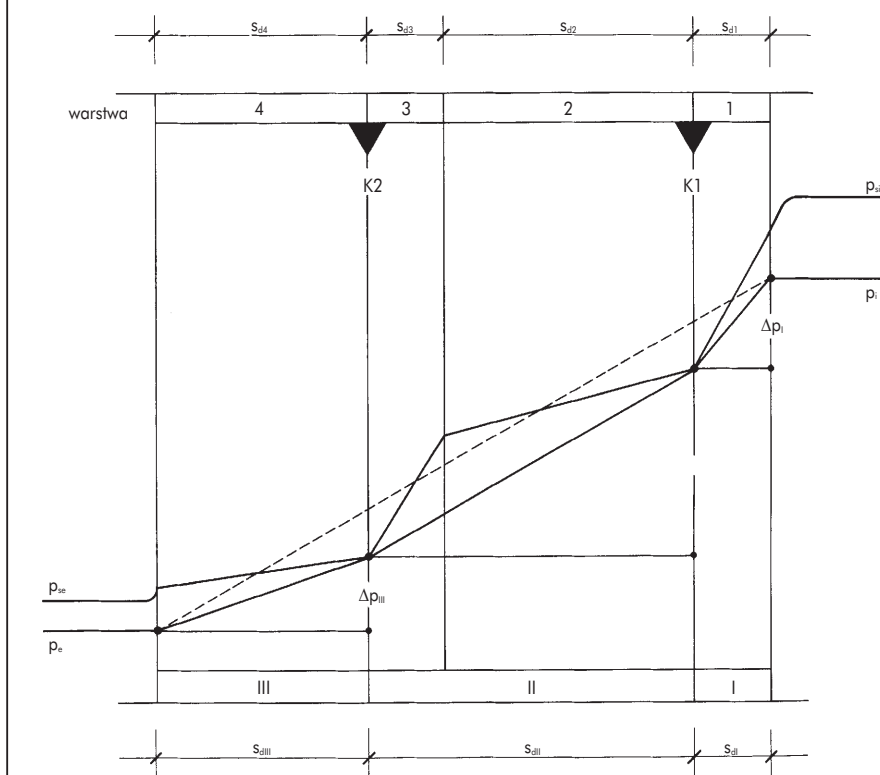
$$g_{III} = W_{pIII} \cdot \Delta p_{III}$$

$$g_I = W_{pI} \cdot \Delta p_I$$

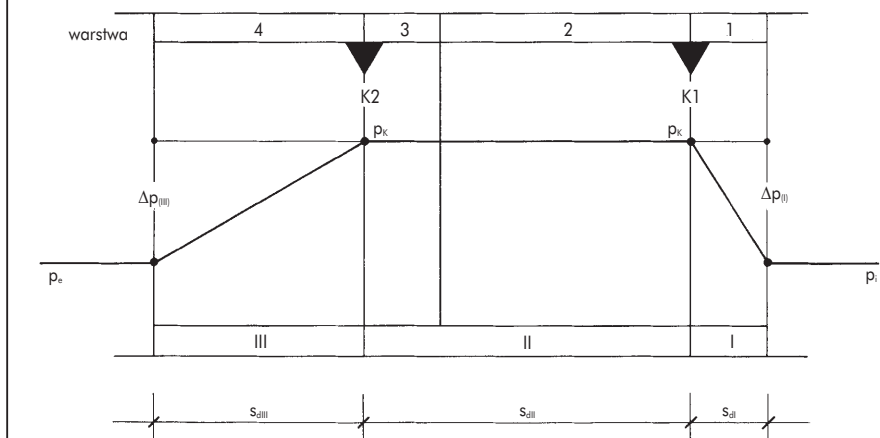
12. Ilość wody wysychającej, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

$$G_o = (g_I + g_{III}) \cdot t_o$$

3.3.5/7



3.3.5/8



3.3.6/1	Obliczanie f_{Rsi} na podstawie klas wilgotności zewnętrznej										
Miesiąc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	T_e °C	p_{se} p_a	ϕ_e %	p_e p_a	Δp p_a	$x_{1,1}$ p_a	p_i p_a	p_{sat} p_a	$T_{si,min}$ °C	T_i °C	$f_{Rsi,min}$
I	-3,0	475	85	404	810	891	1295	1618	14,2	20	0,748
II	-1,6	535	84	449	810	891	1340	1676	14,7	20	0,756
III	2,3	721	78	562	720	792	1354	1693	14,9	20	0,712
IV	8,0	1072	72	772	498	548	1320	1650	14,5	20	0,541
V	13,0	1497	68	1018	300	330	1348	1685	14,8	20	0,260
VI	16,7	1901	69	1312	128	141	1452	1816	16,0	20	-0,216
VII	18,0	2063	73	1506	83	91	1597	1997	17,5	20	-0,259
VIII	17,4	1988	75	1491	105	116	1607	2008	17,6	20	0,067
IX	13,4	1538	79	1215	280	308	1523	1904	16,7	20	0,505
X	8,5	1110	83	921	473	520	1442	1802	15,9	20	0,641
XI	3,7	798	88	702	675	743	1445	1806	15,9	20	0,749
XII	-0,5	587	88	517	810	891	1408	1759	15,5	20	0,780
									$f_{Rsi,max}$	=	0,780

Ochrona przed kondensacją włókną

- a) przegrody standardowe
w zwykłych warunkach, dla uniknięcia kondensacji wewnątrz przegrody, wystarczy przestrzeganie odpowiedniej kolejności ułożenia warstw materiałowych, tj. wg malejących oporów dyfuzyjnych od wnętrza na zewnątrz.
- b) przegrody specjalne
do kondensacji włókną nie dochodzi wtedy, gdy w każdym miejscu przegrody ciśnienie rzeczywiste w przegrodzie jest mniejsze od ciśnienia stanu nasycenia.

Jeśli ten warunek nie jest spełniony, to kondensacja włókną występuje i konieczne jest spełnienie następujących wymagań:

1. Materiały w których dochodzi do wykroplenia wilgoci nie mogą ulec uszkodzeniu pod wpływem zawilgocenia.
2. Ilość wody jaka pojawia się w trakcie całego okresu kondensacji nie może być większa niż:
1.0 kg/m² dla dachów i ścian
0.5 kg/m² na powierzchni warstw niepodciągających kapilarnie wody.
3. Wzrost wilgotności masowej materiałów drewnopochodnych nie może przekroczyć
5 % dla drewna
3 % dla materiałów z drewnem przetworzonym.
4. Woda jaka wykrapla się w przegrodzie w całym okresie kondensacji musi mieć możliwość odeschnięcia w pozostałej części roku.

Wzory obliczeniowe

Opór cieplny przegrody wielowarstwowej:

$$R_{\lambda} = \sum \frac{d_n}{\lambda_n}, \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Współczynnik przenikania ciepła

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_{\lambda} + R_{sc}}, \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Rozkład ciśnienia stanu nasycenia i rzeczywistego pary wodnej wg rozdziału 3.3.3.

Strefa kondensacji, ilość kondensatu, wysychanie wg rozdziału 3.3.5.

Przykładowe dane do obliczeń

3.3.6/2			
gęstość, współczynnik przewodzenia ciepła, współczynnik oporu dyfuzyjnego			
materiał	ρ kg/m ³	λ W/(m K)	μ
wapień	1200	0.56	5-10
wapień	1400	0.70	5-10
płyty gipsowo-kartonowe	900	0.21	8
beton zwykły	2400	2.10	20-30
tynk cementowo-wapienny	1800	0.87	15-35
tynk wapienno-gipsowy	1400	0.70	10
jastrych anhydrytowy	2100	1.2	25
jastrych cementowy	2000	1.40	15-35
stal	7850	60	∞
szkło płaskie	2500	0.80	∞
drewno iglaste	600	0.13	40
sklejka	700	0.13	50-100
papa dachowa	1200	0.17	50000
styropian	30	0.04	50

3.3.6/3 Opory cieplne warstw powietrznych

rozdział 3.2.3

3.3.6/4

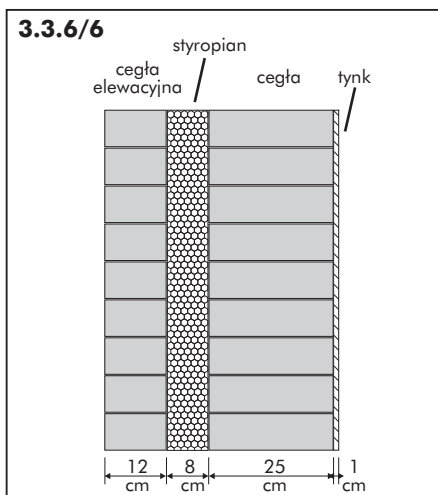
Opory przejmowania ciepła, wg PN-EN ISO 13788		Opór m ² K/W
Opór przejmowania na powierzchni zewnętrznej, R_{se}		0.04
Opór przejmowania na powierzchni wewnętrznej, R_{si}		0.13
Na oszkleniach i ramach		0.13
Pozostałe powierzchnie wewnętrzne		0.25

3.3.6/5

Przykładowe dane obliczeniowe dla budynku mieszkalnego w Krakowie, wyliczone wg PN-EN ISO 13788							$T_i = 20^\circ\text{C}$
Miesiąc	T_e °C	ϕ_e %	Δp Pa	$x \cdot 1,1$ Pa	p_{se} Pa	p_i Pa	ϕ_i %
I	-3,0	85	810	891	475	1214	52
II	-1,6	84	810	891	535	1259	54
III	2,3	78	720	792	721	1282	55
IV	8,0	72	498	548	1072	1270	54
V	13,0	68	300	330	1497	1318	56
VI	16,7	69	128	141	1901	1440	62
VII	18,0	73	83	91	2063	1589	68
VIII	17,4	75	105	116	1988	1596	68
IX	13,4	79	280	308	1538	1495	64
X	8,5	83	473	520	1110	1394	60
XI	3,7	88	675	743	798	1377	59
XII	-0,5	88	810	891	587	1327	57

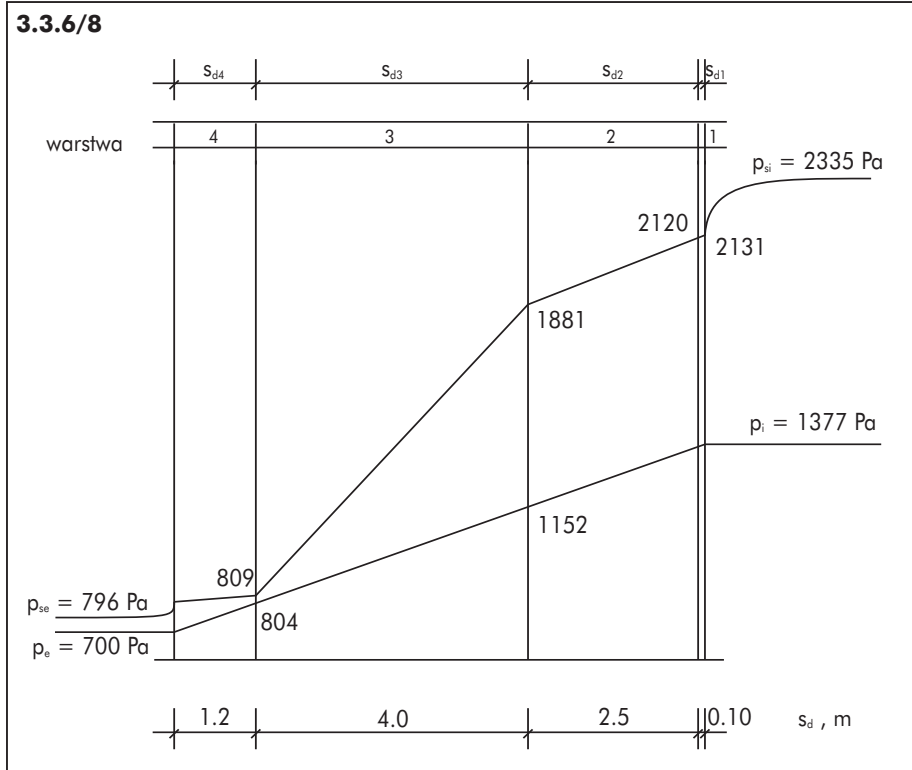
Izolacja termiczna ze styropianu

Przykład obliczeniowy rozkładu temperatury i ciśnienia pary wodnej w ścianie warstwowej z izolacją termiczną ze styropianu. Układ warstw jak na rysunku → **3.3.6/6**, warunki obliczeniowe w otoczeniu przegrody jak w tabeli → **3.3.6/5**.



Warstwa:

nr 1: tynk, nr 2: cegła 25 cm, nr 3: styropian 8cm, nr 4: cegła elewacyjna 12cm
 $T_i = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\phi_i = 59\%$, $T_e = +3.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\phi_e = 88\%$



W każdym punkcie tej przegrody, w warunkach obliczeniowych, ciśnienie stanu nasycenia jest wyższe od ciśnienia rzeczy-

wistego pary wodnej, tzn. że w przegrodzie nie dochodzi nigdzie do kondensacji pary wodnej. Przegroda jest więc poprawnie zaprojektowana pod względem wilgotnościowym.

3.3.6/7 Rozkład temperatur i ciśnień dla listopada											
Warstwa	d m	λ W/(m·K)	R (m ² K)/W	ΔT K	T °C	ps Pa	μ	s_d m	Δp Pa	p Pa	ϕ %
Powietrze wewnętrzne	-	-	-	-	20	2335	-	-	-	1377	59
Powierzchnia wewn.	-	-	0,25	1,4633	18,537	2131	-	-	-	1377	65
Tynk wewnętrzny	0,010	0,700	0,0143	0,0836	18,453	2120	10	0,10	8,6817	1369	65
Mur z cegły pełnej	0,125	0,770	0,1623	0,9502	17,503	1997	10	1,25	108,52	1260	63
Mur z cegły pełnej	0,125	0,770	0,1623	0,9502	16,553	1881	10	1,25	108,52	1152	61
Styropian	0,010	0,040	0,25	1,4633	15,089	1713	50	0,50	43,409	1108	65
Styropian	0,010	0,040	0,25	1,4633	13,626	1558	50	0,50	43,409	1065	68
Styropian	0,010	0,040	0,25	1,4633	12,163	1416	50	0,50	43,409	1021	72
Styropian	0,010	0,040	0,25	1,4633	10,7	1285	50	0,50	43,409	978	76
Styropian	0,010	0,040	0,25	1,4633	9,2362	1165	50	0,50	43,409	935	80
Styropian	0,010	0,040	0,25	1,4633	7,7729	1055	50	0,50	43,409	891	84
Styropian	0,010	0,040	0,25	1,4633	6,3096	954	50	0,50	43,409	848	89
Styropian	0,010	0,040	0,25	1,4633	4,8463	862	50	0,50	43,409	804	93
Mur z cegły pełnej	0,120	0,770	0,1558	0,9122	3,9341	809	10	1,20	104,18	700	87
Powietrze zewnętrzne	-	-	0,04	0,2341	3,7	796	-	-	-	700	88
$R_T =$				2,7848	$U =$		0,3591		$s_{dT} =$		
									7,8		

Obciążenie hałasem

Powłoka zewnętrzna budynku, jak już wcześniej wielokrotnie wspomniano, ma za zadanie chronić wnętrze przed bezpośrednim oddziaływaniem środowiska. Jednym z dodatkowych zadań tej powłoki jest ochrona mieszkańców budynku przed obciążeniem, które jest już wywołane działalnością człowieka, tj. hałasem. Hałas w najlepszym razie zmniejsza poczucie komfortu wnętrza, ale może także prowadzić do obniżenia sprawności psychofizycznej człowieka czy nawet ewidentnych uszczerbków zdrowia. W krajach wysokoprzemysłowych szacuje się, że nawet co drugi mieszkaniec jest narażony na stałe działanie hałasu. Źródeł hałasu jest zwykle bardzo wiele →□ 3.4.1/1 np.:

- z tego samego mieszkania
- ze stanowisk pracy
- z mieszkań sąsiednich
- z zakładów przemysłowych
- od ruchu ulicznego
- imprez rozrywkowych itp.

Zabiegi związane z ograniczeniem obciążenia hałasem mogą przebiegać w dwu kierunkach:

1. Zmniejszenia natężenia hałasu u jego źródła.
2. Większej skuteczności ochrony akustycznej.

Poprzez ochronę akustyczną należy rozumieć wszystkie działania budowlane, które zmierzają do zmniejszenia obciążenia człowieka szkodliwymi i niebezpiecznymi dla zdrowia wpływami hałasu. Ochrona akustyczna jest szczególnie ważna w mieszkaniach, w których ludzie muszą mieć warunki sprzyjające odpoczynku i wypoczynkowi. Ogromne znaczenie dla właściwego funkcjonowania obiektów ma ochrona akustyczna także w szkołach, szpitalach, hotelach i biurach.

Jeśli źródło dźwięku i jego odbiorca znajdują się w różnych pomieszczeniach, to mamy do czynienia z tłumieniem akustycznym. Dlatego energia akustyczna docierająca z zewnątrz do powłoki budynku jest przekazywana do wnętrza w osłabionej postaci.

Jeśli źródło i odbiorca dźwięku znajdują się w tym samym pomieszczeniu, to osłabienie dźwięku zachodzi na skutek pochłaniania (absorpcji) energii akustycznej. Na powierzchni przegród pomieszczenia fala dźwiękowa jest częściowo absorbowana i odbijana z powrotem w kierunku pomieszczenia.

Poprawa izolacyjności akustycznej budynku istniejącego jest bardzo trudna, stąd też szczególne znaczenie ma właściwe projektowanie w tym zakresie. Dla uzyskania właściwej ochrony akustycznej należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

- położenie budynku
- rozkład wnętrza:
 - ułożenie pomieszczeń z uwagi na hałas zewnętrzny
 - ułożenie pomieszczeń z uwagi na hałas wewnętrzny od urządzeń technicznych
- wybór technologii i materiałów:
 - budynek masywny
 - lekki budynek szkieletowy
- sposób konstrukcji elementów budynku
- wyposażenie techniczne budynku:
 - sposób prowadzenia instalacji wodnych
 - umiejscowienie pomieszczenia technicznego itp.

3.4.1/1



Dźwięk i odczuwanie dźwięku

Dźwięk

Dźwięk to drgania mechaniczne, polegające na ruchu cząstek środowiska sprężystego względem położenia równowagi. Zależnie od źródła dźwięku oraz sposobu rozchodzenia się fali rozróżnia się, w akustyce budowlanej, dźwięki powietrzne, materiałowe i uderzeniowe.

- Dźwięk powietrzny to dźwięk, który rozchodzi się w postaci fali powietrznej.
- Dźwięk uderzeniowy powstaje np.: podczas chodzenia po stopniu między kondygnacjami; jest to dźwięk materiałowy, który w sąsiadującym pomieszczeniu jest wysyłany częściowo w postaci fali powietrznej.

Akustyczna fala powietrzna wywołuje w ludzkim uchu zmiany gęstości powietrza → **3.4.1/2**, które następnie wywołują zmiany ciśnienia atmosferycznego.

Zróżnicowany rozkład drgań w czasie powoduje powstanie różnych fal dźwiękowych → **3.4.1/3**:

- dźwięk prosty to drganie o kształcie sinusoidalnym
- dźwięk złożony powstaje przez nałożenie na siebie wielu drgań sinusoidalnych (harmonicznych)
- szum powstaje poprzez złożenie wielu drgań nieharmonicznych
- hałas - bardzo głośny, nieprzyjemny szum
- huk to mocna, krótkotrwała zmiana ciśnienia akustycznego

Częstotliwość

Ważną wielkością akustyczną, związaną z wysokością dźwięku jest częstotliwość. Pod pojęciem częstotliwość rozumie się liczbę drgań w ciągu sekundy. Jednostką jest herc, Hz.

Częstotliwość

f , Hz

Im większa jest częstotliwość, tym wyższy jest dźwięk i odwrotnie. Ludzkie ucho może odbierać dźwięki z zakresu od 16 do 20 000 Hz. Dźwięki o częstotliwości poniżej 16 Hz określa się jako infradźwięki, a o częstotliwości powyżej 20 000 Hz jako ultradźwięki → **3.4.1/4**.

Poziom ciśnienia akustycznego - poziom dźwięku

Oprócz częstotliwości przy odbiorze dźwięku duże znaczenie ma poziom ciśnienia akustycznego. Pojęcie to wywodzi się od ciśnienia dźwięku, tj. zmian ciśnienia wywołanych drganiami. Spotykane w życiu codziennym ciśnienia dźwięku różnią się potęgami dziesiętnymi.

Próg słyszalności: $p = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa
Granica bólu: $p = 2 \cdot 10^{+1}$ Pa

Ponieważ ludzkie ucho jest w stanie odróżnić jedynie 120 poziomów ciśnień akustycznych, do określania tej wielkości wprowadzono skalę logarytmiczną. Jednostką jest decybel.

Poziom natężenia dźwięku jest równy:

$$L_A = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0}, \text{ dB}$$

p - jest ciśnieniem dźwięku pomiędzy progiem słyszalności a granicą bólu
 p_0 - jest ciśnieniem odniesienia, równym progowi słyszalności, tj. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Stąd otrzymuje się:

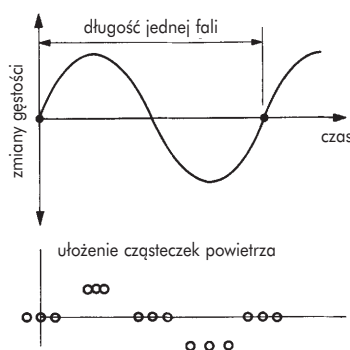
próg słyszalności $L_A = 0$ dB
granica bólu $L_A = 120$ dB

Sumowanie poziomów dźwięku

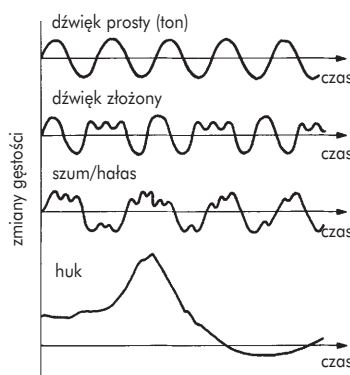
Logarymiczna skala ciśnienia akustycznego sprawia, że poziomy ciśnienia akustycznych pochodzących z różnych źródeł nie mogą być w prosty sposób sumowane. Złożenie poszczególnych ciśnień dźwięku prowadzi do zależności:

$$L_A^{\text{całk}} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} \right), \text{ dB}$$

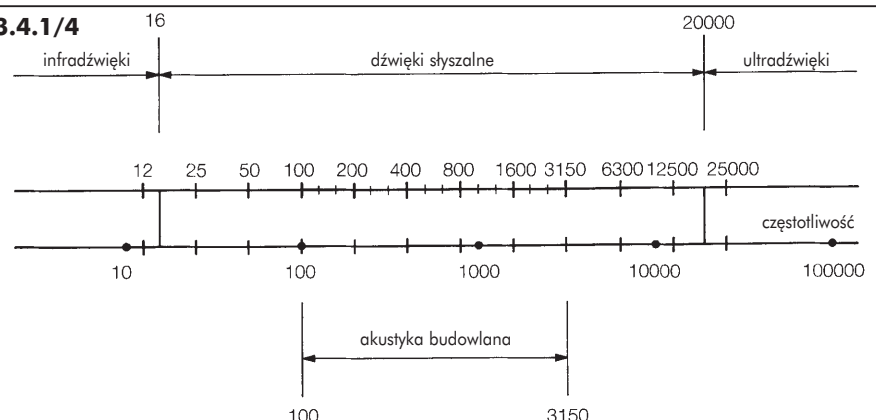
3.4.1/2



3.4.1/3



3.4.1/4



Dźwięk i odczuwanie dźwięku (cd.)

Poziom głośności

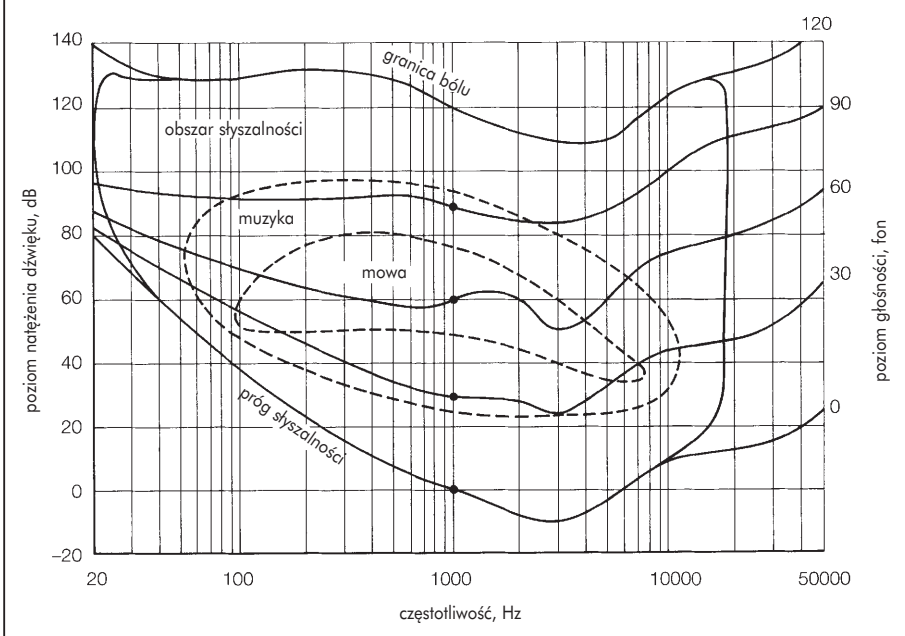
Ludzkie ucho reaguje na dwa czyste tony o jednakowym poziomie ciśnienia akustycznego, ale o różnych częstotliwościach w różny sposób. Takie dźwięki nie mają dla nas jednakowej głośności. Słabsza jest reakcja na dźwięki niskie niż wysokie. Przy ciśnieniu dźwięku na poziomie 40 dB, ton o częstotliwości 50 Hz nie jest słyszalny, natomiast ton o częstotliwości 1000 Hz jest wyraźnie słyszalny. Dlatego też, jako fizjologiczną miarę siły dźwięku wprowadzono pojęcie poziomu głośności.

Poziom głośności

N , fon

Poziom głośności jest zdefiniowany w ten sposób, że przy częstotliwości 1000 Hz jest on równy poziomowi ciśnienia akustycznego. Związki jakie zachodzą pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego, częstotliwością oraz poziomem głośności przedstawiono na → **3.4.1/5**.

3.4.1/5



Głośność

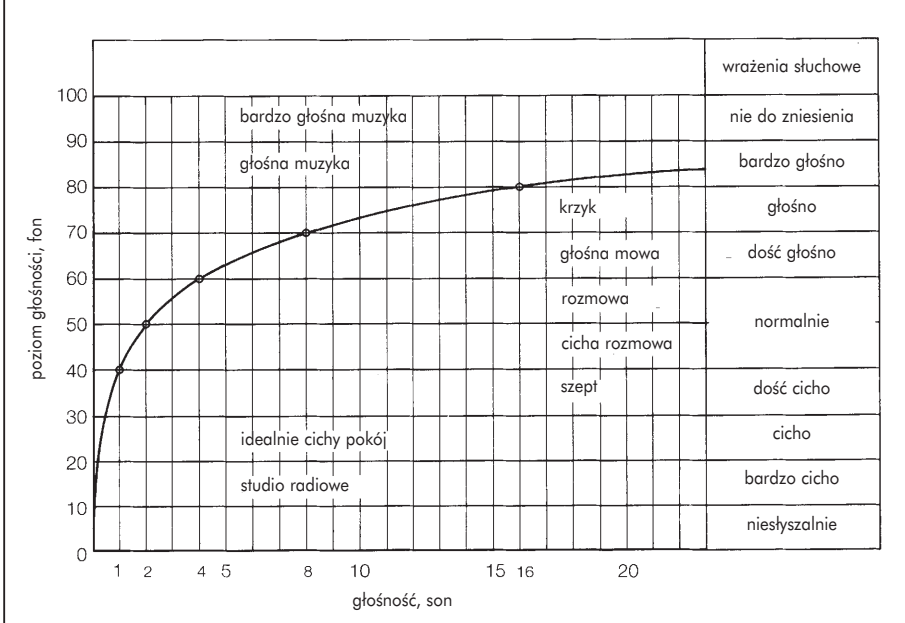
Jeśli porównuje się ze sobą dwa tony o poziomie głośności 40 i 50 fonów, to ten o poziomie głośności 50 fonów jest odbierany przez ludzkie ucho jako dwa razy głośniejszy. Nie można więc przy użyciu tego pojęcia oceniać także wzrostu poziomu głośności. W tym celu wprowadzono dodatkowe pojęcie „głośności”, mierzonej w sonach. Z praktycznych względów ustalono, że ton o poziomie głośności 40 fonów ma głośność 1 sona.

Głośność

$$S = 2^{0.1(N-40)}, \text{ son}$$

Tak więc głośność jest informacją o tym, ile razy głośniejszy jest dla ludzkiego ucha dany ton w porównaniu do tonu o głośności 40 fonów, przy tej samej częstotliwości dźwięku. Zależność tą przedstawiono na wykresie → **3.4.1/6**, wraz z danymi pozwalającymi klasyfikować źródła dźwięku i sposoby ich odbierania przez człowieka. Można zauważyć, że wzrost poziomu głośności dźwięku o 10 fonów jest odbierany jako podwojenie głośności.

3.4.1/6



Dźwięk i odczuwanie dźwięku (cd.)

Ważony poziom dźwięku













Zależności jakie zachodzą pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego, poziomem głośności i częstotliwością, są bardzo skomplikowane. Do celów obliczeń i pomiarów technicznych, rzeczywiste krzywe poziomów głośności zastąpiono, zgodnie z międzynarodową umową, wyidealizowaną krzywą ważoną.

Poziomom dźwięku przy różnych częstotliwościach przypisano odpowiednie wagi, uzyskując w ten sposób zobiektywizowaną miarę głośności. Określa się ją jako poziom dźwięku L_A , który odpowiada charakterystyce ważenia A. Miarą jest decybel, dB.

Ważony poziom dźwięku

L_A , dB

W tabeli → **3.4.1/7** podano ważne poziomy dźwięku dla różnych źródeł, wraz z oceną, w jaki sposób są one odczuwane przez człowieka.

3.4.1/7			
źródło dźwięku		L_A , dB(A)	odczucia
silnik odrzutowy (z odległości 25m)		120	ból
start odrzutowca (z odległości 100m)			
silnik samolotu głośna muzyka		110	nie do zniesienia
muzyka		100	
młot pneumatyczny		90	
ciężki ruch uliczny		80	bardzo głośno
średni ruch uliczny		70	głośno
praca w biurze		60	dość głośno
rozmowa		50	
mieszkanie, biblioteka		40	normalnie
sypialnia		30	dość cicho
las		20	cicho
		10	bardzo cicho
			niestłyszalnie

Tłumienie dźwięków powietrznych

Dźwięki powietrzne są wytwarzane m.in. podczas mówienia, grania na instrumentach, w urządzeniach fonicznych, a także podczas używania różnych urządzeń domowych. Dźwięki tego typu powstają również na zewnątrz budynku, np. od ruchu ulicznego, szynowego i powietrznego oraz urządzeń i instalacji przemysłowych. Dźwięk powietrzny wprawia w drgania przegrody otaczające pomieszczenie, a następnie - już częściowo słumiony - jest przekazywany dalej do wnętrza pomieszczenia. Dźwięki powietrzne docierają do pomieszczenia na dwa sposoby: bezpośrednio poprzez przegrody i pośrednio (przenoszenie boczne) np. przez:

- osłaniające przegrody działowe
- szyby i kanały
- rury
- otwory w suficie podwieszonym
- nieszczelności pomiędzy przegrodą zewnętrzną a działową itp.

Wszystkie zabiegi związane z ograniczeniem przenoszenia dźwięków od źródła do wnętrza pomieszczenia, mają na celu uzyskanie odpowiedniej izolacyjności akustycznej przegród.

Izolacyjność akustyczna na dźwięki powietrzne

Miarą izolacyjności akustycznej przegrody jest jej zdolność do zmniejszenia poziomu natężenia dźwięku pomiędzy pomieszczeniem głośnym a cichym.

Izolacyjność akustyczna właściwa w pasmach tercjowych lub oktaowych

R , dB

Izolacyjność akustyczna właściwa przybliżona (z przenoszeniem bocznym) w pasmach tercjowych lub oktaowych

R' , dB

Izolacyjność akustyczną od dźwięków powietrznych przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczną elementów budowlanych przeznaczonych do zastosowania w budynkach jako przegrody budowlane charakteryzuje się za pomocą wskaźników wyznaczonych wg PN EN ISO 717-1: 1999.

Ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej

Izolacyjność akustyczna właściwa R lub R' elementu budowlanego jest silnie związana z częstotliwością. Zależność tę pokazano na rysunku → **3.4.2/1**, na przykładzie krzywej pomiarowej „a”.

W celu uzyskania jednolitej oceny wyników pomiarów w pasmach tercjowych lub oktaowych, krzywą odniesienia „b” przesuwamy się skokowo, co 1 dB, w kierunku krzywej uzyskanej z pomiarów do momentu, kiedy suma niekorzystnych odchyleń będzie tak duża jak to możliwe, lecz nie większa niż 32.0 dB (pomiar w 16 pasmach 1/3 oktaowych) lub 10 dB (pomiar w 5 pasmach oktaowych), krzywa „c”. Za niekorzystne odchylenie w danym paśmie uważa się takie, gdy wynik pomiaru jest mniejszy od wartości odniesienia. Pod uwagę bierze się tylko odchylenia niekorzystne.

Wartość w dB rzędnej krzywej odniesienia „c” przy 500 Hz po przesunięciu zgodnie z tą zasadą traktuje się jako wskaźnik ważony izolacyjności akustycznej właściwej.

Wskaźnik ważony izolacyjności akustycznej właściwej

R_w , dB

Wskaźnik ważony izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej

R'_w , dB

Wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej

Wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej R_A jest równy sumie ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej R_w i widmowego wskaźnika adaptacyjnego C , uwzględniającego rodzaj hałasu (różowy szum i hałas drogowy).

$$R_A = R_w + C_i$$

$$C_i = X_{A_i} - X_w$$

gdzie:

i jest indeksem widma poziomego dźwięku, 1 lub 2

X_w jest jednolitym wskaźnikiem ważonym izolacyjności akustycznej właściwej obliczonym j.w.

$$X_{A_i} = -10 \lg \sum 10^{(L_{ij} - X_w)/10}, \text{ dB}$$

i jest indeksem pasm 1/3

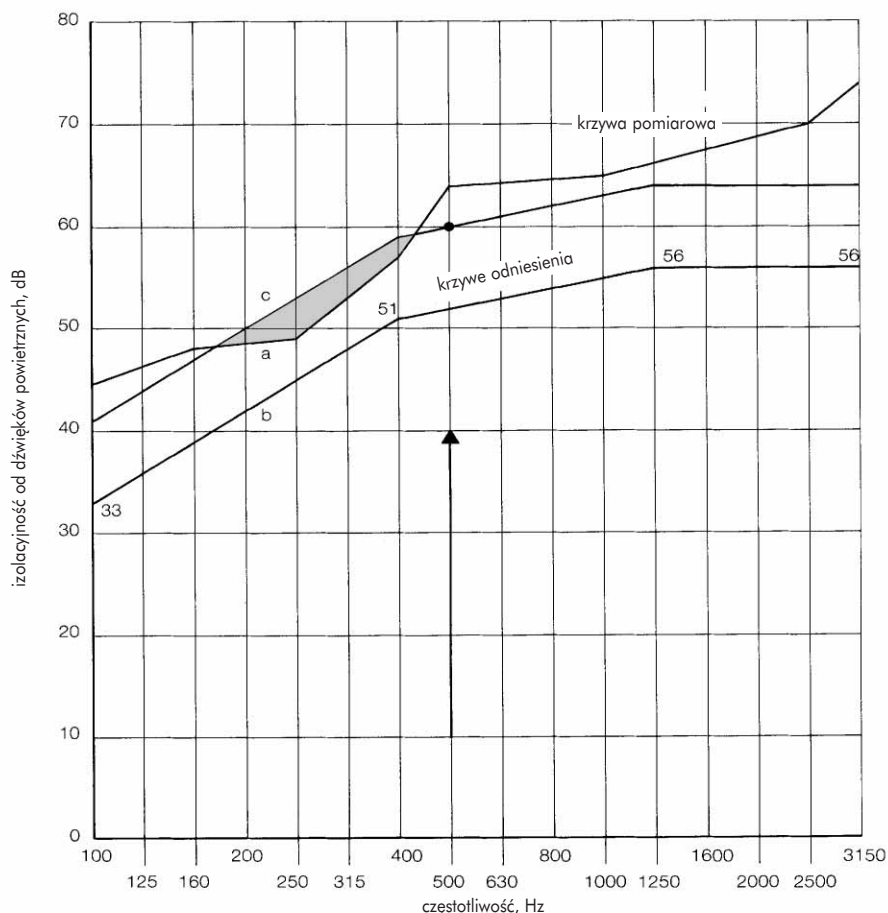
oktaowych lub oktaowych

L_{ij} są poziomami widma dźwięku dla częstotliwości i oraz widma j wg PN EN ISO 717-1: 1999

X_i jest izolacyjnością akustyczną właściwą dla częstotliwości pomiarowej i

Wartości wymaganych wskaźników ocen izolacyjności akustycznej przegród oraz elementów budowlanych w budynkach są podane w normie PN-B-02151-3:1999.

3.4.2/1



Tłumienie dźwięków uderzeniowych

Dźwięk uderzeniowy jest szczególną formą dźwięku materiałowego. Powstaje on np. podczas chodzenia po stopnie lub schodach, przy przesuwaniu mebli albo używaniu wyposażenia domowego. Początkowo jest to dźwięk przenoszony przez drgania materiału a dalej we wnętrzu sąsiedniego pomieszczenia jako dźwięk powietrzny.

Podobnie jak w przypadku dźwięków powietrznych, dźwięki uderzeniowe mogą być przenoszone bezpośrednio przez przegrodę pomieszczenia lub pośrednio (przenoszenie boczne) przez przyległe przegrody działowe, rury itp. W porównaniu do dźwięków powietrznych, przy dźwiękach uderzeniowych przenoszenie boczne gra relatywnie małą rolę.

Wszystkie zabiegi związane z ograniczeniem przenoszenia dźwięków uderzeniowych, od źródła do wnętrza pomieszczenia, mają na celu uzyskanie odpowiedniej izolacyjności akustycznej przegród od dźwięków uderzeniowych.

Izolacyjność akustyczna na dźwięki uderzeniowe

Do badania rzeczywistych właściwości izolacyjnych przegrody na dźwięki uderzeniowe służy tzw. stukacz wzorcowy. W pomieszczeniu mierzony jest tzw. znormalizowany poziom natężenia dźwięku od stukacza działającego na zewnętrznej powierzchni przegrody, w poszczególnych pasmach częstotliwości.

Pomierzony poziom uderzeniowy znormalizowany

$$L_n, \text{ dB}$$

Poziom uderzeniowy znormalizowany przybliżony (z przenoszeniem bocznym)

$$L'_{n,w}, \text{ dB}$$

Izolacyjność akustyczną od dźwięków uderzeniowych w budynkach oraz izolacyjność akustyczną elementów budowlanych przeznaczonych do zastosowania w budynkach jako przegrody budowlane charakteryzuje się za pomocą ważonych wskaźników wyznaczonych wg PN EN ISO 717-2:1999.

Ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego

Poziom natężenia dźwięku uderzeniowego przeniesionego przez element budowlany jest silnie związany z częstotliwością. Zależność tę pokazano na wykresie → **3.4.2/2**, dla dwóch przykładowych

krzywych pomiarowych „a_R” i „a_F” w pasmach 1/3 oktaowych.

W celu uzyskania jednolitej oceny wyników pomiarów w pasmach tercjonowych, krzywą odniesienia „b” przesuwają się skokowo, co 1 dB, w kierunku krzywej uzyskanej z pomiarów do momentu, kiedy suma niekorzystnych odchyleń jest tak duża, jak to możliwe, lecz nie większa niż 32.0 dB dla pomiaru w pasmach 1/3 oktaowych i 10 dB dla pomiarów w pasmach oktaowych, krzywe „c_R i c_F”. Za niekorzystne odchylenie w danym paśmie uważa się takie, gdy wynik pomiaru jest większy od wartości odniesienia. Pod uwagę bierze się tylko odchylenia niekorzystne. Krzywe wartości odniesienia są różne dla pasm 1/3 oktaowych i oktaowych.

Wartość w dB rzędnej krzywej odniesienia „c_R lub c_F” przy 500 Hz po przesunięciu zgodnie z tą zasadą traktuje się jako wskaźnik ważony poziomu uderzeniowego znormalizowanego L_{n,w} lub L'_{n,w} przy pomiarach 1/3 oktaowych, natomiast przy pomiarach oktaowych należy odczytać wartość rzędnej zmniejszyć o 5 dB.

Uwzględnienie widma hałasu jest realizowane przy użyciu widmowego wskaźnika

adaptacyjnego C_i, dodawanego do jednolitego wskaźnika ważonego izolacyjności od dźwięków uderzeniowych.

$$C_i = L_{n,sum} - 15 - L_{n,w}$$

gdzie: $L_{n,sum} = 10 \lg \sum 10^{L_{ni}/10}$

Wskaźnik ważony poziomu uderzeniowego znormalizowanego

$$L_{n,w}, \text{ dB}$$

Wskaźnik ważony poziomu uderzeniowego znormalizowanego przybliżonego

$$L'_{n,w}, \text{ dB}$$

Wartości wymaganych izolacyjności akustycznych przegród budowlanych w budynkach są podane w normie PN-B-02151-3:1999.

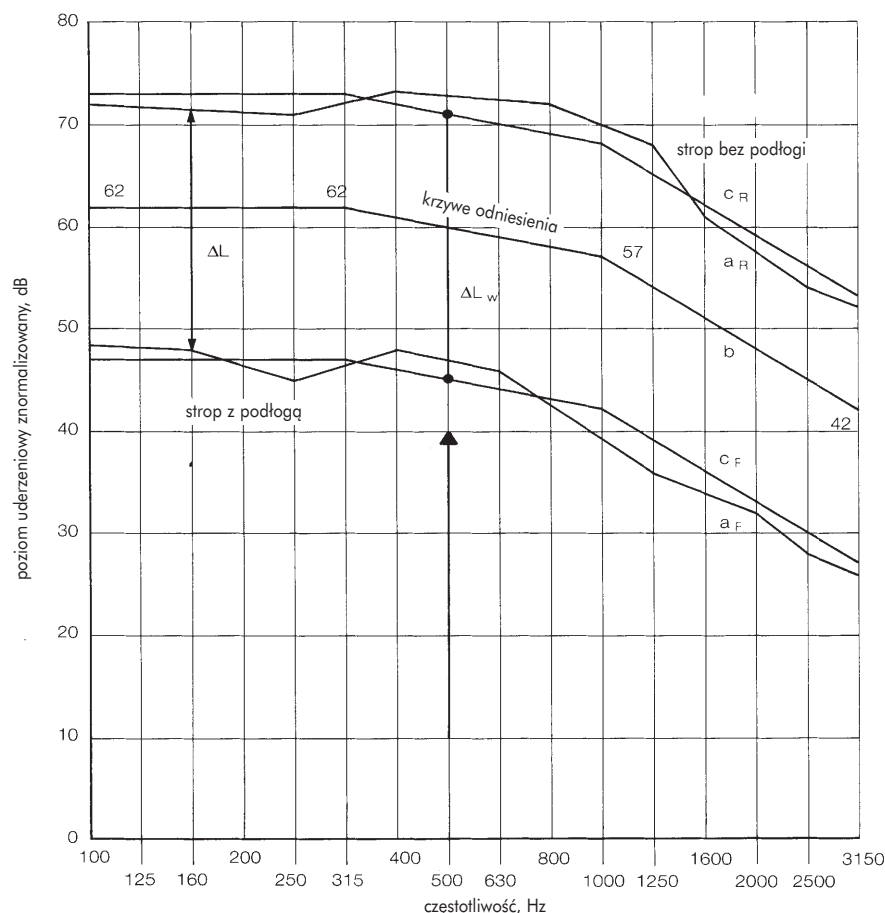
Przyrost izolacyjności od dźwięków uderzeniowych

Wskaźnik ważony zmniejszenia poziomu uderzeniowego to różnica pomiędzy wskaźnikami ważonymi poziomu uderzeniowego znormalizowanego dla stropu wzorcowego bez podłogi i z podłogą → **3.4.2/2**.

Wskaźnik ważony zmniejszenia poziomu uderzeniowego

$$\Delta L_w, \text{ dB}$$

3.4.2/2



Tłumienie dźwięków uderzeniowych (cd.)

Ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego

Izolacyjność akustyczną stropów (i schodów) określa się za pomocą ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$

Wartości wymaganych wskaźników izolacyjności akustycznej przegród budowlanych w budynkach są podane w normie PN-B-02151-3:1999.

Dla kompletnych stropów masywnych wartość ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$ uzyskuje się jako różnicę ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego znormalizowanego dla gołego stropu i ważonego wskaźnika zmniejszenia poziomu uderzeniowego podłogi.

Równoważny ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,eq,0,w}$ gołego stropu masywnego jest równy sumie ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego znormalizowanego badanego stropu z podłogą wzorcową oraz ważonego wskaźnika zmniejszenia poziomu uderzeniowego podłogi wzorcowej.

Tak określony wskaźnik równoważny może być użyty do obliczenia ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$ płyty stropowej z podłogą o znanym wskaźniku $*L_w$ zgodnie ze wzorem:

$$L_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w, \text{ dB}$$

Szttywność dynamiczna

Na masywnych stropach międzykondygnacyjnych obecnie stosuje się, niemal wyłącznie, podłogi pływające. Dzięki nim izolacyjność stropów na dźwięki uderzeniowe ulega znacznemu powiększeniu. Wynika to głównie ze sprężystych właściwości materiału styropianowej izolacji akustycznej, ułożonej pomiędzy stropem i warstwami wierzchnimi. Właściwości sprężyste izolacji akustycznej są wyrażane poprzez sztywność dynamiczną.

Sztywność dynamiczna

$$s', \frac{\text{MN}}{\text{m}^3}$$

Sztywność dynamiczna materiału budowlanego zależy od modułu plastyczności oraz od grubości warstwy materiałowej. Wartości sztywności dynamicznej różnych materiałów w warstwie o grubości 10 mm podano w tabeli →□ 3.4.2/3.

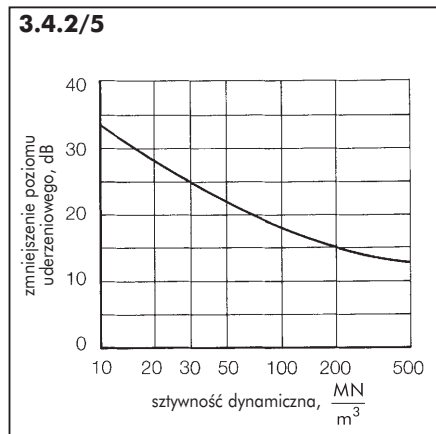
3.4.2/3	
materiał	$s', \frac{\text{MN}}{\text{m}^3}$
wełna drzewna	300
płyty paździerzowe	150
korek	500
okruchy korka	120
włókno kokosowe	30
styropian do izolacji termicznej	100
styropian do izolacji akustycznej	12-30

Metody określania sztywności dynamicznej oraz informacje o materiałach stosowanych w podłodze pływającej są zawarte w normie PN ISO 9052-1:1994.

Sztywność dynamiczną styropianowych płyt izolacji akustycznej styropian „SUPER AKUSTIC” podano w tabeli →□ 3.4.2/4.

3.4.2/4	
grubość płyty "SUPER AKUSTIC" mm	Sztywność dynamiczna s' MN/m ³
17/15	16.7
22/20	14.3
27/25	14.4
33/30	11.7
38/35	-
43/40	11.4

Aby uzyskać odpowiednią izolacyjność akustyczną na dźwięki uderzeniowe stosowanych obecnie typowych masywnych stropów należy zmniejszyć poziom przenoszonych przez nie dźwięków o przynajmniej 25 dB. Wymaga to więc zastosowania jako izolacji akustycznej w podłodze pływającej, materiałów o sztywności dynamicznej nie większej niż 30 MN/m³ →□ 3.4.2/5.



Przenoszenie dźwięków

Wpływ budowy przegrody na bezpośrednie przenoszenie dźwięków

Dźwięk jest przenoszony pomiędzy pomieszczeniami na skutek drgań przegród znajdujących się pomiędzy nimi. Sposób, w jaki drgają te przegrody wpływa na intensywność tłumienia dźwięków. Tak więc budowa przegrody, sposób ułożenia i dobór warstw ma duże znaczenie dla jej izolacyjności akustycznej.

Pod względem akustycznym rozróżnia się przegrody jednowarstwowe i dwuwarstwowe, →□ 3.4.3/1.

Przegroda jednowarstwowa jest zbudowana z pojedynczej warstwy jednorodnego materiału lub z kilku, mocno ze sobą połączonych warstw materiałowych. Bezpośrednie przenoszenie dźwięku odbywa się tu poprzez drgania stykających się wzajemnie ze sobą cząstek materiałów.

Przegroda dwuwarstwowa składa się natomiast z dwóch odrębnych części, przedzielonych elastyczną warstwą pośrednią (powietrze lub materiał izolacyjny) i zespolonych konstrukcyjnie przy użyciu kotew. Bezpośrednie przenoszenie dźwięków odbywa się tu poprzez warstwę pośrednią, kotwy i połączenia na obrzeżach.

Warstwy materiałów użytych do konstruowania przegrody jedno i wielowarstwowej mogą być pod względem akustycznym sztywne (ciężkie) i giętkie (lekkie). Do scharakteryzowania właściwości akustycznych warstw przegród budowlanych stosuje się pojęcie częstotliwości granicznej. Wartość tej częstotliwości zależy od gęstości materiału, modułu sztywności dynamicznej i grubości warstwy.

Częstotliwość graniczna

$$f_g = \frac{60}{d} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{E}}, \text{ Hz}$$

ρ , kg/m³, E, MN/m², d, m

Przykłady warstw odpornych na drgania ($f_g \leq 200$ Hz), grubości ≥ 10 cm:
mur kamienny, $\rho \geq 1400$ kg/m³ beton.

Przykłady warstw mało odpornych na drgania ($f_g \geq 2000$ Hz):
płyta gipsowo-kartonowa
płyta azbestowo-cementowa
płyta szklana
sklejka.

Wpływ budowy przegrody na boczne przenoszenie dźwięków

Dźwięk przenosi się pomiędzy pomieszczeniami nie tylko poprzez rozdzielającą je przegrodę (przenoszenie bezpośrednie), ale również na skutek bocznego przenoszenia dźwięków przez przegrody przyległe. Przenoszenie boczne gra znaczącą rolę przy propagowaniu dźwięków powietrznych, natomiast przy dźwiękach uderzeniowych jego rola jest względnie mała.

Decydujący dla przenoszenia dźwięków jest sposób wykonania przegród tworzących pomieszczenie i wynikający stąd rodzaj połączenia głównej przegrody ze ściankami bocznymi.

Przy ocenie intensywności bocznego przenoszenia dźwięków rozróżnia się:

1. Masywne budynki monolityczne murowane lub żelbetowe
 - a. z ciężkimi ściankami działowymi
 - b. z lekkimi ściankami działowymi
2. Budynki szkieletowe
 - z żelbetu, stali i drewna
 - z lekkimi ściankami działowymi.

W grupie 1a mamy do czynienia zwykle ze sztywnym połączeniem ściany głównej i bocznych, natomiast w grupach 1b i 2 połączenia mają zwykle charakter przegubowy.

W obiektach o masywnych ściankach bocznych i masywnej lub szkieletowej ścianie działowej, boczne przenoszenie dźwięków powietrznych uwzględnia się w obliczeniach poprzez korygowanie ważonych ocen izolacyjności akustycznej dla ściany działowej zależnie od masy powierzchniowej ścianek bocznych, PN EN ISO 717-1.

3.4.3/1

Przegroda jednowarstwowa

warstwa sztywna

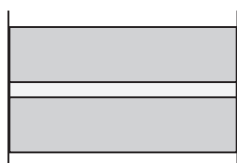


warstwa wiotka

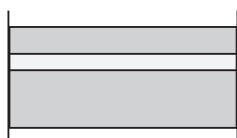


Przegroda dwuwarstwowa

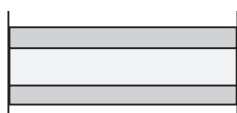
dwie warstwy sztywne



sztywne warstwy zewnętrzne z wiotką warstwą wewnętrzną



dwie warstwy wiotkie



Przykłady

ściany zewnętrzne
ściany wewnętrzne

ściany wewnętrzne
drzwi
okna

Przykłady

ściany pomiędzy budynkami

ściany zewnętrzne
stropy
schody

ściany wewnętrzne
okna

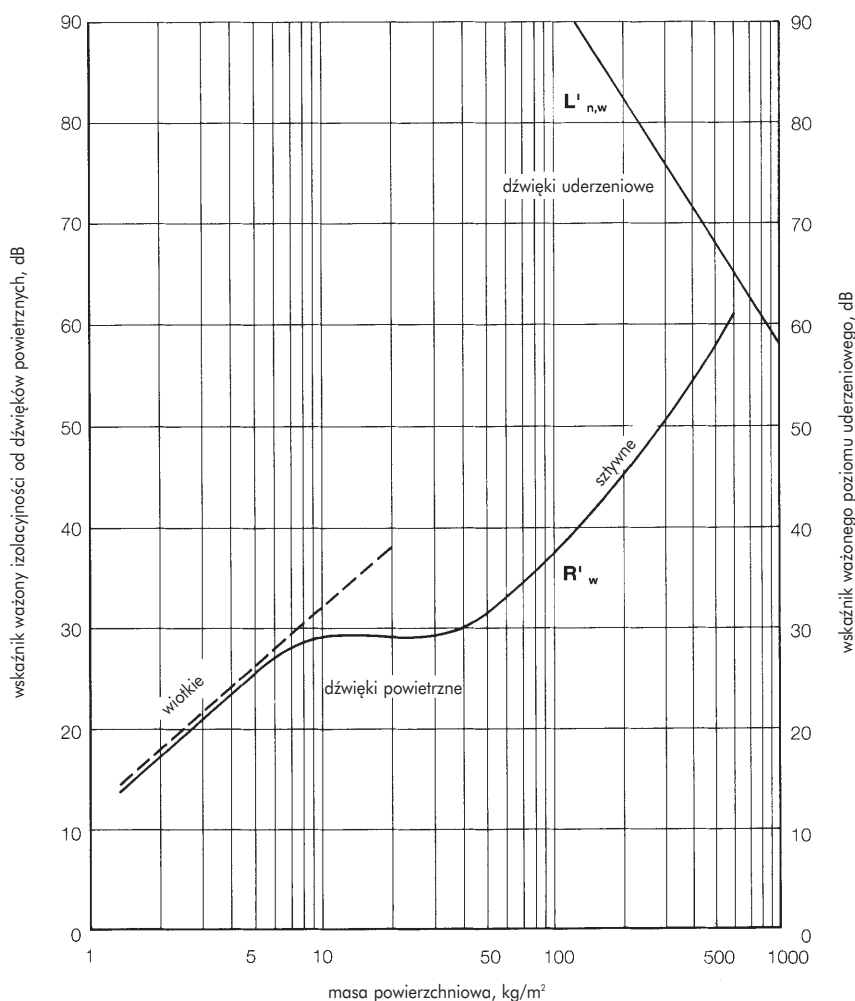
Izolacyjność akustyczna przegrody jednowarstwowej

Izolacyjność akustyczna przegrody jednowarstwowej zależy głównie od jej masy powierzchniowej, a więc praktycznie od gęstości zastosowanych w niej materiałów i grubości warstw → **3.4.3/2**.

Izolacyjność od dźwięków powietrznych, wyrażana poprzez jednoliczbowy, ważony wskaźnik izolacyjności, wzrasta wraz ze wzrostem masy powierzchniowej. Jak wynika z wykresu → **3.4.3/2**, aby uzyskać ważony wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej równy 55 dB (na tym poziomie sformułowane są wymagania izolacyjności akustycznej dla ścian wewnętrznych i stropów w budynkach wielorodzinnych), wymagane są przegrody o masie powierzchniowej ok. 400 kg/m². Taką masę mają typowe przegrody masywne: murowane i żelbetowe.

Izolacyjność przegrody od dźwięków uderzeniowych również wzrasta z jej masą powierzchniową. Ważony wskaźnik znormalizowanego poziomu dźwięku równy 55 dB (wymagany dla stropów w budynkach wielopiętrowych) wymaga jednak zastosowania przegród o masie powierzchniowej ponad 1000 kg/m². Takich właściwości nie można uzyskać poprzez zastosowanie pojedynczej, typowej płyty stropowej. Konieczne jest tu użycie konstrukcji dwuwarstwowej.

3.4.3/2



Tłumienie dźwięków powietrznych przez dwuwarstwowy, masywny strop

Układ warstw w przegrodzie:

Dwuwarstwowa konstrukcja składa się z pojedynczej warstwy z materiału sztywnego i wiotkich warstw wierzchnich.

Materiał:

strop: beton, pustaki stropowe

warstwy wierzchnie: pływający jastrych gipsowy, anhydrytowy lub cementowy i pływająca podłoga drewniana

podsufitka: płyty paździerzowe i gipsowe na łątach drewnianych.

Wartości obliczeniowe:

Przykładowe wartości obliczeniowe ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej podano w zależności od masy powierzchniowej m' , kg/m^2 warstwy sztywnej i obecności podsufitki
→□ **3.4.4/1**.

$$m' = \sum \rho_n \cdot s_n, \text{ kg/m}^2$$

Zgodnie z polską normą PN EN ISO 717-1, aby otrzymać tzw. wskaźnik oceny przybliżonej do wartości wskaźnika R'_w odczytanej z tablic należy dodać widmowy wskaźnik adaptacyjny C.

$$R'_{A1} = R'_w + C$$

Boczne przenoszenie dźwięków

Wartości R'_w w tabelach podano dla średniej masy powierzchniowej ścianek bocznych równej $300 \pm 25 \text{ kg/m}^2$.

W tabeli →□ **3.4.4/2** podano wartości korekcyjne K_{L1} , dla ścianek o innej masie. Średnią masę powierzchniową ścianek bocznych wylicza się wg następującego wzoru:

S_{bi} - powierzchnia i-tej przegrody bocznej netto

n - liczba przegród uwzględnionych.

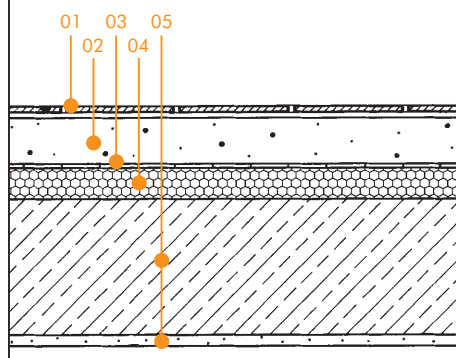
$$m'_{b,sf} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n S_{bi}} \sum_{i=1}^n (m'_{bi} \cdot S_{bi}), \text{ kg/m}^2$$

Jeśli wewnętrzne warstwy ścianek bocznych są wiotkie i przerwane w miejscach połączeń ze stropem, to do wartości R'_{A1} dodawany jest jeszcze drugi współczynnik korekcyjny K_{L2} , odczytywany z tabeli
→□ **3.4.4/3**.

Skorygowana wartość

$$R'_{A1} = R'_{A1} + K_{L1} + K_{L2}$$

3.4.4/1



- 01 podłoga
- 02 jastrych
- 03 izolacja
- 04 dźwiękoizolacyjne płyty styropianowe „SUPER AKUSTIC”
- 05 warstwa konstrukcyjna sztywna o masie powierzchniowej m'

$m', \text{ kg/m}^2$	150	200	250	300	350	400	450	500
$R'_w, \text{ dB}$	49	51	53	55	56	57	58	59

3.4.4/2

$m'_{b,sf}, \text{ kg/m}^2$	400	350	300	250	200	150	100
K_{L1}	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4

3.4.4/3

liczba ścianek bocznych z wiotką warstwą wewnętrzną	1	2	3
$K_{L2}, \text{ dB}$	+1	+3	+6

Tłumienie dźwięków uderzeniowych przez dwuwarstwowy, masywny strop

Układ warstw w przegrodzie:

Dwuwarstwowa konstrukcja składa się z pojedynczej warstwy z materiału sztywnego i wiotkich warstw wierzchnich.

Materiał:

strop: beton, pustaki stropowe

warstwy wierzchnie: pływający jastrych gipsowy, anhydrytowy lub cementowy i pływowająca podłoga drewniana

podsufitka: płyty paździerzowe i gipsowe na łatach drewnianych.

Wartości obliczeniowe:

Ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego przybliżonego $L'_{n,w}$ płyty stropowej można wyliczyć ze wzoru:

$$L'_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + 2, \text{ dB}$$

Przykładowe wartości obliczeniowe równoważnego wskaźnika izolacyjności akustycznej gołego stropu $L_{n,eq,0,w}$ podano w zależności od masy powierzchniowej m' , kg/m^2 warstwy sztywnej → □ **3.4.4/4**.

$$m' = \sum \rho_n \cdot s_n, \text{ kg/m}^2$$

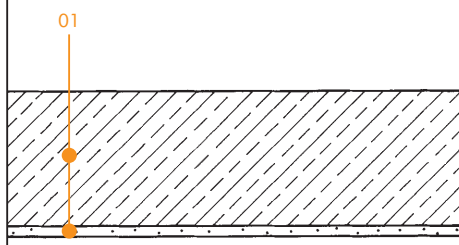
Wartości ważonego wskaźnika zmniejszenia poziomu uderzeniowego ΔL_w podano w zależności od sztywności dynamicznej s' materiału izolacji akustycznej → □ **3.4.4/5**.

Informacje dodatkowe

Dla uniknięcia mostków akustycznych oraz bocznego przenoszenia dźwięków należy przestrzegać następujących zasad: Pomiedzy warstwami stropu nie mogą się znajdować resztki betonu lub kamienie.

Nie może być sztywnego połączenia pomiędzy warstwą jastrychu/podłogą drewnianą i warstwą nośną stropu.

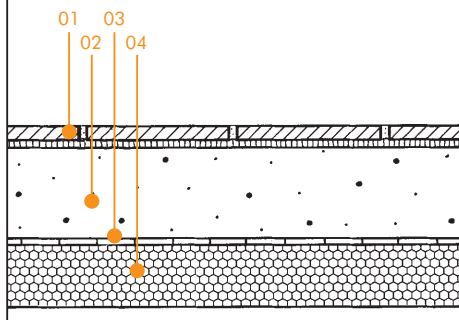
Nie może być sztywnego połączenia między nawierzchnią stropu i ścianami.

3.4.4/4

01 konstrukcja nośna stropu o masie m'



$m', \text{ kg/m}^2$	135	160	190	225	270	320	380	450	530
$L_{n,eq,0,w}, \text{ dB}$	86	85	84	82	79	77	74	71	69

3.4.4/5

Nawierzchnia stropu

01 warstwa podłogowa
02 jastrych ($m' \geq 70 \text{ kg/m}^2$)
03 folia
04 dźwiękoizolacyjne płyty styropianowe „SUPER AKUSTIC” o sztywności s'



$s', \text{ MN/m}^3$	50	40	30	20	15	10
$\Delta L_w, \text{ dB}$	22	24	26	28	29	30

Wymagania

Informacje ogólne

Wszystkie przegrody budynku, zewnętrzne i wewnętrzne spełniają jednocześnie szereg różnych funkcji.

Tworzą one pomieszczenie, dają człowiekowi poczucie bezpieczeństwa oraz chronią go przed naturalnymi oraz sztucznymi wpływami środowiska. Spośród nich wiele uwagi należy poświęcać hałasowi, jako czynnikowi o szczególnie silnym wpływie na zdrowie ludzkie. Stąd też wymagania dotyczące ochrony akustycznej wewnątrz budynków powinny być w pełni uwzględniane już na etapie projektowania. Istotne jest również i to, że hałas powstaje nie tylko w otoczeniu budynku, ale w dużej mierze także w jego wnętrzu.

Pod pojęciem ochrony akustycznej rozumie się tu nie tylko zapobieganie przenoszeniu dźwięków od źródła do odbiorcy, ale także zapobieganie powstawaniu hałasu. Zewnętrzne i wewnętrzne przegrody budowlane muszą być tak ukształtowane, aby obciążenie użytkownika budynku wywołane hałasem utrzymać na znośnym i bezpiecznym dla zdrowia i samopoczucia poziomie.

W polskiej normie PN-B-02151-3:1995 określono wymagania w stosunku do izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i sposób ustalania wymagań w stosunku do izolacyjności akustycznej elementów budowlanych.

Wymagania są tu różnicowane zależnie od rodzaju budynku:

- budynki wielopiętrowe mieszkalne i z miejscami pracy
- jednorodzinne budynki w zabudowie bliźniaczej i szeregowej
- budynki zamieszkania zbiorowego
- szpitale, sanatoria
- szkoły i inne obiekty dydaktyczne.

Źródła hałasu

Wymagania akustyczne mają za zadanie ochronę wewnątrz, w których przebywają ludzie, przed:

a) hałasem dochodzącym z obcych mieszkań lub miejsc pracy, gdzie jego źródłem jest:

- głos ludzki,
- muzyka,
- kroki,
- przesuwanie mebli,
- praca urządzeń domowych itp.

b) hałasem pochodzącym od urządzeń technicznych i instalacji, które są w nierozdzielny sposób związane z rozpatrywanymi pomieszczeniami; źródła hałasu:

- instalacja wodna i kanalizacyjna
- urządzenia transportowe
- pralnie
- sauny, baseny
- urządzenia sportowe
- centralne odkurzanie
- zsypy itp.
- garaże
- warsztaty
- małe zakłady przemysłowe

c) hałasem pochodzącym z zewnątrz budynku;

źródła hałasu:

- ruch uliczny drogowy
- transport szynowy i wodny
- komunikacja powietrzna
- zakłady przemysłowe.

Wymagania (cd.)**Wartości graniczne**

3.4.5/2		
przegroda	min R'_{A1} dB	max $L'_{n,w}$ dB
budynki wielokondygnacyjne		
ściana pomiędzy mieszkaniami	50	-
strop międzykondygnacyjny	51	58
ściana od korytarza, klatki schodowej	50	-
strop między mieszkaniem i korytarzem	*	53
ściana przy pomieszczeniu technicznym	55	-
strop przy pomieszczeniu technicznym	55	58
ściana między mieszk. a sklepem itp.	55	-
strop między mieszk. a sklepem itp.	55	53 - 58
ściana między mieszk. a kawiarnią itp.	57 - 67	-
strop między mieszk. a kawiarnią itp.	55 - 60	48-53-58
ściana między pokojem a pom. sanit.	35	-
ściana w obrębie tego samego mieszkania	30 - 35	-
strop w obrębie tego samego mieszkania	45 - 51	58

Wartości graniczne izolacyjności akustycznej przegród wewnętrznych dla ochrony przed hałasem z sąsiadujących pomieszczeń, wg PN-B-02151-3:1999. Szczegółowy opis wymagań i założenia dotyczące stosowania poszczególnych wymagań zawarte są w normie.

* wymagania są ustalane indywidualnie

3.4.5/3		
przegroda	min R'_{A1} dB	max $L'_{n,w}$ dB
budynki jednorodzinne bliźniacze i szeregowe		
ściana pomiędzy mieszkaniami	52 - 55	-
strop międzykondygnacyjny	nie normaliz.	53

Wymagana izolacyjność akustyczna przegród wewnętrznych w budynkach określona ze względu na przenikanie hałasu do segmentów sąsiednich

3.4.5/4		
pomieszczenie	L_{Aeq} dB	
	w dzień	w nocy
mieszkalne	40	30
pokoje w hotelach kat. II i niższych	45	35
pokoje chorych w szpitalach	35	30
pokoje dla dzieci w żłobkach	35	-
klasy i pracownie szkolne	40	-
pomieszczenia biurowe	35	-
sale sklepowe	50	-
pomieszczenia administracyjne	45	-
sale kawiarniane	50	-

Dopuszczalny poziom dźwięku A od wszystkich źródeł hałasu łącznie w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi.

Wymagania (cd.)

Wartości graniczne

Wymagana wypadkowa izolacyjność akustyczna właściwa przybliżona ścian zewnętrznych z oknami wg PN-B-02151-3: 1999.

3.4.5/5			R' _{A1} lub R' _{A2} , dB zależnie od poziomu dźwięku A na zewnątrz budynku						
Rodzaj budynku	Przegroda zewnętrzna w pomieszczeniu	dzień	do 45	od 46 do 50	od 51 do 55	od 56 do 60	od 61 do 65	od 66 do 70	od 71 do 75
		noc	do 35	od 36 do 40	od 41 do 45	od 46 do 50	od 51 do 55	od 56 do 60	od 61 do 65
Budynki mieszkalne	pokoje		20	20	23	23	28	33	38
	kuchnie		20	20	20	20	23	28	33
	klatki schod., piwnice		nie stawia się wymagań						
Budynki hotelowe kat. 3-gwiazdkowej	pokoje hotelowe		20	20	23	23	28	33	38
	pom. gospod., klatki		nie stawia się wymagań						
Budynki hotelowe kategorii niższych	pokoje hotelowe		20	20	20	23	23	28	33
	pom. gospod., klatki		nie stawia się wymagań						
Przych. lekarskie	gabinety, pokoje zabieg.		20	23	23	28	33	38	*
Żłobki, przedszkola	pokoje dla dzieci		20	20	23	28	33	38	*
Domy rencistów domy wczasowe	pokoje		20	20	23	23	28	33	38
	pom. gospodarcze		nie stawia się wymagań						
Szkoły	sale lekcyjne		20	20	23	23	28	33	*
	korytarze		nie stawia się wymagań						
Placówki nauk.-bad.	pokoje do pracy		20	23	23	28	33	38	*
Domy kultury	sale zajęć wymagających uwagi		20	20	23	23	28	33	38
	sale pozostałe		20	20	20	20	23	28	33
Różne	sale kawiarniane i restauracje		20	20	20	20	20	23	28

* wymagania są ustalane indywidualnie

Obliczenie wskaźnika oceny R'_{A1} lub R'_{A2} wypadkowej izolacyjności akustycznej ściany zewnętrznej z oknami można wy-

$$R_{A1, \text{wyp}} = -10 \lg \frac{1}{\sum_{i=1}^n S_i} \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{-0,1 R_{A1,i}}, \text{ dB}$$

konać wg uproszczonej zależności w postaci

w której:

- R_{A1,i} - wskaźnik oceny izolacyjności poszczególnych części ściany (części pełnych oraz okien), dB
- S_i - powierzchnia poszczególnych części ściany, m²
- n - liczba poszczególnych części przegrody.

Wartości obliczeniowe - przegrody masywne

Liczbowe wskaźniki charakteryzujące izolacyjność akustyczną przegród są porównywane z wymaganiami stawianymi przegrodom, zależnymi od przeznaczenia pomieszczenia i ewentualnie warunków otoczenia.

W tabeli → **3.4.5/7** zestawiono przytoczone w poprzednich rozdziałach wzory, służące do oceny **przegród wewnętrznych** o różnej konstrukcji pod kątem właściwości izolacyjnych. Są one niezbędne do sprawdzenia przydatności projektowanych przegród do ochrony akustycznej wnętrz budynków.

Zgodnie z polską normą PN EN ISO 717-1, aby otrzymać tzw. wskaźnik oceny przybliżonej do wartości wskaźnika R'_w odczytanej z tablic należy dodać widmowy wskaźnik adaptacyjny C , zależny od rodzaju hałasu.

$$R'_{A1} = R'_w + C$$

Uwzględnienie bocznego przenoszenia dźwięków powietrznych wymaga, w przypadku ścian i stropów oddzielających pomieszczenia, wprowadzenia współczynników korekcyjnych → **3.4.5/8 i 9**.

Dla ścian wewnętrznych jednowarstwowych:

Skorygowana wartość

$$R'_{A1} = R'_{A1} + K_{L1}$$

Wartość współczynnika K_{L1} zależy od średniej masy powierzchniowej przegród bocznych wyliczanej wg wzoru:

$$m'_{b,sr} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n S_{bi}} \sum_{i=1}^n (m'_{bi} \cdot S_{bi}) , \text{ kg/m}^2$$

Dla masywnych, dwuwarstwowych ścian wewnętrznych i stropów:

Skorygowana wartość

$$R'_{A1} = R'_{A1} + K_{L1} + K_{L2}$$

Wartość współczynnika K_{L1} zależy od $m'_{b,sr}$ j.w., a wartość K_{L2} od ukształtowania ścianek bocznych.

Dla dwuwarstwowych lekkich ścian wewnętrznych i stropów na belkach drewnianych:

Skorygowana wartość

$$R'_{A1} = R'_{A1} + K_{L1} + K_{L2}$$

Wartość współczynnika K_{L1} zależy od $m'_{b,sr}$, wyliczanej ze wzoru:

$$m'_{b,sr} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m'_{bi})^{2.7} \right]^{0.37} , \text{ kg/m}^2$$

Wartość K_{L2} zależy od ukształtowania ścianek bocznych.

3.4.5/7		
Rodzaj przegrody	wielkość	3.4.4 nr str.
Jednowarstwowa ściana wewnętrzna	R'_{A1}	1
Dwuwarstwowa masywna ściana wewnętrzna	R'_{A1}	2
Dwuwarstwowa lekka ściana wewnętrzna	R'_{A1}	3
Dwuwarstwowa ściana dzieląca budynki	R'_{A1}	4
Dwuwarstwowy strop masywny izolacyjność od dźwięków powietrznych izolacyjność od dźwięków uderzeniowych $L'_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + 2$	R'_{A1} $L_{n,eq,0,w} \Delta L_w$	5 6
Strop na belkach drewnianych	R'_{A1} $L'_{n,w}$	7

3.4.5/8										
Współczynnik korekcyjny K_{L1}										
$m'_{b,sr}$ [kg/m ²]		450	400	350	300	250	200	150	100	
Jednowarstwowa ściana wewnętrzna										
K_{L1} [dB]			0	0	0	0	-1	-1	-1	
Dwuwarstwowa masywna ściana wewnętrzna i strop										
K_{L1} [dB]			+2	+1	0	-1	-2	-3	-4	
Dwuwarstwowa lekka ściana wewnętrzna, strop na belkach drewnianych										
K_{L1} [dB]	$R'_w = 50$ dB	+4	+3	+2	0	-2	-4	-7		
	$R'_w = 49$ dB	+2	+2	+1	0	-2	-3	-6		
	$R'_w = 47$ dB	+1	+1	+1	0	-2	-3	-6		
	$R'_w = 45$ dB	+1	+1	+1	0	-1	-2	-5		
	$R'_w = 43$ dB	0	0	0	0	-1	-2	-4		
	$R'_w = 41$ dB	0	0	0	0	-1	-1	-3		

3.4.5/9			
liczba ścianek bocznych z wiotką warstwą wewnętrzną	1	2	3
K_{L2} [dB]	+1	+3	+8

1. Płoński W., Pogorzelski J.A.: *Fizyka Budowli*, Arkady 1979
2. Fanger P.O.: *Komfort cieplny*, Arkady 1974.
3. *Poradnik Techniczny Kierownika Budowy*, Arkady, Warszawa 1975
4. Bobociński A., Pogorzelski J.A.: *Ściany nie oddychają*, Materiały Budowlane 3/2001
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. Ustaw Nr 75, poz. 690 z dnia 15 czerwca 2002, zmiana Dz. U. Nr 109/2004 poz. 1156.
6. Instrukcja ITB nr 293/1990 „Projektowanie pod względem akustycznym przegród w budynkach”
7. Instrukcja ITB nr 345/1997 „Zasady oceny i metody zabezpieczeń istniejących budynków mieszkalnych przed hałasem zewnętrznym komunikacyjnym”
8. Instrukcja ITB nr 346/1997 „Zasady oceny i metody zabezpieczeń akustycznych przegród wewnętrznych w istniejących budynkach mieszkalnych”
9. Instrukcja ITB nr 369/2002 „Właściwości dźwiękoizolacyjne przegród budowlanych i ich elementów”
10. Instrukcja ITB nr 334/2002 „System bezspoinowego ocieplania ścian zewnętrznych budynków”
11. PN ISO 10456:1999 *Izolacja cieplna - Materiały i wyroby budowlane - Określenie deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych*.
12. PN EN ISO 6946:1999 *Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła - Metoda obliczania*.
13. PN-B-20130:2001 *Wyroby dla izolacji cieplnej w budownictwie. Płyty styropianowe (PS-E)*
14. PN EN 13163:2004 *Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Wyroby ze styropianu (EPS) produkowane fabrycznie - Specyfikacja*
15. PN EN ISO 7345:1998 *Izolacja cieplna - wielkości fizyczne i definicje*
16. PN EN 12086:2001 *Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - określanie właściwości przy przenikaniu pary wodnej*
17. PN EN 12088:2000 *Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie absorpcji wody przy długotrwałej dyfuzji*.
18. PN EN ISO 13788:2002 *Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku - Temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej - Metody obliczania*
19. PN-B-02025:2001 *Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego*
20. PN EN ISO 10077-1 *Właściwości cieplne okien, drzwi i żaluzji - Obliczanie współczynnika przenikania ciepła - Część 1: Metoda uproszczona*
21. PN EN ISO 10211-1:1998 *Mostki cieplne w budynkach - Strumień cieplny i temperatura powierzchni - Ogólne metody obliczania*
22. PN EN ISO 10211-2:2002 *Mostki cieplne w budynkach - Strumień cieplny i temperatura powierzchni - Liniowe mostki cieplne*
23. PN EN ISO 14683:2001 *Mostki cieplne w budynkach - Liniowy współczynnik przenikania ciepła - Metody uproszczone i wartości orientacyjne*
24. PN EN ISO 10077-1:2001 *Okna, drzwi i okiennice - Obliczanie współczynnika przenikania ciepła - Metoda uproszczona*
25. PN EN ISO 10077-2:2001 *Okna, drzwi i okiennice - Obliczanie współczynnika przenikania ciepła - Metoda numeryczna dla ram*
26. PN EN ISO 13789:2001 *Właściwości cieplne budynków - Współczynnik strat ciepła przez przenikanie - Metoda obliczania*
27. PN EN ISO 13786:2001 *Właściwości cieplne komponentów budowlanych - Dynamiczne charakterystyki cieplne - Metody obliczania*
28. PN EN ISO 13370:2001 *Właściwości cieplne budynków - Wymiana ciepła przez grunt - metody obliczania*
29. PN-83 / B-03430/Az3:2000 *Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej - Wymagania (Zmiana Az3)*
30. PN ISO 9052-1:1994/A1:1999 - *Akustyka - Określanie sztywności dynamicznej - Materiały stosowane w pływakających podłogach w budynkach mieszkalnych*
31. PN EN ISO 717-1: 1999 *Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Izolacyjność od dźwięków powietrznych*
32. PN EN ISO 717-2: 1999 *Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych*
33. PN EN ISO 11654:1999 *Akustyka - Wyroby dźwiękochłonne używane w budownictwie - Wskaźnik pochłaniania dźwięku*
34. PN EN ISO 15667:2002 *Akustyka - Wytyczne ograniczania hałasu przez obudowy i kabiny*
35. PN EN 12354-1:2002 *Akustyka budowlana - Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów - Część 1 - Izolacyjność od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami*
36. PN EN 12354-2:2002 *Akustyka budowlana - Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów - Część 2 - Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych między pomieszczeniami*

37. PN EN 12354-3:2002 Akustyka budowlana - Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości materiałów - Część 3 - Izolacyjność od dźwięków powietrznych od hałasu zewnętrznego
38. PN EN 12354-4:2002 Akustyka budowlana - Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości produktów - Część 4 - Przenoszenie hałasu wewnętrznego na zewnątrz budynku
39. PN EN 20140-2:1999 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Wyznaczanie, weryfikacja i zastosowanie danych określających dokładność
40. PN EN 20140-3:1999 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomiar laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych elementów budowlanych
41. PN EN 20140-9:1998 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomiar laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych, dla sufitu podwieszanego z przestrzenią nad sufitem, mierzonej pomiędzy dwoma sąsiednimi pomieszczeniami
42. PN EN 20140-10:1994 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomiar laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych małych elementów budowlanych
43. PN EN ISO 140-4:2000 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomiar terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami
44. PN EN ISO 140-5:2000 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomiar terenowe izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych ściany zewnętrznej i jej elementów
45. PN EN ISO 140-6:2000 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomiar laboratoryjne izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów
46. PN EN ISO 140-7:2000 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomiar terenowe izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów
47. PN EN ISO 140-8:2000 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomiar laboratoryjne tłumienia dźwięków uderzeniowych przez podłogi na maszynym stropie wzorcowym
48. PN EN ISO 140-12:2000 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Część 12: Pomiar laboratoryjny izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych podniesionej podłogi pomiędzy dwoma sąsiednimi pomieszczeniami
49. PN-87/B-02151.01 Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach - Wymagania ogólne i środki techniczne ochrony przed hałasem
50. PN-87/B-02151.02 Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach - Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach
51. PN-B-02151-3: 1999 Ochrona przed hałasem w budynkach - Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych - Wymagania
52. PN-B-02153: 2002 Akustyka budowlana - Terminologia, symbole literowe i jednostki