

# Izolacje styropianowe w budownictwie

Styropianowe materiały izolacyjne w budownictwie  
Poradnik dla projektantów

# Spis treści

<b>Informacje wstępne</b>	<b>0</b>
<b>Ekologia</b>	<b>1</b>
<b>Właściwości materiałów budowlanych</b>	<b>2</b>
<b>Podstawy fizyki budowli</b>	<b>3</b>
<b>Dachy strome</b>	<b>4</b>
<b>Stropodachy</b>	<b>5</b>
<b>Ściany zewnętrzne</b>	<b>6</b>
<b>Stropy i podłogi</b>	<b>7</b>
<b>Izolacja fundamentów, drenaż</b>	<b>8</b>

**Informacje wstępne**

<b>Sposób posługiwania się poradnikiem</b>	0.1
<b>Alfabet grecki i jednostki układu SI</b>	0.2
<b>Oznaczenia i skróty</b>	0.3
Wielkości fizyczne i geometryczne	0.3.1
Jednostki i pojęcia matematyczne	0.3.2
Pojęcia budowlane	0.3.3
Terminy ogólne	0.3.4

## Układ ogólny

Poradnik „Izolacje styropianowe w budownictwie”, który trzymacie Państwo w swoich rękach, jest pomyślany jako zbiór kart z informacjami dla projektanta architekta lub konstruktora stosującego w budynku styropian.

Luźno spięte kartki tego poradnika pozwalają na łatwą jego aktualizację i uzupełnianie.

Treść poradnika, z wyłączeniem rozdziału 0, jest podzielona na osiem rozdziałów: w pierwszych trzech znajdują się podstawowe informacje z zakresu fizyki, mechaniki, akustyki itp., w pięciu pozostałych informacje budowlane.

Każdy rozdział jest podzielony na podrozdziały pierwszego i drugiego stopnia. Jeśli podrozdział zawiera więcej niż jedną stronę, to są one kolejno numerowane w obrębie tego podrozdziału (np. 3.2.2. strona 1, 3.2.2. strona 2 itd.).

Kolorowy nagłówek zawiera informacje o zawartości rozdziału lub podrozdziału, a także jego numer zgodny ze spisem treści. Pod nagłówkiem mogą znajdować się dalsze informacje o zawartości danej strony.

Aby umożliwić użytkownikom poradnika wykorzystanie zawartych tu informacji w postaci folii wyświetlanego na rzutnikach pisma, załączone rysunki wykonane zostały w dużej skali. W trosce natomiast o dobrą czytelność rysunków, grubości pokazanych tu warstw materiałowych nie zawsze są utrzymane w tej samej skali.

## Tekst i rysunki

Czytelność tekstu starano się poprawić poprzez różnego rodzaju wytyłuszczenia, podział na kolumny i przesunięcia, a także poprzez odpowiednie rozdzielenie tekstu rysunkami.

Wszystkie ilustracje, diagramy, tabele i tablice są określane jako rysunki i jednolicie oznakowane małą ramką (□). Każdy rysunek posiada swój numer składający się z numeru podrozdziału, w którym się znajduje, dalej kreski ukośnej i kolejnej liczby (np. □ 3.2.2/4).

Ponieważ rysunki nie są opatrzone podpisami, to wyjaśnienie na ich temat należy szukać w tekście otaczającym rysunek.

Na rysunkach zawierających fragmenty budynku, w lewym dolnym rogu umieszczono symbol, który pozwala odtworzyć położenie tego elementu w budynku. Oznaczenia symboli:

 przekrój poziomy, rzut poziomy

 przekrój pionowy

 widok z góry powierzchni poziomej

 widok płaszczyzny pionowej  
(np. elewacji)

 widok przestrzenny  
(aksonometria, perspektywa)

Wszystkie rysunki zawierające elementy konstrukcyjne budynku są oznaczone zgodnie z przyjętymi w budownictwie zasadami, tj. linie przekrojowe są pogrubione, a płaszczyzny przecięcia są oznaczone zgodnie z rodzajem materiału w tym miejscu.

Wszystkie oznaczenia i skróty stosowane w tekście i na rysunkach zestawiono w rozdziale nr 0.3.

## Treść

Aby umożliwić użytkownikowi wygodne posługiwanie się kartami wyjętymi z poradnika i aby informacja na nich zawarta była kompletna, bez konieczności sięgańia do innych części, zdecydowano się dopuścić do powtarzania się w tekście pewnych informacji lub rysunków.

Niektóre informacje zawarte w początkowych rozdziałach ogólnych mogą mieć dla projektantów architektury lub konstrukcji znaczenie marginalne, ale ich umieszczenie miało sens dla pełnego opisu zjawiska lub wielkości fizycznej.

Przedstawione w poradniku elementy konstrukcyjne mają znaczenie ilustracyjne, jako przykłady do omawianych zagadnień. W przypadku stosowania podanych w poradniku rozwiązań w praktyce muszą być one każdorazowo adaptowane do konkretnych warunków funkcjonalno-konstrukcyjnych i odpowiednio modyfikowane.

**Alfabet grecki**

	<b>Litera</b> duża	<b>Litera</b> mała	<b>Nazwa</b>
A		$\alpha$	alfa
B		$\beta$	beta
Γ		$\gamma$	gamma
Δ		$\delta$	delta
E		$\varepsilon$	epsilon
Z		$\zeta$	dzeta
H		$\eta$	eta
Θ		$\vartheta$	theta
I		$\iota$	jota
K		$\kappa$	kappa
Λ		$\lambda$	lambda
M		$\mu$	mi
N		$\nu$	ni
Ξ		$\xi$	ksi
O		$\circ$	omikron
Π		$\pi$	pi
P		$\rho$	ro
Σ		$\sigma$	sigma
T		$\tau$	tau
Y		$\upsilon$	ypsilon
Φ		$\phi$	fi
X		$\chi$	chi
Ψ		$\psi$	psi
Ω		$\omega$	omega

**Jednostki podstawowe**

<b>Wielkość</b>	<b>Jednostka</b>		<b>Objaśnienie</b>
	nazwa	oznaczenie	
długość	metr	m	
masa	kilogram	kg	
czas	sekunda	s	
temperatura	kelwin	K	1kg = 1000g

**Jednostki pochodne**

<b>Wielkość</b>	<b>Jednostka</b>		<b>Objaśnienie</b>
	nazwa	oznaczenie	
siła	niuton	N	
naprężenie	niuton/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	1N = 1 kgm/s <sup>2</sup>
ciśnienie	pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>
praca	dżul	J	1 J = 1 Nm
energia	dżul	J	1 J = 1 Ws
moc	wat	W	1 W = 1 J/s
częstotliwość	herc	Hz	1 Hz = 1/s

# 0.3.1

## Oznaczenia i skróty Wielkości fizyczne i geometryczne

### Oznaczenia wielkości fizycznych i geometrycznych

#### Główne oznaczenia łacińskie

A	- pole powierzchni - przekrój
a	- odległość
b	- szerokość - aktywność cieplna materiału
C	- pojemność cieplna
c	- ciepło właściwe
d	- grubość
d <sub>o</sub>	- grubość pod obciążeniem
d <sub>p</sub>	- grubość początkowa
d <sub>z</sub>	- grubość w miejscu zebra
E	- moduł sprężystości
e	- rozstaw, odstęp
F	- siła
F <sub>o</sub>	- siła stała
f	- częstotliwość
f <sub>o</sub>	- częstotliwość własna
f <sub>g</sub>	- częstotliwość graniczna
f <sub>r</sub>	- wytrzymałość na rozciąganie
f <sub>s</sub>	- wytrzymałość na ściskanie
G <sub>O</sub>	- ilość odsychającego kondensatu
G <sub>s</sub>	- ilość kondensatu
g	- gęstość strumienia dyfuzji pary wodnej
L	- poziom dźwięku
L <sub>A</sub>	- ważony poziom dźwięku
L <sub>n</sub>	- poziom uderzeniowy znormalizowany
L <sub>n,w</sub>	- wskaźnik ważony poziomu uderzeniowego znormalizowanego
L <sub>n,eq,0,r</sub>	- równoważny ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego
I	- długość
m	- masa
m'	- masa powierzchniowa
N	- poziom głośności

p	- ciśnienie rzeczywiste pary wodnej - ciśnienie dźwięku
p <sub>o</sub>	- ciśnienie odniesienia
p <sub>s</sub>	- ciśnienie w stanie nasycenia
Q	- ciepło
Q <sub>s</sub>	- zakumulowana energia cieplna
R	- izolacyjność akustyczna właściwa
R <sub>i,e</sub>	- opór przejmowania ciepła na powierzchni przegrody odpowiednio wewnętrznej i zewnętrznej
R <sub>w</sub>	- ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej
R <sub>T</sub>	- całkowity opór przenikania ciepła
S	- głośność
s'	- sztywność dynamiczna
s <sub>d</sub>	- równoważna pod względem dyfuzyjnym grubość warstwy powietrza
T	- temperatura
T <sub>s</sub>	- temperatura punktu rosy
t	- czas
t <sub>s</sub>	- czas trwania kondensacji
t <sub>o</sub>	- czas trwania wysychania
U	- współczynnik przenikania ciepła
U <sub>śr</sub>	- średni współczynnik przenikania ciepła
U <sub>r</sub>	- wartość U dla ramy okna
U <sub>sz</sub>	- wartość U dla szyb okiennych
u	- wilgotność
u <sub>m</sub>	- wilgotność masowa
u <sub>v</sub>	- wilgotność objętościowa
V	- objętość
W	- zawartość pary wodnej
W <sub>s</sub>	- zawartość pary wodnej w stanie nasycenia
w	- zawartość wody
Z <sub>p</sub>	- opór dyfuzyjny

#### Główne oznaczenia greckie

α	- współczynnik przejmowania ciepła
α <sub>T</sub>	- współczynnik rozszerzalności termicznej
β	- wytrzymałość
δ	- współczynnik przepuszczania pary wodnej
Δ...	- różnica..., zmiana..., odchyłka..., przyrost...
ε	- wydłużenie względne
ε <sub>s</sub>	- skurcz jednostkowy
ξ	- porowatość
σ	- naprężenie
λ	- współczynnik przewodzenia ciepła
μ	- współczynnik oporu dyfuzyjnego
ρ	- gęstość
φ	- wilgotność względna powietrza

**Oznakowanie jednostek i symbole matematyczne**

<b>Jednostki</b>	<b>Pozostałe</b>	<b>Znaki matematyczne</b>	
a - rok	% - procent	+	- plus
°C - stopień Celsjusza	%o - promil	-	- minus
d - dzień	ppm - liczba cząstek w milionie	•	- pomnożyć
dB - decybel	ppb - liczba cząstek w bilionie	:	- podzielić
g - gram	ppt - liczba cząstek w trylionie	=	- równy
h - godzina		≈	- w przybliżeniu równy
Hz - herc		<	- mniejszy
J - dżul		>	- większy
K - kelwin		≤	- mniejszy lub równy
l - litr		≥	- większy lub równy
m - metr		<<	- znacznie mniejszy
m <sup>2</sup> - metr kwadratowy		>>	- znacznie większy
m <sup>3</sup> - metr sześcienny		Σ	- suma
min - minuta		⇒	- z tego wynika
N - niuton		...	- aż do
Pa - paskal		log	- logarytm dziesiętny
rad - radian		ln	- logarytm naturalny
s - sekunda		sin	- sinus
t - tona		cos	- cosinus
W - wat		tg	- tangens
° - stopień		c tg	- cotangens
' - minuta			
'' - sekunda			

**Krótkości lub ułamki dziesiętne**

E - eksa	10 <sup>18</sup>
P - peta	10 <sup>15</sup>
T - tera	10 <sup>12</sup>
G - giga	10 <sup>9</sup>
M - mega	10 <sup>6</sup>
k - kilo	10 <sup>3</sup>
h - hekto	10 <sup>2</sup>
da - deka	10 <sup>1</sup>
d - decy	10 <sup>-1</sup>
c - centy	10 <sup>-2</sup>
m - mili	10 <sup>-3</sup>
μ - mikro	10 <sup>-6</sup>
n - nano	10 <sup>-9</sup>
p - pikko	10 <sup>-12</sup>
f - femto	10 <sup>-15</sup>
a - atto	10 <sup>-18</sup>

# 0.3.3

## Oznaczenia i skróty Terminy budowlane

strona 1

### Przyjęte oznaczenia graficzne w budownictwie

1	2	3	4	5	6	materiały naturalne (ziemia + kamień)
grunt rodzimy	żwir $\phi \dots$	piasek $\phi \dots$	wypełnienie gruntem żwir $\phi 16\dots32$	grunt	skała rodzima (wykop)	
7	8	9	10	11	12	mury ceglane i kamienne
mur ceglany lub kamienny, mrozooodporny o podwyższonej wytrzymałości - kamionka	mur ceglany lub kamienny zwykły	mur z materiału porowatego	mur z materiału pumeksowego	mur z betonu porowatego	mur z łyptka	
13	14	15	16	17	18	żelbet i beton niezbrojony
żelbet	beton niezbrojony B5, B10	beton wodoszczelny				
19	20	21	22	23	24	prefabrykaty zbrojone i niezbrojone z betonu lub murowane
prefabrykat ze żwirowanego betonu lub murowany	prefabrykat z lekkiego betonu	prefabrykat z powłoką	prefabrykat z betonu pumeksowego	prefabrykat z betonu porowatego		
25	26	27	28	29	30	zaprawa, tynk, jastrz, suchy tynk, płyty gipsowo-kartonowe, lany asfalt, masa do wypełnienia spoin, masa szpachlowa na bazie bitumicznej
zaprawa, tynk lub jastrz, poduszka piaskowa szpachlówka stolarska	nośnik tynku zbrojenie tynku	lekka zaprawa tynk izolacyjny zaprawa izolacyjna	płyta gipsowo-kartonowa suchy tynk	lany asfalt masa do wypełnienia spoin masa szpachlowa na bazie bitumicznej	izolacja z masy bitumicznej	
31	32	33	34	35	36	warstwa wyrównująca, warstwa klejąca, warstwa izolacyjna, izolacja przeciwwilgociowa, odpowietrzenie, warstwa rozdzielcza
obrzut (warstwa wyrównująca)	warstwa klejąca na całej powierzchni punktowo	warstwa izolacyjna uszczelnienie	izolacja przeciwwilgociowa bitumiczna powłoka przeciwwilgociowa	warstwa wyrównująca ciśnienie pary wodnej (odpowietrzenie)	warstwa rozdzielcza wykładzina rozdzielcza	
37	38	39	40	41	42	warstwy rozdzielcze i ochronne z tworzywa sztucznego
powłoka z tworzywa sztucznego zbrojona tkaniną	spawane połączenie jednorodne	powłoka przeciwwilgociowa z tworzywa sztucznego	powłoka ochronna/rozdzielcza z tworzywa sztucznego	warstwa ochronna		

### Przyjęte oznaczenia graficzne w budownictwie (cd.)

43	44	45	46	47	48	
						materiały, warstwy izolacyjne, filtracyjne, uszczelniające, elastyczne
izolacja termiczna styropianowa	izolacja akustyczna styropianowa	styropianowa warstwa drenująca	tkanina filtracyjna mata filtracyjna (geowlóknina)	warstwa filtracyjna styropianowa warstwa drenująca	materiał trwale plastyczny	
49	50	51	52	53	54	
						nawierzchnie podłogowe
płytki ceramiczne kamionka klinkier	wykończeniowy element betonowy	kamień naturalny	posadzka drewniana	wykładzina dywanowa	linoleum wykładzina z PCW wykładzina gumowa	
55	56	57	58	59	60	
						drewno, materiały drewnopochodne i drewno- cementowe
drewno w przekroju wymiary w cm	przekrój poprzeczny elementu z drewna klejonego wymiary w cm	desk, bale, kantówki	deskie łączone na pióro i wput	przekrój podłużny drewna	płyta stolarska, wiórowa, sklejka, wiórwo- cementowa	
61	62	63	64	65	66	
						gwóździe, śrubę, kołek rozporowy, metal
gwóźdź	gwóźdź śrubowy, śruba z łączem wpuszczanym	śruba z łączem soczewkowym	śruba z łączem półokrągłym	śruba z łączem półokrągłym w kołku rozporowym	metal	
67	68	69	70	71	72	
						fornir, połączenia stolarskie
fornir płyta stolarska opaska klejona	spoина klejona	połączenie kołkowe	obce pióro	wczepy trapezowe	czop odsadzony	
73	74	75	76	77	78	
						dane na temat poziomów
powierzchnia podłogi	powierzchnia konstrukcji stropu	rzędna wysokości na rzucie poziomym	płaszczyzna przekroju z zaznaczonym kierunkiem			
79	80	81	82	83	84	
						dane na temat kierunków
kierunek wzroszenia przy schodach i rampach	kierunek spadku podany w procentach	przepływ wody przepływ pary wodnej	ruch powietrza	przepływ ciepła mostek cieplny	przechodzenie dźwięku mostek akustyczny	



**Ekologia**

**Problemy ekologiczne 1.1**

Środowisko naturalne 1.1.1

Budynki a ochrona środowiska 1.1.2

Ekologiczna ocena materiałów budowlanych 1.1.3

**Ekologiczna ocena styropianu 1.2**

Produkcja 1.2.1

Przetwarzanie, zastosowanie, trwałość materiału 1.2.2

Bezpieczeństwo pożarowe 1.2.3

Odzysk materiału, usuwanie odpadów 1.2.4

**Literatura i normy 1.3**

# 1.1.1

## Problemy ekologiczne Środowisko naturalne

### Człowiek i jego środowisko

Pozyskiwanie z otoczenia surowców naturalnych, ich przetwarzanie na materiały i wyroby użytkowe to podstawowe cechy rozwoju materialnego ludzkiej cywilizacji.

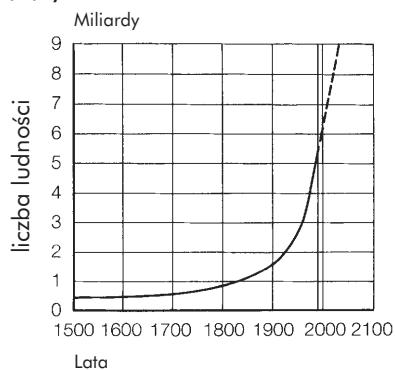
Postęp cywilizacyjny obserwowany w ostatnim okresie spowodował tak ogromną koniunkturę produkcyjną, że wywołało to nieśluchane obciążenie dla środowiska naturalnego. W swoim otoczeniu, składającym się z powietrza, gruntu i wody, człowiek spowodował nieodwracalne zmiany, wyrządził szkody systemom fauny i flory, a to w efekcie stworzyło zagrożenie dla podstaw funkcjonowania rodzaju ludzkiego w zmodyfikowanych warunkach.

Człowiek faktycznie przejął panowanie nad światem, zapominając przy tym, że powierzchnia mu również opiekę nad światem i troskę o jego stan.

Następstwem działalności ludzi jest więcingerencja i uszkodzenie ziemskiego ekosystemu, a także ekosystemów lokalnych. W dobrze funkcjonującym ekosystemie wszystkie organizmy wzajemnie się uzupełniają, żyjąc dzięki niewyczerpalnej energii słonecznej są w stanie objąć w posiadanie i utrzymać swoje naturalne środowisko. Szczególną cechą zrównoważonych ekosystemów jest ich zdolność dostosowania się do nowych warunków, wynikająca ze współdziałania wszystkich jego części składowych. Ingerencja w ekosystem i jego równowagę niszczy te możliwości; skutki takiego działania ujawniają się często dopiero po wielu latach i są zwykle nieodwracalne.

Wpływ człowieka na środowisko naturalne jest dodatkowo wzmacniany gwałtownym wzrostem populacji ludzkiej, mającym swój początek w połowie XX wieku, → □ 1.1.1/1. Podczas gdy w roku 1950 żyło na Ziemi ok. 2,5 miliarda ludzi, to w roku 1999 było już ok. 6 miliardów, a prognozy ONZ przewidują na 2025 rok 8,5 miliarda ludzi. Oznacza to, że każdego dnia przybywa na Ziemi 200 000 ludzi; 95% tego przyrostu ma miejsce w krajach rozwijających się.

### 1.1.1/1



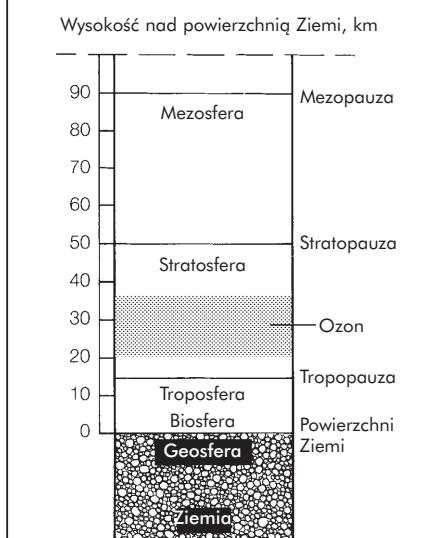
### Sygnały zagrożenia

Wiele sygnałów wskazuje na to, że w atmosferze ziemskiej → □ 1.1.1/2 zaszły nieodwracalne zmiany jej składu, podobne efekty obserwować można także w wodzie i gruncie.

Obciążenie środowiska naturalnego, zniszczenia i zmiany manifestują się obecnie na wiele sposobów:

- szkodliwy ozon w troposferze ziemskiej (letni smog) w wyniku emisji szkodliwych substancji przemysłowych i samochodowych przy intensywnym promieniowaniu słonecznym i bezwietrznej pogodzie
- niszczenie ochronnej warstwy ozonu w stratosferze (dziura ozonowa) w skutek emisji freonów (CFC) z różnego rodzaju urządzeń technicznych
- efekt cieplarniany w atmosferze ziemskiej i stopniowy wzrost temperatury na powierzchni Ziemi wskutek emisji gazów cieplarnianych, takich jak dwutlenek węgla, metan, tlenek azotu i freon
- wyczerpywanie surowców naturalnych w geosferze i biosferze
- nadmierne nasycenie gruntów nawozami
- skażenie ziemi substancjami toksycznymi i radioaktywnymi
- wyręb lasów tropikalnych
- umieranie lasów
- wyginięcie wielu gatunków dzikich zwierząt
- zanieczyszczenie wód powierzchniowych
- stan zagrożenia śmieciami i odpadami
- sposób traktowania i składowania odpadów specjalnych.

### 1.1.1/2



### Przyczyny zagrożeń

Przyczyny narastania zagrożeń środowiskowych i ekologicznych są różne dla słabob rozwiniętych krajów południa i uprzemysłowionych krajów północy.

W krajach rozwijających się przełudnienie, bieda i głód wywołują nierozważne eksploatowanie natury, natomiast w krajach uprzemysłowionych niszczenie środowiska jest powodowane przez:

- przyśpieszanie postępu technicznego
- dążenie do utrzymywania ciągłego wzrostu
- faworyzowanie zasad i racji ekonomicznych
- poszerzanie dobrobytu i maksymalizowanie luksusu
- nieograniczone powiększanie przestrzeni życiowej.

### Poszukiwanie rozwiązań

Człowiek będzie zawsze poszukiwał zdrowego powietrza, urodzajnej ziemi, czystej wody i nieskażonej fauny i flory. W swoich dążeniach do bezpiecznego bytowania musi on więc złożyć wysiłki, aby umożliwić środowisku regenerację. Dla wszystkich problemów natury ekologicznej charakterystyczna jest ich kompleksowość, intensywne powiązania, zależności i wzajemne wpływy. Tak więc rozwiązywanie tych problemów będzie wymagało również ogólnej ekologicznej strategii, a nie tylko ograniczonych, doraźnych działań.

W celu przewyciężenia kryzysu ekologicznego i ratowania środowiska naturalnego należy zdefiniować szereg nowych zadań i celów:

- zmniejszenie dynamiki rozwojowej
- zatrzymanie wzrostu liczby ludności
- zmiana naszego stylu życia w dobrobycie
- wzmocnienie świadomości o odpowiedzialności za środowisko
- priorytaty ekologicznego punktu widzenia nad ekonomicznym
- ekologiczne bilansowanie obiegu materiałów
- oszczędzanie surowców naturalnych
- oszczędne użytkowanie energii, wykorzystanie źródeł odnawialnych, rozwój technik solarnych
- technologie przyjazne dla środowiska
- minimalizacja ryzyka i zagrożeń w procesach produkcyjnych
- obieg wyrobów w gospodarce, utylizacja odpadów
- minimalizacja ilości odpadów zamiast usuwania odpadów
- utrzymanie czystości wód

## Informacje ogólne

Człowiek, tak jak i inne stworzenia potrzebuje miejsca, które zapewni mu ochronę przed wpływami otoczenia. Upał i mróz, deszcz i śnieg, słońce i wiatr tworzą zespół warunków zewnętrznych, które miały decydujący wpływ na kształtowanie siedzib ludzkich. Dążenie do dłuższego zamieszkiwania w lepszych warunkach spowodowało, że ciemna pieczara czy jama w ziemi została zastąpiona wymyślnymi formami budynków wzroszonych obecnie. Spełnienie ludzkiej potrzeby do ochrony i mieszkania znaczy także, że dokonywana jest ingerencja w krajobrazie, zakłócanym jest lokalny ekosystem, pojawiają się zanieczyszczenia itp. Tak więc budownictwo i ochrona środowiska są ze sobą powiązane w trudny do pogodzenia sposób. Budownictwo wymaga zawsze uwzględniania zasad ochrony natury i oszczędzania środowiska: „**Dom należy budować tak, aby nie ranił natury**” (Karen Terry). W krajach słabo uprzemysłowionych wznosi się budynki w zgodzie z naturą, podczas gdy w krajach wysoko rozwiniętych załatwiaj bez uwzględniania wymagań środowiska i zagrożeń ekologicznych, czyniąc rzeczy niemożliwe możliwymi. Lekczenia lokalnych warunków klimatycznych doprowadziło do ogromnego wyeksploatowania surowców naturalnych i wielkiego zapotrzebowania na energię. 25% ludności naszego globu zużywa dziś 75% wytwarzanej energii. Szkody wyrządzane przez budynek środowiska i związane z tym zagrożenia ekologiczne muszą być obecnie traktowane i uwzględniane jako niezbędne parametry projektowe obiektu.

Zasadnicze cele zrównoważonego rozwoju budownictwa to:

- minimalizacja ingerencji w lokalny ekosystem
  - minimalizacja szkód środowiskowych
- Muszą one być realizowane poprzez następujące środki zapobiegawcze:
- osadzoną w klimacie architekturę, zachowanie roślinności naturalnej i zwierząt
  - redukcję zapotrzebowania na energię, właściwą orientację budynku, użycie efektywnych systemów grzewczych, wykorzystanie źródeł odnawialnych, poprawę izolacyjności termicznej
  - stosowanie materiałów o walorach ekologicznych, oszczędniejszy obieg surowców, przyjazny dla środowiska produkcję materiałów, niebudzące zastrzeżeń i dające się odzyskiwać materiały
  - minimalizację odpadów
  - oszczędzanie wody.

## Emisja dwutlenku węgla

Naturalny efekt cieplarniany występuje w atmosferze ziemskiej w skutek obecności w jej składzie takich gazów jak dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ) i metan ( $\text{CH}_4$ ). Dzięki niemu zamiast temperatury  $-18^\circ\text{C}$  średnia temperatura powietrza w pobliżu powierzchni Ziemi wynosi około  $+15^\circ\text{C}$ .

Poprzez spalanie nośników energii, urbanizację wielkich powierzchni lądów oraz stosowanie uciążliwych dla środowiska substancji emitowane są do atmosfery gazy, które powodują dodatkowy efekt cieplarniany i zakłócenia w ekosystemie ziemskim → 1.1.2/1

zmiany w emisji zanieczyszczeń w Polsce, a w tabeli → 1.1.2/3 strukturę pozyskiwania energii pierwotnej.

Na produkcję materiałów budowlanych, wznoszenie budynków i ich ogrzewanie zużywa się ok. 49% wytworzanej energii. Ogrzewanie budynków jest najważniejszą częścią składową tej wielkości. Skuteczne izolowanie termiczne przegród przy wznoszeniu nowych budynków, jak również przy renowacji budynków istniejących daje więc najlepsze możliwości redukcji emisji dwutlenku węgla związanej z budownictwem → 1.1.2/4.

### 1.1.2/1 Efekt cieplarniany na świecie

przyczyna	emisja gazów		udział
wykorzystanie paliw kopalnych do wytwarzania ciepła, prądu i paliw napędowych dla przemysłu, komunikacji i użytku domowego	dwutlenek węgla metan tlenek węgla tlenek azotu	$\text{CO}_2$ $\text{CH}_4$ CO $\text{NO}_x$	40% 10%
wyrob lasów tropikalnych	dwutlenek węgla metan tlenek węgla tlenek azotu	$\text{CO}_2$ $\text{CH}_4$ CO $\text{N}_2\text{O}$	10% 5%
rolnictwo (nawożenie, hodowla bydła) składowanie odpadów itp.	dwutlenek węgla metan tlenek azotu	$\text{CO}_2$ $\text{CH}_4$ $\text{N}_2\text{O}$	15%
wytwarzanie szkodliwych substancji	freony	CFC	20%

Dwutlenek węgla jest zasadniczą przyczyną (40%) efektu cieplarnianego wywołanego przez człowieka. Jego emisja jest w istotnym stopniu związana z procesami pozyskiwania energii. W tabeli → 1.1.2/2 przedstawiono

**Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania można najkorzystniej ograniczyć poprzez zastosowanie systemów izolacyjnych wykorzystujących styropian.**

### 1.1.2/2 Zmniejszenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery (względem roku 1989), %

	1996	1998
$\text{CO}_2$	98.8	90.2
$\text{SO}_2$	59.7	51.8
$\text{NO}_x$	78.1	57.7
pyły	21.5	12.7

### 1.1.2/3 Struktura zużycia energii pierwotnej w Polsce, %

węgiel kamienny	50.64
węgiel brunatny	13.99
ropa naftowa	20.20
gaz ziemny	10.19
biomasa, wiatr, energia geotermalna itp.	4.98

### 1.1.2/4 Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania oraz emisja $\text{CO}_2$

budynki	energia		emisja $\text{CO}_2$ kg/( $\text{m}^2\text{a}$ )
	kWh/( $\text{m}^2\text{a}$ )	kWh/( $\text{m}^3\text{a}$ )	
źle izolowane	350	135	90
zgodnie z normą z 1982 roku	280-300	106	40
Dz. U. Nr 75/2002 Poz. 690	75-100	29-37	20-25
energooszczędne	35-60	11-23	3-6

# 1.1.3

## Problemy ekologiczne Ekologiczna ocena materiałów budowlanych

### Uwagi ogólne

Od ponad dwudziestu lat wiadomo już, że podczas produkcji i użytkowania wielu różnych wyrobów emitowane są do środowiska substancje toksyczne. Mogą one wywoływać nieodwracalne zmiany w środowisku naturalnym, a także mieć bezpośredni wpływ na zdrowie człowieka. Konieczne jest więc uwzględnienie tych efektów w procesach produkcji i obrotu wyrobami przemysłowymi. Nie można zaniedbać aspektów zdrowotnych i środowiskowych w konfrontacji z decyzjami natury technicznej i ekonomicznej.

W budownictwie oznacza to, że przy wyborze materiałów należy zwracać baczną uwagę na ich parametry środowiskowe i zdrowotne. Ekologiczna ocena materiału budowlanego polega na określeniu jego wpływu na człowieka i środowisko we wszystkich fazach trwania, od produkcji do rozkładu → **1.1.3/1**.

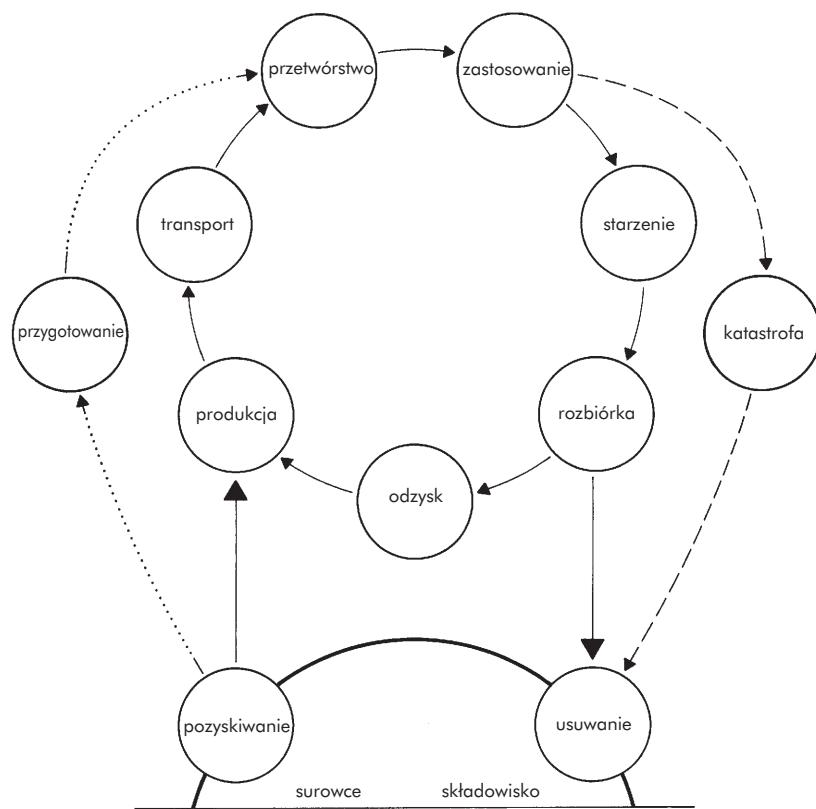
Właściwości materiału mają istotne znaczenie zarówno dla środowiska naturalnego jak i zdrowia człowieka. Ze względu na wiele wątpliwości i znaków zapytania nie jest wciąż jeszcze możliwa klasyfikacja materiałów w tym zakresie przy użyciu np. jednej liczby, zawierającej pełną ocenę ekologiczną. Stosowana jest natomiast w tym celu tzw. ścieżka ekologiczna, obejmująca wszystkie fazy istnienia materiału, i pozwalająca rozróżnić materiały przyjazne i niebezpieczne. Tego typu ocena powinna być łatwo dostępna dla wszystkich potencjalnych użytkowników wyrobu.

### Kryteria oceny

Ekologiczna ocena materiałów budowlanych składa się z następujących kryteriów środowiskowo-zdrowotnych (por. → **1.1.3/1**):

- oszczędne wykorzystanie surowców naturalnych - ochrona surowców kopalnych, wykorzystanie zasobów odnawialnych, bezpieczne pozyskiwanie surowców
- likwidacja niebezpiecznych skażeń produkcyjnych - minimalizacja toksycznej emisji do środowiska w fazie produkcji, unikanie groźnego dla ludzi skażenia w przypadku awarii
- oszczędność energii - redukcja nakładów energetycznych na produkcję, transport i przetwórstwo, optymalizacja energetyczna procesu produkcyjnego, ograniczenie zużycia paliw kopalnych
- bezpieczeństwo biologiczne - brak zagrożeń biologicznych podczas produkcji i po wbudowaniu materiału, pozytywny wpływ na samopoczucie i zdrowie człowieka
- oszczędność energii do ogrzewania - zastosowanie styropianu wpływa na obniżenie zapotrzebowania budynku na energię
- ocena trwałości materiału - duża żywotność materiału bez utraty właściwości, możliwość powtórnego stosowania
- zachowanie materiału w przypadku katastrofy - brak zagrożenia toksyczną emisją
- odzysk materiału - łatwość demontażu czy rozbiórki, możliwość powtórnego użycia
- zmniejszenie składowisk odpadów - minimalizacja odpadów przy wbudowaniu, bezpieczne składowanie odpadów w zwykłych warunkach bez konieczności tworzenia specjalnych składowisk.

### 1.1.3/1



## **Styropian**

Styropian powstaje poprzez ekspandonianie (spienianie) polistyrenu do spieniania.

Pierwszy etap produkcji to podgrzewanie polistyrenu zawierającego w po-rach pentan w środowisku pary wodnej. Rozszerzanie się pentanu powoduje spienianie polistyrenu i w efekcie otrzymuje się granulki spienionego polistyrenu o zamkniętych po-rach. Po okresie sezonalowania w spe-cjalnych formach następuje etap końcowego spieniania i łączenia lu-żnych granulek w zwarte bloki materiału nazywanego powszechnie styropia-nem. Nie stosuje się tu jako środka spieniącego szkodliwego dla atmo-sfery freonu.

## **Pentan**

Pentan, używany jako środek spieniający przy produkcji styropianu, należy do grupy węglowodorów naświetlonych. Związkii tego typu nie stanowią obciążenia dla środowiska. Są one stale uwalniane do atmosfery z naturalnych źródeł, ulegają jednak wciąż także naturalnemu rozkładowi.

Pentan, który jest stosowany jako środek spieniający od początku produkcji styropianu, to lotna ciecz, naturalny składnikropy naftowej. Pentan uwolniony do atmosfery podczas produkcji jest, przy udziale pary wodnej i promieniowania słonecznego, rozkładany w reakcji foto-chemicznej na wodę i dwutlenek węgla. Czas połowicznego rozpadu pentanu jest krótki (2-3 dni), stąd więc nie dochodzi do powstawania w atmosferze jego wyso-kich stężeń → □ 1.2.1/1.

Pentan nie jest szkodliwy dla ochronnej warstwy ozonowej, bo ze względu na swoją niewielką trwałość nie dociera do wysokich warstw atmosfery. Pentan ulega szybkiemu rozkładowi również w gruncie i wodzie. W efekcie więc, pentan nie tylko nie obciąża środowiska, ale prowadzi do zmniejszenia stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze (dzięki wieloletniej redukcji zapotrzebo-wania na energię, niezbędną do ogrzewa-nia domów).

## **Energia pierwotna**

Ilość energii, jaka potrzebna jest do wy-produkowania jednego metra sześciennego styropianu, włącznie z energią po-trzebną na pozyskanie surowców i ich transport, wynosi zależnie od gęstości produktu 150 do 270 kWh → □ 1.2.1/2. Obniżenie zapotrzebowania na energię, wynikające z wbudowania styropianu w budynek w postaci izolacji cieplnej ścian, podłóg lub dachu, sprawia, że okres amortyzacji takiej inwestycji jest zwykle krótszy niż sześć miesięcy.

## **1.2.1/1**

### **Stężenie różnych substancji w atmosferze**

substancja	stężenie ppb
dwutlenek węgla	CO <sub>2</sub>
metan	CH <sub>4</sub>
pentan	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>

## **1.2.1/2**

zastosowanie	typ materiału	styropian zapotrzebowanie na energię pierwotną, kWh/m <sup>3</sup>
dach stromy: izolacja między krokwiami na krokwiach	EPS 70 EPS 100	151 190
dach płaski	EPS 100	190
system ocieplania zewnętrznego ścian	EPS 70	151

# 1.2.2

## Ekologiczna ocena styropianu Przetwarzanie, zastosowanie, trwałość materiału

### Przetwarzanie

Procesy przetwarzania spienionego polistyrenu nie stwarzają żadnego zagrożenia dla zdrowia ludzkiego. Na miejscu budowy, podczas cięcia, piłowania czy wiercenia w tym materiale nie występują żadne zagrożenia związane z pyleniem i wdychaniem drobin materiału lub innymi podrażnieniami.

Płyty styropianowe i różnego rodzaju pianki styropianowe są produkowane i stosowane od ponad pół wieku. Kilkudziesiąt lat doświadczeń ze styropianem pozwala wyciągnąć wniosek, że to bezpieczny, trwały i przyjazny dla ludzi wybór budowlany.

### Mikroklimat wnętrza mieszkalnego

Warunki zdrowotne w pomieszczeniu mieszkalnym zależą od całego szeregu parametrów, m.in. od temperatury i wilgotności powietrza wewnętrznego, temperaturyewnętrznych powierzchni przegród pomieszczenia (por. rozdział: Fizyka budowli), dopływu świeżego powietrza, a także zdolności pomieszczenia do „wygładzania” wahania wilgotności.

Niezbędna, z powodów medycznych i higienicznych, wymiana zużytego powietrza, połączona jednocześnie z odprowadzaniem nadmiaru pary wodnej wytwarzanej w pomieszczeniu, może się odbywać jedynie poprzez odpowiednią wentylację wnętrza. Ilość pary wodnej, jaka może zostać usunięta na drodze dyfuzji przez zewnętrzne przegrody pomieszczenia, wynosi tylko ok. 1% całkowitej ilości pary wytwarzanej we wnętrzu mieszkaniowym → □ 1.2.2/1. Nieprawdziwe są opinie, że ściany "oddychają". Mikroskopijna ilość pary wodnej przedostającej się przez ściany nie ma praktycznie żadnego znaczenia dla bilansu wilgoci w pomieszczeniu.

### 1.2.2/1

temp. powietrza zewn.	strumień pary wodnej [g/h] odprowadzonej z pomieszczenia poprzez	
°C	dyfuzję	wentylację
-20	5.5	436
-10	4.8	378
0	3.2	242
+19	0.4	15

Przy prawidłowo działającej wentylacji i związanej z tym dostawie świeżego powietrza i usuwaniem wilgoci, izolacyjność termiczna ścian zewnętrznych ma decydujący wpływ na temperaturę we wnętrzu. Ważnym czynnikiem komfortu cieplnego jest temperaturaewnętrznej powierzchni przegród. Powinna ona być w każdych warunkach wyższa niż temperatura punktu rosy. Ten warunek można łatwo zrealizować stosując styropian jako izolację termiczną przegród.

W celu utrzymania odpowiednich pod względem zdrowotnym warunków klimatycznych we wnętrzu, konieczne jest również zapobieganie wykraplaniu pary wodnej w przegrodach. Poprzez właściwe zastosowanie styropianu, którego właściwości dyfuzyjne są zbliżone do np. płyt pilśniowej, można zrealizować optymalne warunki dla ochrony przed zawilgoceaniem przegród zewnętrznych.

### Bezpieczeństwo biologiczne

Wpływ styropianu na żywe organizmy był przedmiotem wszechstronnych badań, prowadzonych przez niemiecki Instytut Badań Bio-budowlanych w Karlsfeld. We wnioskach stwierdzono, że styropian jest produktem neutralnym pod względem biologicznym. Na tej podstawie styropian został dopuszczony m.in. jako materiał do opakowań na żywność.

### Materiał na opakowania

Zastosowanie styropianu jako materiału na opakowania jest niezwykle szerokie. Ze styropianu produkować można opakowania o niemal dowolnej formie. Ogromna łatwość wytwarzania skomplikowanych kształtów ze styropianu jest tu zasadniczą zaletą tego materiału. Dzięki użebrowaniu opakowania, na jego wytworzenie zużywa się jedynie minimalne ilości surowców. Ze styropianu bardzo łatwo produkuje się również elastyczne, amortyzujące wkładki do innych opakowań. Najważniejsze obszary zastosowania styropianu jako materiału na opakowania to:

- opakowanie ochronne na delikatne wyroby
- opakowania utrzymujące świeżość lub niską temperaturę nietrwałych produktów żywnościowych
- przekładki ładunkowe
- palety transportowe

Opakowania ze styropianu nadają się do całkowitego odzysku i ponownego użycia. W Niemczech np. ocenia się, że gdyby opakowania ze styropianu zostały zastąpione w całości innymi materiałami, to konieczne byłoby użycie o 540% więcej surowców, 100% więcej energii, cena opakowań wzrosłaby o 30%, a objętość odpadów o 20%.

Każdego roku pakuje się w styropianowe opakowania ogromne ilości produktów o dużej wartości rynkowej. Koszt styropianowego opakowania tych towarów nie przekracza 1% ich wartości.

### Radioaktywność

Styropian, w przeciwieństwie do niektórych mineralnych materiałów budowlanych, nie emitemie żadnego promieniowania radioaktywnego typu alfa, beta czy gamma. Oprócz tego nie zawiera on żadnych mierzalnych ilości radu w swoich porach i nie jest źródłem emisji radonu do powietrza.

### Trwałość

Styropian jest stosowany na świecie od 1954 roku. Wieloletnie badania oraz obserwacja zachowania tego materiału, wbudowanego w przegrody budynku, potwierdziły, że żadne jego właściwości techniczne nie ulegają zmianom w czasie. Tak więc została potwierdzona pełna przydatność styropianu jako materiału izolacyjnego w najróżniejszych obszarach zastosowań, dla całego praktycznie okresu życia technicznego obiektu.

### **Styropian jest materiałem samogaszącym**

W przypadku pożaru i spalania się styropianu nie należy się obawiać zagrożenia gazami powstającymi w tym procesie ani też skażenia gruntu lub wody. Spaliny można porównywać z tymi, jakie powstają podczas spalania drewna.

### **Emisja**

Rodzaj substancji, jakie powstają podczas rozkładu styropianu, zależy w istotny sposób od warunków pożarowych. W celu oceny gazowych produktów rozpadu styropianu w porównaniu do różnych od dawna stosowanych materiałów budowlanych sformułowano specjalną metodę badawczą.

Liczne badania nad inhalacyjną toksycznością spalin wykazały, że o szkodliwości decyduje głównie sam tlenek węgla, a także że stężenie tlenku węgla w spalinach po styropianie jest mniejsze niż w badanych przykładowo spalinach drewna, płyt pilśniowych czy korkowych, → **1.2.3/1**. Wpływ innych gazów na toksyczność spalin jest, przy ustalonych wg badań stężeniach, znakomo mały. Spaliny po styropianie nie stanowią również żadnego szczególnego zagrożenia dla środowiska, nie są też one żadnym czynnikiem korozjnym dla budynku i jego konstrukcji.

### **Trwałe produkty spalania**

Trwałe produkty spalania styropianu nie wymagają żadnego specjalnego trybu usuwania lub składowania. Powinny być one np. przekazane do spalarni odpadów lub na komunalne wysypisko. Nie są one szkodliwymi substancjami ani dla powietrza, ani też dla gleby lub wód gruntowych.

Przeprowadzone liczne badania, tak w kraju jak i za granicą, udowodniły iż ocieplenia wykonane na bazie styropianu są bezpiecznym i trwałym rozwiązaniem, również pod względem ochrony przeciwpożarowej. Systemy ocieplania ścian na bazie styropianu uzyskują klasyfikacje nierożestrzerańiących ognia (NRO), czyli najlepszą klasyfikację przewidzianą w Polskich Normach i przepisach (porównaj rozdz. 2.3.4).

### **1.2.3/1**

#### **Gazowe produkty spalania styropianu w porównaniu do innych materiałów budowlanych**

materiał	skład spalin	stężenie gazu, ppm, przy temperaturze			
		300°C	400 °C	500 °C	600 °C
styropian	tlenek węgla związki aromatyczne	10* 50	50* 120	500* 520	1000* 60
świerk	tlenek węgla związki aromatyczne	400*	6000** -	12000** -	15000** 300
płyta pilśniowa	tlenek węgla związki aromatyczne	14000** il.śladowe	24000** 300	59000** 300	69000** 1000
korek ekspandowany	tlenek węgla związki aromatyczne	1000* il.śladowe	3000** 200	15000** 1000	29000** 1000

\* tlenie

\*\* spalanie płomieniowe

# 1.2.4

## Ekologiczna ocena styropianu Odzysk materiału, usuwanie odpadów

strona 1

### Ponowne użycie materiału

Materiał uzyskany z wyrobów styropianowych może być na różne sposoby ponownie wykorzystywany.

W zakładach wytwórczych odpady wynikające z przycinania styropianu są bezpośrednio zwracane do wcześniejszych etapów produkcji materiału i tam wprost wykorzystywane ponownie.

### Odzysk surowców naturalnych

Podczas procesów chemicznych możliwe jest ponowne użycie jako surowców wyjściowych odpadów tworzyw sztucznych. Po przez pirolizę i uwodornienie możliwe jest odzyskanie surowców, które są następnie ponownie używane do produkcji jako pełnowartościowe substancje produkcyjne.

### Produkcja pianek

Odpady styropianu z zakładów produkcyjnych i zgromadzone pozostałości produkcyjne mogą być również używane w bezpośredni sposób przy produkcji nowych wyrobów (bloki, opakowania). Pianki styropianowe są termoplastyczne, a więc można je łatwo stopić, uzyskując w ten sposób niewielkie objętościowo ilości surowca wyjściowego, tj. polistyrenu. Pozyskany tą drogą surowiec wtórny może być użyty do produkcji na wtryskarkach prostych wyrobów do użytku domowego lub biurowego.

### Ulepszanie gleby

Pozytywnym przykładem wykorzystania odpadów styropianowych jest ich użycie do polepszania właściwości gleby. W tym celu odpady styropianu są mielone (śre-

dnicą powstały ziaren od 1 do 30 mm) a następnie stosowane jako:

- materiał drenażowy
- materiał spulchniający, do poprawy napowietrzenia i przepuszczalności wody w gruntach ciężkich
- materiał wspomagający kompostowanie organicznych odpadów domowych i ogrodniczych.

### Budownictwo

Zmielone odpady styropianowe są stosowane również w budownictwie, przy tworzeniu różnych lekkich materiałów budowlanych o izolacyjnych właściwościach.  
→ □ 1.2.4/1.

Poprzez domieszkę granulatu styropianowego do betonu powstaje styrobeton. Wykonuje się z niego m.in. elementy ścienne, klasyfikowane jako materiał niepalny i spełniające wysokie wymagania w zakresie izolacyjności termicznej i akustycznej. Styrobeton jest również stosowany jako warstwa chroniąca przed mrozem głębiej położone warstwy dróg.

Mielony styropian jest także stosowany jako dodatek do porowatych wyrobów ceramicznych. Wykonana w ten sposób cegła łączy w sobie jednocześnie cechy dużej wytrzymałości mechanicznej i izolacyjności termicznej.

Drobne frakcje mielonego styropianu dodane do zapraw i tynków pozwalają wyeliminować lub zmniejszyć wpływ mostków termicznych, a także podwyższyć ogólną izolacyjność termiczną przegrody.

Z odpadów styropianowych produkuje się również zwykłe płyty izolacyjne o takim samym zastosowaniu jak wyroby podstawowe.

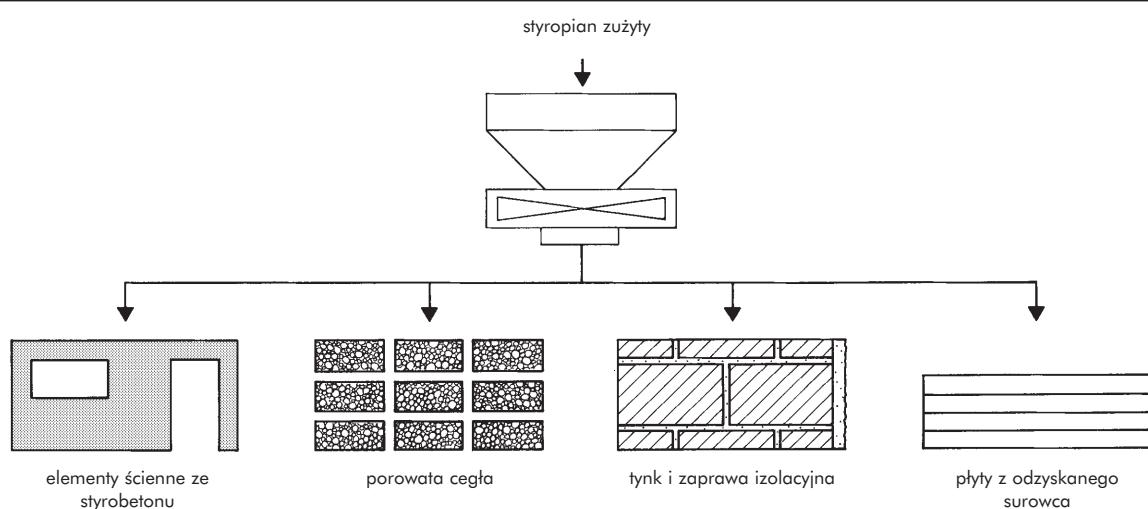
### Oszczędność energii

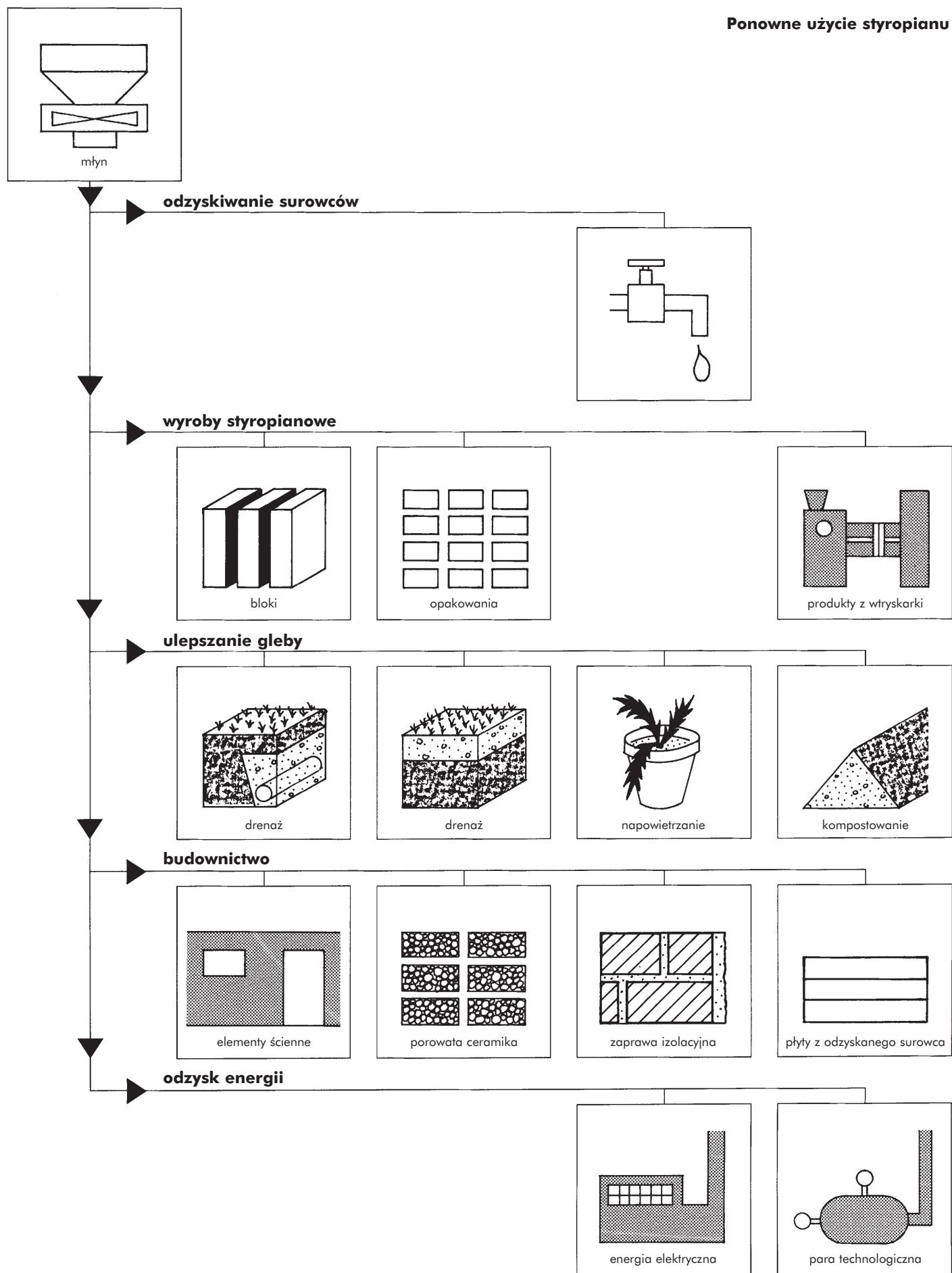
Zużyte wyroby styropianowe i odpady mogą być niszczone w komunalnych spalarniach śmieci, ich spalanie odbywa się łatwo i bez pozostałości. Podczas tego procesu styropian może zastępować olej opałowy, używany do podtrzymywania spalania, 1 kg styropianu pozwala zaoszczędzić 1.3 l oleju.

### Składowanie odpadów

Tam, gdzie ponowne użycie styropianu nie jest możliwe, stosuje się bez żadnych problemów i dodatkowych wymagań składowanie odpadów na zwykłych wysypiskach. Odpady styropianowe są materiałem obojętnym pod względem biologicznym i chemicznym, nie powodują one skażenia wód powierzchniowych ani powietrza. Obecność styropianu sprzyja lepszemu zwętylowaniu wysypiska, co w efekcie przyspiesza rozpad substancji organicznych, redukując w ten sposób emisję zapachów i możliwość samozapłonu wysypiska.

### 1.2.4/1





1. Fanger P. O.: Komfort cieplny, Arkady 1974.
2. Hillmann G., Nagel H., Schreck H.: Architektura zgodna z klimatem i energooszczędną, Wydawnictwo C.F. Mueller 1981
3. Krabbes J.: Lebenswegbilanz von EPS-Dämmstoff, Heidelberg, Isoliertechnik 3/95
4. Mikoś Jan: Budownictwo ekologiczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1996
5. Ocena właściwości styropianu pod kątem aspektów bio-budowlanych, Instytut Bio-Bauforschung, Karlsfeld 1982
6. Schwarz Jutta: Ekologia w budownictwie, Paul Haupt Verlag 1991
7. Wolf G.: Trwałość styropianu - 31 lat po konstrukcji płaskiego stropoduachu, Ekspertyza nr 411/86
8. 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.
9. PN-B-20130: 2001 Wyroby dla izolacji cieplnej w budownictwie - Płyty styropianowe (PS-E)
10. PN EN 13163:2004 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Wyroby ze styropianu (EPS) produkowane fabrycznie - Specyfikacja
11. PN-B-20132:2005 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Wyroby ze styropianu (EPS) produkowane fabrycznie - Zastosowania
12. PN EN ISO 10093:2001 Tworzywa sztuczne - badania ogniodziałające - znormalizowane źródła zapłonu.

**Właściwości materiałów budowlanych**

<b>Uwagi wstępne</b>	<b>2.1</b>
Wielkości, oznaczenia, jednostki	2.1.1
<b>Podstawowe cechy materiałów budowlanych</b>	<b>2.2</b>
Struktura wewnętrzna	2.2.1
Właściwości wytrzymałościowe	2.2.2
Odkształcenia	2.2.3
Właściwości z zakresu fizyki budowli	2.2.4
<b>Styropian</b>	<b>2.3</b>
Produkcja	2.3.1
Właściwości fizyczne	2.3.2
Właściwości chemiczne	2.3.3
Reakcja na ogień	2.3.4
Wymagania fizykomechaniczne	2.3.5
<b>Literatura i normy</b>	<b>2.4</b>

## 2.1.1

### Uwagi wstępne Wielkości, oznaczenia, jednostki

<b>Wielkość</b>		<b>oznaczenie</b>	<b>jednostka</b>
masa		m	kg
objętość		V	$m^3$
gęstość		ρ	$kg/m^3$
każdorazowo z odpowiednim indeksem uwzględniającym			
pory	p		
materiału szkieletu	sz		
wodę	H		
stan suchy	s		
wilgotność	w		
wilgotność obliczeniową	w,obl		
porowatość		ξ	%
wilgotność masowa		U <sub>m</sub>	%
wilgotność objętościowa		U <sub>v</sub>	%
siła		F	N
stała siła		F <sub>o</sub>	N
powierzchnia przekroju		A	$m^2$
długość		l	m
zmiany długości		Δl	m
z odpowiednim indeksem dla oznaczenia			
pełniące	p.		
odkształceń elastycznych	e		
termicznych	t		
skurcza/pęcznienia	s/p.		
naprężenie		σ	Pa
odkształcenie		ε	%
wytrzymałość		f	Pa
wytrzymałość na rozciąganie		f <sub>r</sub>	Pa
wytrzymałość na ściskanie		f <sub>s</sub>	Pa
moduł sprężystości		E	Pa
pełniące		Φ	-
współczynnik rozszerzalności termicznej		α <sub>T</sub>	1/K
skurcz		ε <sub>s</sub>	%
pęcznienie		ε <sub>p</sub>	%
temperatura		T	°C
zmiany temperatury		ΔT	K
współczynnik przewodzenia ciepła		λ	$W/(m \cdot K)$
ciepło właściwe		c	$J/(kg \cdot K)$
współczynnik przepuszczania pary wodnej		δ	$kg/(m \cdot Pa \cdot s)$
współczynnik oporu dyfuzyjnego		μ	-
opór dyfuzyjny		Z <sub>p</sub>	$(m^2 \cdot Pa \cdot s) / kg$
sztywność dynamiczna		s'	$MN/m^3$

### Gęstość, porowatość, wilgotność

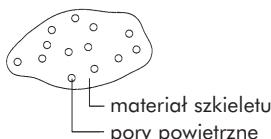
Wielkie znaczenie dla oceny przydatności materiału do konkretnego zastosowania mają informacje o jego strukturze wewnętrznej. Od niej bowiem zależą takie właściwości materiału jak: wytrzymałość, odkształcalność, izolacyjność termiczna itp. Jedną z podstawowych informacji o materiale jest gęstość, określana jako stosunek masy [kg] i objętości [ $m^3$ ].

$$\text{gęstość} = \frac{\text{masa}}{\text{objętość}}$$

Niezależnie od właściwości fizyczno-chemicznych szkieletu materiału, w przypadku materiałów budowlanych duże znaczenie ma obecność i właściwości porów powietrznych zawartych w materiale. Pory wewnętrz materiału mogą być całkowicie suche, wypełnione wodą częściowo lub całkowicie. Ma to więc wpływ na rzeczywistą masę materiału przy różnych stopniach zawilgocenia i inne właściwości fizyczne → □ 2.2.1/1.

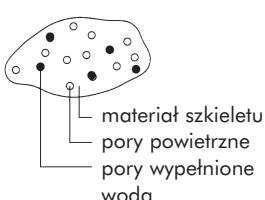
#### 2.2.1/1

Masa suchego materiału  
 $m_s$ , kg



Masa materiału wilgotnego

$m_w$ , kg  
 $m_{w,obl}$ , kg



Masa wody w materiale  
 $m_H = m_w - m_s$ , kg

Objętość wody w materiale

$$V_H = \frac{m_H}{\rho_H} \quad \rho_H = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

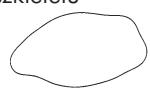
Objętość materiału

$V$



Objętość szkieletu

$V_{sz}$



Objętość porów

$$V_p = V - V_{sz}$$

Opis materiału budowlanego, uwzględniający właściwości techniczne i jego stan wilgotnościowy, wymaga wprowadzenia trzech wielkości: gęstości, zarówno materiału suchego jak i materiału zawierającego wilgoć w porach, porowatości, pozwalającej na opis nie tylko ilości ale i struktury porów w materiale oraz wilgotności odnoszonej do masy lub objętości materiału → □ 2.2.1/2.

#### 2.2.1/2

gęstość szkieletu materiału

$$\rho_{sz} = \frac{m_{sz}}{V_{sz}} \quad m_{sz} = m_s$$

gęstość suchego materiału

$$\rho_s = \frac{m_s}{V}$$

gęstość materiału wilgotnego

$$\rho_w = \frac{m_w}{V}$$

gęstość przy wilgotności obliczeniowej

$$\rho = \frac{m_{w,obl}}{V}$$

porowatość

$$\xi = \frac{V_p}{V} = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{sz}}$$

wilgotność objętościowa

$$u_v = \frac{V_H}{V} = \frac{1}{\rho_H} (\rho_w - \rho_s)$$

wilgotność masowa

$$u_m = \frac{m_H}{m_s} = \frac{\rho_w}{\rho_s} - 1$$

$$u_m = u_v \frac{\rho_H}{\rho_s}$$

Wilgotność materiałów już wbudowanych zależy każdorazowo od warunków panujących w otoczeniu, a także od zastosowanej technologii i czasu, jaki minął od ukończenia budowy. Dla celów projektowych można jednak przyjmować przeciętne, potwierdzone badaniami i obserwacjami na obiektach rzeczywistych, wartości wilgotności ustabilizowanej, jaką osiągają materiały w tzw. stanie powietrzeno-suchym → □ 2.2.1/3.

#### 2.2.1/3

materiał

$u_v$ , %

$u_m$ , %

beton o szczelnej strukturze i kruszywie

5

beton o szczelnej strukturze i porowatym kruszywie

15

cega

1.5

wapień

5

gips, anhydryt

2

styropian

0.075

zasypki nieorganiczne (perlit, wermikulit)

5

drewno, materiały drewnopochodne

15

organiczne, izolacyjne materiały włókniste

15

## 2.2.2

### Podstawowe cechy materiałów budowlanych Właściwości wytrzymałościowe

#### Wytrzymałość, moduł sprężystości

Każde ciało, na które działa niezrównoważona siła, porusza się ruchem przyspieszonym, z przyspieszeniem zależnym od masy ciała, zgodnie z zależnością:

$$\text{siła} = \text{masa} \cdot \text{przyśpieszenie}$$

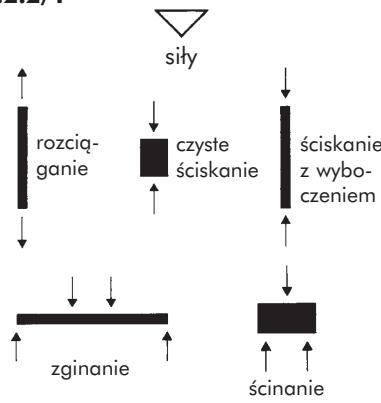
Jednostkowa siła (1 newtona, 1 N) nadaje ciału o jednostkowej masie (1 kg) jednostkowe przyśpieszenie (1 m/s<sup>2</sup>).

Szczególnym rodzajem siły jest siła przyciągania ziemskiego (siła ciężkości, ciężar), która nadaje ciału spadającemu swobodnie przyśpieszenie zwane ziemskim. Jeżeli ciało nie może spadać - jest podparte - wywiera na płaszczyznę poziomą nacisk równy swojemu ciężarowi. W technice zwykle przyjmuje się przybliżoną wartość przyśpieszenia ziemskiego, równą 10 m/s<sup>2</sup>. Wówczas ciało o masie 1 kg ma ciężar 10 N.

Obecność sił jest w budownictwie związana nie tylko z przyciąganiem ziemskim, ale także z wiatrem, trzęsieniem ziemi i innymi wpływami.

Przyłożenie sił do poszczególnych elementów budynku powoduje powstanie w nich różnorodnych naprężeń, najważniejsze z nich przedstawiono na rys. → 2.2.2/1.

2.2.2/1



Występujące w elementach budynku stały obciążenia wymagają określenia ich nośności, a także możliwości właściwego użytkowania, a więc konieczne jest sprawdzenie naprężeń i odkształceń.

Do określania właściwości materiałów związkanych z nośnością i użytkowaniem służą takie wielkości jak wytrzymałość i moduł sprężystości. Określa się je dla danego materiału na podstawie badań, w których próbka materiału jest poddana obciążeniom aż do zniszczenia.

Przebieg takiego badania przedstawiono skrótnie poniżej, przykładowy materiał jest w nim poddany ściskaniu/rozciąganiu:

- sporządzenie próbki w kształcie pręta długość l, mm przekrój A, mm<sup>2</sup>
- umieszczenie próbki w maszynie zrywającej
- obciążenie od zera do zerwania
- pomiar siły zrywającej i odkształcenia siła F, N wydłużenie Δl, mm
- obliczenie naprężeń oraz względnego odkształcenia

naprężenia

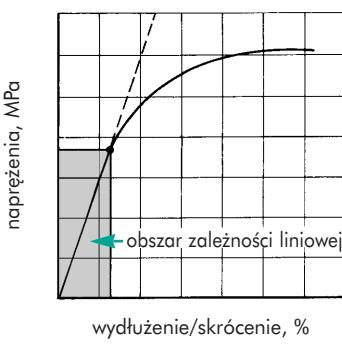
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

wydłużenie/skrócenie względne

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100 \%$$

- przedstawienie zależności pomiędzy naprężeniem a wydłużeniem/skróceniem na wykresie → 2.2.2/2.

2.2.2/2



Przebieg krzywej na wykresie jest w początkowej fazie liniowy, jest to tzw. obszar prostej proporcjonalności naprężzeń i odkształceń, dalej już zależność ma charakter krzywoliniowy.

- wyznaczenie wytrzymałości i obliczenie modułu plastyczności

wytrzymałość

$$f, \text{ MPa}$$

Wytrzymałość materiału to największe możliwe naprężenia. Po osiągnięciu takiej wartości naprężzeń dochodzi do zniszczenia materiału. Tak więc wytrzymałość odpowiada co do wartości naprężeniom niszczącym. Wartości liczbowe wytrzymałości różnych materiałów

na rozciąganie f<sub>r</sub> i ściskanie f<sub>s</sub> przedstawiono w tabeli → 2.2.2/3.

2.2.2/3

materiał	f, MPa	
stal	f <sub>r</sub>	370 do 690
beton	f <sub>s</sub>	5 do 55
mur	f <sub>s</sub>	1.5 do 25
drewno iglaste	f <sub>r</sub>	80 do 100
styropian	f <sub>r</sub>	0.1 do 0.5

moduł sprężystości

$$E, \text{ MPa}$$

Moduł sprężystości jest definiowany jako tangens kąta nachylenia wykresu naprężeń w funkcji odkształceń w obszarze zależności liniowej. Jego wartość liczbową jest równa ilorazowi naprężień i odpowiadającej im wartości odkształceń. Moduł sprężystości można interpretować jako opór przeciwko odkształceniom stawiany przez materiał obciążony siłą.

Wartości liczbowe modułu sprężystości różnych materiałów przedstawiono w tabeli → 2.2.2/4.

2.2.2/4

materiał	E, MPa
stal	21·10 <sup>4</sup>
beton	(2do3)·10 <sup>4</sup>
mur	(0.2 do 1.0)·10 <sup>4</sup>
drewno iglaste	1.0·10 <sup>4</sup>
drewno iglaste ⊥	0.03·10 <sup>4</sup>
styropian	3.5 do 9.5

Dzięki wprowadzeniu pojęcia modułu sprężystości można w bardzo prosty sposób zapisać, dla zakresu liniowego, zależność pomiędzy naprężeniem i odkształcaniem, a mianowicie:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

### Moduł sprężystości, pełzanie, współczynnik wydłużalności, skurcz/pęcznienie

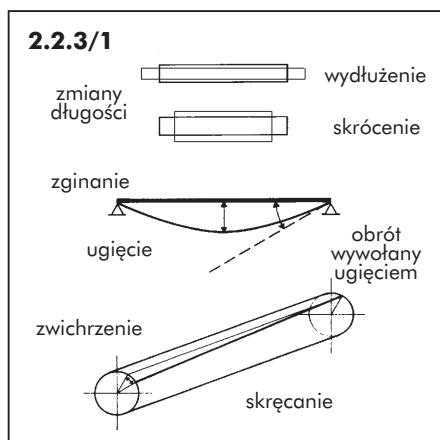
Zmiana wymiarów elementu budynku może być wywołana następującymi przyczynami:

- działaniem sił
- zmianami temperatury
- zmianami wilgotności.

Konstrukcja budynku musi być tak zaprojektowana, aby w wyniku odkształceń poszczególnych elementów nie doszło do ich uszkodzenia, aby mogły one spełniać dalej swoją funkcję użytkową i aby nie doszło do uszkodzenia elementów sąsiadujących.

Jeśli poprzez zabiegi projektowe nie jest możliwe wyeliminowanie przyczyn odkształceń (np. poprzez izolowanie termiczne) to element konstrukcji albo musi mieć swobodę przemieszczania się, albo też konieczne jest przejęcie powstacych sił przez ustrój konstrukcyjny.

Przykłady odkształceń pokazano na rys.  
→ □ 2.2.3/1.



Właściwości materiału, które mają wpływ na odkształcenia pochodzące od siły zewnętrznej, przedstawiono na przykładzie pręta o długości  $l$  i polu powierzchni przekroju  $A$ .

### Odkształcenia sprężyste

Obciążenie użytkowe konstrukcji powoduje powstanie w jej elementach naprężzeń i odkształceń. Dla zakresu liniowej zależności odkształceń i naprężzeń można zapisać:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

jeśli  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$  i  $\sigma = \frac{F}{A}$  to wzór na zmianę

długości pręta w wyniku działania siły  $F$  można zapisać w następującej postaci:

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot A}$$

### Pozostałe odkształcenia

Oprócz odkształceń sprężystych, przy stałych obciążeniach działających na konstrukcję budynku, powstają w wyniku pełzania materiału także nieodwracalne odkształcenia. Po przyłożeniu obciążenia ich wartość wzrasta początkowo dość szybko, lecz późniejsze zmiany przebiegają już wolno aż do osiągnięcia wartości końcowej.

Wartość odkształceń powstających w wyniku pełzania pod wpływem stałej siły  $F_o$ , można wyrazić jako funkcję liniową odkształceń sprężystych:

gdzie  $\Phi$  to bezwymiarowy współczynnik pełzania.

$$\Delta l_p = \Phi \cdot \frac{F_o \cdot l}{E \cdot A}$$

W tabeli → □ 2.2.3/2 podano wartości współczynnika pełzania dla niektórych materiałów budowlanych.

### 2.2.3/2

materiał	$\Phi$
metale	0
beton	1 do 3.5
cegła	1 do 1.5
wapenie	1 do 2
beton komórkowy	2 do 2.5
drewno	0.1 do 0.5

## 2.2.3

# Podstawowe cechy materiałów budowlanych Odkształcenia

strona 2

### Moduł sprężystości, pełzanie, współczynnik wydłużalności, skurcz/pęcznienie (cd.)

Właściwości materiału, które mają wpływ na odkształcenia pochodzące od zmian temperatury i wilgotności, przedstawiono na przykładzie pręta o długości  $l$  i powierzchni przekroju A.

### Odkształcenia termiczne

Wszystkie części budynku, a zwłaszcza te, które tworzą jego zewnętrzną powłokę, poddane są działaniu zmiennych temperatur otoczenia. Rozkład temperatury w przekroju elementu konstrukcyjnego nie jest równomierny. Decydujące znaczenie dla odkształceń termicznych ma wartość temperatury w środku przekroju.

Wartość odkształcenia pochodzącego od zmiany temperatury  $\Delta T$  można wyznaczyć na podstawie współczynnika rozszerzalności termicznej materiału  $\alpha_T$ :

$$\Delta l_T = \alpha_T \cdot \Delta T \cdot l$$

współczynnik rozszerzalności termicznej

$$\alpha_T, \frac{1}{K}, \frac{\text{mm}}{\text{mm} \cdot \text{K}}$$

W tabeli → **2.2.3/3** podano wartości współczynnika rozszerzalności termicznej dla niektórych materiałów budowlanych.

2.2.3/3	
materiał	$\alpha_T, \frac{1}{K}$
stal	$1.1 \cdot 10^{-5}$
aluminium	$2.5 \cdot 10^{-5}$
miedź	$1.6 \cdot 10^{-5}$
cynk	$3.0 \cdot 10^{-5}$
beton	$1.0 \cdot 10^{-5}$
mur	0.5 do $1.0 \cdot 10^{-5}$
drewno	$0.5 \cdot 10^{-5}$
styropian	5 do $7 \cdot 10^{-5}$

### Odkształcenia wilgotnościowe

Wahań wilgotności materiałów budowlanych mogą być np. związane z oddawaniem do otoczenia tzw. wilgoci technologicznej, czyli odsychniem materiału po wbudowaniu, tynkowaniu itp. lub też wynikają one z wahań wilgotności powietrza w otoczeniu materiału. Powstające w wyniku tych wahań odkształcenia nazywane są pęcznieniem lub skurczem.

Wartości odkształceń można obliczyć na podstawie współczynnika skurzu/pęcznienia  $\varepsilon_{s/p}$ :

$$\Delta l_{s/p} = \varepsilon_{s/p} \cdot l$$

współczynnik skurzu/pęcznienia:

$$\varepsilon_{s/p}, \text{ \%}$$

W tabeli → **2.2.3/4** podano wartości współczynnika skurzu/pęcznienia dla niektórych materiałów budowlanych.

2.2.3/4		
materiał	$\varepsilon_s, \varepsilon_{s/p}, \text{ \%}$	
metale	dla suszenia	$\varepsilon_s = 0.2$
cegła		$\varepsilon_s = 0.1$
wapienie		$\varepsilon_s = 0.2$
beton komórkowy		$\varepsilon_s = 0.3$
drewno iglaste radialnie	zmiana wilgotności o 1%	$\varepsilon_{s/p} = 1.2$
stycznie		$\varepsilon_{s/p} = 2.4$
drewno liściaste radialnie		$\varepsilon_{s/p} = 2.0$
stycznie		$\varepsilon_{s/p} = 4.0$
styropian	$\varepsilon_{s/p} = 3 \text{ do } 5$	

### Przewodność cieplna, ciepło właściwe, opór dyfuzyjny i sztywność dynamiczna

Współczesne materiały budowlane o wysokiej jakości muszą spełniać wymagania różnej natury. Są to m.in. wymagania odpowiedniej izolacyjności termicznej i akustycznej oraz ochrona przed wilgocią. Będą one dokładniej omówione w rozdziale zatytułowanym Fizyka budowli. Również właściwości materiałów z zakresu fizyki budowli będą szerzej analizowane w poszczególnych podrozdziałach. Obecnie zostaną one przypomniane w celu kompletnego zestawienia „Podstawowych cech materiałów budowlanych”.

Pojęcie **przewodzenia ciepła** materiału budowlanego jest niezbędne do opisania strat cieplnych przez przegrody budynku w wyniku przewodzenia ciepła.

Współczynnik przewodzenie ciepła

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

Przewodzenie ciepła informuje o ilości ciepła, która jest przewodzona przez warstwę materiału o grubości 1 m i przekroju  $A = 1 \text{ m}^2$ , w warunkach różnicy temperatur  $\Delta T = 1 \text{ K}$  i w czasie  $t = 1 \text{ s}$ .

Wartość **ciepła właściwego** materiału budowlanego jest natomiast niezbędna do określenia niestacjonarnego przepływu ciepła przez przegrodę.

Ciepło właściwe

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

Ciepło właściwe to ilość energii cieplnej potrzebnej do podgrzania masy 1 kg materiału o 1 K.

**Współczynnik przepuszczania pary wodnej** w materiale jest informacją pozwalającą na ocenę strumienia wilgoci jaki jest przenoszony przez przegrodę budowlaną.

Współczynnik przepuszczania pary wodnej

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

Współczynnik ten odpowiada ilości wilgoci, w postaci pary wodnej, jaka dyfunduje przez warstwę materiału o grubości 1 m i przekroju  $A = 1 \text{ m}^2$ , przy różnicy ciśnienia pary wodnej po obydwu stronach warstwy  $\Delta p = 1 \text{ Pa}$  i w czasie  $t = 1 \text{ h}$ .

Za pomocą **współczynnika oporu dyfuzyjnego** można wyrazić zdolność

$$\delta = \frac{\delta_0}{\mu}$$

materiału do przepuszczania pary wodnej w porównaniu do przepuszczalności powietrza.

gdzie:  $\delta_0$  - współczynnik przepuszczania pary wodnej powietrza

Liczba  $\mu$  jest nazywana współczynnikiem oporu dyfuzyjnego. Ten sposób określania właściwości materiału jest od dawna powszechnie stosowany w Europie Zachodniej, a obecnie także i w Polsce.

Współczynnik oporu dyfuzyjnego

$$\mu \text{ (liczba bezwymiarowa)}$$

Wielkość ta informuje ile razy opór dyfuzyjny materiału jest większy od oporu stawianego przez powietrze.

**Sztywność dynamiczna** pozwala ocenić właściwości materiału związane z tłumieniem akustycznym dźwięków uderzeniowych.

Sztywność dynamiczna

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

Sztywność dynamiczna odpowiada stosunkowi siły działającej prostopadle na jednostkową powierzchnię materiału do wynikowego odkształcenia sprężystego tego materiału pod obciążeniem. Sztywność dynamiczna warstwy izolacji akustycznej w przegrodzie zależy od właściwości użytego materiału (modułu sprężystości) i jego grubości.

# 2.3.1

## Styropian Produkcja

strona 1

### Produkcja styropianu

#### Pozyskiwanie surowca naturalnego

Polistyren, który jest półproduktem w procesie wytwórzania styropianu, produkowany jest na bazie surowców naturalnych. W praktyce, surowcem wyjściowym jest prawie wyłącznie ropa naftowa → **2.3.1/1**. W obecności niewielkiej ilości pentanu, jako środka spieniającego, zachodzi zjawisko polimeryzacji i w efekcie otrzymuje się zdolny do ekspansjonowania polistyren. Monomery surowca wyjściowego tworzą w trakcie tej reakcji długie łańcuchy molekuł. Pentan, środek porotwórczy, jest zamknięty w cząsteczkach polistyrenu. Polistyren, jako syntetyczny surowiec, ma w postaci handlowej formę twardego, szklistego granulatu o średnicy od 0.2 do 2.5 mm. Jego gęstość nasypowa wynosi ok. 650 kg/m<sup>3</sup>, gęstość samego materiału ok. 1030 kg/m<sup>3</sup>.

Polistyren jest transportowany w specjalnych pojemnikach do zakładów produkujących wyroby styropianowe. Główne etapy produkcji styropianu to: spienianie, sezonalowanie i blokowanie.

#### Spienianie wstępne

Pod hasłem spienianie wstępne rozumiane jest proces zmiękczenia granulek surowca poprzez podgrzewanie i związane z tym powiększanie ich objętości wskutek ekspansji środka porotwórczego.

Podgrzewanie surowca syntetycznego i wstępne spienianie odbywa się zwykle przy użyciu pary o temperaturze powyżej 90°C. W trakcie trwającego od 2 do 5 minut spieniania granulki polistyrenu ekspandują, powiększając swoją objętość 15 do 65 razy. Powstają przy tym cząstki pianki o zamkniętej strukturze porów. Przebieg procesu ekspansjonowania jest wzmacniany poprzez dyfuzję do wnętrza cząstek gorącej pary wodnej. Gęstość nasypowa powstała w ten sposób pianki jest zależna głównie od czasu trwania spieniania i wynosi od 10 do 45 kg/m<sup>3</sup>.

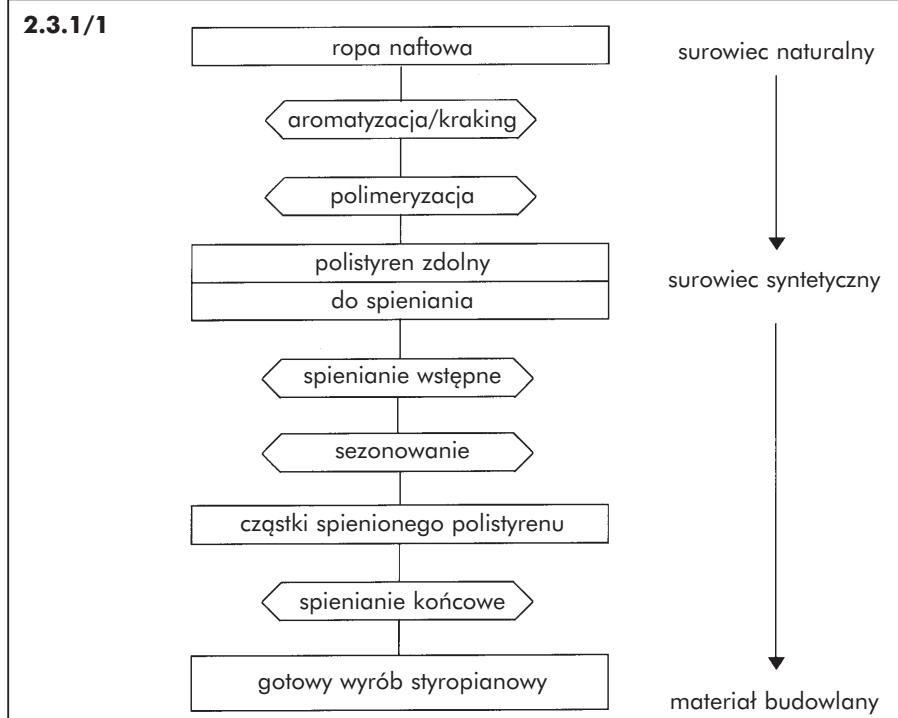
#### Sezonowanie

Bezpośrednio po spienianiu następuje proces schładzania spienionych cząstek. Resztki środka spieniającego oraz para wodna, która znalazła się w spienionych granulkach kondensują, tworząc w nich wnętrze podciśnienie. Świeże cząstki spienionego polistyrenu przed dalszą obróbką muszą przejść etap sezonalowania w przewiewnych silosach. Dzięki wnikaniu do ich wnętrza, w drodze dyfuzji, powietrza uzyskują niezbędną dla dalszych etapów produkcji stabilność.

#### Wytwarzanie bloków

Aby uzyskać końcowy wyrób styropianowy należy wypełnić metalową formę, ustabilizowanymi w międzyczasie, cząstkami spienionego polistyrenu. Ponowne doprowadzenie gorącej pary wznowia proces spieniania cząstek, które stoją się w tej fazie produkcji plastyczne i lepkie. Poprzez ekspandowanie wolne przestrzenie pomiędzy kulkami są zamknięte, a stykające się ze sobą powierzchnie ulegają spieczaniu, tworząc w ten sposób styropianowy wyrób o wymaganym kształcie zewnętrznym.

#### 2.3.1/1



## Produkcja płyt styropianowych

Izolacyjne płyty styropianowe produkuje się dziś wg jednej z następujących metod → **2.3.1/2.**

Najczęściej spotykanym sposobem jest wytwarzanie dużych bloków styropianowych, a następnie cięcie ich na płyty o odpowiedniej grubości. Granulki spienionego już wcześniej polistyrenu są wsypywane do dużych prostopadłościennych form i spieniane następnie przy użyciu pary wodnej o temperaturze 110°C do 120°C. Po relatywnie krótkim czasie studzenia, bloki styropianu są wyjmowane z form i sezonalne przed ostatnim etapem produkcji. Cięcie bloków na płyty odbywa się przy użyciu urządzeń termiczno-mechanicznych. Dodatkowe profilowanie krawędzi jest realizowane poprzez frezowanie.

Druga z metod produkcji płyt izolacyjnych ze styropianu polega na stosowaniu form do spieniania w kształcie i o rozmiarach końcowego wyrobu. Jej zaletą jest uzyskiwanie wprost z formy gotowego wyrobu, bez np. pracochłonnej obróbki krawędzi. Proces produkcji może tu być w pełni zautomatyzowany.

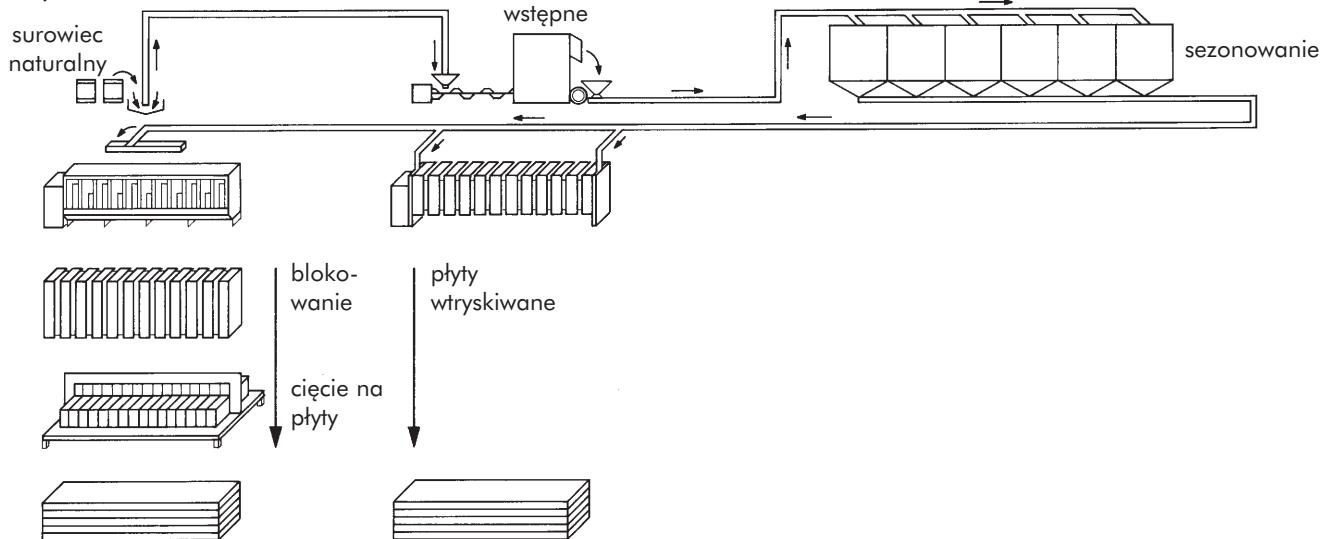
Płyty styropianowe są produkowane głównie jako materiał izolacji termicznej. Mogą one mieć zwykły płaski kształt, ale stosowane są również płyty o specjalnych kształtach, jak np. elementy izolacji i poszycia dachu, płaskie i rolowane płyty z powłoką bitumiczną na stropodachy itp.

Styropianowe płyty izolacji akustycznej, służącej do tłumienia dźwięków uderzeniowych, są poddawane tzw. procesowi elastyfikacji. Polega on na przemiennych cyklach obciążania i odciążania materiału na prasach mechanicznych. Wytworzony w ten sposób materiał posiada jeszcze wystarczającą dla zastosowania wytrzymałość na ściskanie, a jednocześnie obniżoną sztywność dynamiczną. Styropianowa izolacja akustyczna jest stosowana głównie do izolowania podłóg od dźwięków uderzeniowych.

Płyty styropianowe można łatwo pokrywać i łączyć z innymi materiałami budowlanymi. Stosowana jest np., w jednej z metod docieplania budynków, płyta styropianowa zespolona fabrycznie z warstwą supremy. Suprema jest w tym materiale nośnikiem dla tradycyjnego tynku mineralnego.

Spotykana jest również kombinacja płyt styropianowych z płytami gipsowo-kartonożnymi. Uzyskany w ten sposób, gotowy do montażu, prefabrykat jest stosowany głównie jako materiał do wewnętrznych dociepleń ścian i stropów. W celu zablokowania dyfuzji pary wodnej pod warstwę wewnętrznego docieplenia, umieścić można pomiędzy płytami warstwę skuteczną paroizolacji. Zespolone płyty gipsowo-styropianowe mają dobre właściwości mechaniczne i przeciwpożarowe.

### 2.3.1/2



## 2.3.2

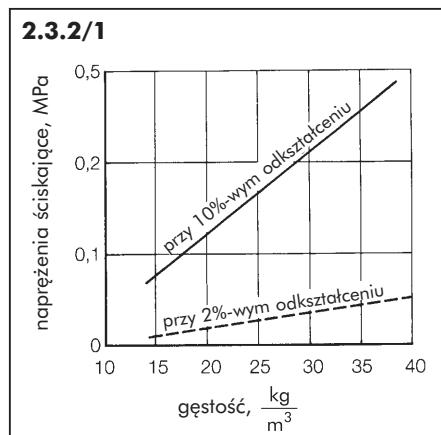
## Styropian Właściwości fizyczne

strona 1

### Właściwości mechaniczne

#### Napreżenia ściskające

Istotną dla użytkownika cechą styropianu jest jego zachowanie przy obciążeniach mechanicznych. Ponieważ styropian jest materiałem elastycznym, to zamiast jego wytrzymałości na ściskanie podaje się wartość napreżenia, przy którym odkształcenie wynosi 10%. Badania materiału należy wykonywać wg normy PN EN 826:1998. Wartość napreżeń ściskających wzrasta wprost proporcjonalnie do gęstości materiału → **2.3.2/1**.



Aby jednak nie przekroczyć granicy plastyczności styropianu w warunkach obciążzeń długotrwałych, obciążenia dopuszczalne nie powinny powodować odkształceń większych niż 2%.

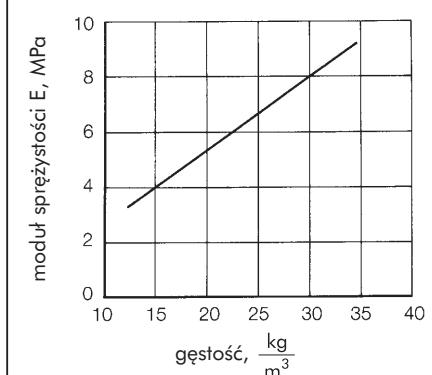
#### Odkształcenia

Zmiana objętości spienionego polistyrenu jest wywołana skurczem termicznym, jaki ma miejsce podczas schładzania materiału od temperatury spieniania do temperatury otoczenia. W 24 godziny po rozformowaniu wyrobu zmiana jego wymiarów, odniesiona do rozmiarów formy, może sięgać 0,8%. Wielkość skurcza zależy od rodzaju styropianu, jego gęstości i parametrów produkcji. Tego rodzaju skurcz ma miejsce zawsze bezpośrednio po formowaniu i przed dalszą obróbką, dlatego nie wpływa w żaden sposób na jakość gotowego wyrobu. **Trafiający do klienta styropian jest materiałem stabilnym wymiarowo.**

#### Moduł sprężystości

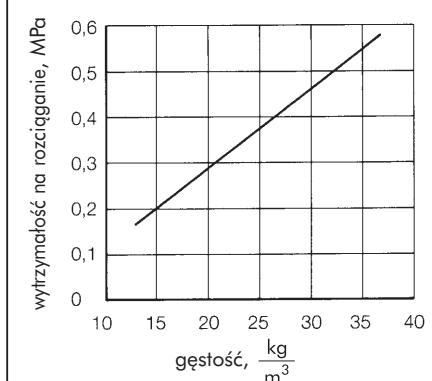
Istotny wpływ na właściwości materiału związane z odkształceniami ma moduł sprężystości E. Tak jak i dopuszczalne napreżenia ściskające, oraz szereg innych właściwości, również i wartość modułu sprężystości jest zależna od gęstości materiału → **2.3.2/2**.

**2.3.1/2**



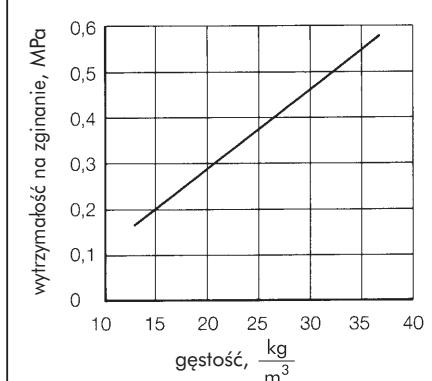
#### Wytrzymałość na rozciąganie

**2.3.2/3**



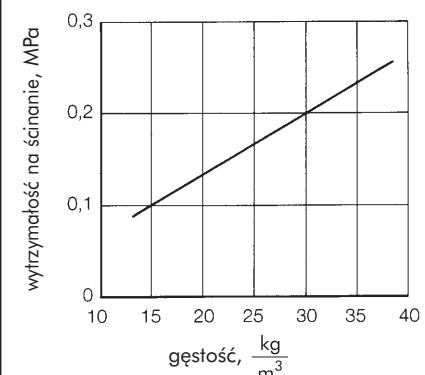
#### Wytrzymałość na zginanie

**2.3.2/4**



#### Wytrzymałość na ścinanie

**2.3.2/5**



#### Sztwność dynamiczna

Dla wyłumienia dźwięków uderzeniowych przenoszonych przez stropy międzypiętrowe potrzebna jest miękko-sprężysta warstwa izolacyjna, układana bezpośrednio na stropie konstrukcyjnym. Zwykłe płyty styropianowe do tego celu się nie nadają, ze względu na słabe właściwości elastyczne. Dopiero specjalna obróbka mechaniczna styropianu sprawia, że staje się on znakomitym materiałem do tłumienia dźwięków uderzeniowych. Właściwości izolacji, wyrażane poprzez wartość sztwności dynamicznej, zależą w decydujący sposób od jej grubości (por. rozdział „Ochrona akustyczna“)

Przybliżoną zależność pomiędzy sztwnością dynamiczną elastycznego styropianu a grubością płyty pod obciążeniem przedstawiono w tabeli → **2.3.2/6**. Badania sztwności dynamicznej materiałów izolacji akustycznej wykonuje się zgodnie z normą PN ISO 9052-1:1994.

**2.3.2/6**

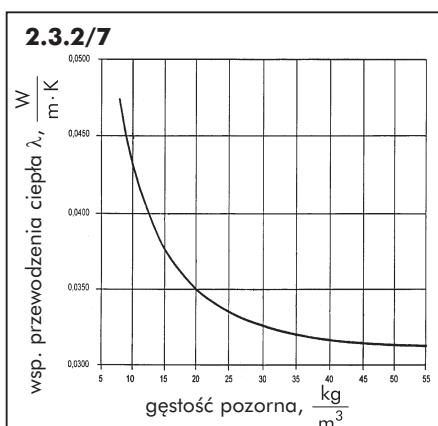
kategoria sztwności	grubość pod obciążeniem, mm	sztwność dynamiczna MN/m³
30	15	≤ 30
20	20	≤ 20
15	25	≤ 15
15	30	≤ 15
10	35	≤ 10
10	40	≤ 10

## Właściwości termiczne

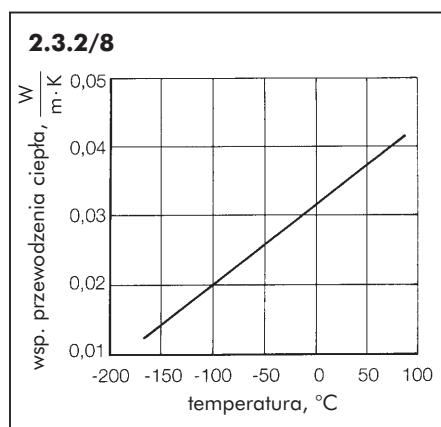
### Przewodzenie ciepła

Najważniejszą cechą styropianu jest jego mały współczynnik przewodzenia ciepła (por. rozdział „Ochrona cieplna“). Znakomite właściwości izolacyjne tego materiału wynikają z faktu, że styropian składa się z ogromnej ilości komórek polistyrenowych wypełnionych powietrzem. Przy porowatości 98%, zdolności izolacyjne materiału są efektem małego przewodzenia ciepła przez powietrze zamknięte w porach materiału.

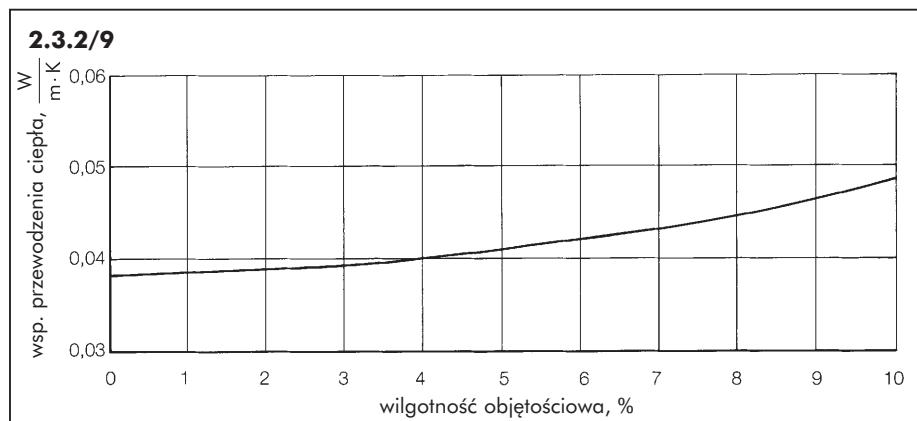
Przewodzenie ciepła materiału zależy od wielu parametrów fizycznych. Zależność przewodności od gęstości pozornej została pokazana na wykresie → □ 2.3.2/7. Minimalną przewodność cieplną ma styropian o gęstości ok. 40 kg/m<sup>3</sup> i wynosi ona wtedy 0.03 W/(m·K). Do obliczeń z zakresu fizyki budowli przyjmuje się deklarowane przez poszczególnych producentów styropianu wartości współczynnika przewodzenia ciepła. Zawierają się one w przedziale 0.032 do 0.042 W/(m·K), zależnie od odmiany tego materiału. Współczynnik przewodzenia ciepła, wytwarzanego na polski rynek styropianu, nie może przekroczyć wartości maksymalnych podanych w normie PN-B-20132 i wynoszących od 0.036 do 0.042 W/(m·K).



Liniową zależność współczynnika przewodzenia ciepła od temperatury przedstawiono na rys. → □ 2.3.2/8.



Istotny jest również wpływ wilgotności styropianu na jego przewodność cieplną → □ 2.3.2/9. Stosowane do obliczeń projektowych wartości przewodności cieplnej odnoszą się do materiału o wilgotności objętościowej w zakresie od 0.1 do 1.0 %, odpowiadającej typowym wilgotnościom poprawnie wbudowanego w przegrodę materiału.



### Stałosć postaci

Dopuszczalna temperatura w jakiej pracować może styropian zależy, tak jak i dla wszystkich tworzyw termoplastycznych, od kombinacji temperatury i czasu jej trwania. Bez dodatkowych obciążzeń, styropian może być przez krótki czas poddawany temperaturze nawet do 100 °C. Dzięki niskiej przewodności cieplnej zasięg wysokich temperatur w warstwie materiału pozostaje niewielki. Jeśli materiał jest obciążony mechanicznie, to dopuszczalna temperatura eksploatacji jest niższa i wynosi, zależnie od gęstości, 75 do 85 °C.

Styropian jest tworzywem, które w zakresie temperatur od -180 °C do +85 °C, nie podlega żadnym zmianom strukturalnym. Dlatego też bez zastrzeżeń może być stosowany również w bardzo niskich temperaturach.

### Ciepło właściwe

Do opisu niestacjonarnego przepływu ciepła przez przegrodę, konieczne są informacje o wartościach ciepła właściwego materiałów przegrody (por. rozdział „Ochrona cieplna“). Tak jak w przypadku przewodności cieplnej, duża zawartość powietrza w materiale ma również decydujący wpływ na jego ciepło właściwe.

Ciepło właściwe styropianu wynosi:

$$c = 1500 \frac{J}{kg \cdot K}$$

## 2.3.2

## Styropian Właściwości fizyczne

strona 3

### Odporność na działanie wody

Styropian, czyli spieniony polistyren, nie jest rozpuszczalny w wodzie, nie ulega pęcznieniu, a zamknięte komórki materiału nie wchłaniają wody. Dostęp wody w głęb struktury materiału jest możliwy tylko w miejscach klejenia poszczególnych granulek. Zawartość wody w strukturze materiału może być określana poprzez wilgotność objętościową styropianu. W miejscach, gdzie może wystąpić okresowe długoterminowe występowanie wody, np. ściany fundamentowe, dachy odwrócone, należy stosować specjalne płyty styropianowe EPS P, charakteryzujące się wyjątkowo niską nasiąkliwością. Cechę tę bada się zgodnie z normą PN EN 12087:2000 Określanie nasiąkliwości wodą przy długotrwałym zanurzeniu. W trakcie badania materiał jest poddawany bardzo rygorystycznej próbie, gdyż przez okres 28 dni jest w pełni zanurzony w wodzie. Styropian EPS P charakteryzuje się bardzo małą nasiąkliwością, a co istotniejsze dla użytkowników, po okresie około miesiąca, kiedy to wyrob osiąga poziom ustabilizowanej wilgotności, nie rośnie ona już dalej nawet przy bardzo długich okresach zanurzenia.

Wzrost wilgotności objętościowej EPS P pokazano na wykresie → **2.3.2/10**.

Tak niewielką nasiąkliwość wodą, od której w znacznym stopniu zależą właściwości termoizolacyjne materiału, styropian zawdzięcza swojej spoistej strukturze.

### Opór dyfuzyjny

Istotne dla stanu wilgotnościowego materiału parametry otoczenia to: temperatura powietrza i zawartość pary wodnej.

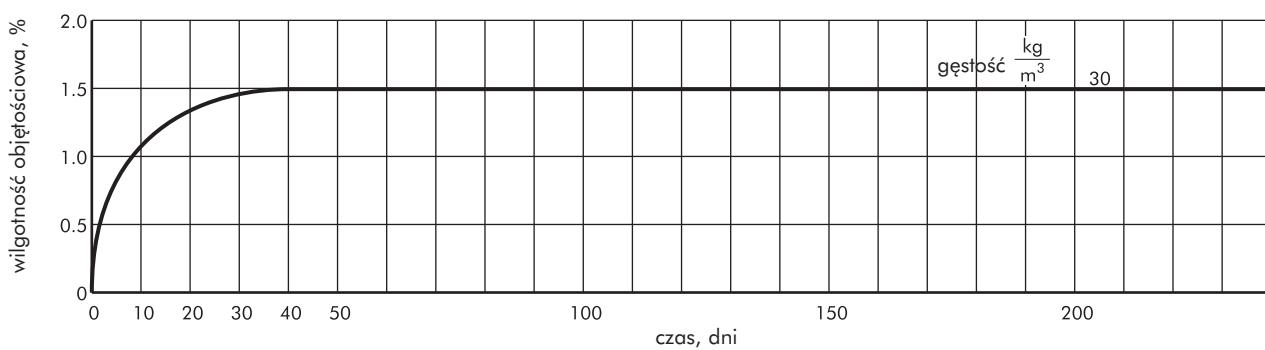
Jeśli po obydwu stronach warstwy materiału panują zróżnicowane warunki cieplno-wilgotnościowe, to poprzez materiał odbywa się dyfuzja pary wodnej. Para wodna dyfundująca przez materiał może w trakcie tego procesu ulec wykroplieniu we wnętrzu warstwy. Materiał stawia opór dyfuzji pary wodnej. Wartość tego oporu można obliczyć na podstawie charakterystycznego dla materiału współczynnika dyfuzji pary wodnej lub współczynnika oporu dyfuzyjnego i grubości warstwy (por. rozdział: „Ochrona przed zawiłgoceniem”).

W tabeli → **2.3.2/11** podane zostały orientacyjne wartości współczynnika oporu dyfuzyjnego dla różnych odmian styropianu. Wpływ zróżnicowanych warunków klimatycznych w otoczeniu materiału na jego opór dyfuzyjny został uwzględniony przez podanie przedziału wartości współczynnika. Dla styropianu o gęstości od 15 do 30 kg/m<sup>3</sup> bezwymiarowy współczynnik oporu dyfuzyjnego zawiera się w przedziale od 20 do 100.

**2.3.2/11**

gęstość	współczynnik oporu dyfuzyjnego $\mu$
15 do 30	20 do 100

**2.3.2/10**



### Odporność chemiczna

Odporność styropianu na działanie różnych związków chemicznych i rozpuszczalników jest taka sama jak polistyrenu.

Styropian jest odporny na działanie wody, wodnych roztworów soli, kwasów i zasad. Jest także odporny na działanie cementu, wapna, gipsu, anhydrytu i sporządzonych na ich bazie zapraw i środków wiążących.

Styropian nie ulega również reakcji utleniania. Jego zniszczenie zawsze jest związane z konkretną przyczyną, np. działaniem rozpuszczalników lub wysokiej temperatury.

Styropian nie jest odporny na działanie rozpuszczalników organicznych. Ich stosowanie w obecności styropianu wymaga szczególnej uwagi i ostrożności.

Brak zrozumienia przyczyn zniszczenia styropianu był przyczyną powstania mitu o "znikaniu" styropianu.

Stopień odporności styropianu na działanie różnych związków chemicznych przedstawiono w tabeli → □ 2.3.3/1.

#### 2.3.3/1

rodzaj substancji czynnej	odporność przy 20°C
woda, woda morska	+
wapno, cement, gips, anhydryt	+
alkalia, np. zasada sodowa, potasowa, woda amoniakalna, woda wapienna, gnojówka	+
mydła, środki powierzchniowo czynne	+
kwasy	+
kwas solny 35%, kwas azotowy do 50%, kwas siarkowy do 95%	
rozcieńczone i słabe kwasy, jak np. kwas mlekowski, kwas węglowy, kwas humusowy	+
sole, nawozy	+
roztwory soli	+
substancje bitumiczne	+
zimne bitumy i masy bitumiczne na bazie wody	+
zimne kleje bitumiczne	+
zimne bitumy i kleje na bazie rozpuszczalników organicznych	-
produkty smołowe	-
olej parafinowy, wazelina, olej napędowy	+/-
olej silikonowy	+
alkohole: metylowy i etylowy	+
rozpuszczalniki: acetón, eter, octan etylu, nitro, benzen, ksylol, trójchloroetylen, czterochlormetan, terpentyna	-
nasycone alifatyczne węglowodory: cykloheksan, benzyna apteczna i lakowa	-
paliwo gaźnikowe, benzyny	-

+= odporny, nawet przy długotrwałym oddziaływaniu styropian nie ulegnie zniszczeniu

+/-= warunkowo odporny, przy długotrwałym oddziaływaniu może dojść do powierzchniowych uszkodzeń lub skurcza

-= nieodporny.

### Uwagi wstępne, klasyfikacja

Na rynku budowlanym oferowane są obecnie odmiany styropianu samogaszącego, oznaczonego symbolem FS oraz typy styropianu wg normy europejskiej oznaczone symbolem EPS o deklarowanej klasie reakcji na ogień określonej metodą małego płomienia. Sprawdzanie zdolności samo-gaśnięcia styropianu odbywa się zgodnie z normą PN-C-89297:1988, natomiast klasyfikacji reakcji na ogień dokonuje się wg normy PN EN 13501-1:2004. Materiał ten nie zapala się od iskry, pali się jedynie w obcym płomieniu, a po usunięciu z płomienia gaśnie i nie zapala się ponownie. Wyłącznie tego typu materiał jest stosowany do docieplania budynków mieszkalnych w naszym kraju.

Styropian samogaszący, osłonięty w technologii lekkiej mokrej docieplania warstwami kleju i tynku strukturalnego jest traktowany jako tzw. układ nierożprzestrzeniąjący ognia (NRO) - systemy ociepleń są sprawdzane według procedur normy PN-90/B-02867. Jest to najlepsza klasyfikacja jaką może uzyskać system ociepleń. Również systemy ociepleń na bazie innych materiałów termoizolacyjnych mogą uzyskać co najwyżej klasyfikację NRO.

### Zapalność i rozprzestrzenianie ognia

Przy temperaturze ponad 100 °C styropian zaczyna powoli mięknąć i przy tym kurczyć się, przy dalszym podgrzewaniu topi się. Styropian dopiero w temperaturze ponad 350 °C zaczyna się palić. Jeśli nie ma źródła ognia, to do samozapłonu dochodzi przy temperaturach pomiędzy 450 i 500 °C.

Pod działaniem ognia, np. zapałki, styropian kurczy się, ale nie zapala. Płomień może się pojawić dopiero po długim działaniu ognia. Prędkość rozprzestrzeniania się ognia jest jednak bardzo mała. Jeśli natomiast źródło ognia zostanie usunięte, to styropian przestaje się palić.

### Rzeczywiste warunki pożarowe

Faktyczne zachowanie materiału w warunkach pożarowych zależy nie tylko od jego właściwości, ale w dużej mierze także od ukształtowania elementu budowlanego, powiązania z innymi materiałami, ułożenia we wnętrzu budynku, a także od

rozmieszczenia źródeł pożaru. Istotną rolę grają tu również: sposób działania źródła pożaru, wyzwalana energia, czas trwania, warunki termiczne i wentylacja.

Badania systemów ociepleń w Polsce do określenia stopnia rozprzestrzeniania ognia po fasadach prowadzi się według polskiej normy PN-90/B-02867. Jednym z kryteriów badania jest odpadanie elementów stałych ociepleń. Badania prowadzi się na stanowisku o wymiarach 2,5 m wysokość i 2 m szerokość. Systemy ociepleń, aby uzyskać aprobatę techniczną muszą pozytywnie przejść te badania. Niektóre systemy mają klasyfikację nierozprzestrzeniających ognia nawet przy 30 cm grubości styropianu. Spełniają tym samym surowe polskie przepisy ochrony pożarowej. Również statystyki pożarowe świadczą, że systemy ociepleń na bazie styropianu są trwałym i bezpiecznym rozwiązaniem ociepleń ścian zewnętrznych budynków - w ponad 30. letniej obserwacji nie stwierdzono żadnego przypadku przeniesienia ognia pomiędzy kondygamacjami poprzez ocieplenia metodą lekką mokrą na bazie płyt styropianowych.

Aby sprawdzić zachowanie się systemów ociepleń ze styropianem jako materiałem termoizolacyjnym w warunkach naturalnych Stowarzyszenie Producentów Styropianu zwróciło się do Zakładu Badań Ogniowych ITB z propozycją przeprowadzenia badań.

Institut zaproponował przeprowadzenie badań według normy ISO 13785-2 → **2.3.4/1+2**. Badania miały dać wiedę na temat rzeczywistego wpływu ociepleń na bazie styropianu na rozprzestrzenianie ognia po fasadach. Aby uzyskać maksymalnie skrajne warunki badania postanowiono użyć płyt styropianowych o grubości 18 cm. To znacznie więcej niż średnia grubość stosowana obecnie; to także znacznie więcej, niż zalecana racjonalna grubość termoizolacji, oscylująca w przypadku ścian zewnętrznych w granicach 15 cm.

Badanie według tej normy należy do jednych z najostrzejszych badań ogniwowych ze względu na:

- rozmiar stanowiska (wysokość 6 m, szerokość 3 m)
- ścianę skrzydłową
- zastosowany rodzaj i ilość paliwa - bardzo kaloryczny i niebezpieczny heptan
- wymóg osiągnięcia temperatury 800°C gazów wychodzących z pomieszczenia.

Aby spełnić wymagania przewidziane w normie ISO, z prowadzonych badań kalibracyjnych wybrano jeden z najostrzejszych wariantów, tj.:

- taca z pokrywą - płomienie rozchodzą się na boki
- taca w połowie wysokości otworu okiennego - większa ekspozycja ognia, temperatury i płomieni na najbardziej newralgiczny element badanego ocieplenia, czyli nadproże
- zmniejszona komora spalania powodująca większą ekspozycję ognia i temperatury na zewnętrz, co zaostrzyło i tak już „wyśrubowane” warunki badania.

Wszystkie składniki ocieplenia (styropian, jak i pozostałe elementy systemu) użyte do wykonania ocieplenia ścian testowych zostały pobrane przez przedstawicieli Zakładu Badań Ogniowych ITB bezpośrednio w zakładach produkcyjnych w sposób losowy metodą na „słepo” według normy PN-83/N-03010.

Ocieplenia na ścianach badawczych, jedno z tynkiem mineralnym, drugie z tynkiem akrylowym, zostały wykonane zgodnie z zaleceniami odpowiednich aprobat technicznych i instrukcji ITB nr 334/2002 oraz pod stałą kontrolą pracowników instytutu. Badane systemy są klasyfikowane jako NRO nierożprzestrzeniące ognia według normy PN-90/B-02867.

Po zakończeniu badania stwierdzono, że powierzchnia ocieplenia zachowała ciągłość i nie uległa zniszczeniu, pomimo drastycznej ekspozycji na płomień i wysoką temperaturę sięgającą 1000°C. Należy podkreślić, iż w rzeczywistym pożarze temperatura na zewnętrz budynku nie przekracza wartości 500-550°C. Pozwala to wnioskować, że warunki stworzone na potrzeby próby ognowej dwukrotnie przewyższały warunki spotykane w rzeczywistych pożarach.

Nie doszło do przeniesienia ognia na ścianę skrzydłową i ocieplenie znajdujące się poniżej źródła ognia.

Po zdjęciu warstwy tynkarskiej i warstwy klejowej stwierdzono bezpieczne odparowanie styropianu pod tą powierzchnią ocieplenia, na którą oddziaływały bezpośrednio płomienie wydostające się z otworu okiennego. Fragment fasady, poddany oddziaływaniu płomieni i wysokiej temperatury wymagał jedynie prostej naprawy; ocieplenie mogłoby być łatwo naprawione poprzez ułożenie nowej warstwy styropianu i nałożenie nowej warstwy klejowej i naprawy tynkarskiej.

### Wnioski:

- Ocieplenia ze zwiększoną, bardzo grubą warstwą styropianu nie wykazują - niezależnie od zastosowanej wyprawy tynkarskiej mineralnej czy akrylowej - rozprzestrzeniania ognia po powierzchni fasad - brak pełzania ognia po powierzchni.
- Brak uszkodzenia zewnętrznej warstwy systemu ocieplenia, włącznie z drastycznie wyekspolonowanym na działanie pożaru nadprożem.
- Brak występowania odpadających płonących części stałych ocieplenia.
- Zastosowana 18 centymetrowa warstwa styropianu jako termoizolacja nie miała wpływu na zachowanie się całego systemu ocieplenia w warunkach pożaru - grubość izolacji nie ma wpływu na stopień zagrożenia pożarowego.
- Styropian, będący materiałem termoizolacyjnym, uległ bezpiecznemu odparowaniu w obszarze oddziaływania płomieni.
- Fasady, poddane bezpośredniemu oddziaływaniu ognia, wymagają jedynie naprawy w obszarze działania płomieni.
- Możliwość rozprzestrzeniania ognia po fasadzie w przypadku budynków z właściwie wykonanym ocieplieniem jest taka sama, jak dla fasad bez ocieplenia.
- Możliwość rozprzestrzeniania ognia na wyższą kondygmację wynika raczej z intensywności ognia, a nie właściwo-

ści ocieplenia lub zastosowanych materiałów elewacyjnych.

- Można wnioskować, iż stopień rozprzestrzeniania ognia przez ściany nie jest zależny od zastosowanych materiałów termoizolacyjnych - możliwe jest przenoszenie ognia pomiędzy kondygacjami również na fasadach nieocieplonych, całkowicie niepalnych. Taki stan rzeczy wynika z faktu, iż płomienie, wydostające się z otworu okiennego, są na tyle długie, że - omijając pas nadprożowo-podokienny - oddziałują bezpośrednio na stolarkę okienną kondygacji wyższej.
- Decydujący wpływ na stopień rozprzestrzeniania ognia po fasadach ma jakość wierzchnich elementów systemów ociepleń (tynk, klej, tkanina zbrożąca) oraz jakość i precyzja wykonania systemu. Wszystkie systemy ociepleń ścian zewnętrznych metodą bezspoinową muszą być wykonane zgodnie z przedmiotowymi aprobatach technicznymi i instrukcją ITB nr 334/2002 (szczególnie ważna jest dokładność wykonania, obróbka wszystkich otworów, ościeży itp., metoda pasmowo-punktowa nanoszenia warstwy klejowej). Niedopuszczalne jest mieszanie elementów różnych systemów oraz stosowanie materiałów niewiadomego pochodzenia, nieposiadających stosownych dokumentów, dopuszczających wyrób do obrotu i stosowania. Takie praktyki, bez względu na zastosowany materiał termoizolacyjny, mo-

gą mieć wpływ na stopień rozprzestrzeniania ognia przez ściany. Opisane powyżej błędy mogą doprowadzić do przypadku niespełnienia przez właściwie wykonane ocieplenia fasady kryteriów polskiej normy na rozprzestrzenianie ognia (a także wymagań określonych w aprobatach technicznych i instrukcji ITB nr 334/2002).

Badania systemów ociepleń na bazie styropianu dodatkowo poddano badaniu według normy SBI, uzyskując w badaniach klasyfikację A2/B. Tak więc przebadano systemy ociepleń z zastosowaniem płyt styropianowych o zwiększonej grubości według trzech metodyk:

PN-90/B-02867 - metoda badań rozprzestrzeniania ognia po ścianach obejmująca w Polsce jest znacznie ostrzejsza niż inne metody tego typu, np. niemiecka DIN 4102 - pozytywne badania nawet na 30 cm styropianie.

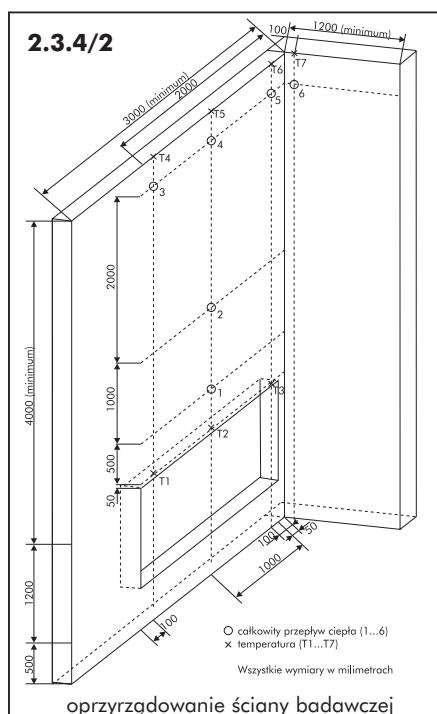
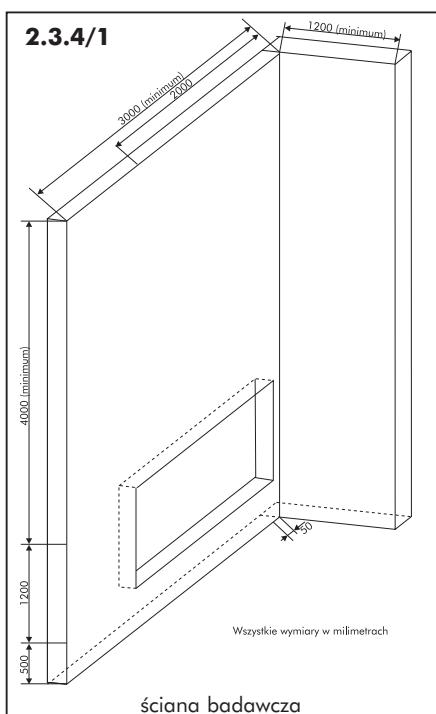
ISO 13785-2 - najostrzejsza metoda do określania stopnia rozprzestrzeniania ognia - pozytywne wyniki badań z izolacją ze styropianu o grubości 18 cm.

PN EN 13823 (SBI) - to norma przewidziana do stosowania przez państwa Unii Europejskiej - pozytywne wyniki badań z płytami styropianowymi o grubości 20 cm.

Wyniki przeprowadzonych badań systemów ociepleń z użyciem bardzo grubych płyt styropianowych pozwalają wyciągnąć wniosek, że styropian jest bezpiecznym pod względem ochrony pożarowej rozwiązaniem ocieplania ścian zewnętrznych budynków.

### Emisja gazów

Liczne badania przeprowadzone w Europie udowodniły, że toksyczność gazów emitowanych podczas spalania styropianu jest mniejsza aniżeli gazów emitowanych podczas spalania drewna. Produkty rozpadu polistyrenu, uwalniane podczas spalania styropianu w pożarze nie stwarzają żadnego, szczególnego zagrożenia dla środowiska. Produkty spalania nie zanieczyszczają wód gruntowych, nie wymagają również specjalnego składowania ani zabezpieczania.



### Znakowanie

Właściwości styropianu, jako materiału izolacji budowlanej, są ścisłe określone przez normy:

- PN EN 13163:2004, w której podano zasady klasyfikacji, istotne cechy i metody ich badań,
- PN-B-20132:2005, który określa rodzaje wyrobów, poziomy wymagań oraz zastosowania.

Producenci styropianu mogą starać się o uzyskanie od autoryzowanej placówki badawczej certyfikatu zgodności ich produkcji z normą PN EN 13163:2004. Aktualny certyfikat jest dla nabywcy najlepszą gwarancją jakości materiału.

Norma określa sposób znakowania płyt styropianowych przeznaczonych dla budownictwa:

np.: PŁYTY STYROPIANOWE EPS 70 - 040 FASADA

EPS-EN 13163-T2-L2W2-S1-P3-BS115-CS(10)70-DS(N)2-DS(70,-)2-TR100

EPS	- płyty styropianowe
70	- naprężenie ściskające przy 10 % odkształceniu
040	- maksymalne wymagane wartości deklarowane współczynnika przewodzenia ciepła, odpowiednio $\lambda_D$
FASADA	- słowne części oznaczeń: FASADA, DACH, PODŁOGA, PARKING stanowią skrótną informację o podstawowym zastosowaniu danego wyrobu
T	- tolerancja grubości
L	- tolerancja długości
W	- tolerancja szerokości
S	- tolerancja prostokątności
P	- tolerancja płaskości
BS	- poziom wytrzymałości na zginanie
CS(10)	- poziom naprężen ściskających przy 10% odkształceniu
DS(N)	- poziom stabilności wymiarowej w normalnych warunkach laboratoryjnych (23 °C, 50% wilgotności względnej)
DS(70,-)	- poziom stabilności wymiarowej w temp. 70 °C
TR	- poziom wytrzymałości na rozciąganie

Standardowe wymiary płyt: 1000 mm x 500 mm, grubości w przedziale co 10 mm.

Właściwości oraz sposoby znakowania innych rodzajów styropianu, są określane w odrębnych Aprobatach Technicznych wydawanych dla tych materiałów.

# 2.3.5

## Styropian Wymagania fizykomechaniczne

strona 2

Porównanie wymagań dla wyrobów EPS wg normy PN-B-20132:2005 i odmian (PS - E) FS wg nieaktualnej normy PN-B-20130:2001

EPS 50 - 042	EPS 70 - 040 FASADA	EPS 80 - 036 FASADA	EPS 80 - 040	EPS 100 - 038	EPS 100 - 038	EPS 200 - 036	EPS 250 - 036	EPS T - 24 dB T - 30 dB	EPS T - 30 dB PODŁOGA PŁYWAJĄCA	WYMAGANIE	FS 12	FS 15	FS 20	FS 30	FS 40
0,042	0,040	0,036	0,040	0,038	0,036	-	-	0,045	Współczynnik przewodzenia ciepła w $10^0$ C, W/(m · K), nie więcej niż Naprężenia ściskające przy 10 % odkształceniu wzgęldnym, kPa, nie mniej niż Ściśliwość, mm, nie więcej niż	0,042	0,040	0,038	0,036		
50	70	80	100	200	250	-	2	3	Wytrzamyłość na zginanie, kPa, nie mniej niż Wytrzamyłość na rozciąganie, kPa, nie mniej niż niz	60	80	100	200	250	
75	115	125	150	250	350	50	-	Wytrzamyłość na ścinanie, kPa, nie mniej niż Stabilność wymiarów w stałych, normalnych warunkach laboratoryjnych (23 $^0$ C, 50 % wilg. wzgl.) przez 28 dni, %, nie więcej niż Stabilność wymiarów w 70 $^0$ C przez 48 h, %,	80	100	150	200	-		
-	100	-	150	-	-	5	-	Odkształcenia pod obciążeniem 20 kPa, w 80 $^0$ C, przez 48 h, %, nie więcej niż	-	-	-	-	-		
$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	-	-	Tolerancja grubości, nie więcej niż Tolerancja długosci i szerokości, nie więcej niż	$\pm 0,5$ mm przy grubości 10 – 15 mm, $\pm 1,0$ mm przy grubości 20 – 100 mm, $\pm 1,5$ mm przy grubości 105 – 1000 mm $\pm 0,3$ %	-	-	-	-	-	
3	2	1	2	1	2	-	-	Tolerancja prostokątności, mm/1000 mm, nie więcej niż Tolerancja płaskości, mm, nie więcej niż	-	-	-	-	-		
$\pm 2$ mm	$\pm 1$ mm	-*	$\pm 2$ mm	$\pm 1$ mm	$\pm 2$ mm	$\pm 0,6$ % lub $\pm 3$ mm**	-	Klasa reakcji na ogień, co najmniej Sztywność dynamiczna, MN/m <sup>3</sup> , nie więcej niż Zdolność samogaśnięcia	$\pm 0,5$ mm przy grubości 10 – 15 mm, $\pm 1,0$ mm przy grubości 20 – 100 mm, $\pm 1,5$ mm przy grubości 105 – 1000 mm $\pm 0,3$ %	-	-	-	-	-	
$\pm 0,6$ % lub $\pm 3$ mm**	$\pm 2$ mm	-	-	-	-	5	-	Wysokość samogaśnięcia	-	-	-	-	-	-	
15	10	5	10	5	10	-	-	Wysokość samogaśnięcia	-	-	-	-	-	-	
E	-	-	-	-	-	20	15	Samogaszące	-	-	-	-	-	-	
Wymiary	-	-	-	-	-	-	-	Banwa spławnego polistyrenu, dopuszczalna głębokość vignotów i uszkodzeń do 10 % grubości, lecz nie więcej niż 5 mm, łączna powierzchnia wad do 50 cm <sup>2</sup> / 1 m <sup>2</sup> , największa wada do 10 cm <sup>2</sup> powierzchni	-	-	-	-	-		
Wymiary	-	-	-	-	-	-	-	Powierzchnia przeciętych próbek gladka, bez wypadania pojedynczych granulek	-	-	-	-	-	-	
12,0 <sub>-10%</sub> ***	15,0 <sub>-10%</sub> ***	18,0 <sub>-10%</sub> ***	15,0 <sub>-10%</sub> ***	20,0 <sub>-10%</sub> ***	30,0 <sub>-10%</sub> ***	40,0 <sub>-10%</sub> ***	-	Gęstość pozorna, kg/m <sup>3</sup> , nie mniej niż	12,0	15,0	20,0	30,0	40,0		

\* Tolerancje grubości określają specyfikacje techniczne na płyty warstwowe z okładzinami metalowymi

\*\* Ta wartość, która liczbowo daje większą tolerancję

\*\*\* Wartość poza wymaganiami, podana informacyjnie

# 2.3.5

Styropian

## Wymagania fizyko mechaniczne

Odpowiadające sobie zastosowania wyrobów EPS wg normy PN-B-20132:2005 i odmian (PS-E) FS wg nieaktualnej normy PN-B-20130:2001

Nazwa wyrobu	Zastosowania wg PN-B-20132:2005	Zastosowania wg PN-B-20130:2001	Oznaczenie odmiany (PS – E)
<b>EPS 50 - 042</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- wypełnienie ścian szkieletowych z wentylowaną i niewentylowaną szczeliną powietrzną*</li> <li>- pionowa izolacja dylatacyjna ścian zewnętrznych</li> <li>- wypełnienie konstrukcjiewnętrznych ścianek działowych</li> <li>- wypełnienie stropów od spodu z okładziną</li> <li>- ocieplenie stropów między krokwiami</li> <li>- wypełnienie lekkich stropów szkieletowych z okładziną</li> <li>- wypełnienie dachów stromych między krokwiami*</li> <li>- ocieplenie stropów od spodu w zewnętrznych zespołonych systemach ocieplania (ETICS), zwanych także bezspoinowymi systemami ocieplania (BSO) lub metodą „lejka-moką”</li> <li>- ocieplenie ścian zewnętrznych w konstrukcji z okładziną, wentylowaną, szczeliną powietrzną*, zwane metodą „lejka-sucha”</li> <li>- ocieplenie podłóg pod tynk</li> <li>- ocieplenie wieńców w postaci szalunku traconego pod linyk</li> <li>- ocieplenie nadproży i ościeży otworów okiennych i drzwiowych</li> <li>- ocieplenie prefabrykowanych płyt warstwowych zewnętrznych</li> <li>- ocieplenie i deskowanie trącone stropów szkieletowych od spodu</li> <li>- ocieplenie dachów stromych od wewnątrz pod konstrukcją nośną*</li> <li>- rdzeń termoizolacyjny warstwowych płyt scienowych i dachowych z okładzinami metalowymi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bez obciążzeń mechanicznych, np. w murach szkieletowych, jako ekran zagiejnikowe</li> </ul>	<b>FS 12</b>
<b>EPS 70 – 040</b> FASADA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ocieplenie ścian zewnętrznych z poszyciem drewnianym lub drewnopochodnym z wentylowaną szczeliną powietrzną* od zewnętrz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- przy niewielkich obciążeniach mechanicznych, ocieplanie i docieplanie ścian</li> </ul>	<b>FS 15</b>
<b>EPS 80 – 036</b> FASADA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ocieplenie nadproży i ościeży otworów okiennych i drzwiowych</li> <li>- ocieplenie prefabrykowanych płyt warstwowych zewnętrznych</li> <li>- ocieplenie i deskowanie trącone stropów szkieletowych od spodu</li> <li>- rdzeń termoizolacyjny warstwowych płyt scienowych i dachowych z okładzinami metalowymi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- przenoszenie obciążen mechanicznych typowych dla dachów, podłog i części podziemnych budynków</li> </ul>	
<b>EPS 80 – 040</b> PŁYTY WARSTWOWE Z OKŁADZINAMI METALOWYMI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ocieplenie ścian, stropów od spodu oraz zokołów w zewnętrznych zespołonych systemach ocieplania (ETICS), zwanych także bezspoinowymi systemami ocieplania (BSO) lub metodą „lejka-moką”</li> <li>- ocieplenie ścian ponizej poziomu gruntu z izolacją przeciwvodną normalnie obciążone</li> <li>- ocieplenie podłóg pod podkładem z płyt prefabrykowanych i posadzkowych normalnie obciążone</li> <li>- ocieplenie podłóg na gruncie z podkładem posażkowym normalnie obciążone</li> <li>- ocieplenie stropodachów pełnych bez dostępu</li> <li>- rdzeń termoizolacyjny warstwowych płyt scienowych i dachowych z okładzinami z papy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- przenoszenie obciążen mechanicznych typowych dla dachów, podłog i części podziemnych budynków</li> </ul>	
<b>EPS 100 – 038</b> DACH / PODŁOGA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ocieplenie cokołów w zewnętrznych zespołonych systemach ocieplania (ETICS), zwanych także bezspoinowymi systemami ocieplania (BSO) lub metodą „lejka-moką”</li> <li>- ocieplenie podłóg pod podkładem z płyt prefabrykowanych i posadzkowych normalnie obciążone</li> <li>- ocieplenie podłóg na gruncie z podkładem posażkowym normalnie obciążone</li> <li>- rdzeń termoizolacyjny warstwowych płyt scienowych i dachowych z okładzinami z papy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- przenoszenie obciążen mechanicznych typowych dla dachów, podłog i części podziemnych budynków</li> </ul>	
<b>EPS 100 – 038</b> PŁYTY WARSTWOWE Z OKŁADZINAMI Z PAPY - DACHY	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ocieplenie cokołów w zewnętrznych zespołonych systemach ocieplania (ETICS), zwanych także bezspoinowymi systemami ocieplania (BSO) lub metodą „lejka-moką”</li> <li>- ocieplenie ścian ponizej poziomu gruntu z izolacją przeciwvodną normalnie obciążone</li> <li>- ocieplenie podłóg pod podkładem z płyt prefabrykowanych i posadzkowych normalnie obciążone</li> <li>- ocieplenie podłóg na gruncie z podkładem posażkowym normalnie obciążone</li> <li>- ocieplenie dachów stromych na konstrukcji nośnej pod pokrycie dachówką*</li> <li>- warstwa chłoniąca przed przemazaniem w konstrukcjach dachowych</li> <li>- ocieplenie podłóg na gruncie z podkładem posażkowym silnie obciążone</li> <li>- wypełnienie stropodachów i dachów z możliwością parkowania pojazdów</li> <li>- wypełnienie konstrukcyjne następów drogowych, kolejowych, przyćzóków mostów i innych konstrukcji inżynierskich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- przenoszenie większych obciążen mechanicznych, izolacja podłóg w halach, parkingach, na parkingu, w garażach</li> </ul>	<b>FS 20</b>
<b>EPS 250 – 036</b> PODLÓGA / PARKING	<ul style="list-style-type: none"> <li>- spłyty z izolacją akustyczną, układana pod podkładem posażkowym w podłogach pływających w celu zwiększenia izolacji od dźwięków uderzeniowych oraz pełniącą dodatkowo rolę izolacji cieplnej</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- przenoszenie większych obciążen mechanicznych, izolacja podłóg w halach, parkingach, na parkingu, w garażach</li> </ul>	<b>FS 40</b>
<b>EPS T – 24 dB</b> PODLÓGA PŁYWĄJĄCA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- spłyty z izolacją akustyczną, układana pod podkładem posażkowym w podłogach pływających w celu zwiększenia izolacji od dźwięków uderzeniowych oraz pełniącą dodatkowo rolę izolacji cieplnej</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- przenoszenie większych obciążen mechanicznych, izolacja podłóg w halach, parkingach, na parkingu, w garażach</li> </ul>	
<b>EPS T – 30 dB</b> PODLÓGA PŁYWĄJĄCA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pionowa izolacja dylatacyjna podłogi pływającej od ścian zewnętrznych – bieżowy pas tła mocy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- przenoszenie większych obciążen mechanicznych, izolacja podłóg w halach, parkingach, na parkingu, w garażach</li> </ul>	

\*Wentylowaną szczelelną powietrzną następują płyty tyflowane, z pionowymi rówkami na powierzchni od strony wentylowanej.

1. Płoński W., Pogorzelski J.A.: Fizyka Budowli, Arkady 1979
2. Pogorzelski J., Firkowicz-Pogorzelska K.: Analiza przydatności PN EN ISO 13788 do oceny stanu wilgotnościowego przegród, Materiały Konferencyjne IX Polskiej Konferencji Naukowo-Technicznej, Łódź 2003
3. 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
4. Instrukcja ITB nr 334/2002 System bezspoinowego ocieplania ścian zewnętrznych budynków
5. PN EN ISO 7345:1998 Izolacja cieplna - Wielkości fizyczne i definicje
6. PN ISO 10456:1999 Izolacja cieplna - Materiały i wyroby budowlane - Określenie deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych
7. PN EN ISO 6946:1999 Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła - Metoda obliczania
8. PN-B-20130:2001 Wyroby dla izolacji cieplnej w budownictwie. Płyty styropianowe (PS-E)
9. PN-B-20132:2005 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Wyroby ze styropianu (EPS) produkowane fabrycznie - Zastosowania
10. PN EN 13163 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Wyroby ze styropianu (EPS) produkowane fabrycznie - Specyfikacja
11. PN EN 822:1998 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie długości i szerokości
12. PN EN 823:1998 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie grubości
13. PN EN 824:1998 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie prostokątności
14. PN EN 825:1998 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie płaskości
15. PN EN 12086:2001 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie właściwości przy przenikaniu pary wodnej
16. PN EN 1603:1999 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie stabilności wymiarowej w stałych normalnych warunkach laboratoryjnych
17. PN EN 1605:1999 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie odkształcenia przy działaniu obciążenia ściskającego w określonych warunkach temperaturowych
18. PN EN 826:1998 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie zachowania przy ściskaniu
19. PN EN 1606+AC:1999 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie pełzania przy ściskaniu
20. PN EN 1607:1999 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie wytrzymałości na rozciąganie prostopadłe do powierzchni czołowych
21. PN EN 12090:2000 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie zachowania przy ścinaniu
22. PN EN 1602:1999 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie gęstości pozornej
23. PN EN 12086:2001 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie właściwości przy przenikaniu pary wodnej
24. PN EN 12088:2000 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie - Określanie absorpcji wody przy długotrwałej dyfuzji
25. PN ISO 9052-1:1994/Ap1:1999 Akustyka - Określanie sztywności dynamicznej - Materiały stosowane w płynących podłogach w budynkach mieszkalnych
26. PN-90/B-02867/Az1:2001 Ochrona przeciwpożarowa budynków - Metoda badania stopnia rozprzestrzeniania ognia przez ściany
27. PN-90/B-02851 Ochrona przeciwpożarowa budynków - Metoda badania odporności ognowej elementów budynków
28. PN-B-02851-1:1997 Ochrona przeciwpożarowa budynków - Badania odporności ognowej elementów budynków - Wymagania ogólne i klasyfikacja
29. PN ISO 9705:1999 Ochrona przeciwpożarowa - Badania ogniodziałające - Badanie wyrobów powierzchniowych w pomieszczeniu pełnej skali
30. PN EN ISO 10093:2001 Tworzywa sztuczne:badania ogniodziałające - Znormalizowane źródła zapłonu
31. PN ISO 8421-1:1997 Ochrona przeciwpożarowa - Terminologia - Terminy ogólne i dotyczące zjawiska pożaru Wymagania ogólne i klasyfikacja
32. PN-88/B-02855 Ochrona przeciwpożarowa budynków - Metoda badania wydzielania toksycznych produktów rozkładu i spalania materiałów
33. PN-89/B-02856 Ochrona przeciwpożarowa budynków - Metoda badania właściwości dymotwórczych materiałów
34. PN-B-02872:1996 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Metody badania odporności dachów na ogień zewnętrzny
35. PN-93/B-02862/Az1:1999 Ochrona przeciwpożarowa budynków - Metoda badania niepalności materiałów budowlanych (Zmiana Az1)

strona 2

36. PN-B-02874:1996/Az1:1999

Ochrona przeciwpożarowa  
budynków - Metoda badania stopnia  
palności materiałów budowlanych  
(Zmiana 1)

37. PN-B-02875:1999 Ochrona

przeciwpożarowa budynków -  
Metoda badania odporności  
ogniowej i skuteczności  
ogniodochronnej sufitów  
podwieszonych

38. PN EN 13501-1:2004 Klasyfikacja

ogniowa wyrobów budowlanych  
i elementów budynków cz. 1. Klasyfi-  
kacja na podstawie badań reakcji na  
ogień

39. PN EN 11925-2 Reakcja na ogień -

zapalność materiałów budowlanych  
poddanych bezpośredniemu działa-  
niu płomienia cz. 2

40. ISO 13785 Badanie reakcji na ogień

fasad cz. 2. Badanie w pełnej skali

41. PN EN 13823:2002 Badanie reakcji

na ogień wyrobów budowlanych -  
Wyroby budowlane, z wyłączeniem  
podłogowych, poddane oddziaływa-  
niu termicznemu pojedynczego pło-  
nącego przedmiotu (SBI)

42. PN-C-89297:1998 Polistyren

spienialny Oznaczanie zdolności  
samogaśnięcia

**Podstawy fizyki budowli**

<b>Uwagi wstępne</b>	<b>3.1</b>
Zakres informacji	3.1.1
Wielkości, oznaczenia i jednostki z zakresu fizyki budowli	3.1.2
<b>Ochrona cieplna</b>	<b>3.2</b>
Podstawy fizyczne	3.2.1
Izolacyjność cieplna	3.2.2
Wymagania formalne dotyczące izolacyjności cieplnej	3.2.3
Niestacjonarny przepływ ciepła	3.2.4
<b>Ochrona przed kondensacją pary wodnej</b>	<b>3.3</b>
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
<b>Ochrona akustyczna</b>	<b>3.4</b>
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
<b>Literatura i normy</b>	<b>3.5</b>

# 3.1.1

## Uwagi wstępne Zakres informacji

Budynki są przedmiotem różnych oddziaływań środowiskowych. Oddziaływanie 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
- oddziaływanie 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 rozwiązymania 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 ogniomową i innymi. Problemy te będą tu omawiane w kolejnych rozdziałach zatytuowanych: 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 zawiązaniem.

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. Celem ochrony przed kondensacją w głębiną jest:

mi. Celem ochrony przed kondensacją głębiną jest:

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

Efektem ochrony przed wilgocią jest zdrowy mikroklimat oraz wnętrze 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	°C
wahania temperatury, różnica	T <sub>s</sub>	K
ciepło	ΔT	K
strumień ciepła	Q	Ws, J
współczynnik przewodzenia ciepła	Φ	W
opór cieplny	λ	W/(m·K)
konduktancja cieplna	R	m <sup>2</sup> ·K/W
współczynnik przejmowania ciepła	Λ	W/(m <sup>2</sup> ·K)
opór przejmowania ciepła	h	W/(m <sup>2</sup> ·K)
współczynnik przenikania ciepła	R <sub>s</sub>	m <sup>2</sup> ·K/W
ciepło właściwe	U	W/(m <sup>2</sup> ·K)
aktywność cieplna	c	kJ/(kg·K)
pojemność cieplna objętościowa	b	J/(m <sup>2</sup> ·K·s <sup>0.5</sup> )
pojemność cieplna powierzchniowa	C	J/(m <sup>3</sup> ·K)
zakumulowana ilość ciepła w jednostce powierzchni przegrody	C <sub>p</sub>	J/(m <sup>2</sup> ·K)
	Q <sub>a</sub>	J/m <sup>2</sup>

**Ochrona przed wilgocią**

Wielkość	oznaczenie	jednostka
temperatura punktu rosy	T <sub>s</sub>	°C
wilgotność względna powietrza	φ	%
wilgotność powietrza	w	kg/m <sup>3</sup>
wilgotność powietrza w stanie nasycenia	w <sub>s</sub>	kg/m <sup>3</sup>
ciśnienie cząstkowe pary wodnej	p	Pa
ciśnienie stanu nasycenia	p <sub>s</sub>	Pa
współczynnik oporu dyfuzyjnego	μ	-
równoważna pod względem dyfuzyjnym grubość warstwy powietrza	s <sub>d</sub>	m
współczynnik przepuszczania pary wodnej	δ	kg/(m·s·Pa)
przepuszczalność pary wodnej	W	kg/(m <sup>2</sup> ·s·Pa)
opór dyfuzyjny	Z <sub>p</sub>	m <sup>2</sup> ·s·Pa/kg
gęstość strumienia pary wodnej	g	kg/(m <sup>2</sup> ·s)

## 3.1.2

## Wielkości, oznaczenia i jednostki z zakresu fizyki budowli

strona 2

### Ochrona akustyczna

Wielkość	oznaczenie	jednostka
częstotliwość	f	Hz
częstotliwość własna	$f_o$	Hz
częstotliwość graniczna	$f_g$	Hz
ciśnienie akustyczne	p	N · m <sup>-2</sup>
ciśnienie odniesienia	$p_o$	N · m <sup>-2</sup>
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
sztywność dynamiczna	s'	MN/m <sup>3</sup>
zmniejszenie poziomu uderzeniowego	$\Delta L$	dB
wskaźnik ważony poprawy izolacyjności	$\Delta L_w$	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 wewnętrznego. 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 dwóch różnych to pomieszczenie, → 3.2.1/2a. Szczególne znaczenie ma temperatura podłogi, ponieważ straty cieplne z organizmu ludzkiego są tu dodatkowo powiększane przez przewodzenie ciepła → 3.2.1/2b.

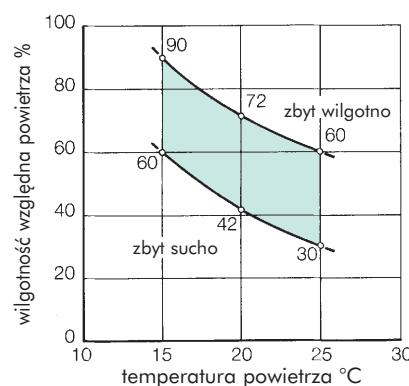
Kolejnym parametrem mającym wpływ na komfort cieplny wnętrza jest ruch powietrza (prędkość ruchu powietrza). Nadmierna prędkość powietrza może wywoływać nieprzyjemne, miejscowe schłodzenie powierzchni ciała → 3.2.1/3.

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 wnętrza i otoczenia budynku w zimie, musi prowadzić do strat cieplnych, 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.

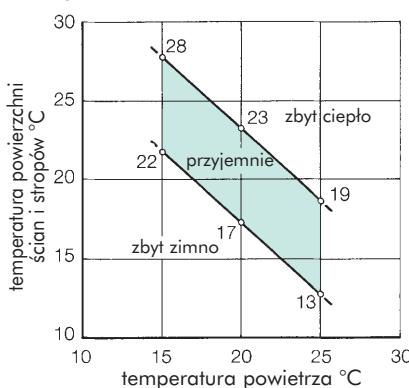
W lecie nadmiar ciepła dostaje się do wnętrza budynku głównie poprzez okna, w mniejszym stopniu przez przegrody nie-przezroczyste. Przegrzewaniami wnętrza w lecie można w dużym stopniu uniknąć jeśli przegrody pełne mają dużą pojemność cieplną oraz stosując urządzenia osłaniające okna (np. żaluzje, okiennice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

**3.2.1/1**



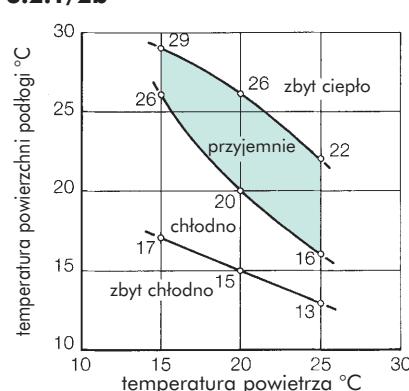
obszar komfortu w zależności od parametrów temperatury powietrza i wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu

**3.2.1/2a**



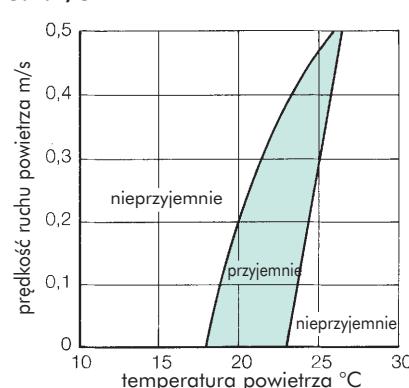
obszar komfortu w zależności od parametrów temperatury powietrza i średniej temperatury powierzchni przegród

**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

# 3.2.1

## Ochrona cieplna Podstawy fizyczne

strona 2

### Energia cieplna i przepływ ciepła

#### Ciepło

Ciepło jest formą przekazywania energii, która jest związana z drganiem 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.

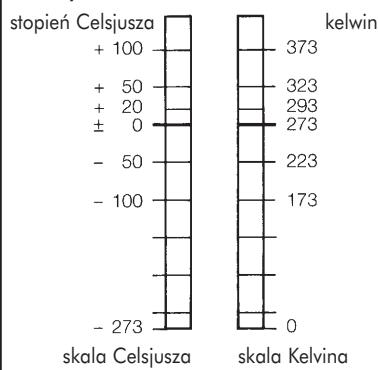
Ciepło (ilość ciepła)

$Q$ , W·s lub J

#### Temperatura

Temperatura jest informacją o stanie energetycznym ciała. Jest ona umowną wielkością fizyczną, do jej liczbowego określania używa się dwóch skali: 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 Kelwina zero stopni odpowiada zeru absolutnemu. W temperaturze zera absolutnego ustaje jakikolwiek ruch cząsteczek

Temperatura

$T$ , °C

Różnica temperatur

$\Delta T$ , K

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

#### 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 temperatura 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 molekuły 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

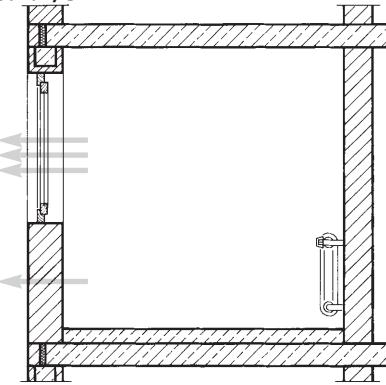
Promieniowanie cieplne to forma wymiany energii między dwoma ciałami, które nie stykają się wzajemnie ze sobą. Promieniowanie padające na powierzchnię ciała stałego jest częściowo absorbowane, a częściowo odbijane. Ciało o ciemnym kolorze absorbuje więcej energii słonecznej niż jasne i ogrzewają się 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

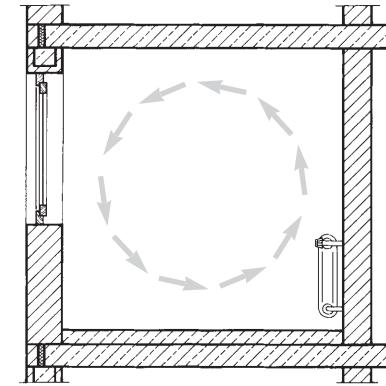
Jeśli przepływ ciepła odbywa się w warunkach stałych temperatur otoczenia, to mamy do czynienia ze stacjonarnym ruchem ciepła (takie założenie przyjmuje się

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 bosoj stopy z podłogą itp.

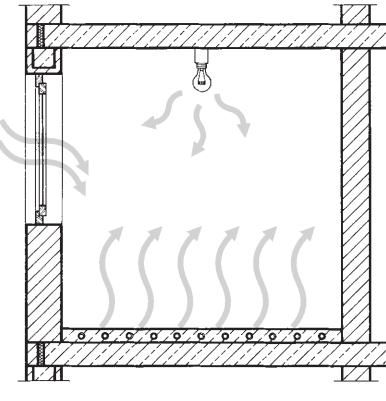
3.2.1/5



3.2.1/6



3.2.1/7



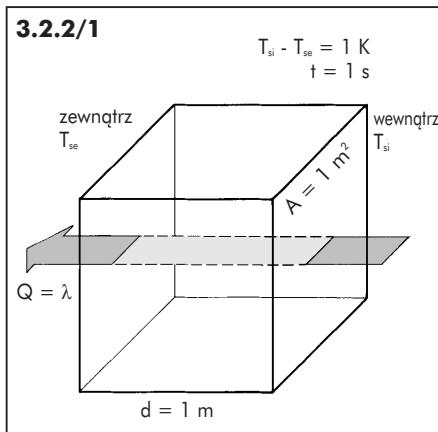
## Właściwości materiałów

### 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 grzejną oraz PN ISO 10456 Określanie deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych.

Współczynnik przewodzenia ciepła

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



Współczynnik przewodzenia ciepła mówi o ilości ciepła [Ws] jaka przepływa przez warstwę materiału o grubości 1m 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:

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

$\lambda$  - współczynnik przewodzenia ciepła materiału

$d$  - grubość warstwy materiału

$A$  - powierzchnia przegrody

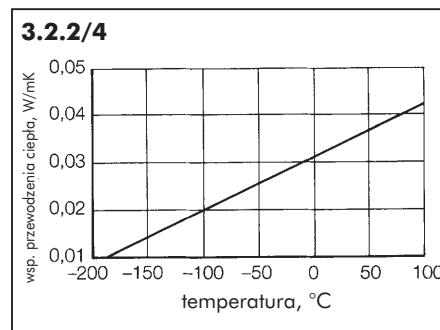
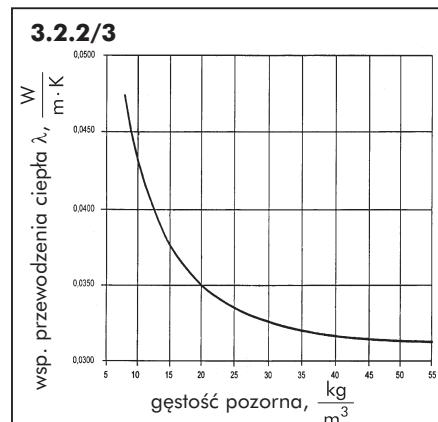
$\Delta T$  - różnica temperatur

$t$  - 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 tej można obserwować w tabeli → **3.2.2/2**.

materiał	$\rho, \frac{kg}{m^3}$	$\lambda, \frac{W}{m \cdot K}$
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 uwzględniać rzeczywisty stan wilgotnościowego 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, jaką ilość ciepła jest potrzebna do podgrzania materiału w warunkach wzrastającej temperatury.

Ciepło właściwe

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

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**.

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

# 3.2.2

## Ochrona cieplna Izolacyjność cieplna

strona 2

### Właściwości materiałów

#### Konduktancja

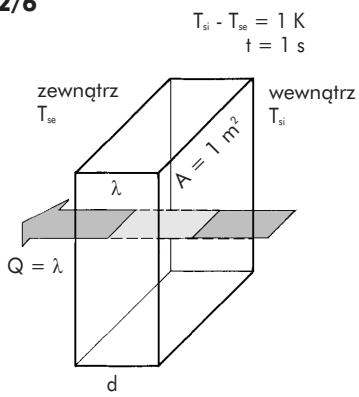
Współczynnik przewodzenia ciepła określa przepływ strumienia cieplnego przez warstwę materiału o grubości 1 m. Przy analizie przepływu ciepła przez konkretny element budowlany, należy uwzględnić jego rzeczywistą grubość:

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

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:

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

$\Lambda$  - konduktancja

A - pole powierzchni

$\Delta T$  - 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:

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

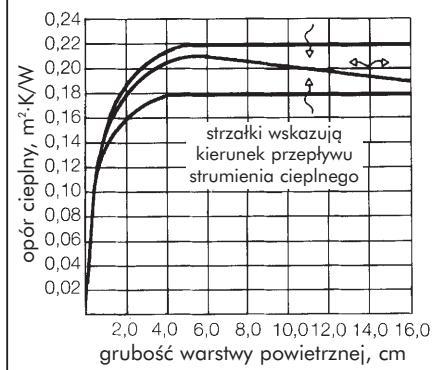
6 cm styropianu:

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

##### Warstwa powietrzna

Właściwości izolacyjne 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



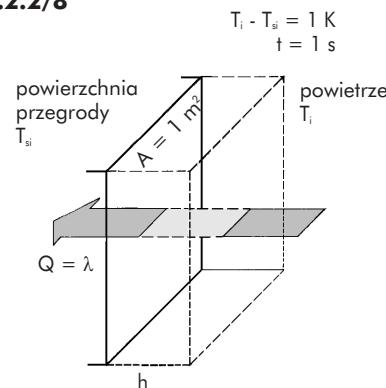
#### Współczynnik przejmowania ciepła

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  $h_e$ .

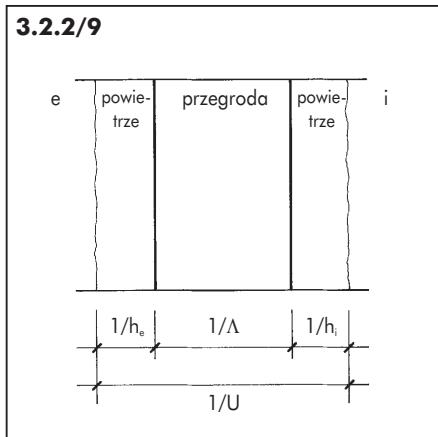
#### Opór przejmowania ciepła

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 cieplnego, 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 związek 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

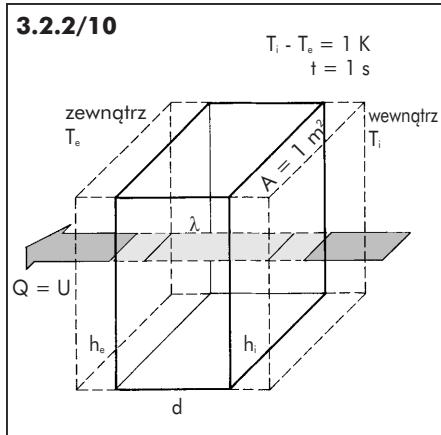
$$R_T = \frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{h_i} , \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

### Współczynnik przenikania ciepła

Współczynnik przenikania ciepła jest równy odwrotnością całkowitego oporu cieplnego przegrody.

### Współczynnik przenikania ciepła

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



Współczynnik przenikania ciepła odpowiada ilości ciepła [W·s] jaka przenika przez przegrodę budowlaną, z uwzględnieniem przypowierzchniowych warstw powierzchniowych, 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 wewnętrznie budynku, w sposób następujący:

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

gdzie:

U - współczynnik przenikania ciepła  
A - pole powierzchni przegród  
 $\Delta T$  - 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 gołosownych 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  $\lambda$  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  $\lambda$  jest tzw. statystyczną wartością oczekiwana. Wartość liczbową 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 ścisłe 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-

## 3.2.2

## Ochrona cieplna Izolacyjność cieplna

strona 4

### 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	$\lambda$	R	$\Delta T$	T
	m	W/(m·K)	(m <sup>2</sup> 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 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 m<sup>3</sup> kubatury ogrzewanej części budynku, jest mniejsza od wartości granicznej E<sub>0</sub>, 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<sub>0</sub> 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<sub>0</sub> 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<sub>0</sub> = 29 kWh/(m<sup>3</sup> rok) przy A/V ≤ 0,20,
2. E<sub>0</sub> = 26,6 + 12 A/V kWh/(m<sup>3</sup> rok)  
    przy 0,20 < A/V < 0,90,
3. E<sub>0</sub> = 37,4 kWh/(m<sup>3</sup> rok)  
    przy A/V ≥ 0,90,

gdzie:

A - jest sumą pól powierzchni wszystkich ścian zewnętrznych (wraz z oknami i drzwiami balkonowymi), dachów i stropów nad piwnicą nieogrzewaną, stropów nad przejazdami, oddzielającymi 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.

### 3.2.3

### Ochrona cieplna Wymagania formalne dotyczące izolacyjności cieplnej

strona 2

#### Aktualne wymagania ochrony cieplnej budynków (cd.)

Fragmenty załącznika do Rozporządzeniem 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	$U_{k(\max)}$ , W/(m <sup>2</sup> ·K)
1	2	3
1	Ściany zewnętrzne (stykające się z powietrzem zewnętrznym): a) przy $t_i > 16^\circ\text{C}$ : - o budowie warstwowej* z izolacją z materiału o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda \leq 0.05 \text{ W/mK}$ , - pozostałe b) przy $t_i \leq 16^\circ\text{C}$ (niezależnie od rodzaju ściany)	0.30 0.50 0.80
2	Ściany piwnic nieogrzewanych	bez wymagań
3	Stropadachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i > 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} < t_i \leq 16^\circ\text{C}$	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	$U_{k(\max)}$ , W/(m <sup>2</sup> ·K)
1	2	3
1	Ściany zewnętrzne (stykające się z powietrzem zewnętrznym): a) przy $t_i > 16^\circ\text{C}$ - pełne - z otworami okiennymi i drzwiowymi - ze wspornikami balkonu, przenikającymi ścianę b) przy $t_i \leq 16^\circ\text{C}$ (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	Stropadachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i > 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} < t_i \leq 16^\circ\text{C}$	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  $U_k$  ściany wewnętrznej przy klatce schodowej na parterze nie powinna być większa niż 1.0 W/(m<sup>2</sup>·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	$U_{k(\max)}$ , W/(m <sup>2</sup> ·K)
1	2	3
1	Okna (z wyjątkiem połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przeźroczyście nieotwieralne w pomieszczeniach o $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ : - 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 $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	2.0
3	Okna w ścianach oddzielających pomieszczenie ogrzewane od nie ogrzewanych	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 <sup>2</sup> 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 piwniczych 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 <sup>2</sup> 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:

$\Psi$  - liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka liniowego

$l$  - długość mostka

$X$  - punktowy współczynnik przenikania ciepła mostka punktowego

$A$  - pole powierzchni przegrodki

■ w budynku mieszkalnym, zamieszkańi zbiorowym, 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, zamieszkańi zbiorowym, 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 m<sup>2</sup>•K/W,
- b) przy  $4^{\circ}\text{C} < t_i \leq 16^{\circ}\text{C}$  - 0,8 m<sup>2</sup>•K/W.

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

Inne wymagania związane z oszczędnością energii

■ w budynku jednorodzinnym pole powierzchni  $A_0$ , wyrażone w m<sup>2</sup>, okien oraz przegród szklanych i przezroczystych, o współczynniku przenikania ciepła  $U_k$  nie mniejszym niż 2,0 W/(m<sup>2</sup>•K), obliczone wg ich wymiarów modularnych, nie może być większe niż wartość  $A_{\max}$  obliczona wg wzoru:

$$A_{\max} = 0.15A_z + 0.03A_w,$$

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 pozostałe części rzutu poziomego wszystkich kondygnacji po odjęciu  $A_z$ .

■ w budynku użyteczności publicznej pole powierzchni  $A_0$ , wyrażone w m<sup>2</sup>, okien oraz przegród szklanych i prze-

roczystych, o współczynniku przenikania ciepła  $U_k$  nie mniejszym niż 2,0 W/(m<sup>2</sup> x K), obliczone według ich wymiarów modularnych, nie może być większe niż wartość  $A_{\max}$  obliczona według wzoru

$$A_{\max} = 0.15A_z + 0.03A_w,$$

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 (hałowym) - 15%,
- b) w budynku wielokondygnacyjnym - 30%.

■ w budynku mieszkalnym, zamieszkańi zbiorowym, budynku użyteczności publicznej, a także w budynku produkcyjnym opór cieplny nieprzezroczystych przegród zewnętrznych powinien umożliwić 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 utrzymywana 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 nieprzecroczone, łączące między przegrodami i częściami przegród oraz połączenia okien z ościeżami 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	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ 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<sup>2</sup>·K/W

Grubość warstwy powietrza mm	Kierunek strumienia cieplnego		
	w góre	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 góre	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 różnionicowych 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 bosej 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

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

aktywność cieplna

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

### Cechy przegrody

pojemność cieplna powierzchniowa

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

konduktancja cieplna

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

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

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

lub

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

lub

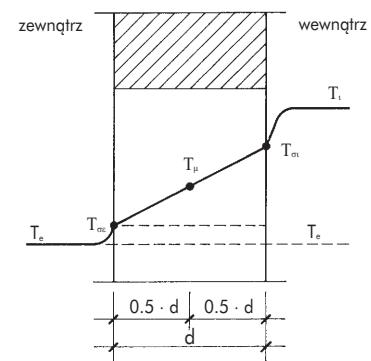
$$Q_s = C_p \cdot (T_m - T_e) , \frac{J}{m^2}$$

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

Osłonięcie muru ceglanego warstwą izolacyjną od zewnątrz, pozwala zakumulować w nim 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**



# 3.2.4

## Ochrona cieplna Niestacjonarny przepływ ciepła

strona 2

### Zagadnienia praktyczne

#### Wahań temperatury powietrza wewnętrzne

Do dużych wahań temperatury we wnętrzu dochodzi w przypadku budynków okresowo ogrzewanych, np. kościoły, obiekty sportowe, hale widowiskowe itp. Wyróżne wahania występują także w pomieszczeniach, w których stosuje się nocne obniżenie 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 pożądany jest długi czas stygnięcia przegród oraz krótki czas nagrzewania. Wymagania te realizuje się w następujący sposób:

##### ■ długie 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  $C_p/\Lambda$ , 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 zewnętrz. 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.

#### Wahań temperatury powietrza zewnętrzne

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 „ $\eta$ ” → □ 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 tłumi przepływ ciepła tylko w niewielkim stopniu, to wymagane jest przesunięcie fazowe fali 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

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

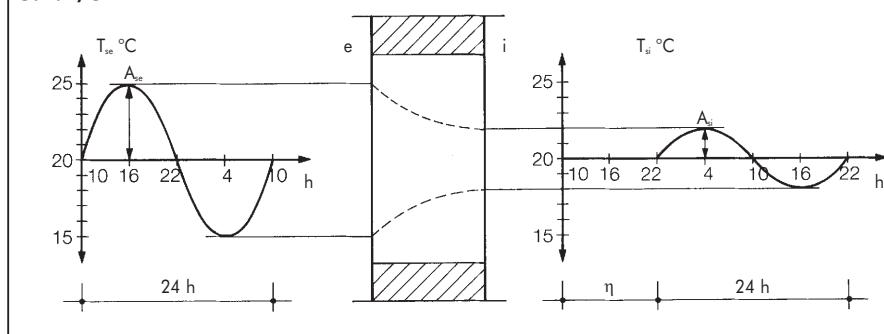
aktywności cieplnej, tym cieplejsza wydaje się podłoga przy dotknięciu stopą.

< 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		ocena
odprowadzanie ciepła po 1 min kJ/m <sup>2</sup>	po 10 min kJ/m <sup>2</sup>	
≤ 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 cieplne muszą być równoważone zwiększym 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 wewnętrz porów materiału, powstawania wykwitów, a także rozsadzania struktury materiału przy działaniu mrozu.

Formy działania wilgoci na budynek  
→ □ 3.3.1/1:

Od zewnętrz:

- opady atmosferyczne
- woda pochodząca od wsiąkających w grunt opadów oraz podciągana kapilarne z glebi 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-

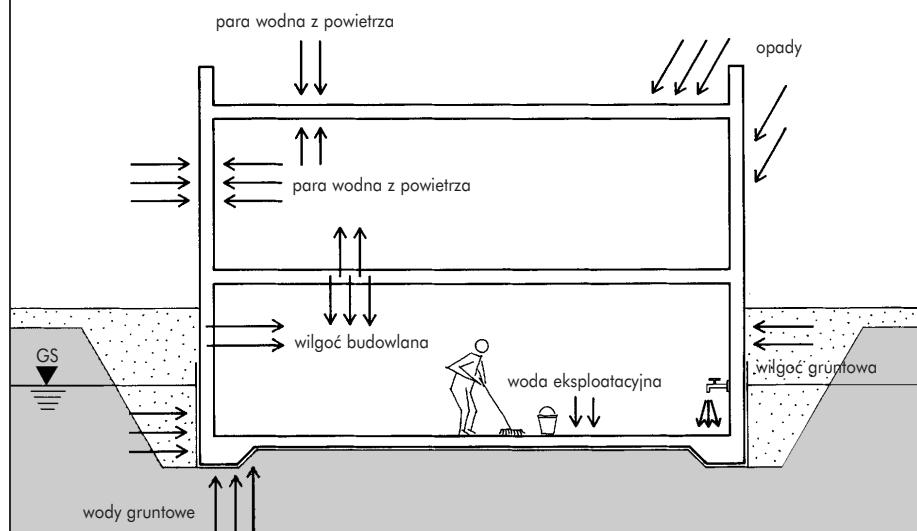
rialów, składowania nieosłoniętego materiału, a w końcu wiąże się z mokrymi procesami konstruowania przegród.

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 budowl.

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

### 3.3.1/1



# 3.3.1

## Ochrona przed kondensacją pary wodnej Podstawy fizyczne

strona 2

### Powietrze wilgotne

#### Temperatura

Stan cieplno-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

$T$ , °C

Różnica temperatur

$\Delta T$ , K

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:

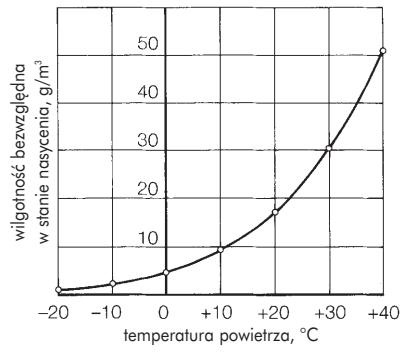
3.3.1/3

temperatura $T$ , °C	rzeczywista zawartość parы vodnej $W$ , g/m <sup>3</sup>	zawartość parы vodnej w stanie nasycenia $W_s$ , g/m <sup>3</sup>	wilgotność względna powietrza $\varphi$ , %
10	7.51	9.39	80
30	15.18	30.36	50

#### 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



Zwykłe 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  $\varphi$ :

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

Wilgotność względna powietrza

$\varphi$ , %

Sama wartość wilgotności względnej powietrza nie podaje informacji o rzeczywi-

#### Ciśnienie pary wodnej

W praktycznym opisie przebiegu zjawisk wilgotnościowych chętnie stosuje się jednak zamiast bezwzględnej zawartości wilgoci, 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 ( $\varphi < 100\%$ )

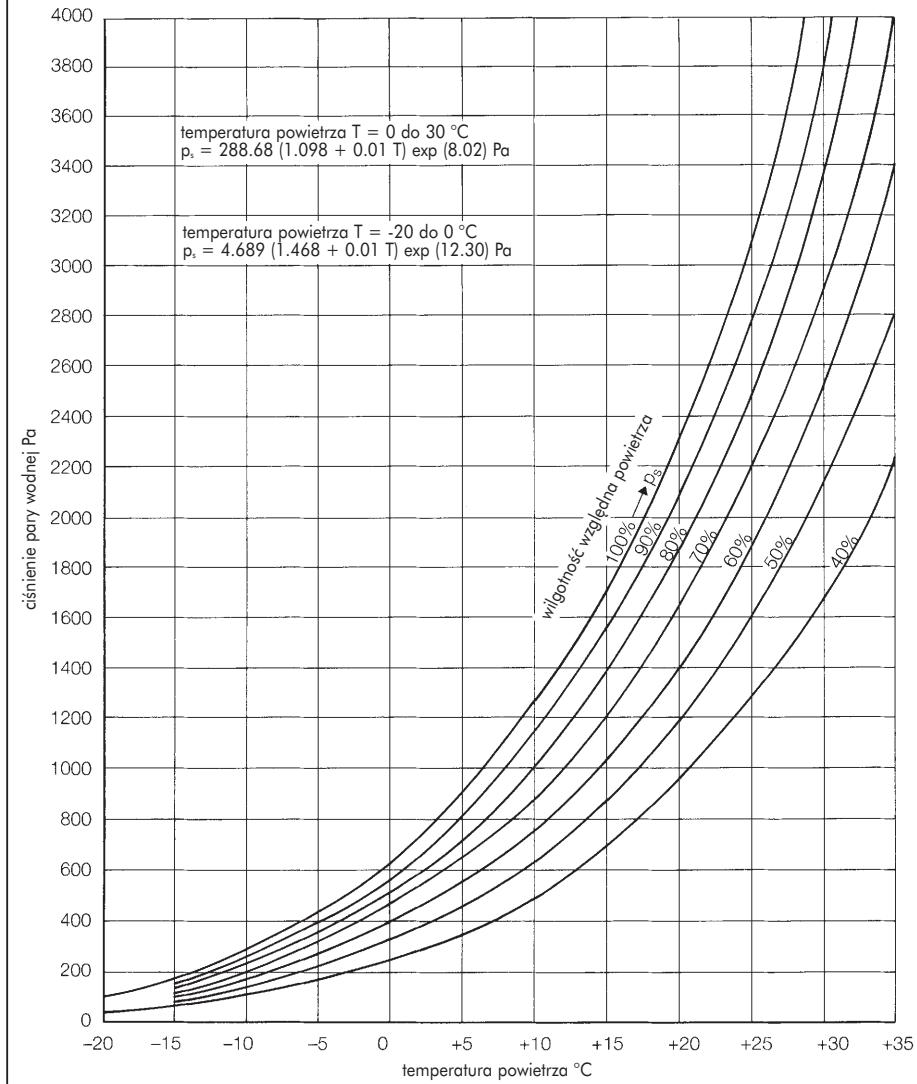
$p$ , Pa

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

$p_s$ , Pa

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

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

Ille wynosi wartość  $p$  i  $p_s$ ?

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

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

# 3.3.1

## Ochrona przed kondensacją pary wodnej Podstawy fizyczne

strona 4

### Dyfuzja pary wodnej i kondensacja w przegrodzie

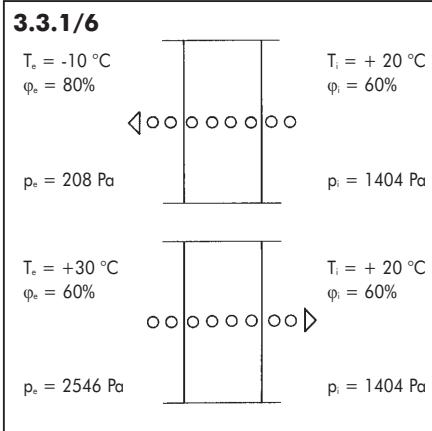
#### Następstwa zróżnicowanych warunków eksploatacji

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 cieplno-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 cząstek pary po obydwu stronach tej przegrody. Parą wodną 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 należałyby schłodzić wilgotne powietrze, aby rozpoczęła się kondensacja zawartej w nim pary, czyli wilgotność względna była równa 100%. Temperatura punktu rosy  $T_s$ , zależy od

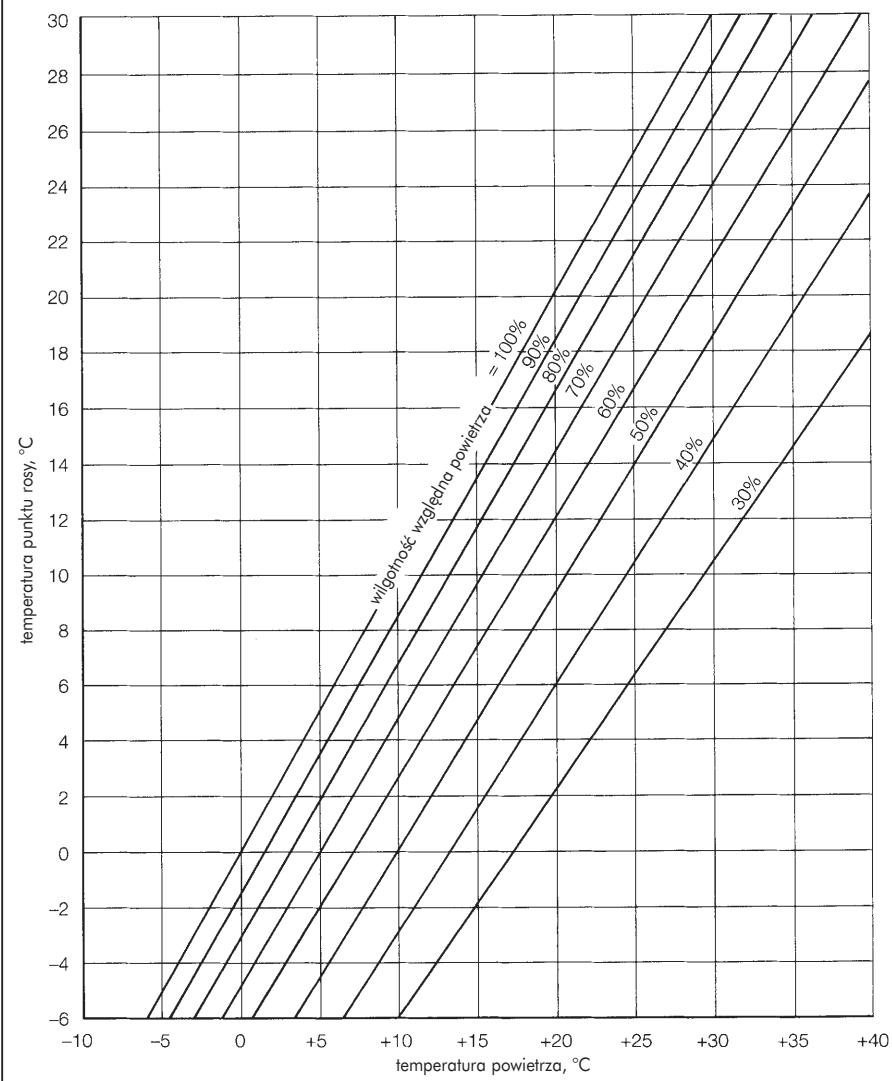
temperatury początkowej i wilgotności względnej powietrza → □ 3.3.1/7.

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

#### Kondensacja wewnątrz przegrody

Para woda 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 wgębnej w przegrodzie wymaga porównania rozkładów ciśnień rzeczywistego i stanu nasycenia w każdym punkcie przegrody. Metoda ta jest oparta na prawie Fokina-Glaser'a.

3.3.1/7



## Ochrona przed kondensacją pary wodnej Dyfuzja pary wodnej

**3.3.2**

### Wielkości fizyczne

#### Współczynnik przepuszczania pary wodnej

Zróżnicowane 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  $\delta_0$ :

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

Liczba  $\mu$ , 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

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

<b>3.3.2/1</b>	
materiał	$\mu$
powietrze	1
beton (żelbet)	20
szkło	$\infty$
mur ceglany	7
drewno	13
styropian	50
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  $\mu$  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 stawałaby taki sam opór jak rozpatrywana warstwa materiału, → □ **3.3.2/2**.

#### 3.3.2/2

warstwa materiału	grubość równoważnej warstwy powietrza
beton $d = 20 \text{ cm}$	$s_d = 22 \text{ m}$
styropian $d = 10 \text{ cm}$	$s_d = 5 \text{ m}$
folio PE $d = 1 \text{ mm}$	$s_d = 90 \text{ m}$

#### 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  $\delta$  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 szczelnego 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:

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

# 3.3.3

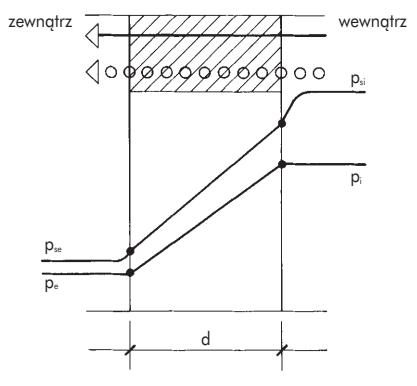
## Ochrona przed kondensacją pary wodnej Ciśnienie pary wodnej w przegrodzie

strona 1

### Rozkład ciśnienia pary wodnej w przegrodzie

W następstwie zróżnicowanych warunków cieplno-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:

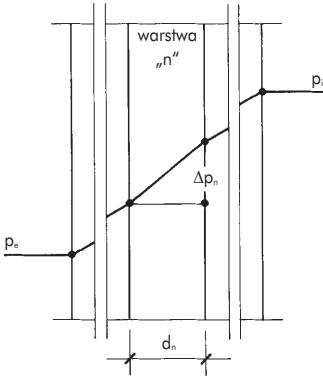
1. Ciśnienia pary wodnej po obydwu stronach przegrody
2. Współczynnika oporu dyfuzyjnego i grubości warstw materiałowych przegrody.

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

$\mu_n$ , bezwymiarowy

współczynnik przepuszczania pary wodnej

$$\delta_n = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{\mu_n}, \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{h}$$

opór dyfuzyjny warstwy

$$Z_{pn} = \frac{1}{W_{pn}} = \frac{d_n}{\delta_n}$$

całkowity opór dyfuzyjny przegrody

$$Z_p = \frac{1}{W_p} = \sum \frac{1}{W_{pn}} = \sum \frac{d_n}{\delta_n}$$

opyry 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

$\mu_n$ , bezwymiarowy

grubości równoważnej warstwy powietrznej

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

różnice ciśnień cząstkowych

$$\Delta p_n = \frac{s_{dn}}{\sum s_{dn}} (p_i - p_e)$$

**Tabelaryczne obliczanie rozkładu ciśnień pary wodnej w przegrodzie**

<b>Warstwa</b>	d	T	p <sub>s</sub>	μ	s <sub>d</sub>	Δp	p	ϕ	
	m	°C	Pa		m	Pa	Pa	%	
Powietrze wewnętrzne	-			-	-	-			
Powierzchnia wewn.	-			-	-	-			
Powietrze zewnętrzne	-			-	-	-			
				s <sub>dT</sub> =					

# 3.3.4

## Ochrona przed kondensacją pary wodnej Wykraplanie pary wodnej

### Układ warstw w przegrodzie

W przegrodzie zewnętrznej, rozdzielającej środowiska o różnionowych warunkach klimatycznych, zachodzi dyfuzja pary wodnej przez warstwy przegrody. Podczas transportu wilgoci przez przegrodę zachodzi niebezpieczeństwo kondensacji pary wodnej na powierzchni lub wewnętrz przegrody. Wykraplenie 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:

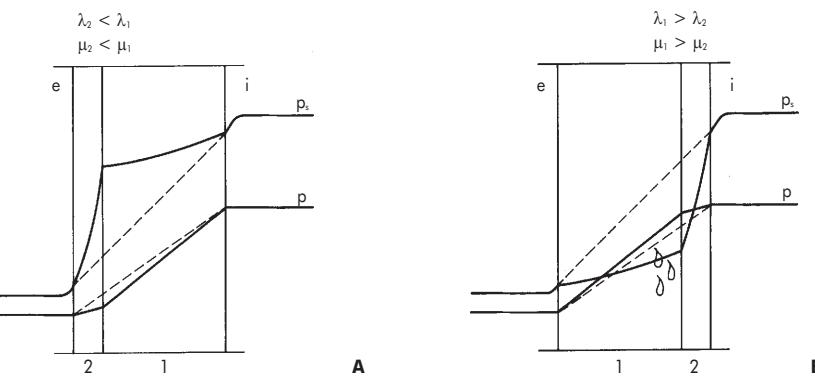
- nachylenie krzywej temperatury (a więc także wykresu ciśnień stanu nasycenia) jest zależne od przewodności cieplnej materiału
- nachylenie wykresu ciśnień rzeczywistych w przegrodzie jest zależne od współczynnika oporu dyfuzyjnego.

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

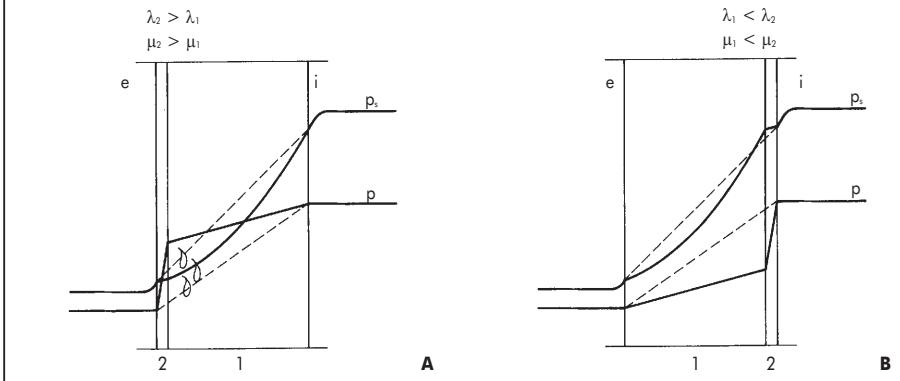
Przeanalizowano warianty przegród pod kątem:

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 wgłębna 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

- Różnicowane 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  $\lambda$ ) powinien być umieszczony po zimnej stronie przegrody.
- Natomiast warstwa paroizolacyjna powinna znajdować się po cieplej stronie przegrody.
- W przypadku izolacji termicznej umieszczonej od strony wewnętrza, tj. po cieplej stronie przegrody, kondensacji wgłębowej w przegrodzie można uniknąć stosując warstwę paroizolacji po stronie wewnętrznej.

### Podstawy obliczeń

Ochrona przed kondensacją wgłębną 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

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

Po uwzględnieniu różnicy ciśnień cząstkowych pary wodnej  $\Delta p$ , która powstaje na warstwie materiału lub strefie przegrody otrzymuje się:

gęstość strumienia pary wodnej

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

gdzie

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

lub

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

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 wykrapianej w okresie kondensacji, oraz ilość wilgoti 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.

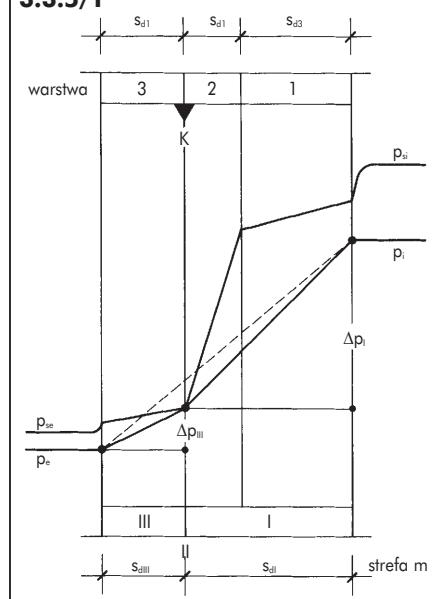
### Okres kondensacji

Kondensacja w przegrodzie zachodzi wtedy, gdy ciśnienie rzeczywiste jest równe ciśnieniu stanu nasycenia, tj. obydwa 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 łamana, a wykres  $p$  linią prostą pośród 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  $s_d$  i  $\Delta p$ .
4. Punkt styczności obydwu wykresów wskazuje  **płaszczyznę lub strefę kondensacji** w przegrodzie.

5. do 7. Obliczenia gęstości strumieni pary wodnej  $g$  dla poszczególnych stref oddzielnie oraz **akumulacji kondensatu**.

3.3.5/1

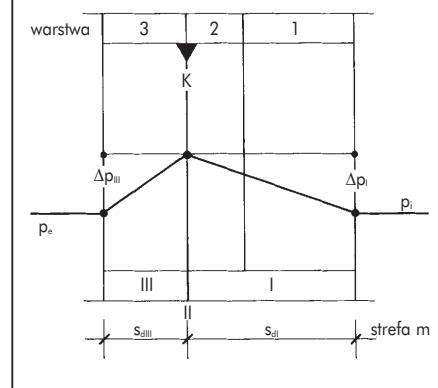


### Okres wysychania przegrody

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. Nanieśenie na przekrój przegrody, narysowany w skali równoważnych grubości warstw powietrznych, wykresów ciśnień stanu nasycenia i rzeczywistego. Odczytanie różnic ciśnień  $\Delta p_m$ .
10. do 12. Obliczenia gęstości strumieni 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

## 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  $p_i$ , Pa

2. Wykresy  $p_s$  i  $p_i$  na przekroju przegrody w skali  $s_d$ , m.

3. Rzeczywisty przebieg ciśnienia  $p$  to styczna do wykresu  $p_s$  z punktów  $p_i$  i  $p_s$ . Powstają strefy I, II i III.

4. Obszar kondensacji: strefa K

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

$$d_{IIi} = \frac{s_{dIIi}}{\mu_2}$$

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

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,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$

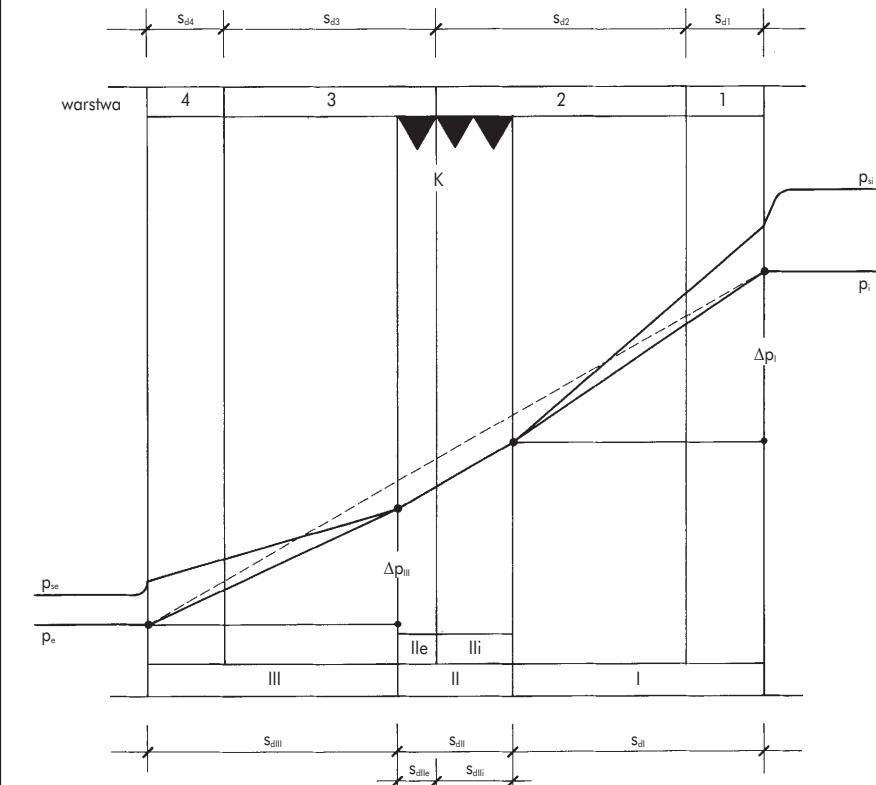
$$g_{III} = W_{pIII} \cdot \Delta p_{III}$$

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

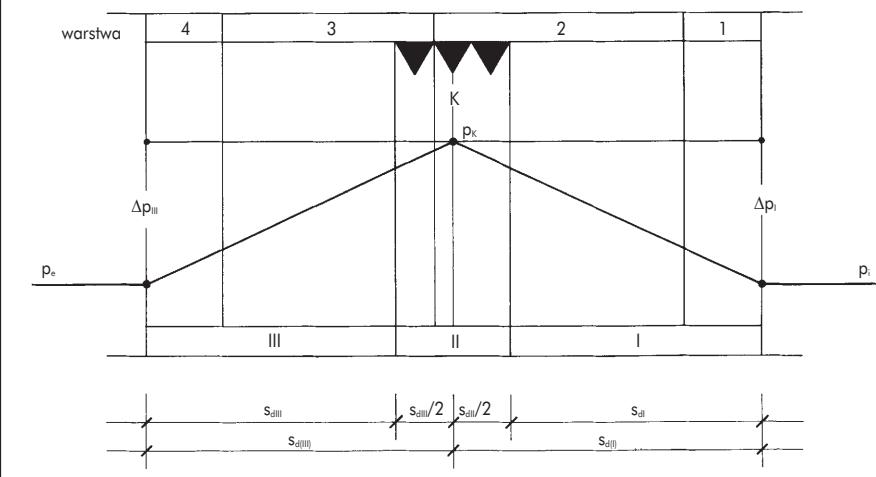
7. Ilość kondensatu  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

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

3.3.5/3



3.3.5/4



#### 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,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

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

# Ochrona przed kondensacją pary wodnej

## Obliczanie ilości pary przenikającej przez przegrodę

# 3.3.5

strona 3

### 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  $s_d$ , 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,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}}$

$$W_{p_{III}} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{d_{III}}}$$

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

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

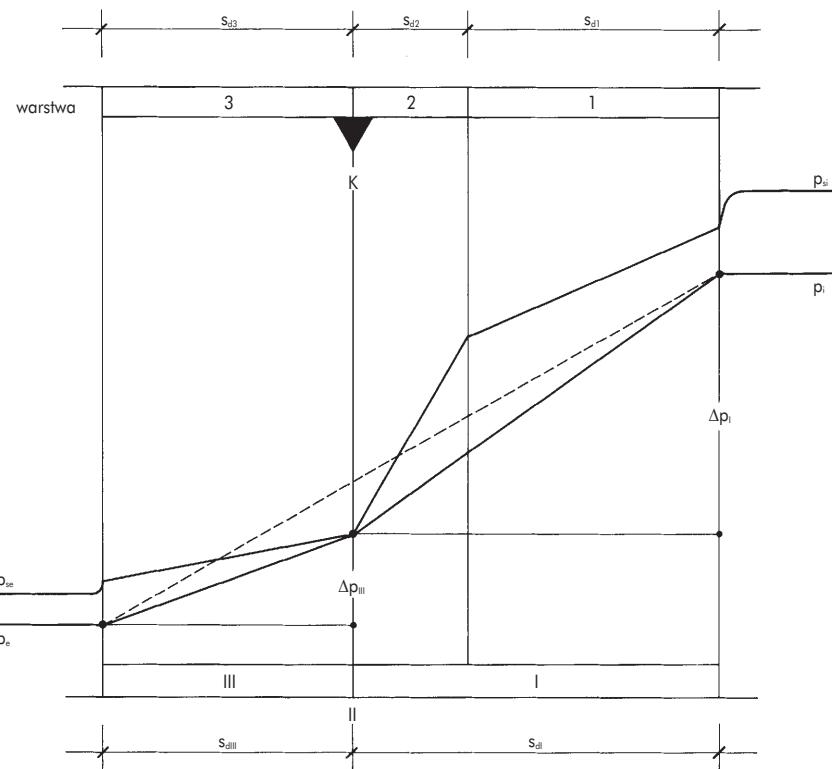
$$g_{III} = W_{p_{III}} \cdot \Delta p_{III}$$

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

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

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

3.3.5/5



#### Okres wysychania

8. Obliczenie wartości  $p$ , Pa

9. Wykres ciśnień pary wodnej

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

$$W_{p_{III}} = \frac{0.67 \cdot 10^{-6}}{s_{d_{III}}}$$

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

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

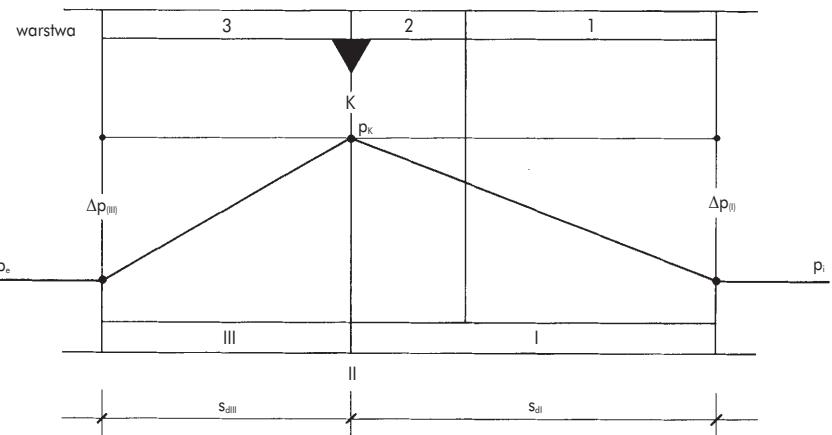
$$g_{III} = W_{p_{III}} \cdot \Delta p_{III}$$

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

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

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

3.3.5/6



# 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  $p_s$  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  $p_s$ . Powstają strefy I, II i III.

4. Obszar kondensacji: płaszczyzna K1 i K2

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

$$W_{p_{III}} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{d_{III}}}$$

$$W_{p_{II}} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{d_{II}}}$$

$$W_{p_I} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{d_I}}$$

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

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

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

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

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,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}}$

$$W_{p_{III}} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{d_{III}}}$$

$$W_{p_I} = \frac{2 \cdot 10^{-10}}{s_{d_I}}$$

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

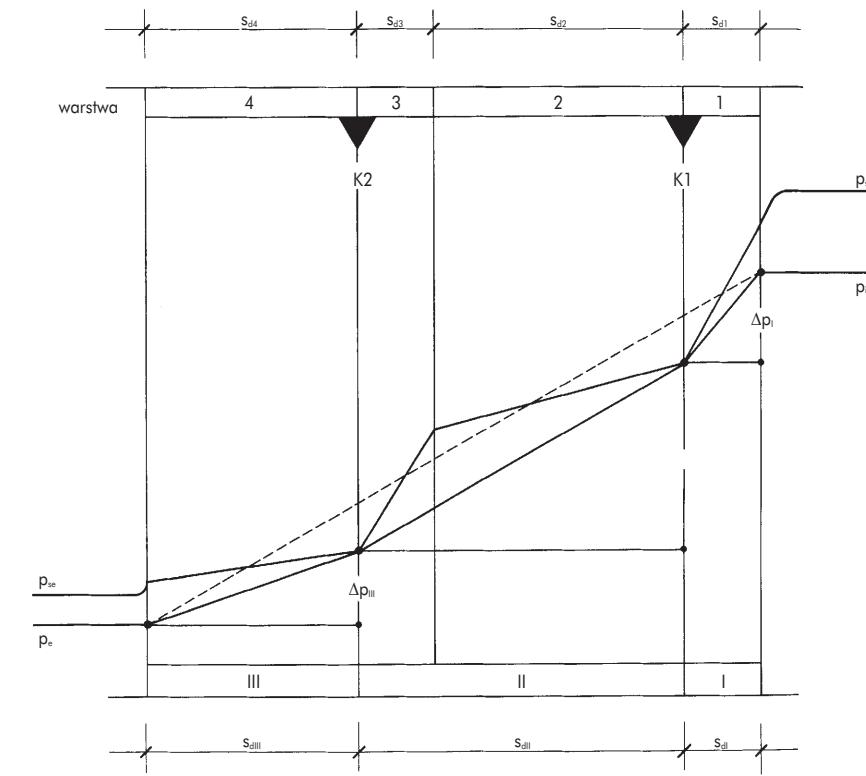
$$g_{III} = W_{p_{III}} \cdot \Delta p_{III}$$

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

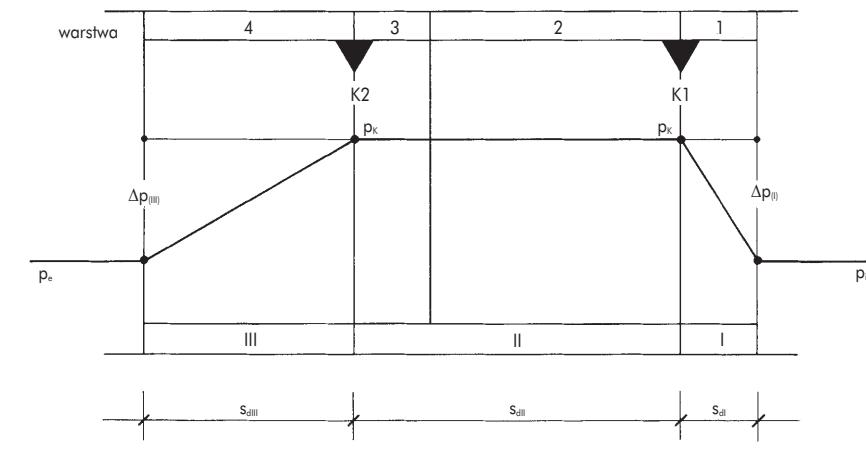
12. Ilość wody wysychającej,  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

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

3.3.5/7



3.3.5/8



### Ochrona przed zawiłgoceniem wg PN EN ISO 13788

Zadaniem powłoki zewnętrznej budynku jest ochrona wnętrza przed wpływami środowiska. Przegrody muszą przenieść różnego rodzaju obciążenia zewnętrzne bez uszkodzeń lub zniszczeń ich struktury. Zróżnicowane warunki klimatyczne wnętrza i otoczenia stwarzają dla przegród specyficzne obciążenia. Jeśli nie zostaną odpowiednio uwzględnione, to mogą spowodować znaczające uszkodzenia elementów budowlanych oraz zagrożenie dla zdrowia użytkowników budynku. W ramach ochrony przed wilgocią należy sprawdzić, czy dyfuzja i ewentualna kondensacja pary wodnej w przegrodzie nie spowoduje powstania uszkodzeń w jej strukturze i właściwościach.

Warunki związane z ochroną budynków przed zawiłgoceniem zawarte są w normie PN EN ISO 13788 Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej. Metody obliczania.

#### Zapobieganie zawiłgoceniu i pleśnienniu powierzchni zewnętrznej

W normie PN EN ISO 13788 podano metodę obliczania temperatury powierzchni wewnętrznej komponentu budowlanego lub elementu budynku, poniżej której prawdopodobny jest rozwój pleśni, przy zadanej temperaturze i wilgotności powietrza wewnętrznego.

Aby uniknąć rozwoju pleśni, wilgotność względna powietrza przy powierzchni przegrody zewnętrznej nie powinna przekraczać wartości 80%. Obliczenia są wykonywane dla średnich warunków brzegowych w poszczególnych miesiącach roku. Dla każdego miesiąca w roku należy wykonać następujące kroki obliczeniowe:

1. Zdefiniować średnią miesięczną temperaturę i wilgotność powietrza zewnętrznego dla danej lokalizacji.
2. Zdefiniować temperaturę wewnętrzną.
3. Obliczyć wilgotność względną powietrza we wnętrzu na podstawie różnicy ciśnień lub sposobu wentylowania wnętrza lub też przyjąć jako stałą dla wnętrz klimatyzowanych. Do obliczonej wartości wprowadza się poprawki, zwiększające margines bezpieczeństwa, zgodnie z zasadami podanymi w normie.
4. Przyjmując maksymalną dopuszczalną wilgotność względną powietrza przy powierzchni jako 80%, oblicza się wartość dopuszczalnego ciśnienia stanu nasycenia.
5. Na tej podstawie wyliczana jest w dalszej kolejności wartość minimalnej dopuszczalnej temperatury powierzchni  $T_{\text{simin}}$ .
6. Dla temperatury  $T_{\text{simin}}$  i średnich warunków miesięcznych w otoczeniu obliczany jest minimalny współczynnik temperaturowy  $f_{Rsi,\text{min}}$  z zależności:

$$f_{Rsi,\text{min}} = \frac{T_{\text{si,min}} - T_e}{T_i - T_e}$$

7. Krytycznym miesiącem jest ten, dla którego wymagana wartość  $f_{Rsi,\text{min}}$  jest największa. Współczynnik temperaturowy dla miesiąca krytycznego oznaczony jest symbolem  $f_{Rsi,\text{max}}$ , a budynek należy zaprojektować tak, aby wyliczona dla przegrody wartość  $f_{Rsi}$  spełniała zawsze warunek:

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,\text{max}}$$

Współczynnik temperaturowy na wewnętrznej powierzchni przegrody może być wyliczany z zależności:

$$f_{Rsi} = \frac{T_{\text{si}} - T_e}{T_i - T_e}$$

gdzie  $T_{\text{si}}$  to temperatura na wewnętrznej powierzchni przegrody przy temperaturze powietrza wewnętrznego  $T_i$  i temperaturze powietrza zewnętrznego  $T_e$ . lub ze wzoru:

$$f_{Rsi} = (U^{-1} \cdot R_{si}) / U^{-1}$$

w którym  $U$  to współczynnik przenikania ciepła analizowanej przegrody. Wartości współczynników przejmowania ciepła do obliczeń wilgotnościowych należy przyjmować wg tabeli nr 2 w normie PN EN ISO 13788, → **3.3.6/4**.

Przykładowe obliczenia wartości  $f_{Rsi,\text{max}}$  zostały przedstawione w tabeli → **3.3.6/1**.

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	$p_{se}$ Pa	$\phi_e$ %	$p_e$ Pa	$\Delta p$ Pa	$x 1,1$	$p_i$ Pa	$p_{sat}$ Pa	$T_{\text{si,min}}$ °C	$T_i$ °C	$f_{Rsi,\text{min}}$
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	
								$f_{Rsi,\text{max}}$	=		0,780	

# 3.3.6

## Ochrona przed kondensacją pary wodnej Sprawdzanie warunków wilgotnościowych

strona 2

### Ochrona przed kondensacją wewnętrzna

a) przegrody standardowe  
w zwykłych warunkach, dla uniknięcia kondensacji wewnętrznej przegrody, wystarczy przestrzeganie odpowiedniej kolejności ułożenia warstw materiałowych, tj. wg malejących oporów dyfuzyjnych od wnętrza na zewnątrz.

b) przegrody specjalne  
do kondensacji wewnętrznej 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 wewnętrzna występuje i konieczne jest spełnienie następujących wymagań:

1. Materiały w których dochodzi do wykroplenia wilgoci nie mogą ulec uszkodzeniu pod wpływem zawiłgocenia.
2. Ilość wody jaka pojawia się w trakcie całego okresu kondensacji nie może być większa niż:  
1.0 kg/m<sup>2</sup> dla dachów i ścian  
0.5 kg/m<sup>2</sup> 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 pozostałe części roku.

### Wzory obliczeniowe

Opór cieplny przegrody wielowarstwowej:

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

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	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda$ W/(m K)	$\mu$
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
jastrz chlorkowy	2100	1.2	25
jastrz cementowy	2000	1.40	15-35
stal	7850	60	$\infty$
sztukatołki	2500	0.80	$\infty$
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 Oporы cieplne warstw powietrznych

rozdział 3.2.3

#### 3.3.6/4

Oporu przejmowania ciepła, wg PN EN ISO 13788

Opor  
m<sup>2</sup>K/W

Opór przejmowania na powierzchni zewnętrznej, $R_{se}$	0.04
Opór przejmowania na powierzchni wewnętrznej, $R_{si}$	
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<sub>i</sub> = 20°C

Miesiąc	T <sub>e</sub> °C	$\phi_e$ %	$\Delta p$ Pa	x 1,1 Pa	p <sub>se</sub> Pa	p <sub>i</sub> Pa	$\phi_i$ %
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

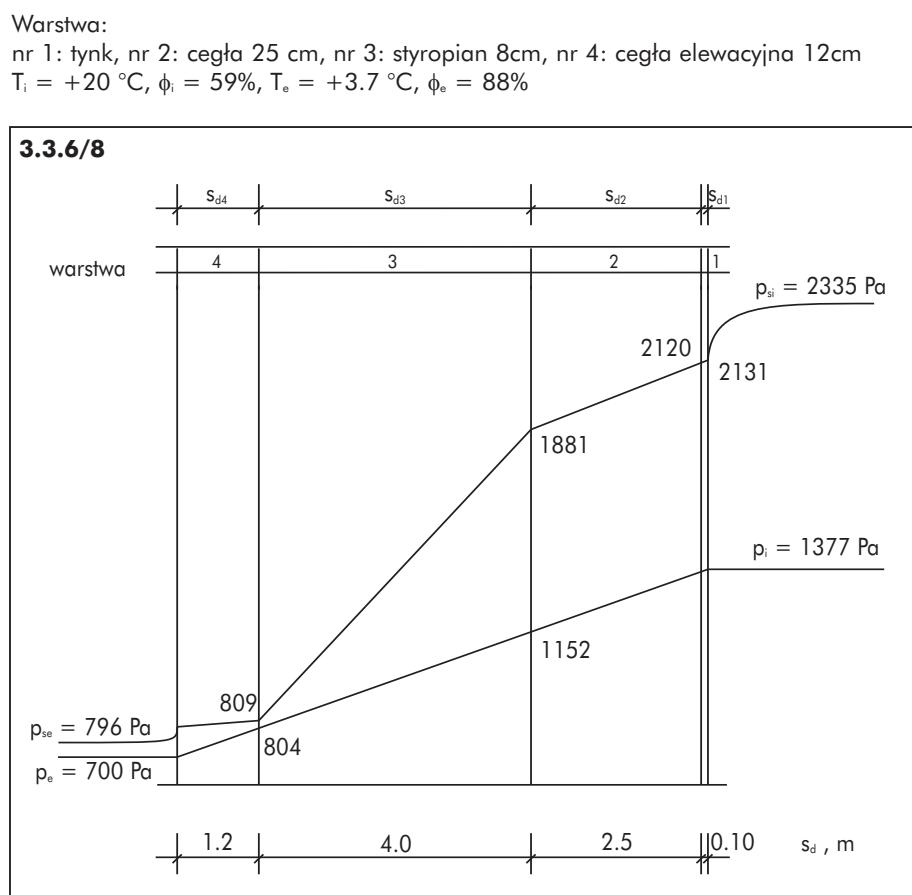
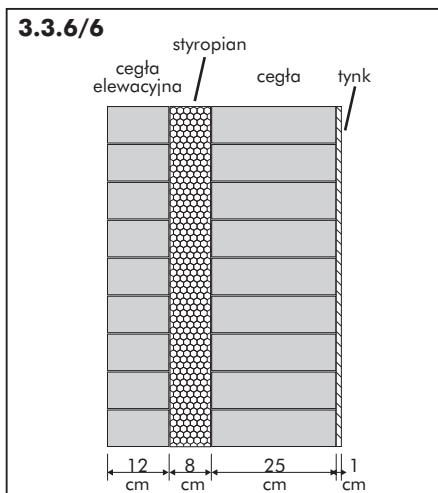
## Ochrona przed kondensacją pary wodnej Przykład obliczeniowy 1

### **3.3.6**

strong 3

## Izolacja termiczna ze styropianu

Przykład obliczeniowy rozkładu temperatury i ciśnień 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



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 po-prawnie zaprojektowana pod względem wilgotnościowym.

**3.3.6/7** Rozkład temperatur i ciśnień dla listopada

Warstwa	d	$\lambda$	R	$\Delta T$	T	ps	$\mu$	s <sub>d</sub>	$\Delta p$	p	$\phi$
	m	W/(m·K)	(m <sup>2</sup> K)/W	K	°C	Pa		m	Pa	Pa	%
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		

# 3.4.1

## Ochrona akustyczna Podstawy fizyczne

strona 1

### Obciążenie hałasem

Powłoka zewnętrzna budynku, jak już wcześniej wielokrotnie wspominano, 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 wysokouprzemysłowych szacuje się, że nawet co drugi mieszkaniec jest narażony na stałe działanie hałasu. Źródłem 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 odpoczynkowi 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 czyniki:

- 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 stropie między kondygacjami; 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

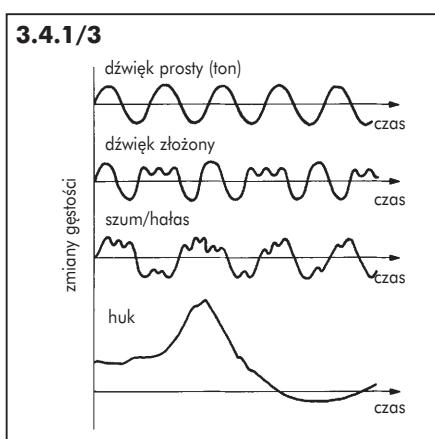
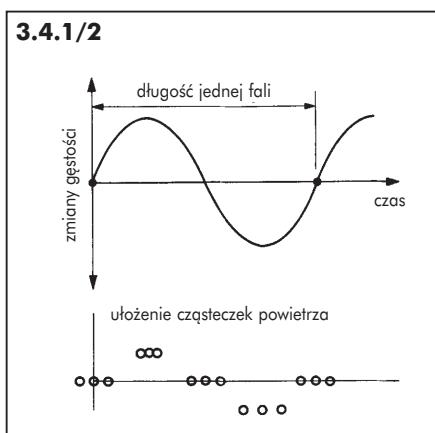
#### Częstotliwość

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

#### Częstotliwość

$$f, \text{Hz}$$

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 drganiem. Spotykane w życiu codziennym ciśnienia dźwięku różnią się potęgami dziesiętnymi.

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

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:

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

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

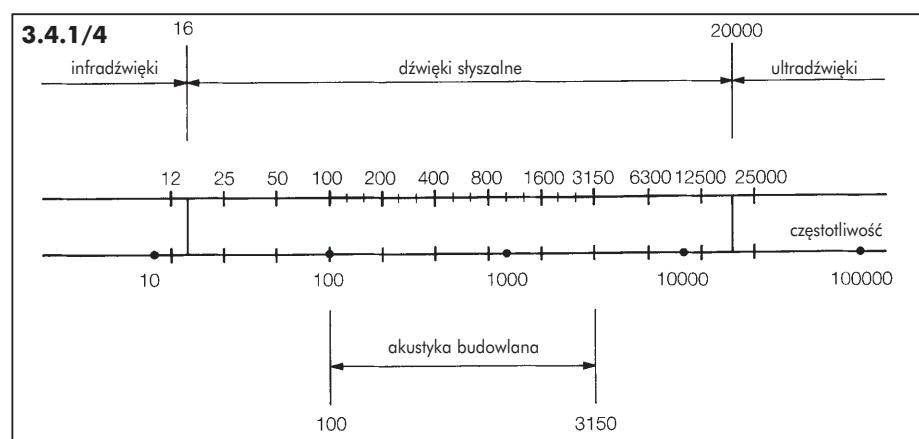
Stąd otrzymuje się:

prog słyszalności  $L_A = 0 \text{ dB}$   
granica bólu  $L_A = 120 \text{ dB}$

#### Sumowanie poziomów dźwięku

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

$$L_A^{\text{całk}} = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_i} \right), \text{ dB}$$



# 3.4.1

## Ochrona akustyczna Podstawy fizyczne

strona 3

### Dźwięk i odczuwanie dźwięku (cd.)

#### Poziom głośności

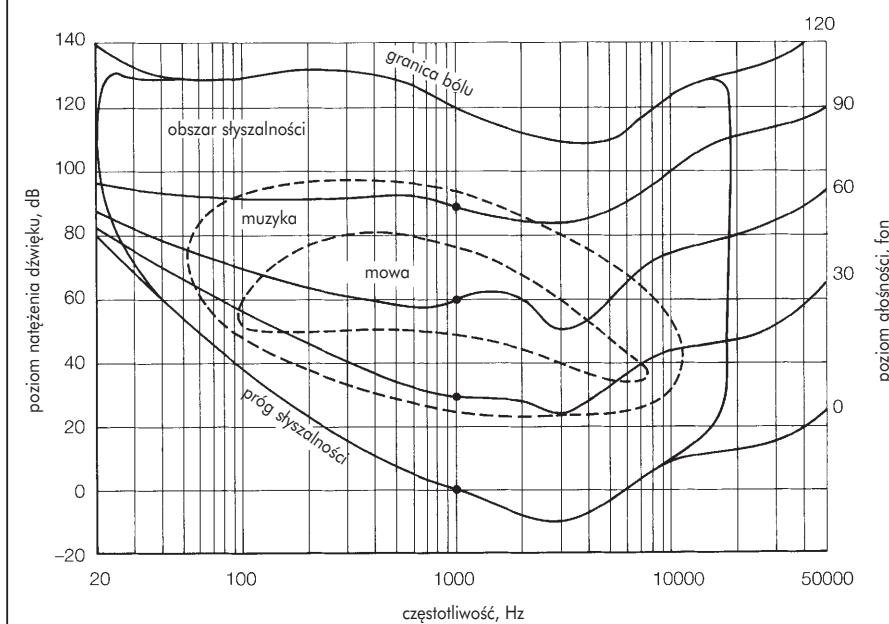
Ludzkie ucho reaguje na dwa czyste tony o jednakowym poziomie ciśnienia akustycznego, ale o różnych częstotliwościach w różny sposób. Takie dźwięki nie mają dla nas jednakowej głośności. Słabsza jest reakcja na dźwięki niskie niż wysokie. Przy ciśnieniu dźwięku na poziomie 40 dB, ton o częstotliwości 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

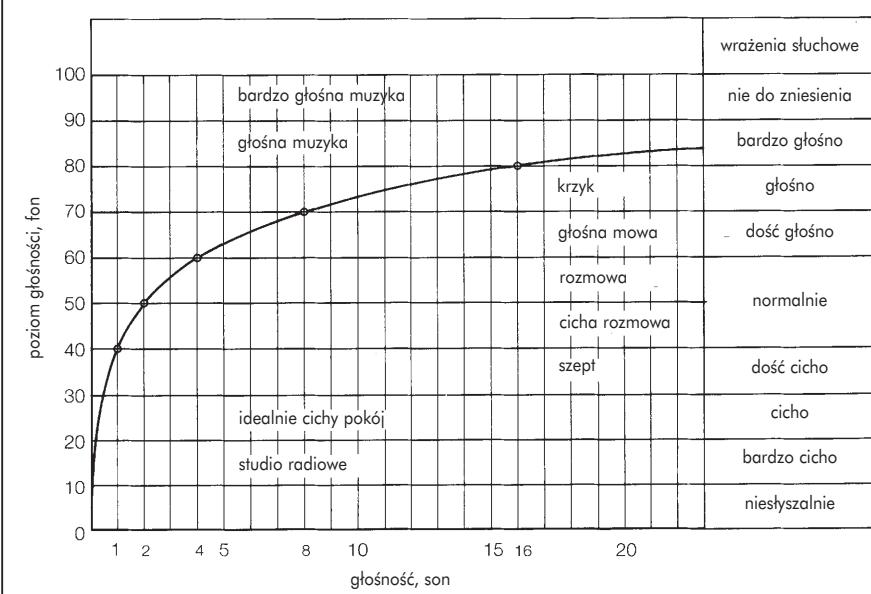
Jeśli porównuje się ze sobą dwa tony o poziomie głośności 40 i 50 fonów, to ten o poziomie głośności 50 fonów jest odbierany przez ludzkie ucho jako dwa razy głośniejszy. Nie można więc przy użyciu tego pojęcia oceniać także wzrostu poziomu głośności. W tym celu wprowadzono dodatkowe pojęcie „głośności”, 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 zauważać, 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 zobietywizowaną 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 ważone 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)	oczucia
silnik odrzutowy (z odległości 25m)			ból
start odrzutowca (z odległości 100m)		120	
silnik samolotu głośna muzyka		110	
muzyka		100	nie do zniesienia
młot pneumatyczny		90	
ciężki ruch uliczny		80	bardzo głośno
średni ruch uliczny		70	głośno
praca w biurze		60	
rozmowa		50	normalnie
mieszkanie, biblioteka		40	dość cicho
sypialnia		30	cicho
las		20	bardzo cicho
		10	niesłyszalnie

# 3.4.2

## Ochrona akustyczna Określanie izolacyjności akustycznej przegród

strona 1

### 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 uliczego, szynowego i powietrznego oraz urządzeń i instalacji przemysłowych. Dźwięk powietrny wprowadza w drzwię przegrody otaczające pomieszczenie, a następnie - już częściowo tłumiony - 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 oktawowych

$R$ , dB

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

$R'$ , 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 akustyczną właściwą  $R$  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 jednoliczbowej oceny wyników pomiarów w pasmach tercjowych lub oktawowych, krzywą odniesienia „b” przesuwa się skokowo, co 1 dB, w kierunku krzywej uzyskanej z pomiarów do momentu, kiedy suma niekorzystnych odchyлеń będzie tak duża jak to możliwe, lecz nie większa niż 32,0 dB (pomiar w 16 pasmach 1/3 oktawowych) lub 10 dB (pomiar w 5 pasmach oktawowych), 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).

$$R_A = R_w + C_i$$

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

gdzie:

$j$  jest indeksem widma poziomu dźwięku, 1 lub 2

$X_w$  jest jednoliczbowym wskaźnikiem ważonym izolacyjności akustycznej właściwej obliczonym j.w.

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

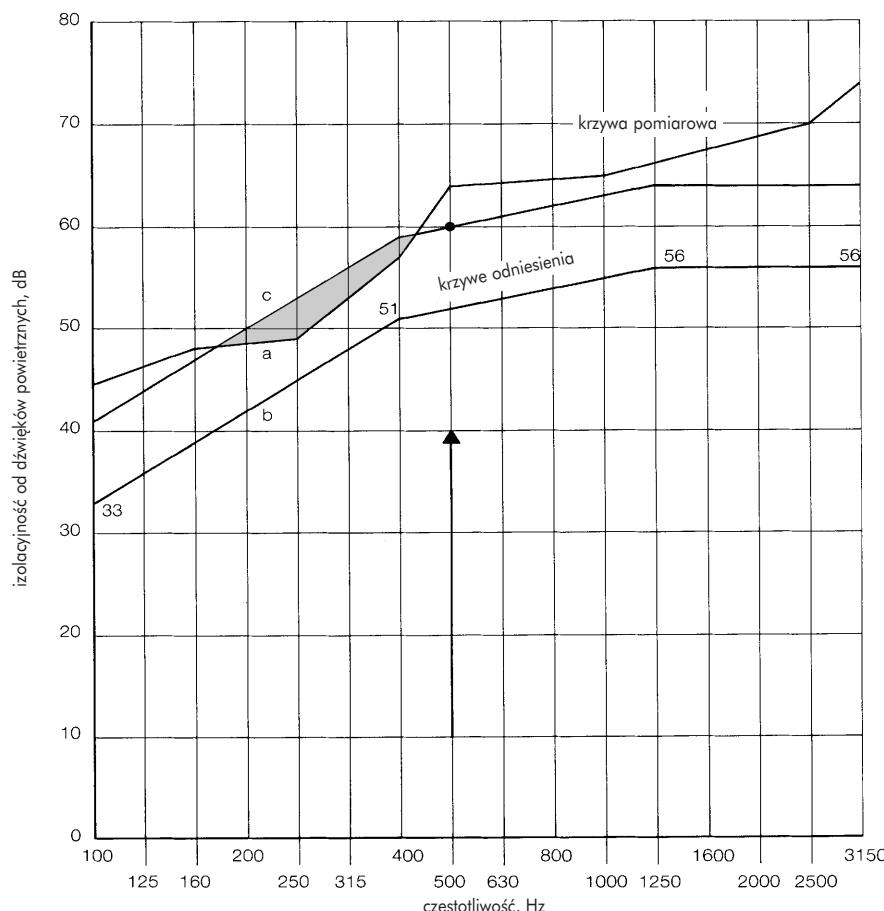
$i$  jest indeksem pasm 1/3 oktawowych lub oktawowych

$L_{ij}$  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 stropie 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 powietrny.

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)  $L'_n, \text{dB}$

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 przenoszonego przez element budowlany jest silnie związany z częstotliwością. Zależność tę pokazano na wykresie → 3.4.2/2, dla dwóch przykładowych krzywych pomiarowych „a<sub>R</sub>” i „a<sub>F</sub>” w pasmach 1/3 oktawowych.

W celu uzyskania jednoliczbowej oceny wyników pomiarów w pasmach tercjowych, krzywą odniesienia „b” przesuwa się skokowo, co 1 dB, w kierunku krzywej uzyskanej z pomiarów do momentu, kiedy suma niekorzystnych odchyлеń jest tak duża, jak to możliwe, lecz nie większa niż 32,0 dB dla pomiaru w pasmach 1/3 oktawowych i 10 dB dla pomiarów w pasmach oktawowych, krzywe „c<sub>R</sub>” i „c<sub>F</sub>”. 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 oktawowych i oktawowych.

Wartość w dB rzędnej krzywej odniesienia „c<sub>R</sub>” lub „c<sub>F</sub>” 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 oktawowych, natomiast przy pomiarach oktawowych należy odczytać wartość rzędnej zmniejszyć o 5 dB.

Uwzględnienie widma hałasu jest realizowane przy użyciu widmowego wskaźnika adaptacyjnego  $C_i$ , dodawanego do jed-

noliczbowego wskaźnika ważonego izolacyjności od dźwięków uderzeniowych.

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

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

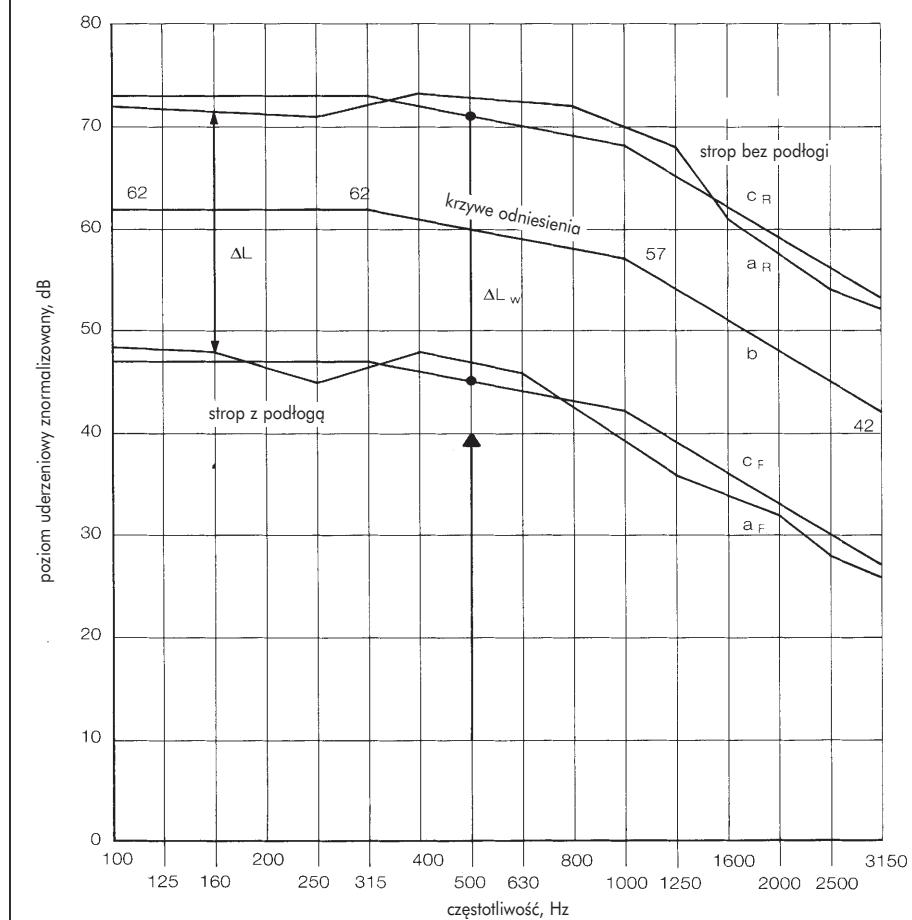
#### Przyrost izolacyjności od dźwięków uderzeniowych

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



# 3.4.2

## Ochrona akustyczna Określanie izolacyjności akustycznej przegród

strona 3

### 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 górnego stropu i ważonego wskaźnika zmniejszenia poziomu uderzeniowego podłogi.

Równoważny ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego  $L_{n,eq,0,w}$  górnego 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:

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

#### Sztynośc 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 sztynośc dynamiczną.

#### Sztynośc dynamiczna

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

Sztynośc dynamiczna materiału budowlanego zależy od modułu plastyczności oraz od grubości warstwy materiałowej. Wartości sztyności 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 pańdzierzowe	150
korek	500
okruchy korka	120
włókno kokosowe	30
styropian do izolacji termicznej	100
styropian do izolacji akustycznej	12-30

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

#### Ochrona akustyczna Określanie izolacyjności akustycznej przegród

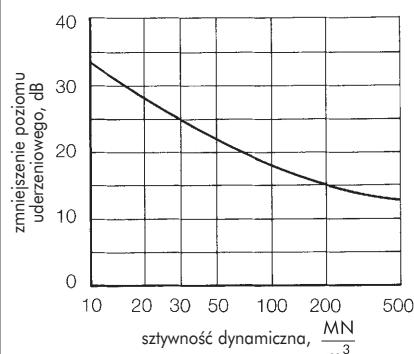
Sztynośc dynamiczną styropianowych płyt izolacji akustycznej podano w tabeli → 3.4.2/4.

#### 3.4.2/4

poziom sztyności dynamicznej	$s', \frac{\text{MN}}{\text{m}^3}$
EPS T – 24 dB	≤20
EPS T – 15 dB	≤15

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 sztyności dynamicznej nie większej niż 30 MN/m<sup>3</sup> → 3.4.2/5.

#### 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 częstek 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

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

$\rho$ , kg/m<sup>3</sup>, E, MN/m<sup>3</sup>, d, m

Przykłady warstw odpornych na drgania ( $f_g \leq 200$  Hz), grubości  $\geq 10$  cm:  
mur kamienny,  $\rho \geq 1400$  kg/m<sup>3</sup>  
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 bezpośredni), 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 ścianami bocznymi.

Przy ocenie intensywności bocznego przenoszenia dźwięków rozróżnia się:

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

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

W obiektach o masywnych ścianach 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



##### Przykłady

ściany zewnętrzne  
ściany wewnętrzne

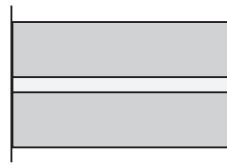
warstwa wiotka



ściany wewnętrzne  
drzwi  
okna

##### Przegroda dwuwarstwowa

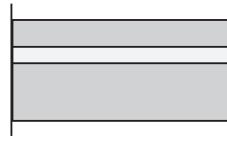
dwie warstwy sztywne



##### Przykłady

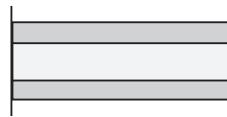
ściany pomiędzy budynkami

sztywne warstwy zewnętrzne  
z wiotką warstwą wewnętrzną



ściany zewnętrzne  
stropy  
schody

dwie warstwy wiotkie



ściany wewnętrzne  
okna

# 3.4.3

## Ochrona akustyczna Zasady izolowania akustycznego

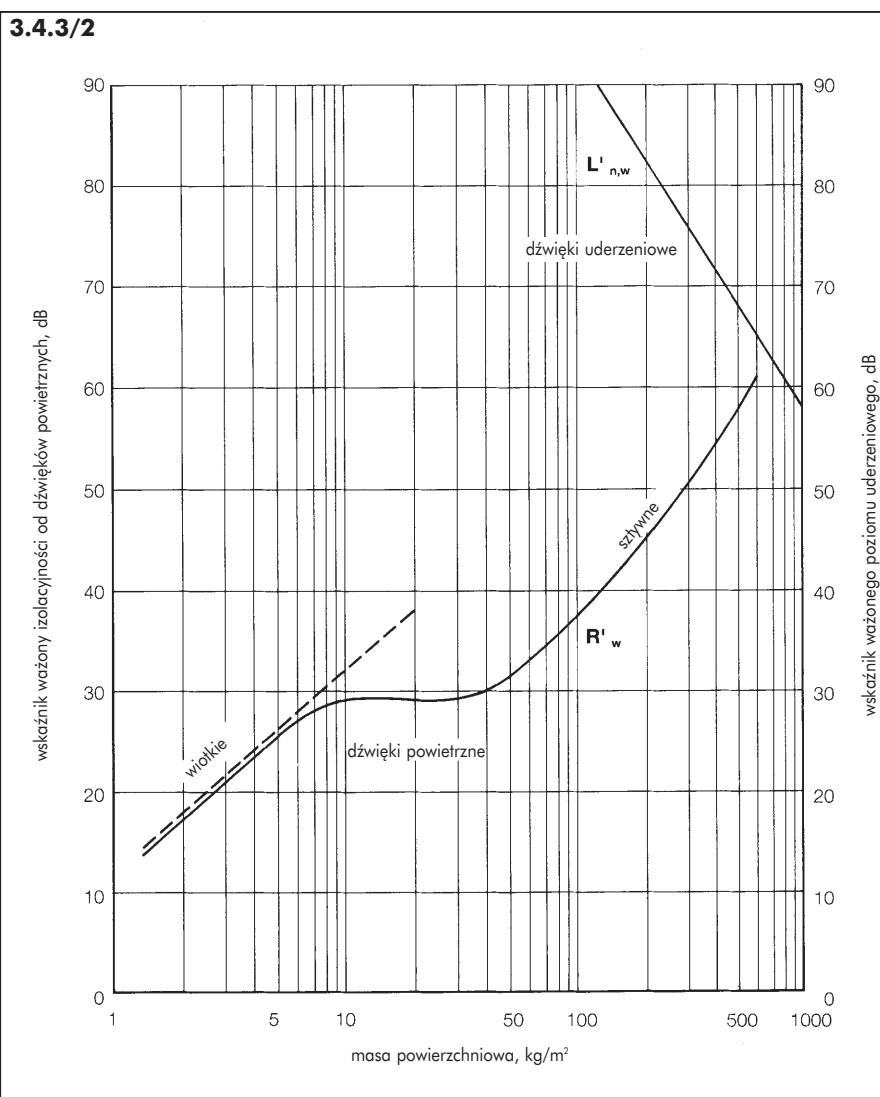
strona 2

### 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/m<sup>2</sup>. 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/m<sup>2</sup>. Takich właściwości nie można uzyskać poprzez zastosowanie pojedynczej, typowej płyty stropowej. Konieczne jest tu użycie konstrukcji dwuwarstwowej.



## 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: płynący jasny gipsowy, anhydrytowy lub cementowy i płynąca podłoga drewniana

podusufitka: płyty pańdzierzowe i gipsowe na łatach drewnianych.

### Wartości obliczeniowe:

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

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

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  $300 \pm 25 \text{ kg}/\text{m}^2$ .

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.

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

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 jasny gipsowy, anhydrytowy lub cementowy  
03 izolacja  
04 dźwiękoizolacyjne płyty styropianowe EPS T  
05 warstwa konstrukcyjna sztywna o masie powierzchniowej  $m'$

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

**3.4.4/2**

$m'_{b,sr}, \text{kg}/\text{m}^2$	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

# 3.4.4

## Ochrona akustyczna Izolacyjność akustyczna przegród masywnych

strona 2

### 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.

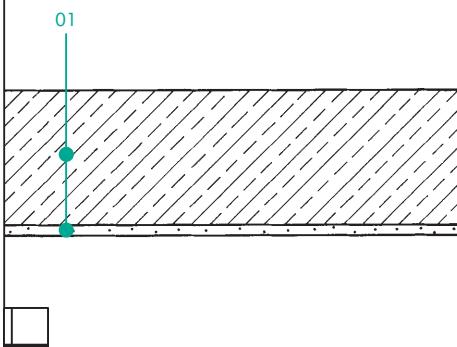
Materiał:

strop: beton, pustaki stropowe

warstwy wierzchnie: płynący jastrzągi gipsowy, anhydrytowy lub cementowy i płynąca podłoga drewniana

podsuflita: płyty pańdzierzowe i gipsowe na łatach drewnianych.

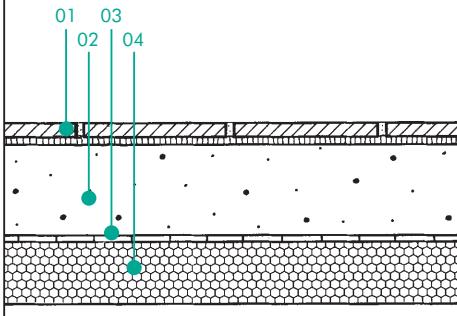
#### 3.4.4/4



01 konstrukcja nośna stropu o masie  $m'$

$m' , \text{kg/m}^2$	135	160	190	225	270	320	380	450	530
----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

#### 3.4.4/5



Nawierzchnia stropu

01 warstwa podłogowa

02 jasztachy ( $m' \geq 70 \text{ kg/m}^2$ )

03 folia

04 dźwiękoizolacyjne płyty styropianowe EPS T 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

### 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  $L_{n,eq,o,w}$  podano w zależności od masy powierzchniowej  $m'$ ,  $\text{kg/m}^2$  warstwy sztywnej → □ 3.4.4/4.

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

Wartości ważonego wskaźnika zmniejszenia poziomu uderzeniowego  $\Delta L_w$  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:  
Pomiędzy warstwami stropu nie mogą się znajdować resztki betonu lub kamienie.

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

Nie może być sztywnego połączenia między nawierzchnią stropu i ścianami.

## Wymagania

### Informacje ogólne

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

Tworzą one pomieszczenie, dając człowiekowi poczucie bezpieczeństwa oraz chroniąc 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 wewnętrz 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 wnętrz, w których przebywają ludzie, przed:

a) hałasem dochodzącym z obcych miejscowości 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.

# 3.4.5

## Ochrona akustyczna Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej

strona 2

### Wymagania (cd.)

#### Wartości graniczne

3.4.5/2		
przegroda	min R' <sub>A1</sub> dB	max L' <sub>n,w</sub> dB
budynki wielokondygnacyjne		
ściana pomiędzy mieszkańami	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

3.4.5/3		
przegroda	min R' <sub>A1</sub> dB	max L' <sub>n,w</sub> dB
budynki jednorodzinne bliźniacze i szeregowe		
ściana pomiędzy mieszkańami	52 - 55	-
strop międzykondygnacyjny	nie normaliz.	53

pomieszczenie	L <sub>Aeq</sub> 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	-

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

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

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.

<b>3.4.5/5</b>			$R'_{A1}$ 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-

$$R_{A1,wyp} = -10 \lg \frac{1}{\sum_{i=1}^n S_i} \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{-0.1 R_{A1,i}}, \text{dB}$$

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,  $m^2$

$n$  - liczba poszczególnych części przegrody.

# 3.4.5

## Ochrona akustyczna Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej

strona 4

### 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 wewnętrz budynków.

Zgodnie z polską normą PN EN ISO 717-1, abytrzymać 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

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 $L'_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w + 2$	$R'_{A1}$ $L_{n,eq,o,w} \Delta L_w$	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 <sup>2</sup> ]	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]	$R'_w = 50 \text{ dB}$	+4	+3	+2	0	-2	-4	-7
	$R'_w = 49 \text{ dB}$	+2	+2	+1	0	-2	-3	-6
	$R'_w = 47 \text{ dB}$	+1	+1	+1	0	-2	-3	-6
	$R'_w = 45 \text{ dB}$	+1	+1	+1	0	-1	-2	-5
	$R'_w = 43 \text{ dB}$	0	0	0	0	-1	-2	-4
	$R'_w = 41 \text{ dB}$	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

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

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 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 Cieplnowilgotnościowe 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 10077-1:1999 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 płynących 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 dźwiękochronne 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 - Pomary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych elementów budowlanych
41. PN EN 20140-9:1998 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomary 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 - Pomary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych małych elementów budowlanych
43. PN ISO 140-4:2000 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami
44. PN ISO 140-5:2000 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomary terenowe izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych ścianyewnętrznej i jej elementów
45. PN EN ISO 140-6:2000 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów
46. PN EN ISO 140-7:2000 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomary terenowe izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów
47. PN EN ISO 140-8:2000 Akustyka - Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Pomary laboratoryjne tłumienia dźwięków uderzeniowych przez podłogi na masynym 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

**Dachy strome**

**Funkcja i sposób konstrukcji stromych dachów** 4.1

**Poddasze nieużytkowe** 4.2

**Poddasze użytkowe** 4.3

Styropianowa izolacja termiczna pomiędzy krokwiami 4.3.1

Styropianowa izolacja termiczna pomiędzy i pod krokwiami 4.3.2

Styropianowa izolacja termiczna pod krokwiami 4.3.3

Styropianowa izolacja termiczna pomiędzy i na krokwiach 4.3.4

Styropianowa zolacja termiczna na krokwiach 4.3.5

Płyty styropianowe na deskowaniu 4.4.1

Płyty styropianowe z dodatkową warstwą izolacji między krokwiami 4.4.2

# 4.1

## Funkcja i sposób konstrukcji stromych dachów

Dach był pierwszą budowlą wzniezioną przez człowieka, dla wszystkich budynków. Przy jego pomocy człowiek zapewniał ochronę przed przeciwnościami aury sobie i swojej gromadzie.

Początkowo dach miał najprostszą płaską formę, następnie kształtem przypominał namiot → □ 4.1/1, pokryty gałęziami lub skórami zwierząt. Później przybrał formę silnie wydłużoną, konstruowany był z drewna → □ 4.1/2, uszczelniony przy użyciu sitowia, liści lub trawy, a następnie także przy użyciu twardych materiałów pokryciowych. System budowania był

otwarty, tzn. oparty zwykle na materiałach, które były dostępne bezpośrednio na placu budowy.

Z czasem powstawały coraz większe dachy, zwykle przykrywające budynki o drewnianej konstrukcji. Rozmiar dachu był ograniczony możliwościami drewna, jako głównego materiału konstrukcyjnego i ówczesnej sztuki budowlanej.

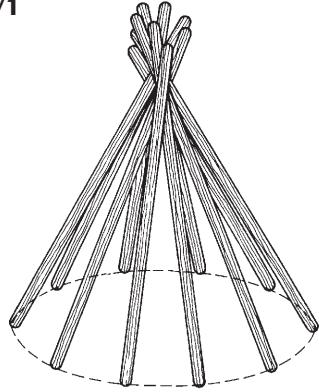
Domy były zwykle wolnostojące, o prostokątnym rzucie i najczęściej bardzo stromym dachu, który jak najszybciej odprowadzał wodę opadową. Dym z paleniska

odprowadzany był na zewnątrz przez otwór w szczycie dachu, w ten sam sposób wymieniano powietrze w mieszkającej się pod tym samym dachem stajni, obozów itp.

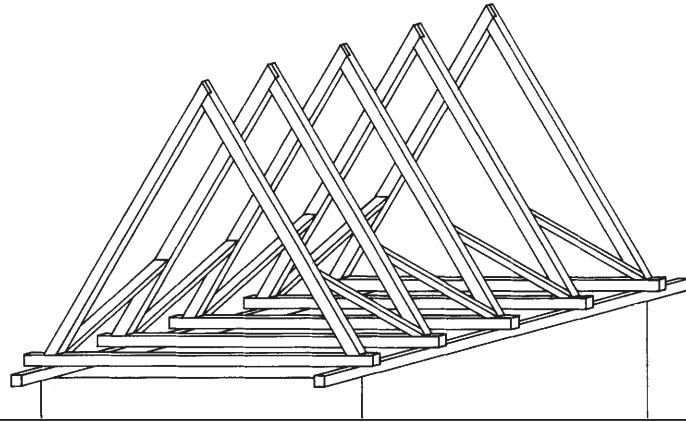
Z prostych początkowych form składano coraz bardziej skomplikowane kształty, w tym dachy wielopłaszczyznowe o różnych nachyleniach połaci → □ 4.1/3.

Gęsto ułożone pokrycie ze słomy lub trzciny miało znakomite właściwości termoizolacyjne.

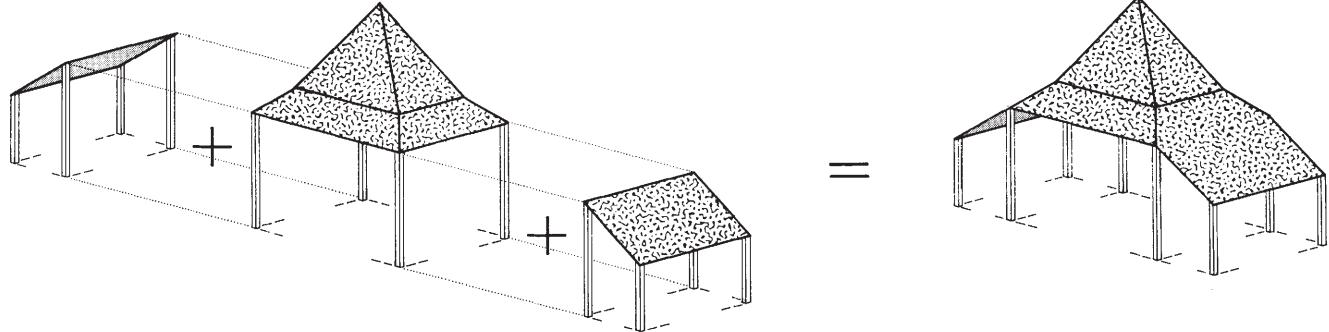
4.1/1



4.1/2

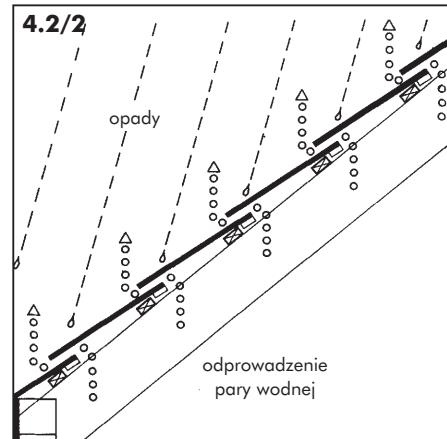
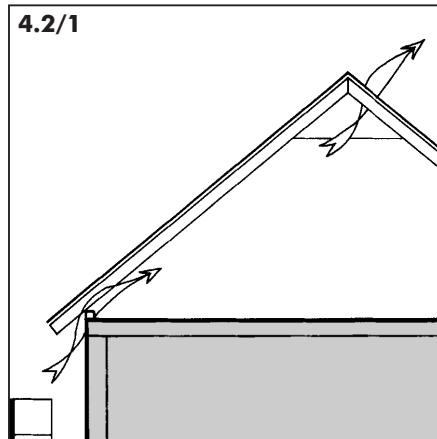


4.1/3

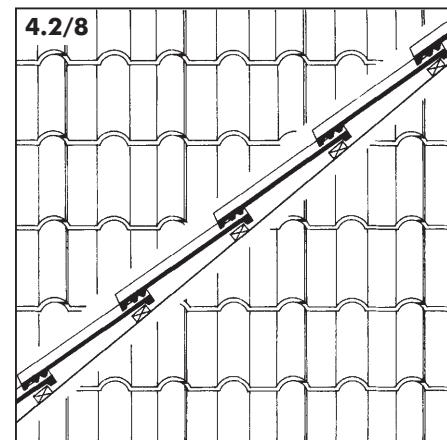
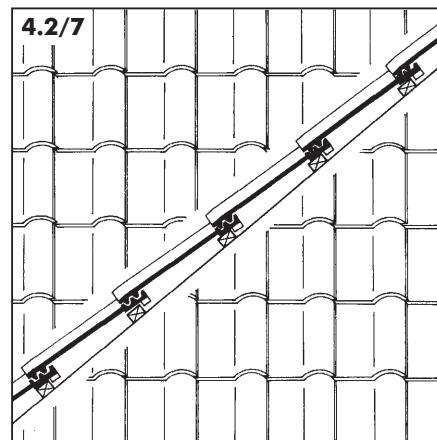
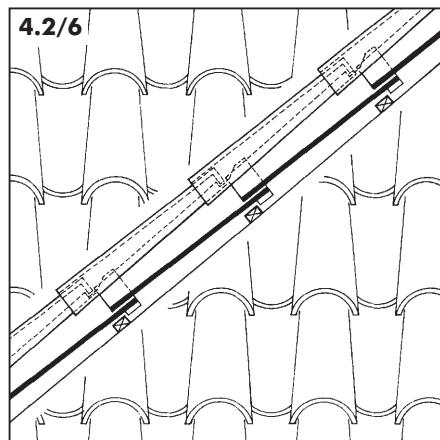
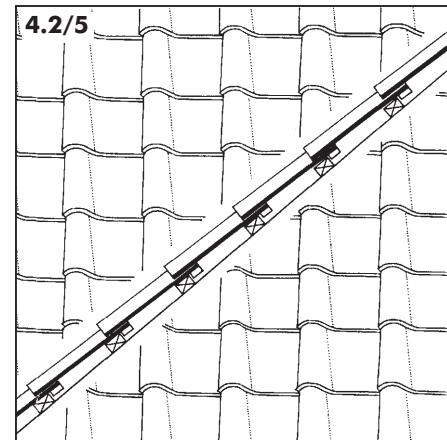
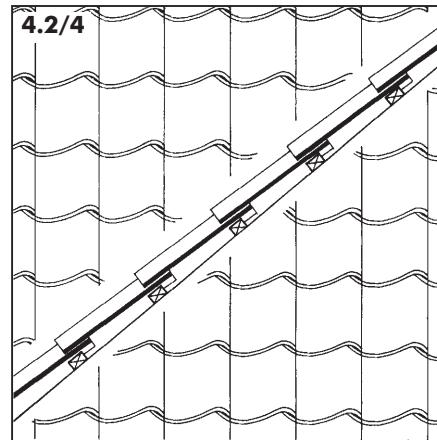
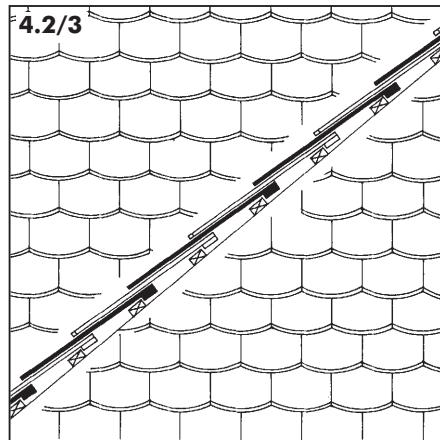


Dach, którego jedyną funkcją była ochrona przed opadami, był zwykle przewiewny, z otworami przy okapie i w szczycie → □ 4.2/1. Znajdujący się pod dachem najwyższy strop był izolowany cieplnie przy użyciu warstwy słomy lub siana. Taka izolacja stanowiła dobrą ochronę wnętrza przed stratami ciepła.

Również sama warstwa pokrycia przeciwodnego dachu pozwalała, ze względu na prostą formę dachówek i niedokładności ręcznego wykonania, na swobodny przepływ powietrza → □ 4.2/2.



Wszystkie rodzaje pokryć dachówkowych, które układane są na sucho, bez żadnych dodatkowych uszczelnień, powinny być traktowane jako otwarte. Należą do nich m.in.:



□ 4.2/3 karpiówka podwójna

□ 4.2/6 mnich i mniszka

□ 4.2/4 holenderka (esówka)

□ 4.2/7 płaska

□ 4.2/5 rzymiska

□ 4.2/8 betonowa

# 4.2

## Pokrycie dachówkowe z dodatkowym uszczelnieniem

strona 2

Dachy pokryte dachówkami różnego rodzaju są szczelne dla opadów atmosferycznych jeśli zastosowano odpowiednie nachylenie połaci, a dachówki zostały ułożone zgodnie z wymogami sztuki budowlanej.

Dodatkowe zabiegi uszczelniające są konieczne ze względu na:

- wiatr
- zadymkę śnieżną
- inne warunki klimatyczne
- ew. zbyt małe nachylenie połaci dachu

Zależnie od rodzaju materiału pokryciowego i sposobu jego ułożenia na dachu możliwe są następujące zabiegi dodatkowe:

- klamrowanie → **□ 4.2/9**
- łączenie zaprawą → **□ 4.2/10**
- podkładki bitumiczne pod dachówkę → **□ 4.2/11**
- dodatkowe pokrycie rozpięte na krokwiach → **□ 4.2/12**
- pokrycie dodatkowe na deskowaniu → **□ 4.2/13**
- pełne krycie pod dachówką → **□ 4.2/14**
- systemy izolacji termicznej, które spełniają funkcję dodatkowego pokrycia lub pełnego krycia dachu.

Ich stosowanie wymaga ścisłego przestrzegania zaleceń producentów. Są one łączone odpowiednio z okapami, oknami dachowymi, kominami i innymi elementami dachu.

**□ 4.2/9** Klamrowanie dachówek pozwala dodatkowo zabezpieczyć je przed podrywaniem przez wiatr i ześlizgiwaniem się z połaci dachu. Rodzaj klamer i ich liczba zależy od lokalnych warunków klimatycznych i przepisów budowlanych.

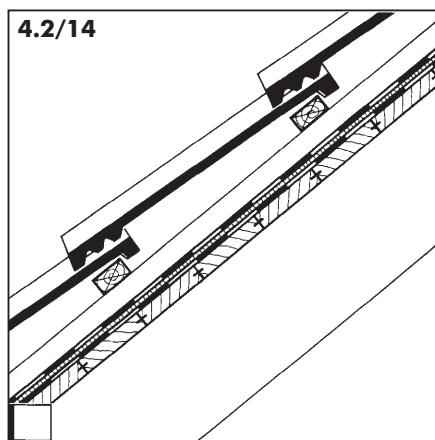
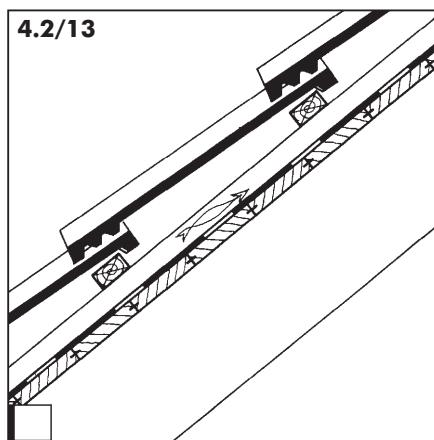
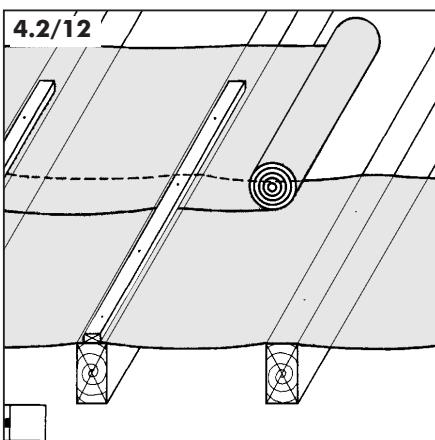
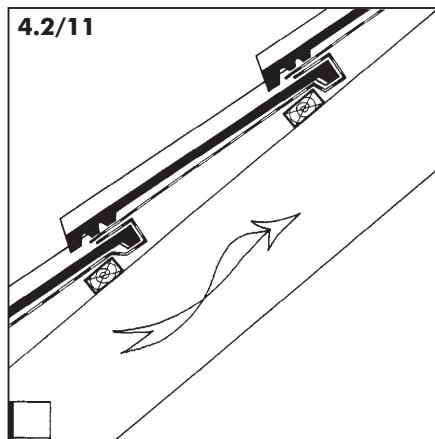
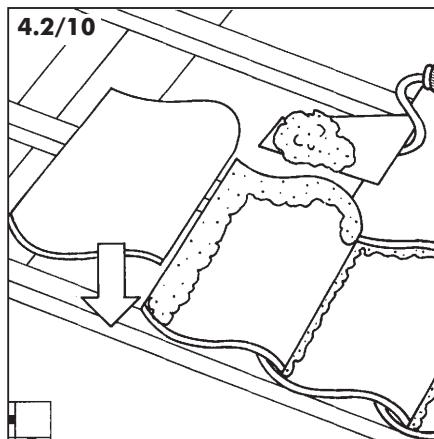
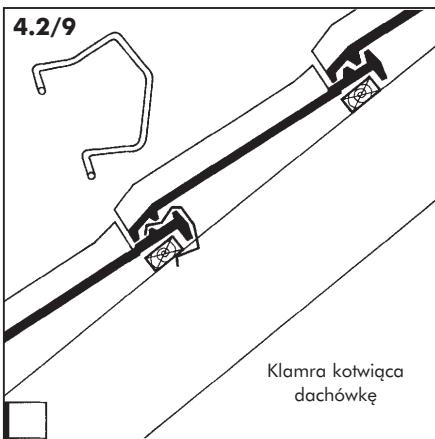
**□ 4.2/10** Głównie przy esówce stosuje się dla uszczelnienia połączeń pomiędzy poszczególnymi dachówkami wypełnienie zaprawą fug poprzecznych i podłużnych. Ostatnio stosuje się również uszczelnienie fug poprzez wypełnianie pianką od środka dachu.

**□ 4.2/11** Bitumiczne podkładki uszczelniające pod dachówkę są stosowane szczególnie w okolicach górskich. Poprzez wywinięcie dobrze uszczelniają poprzeczne połączenia kolejnych warstw dachówek. W lecie podkładki pod wpływem słońca sklejają się między sobą oraz kleją się do dachówek, zwiększaając odporność dachu na podrywanie dachówek.

**□ 4.2/12** Warstwa dodatkowego pokrycia rozpinana na krokwiach jest układana równolegle do krawędzi okapu, z zakładem przynajmniej 10 cm. Zwykle stosuje się w tym przypadku kontrłaty, aby umożliwić ruch powietrza pod spodem dachówek.

**□ 4.2/13** Dodatkowe pokrycie na deskowaniu to pojedyncza warstwa podkładowej papy bitumicznej z minimum 80mm zakładem. Papy jest przybijana do deskowania.

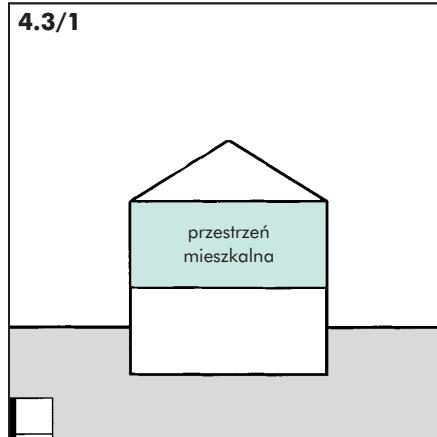
**□ 4.2/14** Pełne krycie pod dachówką składa się z dwóch warstw papy bitumicznej: pierwsza warstwa przybijana gwoździami do sztywnego podłoża, druga w całości kleiona do podkładu.



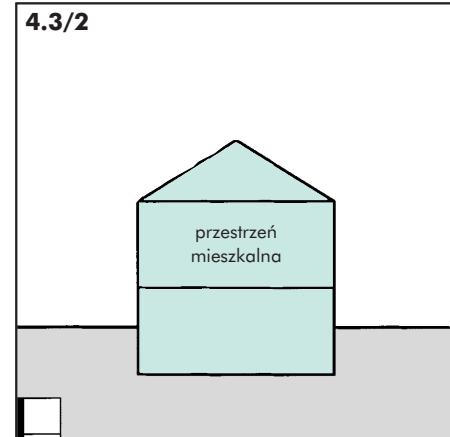
W naszej szerokości geograficznej mieszkańa były zazwyczaj lokowane w nadziemnej części budynku → □ 4.3/1. Piwnica była dla budynku swego rodzaju strefą buforową, oddzielającą go od wilgotności gruntowej, a otwarty do otoczenia strop chronił od góry wnętrze przed wpływami środowiska. Obecnie dąży się jednak do pełnego wykorzystania wnętrza budynku na cele mieszkalne → □ 4.3/2. To zaś wymaga zastosowania specjalnych rozwiązań budowlanych. Dla dachów przedstawiono je poniżej, natomiast zabiegi umożliwiające wykorzystanie piwnic do celów mieszkaniowych przedstawione będą w rozdziale nr 8.

Możliwość wykorzystania przestrzeni dachowej zależy od geometrii połaci, a szczególnie od nachylenia krokwi dachowych. Sposób ułożenia izolacji termicznej dachu, w ciągły sposób powiązanej z izolacją budynku, pokazano pogrubioną linią na rysunkach → □ 4.3/3 do → □ 4.3/8.

**4.3/1**



**4.3/2**



□ **4.3/3** Najprostsze rozwiązanie konstrukcyjne. Przestrzeń w pobliżu okapu jest trudna do wykorzystania.

□ **4.3/4** Dostawiona na stropie ścianka kolankowa. Izolacja termiczna ułożona schodkowo.

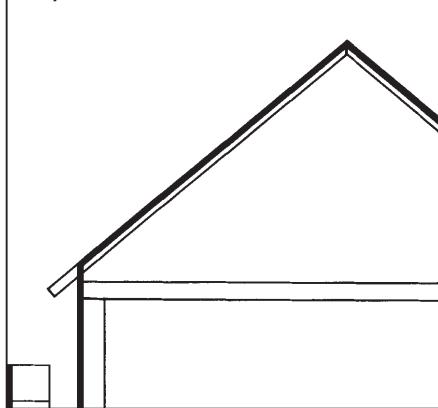
□ **4.3/5** Dodatkowy strop w płaszczyźnie jątek. W ten sposób przestrzeń ogrzewana została zmniejszona do racjonalnej wysokości.

□ **4.3/6** Dostawiona ścianka kolankowa wycina fragment nieużytecznej kubatury wzdłuż okapu.

□ **4.3/7** Przedłużenie ściany zewnętrznej budynku (scianka kolankowa) pozwala lepiej wykorzystać powierzchnię mieszkaniową.

□ **4.3/8** Zmniejszenie ogrzewanej kubatury mieszkania poprzez dodatkowy strop w płaszczyźnie jątek.

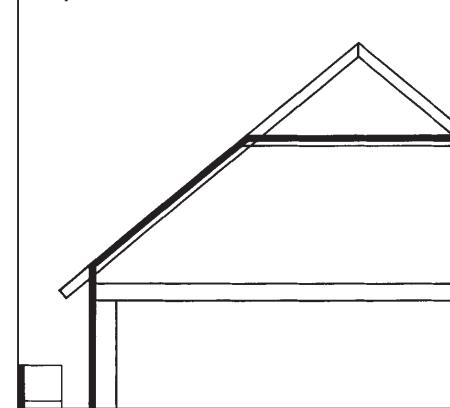
**4.3/3**



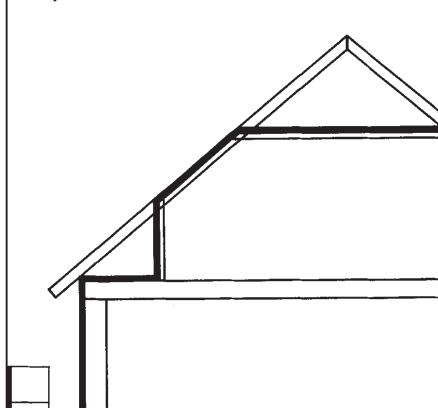
**4.3/4**



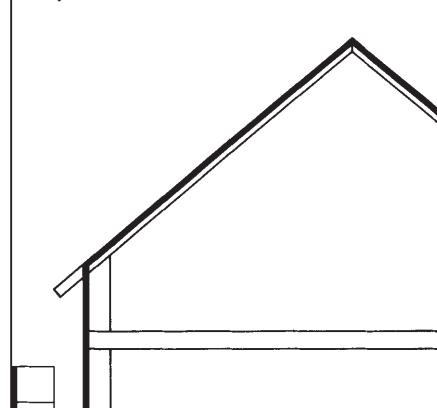
**4.3/5**



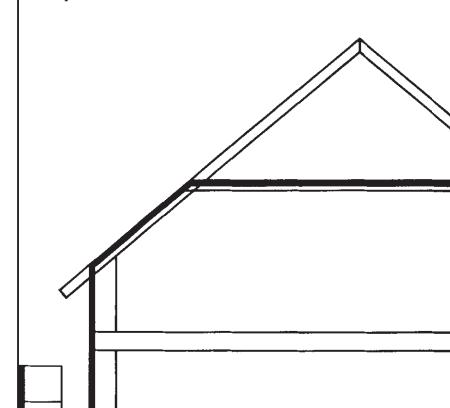
**4.3/6**



**4.3/7**



**4.3/8**



# 4.3

## Poddasze użytkowe Wentylowanie dachu

strona 2

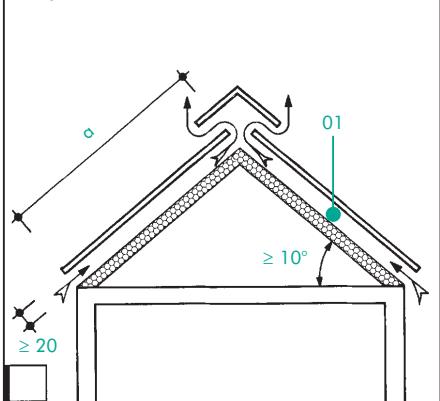
Zróżnicowane temperatury i ciśnienia pary wodnej, po obydwu stronach dachu, mogą prowadzić do wykraplania wilgoci w jego wnętrzu. Para wodna dyfundującą poprzez warstwy dachu musi zostać usunięta na zewnątrz, zanim napotka na swej drodze warunki powodujące jej wykroplenie. Efekt taki uzyskuje się poprzez odpowiednie wentylowanie szczelin pod pokryciem dachu. Para wodna może być usuwana ze szczeliny pomiędzy:

- warstwą izolacji termicznej i pokryciem
- warstwą izolacji termicznej i dodatkową warstwą pokrycia
- dodatkową warstwą pokrycia i pokryciem zewnętrznym.

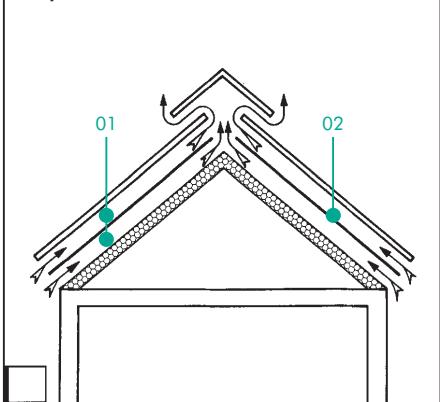
Zastosowanie warstw dachu o odpowiednio wysokim oporze dyfuzyjnym pozwala ograniczyć intensywność strumienia wilgoci wnikającego w głąb dachu, a wentylowanie usuwa dyfundującą parę wodną na zewnątrz.

Decydujące znaczenie dla przebiegu i intensywności wentylacji dachu ma długość krokwi „a”, →□ 4.3/9 i układ warstw, a także opór dyfuzyjny warstw izolacyjnych.

4.3/9



4.3/10



Na rysunku →□ 4.3/9 przedstawiono sposób wentylowania dachu (płaszczyzna 01), w którym izolacja termiczna pełni dodatkowo funkcję wtórnego lub wstępniego pokrycia.

Natomiast na rysunku →□ 4.3/10 przedstawiono schematycznie konstrukcję dachu z dwiema szczelinami wentylowanymi 01, rozdzielonymi warstwą dodatkowej pokrycia 02.

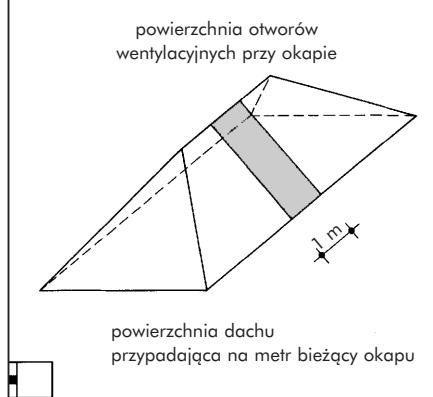
Przekrój otworów wentylacyjnych przy okapie dachu musi wynosić przynajmniej 2% powierzchni dachu przypadającej na metr bieżący długości okapu →□ 4.3/11 i jednocześnie nie mniej niż 200 cm<sup>2</sup> otwartej powierzchni otworów. Otwory o tej wielkości są wystarczające dla dachów o długości połaci do 10 m, przy długościach większych powierzchnia otworów nie może być mniejsza od 2%.

Powierzchnie łat i krokwi, które wchodzą w światło otworów wentylacyjnych należy uwzględnić przy ich wymiarowaniu.

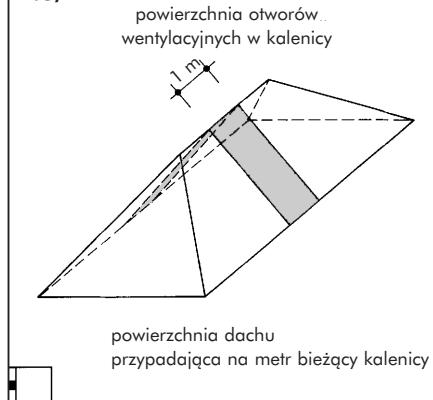
Przekrój otworów wentylacyjnych w kalenicy, →□ 4.3/12, musi wynosić przynajmniej 0.5 % przypadającej na nią powierzchni dachu.

Także w narożach dachu, →□ 4.3/13, konieczne jest utrzymanie powierzchni otworów wentylacyjnych na poziomie 0.5 % przypadających na nie połaci dachu. Jeśli nie jest możliwe otwarcie szczeliny poprzez gąsiora wentylacyjne, to w każdym polu między krokwiemi należy zastosować odpowiednią ilość dachówek wentylacyjnych. Minimalna powierzchnia otworów wentylacyjnych nie może być mniejsza od 200 cm<sup>2</sup>/m, a wysokość szczeliny nie może być mniejsza od 20 mm. Należy uwzględnić tutaj także zakłady oraz zwis izolacji wodoszczelnej rozpiętej na krokwiach, a także ewentualny wzrost grubości materiału izolacji termicznej.

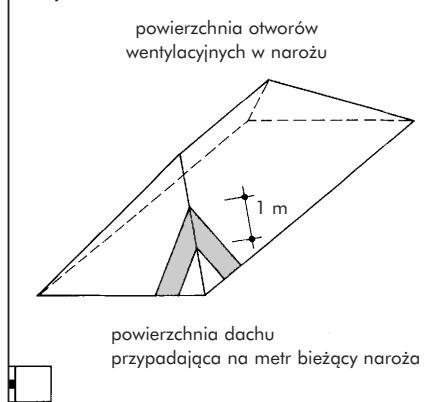
4.3/11



4.3/12



4.3/13



01 płaszczyzna wentylacji  
02 izolacja rozpięta na krokwiach,  
krycie wstępne lub druga połaci dachu

Problem wiatroszczelności dachów nad poddaszem użytkowym nie został, jak do końca, ujęty w żadne zasady projektowe ani przepisy, chociaż wymaga tego praktyka wykonawcza. Dotąd troszczono się jedynie o odpowiednią izolacyjność termiczną, umieszczenie paroizolacji lub wentylowanie przestrzeni pod pokryciem.

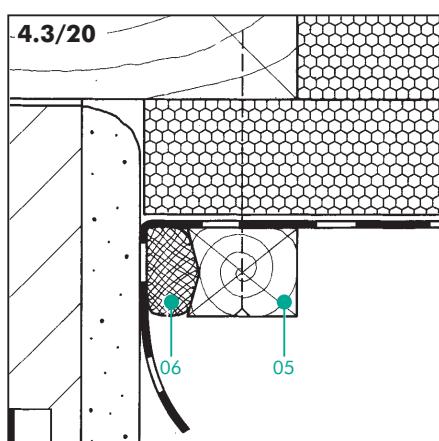
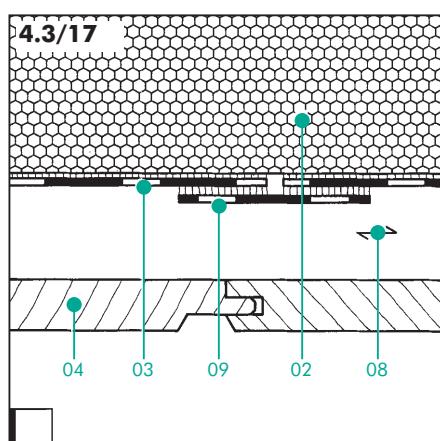
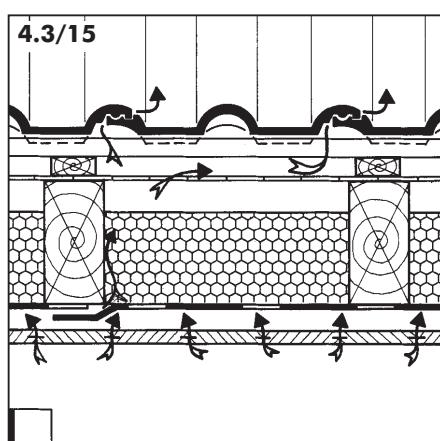
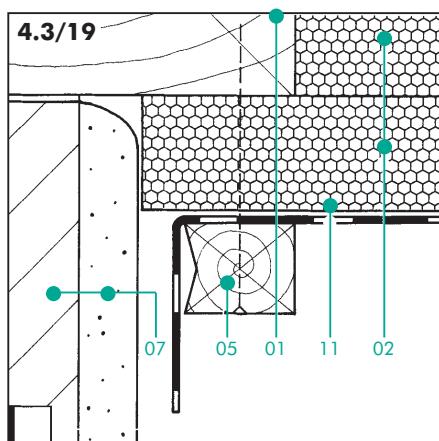
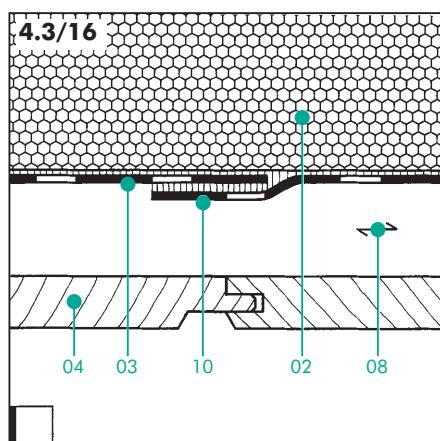
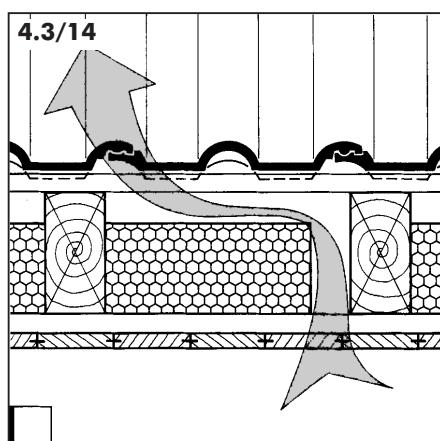
Przepływ powietrza w dachach jest związany z wartością ciśnienia atmosferycznego oraz parciem i ssaniem wiatru. W praktyce obserwuje się, trudne do wyjaśnienia inaczej, zawilgocenia wynikające właśnie z wymuszanej w ten sposób przepływu powietrza, →□ 4.3/14.

Deskowanie tączone na pióro i wpust

Niedbałe ułożona warstwa paroizolacji, w której styki nie są szczeleśnie ze sobą połączone, również nie jest właściwą przeszkodą dla działania wiatru (szczelna paroizolacja spełnia bowiem w tym układzie funkcję wiatroizolacji) →□ 4.3/16 do →□ 4.3/18. Na twardej powierzchni styropianowych płyt izolacji termicznej (02) tączka można szczeleśnie łączyć ze sobą wstępki paroizolacji (03). Na rysunku →□ 4.3/16 pokazano połączenie klejone na zakład. Na rysunku →□ 4.3/17 rozwiązywanie alternatywne. Poszczególne odcinki izolacji stykają się ze sobą, szczelność połączenia zapewnia przyklejony dodatkowy pas izolacji. Szczególnie godne polecenia jest połącze-

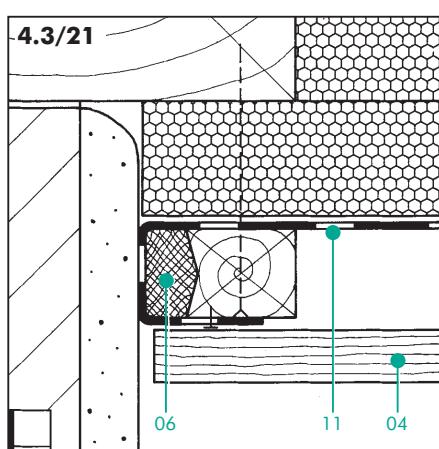
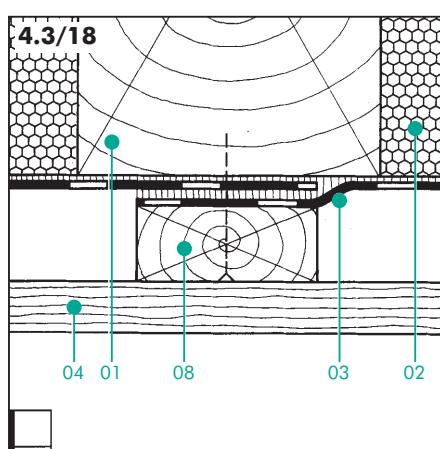
nie wykonane pod spodem krokwi (01), przycięsnięte łata (08), tak jak to pokazano na rysunku →□ 4.3/18.

Połączenie stropu ze ścianą →□ 4.3/19, wymaga szczególnej uwagi, ponieważ w tym miejscu zawsze występują pewne ruchy konstrukcji dachu. Na rysunkach od →□ 4.3/19 do →□ 4.3/21 pokazano kolejne kroki związane z wykonaniem szczelnego połączenia w tym obszarze. Uzyskanie pełnej szczelności jest tu możliwe jedynie wtedy, gdy powierzchnia ściany jest zupełnie gładka. Taśma uszczelniająca powinna być po utracie elastyczności wymieniona na nową.



→□ 4.3/15, niedokładnie sklejone warstwy folii nie stanowią skutecznej bariery dla parcia wiatru. Natomiast taką barierą jest ciągła warstwa płyt gipsowo-kartono-wych, ułożonych od strony wewnętrza.

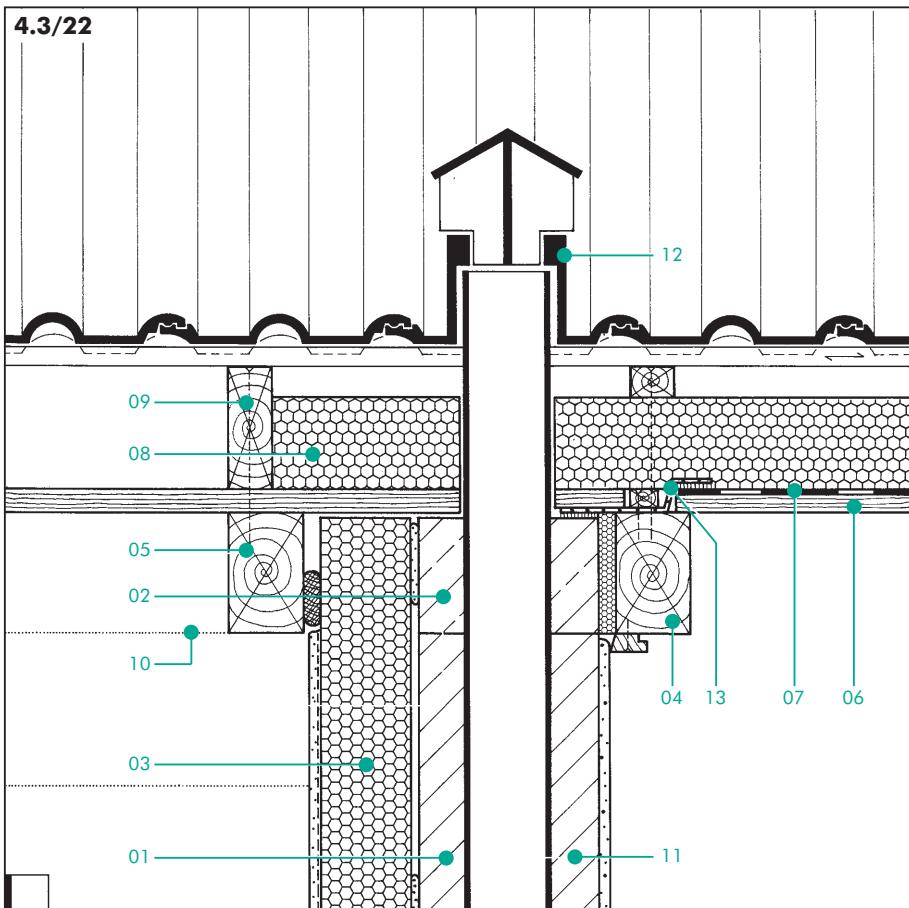
- 01 krokiew (ew. wymiana)
- 02 styropianowa izolacja termiczna
- 03 paroizolacja pełniąca tu jednocześnie rolę wiatroizolacji
- 04 deski łączone na pióro i wpust
- 05 listwa dociskowa
- 06 taśma uszczelniająca
- 07 ściana z tynkiem
- 08 łata
- 09 taśma klejąca
- 10 styk na zakład, klejony
- 11 izolacja przeciwwiątrowa, naprężona



# 4.3

## Poddasze użytkowe Izolacja przeciwwiątrowa (2)

strona 4

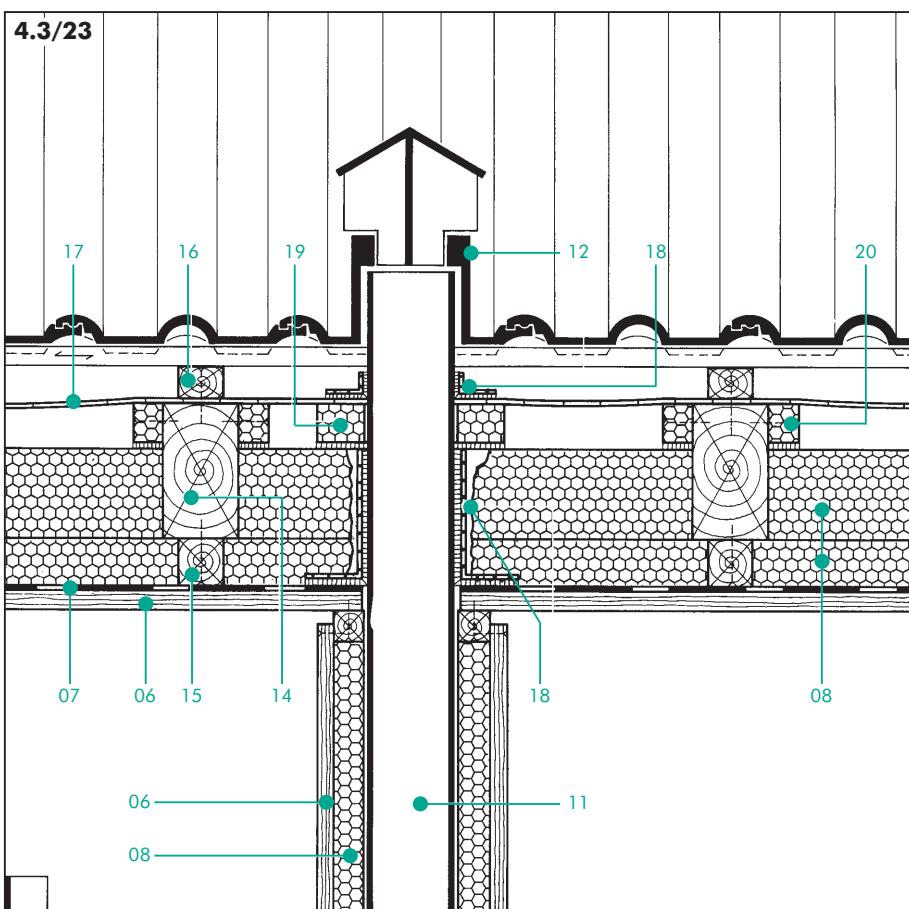


Wszystkie miejsca, gdzie występuje brak ciągłości izolacji przeciwwiątrowej, stanowią słabe punkty i wymagają bardzo starannego uszczelnienia. W miarę możliwości należy takich sytuacji w ogóle unikać. Rysunek →□ 4.3/22 jest przykładem jak można to w praktyce zrealizować. Jako rysunek wyjściowy do tego rozwiązania posłużył szczegół ściany szczytowej →□ 4.4.1/13.

Rura wentylacyjna (11) wypuszczona ponad dach i przebijająca wieniec (02), została tu umieszczona poza obrębem wiatroizolacji (07), w ścianie izolowanej termicznie od zewnątrz (01).

Na rysunku →□ 4.3/23 podobny szczegół jest rozwiązany już w zupełnie inny sposób. Dla przepuszczenia rury (11) w wiatroizolacji (07) wycięto otwór. Szczelność połączenia ma zapewnić specjalny kołnierz samoprzyklepny (18). Dodatkowym uszczelnieniem jest opaska zaciskowa na górnej krawędzi kołnierza. Układ warstw w dachu taki sam jak na rysunku →□ 4.3.2/2.

Dalsze przykłady wiatroszczelnych połączeń w obszarze okapu, ściany szczytowej, okien połaciowych i kominów będą omówione w rozdziale 4.4.1.



- 01 ściana szczytowa
- 02 wieniec
- 03 płyty styropianowe izolacji ściany
- 04 krokiew wewnętrzna przyścienna
- 05 krokiew zewnętrzna przyścienna
- 06 deskowanie
- 07 wiatroizolacja
- 08 styropianowa izolacja stropu
- 09 deska osłaniająca
- 10 płytek
- 11 rura wentylacyjna
- 12 kształtka wentylacyjna z kapturem
- 13 elastyczna folia uszczelniająca
- 14 krokwie
- 15 tała wyrównująca
- 16 tała
- 17 pokrycie rozpięte na krokwiach
- 18 kołnierz uszczelniający
- 19 podkładka zapobiegająca obwiesaniu izolacji
- 20 paski styropianu

Izolacja termiczna może być w stromym dachu poddasza użytkowego umieszczona:

- pomiędzy krokwiami → **□ 4.3.1/2;**
- pomiędzy i pod krokwiami → **□ 4.3.2/2;**
- pomiędzy i na krokwiach → **□ 4.3.4/1;**
- ponad krokwiami → **□ 4.3.5/1.**

W dalszej części tekstu zwrócona będzie uwaga na potrzebę stosowania dodatkowych warstw wtórnego pokrycia, wiatroizolacji a także paroizolacji.

Niezbędne przekroje otworów wentylujących stromy dach podano w rozdziale 4.3 str. 2.

Zastosowanie w dachu warstwy paroizolacyjnej pozwala ograniczyć strumień pary dyfundującej i tym samym zmniejszyć ryzyko wykroplenia pary wodnej w warstwie materiału termoizolacyjnego.

Wymagany opór dyfuzyjny dolnych warstw dachu lub ułożonej poniżej izolacji termicznej warstwy paroszczelnej zależy od długości wentylowanej połaci dachu „a” → **□ 4.3./9.** Poniżej podano orientacyjne wartości wymaganego oporu dyfuzyjnego na dwa sposoby: jako grubość równoważnej warstwy powietrza oraz w postaci oporu  $Z_p$ :

długość połaci:

$$„a” \leq 10 \text{ m}: s_d \geq 2\text{m}, Z_p \geq 2985$$

$$„a” \leq 15 \text{ m}: s_d \geq 5\text{m}, Z_p \geq 7462$$

$$„a” > 15 \text{ m}: s_d \geq 10\text{m}, Z_p \geq 14925$$

$$Z_p, \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}}{\text{g}}$$

Wartość  $s_d$  można wyliczyć z następującej zależności:

$$s_d = d \cdot \mu$$

gdzie:

$d$  - jest grubością termoizolacji, m  
 $\mu$  - bezwymiarowym współczynnikiem oporu dyfuzyjnego,

a wartość  $Z_p$  ze wzoru:

$$Z_p = d / \delta$$

gdzie  $\delta$  - jest współczynnikiem przepuszczania pary wodnej.

Informacje dotyczące właściwości dyfuzyjnych materiałów budowlanych można uzyskać u producenta lub autoryzowanego dystrybutora materiałów, a także w literaturze z zakresu fizyki budowli.

**Jeśli powyższe zalecenia, dotyczące oporu dyfuzyjnego warstw dachu zostaną faktycznie zrealizowane, to przy normalnych warunkach cieplno-wilgotnościowych we wnętrzu budynku (temperatura ok. +20°C i wilgotność powietrza 50%), nie ma potrzeby wykonywać obliczeń wilgotnościowych. Przekroczenie któregokolwiek z warunków, tj. rozmiarów dachu lub warunków we wnętrzu, wymaga przeprowadzenia obliczeń sprawdzających.**

Maksymalna wartość współczynnika przekania ciepła dla stropów i dachów nad pomieszczeniem ogrzewanym do temperatury  $\geq 16^\circ\text{C}$ , zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. Dz. Ust. Nr 75 poz. 690, wynosi 0.30 W/(m<sup>2</sup>K) → **□ 4.3./24.**

Przy zastosowaniu izolacji cieplnej ze styropianu o obliczeniowej przewodności cieplnej 0.04 W/(mK) jej grubość, jeśli nie uwzględnia się oporów cieplnych pozostałych warstw i mostków cieplnych tworzonych przez kroki dachowe, powinna wynosić przynajmniej 13 cm, → **□ 4.3./25.** Zastosowanie materiału o niższej wartości współczynnika przewodzenia ciepła wiąże się, oczywiście ze zmianą tej grubości. Uwzględnienie lepiej przewodzących ciepło przekrojów kroki wymaga zastosowania warstwy izolacji termicznej o grubości przynajmniej 15 cm. Ekonomicznie uzasadnione grubości warstwy izolacji styropianowej są jednak jeszcze większe i przekraczają obecnie 20 cm.

<b>4.3./24</b>	
Warunki w pomieszczeniu (bud. mieszkalne i użytk. publ.)	$U_{\max}$ W/(m <sup>2</sup> ·K)
$T_i > 16^\circ\text{C}$	0.30
$8^\circ\text{C} < T_i \leq 16^\circ\text{C}$	0.50

<b>4.3./25</b>	
kryterium	grubość izolacji styropianowej, cm
ze względu na $U_{\max}$ , bez uwzględnienia mostków termicznych	13
z uwzględnieniem wpływu mostków	15
ekonomicznie uzasadniona	> 20

# 4.3

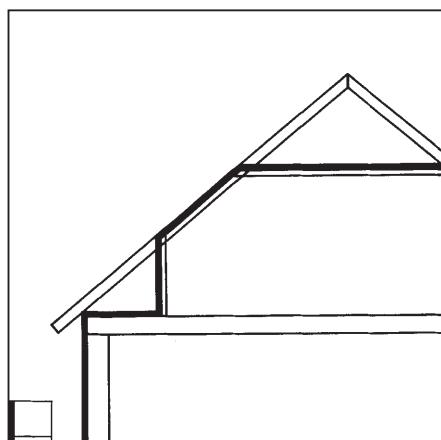
## Poddasze użytkowe Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej

strona 6

Wciąż rosnące na zewnątrz budynków natężenie hałasu, pochodzącego od ruchu drogowego, powietrznego i przemysłu stwarza poważne zagrożenie dla zdrowia mieszkańców miast.

Zależnie od występujących obciążzeń hałasem występujących w danej okolicy, formu-

łowane są wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród  $R'_{A1,wyp}$ . Indeks „wypadkowy” przy wskaźniku oceny akustycznej oznacza, że przedmiotem wymagań jest cała przegroda, a więc włącznie z otworami okiennymi.



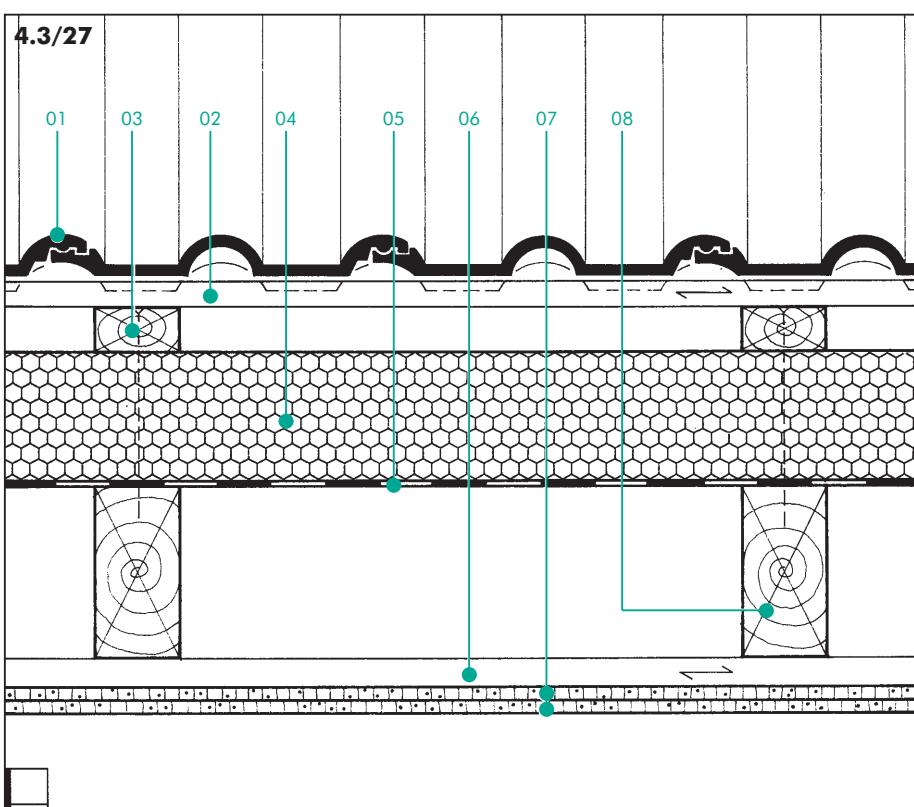
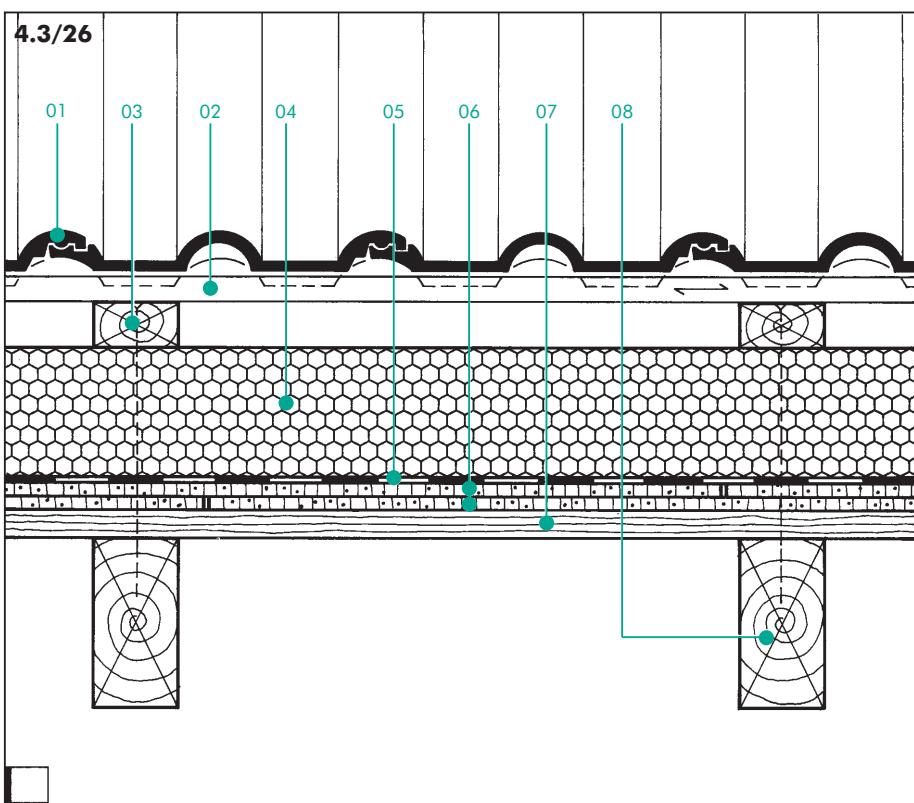
Wg tabeli nr 5 normy PN-B-02151-3, dla właściwego izolowania akustycznego od dźwięku na zewnątrz budynku do poziomu 75 dB, wystarczą przegrody o wypadkowej izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej nie wyższej niż 38 dB. Taki warunek dotyczy pomieszczeń o najwyższych wymaganiach akustycznych.

Nie jest możliwe teoretyczne wyliczenie izolacyjności akustycznej dachów nad poddaszami od dźwięków powietrznych. Właściwości akustyczne tych przegród są określane w trakcie badań doświadczalnych, prowadzonych zgodnie z normą PN-B-02154-05:1983 „Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych przegród zewnętrznych i ich elementów” lub w pomiarach laboratoryjnych.

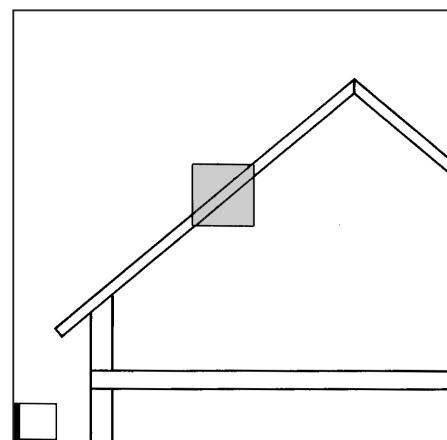
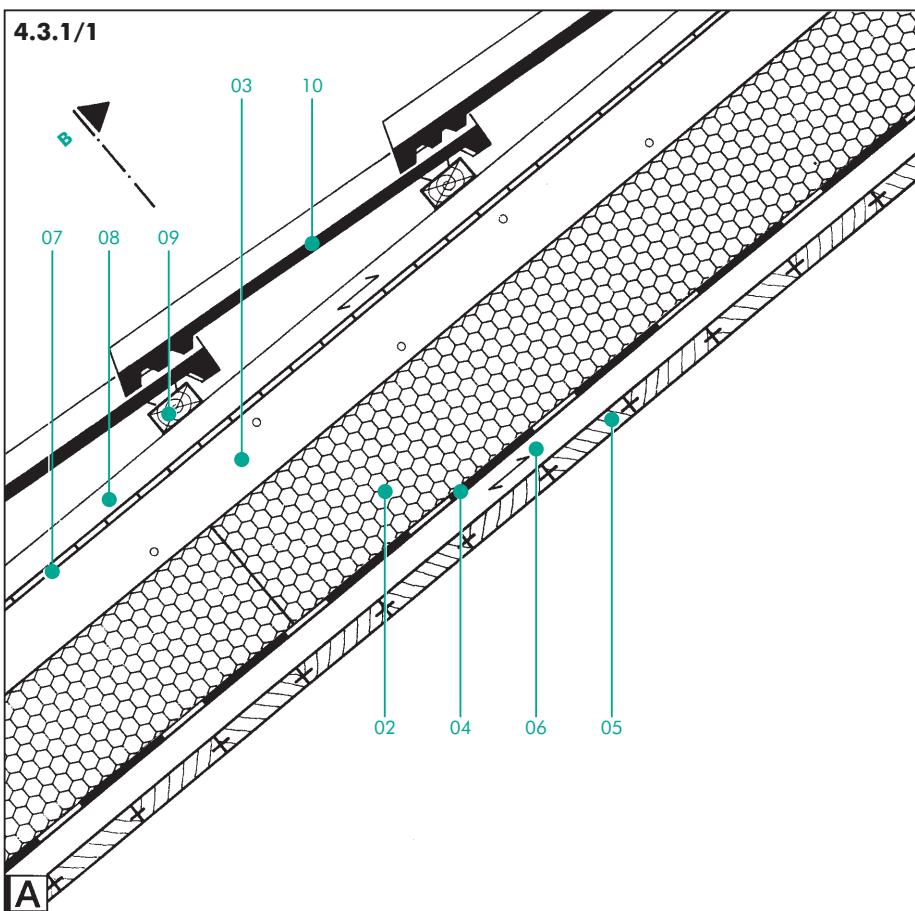
Dla systemów warstwowych z udziałem styropianu uzyskiwane są w badaniach wartości  $R'_w$  w zakresie 37...49 dB.

Dla układu przedstawionego na rysunku →□ 4.3./26 wartość  $R'_w$  wynosi 49 dB, dla dachu o układzie warstw jak →□ 4.3./27 wartość  $R'_w$  równa jest 48 dB.

Aby uzyskać wartość wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej  $R'_{A1}$  należy do ważonego wskaźnika izolacyjności dodać widmowy wskaźnik adaptacyjny C, którego wartość można przyjąć jako równą -2 dB. Dodatkowo zaleca się w normie PN-B-02151-3:1999, aby przy projektowaniu były przyjmowane wartości uzyskane z badań laboratoryjnych zmniejszone o 2 dB. Przedstawione na rysunkach →□ 4.3./26 i →□ 4.3./27 rozwiązania stromych dachów spełniają więc wymagania normowe ochrony akustycznej wnętrza w pełnym zakresie.

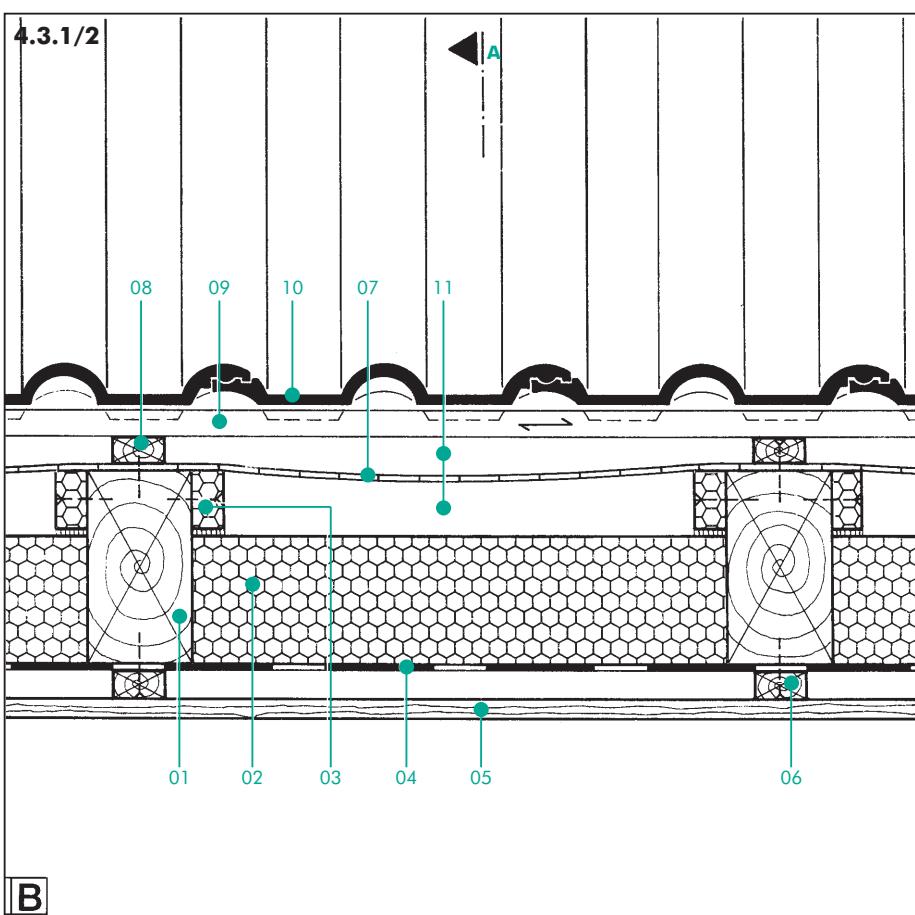


- 01 dachówka betonowa
- 02 ły dachowe 24/48 mm
- 03 łyta główna 80/40 mm
- 04 styropianowa płyta izolacyjna EPS 100 038 DACH/PODŁOGA (PS-E FS 20) o grubości 120 mm
- 05 papa bitumiczna
- 06 płyt wiórowo-cementowa 2 x 12 mm
- 07 deskowanie łączone na pióro i wpust, jednostronne heblowane, 24 mm
- 08 krokwie 80/160 mm
- 09 łyty sufitowe 24/48 mm
- 10 płyt gipsowo-kartonna 2 x 12.5 mm



Izolacja termiczna pomiędzy krokwiami wykonywana jest zwykle wtedy, gdy pokrycie dachu jest ukończone. Może to mieć miejsce w trakcie budowy całego obiektu, ale często również zdarza się, że adaptacja poddasza i ocieplanie stropu jest realizowane dopiero w trakcie eksploatacji budynku.

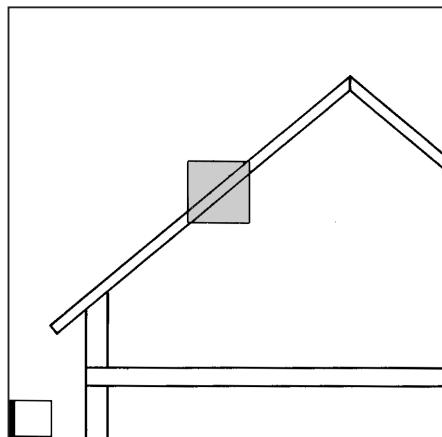
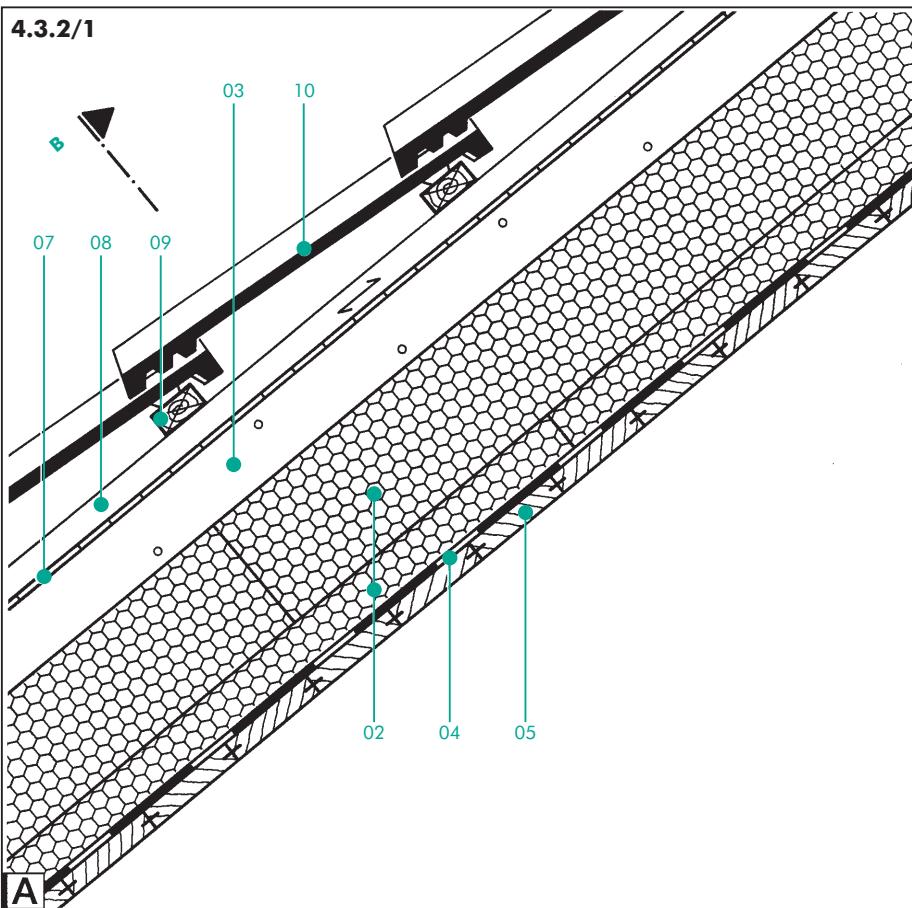
Izolacyjne płyty styropianowe (02) mogą być np. klejone do specjalnych dystansowych listew styropianowych (03), przybitek uprzednio do drewnianych krokwi (01). Pod izolacją termiczną rozpięta jest od strony pomieszczenia paroizolacja (04).



- 01 krokwie
- 02 styropianowe płyty izolacji termicznej
- 03 styropianowa listwa dystansowa
- 04 paroizolacja pełniąca tu jednocześnie rolę wiatroizolacji
- 05 boazeria sufitowa, łączona na pióro i wpuść
- 06 łata podłużna
- 07 drugie pokrycie
- 08 kontrłata
- 09 łata dachowa
- 10 pokrycie dachu
- 11 przestrzeń wentylowana

## 4.3.2

### Izolacja termiczna pomiędzy i pod krokwiami

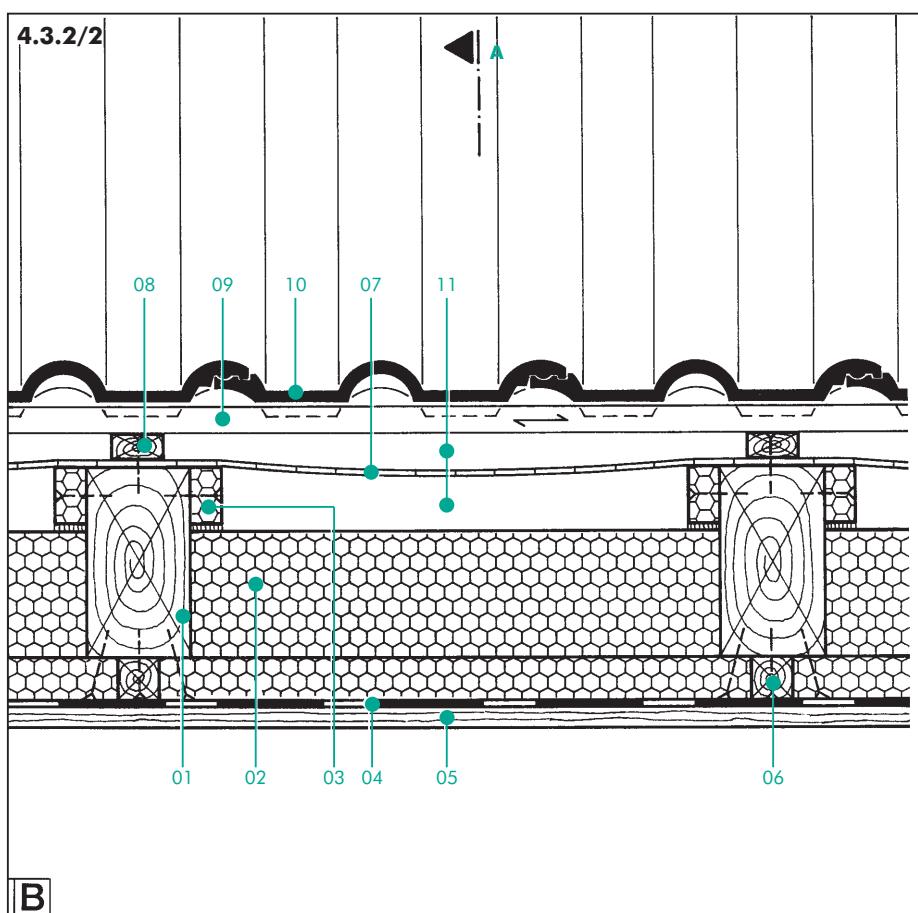


Grubość izolacji termicznej dachu można powiększyć, stosując oprócz izolacji umieszczonej pomiędzy krokwiami (por. →□ 4.3.1) również izolację pod krokwiami, tak jak to pokazano na rysunkach →□ 4.3.2/1 i →□ 4.3.2/2.

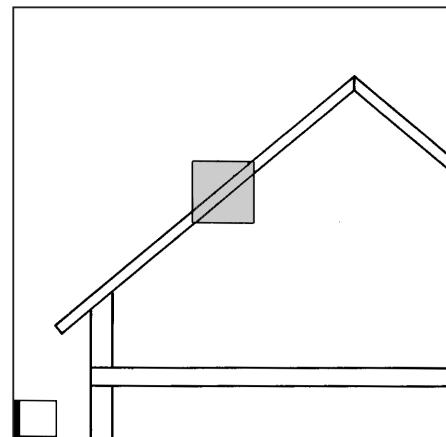
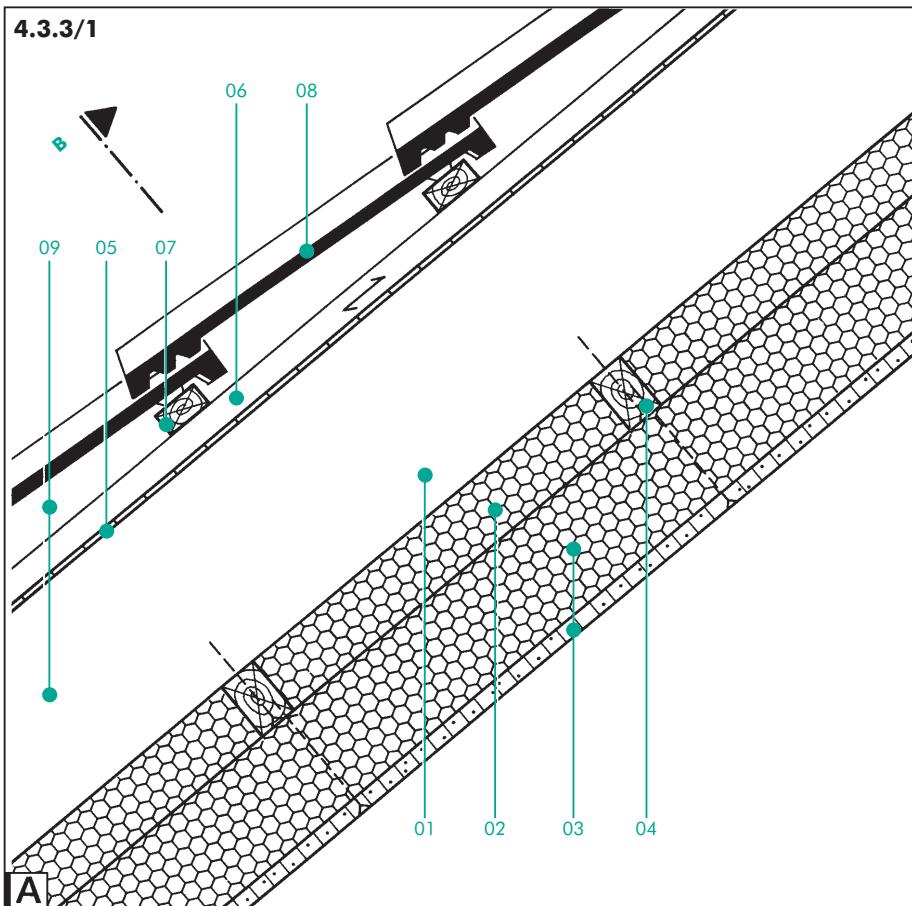
Warstwy izolacyjne tej konstrukcji są opisane symbolami od 07 do 10 na obydwu rysunkach. Styropianowe listwy dystansowe (03) są tu, tak jak i poprzednio, przybite do góry krokwi. Styropianowe płyty izolacji termicznej (02) są bardzo ściśle wpasowane w pola pomiędzy krokwiami, a dodatkowo jeszcze klejone do listew styropianowych (03).

Grubość łyty wyrównującej (06) przybitej do spodu krokwi, odpowiada grubości dodatkowej warstwy izolacji termicznej umieszczonej pod krokwiami. Płyty styropianowe są w tej warstwie mocowane mechanicznie (gwoździe lub klamry) do spodu krokwi.

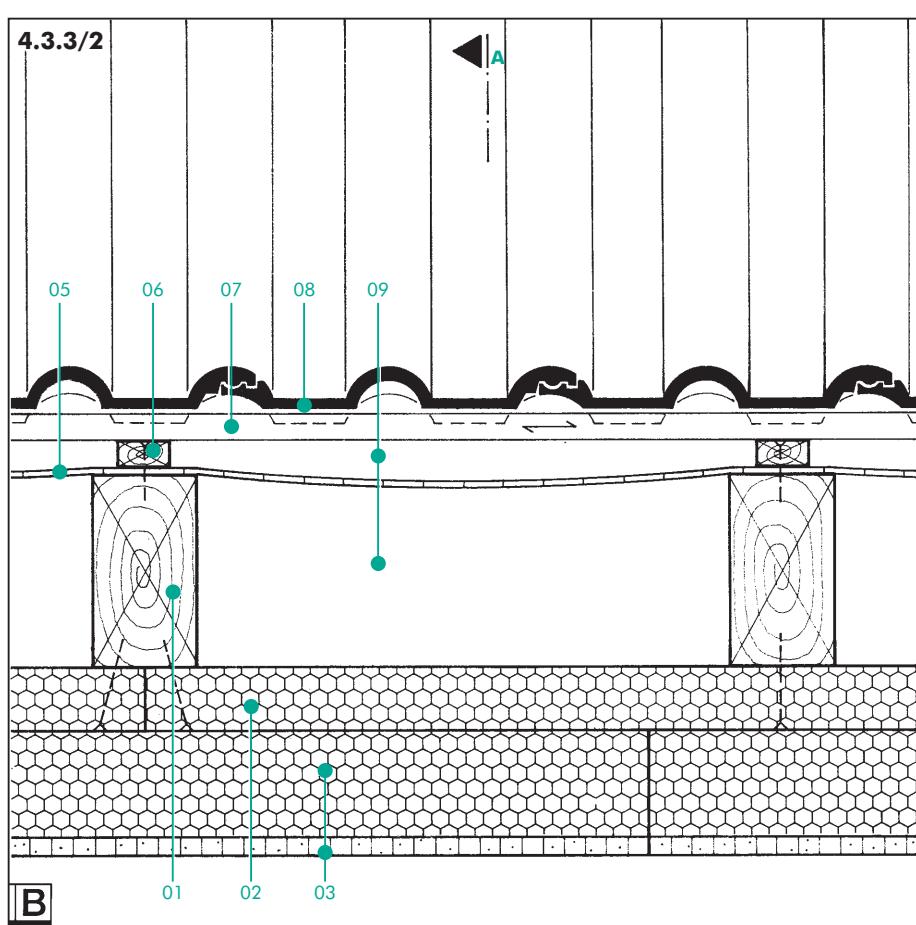
Zastosowanie izolacji termicznej w dwóch warstwach materiałowych pozwala na uzyskanie lepszej szczelności dzięki wzajemnemu przesuniętym łączeniom poszczególnych płyt przy krokwiach. Samoklejąca wiatroizolacja (04) jest mocowana do spodu płyt styropianowych przed montażem np. boazerii drewnianej. Na przekroju A-A pokazano również zalecone przesunięcie styków płyt pomiędzy warstwami izolacji termicznej.



- 01 krokwie
- 02 styropianowe płyty izolacji termicznej
- 03 styropianowa listwa dystansowa
- 04 paroizolacja
- 05 boazeria sufitowa, łączona na pióro i wpuść
- 06 łyta podłużna wyrównująca
- 07 drugie pokrycie
- 08 kontrłata
- 09 łyta dachowa
- 10 pokrycie dachu
- 11 przestrzeń wentylowana



Warstwy konstrukcyjne tego dachu są przedstawione na rysunkach →□ 4.3.3/1 i →□ 4.3.3/2. Styropianowe płyty izolacji termicznej (02) są przybite gwoździami do spodu drewnianych krokwi. Pomiędzy płytami, prostopadłe do krokwi rozmiieszczony jest ruszt drewniany (04), mocowany śrubami do krokwi. Z kolei do tego rusztu mocuje się śrubami wielkowymiarowe, zespolone płyty styropianowo-gipsowe (03). Stosowanie wiatroizolacji nie jest w tym przypadku konieczne.



Płyta styropianowa EPS 70 040 FASADA lub EPS 50 042 (PS-E FS 12) o grubości 60 mm pomiędzy listwami rusztu (04) oraz druga warstwa tego materiału o grubości 80 mm zespolona z płytą gipsową pozwalają uzyskać dobrą izolacyjność termiczną całego dachu, w dodatku niemal całkowicie bez mostków termicznych. Wartość współczynnika przenikania ciepła U dla konstrukcji pokazanej na rysunku →□ 4.3.3/1 i →□ 4.3.3/2 wynosi 0.27 W/(m<sup>2</sup>K).

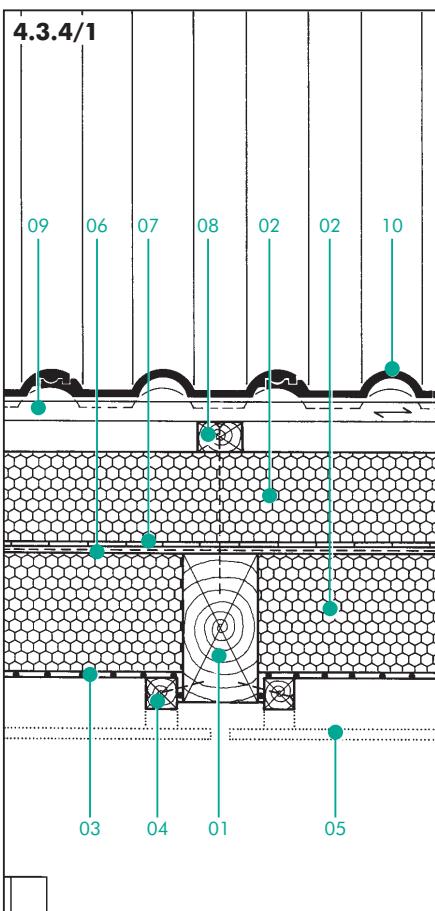
Pod względem cieplno-wilgotnościowym dach tego typu jest bez zarzutu. Dyfuzja pary wodnej odbywa się tu bez zakłóceń, nie dochodzi do wykraplania wilgoci.

- 01 krokwie
- 02 styropianowe płyty izolacji termicznej
- 03 zespolona płyta styropianowo-gipsowa
- 04 ruszt drewniany
- 05 drugie pokrycie
- 06 kontrolata
- 07 lata dachowa
- 08 pokrycie dachu
- 09 przestrzeń wentylowana

# 4.3.4

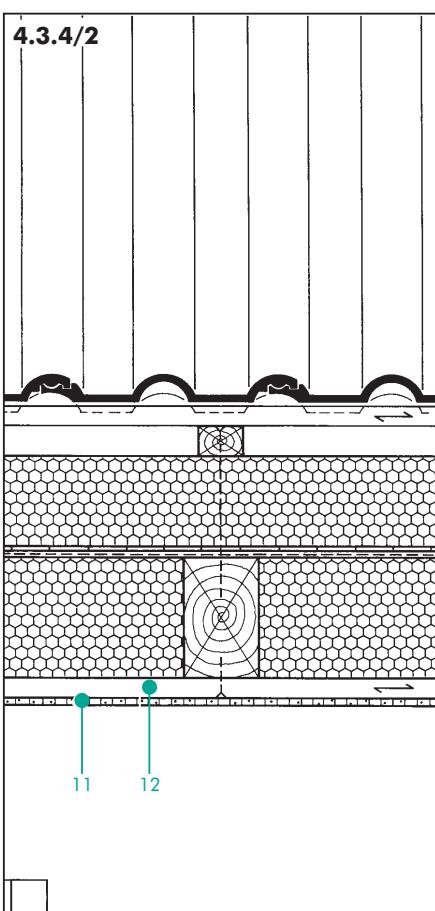
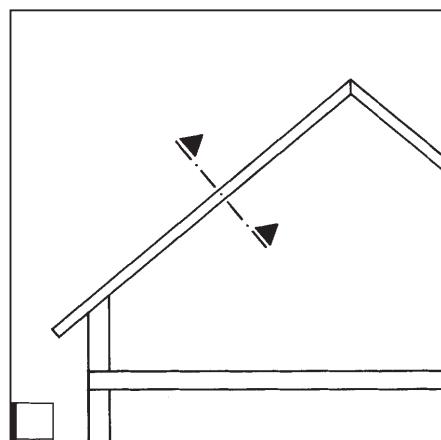
## Izolacja termiczna pomiędzy i na krokwiach

strona 1



Krokwie (01) na rysunku →□ 4.3.4/1 są stężone przeciwwiatrowo przy użyciu przybitych do nich stalowych płaskowników (06) lub cięgien stężających. Płyty styropianowe (02) są bardzo dokładnie dopasowane do pól pomiędzy krokwiami i wsunięte na wcisk. Specjalne łytki dociskowe (04) służą do zamocowania paroizolacji (wiatroizolacji) (03) i jednocześnie utrzymując między krokwiami wszystkie warstwy.

Górna płaszczyzna dolnej warstwy izolacji termicznej i krokwi jest pokryta warstwą materiału o wysokiej paroprzepuszczalności ( $s_d < 0.3 \text{ m}$ ). Na niej dopiero ułożona jest druga warstwa izolacji styropianowej, przybita do krokwi (01) poprzez łytkę podkładową (08). Od spodu warstwy izolacyjne mogą być osłonięte dowolnym materiałem wykończeniowym (05).

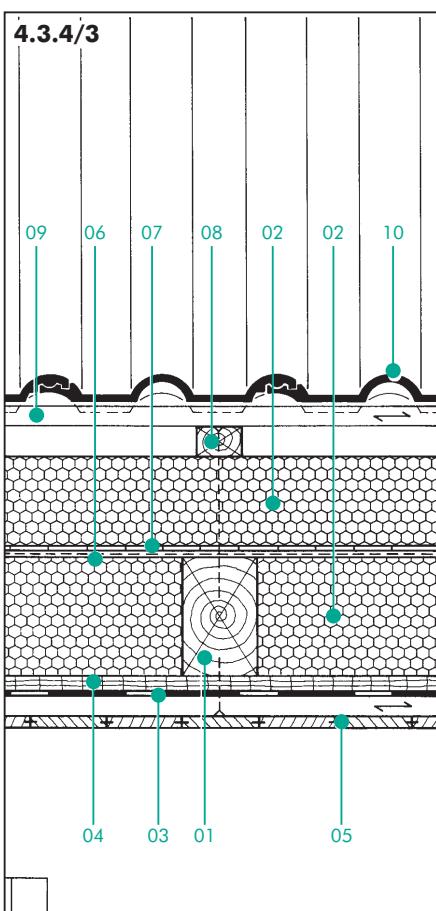


Układ warstw w dachu przedstawionym na rysunku →□ 4.3.4/2 jest w zasadzie zgodny z układem na rysunku →□ 4.3.4/1. Różnica polega jedynie na braku izolacji wiatrowej. Wiatroszczelność uzyskuje się tu poprzez bezstykowe osłonięcie dachu od dołu płytami gipsowo-kartonowymi (11). Płyty gipsowe są przykręcane do drewnianego rusztu (12), który jednocześnie wspiera od dołu płyty styropianowe. Grubość płyt styropianowych w tej warstwie musi odpowiadać pełnej wysokości krokwi.

Obecne przepisy ochrony cieplnej wymagają współczynnika przenikania ciepła dla dachu nie większego niż  $0.3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Zastosowanie izolacji styropianowej pozwala na uzyskanie wartości znacznie niższych. W budynkach energooszczędnnych realizuje się wartości niższe od  $0.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

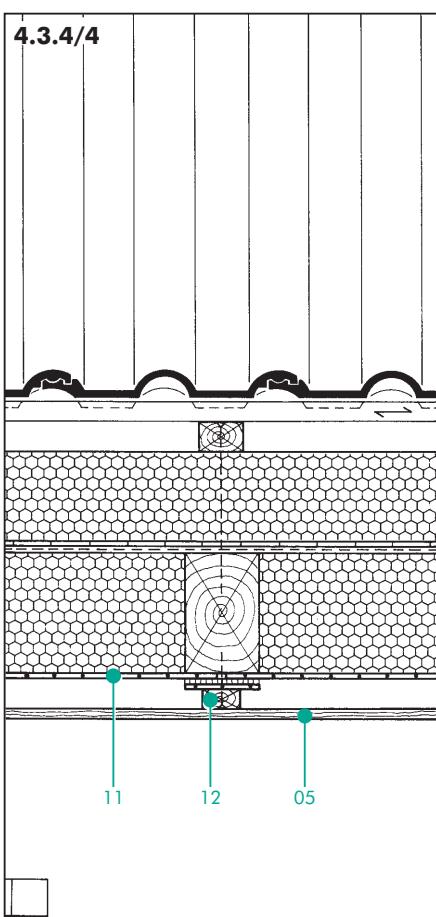
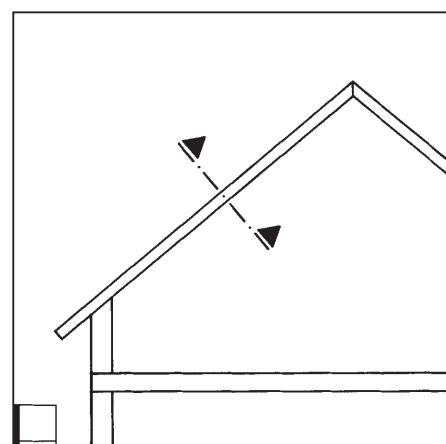
Dach przedstawiony na rysunku →□ 4.3.4/2 pozwala na uzyskanie takiej wartości współczynnika U. Górną warstwę izolacji termicznej to styropian EPS 200 036 DACH/PODŁOGA/PARKING (PS-E FS 30) o grubości 120 mm, pomiędzy krokwiami EPS 70 040 FASADA lub EPS 50 042 (PS-E FS 12) o grubości 140 mm. Przy łącznej grubości izolacji równej 260 mm współczynnik przenikania ciepła wynosi ok.  $0.16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Kondensacja wilgoci w tej przegrodzie nie występuje.

- 01 krokwie
- 02 płyty styropianowe
- 03 paroizolacja pełniąca tu jednocześnie rolę wiatroizolacji
- 04 łytki dociskowe
- 05 warstwa wykończeniowa
- 06 płaskownik stężający
- 07 drugie pokrycie
- 08 łytki podkładowa
- 09 łytki
- 10 pokrycie dachu
- 11 płyta gipsowo-kartonna
- 12 ruszt drewniany



Układ konstrukcyjny dachu przedstawionego na rysunku →□ 4.3.4/3 jest odmienną dachu omawianego poprzednio i przedstawionego na →□ 4.3.4/2. Jedy- na różnica polega tu na warstwie płyty wiórowej (04), mocowanej do spodu kro- kwii. Do niej właśnie przyklejona jest pa- roizolacja pełniąca tu jednocześnie rolę wiatroizolacji (03).

Poprzez ułożenie termoizolacji w dwóch warstwach, między i na krokwiach, uzyskuje się skutecną ochronę cieplną wnę- trza użytkowego poddasza. Tego typu przegrody są wykorzystywane przy pro- jektowaniu budynków energooszczęd- nych. Izolacja termiczna o grubości 120 mm ze styropianu EPS 200 036 DACH/PODŁOGA/PARKING (PS-E FS 30) na krokwiach i 140 mm grubości styro- pian EPS 70 040 FASADA lub EPS 50 042 FASADA (PS-E FS 12) pomiędzy krokwia- mi pozwala uzyskać w efekcie współ- czynnik przenikania ciepła ok. 0.16 W/(m<sup>2</sup>K).



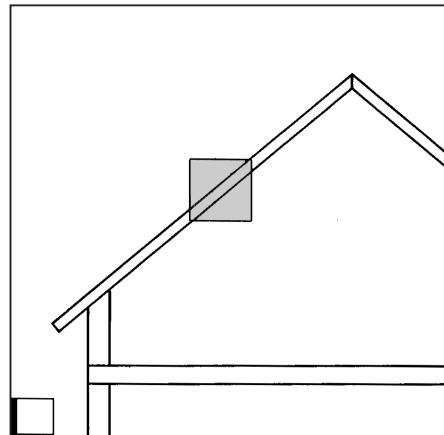
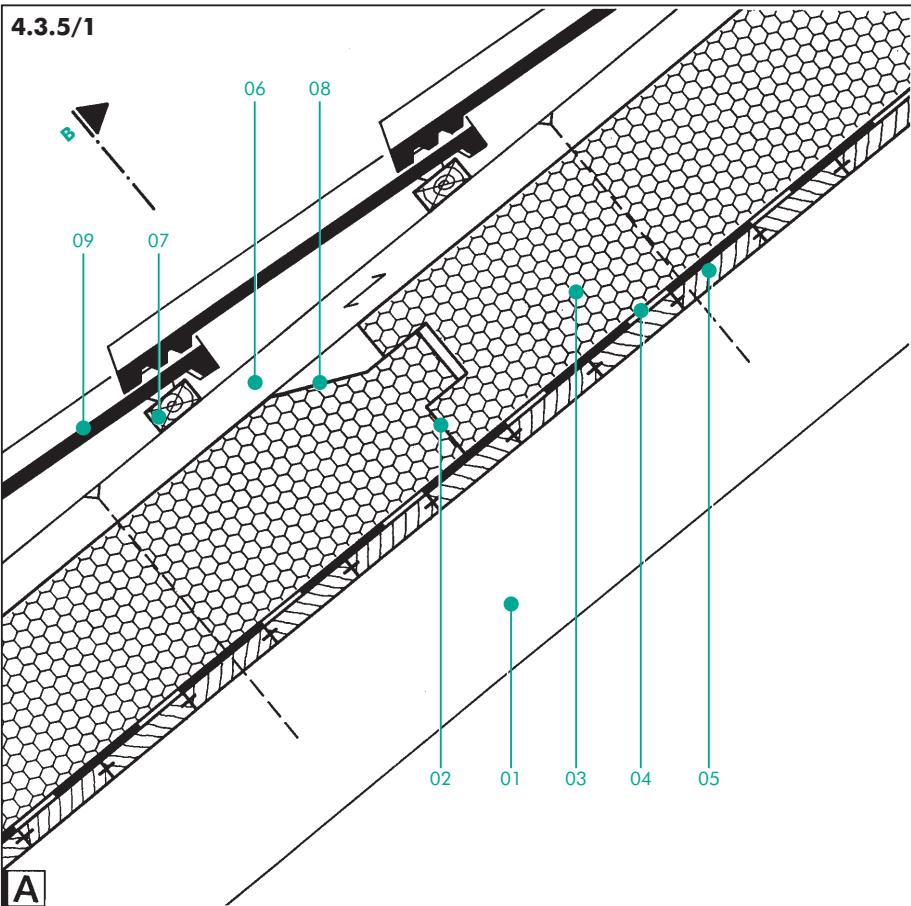
Na rysunku →□ 4.3.4/4 przedstawiono dach o zbliżonym do poprzednich ukła- dzie warstw. W tym przypadku zastosowa- no jako paroizolację warstwę samoprzy- lepnej folii (11). Połączenia medzy wstępami folii przypadają na spody kro- kwii, gdzie są uszczelnione dodatkowymi paskami i dodatkowo dociskane kontrła- tą (12).

- 01 krokwie
- 02 płyty styropianowe
- 03 paroizolacja
- 04 płyty wiórów lub podobna
- 05 boazeria drewniana
- 06 płaskownik stężający
- 07 drugie pokrycie
- 08 łata podkładowa
- 09 łata
- 10 pokrycie dachu
- 11 folia izolacyjna z PCV (iączona na krokwiach)
- 12 kontrłat

# 4.3.5

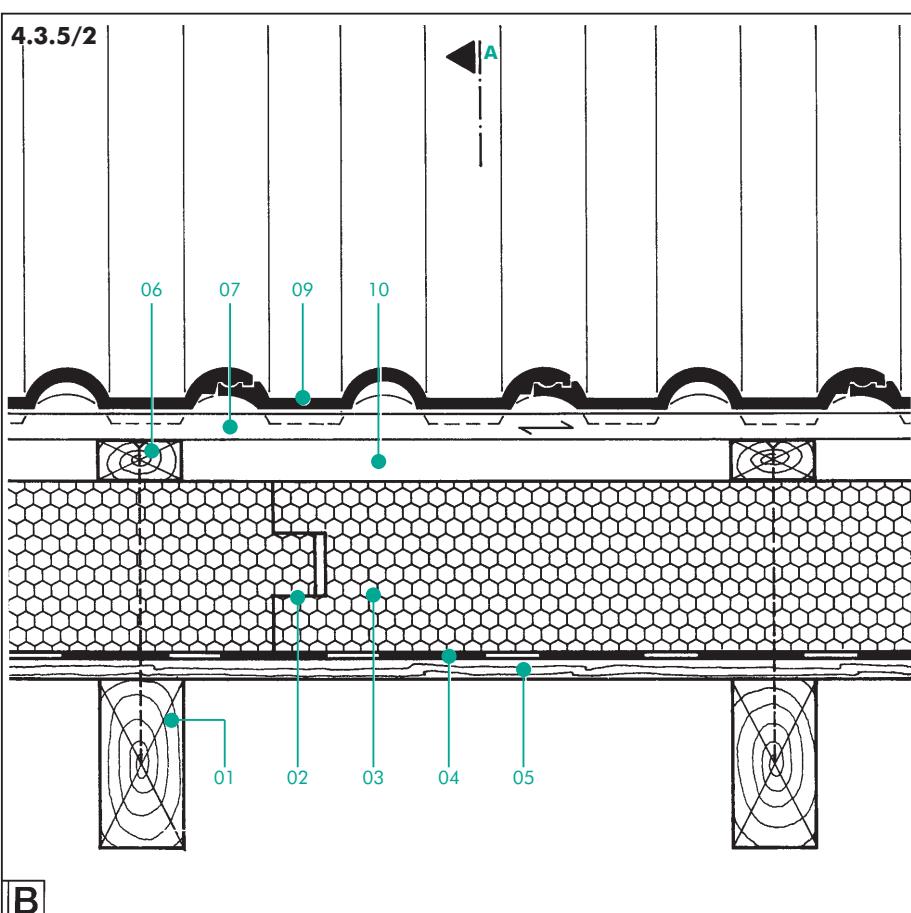
## Poddasze użytkowe Izolacja termiczna na krokwiach

strona 1



Jedną z bardzo istotnych zasad przy konstruowaniu przegród energooszczędnych jest utrzymanie ciągłości warstwy termoizolacyjnej, a więc w efekcie równomiernej izolacyjności cieplnej. W przypadku stro- mego dachu taką możliwość daje bez problemów styropianowa izolacja ukła- dana na krokwiach.

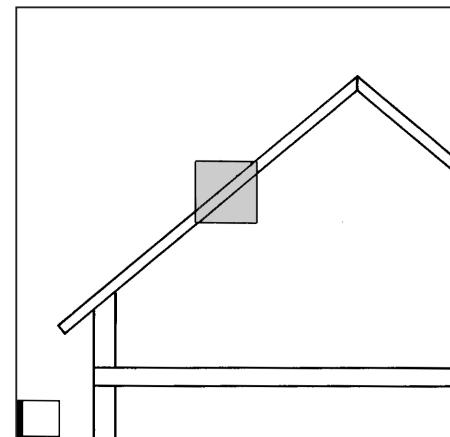
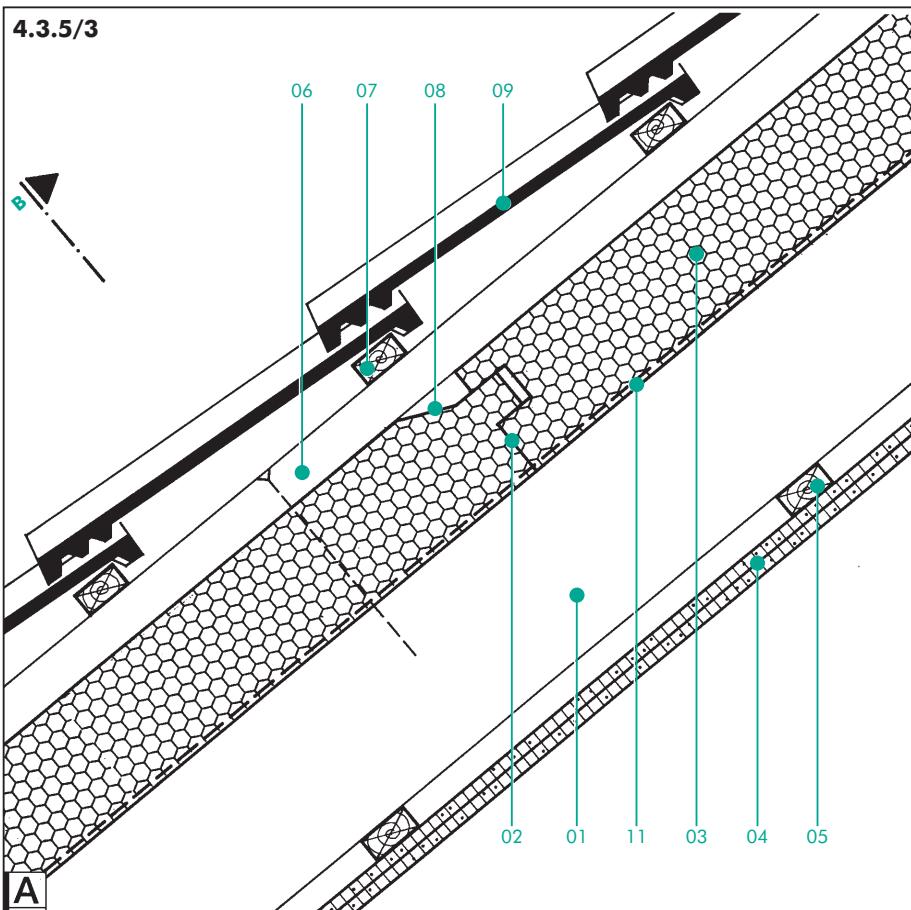
Na rysunkach →□ 4.3.5/1 i →□ 4.3.5/2 przedstawiono układ warstw w dachu tego typu. Na krokwiach (01) przybite jest pełne deskowanie (05), a na nim umocowana warstwa papy bitumicznej (04) lub innego materiału jako wiatroizolacji. Obydwie te warstwy 04 i 05 stanowią wstępne pokrycie dachu, ułatwiające dalsze prace podczas wznoszenia budynku.



Na tak przygotowanej płaszczyźnie da- chu, układane są następnie płyty styropianowe (03). Są one mocowane do podłoża za pośrednictwem łat podkłado- wych (06), przybijanych poprzez styropian do krokwi (01). Łaty podkładowe (06) słu- żą jednocześnie jako kontraty dla łat po- krycia dachowego (07). Woda opadowa, która może dostać się do wnętrza dachu poprzez połączenia głównego pokrycia spływa bez przeszkód po wierzchu płyt styropianowych. Szczelne podłużne połą- czenie na pióro i wpuść płyt izolacyjnych (02) oraz odwadniający skos (08) gwar- antują pełną szczelność dachu ze wzglę- du na wodę i śnieg.

- 01 krokwie
- 02 połączenie na pióro i wpuść
- 03 płyty styropianowe
- 04 paroizolacja pełniąca tu jednocześnie rolę wiatroizolacji
- 05 deskowanie
- 06 łata podkładowa
- 07 łata dachowa
- 08 skos odwadniający
- 09 pokrycie dachu
- 10 przestrzeń wentylowana

4.3.5/3

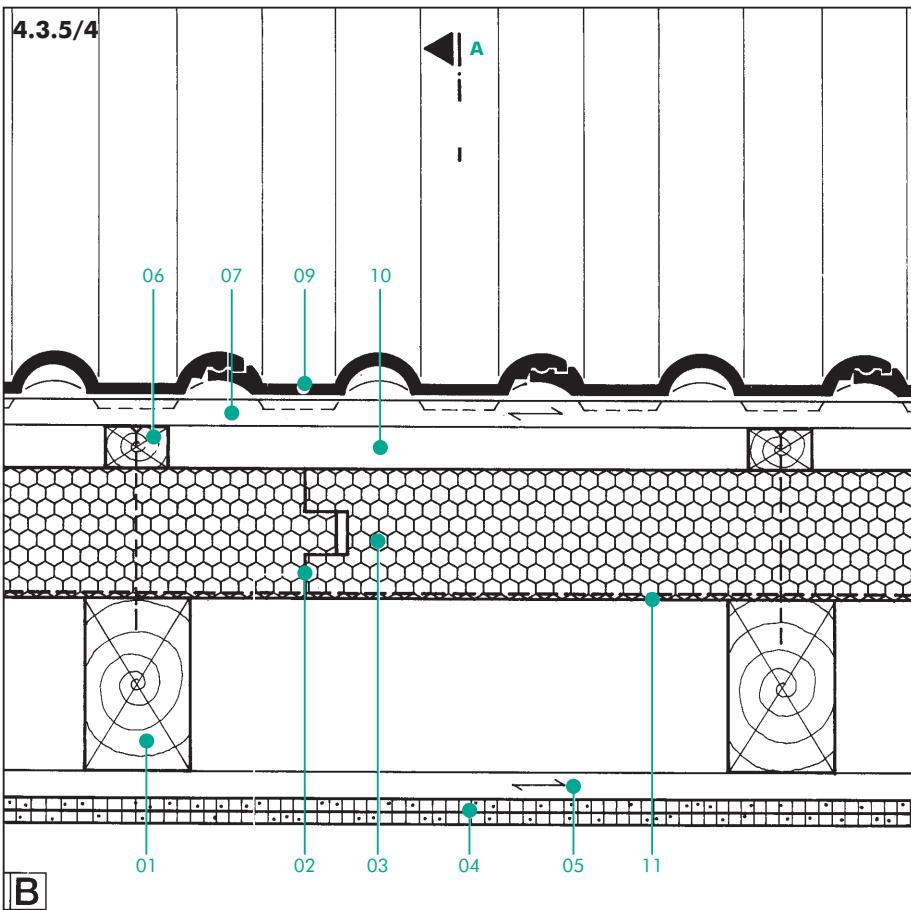


### Płyty izolacyjne na krokwiach bez deskowania

W sytuacji, kiedy dach jest od wnętrza obudowany wielkowymiarowymi płytami gipsowo-kartonowymi (04), które gwarantują uzyskanie wiatroszczelności całego systemu, płyty styropianowe mogą być układane bezpośrednio na krokwiach. Przedstawiono to na rysunkach →□ 4.3.5/3 i →□ 4.3.5/4. Styropianowe elementy układane są na krokwiach (01) z przesunięciem styków, a następnie mocowane do krokwi za pośrednictwem łańcuchów podkładowych (06). Dzięki specjalnie ukształtowanym połączeniom płyt (02) i odwadniającemu skosowi (08), woda wciśnięta przez wiatr pod pokrycie jest bez przeszkód odprowadzana po powierzchni styropianu.

Problem przenoszenia obciążeń przez pokrycie dachu i system izolacji termicznej omówiono w rozdziale 4.4.1 str.1 i 2.

4.3.5/4



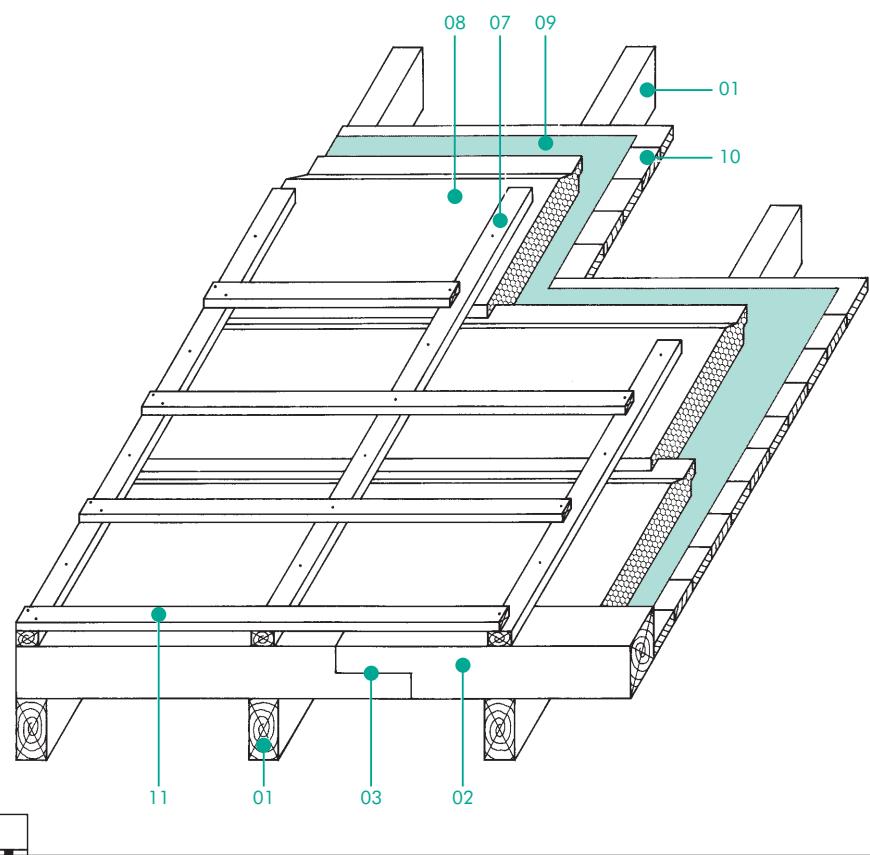
- 01 krokwie
- 02 połączenie na pióro i wpust
- 03 płyty styropianowe
- 04 płyty gipsowo-kartonoowe
- 05 łańca sufitowa
- 06 łańca podkładowa
- 07 łańca dachowa
- 08 skos odwadniający
- 09 pokrycie dachu
- 10 przestrzeń wentylowana
- 11 płaskownik stężający

# 4.4.1

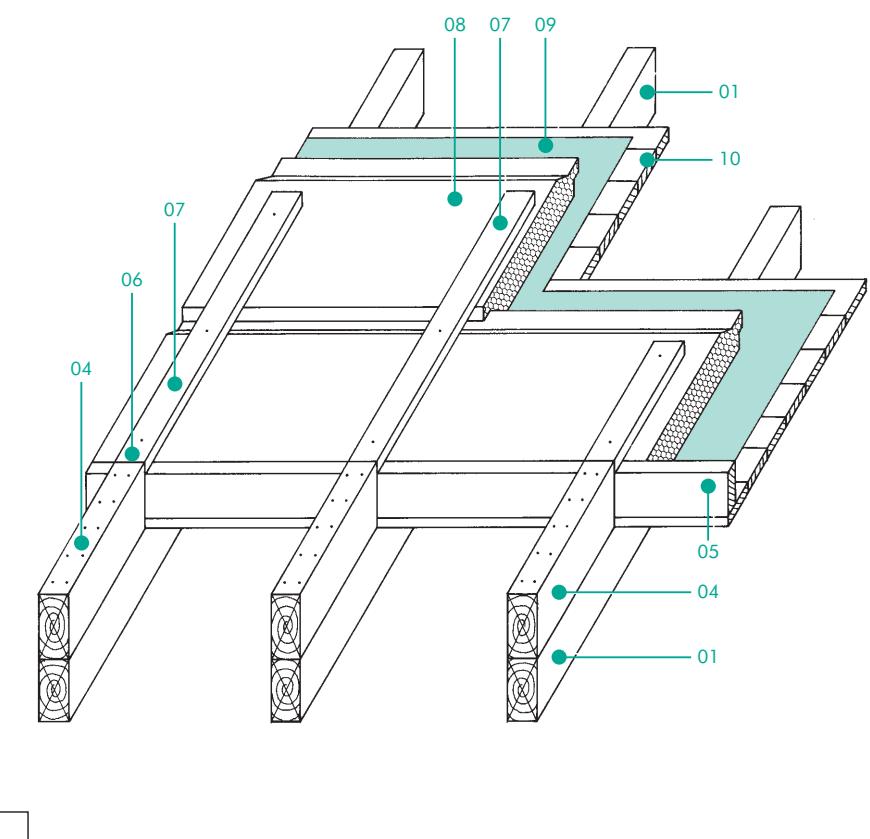
## Płyty styropianowe na deskowaniu

strona 1

4.4.1/1



4.4.1/2



### Przenoszenie obciążzeń

Płyty styropianowe, często określane ze względu na szczelny system połączeń jako „płaszcz dachowy”, muszą przenosić obciążenia pochodzące od ciężaru własnego i od ciężaru pokrycia dachu, a także obciążenia zewnętrzne. Konieczne jest więc wykonanie podstawowych obliczeń statycznych gwarantujących bezpieczną eksploatację dachu.

Na rysunkach →□ 4.4.1/1 i →□ 4.4.1/2 przedstawiono izometryczne widoki układów konstrukcyjnych, które sprawdziły się w praktyce i są godne polecenia.

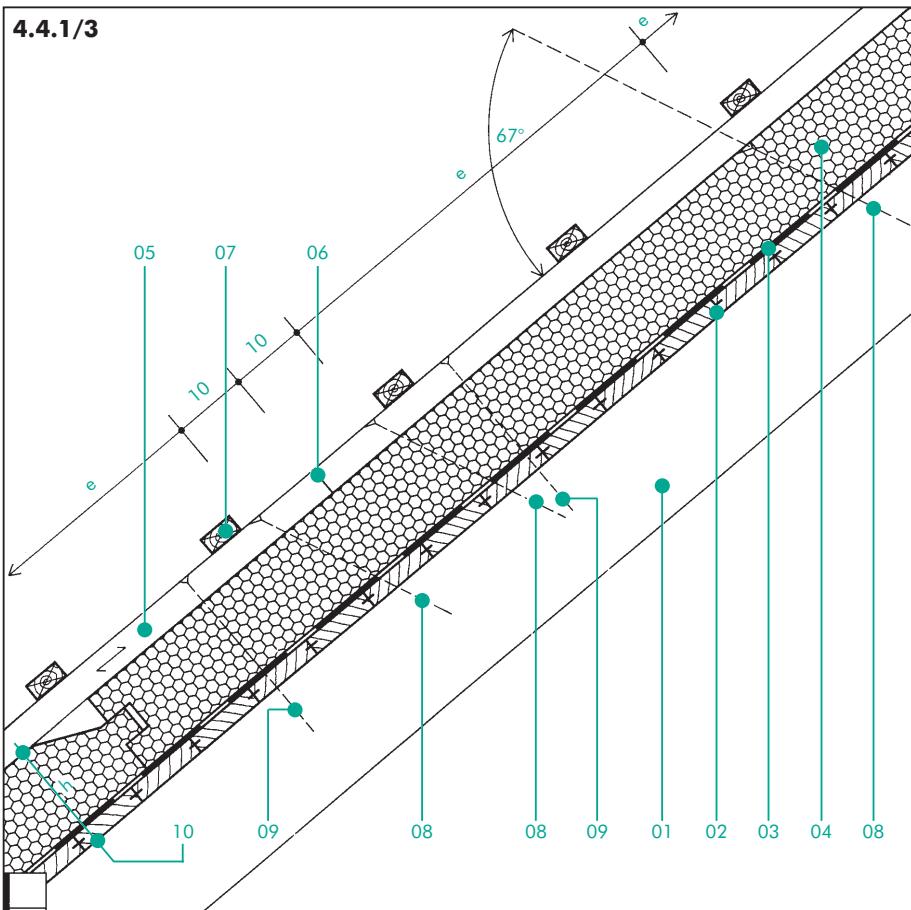
Na rysunku →□ 4.4.1/1 widoczna jest belka okapowa (02) leżąca na krokwiach (01) i przykręcona do nich łącznikiem śrubowym. Deskowanie, do którego przybita jest wiatroizolacja, usztywnia skutecznie całą konstrukcję.

Składową siłę obciążenia od ciężaru własnego płyt, styczną do płaszczyzny dachu, przejmuje belka okapowa, a częściowo także gwoździe mocujące łaź podładowe (07) do krokwi (01) i belki okapowej (02). Dotyczy to również obciążenia od ciężaru własnego łaź (11) i pokrycia dachowego.

W konstrukcji pokazanej na rysunku →□ 4.4.1/2, specjalna belka (04) nadbita na końcówkę krokwi (01) przekazuje obciążenia. Obciążenia, takie same jak opisane wyżej, są przekazywane w miejscu styku (06) nadbitej belki (04) z łaź podładowymi (07).

Jeśli pełne deskowanie nie jest stosowane, to należy rozpięć na krokwiach płaskowniki stężające konstrukcję dachu (por. 4.3.5 str.2).

- 01 krokwie
- 02 belka okapowa
- 03 połączenie belki okapowej
- 04 belka nadbita
- 05 deska maskująca
- 06 miejsce styku
- 07 łaź podładowa
- 08 płyty styropianowe
- 09 wiatroizolacja
- 10 deskowanie
- 11 łaź dachowe



- 01 krokwie
- 02 deskowanie 19 mm
- 03 wiatroizolacja
- 04 płyty styropianowe  $d \leq 160$
- 05 łata podkładowa 40/60 mm
- 06 miejsce styku łat
- 07 łaty dachowe 24/48 mm
- 08 specjalny gwóździe nachylony pod kątem  $67^\circ$
- 09 dodatkowe mocowanie, prostopadłe do dachu
- 10 grubość izolacji cieplnej i deskowania „h“

### Przenoszenie obciążzeń

W przeciwieństwie do rozwiązań pokazanych na rysunkach →□ 4.4.1/1 i →□ 4.4.1/2, w których siły ściągające były przekazywane na belkę okapową lub specjalnie nadbito na krokiew element, w rozwiązaniu przedstawionym na rysunku →□ 4.4.1/3 siły te są przenoszone przez gwoździe. Są to gwoździe o długości dobranej stosownie do grubości termoizolacji.

Gwoździe są wbijane w łyty podkładowe (05), a po przebijaniu izolacji w krokwi, pod kątem  $67^\circ$  w stosunku do płaszczyzny dachu. W ten sposób pracują one praktycznie tylko na wyrywanie. Dzięki temu zredukowane zostało też do minimum przemieszczenie łytek podkładowych wzdłuż połaci, wywoływane zginaniem gwoździ pod wpływem obciążzeń. Przy realizacji dachu należy stworzyć możliwości dokładnego odtworzenia zalecanego kąta  $67^\circ$  przy wbijaniu gwoździ.

Grubość płyt izolacyjnych (10) decyduje o długości stosowanych tu gwoździ. W tabelce →□ 4.4.1/4 podano wymagane długości gwoździ, zależnie od grubości izolacji termicznej na krokwiach.

### 4.4.1/4

#### Mocowanie łytek podkładowowych

„h“ grubość izolacji i deskowania	średnica gwóździa	długość gwóździa
90	6	230
$\leq 125$	6	260
$\leq 140$	6	280
$\leq 160$	6	300
$\leq 180$	6	320

W miejscach połączeń łytek podkładowych (06), a także w pobliżu naroży i brzegów połaci dachu należy zastosować dodatkowe mocowanie (09) warstwy wierzchniej. Niezbędne w tym miejscu, dodatkowe gwoździe są wbijane już pod kątem prostym do powierzchni dachu.

# 4.4.1

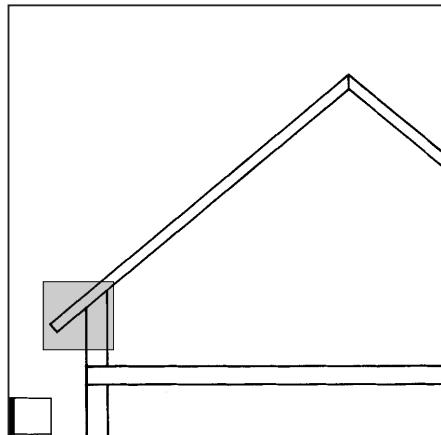
## Płyty styropianowe na deskowaniu

strona 3

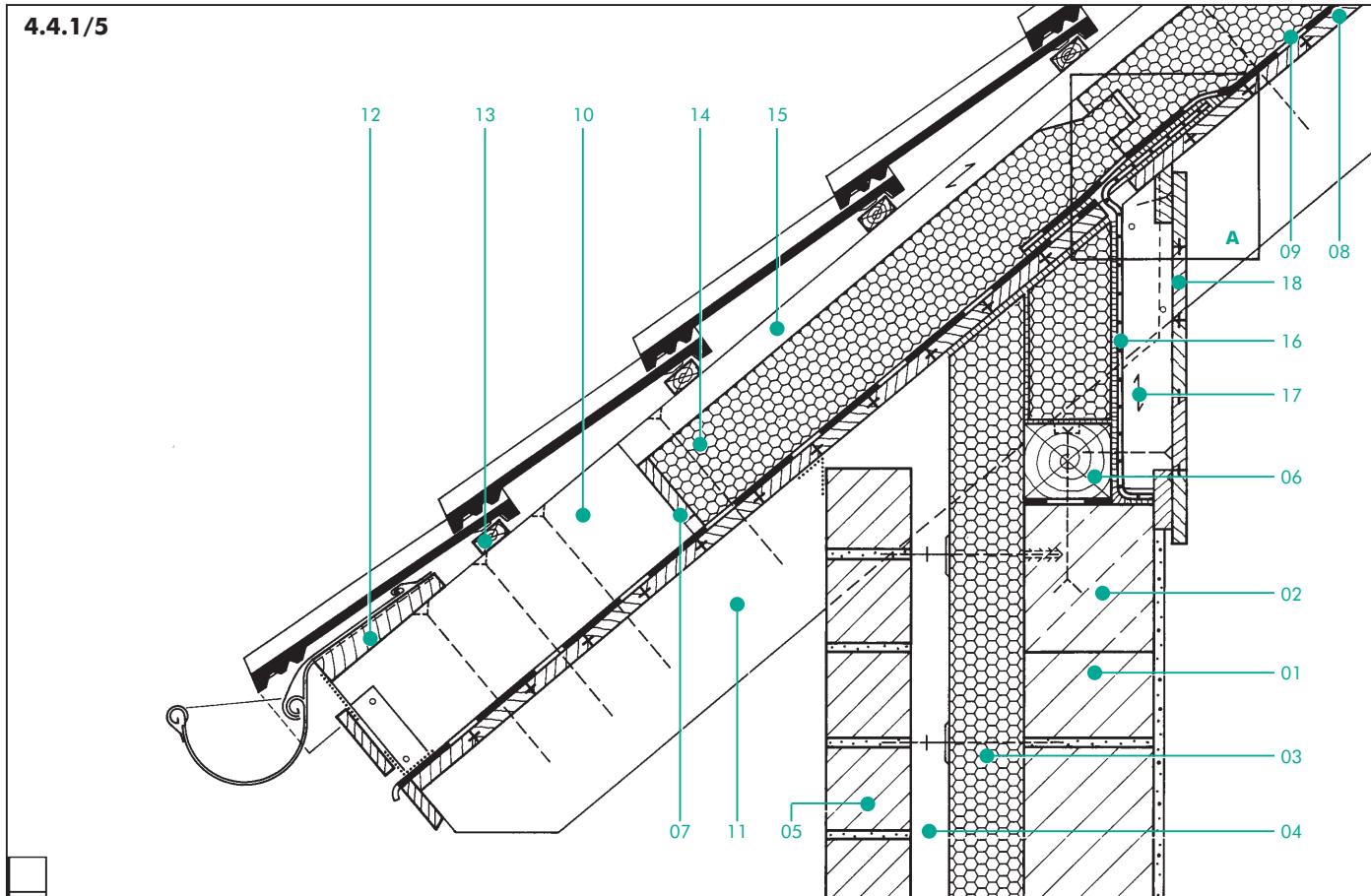
### Okap przy ścianie warstwowej

Na rysunku →□ 4.4.1/5 przedstawiony został sposób połączenia zewnętrznej ściany warstwowej budynku z dachem izolowanym przy użyciu płyt styropianowych. Płaszczyznowa wiatroizolacja (09) jest przerwana w miejscu styku dachu i ściany oraz wywinięta na wyprowadzoną

ze ściany warstwowej elastyczną folię uszczelniającą (16). Dzięki temu uzyskuje się szczelne połączenie ściany i dachu w obszarze muraty. Na rysunku →□ 4.4.1/6 pokazano w powiększeniu szczegół A, tj. miejsce połączenia wiatroizolacji i folii.

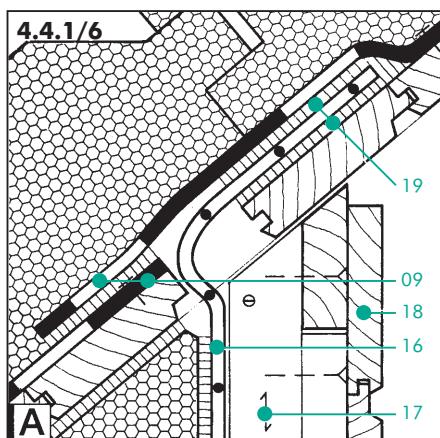


4.4.1/5



- 01 ściana nośna
- 02 wieniec
- 03 styropianowa izolacja ściany warstwowej
- 04 przestrzeń wentylowana
- 05 warstwa elewacyjna
- 06 murata
- 07 krokwie
- 08 deskowanie
- 09 wiatroizolacja
- 10 belka nadbita

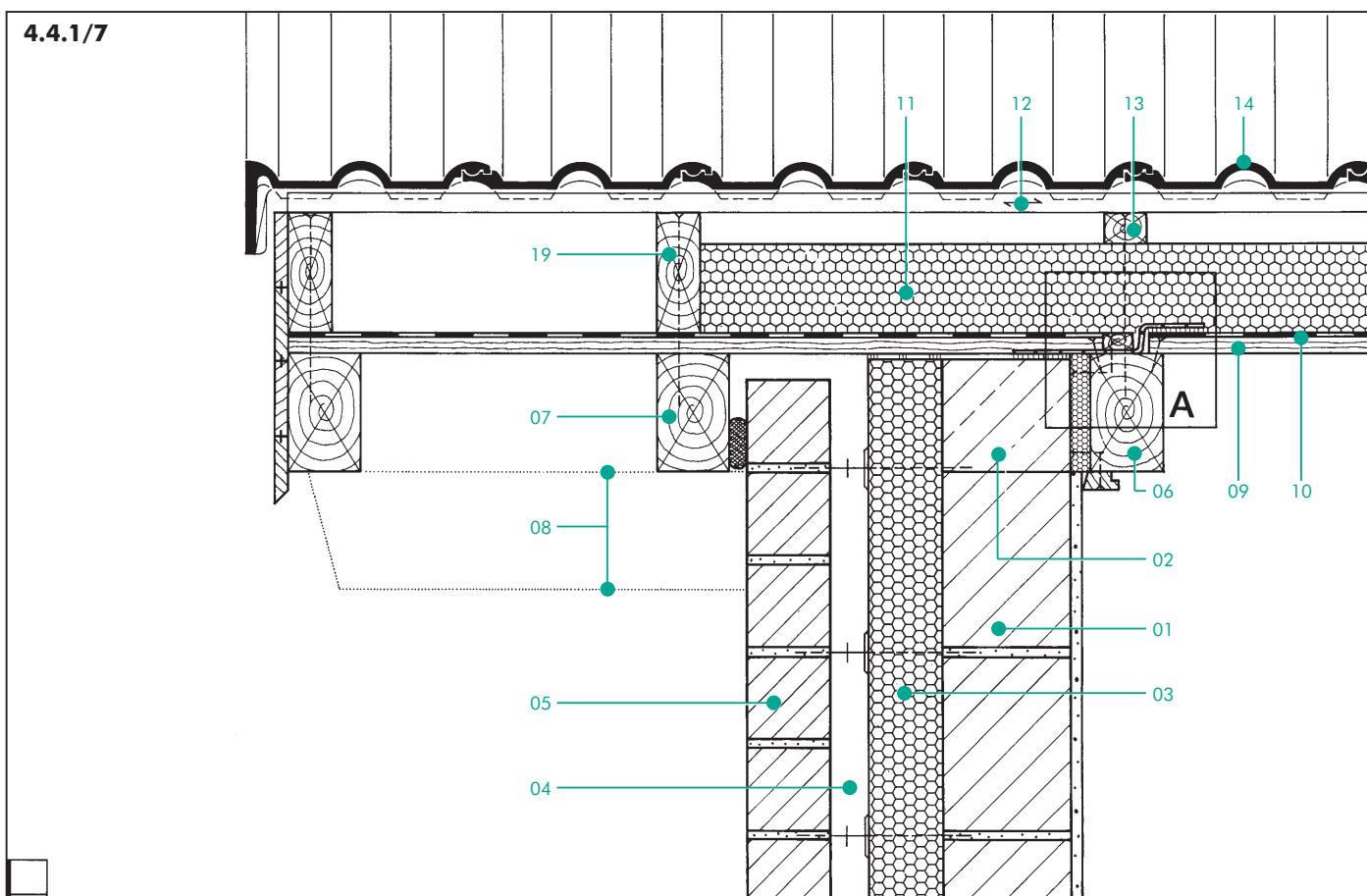
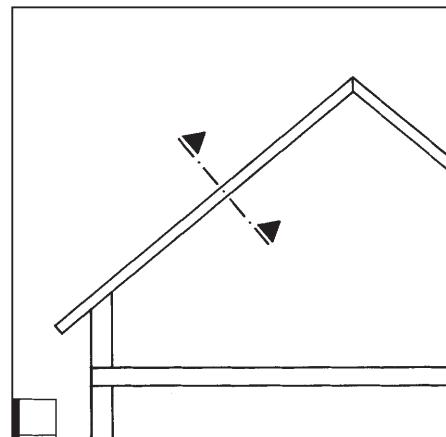
- 11 deska maskująca
- 12 deska okapowa
- 13 łata dachowa
- 14 płyty styropianowe
- 15 łata podkładowa
- 16 wiatroizolacja z folii elastycznej
- 17 listwa montażowa pod 18
- 18 boazeria drewniana
- 19 warstwa kleju



### Połączenie dachu ze ścianą szczytową

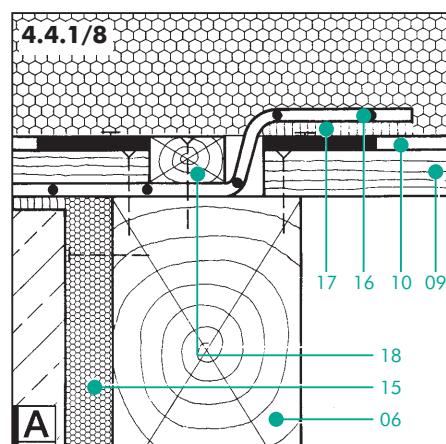
Na rysunku →□ 4.4.1/7 pokazano sposób ukształtowania połączenia ściany szczytowej z przewieszoną połacią dachu. Ponieważ warstwa deskowania (09) nie jest szczelna na parcie wiatru w miejscach połączeń desek, konieczna jest więc ciągła warstwa wiatroizolacji (10) pokrywająca szczelecznie całą powierzchnię. Na krokwi szczytowej wewnętrznej (06)

deskowanie i wiatroizolacja są przerwane, aby przepuścić folię elastyczną (16), przyklejoną z jednej strony do wierzchu wieńca (02) i z drugiej strony do wiatroizolacji dachowej (10). W ten sposób nie dochodzi do ssania powietrza do wnętrza poprzez deskowanie. Połączenie jest dodatkowo uszczelnione przy użyciu łaty dociskowej (18) →□ 4.4.1/8.



- 01 ściana nośna
- 02 wieńiec
- 03 styropianowa izolacja ściany warstwowej
- 04 przestrzeń wentylowana
- 05 warstwa elewacyjna
- 06 krokiew szczytowa wewnętrzna
- 07 krokiew szczytowa zewnętrzna
- 08 płatek przewieszona
- 09 deskowanie
- 10 wiatroizolacja

- 11 płyty styropianowe
- 12 łatka dachowa
- 13 łatka podkładowa
- 14 pokrycie dachowe
- 15 styropian jako szalunek dla wieńca
- 16 wiatroizolacja z folii elastycznej
- 17 warstwa kleju
- 18 łatka dociskowa
- 19 deska szczytowa



# 4.4.1

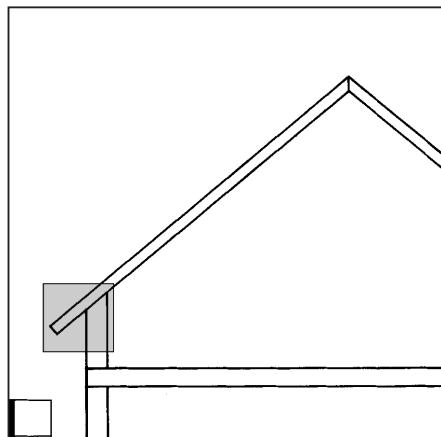
## Płyty styropianowe na deskowaniu

strona 5

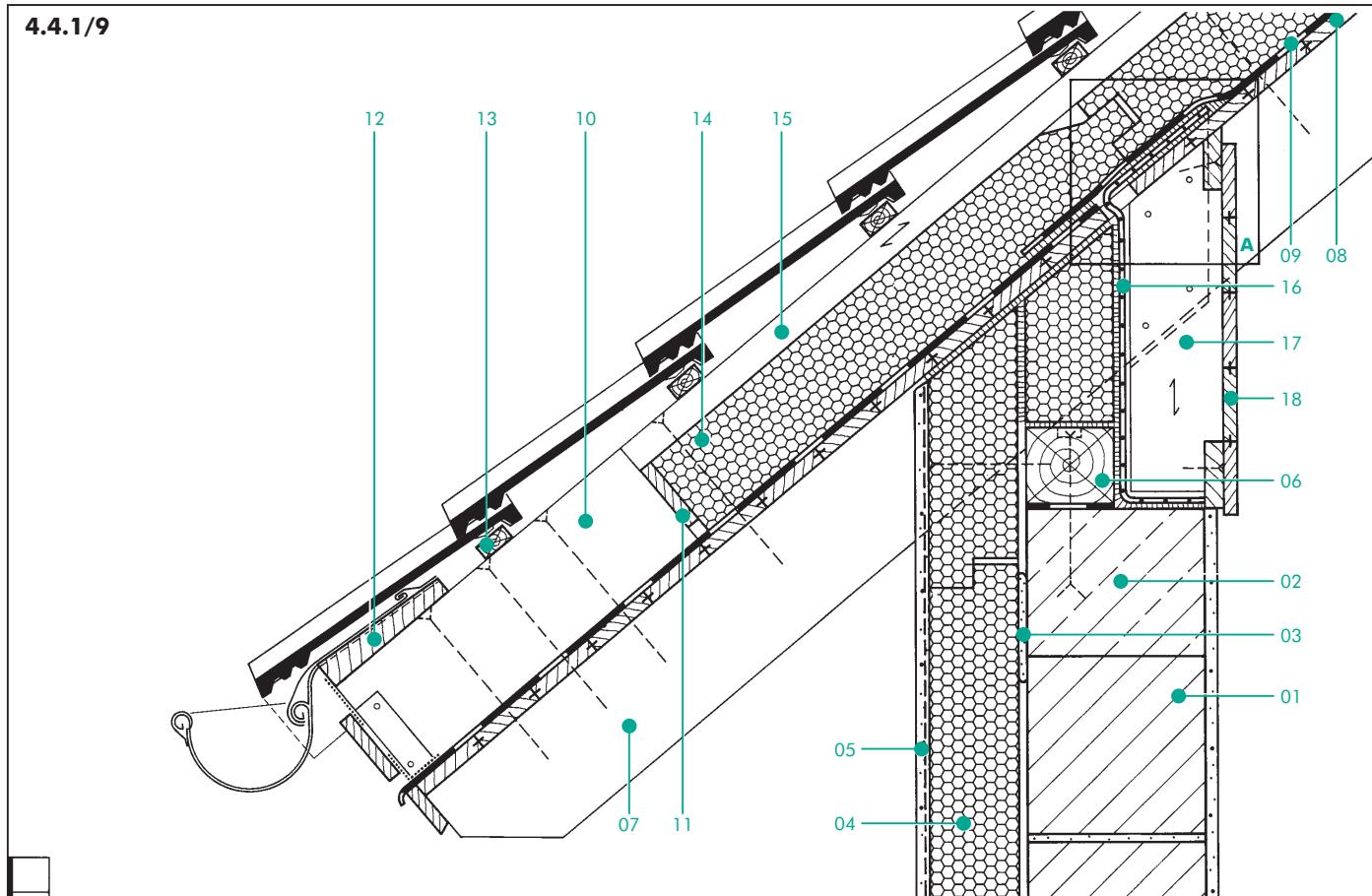
### Okap przy ścianie izolowanej od zewnętrz

Na rysunku →□ 4.4.1/9 przedstawiono sposób połączenia ściany dwuwarstwowej (01) izolowanej od zewnętrz (04) ze stromym dachem izolowanym termicznie przy użyciu płyt styropianowych (14). Jak już to poprzednio pokazano na rysunku →□ 4.4.1/5, deskowanie (08) i warstwa wiatroizolacji (09) są w miejscu połączenia

przerwane. Uszczelniająca folia elastyczna (16) przyklejona od dołu do wieńca ściany jest wywinięta i przyklejona do deskowania. Wiatroizolacja schodząca ze szczytu dachu (09) jest przyklejona z zakładem w miejscu połączenia →□ 4.4.1/10, co gwarantuje szczelność całego układu.

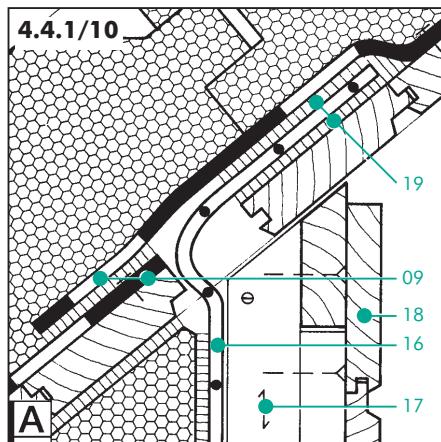


4.4.1/9



- 01 ściana nośna
- 02 wieniec
- 03 klej
- 04 styropianowa izolacja ściany warstwowej
- 05 tynk zbrojony
- 06 murlata
- 07 krokwie
- 08 deskowanie
- 09 wiatroizolacja
- 10 belka nadbita

- 11 deska osłaniająca izolację
- 12 deska okapowa
- 13 lata dachowa
- 14 płyty styropianowe
- 15 lata podkładowa
- 16 wiatroizolacja z folii elastycznej
- 17 deski montażowe po obydwu stronach krokwi pod 18
- 18 boazeria drewniana
- 19 klej

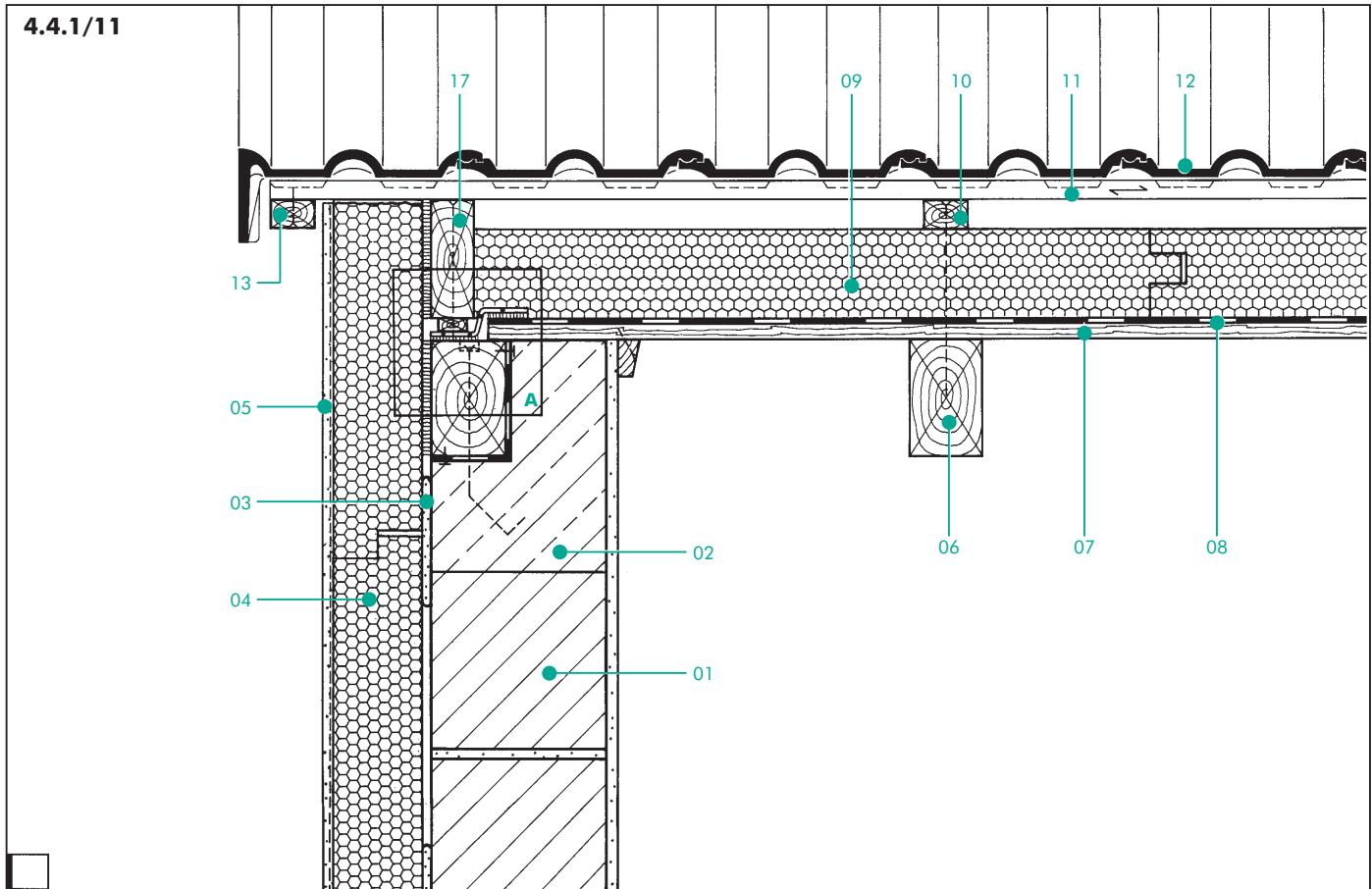
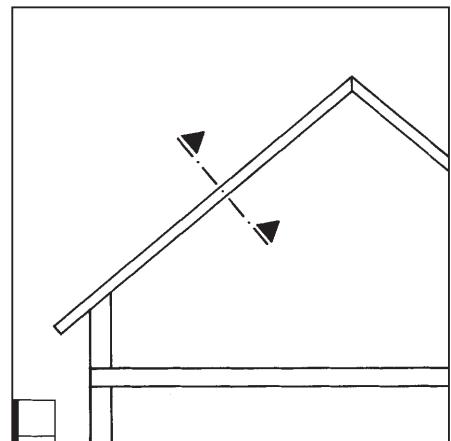


## Płyty styropianowe na deskowaniu

Na rysunku →□ 4.4.1/11 pokazano sposób ukształtowania szczelnego połączenia między stromym dachem a szczytową ścianą dwubarwistową. Dach jest w tym rozwiązaniu oparty na ścianie bez przewieszenia.

Ciągła izolacja zewnętrznej powłoki budynku, złożona z płyt styropianowych na ścianie (04) i na dachu (09), jest tu przezwana tylko w jednym miejscu przez osłaniającą deskę szczytową (17). Nie wpływa to w zauważalny sposób na izolacyjność przegrody. Inny wariant tego rozwiązania

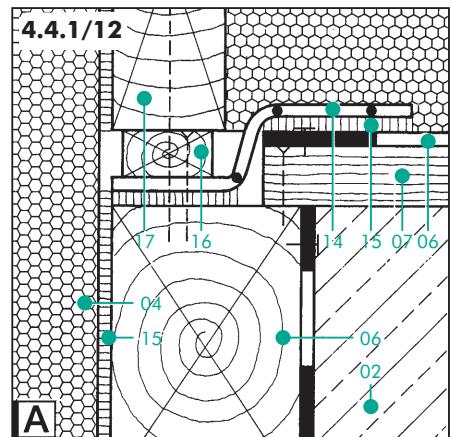
Przy montażu listwy uszczelniającej (13) należy uważać, aby nie dotykała ona do okapnika pokrycia dachowego. W przeciwnym razie woda będzie ściekać po powierzchni ściany.



będzie pokazany na rysunku →□ 4.4.2/3.

Nieszczelny ze względu na przewiewanie, drewniany sufit pomieszczenia (07) jest osłonięty na całej powierzchni wiatroizolacją (08). W miejscu połączenia ze ścianą zastosowano dla uszczelnienia pas folii elastycznej (14) przyklejonej na górze do wiatroizolacji, a dołem przyklejonej i dociśniętej do krokwi szczytowej. Na rysunku →□ 4.4.1/12 pokazano ten szczegół dokładniej.

- 01 ściana nośna
- 02 wieniec
- 03 klej
- 04 styropianowa izolacja ściany warstwowej
- 05 tynk zbrojony
- 06 krokiew
- 07 deskowanie
- 08 wiatroizolacja
- 09 płyty styropianowe
- 10 łata podkładowa
- 11 łata dachowa
- 12 pokrycie dachowe
- 13 listwa uszczelniająca
- 14 wiatroizolacja z folii elastycznej
- 15 klej
- 16 listwa dociskowa
- 17 deska szczytowa



# 4.4.1

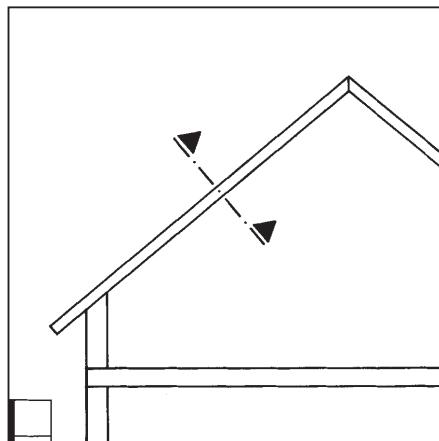
## Płyty styropianowe na deskowaniu

strona 7

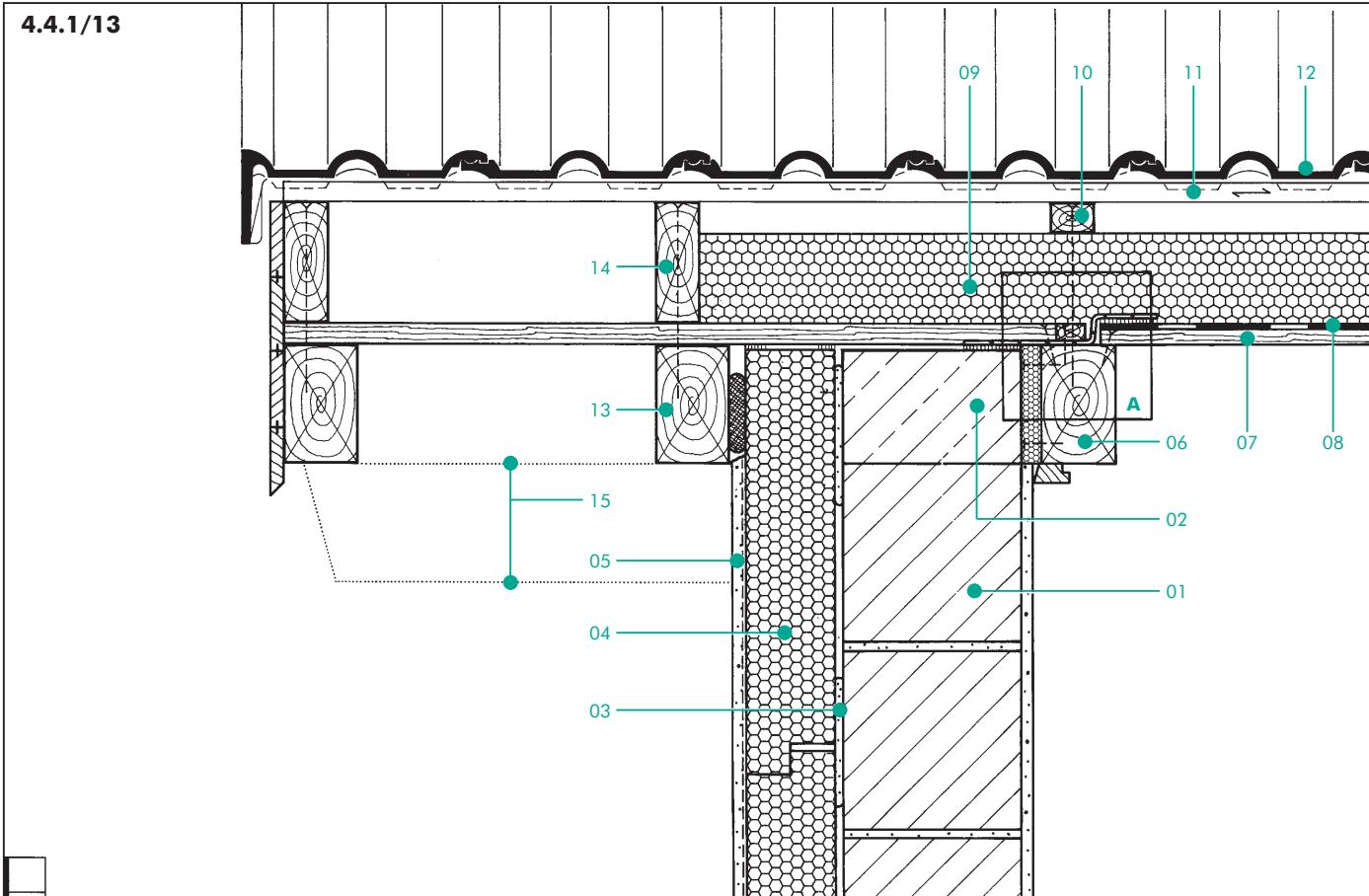
### Połączenie przewieszonego dachu ze ścianą szczytową izolowaną od zewnętrz

Dach wyraźnie wysunięty poza lico ściany zapewnia, jak pokazuje praktyka, dobrą ochronę ściany przed zawiłgoceniem. Szczególnie łatwo można to zauważać w przypadku ścian pokrytych tynkiem. Sposób rozwijania połączenia ściany z przewieszonym dachem, izolowanym termicznie przy użyciu płyt styropianowych (09) pokazano na rysunku → □ 4.4.1/13. Ściana (01) jest izolowana od zewnętrz metodą lekką mokrą (03), (04), (05). Taki sposób izolowania ściany i dachu zapewnia uzy-

skanie niemal całkowicie ciągłej powłoki. Izolacja przeciwwiątrowa dachu (08) kończy się na wewnętrznej krokwii szczytowej (06). Wiatroszczelne połączenie ściany i dachu zapewnia elastyczna folia przyklejona do górnej krawędzi wieńca i jednocześnie do wiatroizolacji, jak to pokazano szczegółowo na rysunku → □ 4.4.1/14. Dzięki temu, mimo bezustannych wzajemnych przemieszczeń dachu i ściany, uzyskuje się ciągłość, a w efekcie pełną szczelność wiatroizolacji.

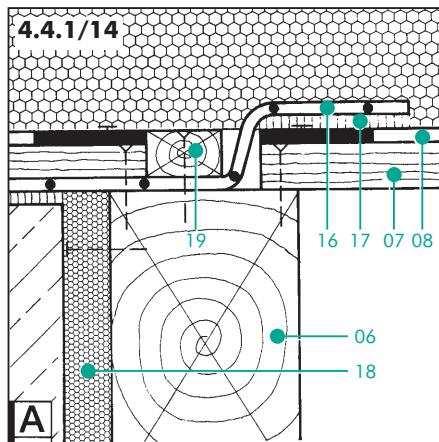


4.4.1/13

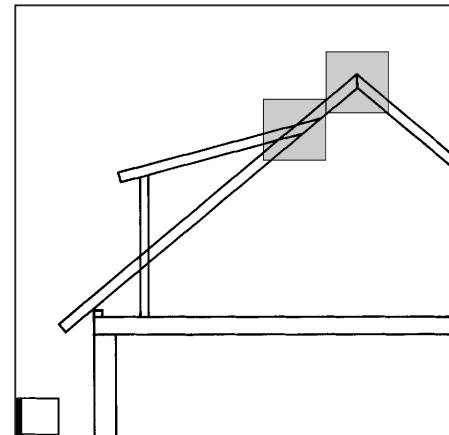
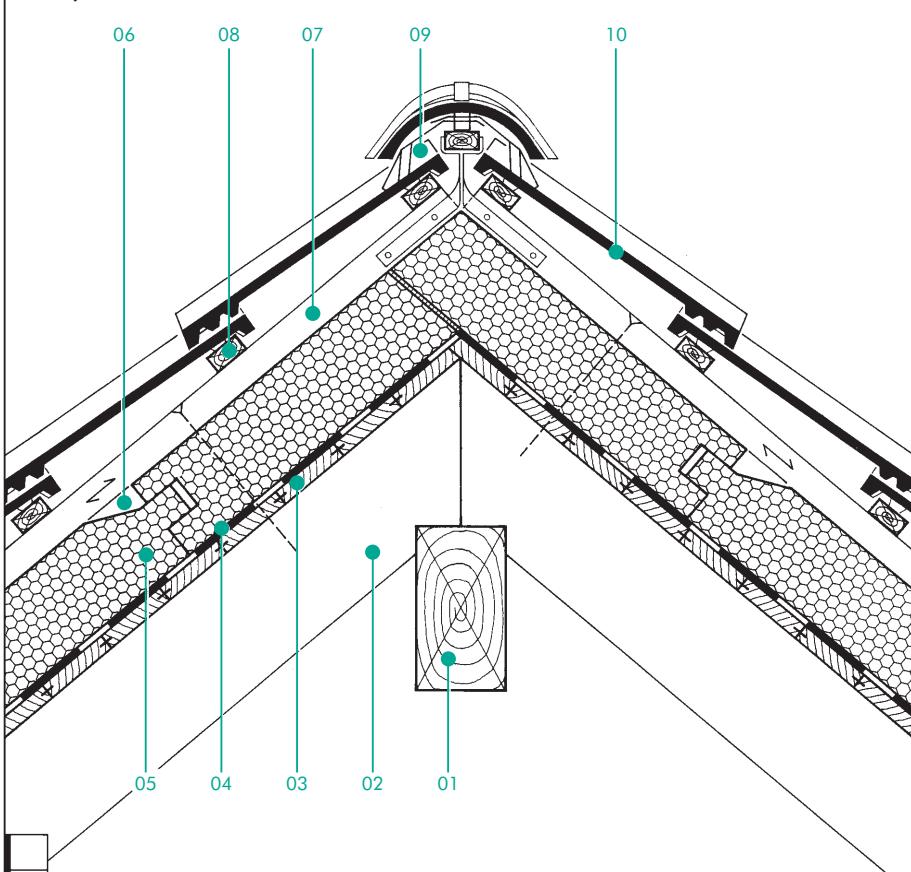


- 01 ściana nośna
- 02 wieniec
- 03 klej
- 04 styropianowa izolacja ściany warstwowej
- 05 tynk na siatce
- 06 wewnętrzna krokwia szczytowa
- 07 deskowanie
- 08 wiatroizolacja
- 09 płyty styropianowe
- 10 łata podkładowa

- 11 łata dachowa
- 12 pokrycie dachowe
- 13 zewnętrzna krokwia szczytowa
- 14 deska szczytowa
- 15 przewieszona płyta
- 16 wiatroizolacja z folii elastycznej
- 17 klej
- 18 płytka styropianowa jako tracony szalunek dla wieńca
- 19 listwa dociskowa



**4.4.1/15**



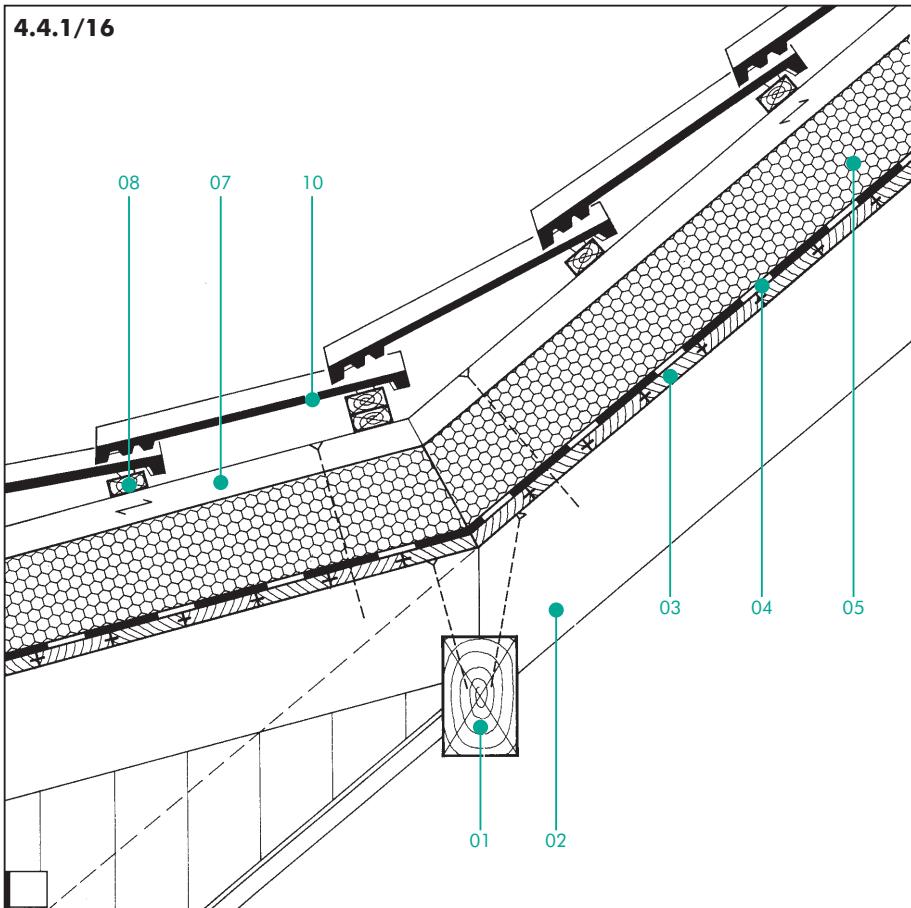
### Szczyt i załamanie dachu

Jeśli poddasze jest wykorzystywane aż do samego szczytu dachu (→□ 4.3/7), to izolacja termiczna musi w ciągły sposób osłaniać wnętrze także w obszarze samej kalenicy, →□ 4.4.1/15.

Poprzez odpowiednie ukształtowanie i osadzenie gąsiorów dachowych (09) ponad płaszczyzną dachówek, uzyskuje się wymagany przekrój otworów wentylacyjnych w szczycie dachu (por. rozdz. 4.3 str. 2).

W miejscu załamania połaci, np. nad oknem mansardowym, gdzie zmienia się kąt nachylenia dachu, izolacyjne płyty styropianowe (05), wiatroizolacja (04) i deskowanie (03) muszą być dokładnie wzajemnie dopasowane, →□ 4.4.1/16. Należy także sprawdzić, czy zastosowany tu rodzaj pokrycia dachowego (10) będzie jeszcze odpowiedni dla mniej nachylonej połaci nad oknem. Jeśli ten warunek nie jest spełniony, to należy dokonać zmiany rodzaju pokrycia dachu na całej powierzchni lub przynajmniej na jego mniej nachylonej części, →□ 4.3/16.

**4.4.1/16**



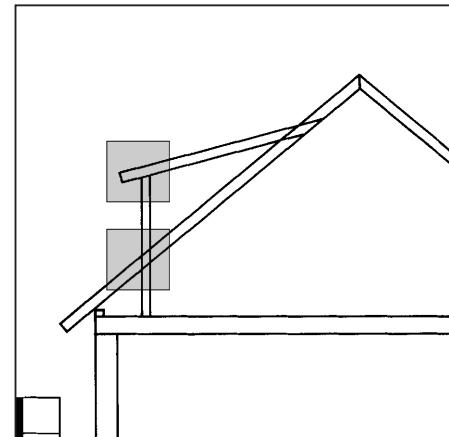
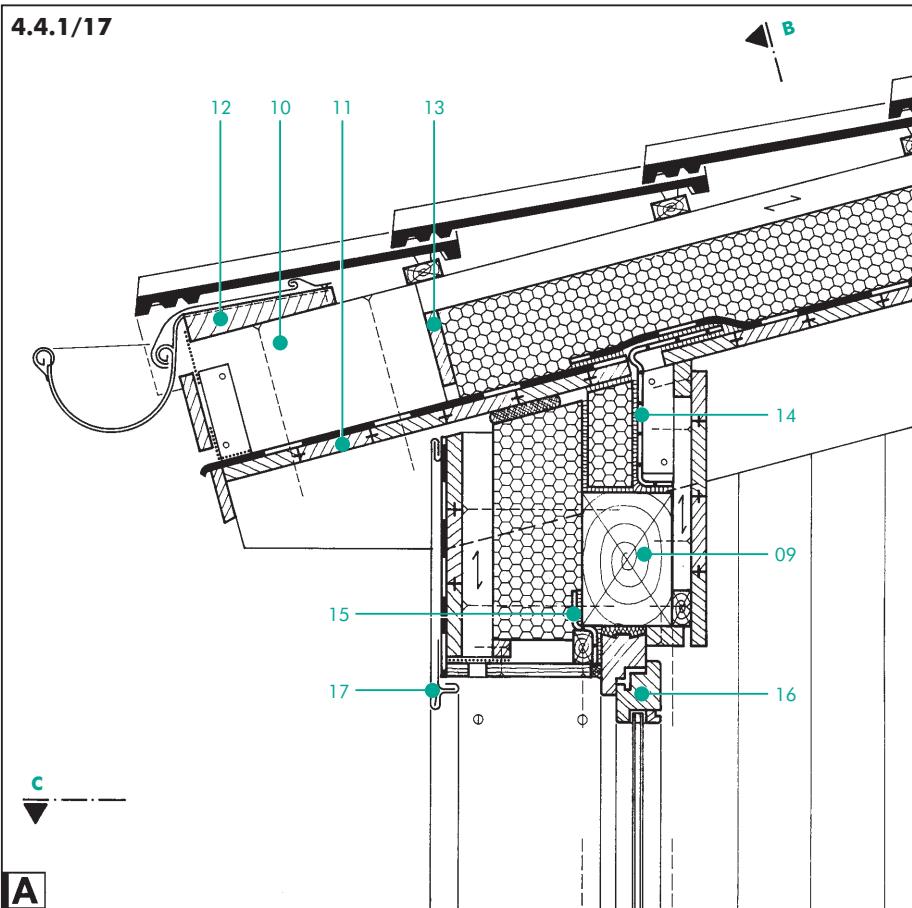
- 01 płytaw
- 02 krokwie
- 03 deskowanie sufitu
- 04 wiatroizolacja
- 05 płyty styropianowe
- 06 skos odprowadzający wodę
- 07 lata podkładowa
- 08 lata dachowa
- 09 otwory wentylacyjne w kalenicy
- 10 pokrycie dachowe

# 4.4.1

## Płyty styropianowe na deskowaniu

strona 9

4.4.1/17

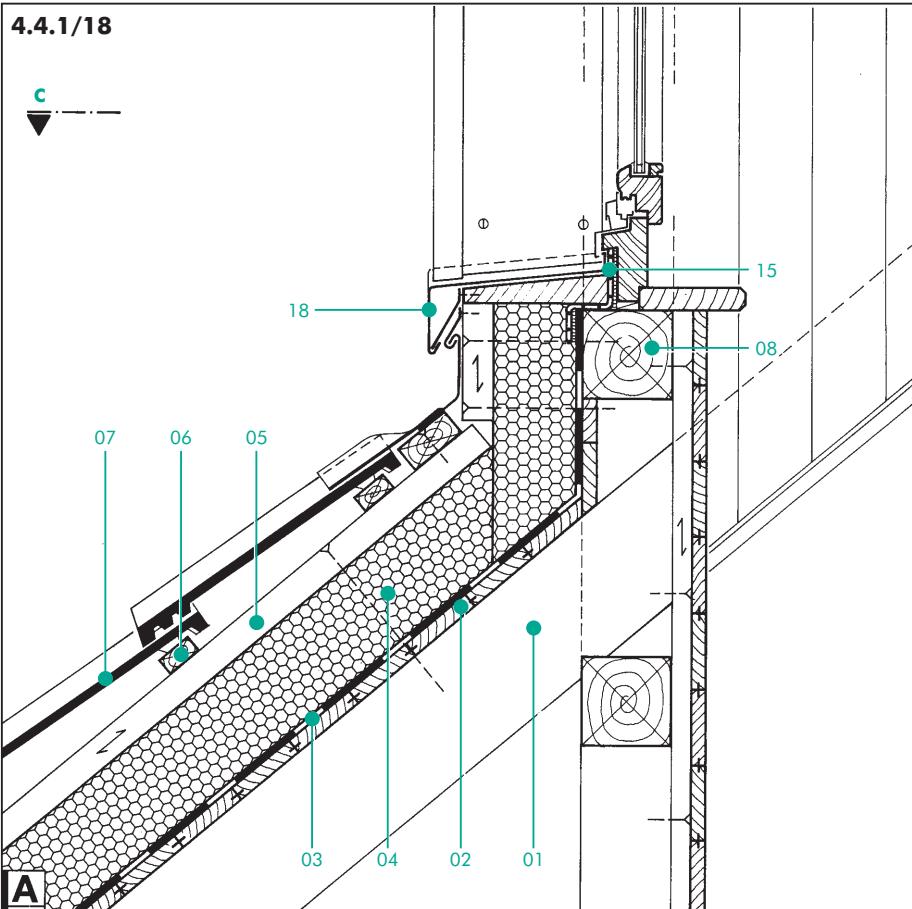


### Okno dachowe

Pionowy przekrój przez mansardowe okno dachowe został pokazany na rysunkach →□ 4.4.1/17 i →□ 4.4.1/18. Tak jak i w każdym innym miejscu budynku, bardzo ważne jest tu utrzymanie ciągłości warstwy termoizolacyjnej (04), a także zastosowanie takich rozwiązań, które pozwolą uzyskać pełną wiatroszczelność w miejscach połączeń (03), (14) i (15).

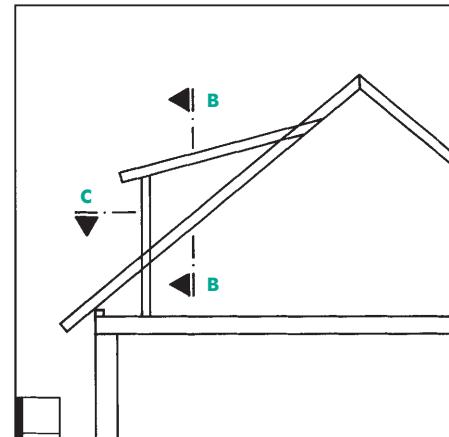
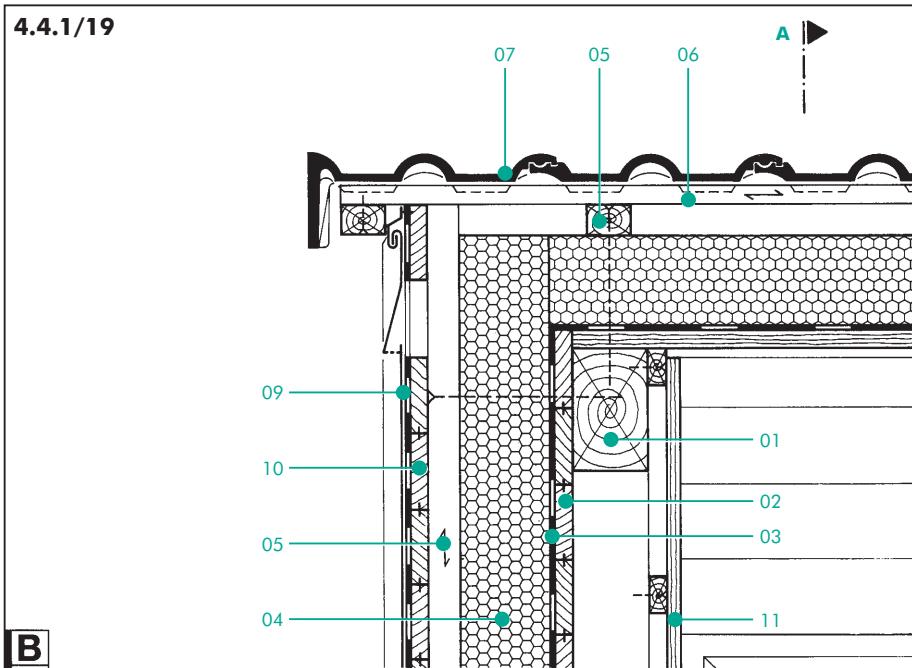
Szczegóły rozwiązań pokazane obok należy rozpatrywać łącznie z rysunkami na stronie 4.4.1 str. 10.

4.4.1/18



- 01 krokwie
- 02 deski sufitowe
- 03 wiatroizolacja
- 04 płyty styropianowe
- 05 łata podkładowa
- 06 łata dachowa
- 07 pokrycie dachu
- 08 belka parapetowa
- 09 belka nadprożowa
- 10 belka nadbita
- 11 druga płaszczyzna krycia
- 12 deska okapowa
- 13 deska maskująca
- 14 elastyczna folia wiatroizolacyjna, klejona, (por. →□ 4.4.1/10)
- 15 folia uszczelniająca dookoła obrzeże okna
- 16 okno
- 17 obróbka blaszana na podkładzie bitumicznym
- 18 parapet

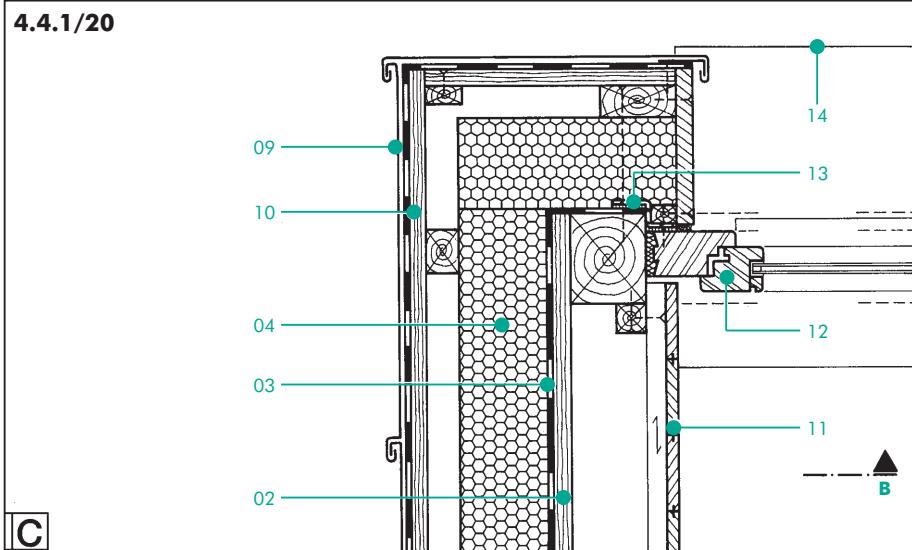
4.4.1/19



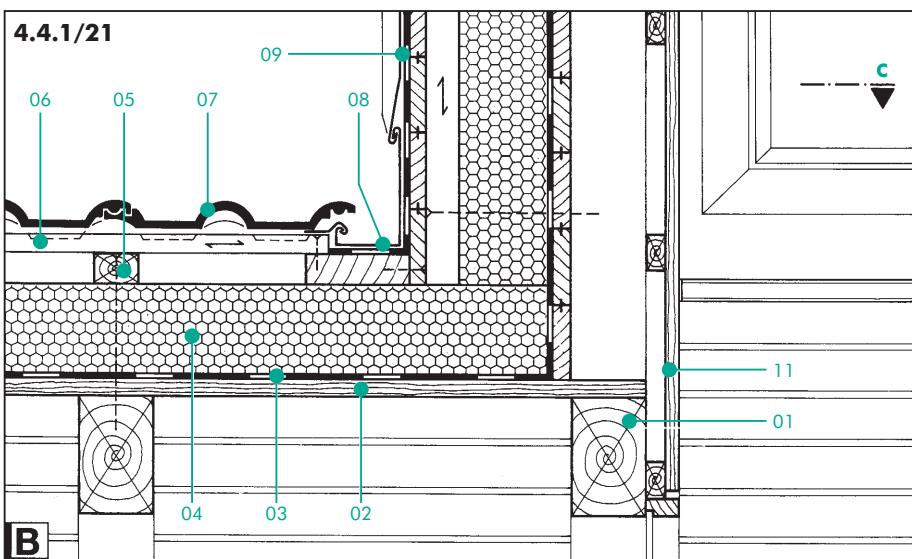
### Boczne ścianki mansardy

Na rysunkach → 4.4.1/19, → 4.4.1/20 i → 4.4.1/21 przedstawiono dodatkowe przekroje ścianek osłaniających okno mansardowe, w uzupełnieniu do rysunków na str. 9 rozdział 4.4.1.

4.4.1/20



4.4.1/21



- 01 krokwie
- 02 deski sufitowe
- 03 wiatroizolacja
- 04 płyty styropianowe
- 05 łata podkładowa
- 06 łata dachowa
- 07 pokrycie dachu
- 08 obróbka rynnowa
- 09 obróbka blaszana na podkładzie bitumicznym
- 10 deskowanie pod (09)
- 11 okładzina wewnętrzna
- 12 okno
- 13 folia uszczelniająca dookoła obrzeże okna
- 14 parapet okienny, krawędź czołowa

# 4.4.1

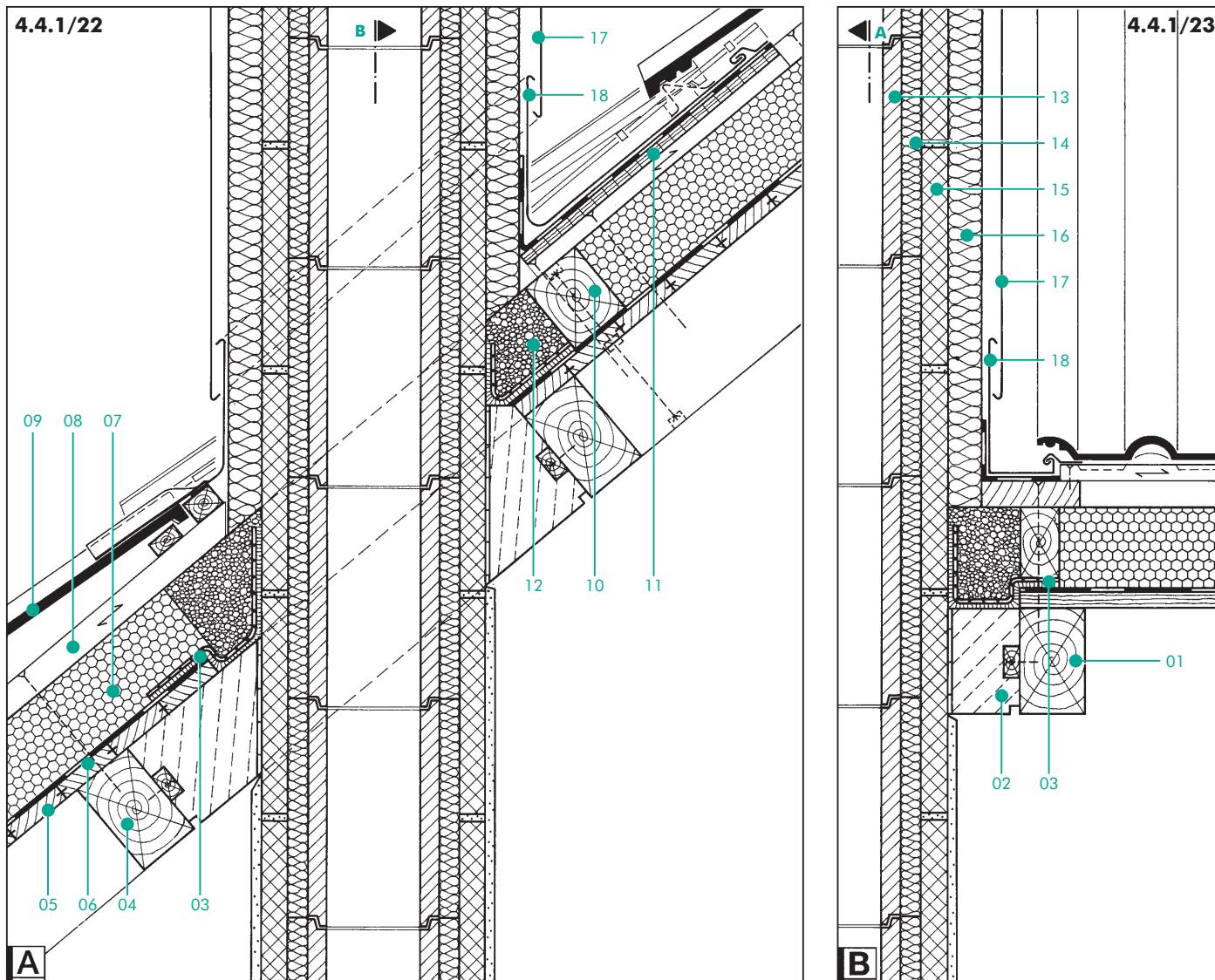
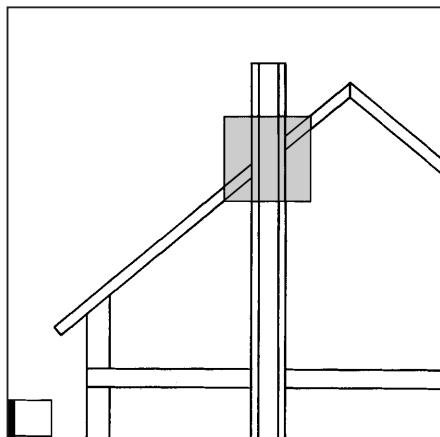
## Płyty styropianowe na deskowaniu

strona 11

### Obróbka połączenia dachu z kominem

Uzyskanie pełnej szczelności dachu w miejscu, w którym komin przebija połacie dachową, stwarza zwykle wiele problemów. Tak jest również i w przypadku dachu izolowanego przy użyciu płyt styropianowych.

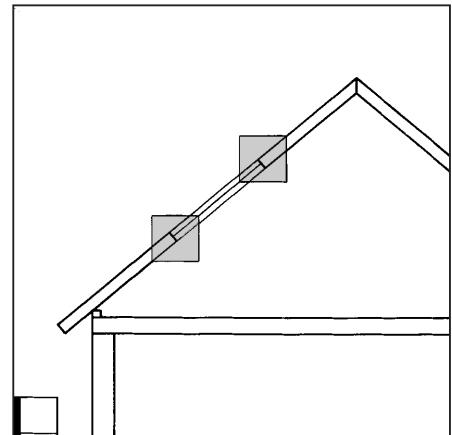
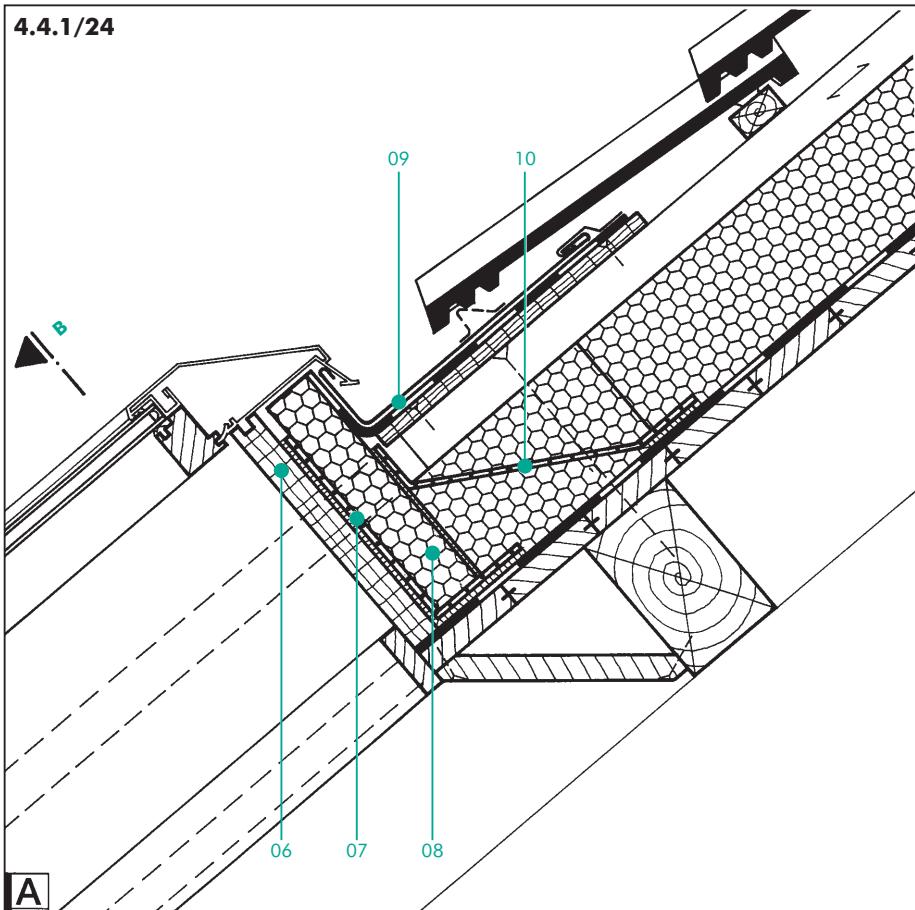
Na rysunkach → 4.4.1/22 i → 4.4.1/23 pokazano jeden ze sposobów rozwiązywania połączeń warstw izolacyjnych w obszarze stromego dachu. Ma on zapewnić jednocześnie właściwą ochronęogniową, uniknięcie mostków termicznych i wiatroszczelność całej konstrukcji.



- 01 krokwie
- 02 opaska żelbetowa
- 03 elastyczna folia izolacyjna, klejona
- 04 wymian
- 05 deski sufitowe
- 06 wiatroizolacja
- 07 płyty styropianowe
- 08 lata podkładowa
- 09 pokrycie dachu

- 10 wymian przejmujący obciążenia od (07), (08) i (09)
- 11 płyta montażowa dla (18)
- 12 beton izolacyjny na kruszywie perlitym
- 13 szamotowy przewód wewnętrzny komina
- 14 wewnętrzna izolacja komina
- 15 zewnętrzny płaszcz komina
- 16 ew. dodatkowa izolacja termiczna komina
- 17 fartuch blaszany
- 18 obróbka blaszana

4.4.1/24



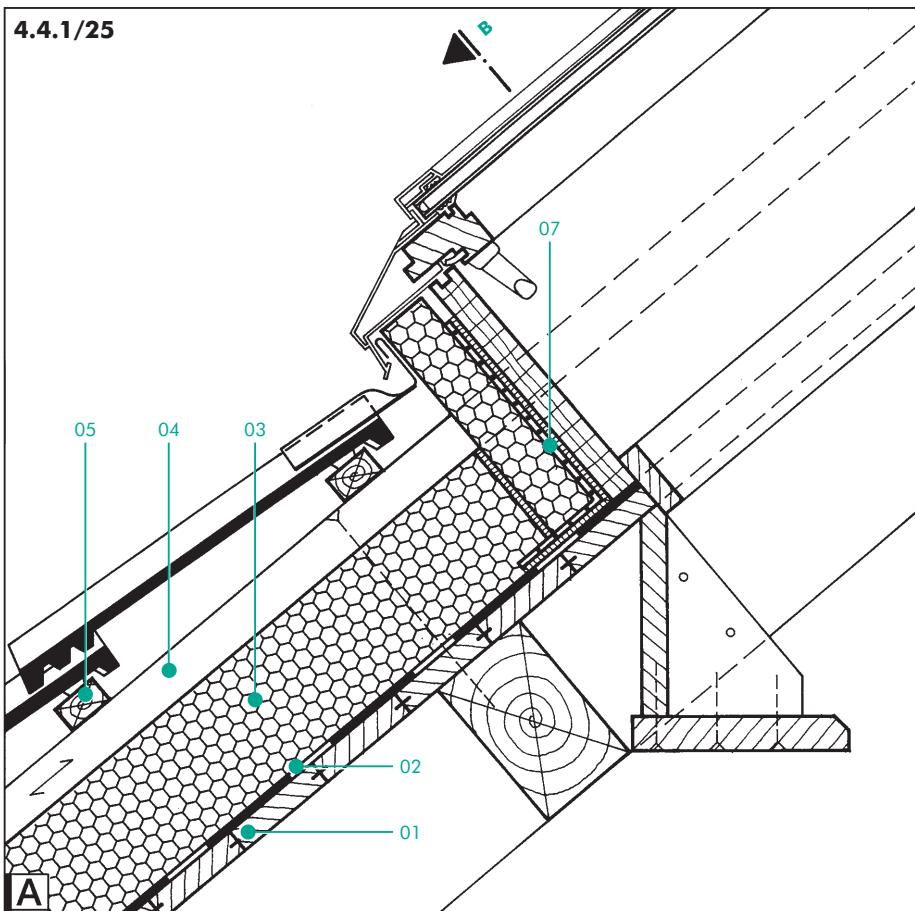
### Okno połaciowe

Ze względu na znaczną grubość wszystkich warstw izolacyjnych dachu (03), wbudowanie okna połaciowego wymaga zastosowania specjalnej ramy opasującej otwór (06), →□ 4.4.1/24 do →□ 4.4.1/26.

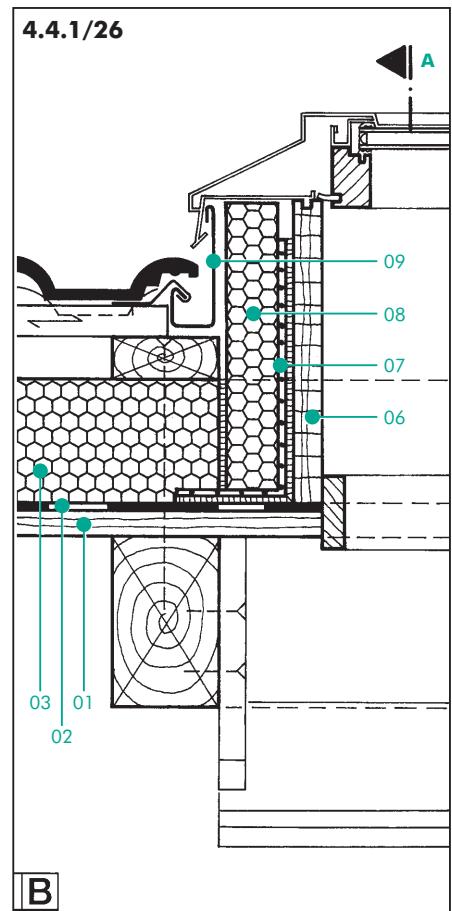
Niezbędne jest tu także przeciwwiatrowe uszczelnienie otworu okiennego (07) oraz dodatkowa izolacja termiczna (08).

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| 01 deski sufitowe        | 02 wiatroizolacja                            |
| 03 płyty styropianowe    | 04 łata podkładowa                           |
| 05 tała dachowa          | 06 rama okna połaciowego                     |
| 06 rama okna połaciowego | 07 folia elastyczna klejona na całym obrzeżu |
| 08 styropian             | 08 styropian                                 |
|                          | 09 obróbka blaszana                          |
|                          | 10 dodatkowa folia uszczelniająca            |

4.4.1/25



4.4.1/26



## 4.4.2

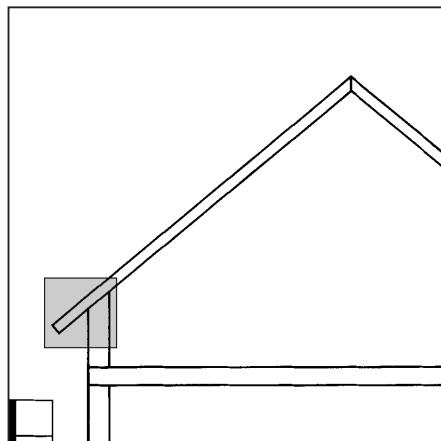
### Płyty styropianowe z dodatkową izolacją termiczną między krokwiami - Wiatroszczelny sufit

strona 1

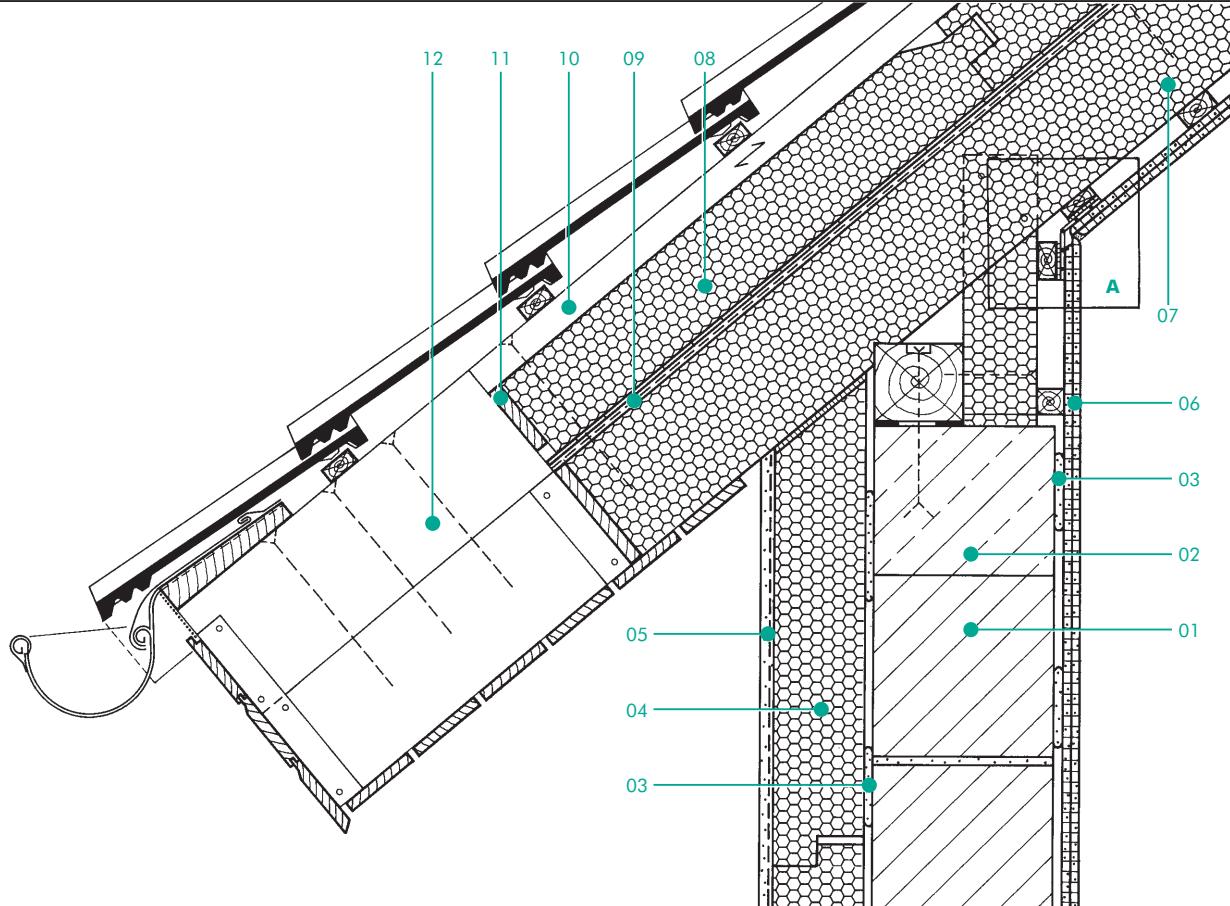
#### Okap dachu przy ścianie izolowanej od zewnętrz

Zasada dwuwarstwowego izolowania stromego dachu została już przedstawiona w rozdziale 4.3.4 str. 1 i 2. Dzięki podwójnej warstwie izolacji cieplnej można uzyskać współczynnik przenikania ciepła na poziomie  $0.16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Na rysunku →□ 4.4.2/1 przedstawiono szczegółowo połączenia dachu i ściany wzdłuż wydłużonego okapu.

Płyty gipsowo-kartono (06), z których wykonano sufit pomieszczenia, mogą służyć jako skuteczna wiatroizolacja tylko wtedy, gdy miejsca ich połączeń (14) nie ulegną spękaniu. Normalnie w miejscach, które narażone są na wzajemne przemieszczenia materiałów, stosuje się przekładki dylatacyjne, umożliwiające „prace” tych elementów. W tym rozwiąaniu zastosowano, dla zapewnienia wiatroszczelności połączenia, elastyczną folię (13), przyklejoną do listew podkładowych i przycisniętą od wierzchu płytami gipsowymi →□ 4.4.2/2.

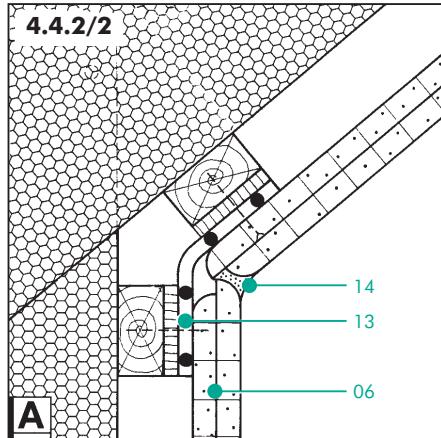


4.4.2/1



- 01 ściana zewnętrzna
- 02 wieniec
- 03 klej
- 04 zewnętrzna izolacja termiczna ściany
- 05 tynk zbrojony siatką
- 06 płyty gipsowo-kartono
- 07 izolacja termiczna między krokwiami
- 08 płyty styropianowe
- 09 piaskowniki stężący i warstwa drugiego pokrycia
- 10 lata podkładowa
- 11 deska maskująca
- 12 belka nadbita
- 13 folia elastyczna, klejona
- 14 szpachlowane połączenie płyt gipsowych

4.4.2/2



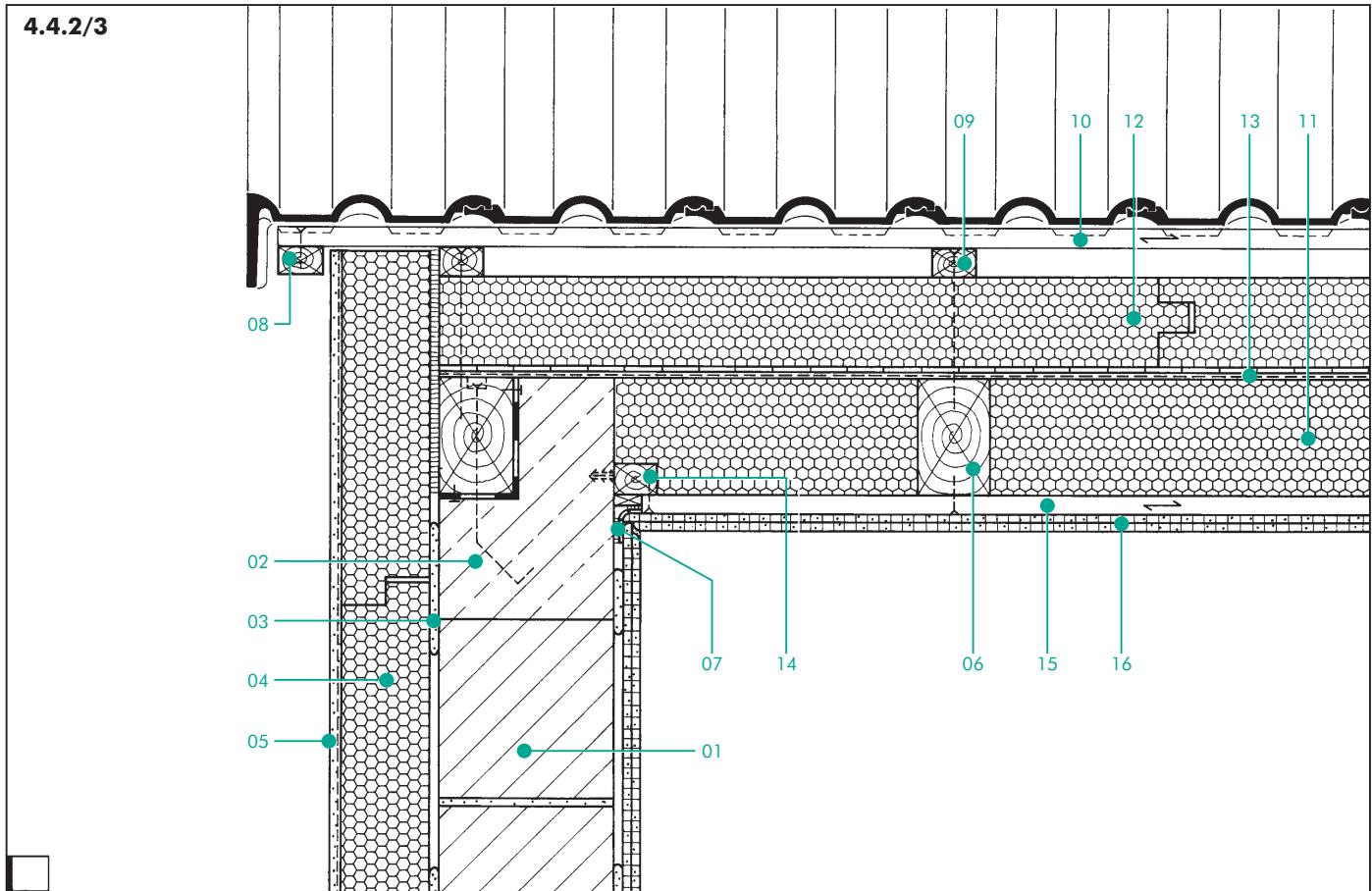
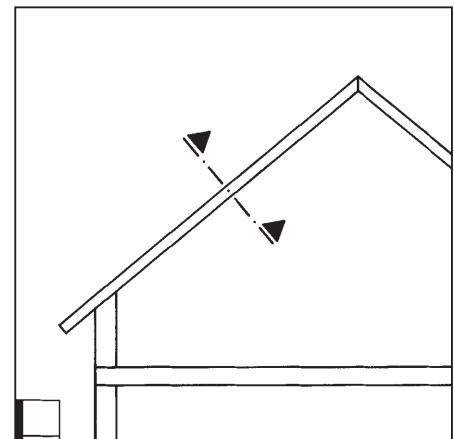
### Połączenie dachu ze ścianą szczytową dwuwarstwową

Sposób bezmostkowego połączenia styropianowej izolacji termicznej dachu (12) i warstwowej ściany szczytowej budynku (04) przedstawiono na rysunku → 4.4.2/3.

Styropianowe płyty izolacyjne (11) w polach między krokwiami należy starannie dopasować, aby uzyskać możliwie ciągłą i szczelną warstwę. Ponieważ w pokazanym rozwiązaniu nie zastosowano wewnętrznej kroki szczytowej, to do wieńca (02) przy mocowano kantówkę montażową (14).

Listwa uszczelniająca szczyt dachu jest odsunięta od okapnika, aby umożliwić odrywanie się bez przeszkód wody od krawędzi pokrycia.

Dla uzyskania pełnej wiatroszczelności tego rozwiązania istotne jest dokładne wykonanie połączeń między elastyczną folią uszczelniającą (07) i płytami gipsowo-kartonowymi (16).



01 ściana nośna

02 wieniec

03 klej

04 styropianowa izolacja ściany warstwowej

05 tynk zbrojony siatką

06 krokiew

07 wiatrozolacjaz folii elastycznej, klejonej

08 listwa szczytowa

09 łata podkładowa

10 łata dachowa

11 Płyty styropianowe między krokwiami

12 płyty styropianowe

13 płaskownik stężący i warstwa drugiego pokrycia

14 kantówka montażowa

15 ruszt z łat dla (16)

16 płyty gipsowo-kartoonowe

## 4.4.2

### Płyty styropianowe z dodatkową izolacją termiczną między krokwiami - Wiatroszczelny sufit

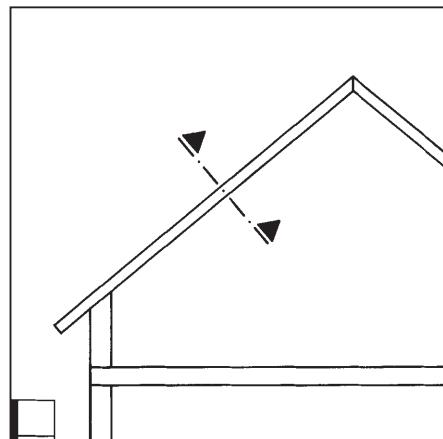
strona 3

#### Połączenie przewieszonego dachu ze ścianą szczytową izolowaną od zewnętrz

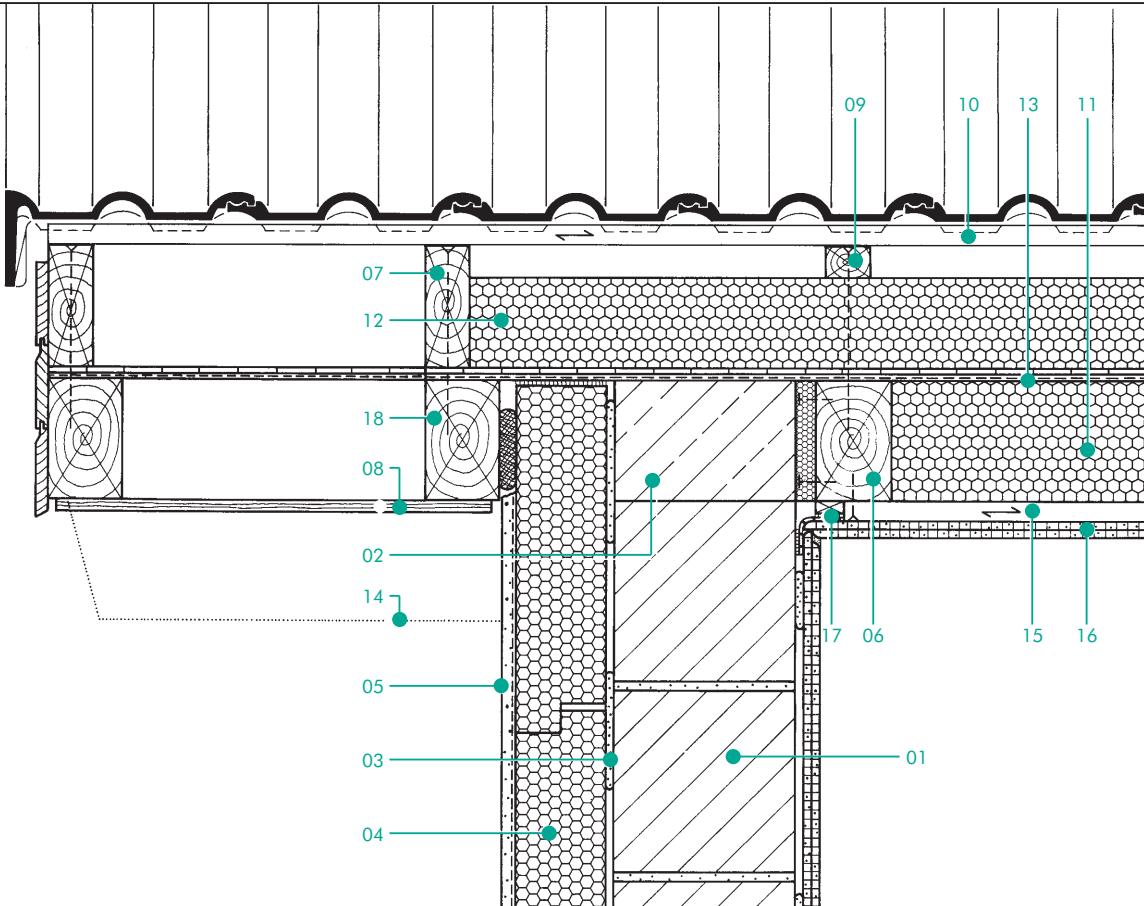
Przewieszona połać dachowa jest, w rozwiążaniu pokazanym na rysunku → 4.4.2/4, oparta konstrukcyjnie na płatwi (14).

Zewnętrzna izolacja termiczna (04) ściany (01) łączy się w ciągły sposób z izolacją termiczną dachu (12), tworząc w ten sposób nieprzerwaną otulinę izolacyjną wnę-

trza budynku. Prawidłowo zamocowane i połączone ze sobą płyty gipsowe tworzą wiatroszczelną warstwę izolacyjną. Utrzymanie ciągłości tej warstwy w narożu sufitu i ściany jest możliwe, dzięki dodatkowej folii elastycznej (17), w szczelną sposób wklejonej w miejscu styku obydwoj płaszczyzn.



4.4.2/4



01 ściana nośna

02 wieniec

03 klej

04 styropianowa izolacja ściany

05 tynk zbrojony siatką

06 krokiew

07 deska osłaniająca

08 podbicie okapu

09 łata podkładowa

10 łata dachowa

11 płyty styropianowe między krokwiami

12 płyty styropianowe

13 płaskownik stężejący i warstwa drugiego pokrycia

14 płatów przewieszona

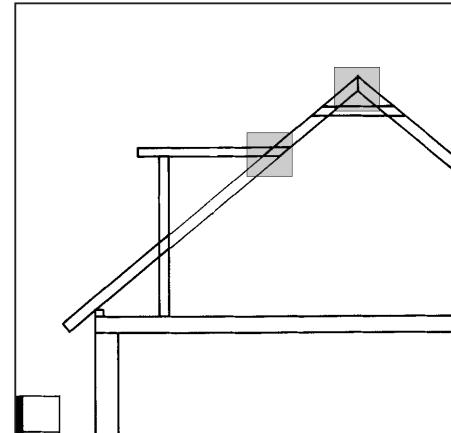
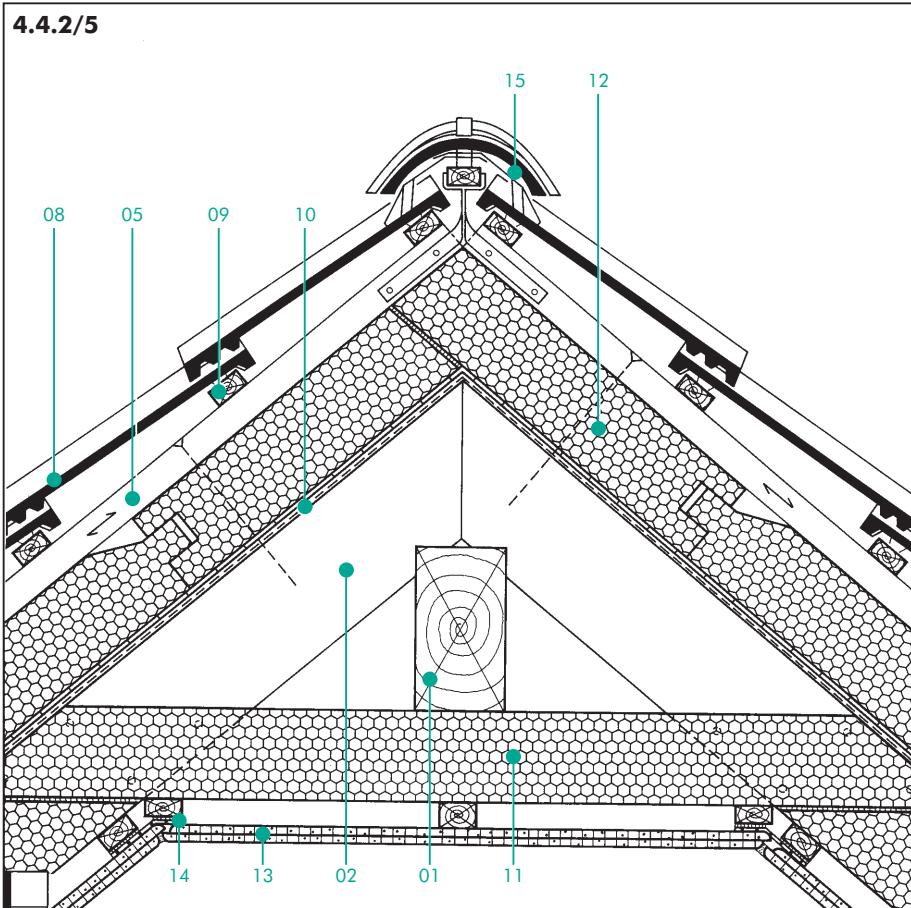
15 ruszt z lat dla (16)

16 płyty gipsowo kartonowe

17 folia elastyczna, klejona

18 krokiew szczytowa zewnętrzna

4.4.2/5



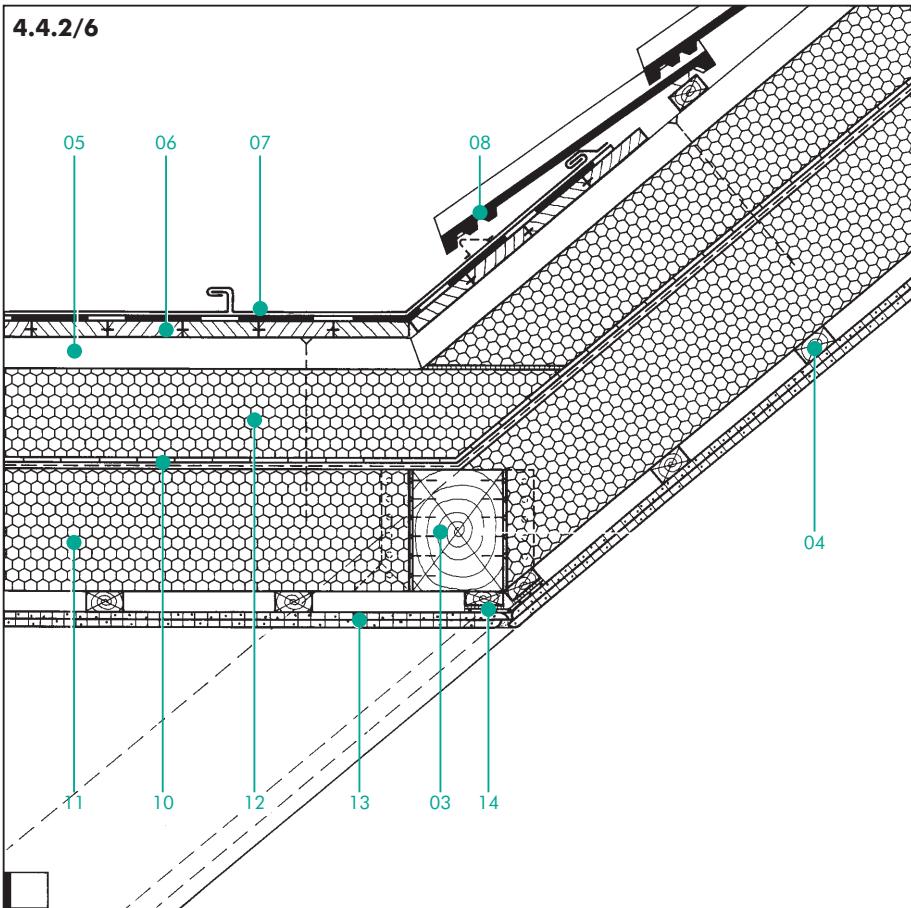
### Kalenica i załamanie dachu

W obszarze kalenicy, izolacja termiczna (11) spomiędzy krokwi jest przepuszczona pod płatwią kalenicową (01) (→□ 4.4.2/5). Izolację i sufit podtrzymyując w tym miejscu drewniane kleszcze przybite do krokwi.

Na rysunku →□ 4.4.2/6 pokazano sposób połączenia dachu pokrytego dachówką i dachu nadokiennego pokrytego blachą. Blaszanego dach osłaniający okno jest podzielony na dwie części, ze spadkami w kierunku bocznych ścianek mansardy (→□ 4.4.2/9).

Szczelne zaizolowanie termiczne miejsca załamania dachu wymaga dużej staranności i uwagi przy docinaniu i dopasowywaniu płyt styropianowych i ich dopasowywaniu.

4.4.2/6



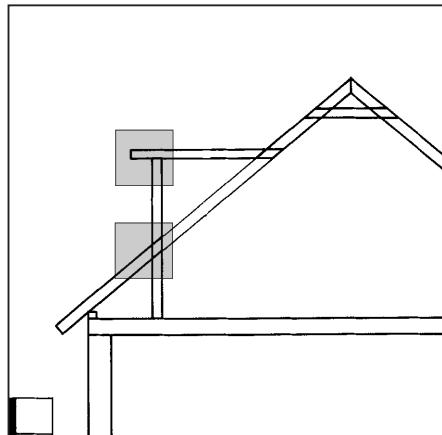
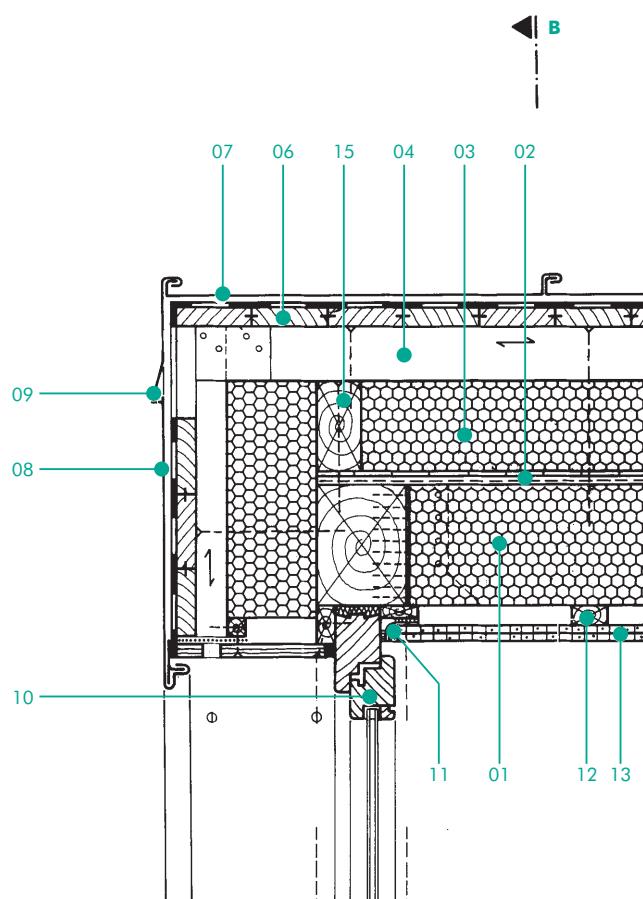
- 01 płatew
- 02 krokiew
- 03 wymian
- 04 ruszt drewniany dla (13)
- 05 łata podkładowa
- 06 deskowanie pod (07)
- 07 blacha na papie bitumicznnej
- 08 pokrycie dachu
- 09 łaty dachowe
- 10 płaskownik stężający i warstwa drugiego pokrycia
- 11 styropianowa izolacja termiczna między krokwiami
- 12 płyty styropianowe
- 13 płyty gipsowo-kartono-wane
- 14 folia elastyczna, klejona
- 15 otwory wentylacyjne w kalenicy

## 4.4.2

### Płyty styropianowe z dodatkową izolacją termiczną między krokwiami - Wiatroszczelny sufit

strona 5

4.4.2/7

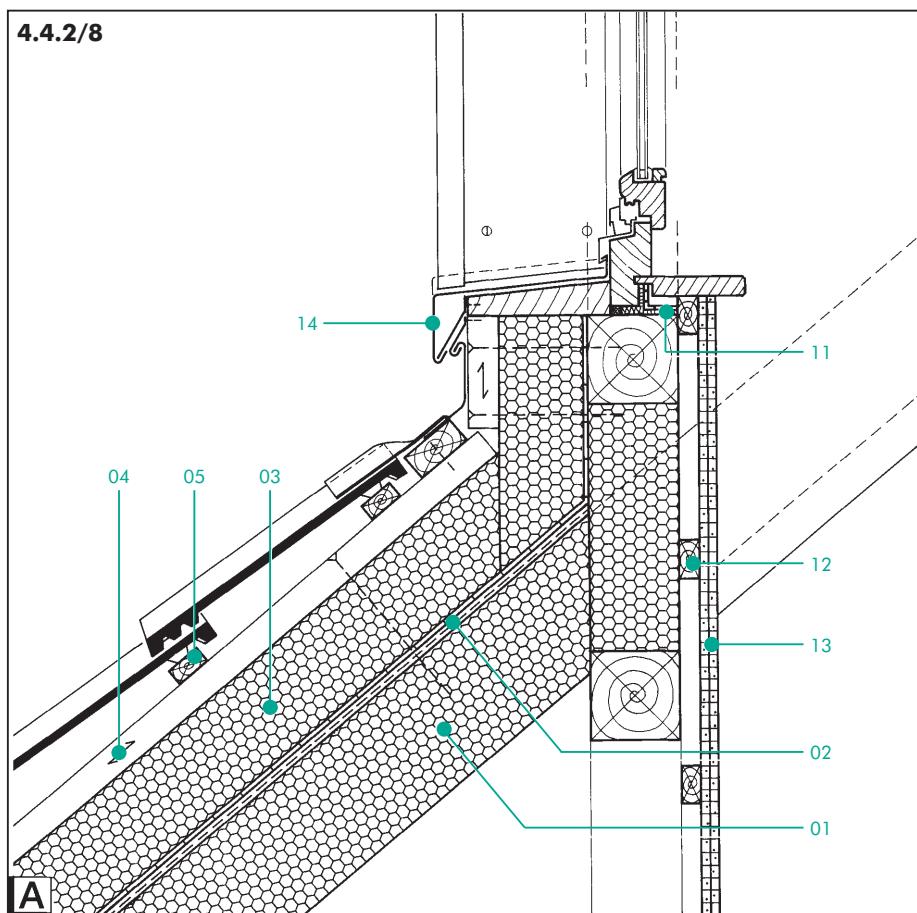


#### Okno dachowe

Na rysunkach →□ 4.4.2/7 i →□ 4.4.2/8 pokazano przekrój pionowy przez mansardowe okno dachowe. Obydwie warstwy izolacji termicznej tego dachu, tzn. izolacja pomiędzy krokwiami (01) i płyty styropianowe (03) są przedłużone również na połaci dachu osiągającego okno.

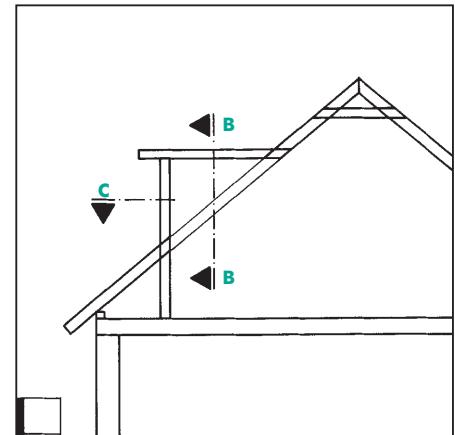
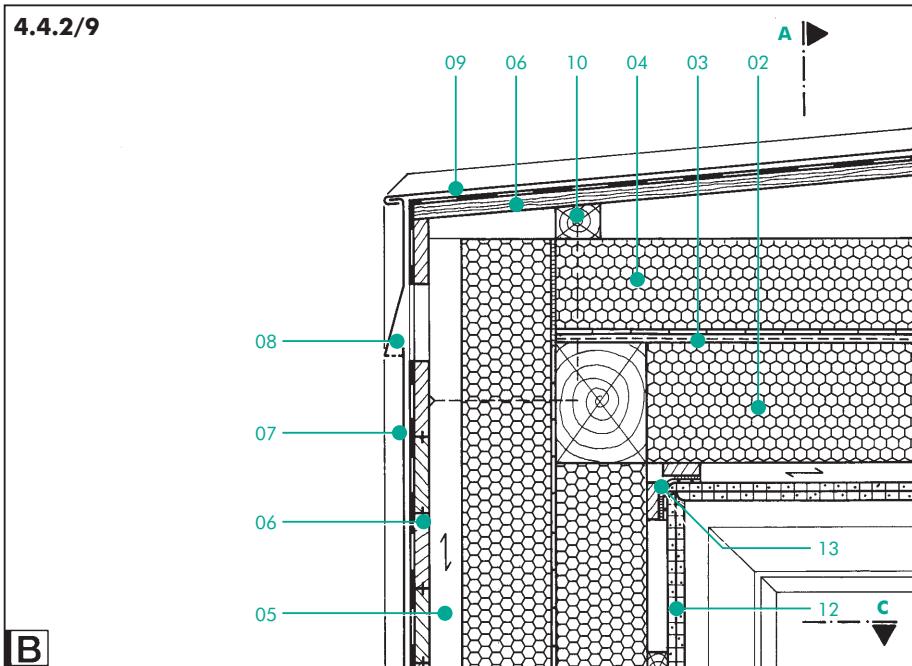
Rysunki należy rozpatrywać łącznie z rysunkami pokazanymi w rozdziale 4.4.2 str.6.

4.4.2/8



- 01 izolacja termiczna między krokwiami
- 02 płaskownik stężący i warstwa drugiego pokrycia
- 03 płyty styropianowe
- 04 łata podkładowa
- 05 łaty dachowe
- 06 deskowanie pod (07)
- 07 blacha na papie bitumicznnej
- 08 fartuch blaszany na papie bitumicznnej
- 09 wylot wentylacyjny
- 10 okno
- 11 folia elastyczna, klejona
- 12 ruszt drewniany pod (13)
- 13 płyty gipsowo-kartono-wane
- 14 parapet z okapniukiem
- 15 profil montażowy

4.4.2/9

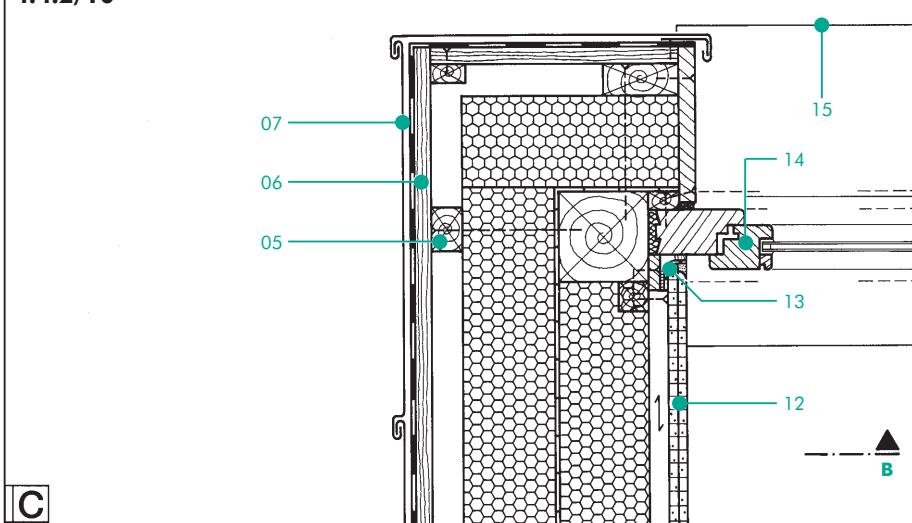


### Okno dachowe - ścianki boczne

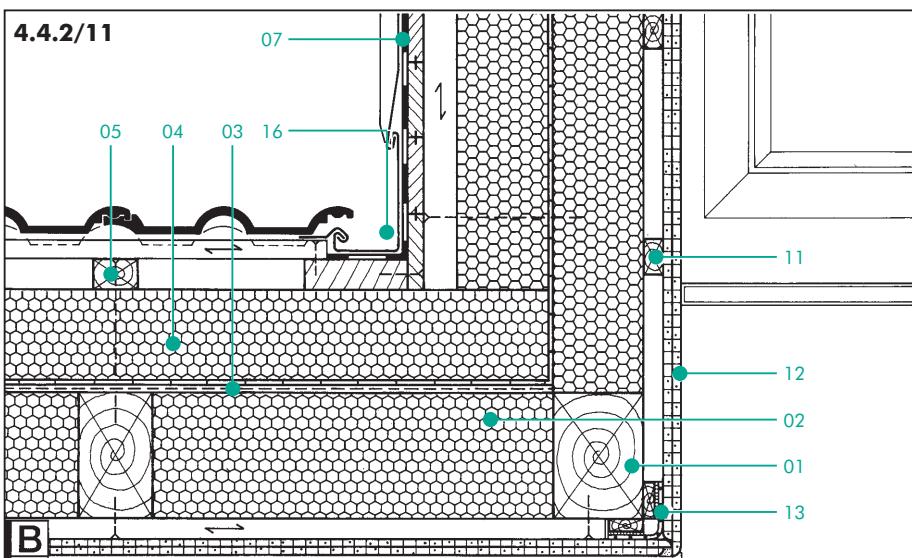
Pionowe przekroje przez ścianki boczne okna dachowego przedstawiono na rysunkach → 4.4.2/9 i → 4.4.2/11, natomiast na rysunku → 4.4.2/10 przedstawiono przekrój poziomy C.

Styropianowe płyty dachowe (04) szczeleńnie osłaniają konstrukcję nośną. Pomiędzy elementy konstrukcyjne wpasowane zostały płyty izolacyjne dodatkowej warstwy izolacji termicznej (02). Blaszane pokrycie dachu (09) na deskowaniu (06) ma spadki na boki.

4.4.2/10



4.4.2/11



- 01 krokiew
- 02 styropianowa izolacja termiczna między krokwiami
- 03 plaskownik stężejący i warstwa drugiego pokrycia
- 04 płyty styropianowe
- 05 łata podkładowa
- 06 deskowanie
- 07 fartuch blaszany na papie bitumicznym
- 08 wylot wentylacyjny
- 09 blacha na papie bitumicznym
- 10 łata wsporcza dla (06)
- 11 ruszt drewniany pod (12)
- 12 płyty gipsowo-kartkowne
- 13 folia elastyczna, klejona
- 14 okno
- 15 krawędź przednia parapetu
- 16 obróbka blaszana

## 4.4.2

## Płyty styropianowe z dodatkową izolacją termiczną między krokwiami - Wiatroszczelny sufit

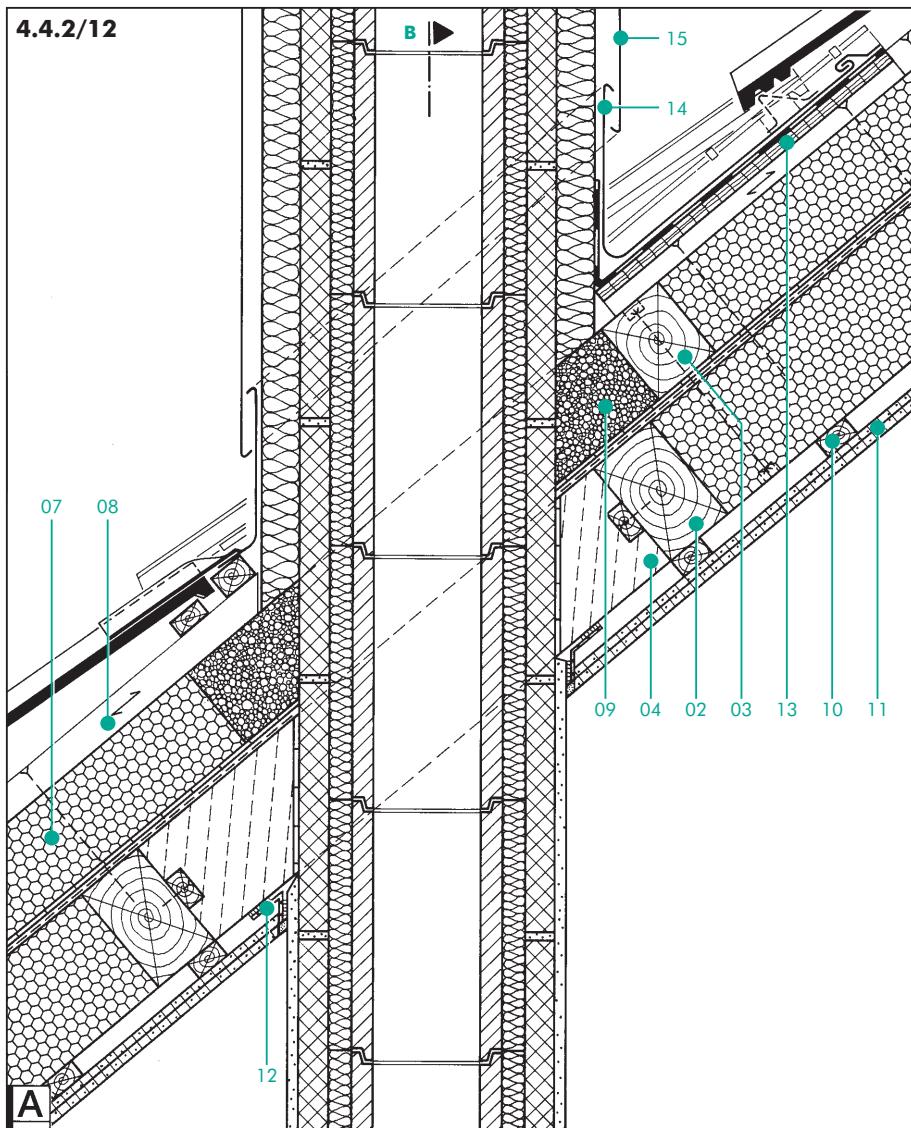
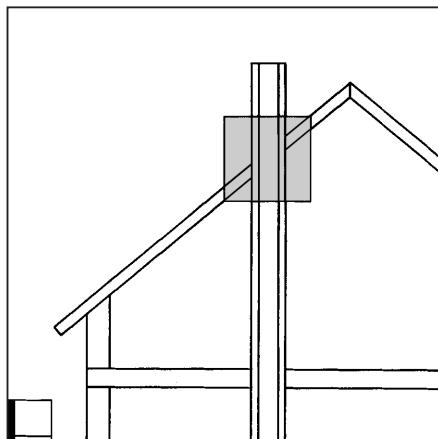
strona 7

### Obróbka połączenia dachu z kominem

Na rysunkach → □ 4.4.2/12 i → □ 4.4.2/13 pokazano szczegóły związane z przebiением dachowych warstw izolacyjnych przez komin spalinowy.

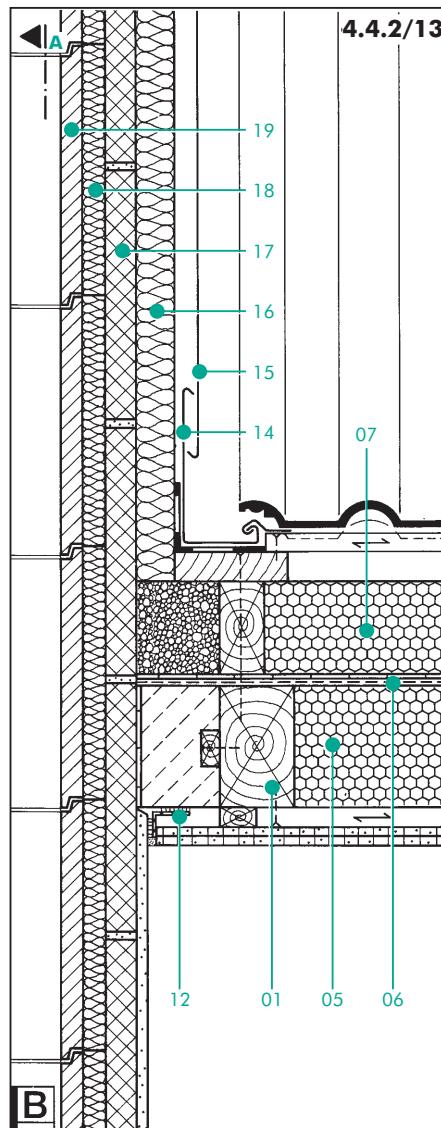
Na opasce żelbetowej komina (04), wyłanej pomiędzy wymianami (02) i płaszczem komina (17), zastosowano niepalny materiał (09), który pozwala uzyskać dobrą izolacyjność termiczną tej części dachu.

Szczelność na działanie wiatru uzyskuje się tu m.in. dzięki zastosowaniu elastycznej folii (12), wklejonej pomiędzy sztywny materiał płaszcza komina (17) i płyt sufitowych (11). Folia bez uszkodzeń przenosi wzajemne przemieszczenia obydwoj pionowych powierzchni.



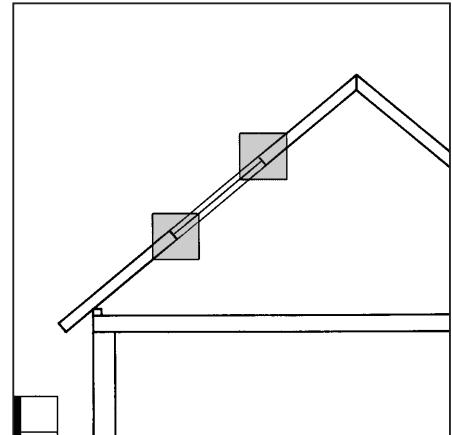
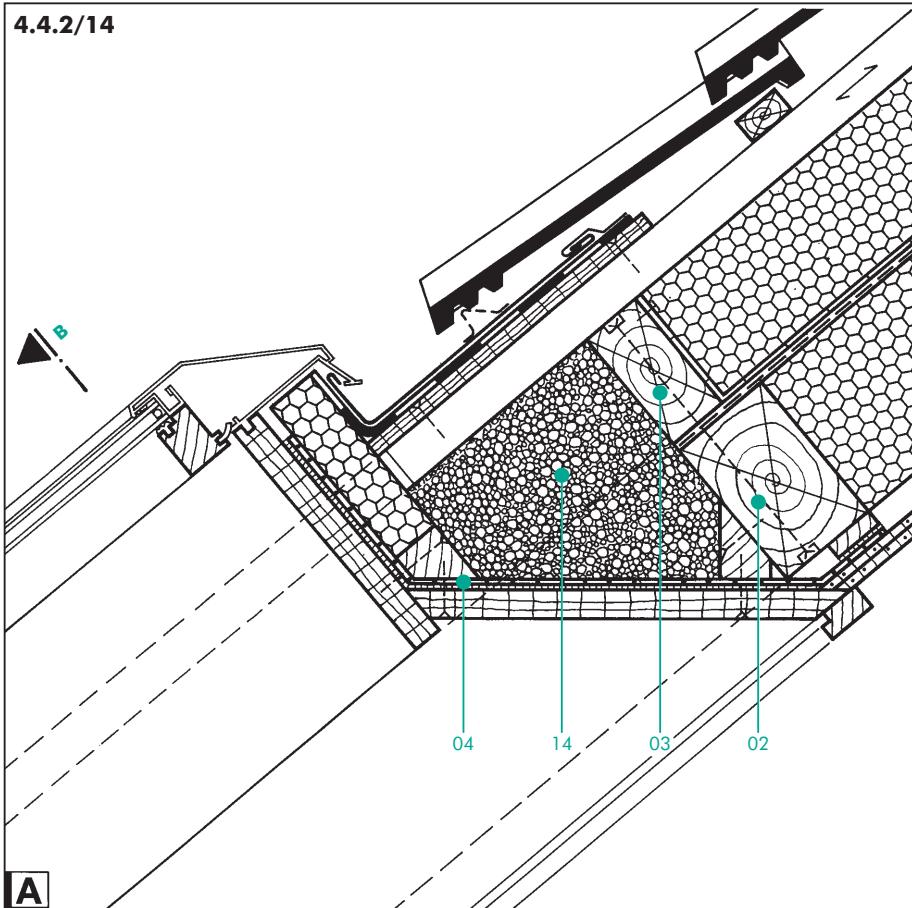
- 01 krokwie
- 02 wymian
- 03 wymian przejmujący obciążenia od (07), (08) i pokrycia dachowego
- 04 opaska żelbetowa
- 05 styropianowa izolacja termiczna między krokwiami
- 06 płaskownik stężający i warstwa drugiego pokrycia

- 07 płyty styropianowe
- 08 lata podkładowa
- 09 beton porowaty na kruszywie perlitowym
- 10 ruszt drewniany dla (11)
- 11 płyty gipsowa-kartono
- 12 elastyczna folia izolacyjna, klejona
- 13 płyta montażowa dla (14)
- 14 obróbka blaszana
- 15 fartuch blaszany



- 16 ew. dodatkowa izolacja termiczna komina
- 17 zewnętrzny płaszcz komina
- 18 wewnętrzna izolacja komina
- 19 szamotowy przewód wewnętrzny komina

4.4.2/14

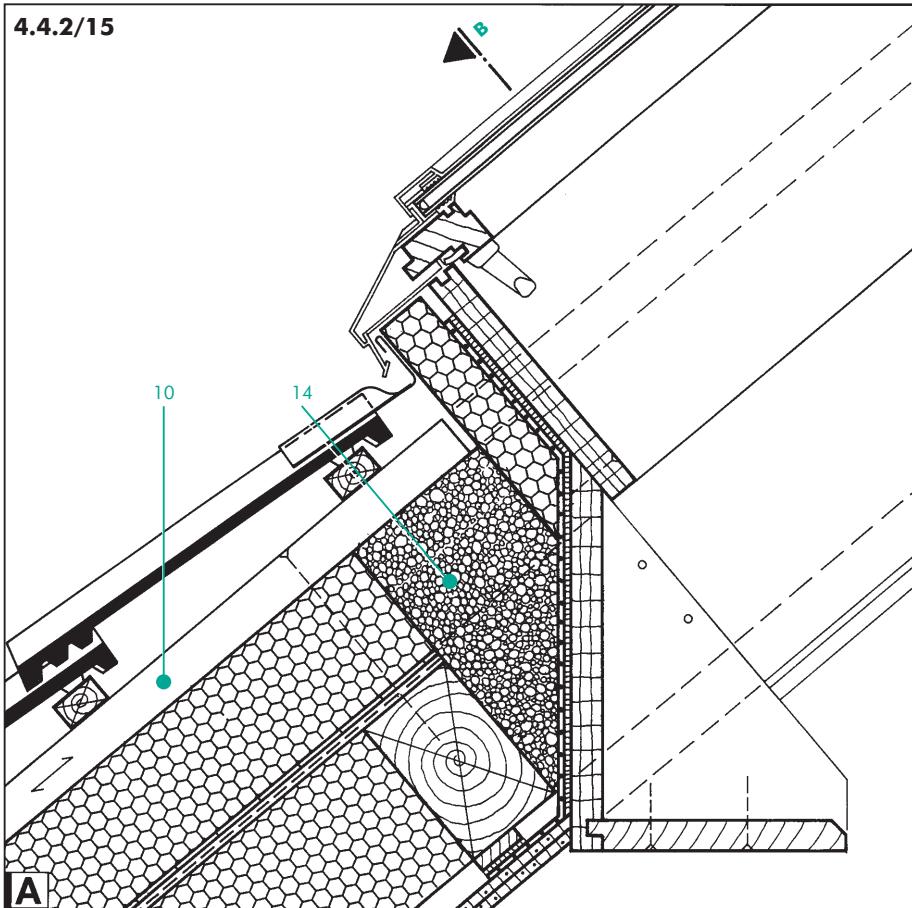


### Okno połaciowe

Sposób wbudowania w dach z podwójną warstwą izolacji termicznej okna połaciowego przedstawiono na rysunkach →□ 4.4.2/14 do →□ 4.4.2/16. Elastyczna folia wiatroizolacyjna (04), biegąca wokół ramy okiennej (11) powinna być w ciągły sposób sklejona z brzegiem sufitowych płyt g-k (09).

01 krokiew	02 wymian
03 wymian przejmujący obciążenia od (05), (06)	
i pokrycia dachowego	
04 elastyczna folia izolacyjna, klejona na obrzeżach	
05 płyty styropianowe	
06 płaskownik stężąjący i warstwa drugiego pokrycia	
07 styropianowa izolacja termiczna między krokwiami	
08 ruszt drewniany dla (09)	
09 płyty gipsowo-kartonne 10 lata podkładowa	
11 rama okienna	12 styropian
13 obróbka blaszana	14 piórka montażowa

4.4.2/15



4.4.2/16

