



## Materiały dydaktyczne

# FIZYKA BUDOWLI

### *Spis treści:*

- 1. Wprowadzenie do fizyki budowli. Transport ciepła w materiałach budowlanych.*
- 2. Wilgotność materiału porowatego. Przemiany fazowe i migracja wilgoci w materiałach. Złożone przenoszenie ciepła i wilgoci. Stany wilgotnościowe przegród. Ochrona budynków przed wilgocią.*
- 3. Podstawowe pojęcia akustyki budowlanej. Izolacyjność akustyczna przegród budowlanych.*
- 4. Oświetlenie pomieszczeń.*
- 5. Ochrona przeciwpożarowa budynków*
- 6. Właściwości cieplno – fizyczne materiałów budowlanych. Projektowanie izolacji cieplnych. Materiały do izolacji cieplnych pochodzące z recyklingu. Mostki cieplne.*
- 7. Wymiana ciepła w przegrodach budowlanych, metoda obliczania współczynników przenikania ciepła U przez przegrody nieprzezroczyste. Aktualne wymagania oraz tendencje w normalizacji ochrony cieplnej budynków w Polsce. Obliczanie strat ciepła przez mostki cieplne.*
- 8. Wymagania prawne w projektowaniu budynków energooszczędnych. Rozwiązania materiałowe w przegrodach.*
- 9. Pozyskiwanie energii w budynkach energooszczędnych i pasywnych. Odnawialne źródła energii w budynkach mieszkalnych.*
- 10. Budynki zeroenergetyczne. Ślad węglowy.*
- 11. Bilans cieplny budynków. Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło budynku. Rozkład temperatury w przegrodzie zewnętrznej.*
- 12. Rozkład temperatury w przegrodzie zewnętrznej. Zasady projektowania przegród pod względem wilgotnościowym. Sprawdzenie możliwości wystąpienia kondensacji pary wodnej w przegrodzie. Równowagowy współczynnik dyfuzji.*

**Opracowanie: dr inż.. Marta Mazewska**

Łomża, 30.11.2024



## 1. Wprowadzenie do fizyki budowli. Transport ciepła w materiałach budowlanych.

Fizyka budowli jest młodą dziedziną, która w Polsce zaczęła się intensywnie rozwijać w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku. Pierwsze badania prowadzone w ramach fizyki budowli dotyczyły zagadnień cieplno-wilgotnościowych przegród z elementów prefabrykowanych w budynkach wielorodzinnych z „wielkiej płyty”.

Obecnie fizyka budowli jest dziedziną zajmującą się wieloma zagadnieniami (m.in.):

- wymianą ciepła i wilgoci w materiałach i przegrodach o złożonej strukturze,
- akustyką budowlaną,
- światłem w pomieszczeniach,
- ochroną przeciwpożarową,
- ochroną konstrukcji przed korozją,
- ochroną przeciwwilgociową konstrukcji.

Analizując zagadnienia związane z fizyką budowli, należy zacząć od właściwości materiałów budowlanych, z których wykonuje się przegrody budowlane.

Materiały budowlane zaliczane są w większości do materiałów porowatych. Są to więc takie ciała stałe, które zawierają dużą ilość wolnych przestrzeni. Porowatość efektywna (stosunek objętości porów otwartych w danym obszarze do objętości tego obszaru) jest miarą zdolności materiału do wchłaniania wilgoci. Poszczególne pory w materiale mogą się łączyć tworząc tzw. kapilary. Zdolność materiału do zatrzymywania wilgoci związana jest z wielkością porów.

Należy zauważyć, że dwa różne materiały o takiej samej porowatości efektywnej, mogą zawierać pory o bardzo różnych promieniach, a tym samym mieć zupełnie inną zdolność do przewodzenia i zatrzymywania wilgoci.

W materiale budowlanym mogą występować równolegle transport wilgoci oraz przepływ ciepła. Transport ciepła i wilgoci w materiale (budowlanym) związany jest z:

- równaniem bilansu energii,
- nierównością wzrostu entropii (w skrócie entropia to stosunek ilości ciepła dostarczonego do układu do temperatury bezwzględnej w układzie).

Transport ciepła w materiale, w którym nie występuje przenoszenie wilgoci może obejmować następujące mechanizmy:

- przewodzenie ciepła przez szkielet materiału, wilgotne powietrze i wodę wypełniającą pory,
- lokalne promieniowanie wewnątrz pustych porów,
- lokalne unoszenie ciepła przez wilgotne powietrze,
- lokalne wydzielanie i pochłanianie ciepła przy przemianach fazowych wody w porach.

Podstawowym równaniem opisującym migrację ciepła w materiale, jest równanie na gęstość strumienia ciepła (prawo Fouriera).

$$q = -\lambda \nabla T$$

$q$  – gęstość strumienia ciepła [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],

$\lambda$  – współczynnik przewodzenia ciepła [ $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ],

$T$  – temperatura bezwzględna [K],

$\nabla$  – operator matematyczny [ $1/\text{m}$ ].

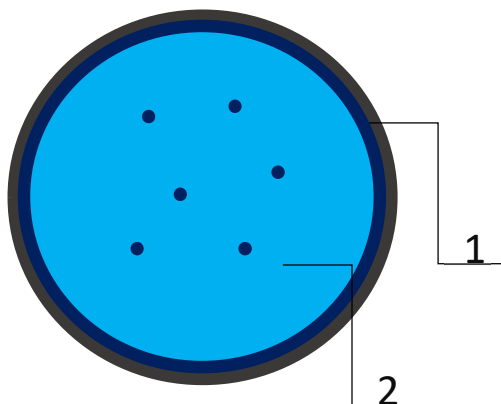
Przenoszenie ciepła w materiale budowlanym odbywa się na trzy sposoby:



- poprzez przewodzenie – czyli wymianę ciepła przez przewodzenie między różnymi stykającymi się elementami jednego lub różnych ciał, polegające na przekazywaniu energii kinetycznej przez cząsteczki z miejsc o temperaturze wyższej do miejsc o temperaturze niższej,
- przez konwekcję – czyli makroskopowy ruch części płynu lub gazu o różnych temperaturach, przy czym przekazywanie energii odbywa się poprzez mieszanie (wyróżnia się konwekcję swobodną i wymuszoną),
- przez promieniowanie – czyli wysyłanie, przez ciało o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego, energii.

## 2. Wilgotność materiału porowatego. Przemiany fazowe i migracja wilgoci w materiałach. Złożone przenoszenie ciepła i wilgoci. Stany wilgotnościowe przegród. Ochrona budynków przed wilgocią.

W przestrzeni szkieletu materiału porowatego występuje woda w postaci związanej (z powierzchnią wewnętrzną porów) oraz wolnej (w postaci płynnej lub gazowej). Wilgoć utrzymuje się w materiale porowatym najlepiej, gdy jej ilość jest nieznaczna. W materiałach porowatych o małych promieniach porów ( $10^{-9}\text{m}$ - $10^{-6}\text{m}$ ), woda jest mocno związana z powierzchnią porów i zmiany wilgotności otoczenia nie mają znacznego wpływu na jej poziom wewnątrz materiału. Im większe pory, tym woda w ich wnętrzu łatwiej się przemieszcza. Ma to także znaczenie w przypadku rozważania zjawiska skurczu i pęcznienia materiałów porowatych.



**Rys. 1** Rodzaje wody występujące w przestrzeniach szkieletu materiału porowatego: 1 - warstwy wody związanej z powierzchnią wewnętrzną porów, 2 - woda wolna w postaci płynnej lub gazowej

*Źródło: opracowanie własne*

Woda znajdująca się w porach materiału porowatego ulega przemianom fazowym: sorpcji, kondensacji i zamarzaniu.

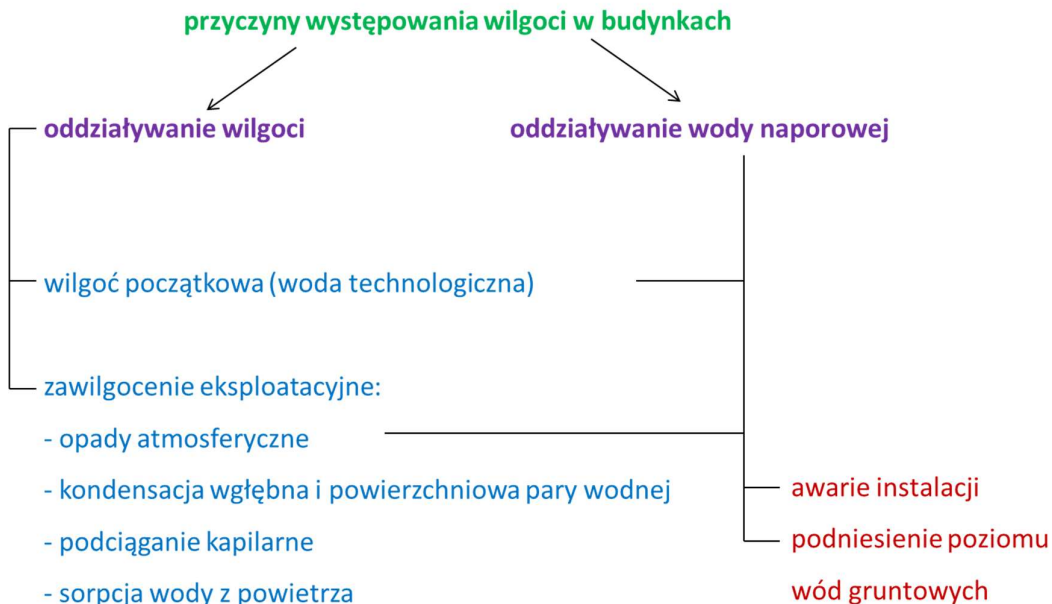
Sorpcja to zjawisko polegające na pochłanianiu przez materiały porowate pary wodnej z powietrza. Adsorpcja polega na wiązaniu cząsteczek pary wodnej na powierzchni wewnętrznej porów i jest wynikiem działania międzycząsteczkowych sił van der Waalsa (kohezji). Absorpcja z „UPSKILLING - wsparcie studentów i pracowników prowadzących kształcenie na wybranych kierunkach studiów w Międzynarodowej Akademii Nauk Stosowanych w Łomży”



kolei polega na przenikaniu cząstek pary wodnej w głąb struktury materiału. Wody sorpcyjne należą do wód związanych z materiałem fizykochemicznie. Wilgoć sorpcyjna różni się znacząco swoimi cechami od wody w stanie ciekłym. Np. nie rozpuszcza soli mineralnych, nie zamarza, nie zwiększa w znacznym stopniu przewodności cieplnej materiału.

Kondensacja kapilarna to proces polegający na przejściu pary wodnej w stan ciekły wewnątrz kapilar materiału porowatego. W przypadku ciała porowatego warstwy wody na powierzchni wewnętrznej porów mają wklęsłą powierzchnię i ciśnienie pary wodnej nad tymi powierzchniami jest obniżone. Dlatego kondensacja pary wodnej w porach zachodzi przy niższej wilgotności względnej powietrza w ich wnętrzu niż wokół materiału. Proces kondensacji kapilarnej nie ma tak dużego znaczenia w przypadku rozważania wilgotności przegród budowlanych, jak sorpcja. Przyjmuje się, że wilgotność eksploatacyjna to wilgotność materiału w temperaturze 230C przy wilgotności względnej powietrza wynoszącej 80%.

Zamrażanie wody to przejście wody ze stanu ciekłego w stały. Powoduje zwiększenie jej objętości o ok. 9%. Temperatura zamrażania wody w porach jest znacznie niższa niż wody wokół i zależy od wielkości występujących sił powierzchniowych czy też od zawartości soli mineralnych. Znaczący wpływ na skutki działania mrozu ma wilgotność materiału. Wiadomo, że wzrasta ona wraz ze wzrostem wilgotności względnej powietrza. Jeżeli więc materiał porowaty znajduje się w otoczeniu o wysokiej wilgotności względnej, to również jego wilgotność wzrasta. Zwiększa się udział wody słabo związanej z powierzchnią porów i zamrażanie następuje przy nieznacznym spadku temperatury poniżej 0°C. Wysuszenie materiału może znacząco wpłynąć na zmniejszenie negatywnych skutków oddziaływania mrozu.



**Rys. 2** Przyczyny występowania wilgoci w budynku.

*Źródło: opracowanie własne*

Na przemieszczanie się wody w materiale ma wpływ temperatura, ilość warstw w przegrodzie, a także fizyczne właściwości materiałów, z których przegroda została wykonana.



Źródła wilgoci i wody w budynku mogą być różne, począwszy od mokrych procesów technologicznych, a kończąc np. na awariach instalacji w trakcie użytkowania. Wilgoć początkowa wynika z „mokrych” procesy technologicznych. Mają one miejsce zarówno przy produkcji materiałów, jak też podczas ich wbudowywania. Wpływa na to krótki czas między wyprodukowaniem a wbudowaniem (np. lekkie betony komórkowe) materiału, dodatkowe użycie materiałów wilgotnych jak zaprawy tynkarskie itp., wykorzystanie wody w procesach technologicznych na budowie (np. do pielęgnacji betonu), szybkie przekazywanie budynków do użytkowania. Okres wysychania ścian z wilgoci początkowej trwa od roku (dla ceramiki czerwonej) do 2-3 lat dla betonów komórkowych. Okres całkowitego wysychania ścian wynosi: do 2 lat dla ścian ocieplonych wełną, do 3 lat dla ścian nieocieplonych, do 4 lat dla ścian ocieplonych styropianem. Zawilgocenia eksploatacyjne wynikają m.in. z opadów atmosferycznych. Pod wpływem wiatru wody opadowe uderzają w przegrodę pod pewnym kątem i mogą powodować jej zawilgocenie. Zależy to w głównej mierze od możliwości podciągania kapilarnego wody przez materiał. Największy wpływ na zawilgocenie przegród mają małe długotrwałe opady przy bardzo wysokiej wilgotności względnej powietrza. Podciąganie kapilarne to zjawisko polegające na przemieszczaniu się wody w kapilarach materiału, który ma bezpośredni kontakt ze źródłem zawilgocenia. Jest wynikiem działania napięcia powierzchniowego wody i sił przyczepności wody do ścianek połączonych porów. Najczęściej jest skutkiem niewłaściwego wykonania, zniszczenia lub braku izolacji poziomej, np. oddzielającej fundament od ściany. Przy zbyt dużej wilgotności powietrza wewnątrz pomieszczeń lub z uwagi na występowanie mostków cieplnych, na powierzchni przegrody może wystąpić zjawisko kondensacji pary wodnej. Skroplenie pary wodnej następuje na powierzchni przegrody o temperaturze niższej niż otoczenie (przy osiągnięciu przez powierzchnię temperatury punktu rosy).

Nadmierne zawilgocenie budynków i przegród może powodować wiele niekorzystnych skutków, takich jak: korozja biologiczna, fizyczna i mechaniczna materiałów, pogorszenie właściwości wytrzymałościowych oraz cieplnych materiałów, pogorszenie warunków higieniczno – sanitarnych pomieszczeń. Korozja wynika głównie z oddziaływania mrozu oraz nagromadzenia soli pochodzących np. z wód podciąganych kapilarnie z gruntu, wprowadzonych podczas produkcji, dostarczonych z wodami opadowymi, wytwarzania przez mikroorganizmy, czy wydzielających się z samych materiałów budowlanych.

### **3. Podstawowe pojęcia akustyki budowlanej. Izolacyjność akustyczna przegród budowlanych.**

Dźwięk jest zjawiskiem falowym wywołanym drganiami dowolnego ośrodka sprężystego (powietrza, cieczy czy też ciała stałego). Najczęściej stosowanym parametrem do oceny dźwięku jest jego poziom natężenia. Pomiarów natężenia dźwięku dokonuje się przy pomocy urządzeń zawierających mikrofony. Posiadają one liniową charakterystykę dźwięku w całym paśmie. Ucho ludzkie jest najbardziej czułe w zakresie częstotliwości 1-3kHz. Aby uzyskane wyniki pomiarowe można było odnieść do odbioru ucha, wprowadzono krzywe korekcyjne A,B,C i D. Krzywa A służy do korygowania wartości fali akustycznej dla parametrów słyszalności dźwięku ucha ludzkiego. Krzywa C stosowana jest dla hałasów niskiej częstotliwości. Krzywa B obejmuje dźwięki w zakresie (dB(C) - dB(A)). Krzywa D służy do monitorowania hałasów samolotowych.



**Rys. 3** Sposoby powstawania fal akustycznych.

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 4** Rodzaje fal dźwiękowych.

Źródło: opracowanie własne

Ze względu na kierunek rozchodzenia się fali dźwiękowej, można wyróżnić fale podłużne i poprzeczne. Przy powstawaniu fali podłużnej, kierunek drgań cząsteczek zgodny jest z kierunkiem rozprzestrzeniania się fali dźwiękowej, natomiast przy powstawaniu fali poprzecznej - prostopadły do kierunku rozprzestrzeniania się fali dźwiękowej. Fale podłużne rozprzestrzeniają się w





ośrodkach gazowych i cieczech. W ośrodkach stałych mogą rozprzestrzeniać się zarówno fale podłużne i poprzeczne.

Wśród charakterystycznych wielkości fal dźwiękowych, wyróżnić można częstotliwość fali dźwiękowej  $f$  (to liczba okresów drgań w ciągu 1 sekundy), długość fali  $\lambda$  (odległość, którą pokonuje fala akustyczna w czasie jednego okresu) i prędkość rozchodzenia się fali ( $c$ , która zależy od ośrodka i rodzaju fali). Chociaż prędkość dźwięku w powietrzu zależy od wielu czynników, zakłada się w obliczeniach wartości 340-345 m/s. Związek między tymi parametrami pokazuje poniższy wzór.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{T} [\text{Hz}]$$

$f$  – częstotliwość dźwięku [Hz],

$c$  – prędkość dźwięku [m/s],

$T$  – okres drgań [s],

$\lambda$  – długość fali [m].

Rozprzestrzeniająca się w ośrodku fala dźwiękowa przy kontakcie z innym ośrodkiem ulega częściowemu odbiciu i pochłonięciu przez ten ośrodek. Pochłonięta część fali ulega najczęściej załamaniu ze względu na inne własności ośrodka, w który wnika.

Pogłos to zjawisko utrzymywania się dźwięku w pomieszczeniu po wyłączeniu źródła dźwięku. Czas pogłosu charakteryzuje zjawisko zanikania dźwięku w pomieszczeniu. W niektórych pomieszczeniach zjawisko pogłosu jest bardzo wyraźne, w innych – znikome. Zależy to od chłonności akustycznej pomieszczenia. Poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu jest wypadkową poziomu ciśnienia fali bezpośredniej i odbitej. W pewnej odległości od źródła dźwięku następuje zrównanie natężenia fali bezpośredniej i fal odbitych. Taką odległość nazywa się odległością graniczną pomieszczenia. Zwiększenie chłonności akustycznej pomieszczenia uzyskuje się poprzez zwiększenie promienia granicznego.

#### 4. Oświetlenie pomieszczeń.

Światło jest rodzajem energii elektromagnetycznej promienistej wysyłanej niewielkimi dawkami zwanymi fotonami. Źródła promieniowania mogą być naturalne (Słońce), jak i sztuczne. Można wyróżnić różne zakresy promieniowania elektromagnetycznego (fale radiowe, mikrofae, promieniowanie jonizujące czy optyczne). Promieniowanie optyczne to promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie długości fal od 0,00000001 m do 0,001m oraz promieniowanie podczerwone widzialne i ultrafioletowe. Promieniowanie widzialne – światło – obejmuje zakres długości fal od 380 do 780 nm.

Podstawowymi pojęciami opisującymi promieniowanie optyczne są: strumień świetlny, światłość, natężenie oświetlenia, luminacja światła. Strumień świetlny jest miarą mocy świetlnej obliczanej jako iloczyn mocy mechanicznej i względnej skuteczności świetlnej światła; jednostką strumienia świetlnego jest lumen (Lm). Światłość to iloraz strumienia świetlnego i kąta bryłowego, w którym ten strumień się rozprzestrzenia; jednostką światłości jest kandela (cd). Natężenie oświetlenia określa gęstość strumienia świetlnego padającego na pewną powierzchnię. Miarą tej wielkości jest stosunek padającego strumienia świetlnego do wielkości powierzchni oświetlonej. Jednostką natężenia oświetlenia jest luks (Lx). 1 luks odpowiada natężeniu oświetlenia na powierzchnię 1m<sup>2</sup>, na którą działa strumień świetlny wielkości 1 lumena. Luminacja światła określa

„UPSKILLING - wsparcie studentów i pracowników prowadzących kształcenie na wybranych kierunkach studiów w Międzynarodowej Akademii Nauk Stosowanych w Łomży”



wrażenia wzrokowe wywierane przez oświetlaną powierzchnię. Jednostką luminacji jest nit (nt), który odpowiada luminacji  $1\text{m}^2$  powierzchni, której światłość w płaszczyźnie do niej prostopadłej wynosi 1 kandela.

Zdolność widzenia przedmiotów zależy od luminacji (jaskrawości) przedmiotu i tła, kontrastu, barwy przedmiotu, wielkości obiektu, położenia względem osi widzenia, ruchu, nierównomierności jaskrawości. Światło naturalne pełni niezwykle ważną funkcję w życiu człowieka: poprawia samopoczucie i daje poczucie łączności z otoczeniem zewnętrznym. Niestety jest zmienne w czasie i zależy od warunków atmosferycznych. W Polsce światło słoneczne oświetla tylko przez 33% roku jako światło kierunkowe. Wnętrza doświetla przez krótki okres i tylko częściowo. Natężenie oświetlenia światłem dziennym zależy od wielkości wycinka nieboskłonu, który to wnętrze oświetla (czyli od wielkości kąta przestrzennego obejmującego ten wycinek). W warunkach określonych dla naszego kraju w obliczeniach uwzględnia się tylko stan nieba pokrytego. W projektowaniu wymagane jest takie usytuowanie budynków, aby zapewnić odpowiednią insolację (nasłonecznienie). W wytycznych urbanistycznych określa się minimalną odległość między budynkami równą  $1,5x$  wysokość wyższego budynku. W przepisach budowlanych określa się minimalny stosunek powierzchni okna do powierzchni podłogi.

Współczynnik oświetlenia dziennego jest sumą trzech składowych: składowej nieboskłonu, która zależy od światła padającego bezpośrednio z nieboskłonu po przejściu przez przeszkony otwór, składowej odbić wewnętrznych, która zależy od ilości światła odbitego od wewnętrznych powierzchni pomieszczenia, składowej odbić zewnętrznych, która zależy od ilości światła odbitego od powierzchni zewnętrznych i przechodzących przez oszkłony otwór. Przy określaniu współczynnika nieboskłonu powinno brać się pod uwagę między innymi przeszkody zewnętrzne.

### Czynniki kształtujące oświetlenie dzienne w pomieszczeniu

#### Zależne od człowieka:

- usytuowanie budynku w terenie,
- położenie i wielkość otworów okiennych,
- odbicie światła od otaczających obiektów,
- geometria i barwa otaczających obiektów.

#### Niezależne od człowieka:

- pora roku i dnia,
- warunki atmosferyczne  
(zachmurzenie, mgła).

**Rys. 5** Czynniki kształtujące oświetlenie dzienne.

Źródło: opracowanie własne

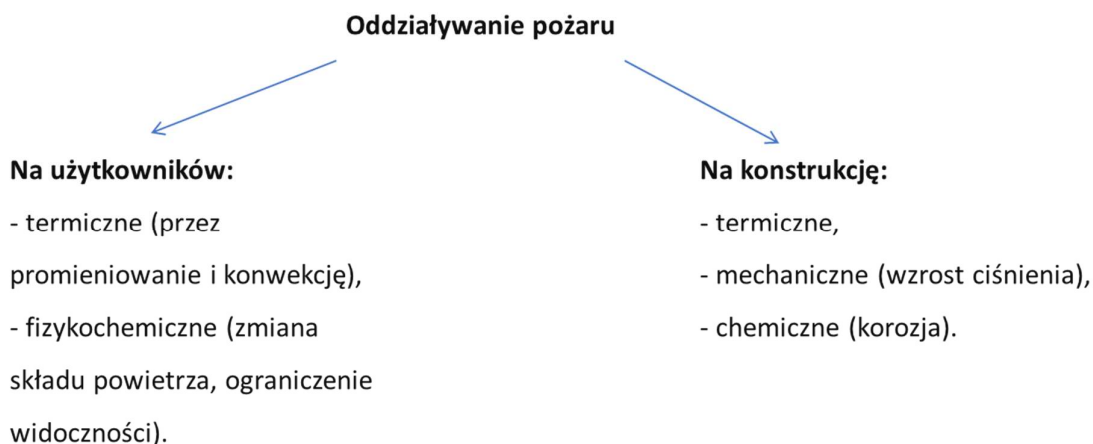
## 5. Ochrona przeciwpożarowa budynków

Pożar to niekontrolowany w czasie rozkład materiałów palnych. Podczas pożaru zachodzi reakcja utleniania, w której powstają znaczne ilości ciepła. Pożar najczęściej spowodowany jest działalnością człowieka i oddziałuje na konstrukcję w sposób pośredni, powodując zmianę





środowiska budynku i otoczenia, m.in. polegającą na zmianie warunków termicznych, ciśnienia, składu chemicznego powietrza, widzialności poprzez zadymienie. Pożar przebiega żywiołowo, a jego skutki dla budynku są trudne do przewidzenia. Zależą od właściwości konstrukcji budynku i jej zdolności do przenoszenia obciążeń w warunkach dużych oddziaływań termicznych.



**Rys. 6** Rodzaje oddziaływań pożaru.

*Źródło: opracowanie własne*

Reakcja na ogień to odpowiedź materiału na działanie ognia w określonych warunkach, tzn. wydzielanie ciepła, dymu, obszar spalania, wydzielanie płonących kropli. Rozróżnia się następujące materiały i wyroby budowlane w związku z ich reakcją na ogień:

- niepalne – produkty pochodzenia nieorganicznego, które mogą zawierać nie więcej niż 1% masy lub objętości materiału organicznego, należą do nich m.in. szkło, beton komórkowy, beton zwykły, kamień naturalny, stal, aluminium itp.,
- palne – w tym: niezapalne – np. materiały drewnopochodne z dodatkiem środków chemicznych zapobiegających spalaniu, trudno zapalne – np. wyroby z drewna liściastego o gęstości większej niż 800 kg/m<sup>3</sup> i grubości min. 12cm i łatwo zapalne.

Materiały palne w pomieszczeniu podzielić można na trzy grupy:

- materiały wyposażenia i materiały składowane, np. meble, książki, substancje chemiczne (np. kleje) w sklepach,
- materiały wystroju, np. zasłony, dywany,
- materiały budowlane, np. izolacje cieplne, okładziny podłogowe, instalacje elektryczne.

Największy udział w rozwoju pożaru – bilansie cieplnym - mają elementy grupy pierwszej. Z kolei elementy z grupy trzeciej mogą mieć znaczny wpływ na rozprzestrzenianie pożaru na inne pomieszczenia budynku.

Według klasyfikacji stosowanej w UE reakcja na ogień określana jest dla dwóch grup wyrobów: materiałów budowlanych z wyjątkiem wykładzin i nawierzchni podłogowych oraz wykładzin i nawierzchni podłogowych. Wyróżnia się klasy wyrobów od F (gdzie nie określa się właściwości w reakcji na ogień) do A2 (wyroby nie powinny mieć znacznego udziału w obciążeniu ogniowym i rozwoju pożaru) i A1 (wyroby nie powinny mieć udziału w żadnej fazie pożaru).



## 6. Właściwości ciepło – fizyczne materiałów budowlanych. Projektowanie izolacji cieplnych. Materiały do izolacji cieplnych pochodzące z recyklingu. Mostki cieplne.

Współczynnik przenikania ciepła przegrody  $U$  jest parametrem opisującym przepływ ciepła przez komponent i zależy w głównej mierze od współczynnika (współczynników) przewodzenia ciepła materiału (materiałów), z których wykonano przegrodę. Na przewodność cieplną materiałów mają wpływ gęstość materiału, jego temperatura oraz wilgotność.

- **gęstość materiału** – im większa gęstość tym większy współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$ . Możemy tu wyróżnić izolatory, czyli materiały o małej gęstości, jak pianka poliuretanowa - 0,025 [W/mK], wełna mineralna – 0,035 [W/mK], styropian – 0,04 [W/mK] oraz przewodniki o dużej gęstości, jak marmur- 3,5 [W/mK], beton specjalny ciężki – 4 [W/mK] czy stal – 50 [W/mK]. W przypadku materiałów mieszanych – jak beton, w zależności od użytego kruszywa, wartość współczynnika przewodzenia ciepła może się wahać od 0,25 do 4 [W/mK].
- **temperatura materiału** – wzrost średniej temperatury materiału powoduje zwiększenie wielkości współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda$ .
- **wilgotność materiału** – im większa wilgotność tym większy współczynnik przewodzenia ciepła  $\lambda$ . Woda zajmująca pory w materiale wypiera z nich powietrze. Współczynnik przewodzenia ciepła przez wodę jest ok. 20-krotnie wyższy niż współczynnik przewodzenia ciepła przez powietrze.

Charakterystyczną cechą materiałów izolacyjnych jest ich mała gęstość, która wynika ze szczególnej budowy tych materiałów. Struktura materiałów izolacyjnych charakteryzuje się dużym udziałem wolnych przestrzeni w szkieletcie, czyli jak wcześniej wspomniano – małą gęstością.

Najczęściej stosowane materiały izolacyjne to:

- styropian - 0,45 kN/m<sup>3</sup>,
- wełna mineralna w matach – 1,2 kN/m<sup>3</sup>,
- płyty z wełny mineralnej (twarde) – 2 kN/m<sup>3</sup>,
- pianki poliuretanowe - 0,45 kN/m<sup>3</sup>,
- płyty pilśniowe izolacyjne – 5 kN/m<sup>3</sup>.

Prawidłowe wykonanie izolacji cieplnej obejmuje:

1. Odpowiedni dobór materiałów zarówno podstawowych (izolacyjnych), jak też pomocniczych (np. klej),
2. Przyjęcie właściwej grubości izolacji. Z ekonomicznego punktu widzenia najbardziej optymalne grubości izolacji wynoszą:
  - 15-18cm dla ścian masywnych,
  - 20cm dla ścian drewnianych,
  - 15-20cm dla ścian szkieletowych,
  - 8-10cm dla podłóg na gruncie i stropów nad nieogrzewanymi pomieszczeniami,
3. Zapewnienie ciągłości izolacji.

Obecnie prowadzi się badania nad możliwościami wykorzystania odpadów komunalnych do produkcji materiałów tekstylnych. Do odpadów, które mogą być stosowane jako materiał izolacyjny lub jako dodatek do takich materiałów, zaliczyć można odpady tekstylne, celulozę, gumę itp. Materiały kompozytowe złożone z pianki poliuretanowej i włókna tekstylnego mają dobre właściwości izolacyjne, podobnie jak aerozele celulozowe. Warto tu również wspomnieć o materiałach naturalnych, pochodzących z rolnictwa, jak słoma lub wełna, które nie powodują zanieczyszczeń środowiska.

„UPSKILLING - wsparcie studentów i pracowników prowadzących kształcenie na wybranych kierunkach studiów w Międzynarodowej Akademii Nauk Stosowanych w Łomży”



W celu zapewnienia prawidłowej ochrony cieplnej budynku, konieczne jest zapewnienie ciągłości izolacji zewnętrznej budynku, stała jej grubość oraz brak przebiegów materiałami o wysokim współczynniku przewodzenia ciepła. W innym wypadku możliwe jest powstawanie mostków cieplnych. Mostek cieplny jest to miejsce, w którym występuje wzrost gęstości strumienia ciepła i obniżenie temperatury na powierzchni wewnętrznej w stosunku do pozostałych powierzchni wewnętrznych przegród w budynku. Mostki cieplne występują w narożach budynków, w miejscach styku ścian zewnętrznych z dachem, w miejscach przebiegu izolacji kotwami, czy też tam, gdzie zastosowano np. żelbet zamiast gazobetonu.

## 7. Wymiana ciepła w przegrodach budowlanych, metoda obliczania współczynników przenikania ciepła $U$ przez przegrody nieprzezroczyste. Aktualne wymagania oraz tendencje w normalizacji ochrony cieplnej budynków w Polsce. Obliczanie strat ciepła przez mostki cieplne.

Obliczeniowy opór cieplny przegrody wyznacza się ze wzoru:

$$R = \frac{d}{\lambda} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

$d$  – grubość warstwy,

$\lambda$  – obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła.

Całkowity opór cieplny:

$$R_T = R_{SI} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{SE} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

$R_{SI}$  – opór przyjmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni  $\left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$ , z tabeli poniżej,

$R_{SE}$  – opór przyjmowania ciepła na zewnętrznej powierzchni  $\left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$ , z tabeli poniżej,

$d$  – grubość warstwy,

$\lambda$  – obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła.

**Tab. 1** Opory przyjmowania ciepła na powierzchni przegrody

Źródło: opracowanie własne

	Kierunek strumienia cieplnego		
	w górę	poziomy	w dół
$R_{si}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$	0,04	0,04	0,04



Współczynnik przenikania ciepła:

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

gdzie:

$R_T$  – całkowity opór cieplny.

Poprawki do współczynnika przenikania ciepła  $U$ :

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r$$

gdzie:

- $\Delta U_g$  - poprawka z uwagi na szczelności,
- $\Delta U_f$  - Poprawka z uwagi na łączniki mechaniczne
- $\Delta U_r$  - Poprawka z względu na wpływ opadów dla dachu o odwróconym układzie warstw

$$\Delta U_g = \Delta U'' \cdot \left( \frac{R_1}{R_T} \right)^2$$

gdzie:

$R_1$  - opór cieplny warstwy zawierającej szczelności

$R_T$  - całkowity opór cieplny komponentu

$U''$  - przyjęty z Tablicy Normy- poprawka z uwagi na szczelności

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot n_f \cdot A_f}{d_0} \cdot \left( \frac{R_1}{R_T} \right)^2$$

gdzie:

$\alpha$  - współczynnik (patrz tablica D.2)

$\lambda_f$  - współczynnik przewodzenia ciepła łącznika;  $n_f$  - liczba łączników na metr kwadratowy

$A_f$  - pole przekroju poprzecznego jednego łącznika [ $m^2$ ]

$R_1$  - opór cieplny warstwy zawierającej szczelności [ $m^2 \cdot K/W$ ]

$R_T$  - całkowity opór cieplny komponentu [ $m^2 \cdot K/W$ ]

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \cdot \left( \frac{R_1}{R_T} \right)^2$$

gdzie:

$p$  - przeciętny dzienny opad [mm/dobę]

$f$  - czynnik drenażu dający składnik opadu docierający do izolacji przeciw wilgociowej

$x$  - czynnik zwiększonej straty spowodowanej przez przepływ wody po izolacji przeciwwilgociowej

$R_1$  - opór cieplny warstwy zawierającej szczelności

$R_T$  - całkowity opór cieplny komponentu

Wartości współczynnika przenikania ciepła  $U_c$  ścian, dachów, stropów i stropodachów dla wszystkich rodzajów budynków, uwzględniające poprawki ze względu na pustki powietrzne w warstwie izolacji, łączniki mechaniczne przechodzące przez warstwę izolacyjną oraz opady na dach o odwróconym układzie warstw, obliczone zgodnie z Polskimi Normami dotyczącymi obliczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła oraz przenoszenia ciepła przez grunt, nie mogą być większe niż wartości  $U_{c(max)}$  określone w poniższej tabeli, która została zaczerpnięta z

„UPSKILLING - wsparcie studentów i pracowników prowadzących kształcenie na wybranych kierunkach studiów w Międzynarodowej Akademii Nauk Stosowanych w Łomży”



*Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (z późn. zmianami). Również wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  okien, drzwi balkonowych, drzwi zewnętrznych i powierzchni przezroczystych nieotwieralnych, dla wszystkich rodzajów budynków, nie mogą być większe niż wartości  $U_{(max)}$  określone w tabelach poniżej.*

**Tab. 2** Wartości współczynnika przenikania ciepła  $U$  okien, drzwi balkonowych, drzwi zewnętrznych i powierzchni przezroczystych nieotwieralnych.

*Źródło: Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*

Lp.	Okna, drzwi balkonowe i drzwi zewnętrzne	Współczynnik przenikania ciepła $U_{(max)}$ [W/(m <sup>2</sup> · K)]	
		od 1 stycznia 2017 r.	od 31 grudnia 2020 r. *)
1	2	3	
1	Okna (z wyjątkiem okien połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $t_i < 16^\circ\text{C}$	1,1 1,6	0,9 1,4
2	Okna połaciowe: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $t_i < 16^\circ\text{C}$	1,3 1,6	1,1 1,4
3	Okna w ścianach wewnętrznych: a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$ b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,3 bez wymagań 1,3	1,1 bez wymagań 1,1
4	Drzwi w przegrodach zewnętrznych lub w przegrodach między pomieszczeniami ogrzewanymi i nieogrzewanymi	1,5	1,3
5	Okna i drzwi zewnętrzne w przegrodach zewnętrznych pomieszczeń nieogrzewanych	bez wymagań	bez wymagań
Pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura, której wartość została określona w § 134 ust. 2 rozporządzenia. $t_i$ – temperatura pomieszczenia ogrzewanego zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia. *) Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynku zajmowanego przez organ wymiaru sprawiedliwości, prokuraturę lub organ administracji publicznej i będącego jego własnością.			



**Tab. 3** Wartości współczynnika przenikania ciepła  $U_C$  ścian, dachów, stropów i stropodachów.

Źródło: Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie

Lp.	Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{C(max)}$ [W/(m <sup>2</sup> · K)]	
		od 1 stycznia 2017 r.	od 31 grudnia 2020 r. <sup>*)</sup>
1	2	3	
1	Ściany zewnętrzne: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,23 0,45 0,90	0,20 0,45 0,90
2	Ściany wewnętrzne: a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$ oraz oddzielające pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,00 bez wymagań 0,30	1,00 bez wymagań 0,30
3	Ściany przyległe do szczelin dylatacyjnych o szerokości: a) do 5 cm, trwale zamkniętych i wypełnionych izolacją cieplną na głębokości co najmniej 20 cm b) powyżej 5 cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	1,00 0,70	1,00 0,70
4	Ściany nieogrzewanych kondygnacji podziemnych	bez wymagań	bez wymagań
5	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,18 0,30 0,70	0,15 0,30 0,70
6	Podłogi na gruncie: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,30 1,20 1,50	0,30 1,20 1,50
7	Stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,25 0,30 1,00	0,25 0,30 1,00
8	Stropy nad ogrzewanymi pomieszczeniami podziemnymi i stropy międzykondygnacyjne: a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$ b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,00 bez wymagań 0,25	1,00 bez wymagań 0,25

Pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura, której wartość została określona w § 134 ust. 2 rozporządzenia.  
 $t_i$  – temperatura pomieszczenia ogrzewanego zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia.  
<sup>\*)</sup> Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynku zajmowanego przez organ wymiaru sprawiedliwości, prokuraturę lub organ administracji publicznej i będącego jego własnością.





Uproszczona metoda obliczania strumienia ciepłego przez mostki cieplne występujące na złączach elementów budowlanych i w ościeżach otworów okiennych i drzwiowych wg PN-EN 14863:

$$L = \sum U_i A_i + \sum \Psi_k l_k + \sum \chi_j$$

- $L$  – współczynnik sprzężenia ciepłego;
- $U_i$  – współczynnik przenikania ciepła i-tej części obudowy budynku;
- $A_i$  – pole powierzchni, do której ma zastosowanie wartość  $U_i$
- $\Psi_k$  – liniowy współczynnik przenikania ciepła k-tego liniowego mostka ciepłego;
- $l_k$  – długość, do której ma zastosowanie wartość  $\Psi_k$ ,
- $\chi_j$  – punktowy współczynnik przenikania ciepła j-tego punktowego mostka ciepłego

## 8. Wymagania prawne w projektowaniu budynków energooszczędnych. Rozwiązania materiałowe w przegrodach.

Budynek energooszczędny charakteryzuje się współczynnikiem  $EU_{co}$  do 70 kWh/m<sup>2</sup> na rok, podczas gdy budynek referencyjny budowany według obowiązujących przepisów w Polsce zużywa średnio ok. 130 kWh/m<sup>2</sup> na rok. Do pokrycia części zapotrzebowania na energię wykorzystywane mogą być źródła odnawialne. Budynek niskoenergetyczny to obiekt o współczynniku  $EU_{co}$  do 45 kWh/m<sup>2</sup> na rok, co jest zbliżone do standardu NF40. Takie budynki powinny być projektowane zgodnie z pewnymi regułami, które zapewniają oszczędne gospodarowanie energią. Powinny je charakteryzować m.in.:

- zwarta bryła,
- występowanie elementów uzyskujących energię z promieniowania słonecznego – otwarcie budynku w kierunku południowym (duże przeszklenia, ogrody zimowe) i zamknięcie w kierunku północnym,
- stosowanie przegród akumulujących energię i dystrybucję uzyskanej energii cieplnej w strukturze budynku (otwarte przestrzenie w poziomie i pionie),
- optymalizowanie wielkości przeszkleń, regulacja zysków słonecznych przy pomocy ruchomych osłon przeciwsłonecznych,
- ukształtowanie rzutu i przekroju umożliwiające swobodny przepływ światła dziennego oraz energii uzyskanej z promieniowania słonecznego,
- zastosowanie w przegrodach zewnętrznych instalacji pozyskujących energię, jak kolektory słoneczne, ogniwa fotowoltaiczne.

Często można spotkać się z następującą klasyfikacją budynków energooszczędnych:

- Budynek energooszczędny 7-litrowy - charakteryzuje się zapotrzebowaniem na energię cieplną na poziomie ok. 70 kWh/m<sup>2</sup>, czyli ok. 7 litrów oleju opałowego na m<sup>2</sup> ogrzewanej powierzchni na rok.



- Budynek energooszczędny 5-litrowy - zużywa ok. 5 litrów oleju opałowego na m<sup>2</sup> ogrzewanej powierzchni na rok, o EU<sub>co</sub> rzędu 50 kWh/m<sup>2</sup> na rok.
- Budynek niskoenergetyczny 3-litrowy - zużywa ok. 3 litrów oleju opałowego na m<sup>2</sup> ogrzewanej powierzchni na rok, o EU<sub>co</sub> rzędu 30 kWh/m<sup>2</sup> na rok.
- Budynek pasywny - zużywa ok. 1,5 litra oleju opałowego lub 1,5 m<sup>3</sup> gazu ziemnego na m<sup>2</sup> ogrzewanej powierzchni na rok, o EU<sub>co</sub> max 15 kWh/m<sup>2</sup> na rok, co odpowiada standardowi NF15. Do pokrycia całego zapotrzebowania na energię wykorzystywane są często źródła odnawialne.

**Tab. 4** Cechy budynków pasywnych i energooszczędnych.

*Źródło: opracowanie własne*

Budynek energooszczędny	Budynek pasywny
<ul style="list-style-type: none"> <li>• oszczędza energię</li> <li>• aktywnie pozyskuje energię ze źródeł naturalnych – słońca, ziemi i wody</li> <li>• ma zwartą bryłę ograniczającą ilość przegród zewnętrznych i mostków cieplnych</li> <li>• jego zapotrzebowanie na energię wynosi do 70 kWh/(m<sup>2</sup> /rok) – jeśli jest to budynek mieszkalny jednorodzinny</li> <li>• posiada grubą warstwę izolacji cieplnej (min. 20cm dla ścian masywnych oraz min. 30 cm dla dachu)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nie posiada aktywnego systemu ogrzewania i klimatyzacji – dom ogrzewa się i wychładza sam</li> <li>• jego zapotrzebowanie na energię wynosi do 15 kWh/m<sup>2</sup> /rok – jeśli jest to budynek mieszkalny jednorodzinny</li> <li>• łączne zapotrzebowanie na energię pierwotną na ogrzewanie pomieszczeń, przygotowanie ciepłej wody oraz działanie urządzeń domowego użytku nie może przekraczać 120 kWh/(m<sup>2</sup>/rok)</li> <li>• posiada szczelną bryłę - wymóg szczelności w budynku pasywnym określany jest na poziomie n50 ≤ 0,6 h-1, oznacza to, że w ciągu godziny przez wszystkie szczeliny domu nie powinna przepłynąć większa ilość powietrza niż wynosząca 60% jego kubatury</li> </ul>

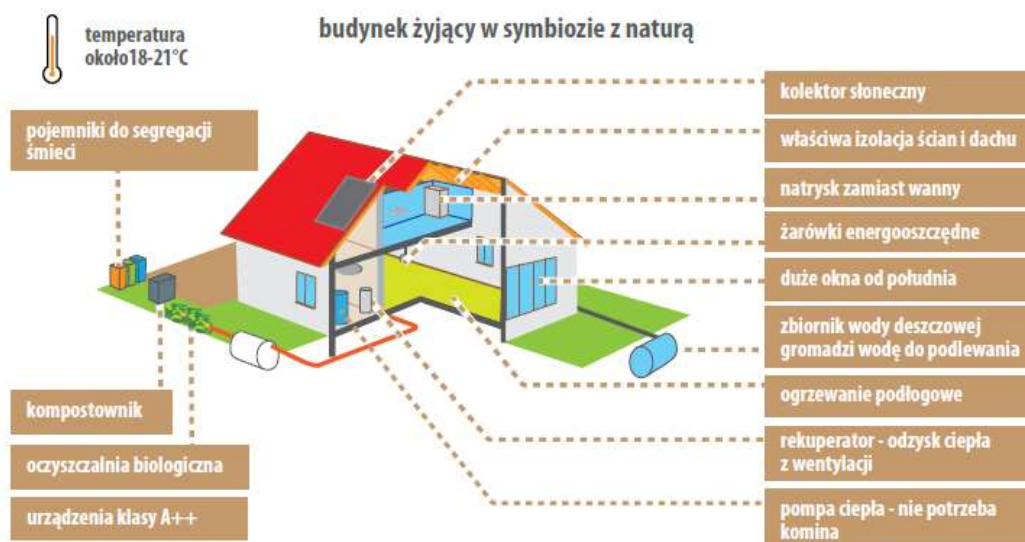
**Tab. 5** Wymagania stawiane przegrodom w budynkach w standardzie NF15 i NF40.Źródło: *mieszkajenergooszczednie.pl/*

Wymaganie	Budynek jednorodzinny	Budynek wielorodzinny	Budynek jednorodzinny	Budynek wielorodzinny
	NF15		NF 40	
Wymagania dotyczące granicznych wartości współczynników przenikania ciepła $U \leq U_{max}$ , W/(m²K)				
Ściany zewnętrzne				
I, II i III strefa klimatyczna	0,10	0,15	0,15	0,20
IV i V strefa klimatyczna	0,08	0,12	0,12	0,15
Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami				
I, II i III strefa klimatyczna	0,10	0,12	0,12	0,15
IV i V strefa klimatyczna	0,08	0,12	0,10	0,15
Stropy nad piwnicami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi, podłogi na gruncie				
I, II i III strefa klimatyczna	0,12	0,15	0,20	0,20
IV i V strefa klimatyczna	0,10	0,15	0,15	0,20
Okna, okna połaciowe, drzwi balkonowe i powierzchnie przeszklone nieotwieralne				
I, II i III strefa klimatyczna	0,8	0,8	1,0	1,3
IV i V strefa klimatyczna	0,7	0,8	0,8	1,0
Drzwi zewnętrzne, garażowe				
I, II i III strefa klimatyczna	0,8	1,0	1,3	1,5
IV i V strefa klimatyczna	0,7	1,0	1,3	1,5

## 9. Pozyskiwanie energii w budynkach energooszczędnych i pasywnych. Odnawialne źródła energii w budynkach mieszkalnych.

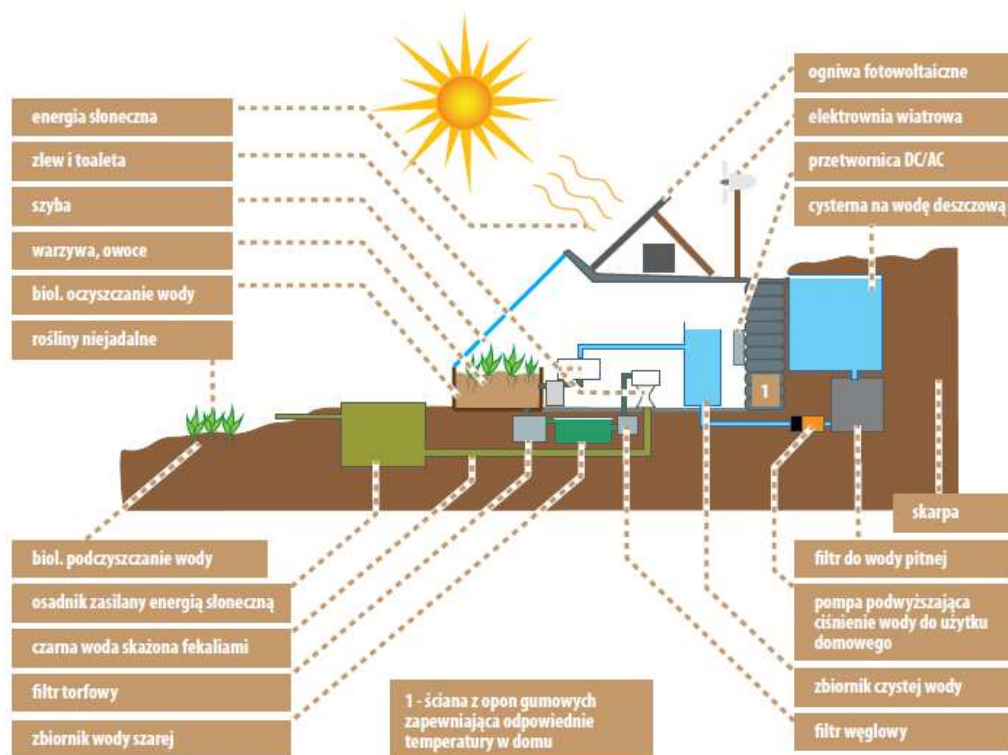
W budynkach energooszczędnych, oprócz konwencjonalnych źródeł ciepła, powinno korzystać się również z odnawialnych zasobów energii, takich jak:

- energia promieniowania słonecznego – kolektory słoneczne i panele fotowoltaiczne,
- ciepło z gruntu – gruntowe wymienniki ciepła,
- energia wiatru – małe elektrownie wiatrowe,
- energia biomasy – kotły na biomasę.



Rys. 7 Schemat budynku proekologicznego.

Źródło: Firląg Sz., „Buduję z głową, buduję energooszczędnie”



Rys. 8 Instalacje w budynku energooszczędnym.

Źródło: Firląg Sz., „Buduję z głową, buduję energooszczędnie”



## 10. Budynki zeroenergetyczne. Ślad węglowy.

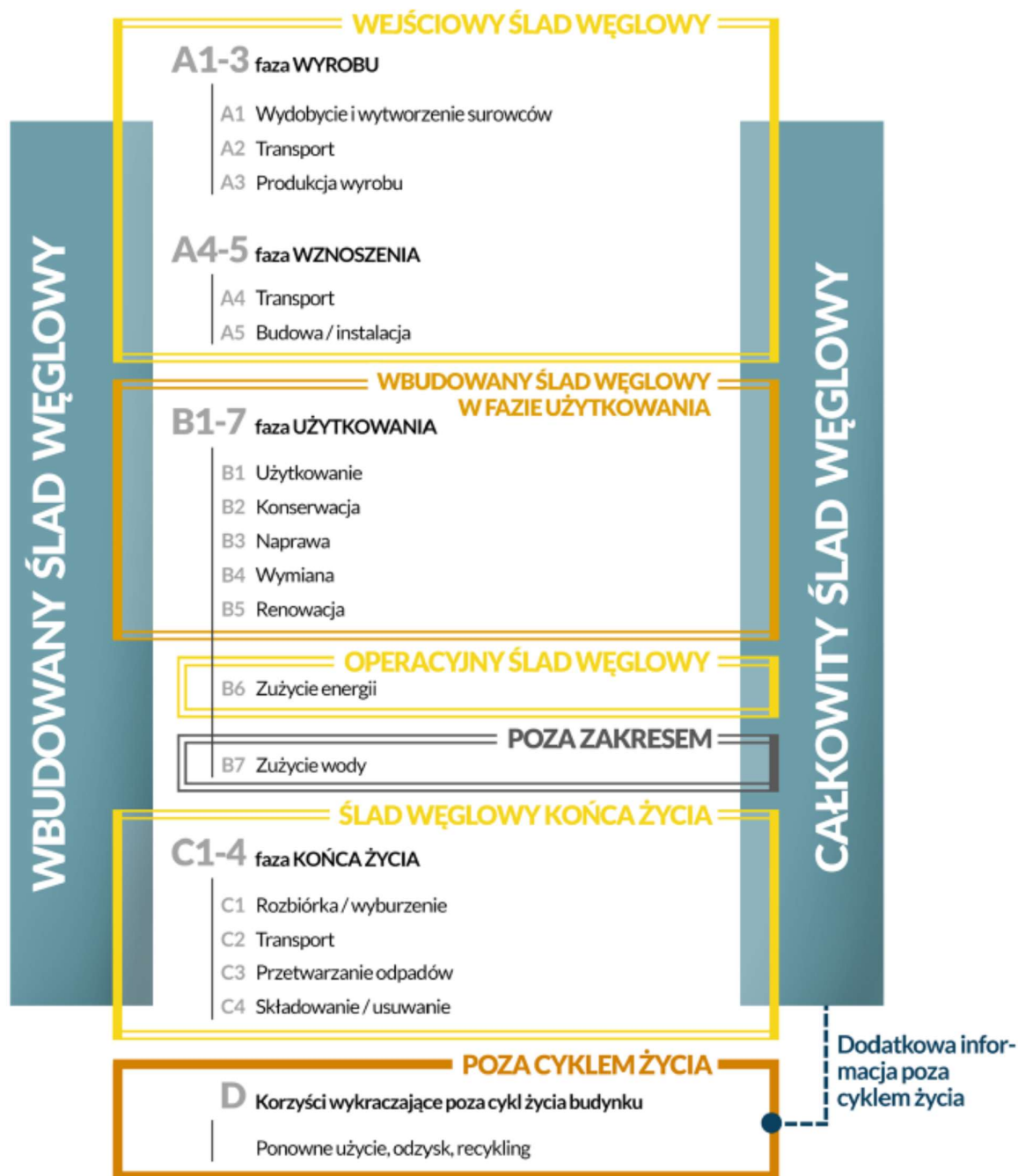
Budynek zeroenergetyczny to budynek samowystarczalny pod względem energetycznym, w którym nie korzysta się z konwencjonalnych źródeł energii. Do pokrycia całego zapotrzebowania na energię wykorzystywane są źródła odnawialne z systemami magazynującymi ciepło. Wyższy standard energetyczny prezentuje budynek dodatnioenergetyczny, w którego bilansie energetycznym zyski przewyższają straty. Korzysta on ze źródeł energii odnawialnej, a nadmiar wytworzonej energii odprowadzany jest do sieci.

Z kolei budynek ekologiczny, zielony to budynek zdrowy dla użytkowników, który oddziałuje na środowisko w minimalnym stopniu. Współgra on z otoczeniem poprzez wykorzystanie do zagospodarowania terenu roślinności charakterystycznej dla rejonu, korzystanie z oczek wodnych do retencjonowania wód opadowych i dla wytworzenia korzystnego mikroklimatu. Powinien być zbudowany z ekologicznych materiałów, których produkcja oraz montaż nie wymaga dużej ilości energii i które są przydatne do recyklingu. Szczególną uwagę przykłada się do gospodarowania odpadami, które nie mogą zanieczyszczać powietrza, wody ani gleby. Dotyczy to odpadów produkowanych w trakcie eksploatacji, jak i podczas procesu budowlanego, co powoduje zmniejszenie uciążliwości budowy na środowisko naturalne.

Budynek zeroemisyjny to obiekt, który cechuje się niemal zerowym zużyciem energii netto. Aby tak było, przyjmuje się, że produkcja energii w domu zeroemisyjnym stanowi równoważnik dwutlenku węgla wyprodukowanemu podczas jego budowy i eksploatacji. Przy projektowaniu i budowie, a także podczas eksploatacji, stosuje się takie same zasady, jak dla budynków energooszczędnych. Ponadto materiały wykorzystywane do budowy charakteryzują się maksymalnie obniżonym śladem węglowym. Może to być drewno, wełna mineralna, celuloza i różnego rodzaju surowce pochodzące z recyklingu.

Ślad węglowy wymieniony powyżej to całkowita suma emisji gazów cieplarnianych powstała w całym cyklu życia budynku. Podczas obliczania śladu węglowego budynku, analizuje się każdą fazę jego cyklu życia: fazę produkcji materiałów budowlanych, fazę budowy, fazę użytkowania oraz zakończenie życia inwestycji.





Rys. 9 Cykl życia budynku wg normy EN 15978.

Źródło: [klimatycznabazawiedzy.org/](http://klimatycznabazawiedzy.org/)





## 11. Bilans cieplny budynków. Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło budynku. Rozkład temperatury w przegrodzie zewnętrznej.

W skład **bilansu cieplnego** strefy, stanowiącego o zapotrzebowaniu na energię wchodzi straty bądź zyski ciepła wynikające z:

- wymiany ciepła na drodze przewodzenia pomiędzy strefą o założonej temperaturze wewnętrznej a środowiskiem zewnętrznym, związanej z różnicą temperatur powietrza,
- wymiany ciepła na drodze wentylacji,
- wymiany ciepła na drodze przewodzenia oraz na drodze wentylacji pomiędzy strefą o założonej temperaturze wewnętrznej a strefą sąsiednią,
- zysków ciepła od osób, urządzeń, oświetlenia oraz ciepła traconego z lub do instalacji ogrzewania, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody bądź wentylacji,
- zysków ciepła od promieniowania słonecznego, bezpośredniego (przez elementy przeszklone) lub pośredniego (przez absorpcję ciepła na zewnętrznych powierzchniach przegród pełnych),
- magazynowania lub oddawania ciepła przez elementy konstrukcji (jedynie w wypadku metody dynamicznej).

W ramach procedur obliczeniowych określonych w normie PN-EN ISO 13790, zależnie od stopnia złożoności, istnieje możliwość wyboru spośród następujących trzech metod obliczania bilansu cieplnego:

- miesięcznej metody quasi-statycznej,
- uproszczonej,
- godzinowej metody dynamicznej (godzinowej quasi-statycznej),
- szczegółowej metody symulacyjnej.

Metodę uproszczoną stosujemy dla:

- budynków istniejących,
- budynków bez termomodernizacji,
- budynków z wentylacją grawitacyjną,
- gdy współczynnik strat przez przenikanie ciepła obudowy (średni)  $H_0 > 0,8 [W/m^2K]$ .

**Tab. 6** Kolejność działań podczas obliczania bilansu ciepła w budynku.

Źródło: opracowanie własne

Etapy działań	
Metoda uproszczona	Metoda pełna
1/ Współczynnik strat ciepła przez przenikanie	1/ Współczynnik strat ciepła przez przenikanie
2/ Współczynnik strat ciepła przez wentylację	2/ Współczynnik strat ciepła przez wentylację
3/ Wewnętrzne zyski ciepła w sezonie grzewczym	3/ Miesięczne straty ciepła przez przenikanie i wentylację
4/ Miesięczne zyski ciepła od nasłonecznienia	4/ Miesięczne zyski ciepła od nasłonecznienia
5/ Roczne zapotrzebowanie ciepła użytkowego na potrzeby ogrzewania i wentylacji	5/ Miesięczne wewnętrzne zyski ciepła
6/ Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną	6/ Miesięczne zapotrzebowanie ciepła użytkowego na potrzeby ogrzewania i wentylacji

„UPSKILLING - wsparcie studentów i pracowników prowadzących kształcenie na wybranych kierunkach studiów w Międzynarodowej Akademii Nauk Stosowanych w Łomży”

Nr. FERS.01.05-IP.08-0278/23



	7/ Roczne zapotrzebowanie energii użytkowej 8/ Roczne zapotrzebowanie na energię końcową 9/ Roczne zapotrzebowanie na energię pomocniczą 10/ Roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną
--	---

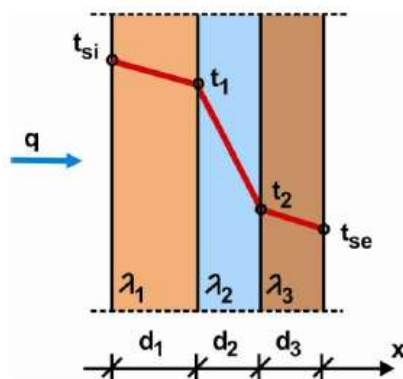
**Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło** do ogrzewania w standardowym sezonie ogrzewczym jest to energia stanowiąca różnicę pomiędzy stratami ciepła i wykorzystywanymi zyskami ciepła budynku w standardowym sezonie ogrzewczym przy obliczeniowej temperaturze powietrza wewnętrznego, projektowanej ilości powietrza wentylacyjnego oraz temperaturze powietrza zewnętrznego i wartości promieniowania słonecznego odpowiadającej średnim wieloletnim warunkom klimatycznym.

## 12. Rozkład temperatury w przegrodzie zewnętrznej. Zasady projektowania przegród pod względem wilgotnościowym. Sprawdzenie możliwości wystąpienia kondensacji pary wodnej w przegrodzie. Równowagowy współczynnik dyfuzji.

Przenikanie ciepła przez przegrodę budowlaną nieprzezroczystą składa się z trzech etapów:

1. Przejmowanie ciepła na powierzchnię przegrody od strony o wyższej temperaturze,
2. Przewodzenie ciepła wewnątrz przegrody,
3. Odpływ ciepła do przestrzeni o temperaturze niższej.

W przypadku stacjonarnego jednokierunkowego przenikania ciepła, rozkład temperatury w przegrodzie jest liniowy.



**Rys. 10** Rozkład temperatury w przegrodzie wielowarstwowej.

Źródło: A. Dylla „Praktyczna fizyka cieplna budowli” (Bydgoszcz 2009)

**Tab. 7** Izolacje przeciwwilgociowe ścian i podłóg w budynkach.

Źródło: opracowanie własne

<b>Izolacje przeciwwilgociowe ścian i podłóg w budynkach</b>	
<b>w budynkach nowych</b>	<b>w budynkach istniejących</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Najczęściej stosuje się systemy izolacji bitumicznych i mineralnych.</li> <li>Dopuszcza się stosowanie kilku systemów izolacji tylko w przypadku, gdy nie powodują wzajemnego negatywnego oddziaływania.</li> <li>Powinna być zapewniona dobra jakość podłoża pod izolację. Należy oczyścić je z kurzu, odpadków, tłuszczy czy substancji chemicznych.</li> <li>Należy zapewnić możliwość szczelnego połączenia izolacji pionowych i poziomych.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Najczęściej polega na wykonaniu izolacji wannowej z dociskającą warstwą betonową.</li> <li>Technologia „<b>mokra ściana – suche pomieszczenie</b>” polega na wykonaniu izolacji wannowej, w której przegroda pozostaje w trakcie eksploatacji zawilgocona.</li> <li>Technologia „<b>białej wanny</b>” wymaga zastosowania dodatkowo izolacji poziomej.</li> </ul>

Projektowanie izolacji – warunki:

1. kondensacja powierzchniowa –punkt rosy,
2. krytyczna wilgotność powierzchni z uwagi na uniknięcie rozwoju pleśni,
3. kondensacja międzywarstwowa (eksploatacyjne zawilgoconie).

Warunkiem uniknięcia kondensacji pary wodnej na powierzchni przegrody (zgodnie z WT) jest:

$$\vartheta_i \geq T_r + 1K$$

tzn., że temperatura powierzchni wewnętrznych powinna być wyższa o 1 K od temperatury punktu rosy.

**Temperatura punktu rosy - obliczenia:**

1. Na podstawie temperatury wewnętrznej wyznacza się ciśnienie pary wodnej nasyconej.
2. Następnie określa się wilgotność względną powietrza.
3. Oblicza się ciśnienie pary wodnej.
4. Odczytuje się temperaturę punktu rosy.

Temperatura powierzchni wewnętrznej [°C]:

$$\vartheta_i = t_i - q \cdot R_{si} = t_i - U \cdot (t_i + t_e) \cdot R_{si}$$

gdzie:

q –gęstość strumienia ciepłego płynącego przez przegrodę,

U –współczynnik przenikania ciepła przegrody,

t<sub>i</sub> –temperatura obliczeniowa wewnętrzna

t<sub>e</sub> –temperatura powietrza zewnętrznego,

„UPSKILLING - wsparcie studentów i pracowników prowadzących kształcenie na wybranych kierunkach studiów w Międzynarodowej Akademii Nauk Stosowanych w Łomży”

Nr. FERS.01.05-IP.08-0278/23



$R_i$  – przy sprawdzaniu minimalnej temperatury wewnętrznej powierzchni przegród nieprzezroczystych należy przyjmować  $R_{si}=0,167 \text{ (m}^2 \text{ K)/W}$ .

Wyznaczenie ciśnienia cząstkowego pary wodnej w pomieszczeniu:

- wilgotność względna powietrza wewnętrznego:

$$\varphi_i = \frac{p_i}{p_{ni}} \times 100\%$$

gdzie:

$p_i$  – ciśnienie cząstkowe pary wodnej, [Pa]

$p_{ni}$  – ciśnienie stanu nasycenia, [Pa]

stad ciśnienie cząstkowe pary wodnej w pomieszczeniu:

$\varphi_i$  – obliczeniowa wilgotność względna powietrza w pomieszczeniu,

$p_{ni}$  – ciśnienie cząstkowe pary wodnej nasyconej przy temperaturze  $t$  odczytywane z tabel

- ciśnienie cząstkowe pary wodnej w pomieszczeniu:

$$p_i = \frac{p_{ni} \times \varphi_i}{100\%}$$

$\varphi_i$  – obliczeniowa wilgotność względna powietrza w pomieszczeniu,

$p_{ni}$  – ciśnienie cząstkowe pary wodnej nasyconej przy temperaturze  $t$  odczytywane z tabel

**Równowagowy współczynnik dyfuzji** - łączy względny współczynnik oporu dyfuzyjnego pary wodnej ( $\mu$ ) z grubością warstwy materiału ( $d$ ):

$$S_d = \mu \times s$$

Ryzyko wystąpienia i rozwoju pleśni na powierzchni materiałów wrażliwych na wilgoć zachodzi już przy wilgotności względnej powietrza przewyższającej 80% i utrzymującej się przez kilka kolejnych dni. Na przebieg zjawiska kondensacji powierzchniowej mają wpływ:

- temperatura i wilgotność powietrza zewnętrznego,
- jakość termiczna elementów obudowy budynku,
- temperatura i wilgotność powietrza wewnętrznego,
- sposób ogrzewania pomieszczenia (ciągłe, okresowe z osłabieniem lub przerwami).

Jakość cieplną elementu obudowy budynku charakteryzuje się minimalną bezwymiarową temperaturą wewnętrzną powierzchni (zwaną czynnikiem temperaturowym), konieczną do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i rozwoju pleśni –  $f_{Rsi,min}$ . Warunek projektowy określony jest następująco: czynnik temperaturowy projektowanego komponentu budowlanego  $f_{Rsi}$  powinien zawsze być większy od minimalnej wymaganej wartości czynnika temperaturowego  $f_{Rsi,min}$  (określonego na podstawie warunków klimatu wewnętrznego i zewnętrznego) zgodnie z zależnością:

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$$

Obliczenia prowadzi się dla każdego z dwunastu miesięcy w typowym roku meteorologicznym.



Fundusze Europejskie  
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita  
Polska

Dofinansowane przez  
Unię Europejską



### **Opracowano na podstawie:**

- *Budownictwo ogólne. Fizyka Budowli. Tom 2. - praca zbior. pod kier. P. Klemma. Warszawa, 2005.*
- *Dylla A., Praktyczna fizyka ciepła budowli. Bydgoszcz, 2009.*
- *Firląg Sz., Buduję z głową, buduję energooszczędnie. Warszawa 2014*
- *klimatycznabazawiedzy.org*
- *Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*
- *mieszkajenergooszczednie.pl*