



# BIAŁE MUROWANIE

STOWARZYSZENIE  
PRODUCENTÓW  
SILIKATÓW

## OSZCZĘDNOŚĆ ENERGII I OCHRONA CIEPLNA

Regulacje prawne, obliczenia i rozwiązania konstrukcyjne  
na przykładzie ścian z silikatów

Autor: dr hab. inż. Dariusz Bajno

**Recenzenci:**

**dr hab. inż. Jan Kempa, prof. nadzw. Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy**

**dr inż. Anna Rawska-Skotniczny, Politechnika Opolska**

**dr inż. Krzysztof Pawłowski, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy**

ISBN 978-83-950919-0-2  
Warszawa 2018

Szanowni Państwo,

światowy kryzys energetyczny, który rozpoczął się w 1973 roku, spowodował trwający do dzisiaj skokowy wzrost cen energii. Od tego czasu powszechne stało się pragnienie uniezależnienia się od niej. Energia jest jednak immanentną częścią cywilizacji, a światowa gospodarka potrzebuje napędu intensywnego rozwoju. Mimo poszukiwania alternatywnych jej źródeł rozwiązaniem, które najbardziej zyskuje na znaczeniu, jest energooszczędność.

„Badanie świadomości kwestii związanych z energooszczędnością budynków mieszkalnych” wykonane na zlecenie Stowarzyszenia „Białe Murowanie” i przeprowadzone wśród inwestorów indywidualnych potwierdziło rosnące zainteresowanie tą tematyką. Aż 54% z biorących udział w badaniu przy wyborze materiału do budowy ścian domu brało pod uwagę energooszczędność. Z kolei 44% respondentów postrzega nowe regulacje prawne dotyczące ograniczenia zużycia energii jako potrzebne i stanowiące mobilizację do energooszczędności i w dłuższym okresie mogące przynieść oszczędności dla samego inwestora.

Ze względu na duże zainteresowanie Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe murowanie” przygotowało poniższą publikację, w której opisano wpływ wykorzystania silikatów w budownictwie energooszczędnym. Zebraliśmy w jedną całość wymagania prawne i normowe stawiane nowym inwestycjom, aby były one oszczędne w użytkowaniu i przyjazne środowisku.

Wykorzystanie silikatów w budownictwie energooszczędnym ma znaczenie nie tylko dla inwestora, lecz także użytkownika obiektów. Naszym celem jest, aby wszyscy uczestnicy procesów budowlanych w sposób świadomy stosowali ten materiał, uzyskując rozwiązania najwyższej jakości. Niniejsze opracowanie ma służyć temu, by powstające obiekty inżynierskie spełniały stale podwyższane normy, a jednocześnie odpowiadały oczekiwaniom przyszłych użytkowników.

Monografia została opracowana przez Dariusza Bajno, projektanta konstrukcji budowlanych, rzeczoznawcę budowlanego i rzeczoznawcę PZITB, pracownika naukowo-dydaktycznego Uniwersytetu Technologiczno - Przyrodniczego w Bydgoszczy.

Zarząd Stowarzyszenia  
Producentów Silikatów  
„Białe Murowanie”

## Spis tablic

Tablica 1. Częstkowe wartości wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej.....	14
Tablica 2. Częstkowe wartości wskaźnika EP na potrzeby chłodzenia.....	14
Tablica 3. Maksymalne wartości współczynnika przenikania ciepła $U_c$ ścian, dachów i stropodachów.....	15
Tablica 4. Maksymalne wartości współczynnika przenikania ciepła $U_c$ okien, drzwi balkonowych i zewnętrznych.....	17
Tablica 5. Wartości współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego $g_n$ .....	18
Tablica 6. Wartości współczynnika redukcji promieniowania $f_c$ .....	19
Tablica 7. Minimalne temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach.....	22
Tablica 8. Zależność pozbywania się wilgoci z przegród od krotności wymian powietrza w pomieszczeniach.....	26
Tablica 9. Poprawka z uwagi na pustki powietrzne $\Delta U$ .....	39
Tablica 10. Wilgotności sorpcyjne wybranych materiałów budowlanych.....	43
Tablica 11. Wielkość współczynnika wilgotności $b$ dla wybranych materiałów.....	44
Tablica 12. Najczęściej występujące wady w ścianach i zagrożenia z nimi związane.....	47
Tablica 13. Charakterystyka cieplna przegrody pokazanej na Rysunku 23.....	53
Tablica 14. Charakterystyka cieplna przegrody pokazanej na Rysunku 24.....	54
Tablica 15. Charakterystyka cieplna przegrody pokazanej na Rysunku 25.....	55
Tablica 16. Charakterystyka cieplna przegrody pokazanej na Rysunku 26.....	55

## Spis rysunków

Rysunek 1. Historia i prognoza wymagań w stosunku do izolacyjności niektórych przegród budynków na przestrzeni lat 1982÷2021, opisana współczynnikiem przenikania ciepła $k$ lub $U$ [ $W/(m^2 \cdot K)$ ] [2].....	17
Rysunek 2. Pomiar przepływu powietrza w kratce wentylacyjnej przy zamkniętych oknach, wentylacja grawitacyjna (źródło własne).....	25
Rysunek 3. Pomiar przepływu powietrza w kratkach wentylacyjnych przy rozszczelnionych oknach (źródło własne. Zjawisko to nie tylko decyduje o jakości mikroklimatu w pomieszczeniach, lecz także o kondycji technicznej przegród, ma decydujący wpływ na zdolność ich wysychania i dotyczy zarówno istniejących (starszych) oraz nowo wznoszonych budynków.....	25
Rysunek 4. Wymagania normowe w stosunku do wysokości wyprowadzenia kominów ponad przegrody i ponad pokrycie dachowe [2].....	27
Rysunek 5. Przykład ocieplenia ścian komina na najwyższych kondygnacjach budynku.....	28
Rysunek 6. Model wychłodzonego na ostatniej kondygnacji przewodu kominowego, rozkład temperatury na powierzchni ścian komina, linie strumieni ciepła.....	29
Rysunek 7. Przykład komina wbudowanego w ściany, wychładzanego na całej wysokości: a) ponad dachem (temp. zewn. $-4^{\circ}C$ ), b) na poziomie ostatniej kondygnacji, c) na poziomie kondygnacji niższych (źródło ciepła w piwnicy).....	29
Rysunek 8. Diagram zależności temperatury punktu rosy od temperatury powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu.....	34
Rysunek 9. Ściana jednorodna niedocieplana.....	35
Rysunek 10. Ściana jednorodna docieplona.....	36
Rysunek 11. Mur skrępowany niedocieplany.....	37
Rysunek 12. Mur skrępowany docieplony.....	38
Rysunek 13. Izotermy sorpcji dla wybranych materiałów budowlanych: cegły silikatowej, cegły poryzowanej i betonu komórkowego (źródło: Fraunhofer-Institut für Bauphysik – WUFI) Izotermy sorpcji, opisujące właściwości niektórych materiałów budowlanych [Rys.13], wyraźnie wskazują na intensywny wzrost ich zawilgocenia, po przekroczeniu progu 80% wilgotności względnej powietrza. ....	43
Rysunek 14. Liniowa zależność współczynnika przenikania ciepła: cegły silikatowej, cegły poryzowanej i betonu komórkowego.....	45
Rysunek 15. Lokalizacja najczęściej powtarzających się tzw. słabych miejsc w budynkach mieszkalnych: a) niepodpiwniczonych (źródło autora), b) podpiwniczonych (źródło Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe Murowanie”) – (Tablica 12).....	49
Rysunek 16. Mostki cieplne (termiczne) w okolicach nadproży i w lokalizacjach spoin wspornych i pionowych – widok od środka pomieszczeń (źródło własne).....	50
Rysunek 17. Mostki cieplne w okolicach nadproży, oparcie – utwierdzenia konstrukcji balkonów wspornikowych oraz w lokalizacjach spoin wspornych i pionowych murów – widok z zewnątrz (źródło własne) .....	50
Rysunek 18. Mostki cieplne w miejscach połączenia muru z konstrukcją żelbetową (bez wymaganego ocieplenia) oraz w miejscach osunięcia się termoizolacji w zewnętrznej ścianie warstwowej (źródło własne).....	51
Rysunek 19. Mostki cieplne o sporych powierzchniach strat ciepła w miejscach osunięcia się termoizolacji w zewnętrznych ścianach warstwowych oraz w miejscach oparcie (zamocowań) konstrukcji balkonów (źródło własne).....	51
Rysunek 20. Liniowe mostki cieplne występujące po obwodzie osadzenia stolarki okienno-drzwiowej (źródło własne).....	51
Rysunek 21. Straty ciepła (wychładzanie – Rysunek 7) w nieocieplanych kominach przechodzących przez kondygnacje nieogrzewane i ponad dachem, wychłodzone kratki wylotowe wentylacji grawitacyjnej – wskazujące na konieczność ogrzewania wymienianego powietrza w pomieszczeniach (źródło własne).....	52

Rysunek 22. Straty ciepła na styku krokiew–termoizolacja oraz na styku termoizolacji ukośnej dachu z pionową ścian (źródło własne).....	52
Rysunek 23. Naroże ścian jest elementem generującym znacznie wyższe straty ciepła od prostych odcinków przegród z uwagi na mniejszą powierzchnię napływu ciepła w stosunku do jego odpływu z powierzchni zewnętrznej: a) typowa budowa prawidłowo wykonanego narożnika ścian (źródło Stowarzyszenia Producentów Silikatów „Białe Murowanie”), b) porównanie gęstości strumieni ciepła w narożniku w stosunku do powierzchni płaskiej (źródło własne).....	53
Rysunek 24. Ściana warstwowa z cegły silikatowej z lekko wentylowaną pustką powietrzną oraz wewnętrzną termoizolacją (źródło własne).....	54
Rysunek 25. Ściana warstwowa jw. z cegły ceramicznej pełnej z lekko wentylowaną pustką powietrzną oraz wewnętrzną termoizolacją (źródło własne).....	54
Rysunek 26. Warstwowa ściana niewentylowana z cegły silikatowej ocieplona od zewnątrz tym samym rodzajem i grubością termoizolacji jak w przypadkach opisanych wyżej, wykończona cienkowarstwowym tynkiem strukturalnym (źródło własne).....	55
Rysunek 27. Jednowarstwowa ściana z cegły silikatowej, wykończona obustronnym tynkiem cementowo-wapiennym (źródło własne). Wielkości charakteryzujące przegrodę (Rysunek 26) pod względem cieplnym zamieszczono w Tablicy 16.....	55
Rysunek 28. Ściana warstwowa z cegły silikatowej z lekko wentylowaną pustką powietrzną oraz wewnętrzną termoizolacją, z osadzoną drewnianą belką stropową (źródło własne).....	56
Rysunek 29. Ściana warstwowa z cegły silikatowej z lekko wentylowaną pustką powietrzną oraz wewnętrzną termoizolacją, z osadzoną żelbetową belką stropową (źródło własne).....	56
Rysunek 30. Ściana warstwowa z cegły ceramicznej pełnej z lekko wentylowaną pustką powietrzną oraz wewnętrzną termoizolacją, z osadzoną drewnianą belką stropową (źródło własne).....	56
Rysunek 31. Przekrój pionowy ściany piwnicznej parteru – prawidłowo zabezpieczone miejsca występowania stropów i wieńców żelbetowych (źródło Stowarzyszenia Producentów Silikatów „Białe Murowanie”).....	57
Rysunek 32. Przekrój pionowy ściany piwnicznej parteru – rozkład izoterm i adiabat dla przypadku jw. i wbudowanej konstrukcji stropu drewnianego (źródło własne).....	57
Rysunek 33. Przekrój pionowy ściany piwnicznej parteru – rozkład izoterm i adiabat dla przypadku jw. i wbudowanej konstrukcji stropu żelbetowego (źródło własne).....	58
Rysunek 34. Przekrój pionowy przez ściany kondygnacji użytkowych ze stropem drewnianym (źródło własne).....	58
Rysunek 35. Przekrój pionowy przez ściany kondygnacji użytkowych ze stropem żelbetowym (źródło własne).....	58
Rysunek 36. Zabezpieczenie mostków termicznych w sąsiedztwie nadproży żelbetowych – lokalnie występujący mostek liniowy w miejscu osadzenia stolarki (źródło Stowarzyszenia Producentów Silikatów „Białe Murowanie”).....	59
Rysunek 37. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową (niewentylowaną) i nadproże z ościeżnicą ulokowaną w warstwie termoizolacji (strop drewniany) – układ izoterm i adiabat (źródło własne).....	59
Rysunek 38. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową (niewentylowaną) i nadproże z ościeżnicą ulokowaną w warstwie termoizolacji (strop żelbetowy) – układ izoterm i adiabat (źródło własne).....	60
Rysunek 39. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową wentylowaną i nadproże z ościeżnicą ulokowaną w warstwie termoizolacji (strop drewniany) – układ izoterm i adiabat (źródło własne).....	60
Rysunek 40. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową wentylowaną i nadproże z ościeżnicą ulokowaną w warstwie termoizolacji (strop żelbetowy) – układ izoterm i adiabat (źródło własne).....	60
Rysunek 41. Przykładowe sposoby eliminowania mostków termicznych w poziomie dachów i stropodachów (źródło Stowarzyszenia Producentów Silikatów „Białe Murowanie”).....	61
Rysunek 42. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową wentylowaną połączoną ze stropodachem z attyką wykończoną od góry podkładką drewnianą pod obróbką blacharską – układ izoterm i adiabat (źródło własne).....	61
Rysunek 43. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową wentylowaną połączoną ze stropodachem z attyką	

(jw.) z zachowaniem ciągłości izolacji po obwodzie styku ścian ze stropodachem – układ izoterm i adiabat (źródło własne).....	62
Rysunek 44. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową wentylowaną połączoną z tradycyjnym dachem krokwiowym z termoizolacją ułożoną jedynie w przestrzeni między krokwiemi – układ izoterm i adiabat (źródło własne).....	62
Rysunek 45. Rozkład wilgoci w połączonych w narożu wentylowanych ścianach warstwowych wykonanych z silikatów (źródło własne).....	64
Rysunek 46. Diagram rozkładu wilgoci w przegrodzie pokazanej na Rysunku 45, dla wewnętrznej warstwy nośnej muru (zawartość wody w $\text{kg/m}^3$ , wilgotność masowa w %), oraz izopleta wskazująca na brak kondensacji powierzchniowej po wewnętrznej stronie narożnika (źródło własne).....	65
Rysunek 47. Porównanie diagramów rozkładu wilgoci w narożu wentylowanych ścian warstwowych, wykonanych z silikatów, w styczniu i czerwcu (źródło własne).....	66
Rysunek 48. Rozkład wilgoci w narożniku wentylowanych ścian warstwowych wykonanych z cegieł ceramicznych (źródło własne).....	67
Rysunek 49. Diagram rozkładu wilgoci w przegrodzie pokazanej na Rysunku 48, dla wewnętrznej warstwy nośnej muru (zawartość wody w $\text{kg/m}^3$ , wilgotność masowa w %), oraz izopleta wskazująca na brak kondensacji powierzchniowej, po wewnętrznej stronie narożnika (źródło własne).....	68
Rysunek 50. Porównanie diagramów rozkładu wilgoci w narożu wentylowanych ścian warstwowych, wykonanych z cegły pełnej, w styczniu i czerwcu (źródło własne).....	69

## Spis treści

WSTĘP.....	7
1. O silikatach.....	7
2. Wymagania ustawowe z zakresu ochrony cieplnej i energooszczędności obiektów budowlanych.....	9
3. Co składa się na energooszczędność obiektów budowlanych.....	23
4. Zasady projektowania budynków energooszczędnych z silikatów.....	29
5. Wymagania dotyczące izolacyjności termicznej przegród pionowych budynków [2][3].....	31
6. Wilgoć w przegrodach.....	42
6.1. Przyczyny i skutki zawilgacania przegród.....	42
6.2. Sorpcja a desorpcja wilgoci w przegrodach.....	42
6.3. Kondensacja pary wodnej.....	44
6.4. Zależność oporu cieplnego materiałów od poziomu ich zawilgocenia [5].....	44
6.5. Uszkodzenia materiałów budowlanych (w tym całych przegród) wskutek poddania ich oddziaływaniu niskich temperatur.....	46
7. „Słabe miejsca” w budynkach – lokalizacja mostków termicznych [1].....	46
8. Zabezpieczenie mostków termicznych w rozwiązaniach typowych dla systemu wznoszenia ścian z silikatów z podaniem wskazówek dla ewentualnych rozwiązań indywidualnych.....	52
9. Rozkład wilgoci w przegrodzie i możliwość jej kondensacji na wewnętrznych powierzchniach [N3], [N4].....	63
10. Zasady unikania nadmiernej kondensacji wilgoci w ścianach – etap projektowania, wykonawstwa i eksploatacji.....	69
11. Rola akumulacji cieplnej.....	70
12. Podsumowanie. Ściany silikatowe a ochrona cieplna budynków.....	71
Literatura.....	72



## WSTĘP

Bez przegród budowlanych, jakimi są m.in. ściany, formalnie nie istniałyby obiekty, które w definicjach legalnych Ustawy [N16] zostały nazwane budynkami. Obecnie w budownictwie, pomimo powszechnego dostępu do zaawansowanych narzędzi projektowych, a także nowych technologii wykonawczych, nowo powstające obiekty budowlane, a tym samym ich elementy składowe, nadal posiadają wiele wad, powszechnie utożsamianych z niedbalstwem wykonawczym, natomiast dopiero w następnej kolejności z błędnym ich zaprojektowaniem. Nader często zapomina się o najdłuższym i najtrudniejszym okresie próby dla obiektów budowlanych, jakim jest czas ich eksploatacji, niejednokrotnie w skrajnych warunkach zarówno środowiska zewnętrznego, jak i wewnętrznego [1], [2], [N1], [N3]. W opracowaniach projektowych oraz w opracowaniach projektowych jak i w późniejszym okresie eksploatacji uczestnicy procesu budowlanego, a następnie użytkownicy budynków lekceważąco traktują procesy fizyczne zachodzące we wnętrzu budynków oraz w samych przegrodach. Dla odpowiedzialnych elementów obiektów budowlanych zazwyczaj sprawdzane są stany graniczne nośności i użyteczności [N13], [N19], natomiast zapomina się o tak ważnych procesach jak wymiana (straty) ciepła oraz przemieszczanie się i kondensacja wilgoci w ich wnętrzu, które mają decydujący wpływ na trwałość takich przegród, chociaż zachodzą w znacznie wydłużonym okresie [1]. W każdym rozwiązaniu projektowym powinien znaleźć się trwały element z zakresu fizyki budowli, wskazujący na możliwość „zachowywania się” poszczególnych przegród w dłuższym, co najmniej 10-letnim okresie eksploatacji, ponieważ to one będą decydować o szybszym lub też wydłużonym w czasie zużyciu technicznym budynków i budowli.

Należy zdawać sobie sprawę z tego, że projekt jest opracowaniem wyidealizowanym w stosunku do produktu finalnego, który zazwyczaj będzie się różnił od projektowego pierwowzoru i ta różnica nie musi dotyczyć wyłącznie jego wyglądu. Tak jak wspomniałem, obiekty przewidziane są na wiele lat eksploatacji, w tym czasie muszą spełniać postawione im w art. 5.1 Ustawy (UPb) [N16] wymagania w zakresie: nośności i stateczności konstrukcji, bezpieczeństwa pożarowego, higieny, zdrowia i środowiska, bezpieczeństwa użytkowania i dostępności obiektów, ochrony przed hałasem, oszczędności energii i izolacyjności cieplnej, zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych. Wymienione wyżej i podkreślone wymagania są ściśle powiązane z procesami fizycznymi zachodzącymi we wnętrzu przegród.

Ściany budynków i budowli wykonane z wyrobów wapienno-piaskowych są w stanie sprostać wszystkim stawianym wymaganiom wymienionym wyżej (art.5.1 [N16]). Są to wyroby odporne na oddziaływanie środowiska zewnętrznego oraz działanie ognia, stad mogą być z powodzeniem wykorzystane do wykonania ścian oddzielenia pożarowego. Charakteryzują się wysoką gęstością, co wpływa korzystnie na ich parametry akustyczne oraz pojemność cieplną. Ich niska nasiąkliwość i wysoka wytrzymałość nadają im dobrą mrozoodporność, przez co stosuje się je w konstrukcjach zewnętrznych budynków oraz w konstrukcjach zagłębionych w gruncie, a także do wykonywania obiektów, w których odbywa się produkcja rolna, w środowisku o podwyższonej agresywności. Charakteryzują się niską naturalną promieniotwórczością, ponieważ wykonywane są z naturalnych surowców, takich jak: wapno, piasek i woda.

Żaden materiał, nawet ten najwyższej jakości, nie spełni swego zadania, jeśli zasadność jego wbudowania i eksploatacji w określonych warunkach środowiska zewnętrznego nie zostanie sprawdzona pod kątem jego odporności i trwałości. Istotnym elementem każdego budynku jest eksploataowanie go zgodnie z jego pierwotnym przeznaczeniem [N16]. Każda zmiana sposobu użytkowania powinna uwzględniać procesy fizyczne, jakie mogą oddziaływać na jego strukturę w nowych warunkach eksploatacji. Z tego powodu dosyć często wady projektowo-wykonawcze oraz eksploatacyjne niesłusznie utożsamia się z niską jakością wbudowanego materiału.

## 1. O silikatach

Silikaty są elementami budowlanymi wytwarzanymi przy użyciu trzech składników: piasku o dużej zawartości krzemionki, wapna palonego i wody. Swoją strukturą przypominają piaskowiec – skałę występującą naturalnie w skorupie ziemskiej. Technologia produkcji wyrobów silikatowych opisana została w patencie Wilhelma Michaelisa w 1880 r. i wkrótce trafiła do produkcji przemysłowej (1894). Wymienione wcześniej składniki po wymieszaniu w odpowiednich proporcjach przenoszone są do zbiornika, gdzie następuje gaszenie wapna [N20]. Z tak przygotowanej mieszanki formuje się wyroby za pomocą pras, a następnie poddaje się

je procesowi autoklawizacji w atmosferze nasyconej pary wodnej pod wysokim ciśnieniem. Zachodzą wtedy reakcje tworzenia uwodnionych krzemianów wapnia. Wapienno-piaskowe materiały budowlane wykorzystuje się przede wszystkim do wznoszenia konstrukcji murowych w budownictwie mieszkaniowym, przemysłowym i inwentarskim [N19], [N20]. Wykorzystanie naturalnych surowców oraz duża gęstość powodują, że mają one wiele korzystnych właściwości. Ze względu na rozpowszechnianą wiedzę, świadomość cennych właściwości wyrobów silikatowych oraz atrakcyjną cenę, obserwuje się znaczny wzrost zainteresowania tym materiałem.

Dokumentem normatywnym określającym wymagania wobec materiałów silikatowych jest norma PN-EN 771-2. Wymagania dotyczące elementów murowych – Część II: Elementy murowe silikatowe [N19]. Wymagania dotyczące materiałów ściennych reguluje również wiele innych aktów prawnych o bardziej ogólnym charakterze, innych mających bardziej ogólny charakter aktów prawnych, w tym Ustawa z dnia 16 kwietnia 2014 r. o wyrobach budowlanych [N18].

## **Trwałość**

Bloczki silikatowe są trwałe i odporne na ściskanie. Wytwarza się je w kilku klasach wytrzymałości, od 10 do 40 MPa. Właściwości silikatów w zakresie dużej wytrzymałości i trwałości pozwalają na wznoszenie budynków kilkunastokondygnacyjnych bez konieczności użycia konstrukcji szkieletowej. Ich wysoka wytrzymałość na nacisk jest podstawowym warunkiem przy oszczędnościach powierzchni w konstrukcji ścian. Ściany konstrukcyjne mogą mieć grubość 18 cm, 15 cm, a nawet 12 cm. Wysoką trwałość silikatów porównuje się do trwałości kamienia naturalnego [N20].

Dzięki swojej strukturze silikaty zapewniają wysoką odporność ogniową. Ze względu na właściwości ognioodporne bloczki silikatowe mają zastosowanie w obiektach o specjalnych wymaganiach przeciwpożarowych, m.in. wykonuje się z nich ściany przeciwpożarowe, kominy wentylacyjne, kotłownie itp. Klasa reakcji silikatów na ogień to A1 (A1 wg PN-EN 13501-1 – nie rozprzestrzeniają ognia, nie wydzielają trujących gazów, dymów ani płonących kropel). Wyroby silikatowe są odporne na uszkodzenia mechaniczne, dzięki temu oszczędza się czas podczas murowania ścian. Bloki silikatowe charakteryzują się wysoką odpornością na mróz i czynniki atmosferyczne, dlatego wykorzystuje się je do budowy obiektów w wielu warunkach klimatycznych, nawet bez dodatkowej warstwy tynkowej, gwarantując trwałość elewacji. Polecane są do budowy ścian zewnętrznych.

## **Izolacja akustyczna**

Silikatowe materiały budowlane posiadają najlepszą spośród popularnych materiałów ściennych izolacyjność akustyczną. Znaczna masa powierzchniowa ścian z bloków silikatowych (klasa gęstości 1.4-2.2) powoduje, że przegroda jest skuteczną zaporą dla dźwięków [4]. Dzięki dużej gęstości bloczki silikatowe zaliczane są do materiałów o najlepszej izolacyjności akustycznej. Zgodnie z prawem masy izolacyjność przegrody jest wprost proporcjonalna do masy przegrody przypadającej na jednostkę powierzchni, a więc elementy o dużej gęstości, a tym samym dużej masie, najlepiej zabezpieczają przed niepożądanymi odgłosami. Gwarantują one zabezpieczenie przed dźwiękami zewnętrznymi oraz dobrze tłumią hałas pochodzący z sąsiedztwa, co znacznie podwyższa komfort mieszkania i użytkowania. Norma izolacyjności akustycznej dla ściany między mieszkaniami w zabudowie wielorodzinnej wynosi  $R'_{A1} \geq 50$  dB. Przy użyciu pełnych bloczków silikatowych i obustronnej warstwy tynku grubości 10 mm do spełnienia normy wystarczy przegroda grubości 18 cm.

## **Komfort**

Z uwagi na naturalny skład surowcowy silikaty mogą rywalizować o miano najzdrowszego materiału budowlanego. Dzięki wykorzystaniu w procesie produkcji wyłącznie naturalnych surowców bez dodatków chemicznych otrzymuje się materiał posiadający najniższy czynnik promieniotwórczości naturalnej. Silikaty na każdym etapie istnienia są przyjazne dla środowiska naturalnego. Wyroby silikatowe są ekologiczne przez cały cykl życia materiału; zarówno podczas energooszczędnego procesu produkcji, jak i wznoszenia przegród, a także w czasie eksploatacji i recyklingu.

Silikaty posiadają jedną z najwyższych paroprzepuszczalności wśród materiałów budowlanych, a co za tym idzie stanowią dobre zabezpieczenie przed rozwojem grzybów i flory bakteryjnej. Także wapno będące jednym ze składników bloczków silikatowych zabezpiecza przed pojawieniem się mikroorganizmów oraz grzybów, co dodatkowo podnosi walory zdrowotne mieszkań.

Ściany wykonane z bloczków silikatowych to gwarancja optymalnej wilgotności w pomieszczeniach. Przyjmują one nadmierną wilgotność powietrza i oddają ją z powrotem, jeśli wilgotność w pomieszczeniach opada. Wpływa to na utrzymanie właściwego poziomu wilgoci. Przy zbyt dużej wilgotności będzie ochraniać przed rozwojem pleśni. Zbyt suche miejsca przyczyniają się do alergii na kurz, podrażnienia błony śluzowej i trudności oddechowych. Dlatego ściany wznoszone z wyrobów silikatowych zachowują w pomieszczeniach optymalną wilgotność między 40% a 60%. Dzięki swojej wysokiej gęstości silikat posiada zdolność akumulacji termicznej i dlatego idealnie nadaje się do ścian wewnętrznych. Nadmiar ciepła jest magazynowany, a gdy następuje spadek temperatury w pomieszczeniach zapasy ciepła są oddawane. Dzięki temu zimą oszczędzamy na energii cieplnej, zaś latem otrzymujemy przyjemny klimat pomieszczenia - latem daje odczucie chłodu, a zimą zabezpiecza przed gwałtownym spadkiem temperatury. Tak wspomaga dobrą „klimatyzację” i wyrównanie temperatury.

### Niski koszt

Zaletą mającą znaczenie przy planowaniu inwestycji jest niska cena. Proces technologiczny bloczków silikatowych gwarantuje dużą dokładność wymiarów. Dzięki temu znacznej redukcji ulegają koszty wykończeniowe. Proces murowania przebiega szybko, sprawnie i estetycznie. Duża dokładność elementów silikatowych pozwala na zastosowanie zapraw do cienkich spoin i bezpośrednio malowanie powierzchni ścian, co także dodatkowo obniża koszty budowy.

## 2. Wymagania ustawowe z zakresu ochrony cieplnej i energooszczędności obiektów budowlanych

Podstawą wszelkiej działalności w budownictwie jest Ustawa (UPb) [N16], która obejmuje zasady projektowania budowy, utrzymywania i rozbiórki obiektów budowlanych oraz określa zasady działania organów administracji publicznej w tych dziedzinach. Przywołuje ona przepisy wykonawcze, do których zaliczają się:

- 1) warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane i ich usytuowanie, uwzględniające wymagania, o których mowa w art. 5 ust. 1÷2a [N13],
- 2) warunki techniczne użytkowania obiektów budowlanych (art. 5 ust. 2, Rozdział 6) [N14].

Ustawa Prawo budowlane wdraża również postanowienia niektórych dyrektyw Unii Europejskiej, takich jak:

- 1) dyrektywy Rady 92/57/EWG z dnia 24 czerwca 1992 r. w sprawie wdrożenia minimalnych wymagań bezpieczeństwa i ochrony zdrowia na tymczasowych lub ruchomych budowach (ósma szczegółowa dyrektywa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) (Dz. Urz. WE L 245 z 26.08.1992, str. 6; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 5, t. 2, str. 71)
- 2) **częściowo dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz. Urz. UE L 153 z 18.06.2010,,) , gdzie m.in. w art. 2 podano definicje, natomiast w art. 9 scharakteryzowane zostały budynki niskoenergetyczne (o niemal zerowym zużyciu energii):**

### 2.1) Art. 2 Definicje

Do celów niniejszej dyrektywy stosuje się następujące definicje:

- „budynek” oznacza konstrukcję zadaszoną, posiadającą ściany, w której do utrzymania klimatu wewnętrznego stosowana jest energia;
- „budynek o niemal zerowym zużyciu energii” oznacza budynek o bardzo wysokiej charakterystyce energetycznej określonej zgodnie z załącznikiem I. Niemal zerowa lub bardzo niska ilość wymaganej energii powinna pochodzić w bardzo wysokim stopniu z energii ze źródeł odnawialnych, w tym energii ze źródeł odnawialnych wytwarzanej na miejscu lub w pobliżu
- „system techniczny budynku” oznacza urządzenia techniczne do ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, ciepłej wody, oświetlenia budynku albo modułów budynku, lub ich kombinację
- „charakterystyka energetyczna budynku” oznacza obliczoną lub zmierzoną ilość energii potrzebnej do zaspokojenia zapotrzebowania na energię związanego z typowym użytkowaniem budynku, która obejmuje m.in. energię na potrzeby ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, ciepłej wody i oświetlenia
- „energia pierwotna” oznacza energię pochodzącą z odnawialnych i nieodnawialnych źródeł, która nie została poddana żadnemu procesowi przemiany lub transformacji
- „energia ze źródeł odnawialnych” oznacza energię pochodzącą z niekopalnych źródeł odnawialnych, a mianowicie energię wiatru, energię promieniowania słonecznego, energię aerothermalną, geothermalną i hydrothermalną i energię oceanów, hydroenergię, energię pozyskiwaną z biomasy, gazu pochodzącego z wysypisk śmieci, oczyszczalni ścieków i ze źródeł biologicznych (biogaz)
- „przegrody zewnętrzne” oznaczają zintegrowane elementy budynku, które oddzielają jego wnętrze od środowiska zewnętrznego
- „moduł budynku” oznacza sekcję, piętro lub mieszkanie w budynku zaprojektowane bądź przerobione do odrębnego użycia
- „element budynku” oznacza system techniczny budynku lub element przegród zewnętrznych budynku.

## **2.2) Art. 9 Budynki o niemal zerowym zużyciu energii**

Państwa członkowskie zapewniają, aby:

- a) do dnia 31 grudnia 2020 r. wszystkie nowe budynki były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii; oraz po dniu 31 grudnia 2018 r. nowe budynki zajmowane przez władze publiczne oraz będące ich własnością były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii,
  - b) Państwa członkowskie opracowują krajowe plany mające na celu zwiększenie liczby budynków o niemal zerowym zużyciu energii. Te krajowe plany mogą zawierać założenia zróżnicowane w zależności od kategorii budynku,
  - c) Państwa członkowskie – idąc za przykładem sektora publicznego – opracowują politykę i podejmują działania, takie jak opracowywanie założeń służących pobudzaniu do przekształcania budynków poddawanych renowacji w budynki o niemal zerowym zużyciu energii, i informują o tym Komisję w swoich krajowych planach, o których mowa w ust. 1.
- 3)** częściowo dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniającej i w następstwie uchylającej dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dz. Urz. UE L 140 z 05.06.2009, z późn. zm.).

Ponadto wiele innych ustaw i rozporządzeń powołuje w swojej treści zapisy **Ustawy Prawo budowlane (UPb)**, w tym głównie definicje legalne zapisane w Art.3.

Poniżej wymieniono kilka z nich, chociaż należałoby podkreślić, że uczestnicy procesu budowlanego mają sporo problemów z jednoznacznym posługiwaniem się podstawowymi definicjami, opierając się na dosyć nieprecyzyjnym zapisie Art.3. Definicje legalne, w swoich zapisach zawierają również inne terminy i pojęcia, które ani w samej UPb, ani w przepisach wykonawczych nie zostały określone. Stąd też są nader często interpretowalne, zarówno przez uczestników procesu budowlanego, jak i spore grono prawników specjalizujących się w dziedzinie prawa budowlanego. Niestabilność UPb, związana z wprowadzaniem w nim ciągłych zmian i korekt, powoduje, że wymusza ono na uczestnikach

procesu budowlanego oraz innych osobach mających styczność z tym procesem monitorowanie częstych poprawek i aktualizacji, a przecież powinno ono stanowić trwałą podstawę działalności budowlanej.

Poniżej wymieniono kilka z definicji legalnych, jakie Ustawodawca zamieścił w **Art.3 UPb [N16]**, i tak ilekroć w ustawie (UPb) mowa o:

- **obiekcie budowlanym** – należy przez to rozumieć budynek, budowlę bądź obiekt małej architektury, wraz z instalacjami zapewniającymi możliwość użytkowania obiektu zgodnie z jego przeznaczeniem, wzniesiony z użyciem wyrobów budowlanych;
- budynku – należy przez to rozumieć taki obiekt budowlany, który jest trwale związany z gruntem, wydzielony z przestrzeni za pomocą przegród budowlanych oraz posiada fundamenty i dach.
- budynku mieszkalnym jednorodzinny – należy przez to rozumieć budynek wolno stojący albo budynek w zabudowie bliźniaczej, szeregowej lub grupowej, służący zaspokajaniu potrzeb mieszkaniowych, stanowiący konstrukcyjnie samodzielną całość, w którym dopuszcza się wydzielenie nie więcej niż dwóch lokali mieszkalnych albo jednego lokalu mieszkalnego i lokalu użytkowego o powierzchni całkowitej nieprzekraczającej 30% powierzchni całkowitej budynku.
- budowie – należy przez to rozumieć wykonywanie obiektu budowlanego w określonym miejscu, a także odbudowę, rozbudowę, nadbudowę obiektu budowlanego.
- robotach budowlanych – należy przez to rozumieć budowę, a także prace polegające na przebudowie, montażu, remoncie lub rozbiórce obiektu budowlanego.
- przebudowie – należy przez to rozumieć wykonywanie robót budowlanych, w wyniku których następuje zmiana parametrów użytkowych lub technicznych istniejącego obiektu budowlanego, z wyjątkiem charakterystycznych parametrów, takich jak: kubatura, powierzchnia zabudowy, wysokość, długość, szerokość bądź liczba kondygnacji;
- remoncie – należy przez to rozumieć wykonywanie w istniejącym obiekcie budowlanym robót budowlanych polegających na odtworzeniu stanu pierwotnego, a niestanowiących bieżącej konserwacji, przy czym dopuszcza się stosowanie wyrobów budowlanych innych niż użyto w stanie pierwotnym
- dokumentacji budowy – należy przez to rozumieć pozwolenie na budowę wraz z załączonym projektem budowlanym, dziennik budowy, protokoły odbiorów częściowych i końcowych, w miarę potrzeby, rysunki i opisy służące realizacji obiektu, operaty geodezyjne i książkę obmiarów, a w przypadku realizacji obiektów metodą montażu – także dziennik montażu.
- dokumentacji powykonawczej – należy przez to rozumieć dokumentację budowy z naniesionymi zmianami dokonanymi w toku wykonywania robót oraz geodezyjnymi pomiarami powykonawczymi.

Dosyć często zarówno uczestnicy procesu budowlanego, jak i osoby całkowicie postronne mylą te pojęcia, szczególnie gdy dotyczą odróżnienia budynku od budowli, remontu od przebudowy, rozbudowy i nadbudowy.

Ogólnie można przyjąć, że to Art.5 UPb [N16] określa i narzuca zasady bezpiecznego budowania i eksploataowania obiektów budowlanych.

**Art. 5.1. Obiekt budowlany, jako całość oraz jego poszczególne części**, wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, **biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania**, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając:

- 1) spełnienie podstawowych wymagań dotyczących obiektów budowlanych określonych w załączniku I do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylającego dyrektywę Rady 89/106/EWG (Dz. Urz. UE L 88 z 04.04.2011, str. 5, z późn. zm.), dotyczących:
  - a) nośności i stateczności konstrukcji,
  - b) bezpieczeństwa pożarowego,
  - c) higieny, zdrowia i środowiska,
  - d) bezpieczeństwa użytkowania i dostępności obiektów,
  - e) ochrony przed hałasem,

**f) oszczędności energii i izolacyjności cieplnej,**

g) zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych.

2) warunki użytkowe zgodne z przeznaczeniem obiektu, w szczególności w zakresie:

a) zaopatrzenia w wodę i energię elektryczną oraz, odpowiednio do potrzeb, w energię cieplną i paliwa, przy założeniu efektywnego wykorzystania tych czynników;

b) usuwania ścieków, wody opadowej i odpadów.

c) 2a) możliwość dostępu do usług telekomunikacyjnych, w szczególności w zakresie szerokopasmowego dostępu do Internetu;

3) możliwość utrzymania właściwego stanu technicznego;

4) niezbędne warunki do korzystania z obiektów użyteczności publicznej i mieszkaniowego budownictwa wielorodzinnego przez osoby niepełnosprawne, w szczególności poruszające się na wózkach inwalidzkich;

5) warunki bezpieczeństwa i higieny pracy;

6) ochronę ludności, zgodnie z wymaganiami obrony cywilnej;

7) ochronę obiektów wpisanych do rejestru zabytków oraz obiektów objętych ochroną konserwatorską;

8) odpowiednie usytuowanie na działce budowlanej;

9) poszanowanie, występujących w obszarze oddziaływania obiektu, uzasadnionych interesów osób trzecich, w tym zapewnienie dostępu do drogi publicznej;

10) warunki bezpieczeństwa i ochrony zdrowia osób przebywających na terenie budowy.

**Art. 5.2. Obiekt budowlany należy użytkować w sposób zgodny z jego przeznaczeniem** i wymaganiami ochrony środowiska oraz **utrzymywać w należyтым stanie technicznym** i estetycznym, nie dopuszczając do nadmiernego pogorszenia jego właściwości użytkowych i sprawności technicznej, w szczególności w zakresie związanym z wymaganiami, o których mowa w ust. 1 pkt 1–7.

**2a.** W nowych budynkach oraz istniejących budynkach poddawanych przebudowie lub przedsięwzięciu służącemu poprawie efektywności energetycznej w rozumieniu przepisów o efektywności energetycznej, które są użytkowane przez jednostki sektora finansów publicznych w rozumieniu przepisów o finansach publicznych, zaleca się stosowanie urządzeń wykorzystujących energię wytworzoną w odnawialnych źródłach energii, oraz technologie mające na celu budowę budynków o wysokiej charakterystyce energetycznej.

**2b.** W przypadku robót budowlanych polegających na dociepleniu budynku, obejmujących ponad 25% powierzchni przegród zewnętrznych tego budynku, należy spełnić wymagania minimalne dotyczące energooszczędności i ochrony cieplnej przewidziane w przepisach techniczno-budowlanych dla przebudowy budynku.

Jednym z przepisów przywoływanych przez UPb [N16] jest Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [N13], które stosuje się przy projektowaniu, budowie i przebudowie oraz przy zmianie sposobu użytkowania budynków oraz budowli nadziemnych i podziemnych spełniających funkcje użytkowe budynków, a także do związanych z nimi urządzeń budowlanych, a także przy nadbudowie, rozbudowie, przebudowie i zmianie sposobu użytkowania, stosuje się je do:

a) budynków o powierzchni użytkowej nieprzekraczającej 1000 m<sup>2</sup>,

b) budynków o powierzchni użytkowej przekraczającej 1000 m<sup>2</sup>, o których mowa w art. 5 ust. 7 pkt 1–4 i 64 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane

Należy tu zwrócić uwagę na to, że zarówno UPb, jak i cytowane wyżej rozporządzenie [N8] nie definiują pojęcia powierzchni użytkowej. Obecnie wyliczenie kubatury i powierzchni budynku możliwe jest, jeśli weźmie się pod uwagę 3 normy:

a) PN-69/B-02360 Kubatura budynków. Zasady obliczania



- b) PN-70/B-02365 Powierzchnia budynków. Podział, określenia i zasady obmiaru
- c) PN-ISO 9836/1997 Właściwości użytkowe w budownictwie. Określanie i obliczanie wskaźników powierzchniowych i kubaturowych, uzupełnionej w 2002 r. Komentarzem PN-ISO 9836/2002 Właściwości użytkowe w budownictwie. Określanie i obliczanie wskaźników powierzchniowych i kubaturowych.

W art. 5.1 UPb [N16] zapisano, że obiekty budowlane należy projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej. Ustawa nie precyzuje tu, o jakie zasady wiedzy technicznej chodzi, nie mniej jednak należy domniemać, że ustawodawca miał na myśli m.in. Polskie Normy PN-B i PN-EN. Na mocy Ustawy o normalizacji normy mają status nieobowiązujących. Normy dotyczące obliczania powierzchni i kubatury budynków [N5], [N10], [N11] nie znalazły się w załączniku Nr 1 do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. [N16] Normę PN-ISO 9836/1997 [N5] przywołuje natomiast Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego [N15], dla obiektów nowo projektowanych.

Rozporządzenie [N13] w § 3 zawiera również definicje legalne, i tak ilekroć w nim mowa o:

**budynku mieszkalnym** – należy przez to rozumieć:

- a) budynek mieszkalny wielorodzinny
- b) budynek mieszkalny jednorodzinny;

**budynku zamieszkania zbiorowego** – należy przez to rozumieć budynek przeznaczony do okresowego pobytu ludzi, w szczególności hotel, motel, pensjonat, dom wypoczynkowy, dom wycieczkowy, schronisko młodzieżowe, schronisko, internat, dom studencki, budynek koszarowy, budynek zakwaterowania na terenie zakładu karnego, aresztu śledczego, zakładu poprawczego, schroniska dla nieletnich, a także budynek do stałego pobytu ludzi, w szczególności dom dziecka, dom rencistów i dom zakonny;

**budynku użyteczności publicznej** – należy przez to rozumieć budynek przeznaczony na potrzeby administracji publicznej, wymiaru sprawiedliwości, kultury, kultu religijnego, oświaty, szkolnictwa wyższego, nauki, wychowania, opieki zdrowotnej, społecznej lub socjalnej, obsługi bankowej, handlu, gastronomii, usług, w tym usług pocztowych lub telekomunikacyjnych, turystyki, sportu, obsługi pasażerów w transporcie kolejowym, drogowym, lotniczym, morskim lub wodnym śródlądowym, oraz inny budynek przeznaczony do wykonywania podobnych funkcji; za budynek użyteczności publicznej uznaje się także budynek biurowy lub socjalny.

## **DZIAŁ X Rozporządzenia został w całości poświęcony oszczędności energii i izolacyjności cieplnej [N8]**

Poniżej wymieniono podstawowe wymagania dotyczące projektowania obiektów budowlanych, poddawanych przebudowie, rozbudowie i nadbudowie, w zakresie oszczędności energii i izolacyjności cieplnej.

**§ 328.1** Budynek i jego instalacje ogrzewcze, wentylacyjne, klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych – również oświetlenia wbudowanego, powinny być zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający spełnienie następujących wymagań minimalnych:

- 1) wartość wskaźnika EP [kWh/(m<sup>2</sup>·rok)] określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej, a w przypadku budynków użyteczności publicznej, zamieszkania zbiorowego, produkcyjnych, gospodarczych i magazynowych – również do oświetlenia wbudowanego, obliczona według przepisów dotyczących metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków, jest mniejsza od wartości obliczonej zgodnie ze wzorem, o którym mowa w § 329 ust. 1 lub 3, przy uwzględnieniu cząstkowych maksymalnych wartości wskaźnika EP, o których mowa w § 329 ust. 2;
- 2) przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w załączniku nr 2 do rozporządzenia oraz powierzchnia okien odpowiada wymaganiom określonym w pkt 2.1. załącznika nr 2 do rozporządzenia.

- 1a.** Wymagania minimalne, o których mowa w ust. 1, uznaje się za spełnione dla budynku podlegającego przebudowie, jeżeli przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku podlegające przebudowie odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w załączniku nr 2 do rozporządzenia oraz powierzchnia okien odpowiada wymaganiom określonym w pkt 2.1. załącznika nr 2 do rozporządzenia.
- 2.** Budynek powinien być zaprojektowany i wykonany w taki sposób, aby ograniczyć ryzyko przegrzewania budynku w okresie letnim.

**§ 329.1.** Maksymalną wartość wskaźnika EP określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz oświetlenia oblicza się zgodnie z poniższym wzorem (1):

$$EP = EP_{H+W} + \Delta EP_C + \Delta EP_L \text{ [kWh/(m}^2\cdot\text{rok)]} \quad (1)$$

gdzie:

$EP_{H+W}$  – cząstkowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej,

$\Delta EP_C$  – cząstkowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby chłodzenia,

$\Delta EP_L$  – cząstkowa maksymalna wartość wskaźnika EP na potrzeby oświetlenia.

**2.** Cząstkowe maksymalne wartości wskaźnika EP wynoszą:

1) na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej zamieszczono w Tabelicy 1:

*Tabelica 1. Cząstkowe wartości wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej*

Lp.	Rodzaj budynku	Cząstkowe wartości wskaźnika EP na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowywania ciepłej wody $EP_{H+W}$ [kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)]		
		31 grudnia 2016 r. (informacyjnie)	od 1 stycznia 2017 r.	od 31 grudnia 2020 r. <sup>*)</sup>
1	2	3		
1	Budynek mieszkalny: a) jednorodzinny b) wielorodzinny	120 105	95 85	70 65
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	95	85	75
3	Budynek użyteczności publicznej: a) opieki zdrowotnej b) pozostałe	390 65	290 60	190 45
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny	110	90	70

<sup>\*)</sup> Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynku zajmowanego przez organ wymiaru sprawiedliwości, prokuraturę lub organ administracji publicznej i będącego jego własnością.

2) na potrzeby chłodzenia zamieszczono w Tabelicy 2:

*Tabelica 2. Cząstkowe wartości wskaźnika EP na potrzeby chłodzenia*

Lp.	Rodzaj budynku	Cząstkowe wartości wskaźnika EP na potrzeby chłodzenia $\Delta EP_C$ [kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)] <sup>*)</sup>		
		31 grudnia 2016 r. (informacyjnie)	od 1 stycznia 2017 r.	od 31 grudnia 2021 r. <sup>**)</sup>
1	2	3		



1	Budynek mieszkalny: a) jednorodzinny b) wielorodzinny	$\Delta EP_c = 10 \cdot A_{f,c} / A_f$	$\Delta EP_c = 10 \cdot A_{f,c} / A_f$	$\Delta EP_c = 5 \cdot A_{f,c} / A_f$
2	Budynek zamieszkania zbiorowego	$\Delta EP_c = 25 \cdot A_{f,c} / A_f$	$\Delta EP_c = 25 \cdot A_{f,c} / A_f$	$\Delta EP_c = 25 \cdot A_{f,c} / A_f$
3	Budynek użyteczności publicznej: a) opieki zdrowotnej b) pozostałe			
4	Budynek gospodarczy, magazynowy i produkcyjny			

gdzie:

$A_f$  – powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (ogrzewana lub chłodzona), określona zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 15 ustawy z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków [m<sup>2</sup>],

$A_{f,c}$  – powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (chłodzona), określona zgodnie z ww. przepisami [m<sup>2</sup>].

\*) Jeżeli budynek posiada instalację chłodzenia, w przeciwnym przypadku  $\Delta EP_c = 0$  kWh/(m<sup>2</sup>·rok).

\*\*) Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynku zajmowanego przez organ wymiaru sprawiedliwości, prokuraturę lub organ administracji publicznej i będącego jego własnością.

**3.** W przypadku budynku o różnych funkcjach użytkowych maksymalną wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP oblicza się zgodnie z poniższym wzorem (2):

$$EP = \sum_i (EP_i \cdot A_{f,i}) / \sum_i A_{f,i} \text{ [kWh/(m}^2\text{·rok)]} \quad (2)$$

gdzie:

$EP_i$  – wartość wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP dla części budynku o jednolitej funkcji użytkowej o powierzchni  $A_{f,i}$ , obliczona zgodnie ze wzorem zawartym w ust. 1,

$A_{f,i}$  – powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (ogrzewana lub chłodzona) dla części budynku o jednolitej funkcji użytkowej, określona zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 15 ustawy z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków.

**4.** Wymagania określone w § 328 ust. 2 uznaje się za spełnione, jeżeli okna oraz inne przegrody przeszklone i przezroczyste odpowiadają przynajmniej wymaganiom określonym w pkt 2.1.1. załącznika nr 2 do Rozporządzenia [N13].

**W Załączniku 2 do Rozporządzenia [N13]** sprecyzowano wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej i inne, związane z oszczędnością energii.

## 1. Izolacyjność cieplna przegród [N13]

**1.1.** 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 Tablicy 3:

Tablica 3. Maksymalne wartości współczynnika przenikania ciepła  $U_c$  ścian, dachów i stropodachów

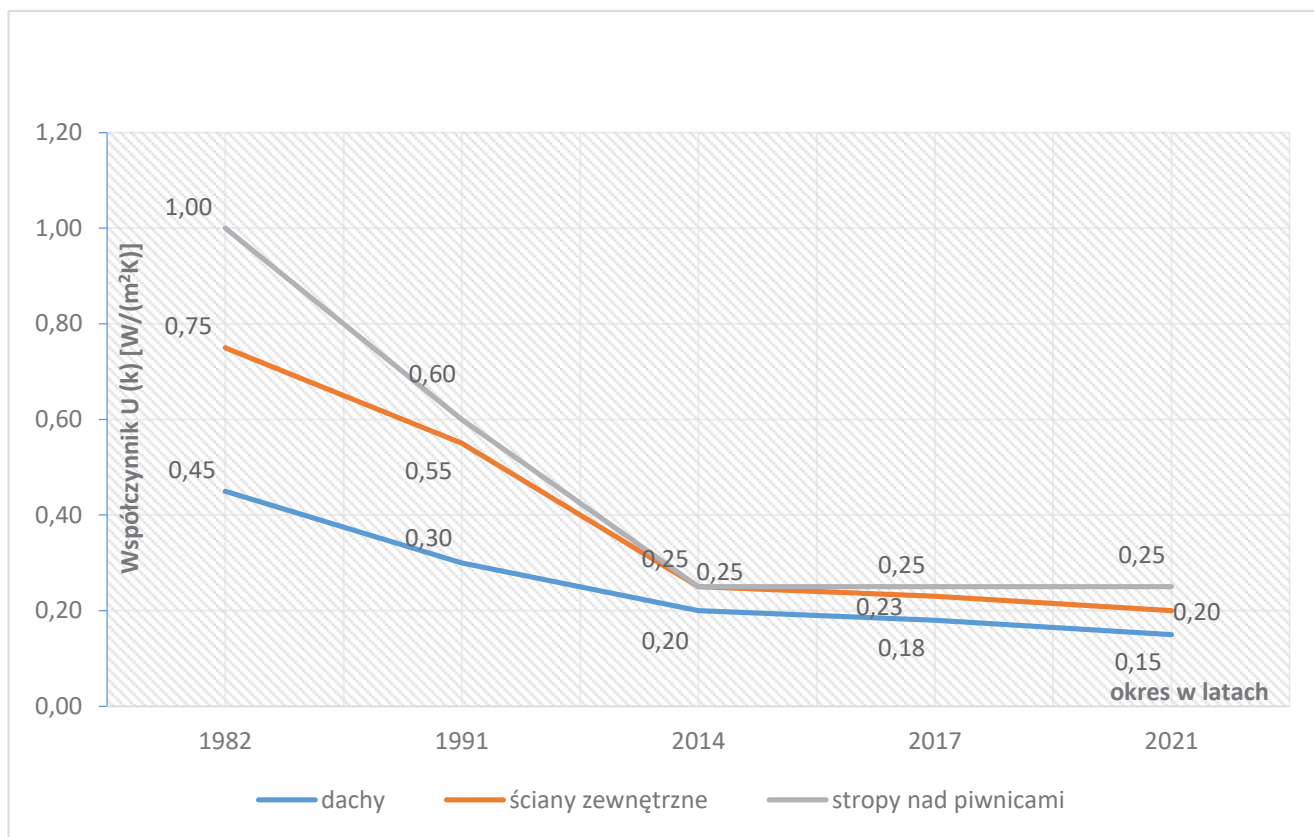
Lp.	Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]		
		31 grudnia 2016 r. (informacyjnie)	od 1 stycznia 2017 r.	od 31 grudnia 2020 r.*)
1	2	3		

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 $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,25 0,45 0,90	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	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 głębokość co najmniej 20 cm b) powyżej 5 cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	1,00 0,70	1,00 0,70	1,00 0,70
4	Ściany nieogrzewanych kondygnacji podziemnych	bez wymagań	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 $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,20 0,30 0,70	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	0,30 1,20 1,50
6	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	0,25 0,30 1,00
6	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	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.

\*) Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynku zajmowanego przez organ wymiaru sprawiedliwości, prokuraturę lub organ administracji publicznej i będącego jego własnością.



Rysunek 1. Historia i prognoza wymagań w stosunku do izolacyjności niektórych przegród budynków na przestrzeni lat 1982÷2021, opisana współczynnikiem przenikania ciepła k lub U [W/(m²·K)] [2]

**1.2.** Wartości współczynnika przenikania ciepła U okien, drzwi balkonowych i drzwi zewnętrznych nie mogą być większe niż wartości  $U_{(max)}$  określone w Tabelicy 4:

Tabelica 4. Maksymalne wartości współczynnika przenikania ciepła  $U_c$  okien, drzwi balkonowych i zewnętrznych

Lp.	Okna i drzwi balkonowe i drzwi zewnętrzne	Współczynnik przenikania ciepła $U_{c(max)}$ [W/(m²·K)]		
		31 grudnia 2016 r. (informacyjnie)	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 $t_i < 16^\circ\text{C}$	1,3 1,8	1,1 1,6	0,9 1,4
2	Okna połaciowe: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $t_i < 16^\circ\text{C}$	1,5 1,8	1,3 1,6	1,1 1,4
3	Okna w ścianach wewnętrznych: a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$	1,5	1,3	1,1
	b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
	c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,5	1,3	1,1

4	Drzwi w przegrodach zewnętrznych lub w przegrodach między pomieszczeniami ogrzewanymi i nieogrzewanymi	1,7	1,5	1,3
5	Okna i drzwi zewnętrzne w przegrodach zewnętrznych pomieszczeń ogrzewanych	bez wymagań	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.  
<sup>\*)</sup> Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynku zajmowanego przez organ wymiaru sprawiedliwości, prokuraturę lub organ administracji publicznej i będącego jego własnością.

**1.3.** Dopuszcza się dla budynku produkcyjnego, magazynowego i gospodarczego większe wartości współczynnika  $U$  niż  $U_{C(max)}$  oraz  $U_{(max)}$  określone w pkt 1.1. i 1.2., jeżeli uzasadnia to rachunek efektywności ekonomicznej inwestycji, obejmujący koszty budowy i eksploatacji budynku.

**1.4.** W budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej, produkcyjnym, magazynowym i gospodarczym podłoga na gruncie w ogrzewanym pomieszczeniu powinna mieć izolację cieplną obwodową z materiału izolacyjnego w postaci warstwy o oporze cieplnym co najmniej  $2,0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ , przy czym opór cieplny warstw podłogowych oblicza się zgodnie z Polskimi Normami, o których mowa w pkt 1.1.

## 2. Inne wymagania związane z oszczędnością energii [N13]

### 2.1. Okna

**2.1.1.** We wszystkich rodzajach budynków współczynnik przepuszczalności energii całkowitej promieniowania słonecznego okien oraz przegród szklanych i przezroczystych  $g$  liczony według wzoru (3):

$$g = f_c \cdot g_n \quad (3)$$

gdzie:

$g_n$  – współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla typu oszklenia,

$f_c$  – współczynnik redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwsłoneczne, w okresie letnim nie może być większy niż 0,35.

**2.1.2.** Wartości współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego dla typu oszklenia  $g_n$  należy przyjmować na podstawie deklaracji właściwości użytkowych okna. W przypadku braku danych wartość  $g_n$  można przyjąć z Tablicy 5:

Tablica 5. Wartości współczynnika całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego  $g_n$

Lp.	Typ oszklenia	Współczynnik całkowitej przepuszczalności energii promieniowania słonecznego $g_n$
1	2	3
1	Pojedynczo szklone	0,85
2	Podwójnie szklone	0,75
3	Podwójnie szklone z powłoką selektywną	0,67
4	Potrójnie szklone	0,70
5	Potrójnie szklone z powłoką selektywną	0,50
6	Okna podwójne	0,75

**2.1.3.** Wartości współczynnika redukcji promieniowania ze względu na zastosowane urządzenia przeciwśoneczne  $f_c$  można przyjąć z Tablicy 6:

Tablica 6. Wartości współczynnika redukcji promieniowania  $f_c$

Lp.	Typ zasłon	Właściwości optyczne		Współczynnik redukcji promieniowania $f_c$	
		współczynnik absorpcji	współczynnik przepuszczalności	ośłona wewnętrzna	ośłona zewnętrzna
1	2	3	4	5	6
1	Białe żaluzje o lamelach nastawnych	0,1	0,05 0,1 0,3	0,25 0,30 0,45	0,10 0,15 0,35
2	Zasłony białe	0,1	0,5 0,7 0,9	0,65 0,80 0,95	0,55 0,75 0,95
3	Zasłony kolorowe	0,3	0,1 0,3 0,5	0,42 0,57 0,77	0,17 0,37 0,57
4	Zasłony z powłoką aluminiową	0,2	0,05	0,20	0,08

**2.1.4.** Punktu 2.1.4. nie stosuje się w odniesieniu do powierzchni pionowych oraz powierzchni nachylonych więcej niż 60 stopni do poziomu, skierowanych w kierunkach od północno-zachodniego do północno-wschodniego (kierunek północny +/- 45 stopni), okien chronionych przed promieniowaniem słonecznym elementem zacieniającym, spełniającym wymagania, o których mowa w pkt 2.1.1., oraz do okien o powierzchni mniejszej niż 0,5 m<sup>2</sup>.

**2.2.** Warunki spełnienia wymagań dotyczących powierzchniowej kondensacji pary wodnej.

**2.2.1.** W celu zachowania warunku, o którym mowa w § 321 ust. 1 rozporządzenia, w odniesieniu do przegród zewnętrznych budynków mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej, produkcyjnych, magazynowych i gospodarczych rozwiązania przegród zewnętrznych i ich węzłów konstrukcyjnych powinny charakteryzować się współczynnikiem temperaturowym  $f_{Rsi}$  o wartości nie mniejszej niż wymagana wartość krytyczna, obliczona zgodnie z Polską Normą dotyczącą metody obliczania temperatury powierzchni wewnętrznej koniecznej do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacji międzywarstwowej.

**2.2.2.** Wymaganą wartość krytyczną współczynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$  w pomieszczeniach ogrzewanych do temperatury co najmniej 20°C w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej należy określać według rozdziału 5. Polskiej Normy, o której mowa w pkt 2.2.1., przy założeniu, że średnia miesięczna wartość wilgotności względnej powietrza wewnętrznego jest równa  $\phi = 50\%$ , przy czym dopuszcza się przyjmowanie wymaganej wartości tego współczynnika równej 0,72.

**2.2.3.** Wartość współczynnika temperaturowego charakteryzującego zastosowane rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe należy obliczać:

- 1) dla przegrody – według Polskiej Normy, o której mowa w pkt 2.2.1.,
- 2) dla mostków cieplnych przy zastosowaniu przestrzennego modelu przegrody – według Polskiej Normy dotyczącej obliczania strumieni cieplnych i temperatury powierzchni.

**2.2.4.** Sprawdzenie warunku, o którym mowa w § 321 ust. 1 i 2 rozporządzenia, należy przeprowadzać według rozdziału 5. i 6. Polskiej Normy, o której mowa w pkt 2.2.1.

**2.2.5.** Dopuszcza się kondensację pary wodnej, o której mowa w § 321 ust. 2 rozporządzenia, wewnątrz przegrody w okresie zimowym, o ile struktura przegrody umożliwi wyparowanie kondensatu w okresie letnim i nie nastąpi przy tym degradacja materiałów budowlanych przegrody na skutek tej kondensacji.

### **2.3. Szczelność na przenikanie powietrza**

**2.3.1.** W budynku mieszkalnym, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjnym przegrody zewnętrzne nieprzezroczyste, złącza między przegrodami i częściami przegród (między innymi połączenie stropodachów lub dachów ze ścianami zewnętrznymi), przejścia elementów instalacji (takie jak kanały instalacji wentylacyjnej i spalinowej przez przegrody zewnętrzne) oraz połączenia okien z ościeżami należy projektować i wykonywać pod kątem osiągnięcia ich całkowitej szczelności na przenikanie powietrza.

**2.3.2.** W budynkach niskich, średniowysokich i wysokich przepuszczalność powietrza dla okien i drzwi balkonowych przy ciśnieniu równym 100 Pa wynosi nie więcej niż 2,25 m<sup>3</sup>/(m·h) w odniesieniu do długości linii stykowej lub 9 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h) w odniesieniu do pola powierzchni, co odpowiada klasie 3. Polskiej Normy dotyczącej przepuszczalności powietrza okien i drzwi. Dla okien i drzwi balkonowych w budynkach wysokościowych przepuszczalność powietrza przy ciśnieniu równym 100 Pa wynosi nie więcej niż 0,75 m<sup>3</sup>/(m·h) w odniesieniu do długości linii stykowej lub 3 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h) w odniesieniu do pola powierzchni, co odpowiada klasie 4. Polskiej Normy dotyczącej przepuszczalności powietrza okien i drzwi.

**2.3.3.** Zalecana szczelność powietrzna budynków wynosi:

- a) w budynkach z wentylacją grawitacyjną lub wentylacją hybrydową –  $n_{50} < 3,0$  1/h;
- b) w budynkach z wentylacją mechaniczną lub klimatyzacją –  $n_{50} < 1,5$  1/h.

**2.3.4.** Zalecane jest, by po zakończeniu budowy budynek mieszkalny, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjny został poddany próbie szczelności przeprowadzonej zgodnie z Polską Normą dotyczącą określania przepuszczalności powietrznej budynków w celu uzyskania zalecanej szczelności budynków określonej w pkt 2.3.3.

Dla zapewnienia prawidłowej eksploatacji pomieszczeń w budynkach, a także w celu utrzymania ich przegród budowlanych w należytym stanie technicznym wymagane **jest utrzymywanie wymian zużytego powietrza na odpowiednio bezpiecznym poziomie**. Wymagania te zostały określone m.in. w **Polskiej Normie dot. wentylacji w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej [N8]**, która z wyjątkiem p.5.2.1 i 5.2.3 jest przywoływana w załączniku nr 1 do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. Co prawda Rozporządzenie [N8] dotyczy obiektów nowo wznoszonych, a także poddawanych przebudowie lub zmianie sposobu użytkowania, ale powinno być również stosowane do budynków eksploatowanych.

Układ wentylacji pomieszczeń powinien zapewnić skuteczne usuwanie zużytego powietrza z takich pomieszczeń jak: kuchnie, łazienki, oddzielne ustępy, pomieszczenia bezokienne, pokoje oddzielone od tych pomieszczeń więcej niż dwójmiejscami, pokoje znajdujące się na wyższych poziomach w wielopoziomowych budynkach jednorodzinnych lub wielopoziomowych mieszkaniach w budynkach wielorodzinnych.

Strumień objętości powietrza wentylacyjnego dla mieszkania określony jest przez sumę strumieni powietrza usuwanych z pomieszczeń wymienionych wyżej, które powinny być nie mniejsze niż [N6]:

- 70 m<sup>3</sup>/h – dla kuchni z oknem zewnętrznym, wyposażonej w kuchnię gazową lub węglową,
- dla kuchni z oknem zewnętrznym, wyposażonej w kuchnię elektryczną:
  - > 30 m<sup>3</sup>/h – w mieszkaniu do 3 osób,
  - > 50 m<sup>3</sup>/h – w mieszkaniu dla więcej niż 3 osób,
- 50 m<sup>3</sup>/h – dla kuchni bez okna zewnętrznego lub dla wnęki kuchennej, wyposażonej w kuchnię,
- 50 m<sup>3</sup>/h – dla łazienki (z ustępem lub bez),
- 30 m<sup>3</sup>/h – dla pokoi, wymienionych wyżej,
- 30 m<sup>3</sup>/h – dla oddzielnego ustępu.

Kuchnie bez okna zewnętrznego, wyposażone w kuchnię gazową powinny mieć mechaniczną wentylację wywiewną

– usuwany strumień powietrza powinien wynosić 70 m<sup>3</sup>/h.

### **Zapewnienie dopływu i odpływu powietrza do i z pokoi mieszkalnych i kuchni z oknem zewnętrznym [N6].**

Dopływ powietrza do pomieszczeń powinien być zapewniony w przypadku zastosowania okien charakteryzujących się współczynnikiem infiltracji powietrza „a” mniejszym niż 0,3m<sup>3</sup>/(m·h·daPa<sup>2/3</sup>) przez nawiewniki powietrza o regulowanym stopniu otwarcia usytuowane:

- w górnej części okna (w ościeżnicy, ramie skrzydła, między ramą skrzydła a górną krawędzią szyby zespolonej) lub
- w otworze okiennym (między nadprożem a górną krawędzią ościeżnicy, w obudowie rolety zewnętrznej lub
- w przegrodzie zewnętrznej ponad oknem.

Strumień objętości powietrza przepływającego przez całkowicie otwarty nawiewnik, przy różnicy ciśnienia po obu jego stronach 10 Pa, powinien mieścić się w granicach:

- od 20 m<sup>3</sup>/h do 50 m<sup>3</sup>/h, jeśli zastosowana jest wentylacja grawitacyjna,
- od 15 m<sup>3</sup>/h do 30 m<sup>3</sup>/h, jeśli zastosowana jest wentylacja mechaniczna wywiewna.

Strumień gęstości powietrza przepływającego przez nawiewnik, którego element dławiący znajduje się w pozycji maksymalnego zamknięcia powinien zawierać się w granicach od 20% do 30% strumienia przy jego całkowitym otwarciu.

W budynkach o wysokości do 9 kondygnacji włącznie dopuszcza się doprowadzenie powietrza przez okna charakteryzujące się współczynnikiem infiltracji „a” wyższym niż 0,5, lecz nie większym niż 1,0 m<sup>3</sup>/(m·h·daPa<sup>2/3</sup>), pod warunkiem że okna wyposażone są w skrzydło uchylno-rozwieralne, górny wywietrznik uchylny lub górne skrzydło uchylne.

Odpływ powietrza z pokoi mieszkalnych powinien odbywać się przez otwory wyrównawcze umieszczone ponad drzwiami albo w ich górnej części lub przez otwory wywiewne. Dopuszcza się odprowadzenie powietrza przez szczeliny pomiędzy dolną krawędzią drzwi a podłogą. Przekrój netto otworów lub szczelin powinien wynosić co najmniej 90 cm<sup>2</sup>.

Dopływ powietrza wentylowanego do kuchni, łazienek, ustępów oraz pomocniczych pomieszczeń bezokiennych powinien być zapewniony przez otwory w dolnych częściach drzwi lub przez szczeliny pomiędzy dolną krawędzią drzwi a podłogą lub progiem. Przekrój netto otworów lub szczelin powinien wynosić 200 cm<sup>2</sup>. **Według Rozporządzenia [N13]** otwory przewidziane do dopływu powietrza do pomieszczeń sanitarnych w budynkach powinny mieć przekrój nie mniejszy niż 220 cm<sup>2</sup> (§79.1).

Odpływ powietrza z kuchni, łazienek, ustępów oraz pomocniczych pomieszczeń bezokiennych powinien być zapewniony przez otwory wywiewne, usytuowane w górnej części ściany i przyłączone do pionowych przewodów wentylacji grawitacyjnej lub mechanicznej.

Szczegóły dot. technicznej strony zapewnienia skuteczności wentylacji grawitacyjnej oraz mechanicznej znajdują się w p.5 Normy [N6] oraz w p.9 Zmiany Az3.

W pomieszczeniach budynków należy zapewnić odpowiedni mikroklimat. Będzie on uzależniony od sposobu wykorzystywania tych pomieszczeń i od czasu przebywania ludzi. Takie wymagania postawiono w Rozporządzeniu [N8], co prawda w odniesieniu do obliczania szczytowej mocy cieplnej instalacji i urządzeń, którą jednak zaczerpnięto z normy **PN-B-02402:1982 Ogrzewnictwo. Temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach [N6]** (Tablica 7).



*Tablica 7. Minimalne temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach*

Temperatury obliczeniowe*)	Przeznaczenie lub sposób wykorzystania pomieszczeń	Przykłady pomieszczeń
1	2	3
+5°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>– nieprzeznaczone na pobyt ludzi</li> <li>– przemysłowe – podczas działania ogrzewania dyżurnego (jeżeli pozwalają na to względy technologiczne)</li> </ul>	magazyny bez stałej obsługi, garaże indywidualne, hale postojowe (bez remontów), akumulatorownie, maszynownie i szyby dźwigów osobowych
+8°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>– w których nie występują zyski ciepła, a jednorazowy pobyt osób znajdujących się w ruchu i okryciach zewnętrznych nie przekracza 1h,</li> <li>– w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp. przekraczające 25 W na 1 m<sup>3</sup> kubatury pomieszczenia</li> </ul>	klatki schodowe w budynkach mieszkalnych hale sprężarek, pompownie, kuźnie, hartownie, wydziały obróbki cieplnej
+12°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>– w których nie występują zyski ciepła, przeznaczone do stałego pobytu ludzi, znajdujących się w okryciach zewnętrznych lub wykonujących pracę fizyczną o wydatku energetycznym powyżej 300 W,</li> <li>– w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., wynoszące od 10 do 25 W na 1m<sup>3</sup> kubatury pomieszczenia</li> </ul>	magazyny i składy wymagające stałej obsługi, hote wejściowe, poczekalnie przy salach widowiskowych bez szatni, hale pracy fizycznej o wydatku energetycznym powyżej 300 W, hale formiarni, maszynownie chłodni, ładownie akumulatorów, hale targowe, sklepy rybne i mięsne
+16°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>– w których nie występują zyski ciepła, przeznaczone na pobyt ludzi: <ul style="list-style-type: none"> <li>– w okryciach zewnętrznych w pozycji siedzącej lub stojącej,</li> <li>– bez okryć zewnętrznych, znajdujących się w ruchu lub wykonujących pracę fizyczną o wydatku energetycznym do 300 W</li> </ul> </li> <li>– w których występują zyski ciepła do urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., nieprzekraczające 10 W na 1 m<sup>3</sup> kubatury pomieszczenia</li> </ul>	sale widowiskowe bez szatni, ustępy publiczne, szatnie okryć zewnętrznych, hale produkcyjne, sale gimnastyczne, kuchnie indywidualne wyposażone w paleniska węglowe
+20°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>– przeznaczone na stały pobyt ludzi bez okryć zewnętrznych, niewykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej</li> </ul>	pokoje mieszkalne, przedpokoje, kuchnie indywidualne wyposażone w paleniska gazowe lub elektryczne, pokoje biurowe, sale posiedzeń
+24°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>– przeznaczone do rozbierania,</li> <li>– przeznaczone na pobyt ludzi bez odzieży</li> </ul>	łazienki, rozbieralnie – szatnie, umywalnie, natryskownie, hale pływalni, gabinety lekarskie z rozbieraniem pacjentów, sale niemowląt i sale dziecięce w żłobkach, sale operacyjne
*) Dopuszcza się przyjmowanie innych temperatur obliczeniowych dla ogrzewanych pomieszczeń niż jest to określone w tabeli, jeżeli wynika to z wymagań technologicznych		

Takie też wielkości temperatur wewnętrznych należy przyjmować w obliczeniach ciepłno-wilgotnościowych przegród, chyba że rzeczywiste temperatury, jakie mogą być wymagane we wnętrzach pomieszczeń, będą się różniły od zamieszczonych w Tablicy 6, wówczas należy te wartości uznać za właściwe i przyjmowane w obliczeniach. Wielkości temperatur zewnętrznych, zależnie od strefy klimatycznej należy przyjmować zgodnie z normą **PN-B-02403 Ogrzewnictwo. Temperatury obliczeniowe zewnętrzne [N6]**, która jest również przywoływana w załączniku nr 1 do Rozporządzenia [N13].



### 3. Co składa się na energooszczędność obiektów budowlanych

Bardzo istotnym elementem decydującym o energooszczędności eksploatowanych obiektów jest właściwa budowa ich zewnętrznych przegród, zapewniająca uzyskanie na wymaganym poziomie współczynnika przenikania ciepła  $U$ , o wartościach niższych od podanych w Tablicy 3. Przegrody budowlane będą warunkiem koniecznym do zapewnienia stabilizacji cieplnej budynku, lecz niewystarczającym do tego, aby zapewnić komfort użytkowy pomieszczeń na wymaganym poziomie i jednocześnie nie doprowadzić do zagrożenia biologicznego oraz degradacji ich samych. Do tego niezbędny jest wzajemnie powiązany zestaw systemów obsługujących budynki, których działanie będzie okresowe, wzajemnie uzupełniające się, a także wzajemnie się zastępujące w sytuacjach, które tego wymagają. Budowa przegród powinna w maksymalnym stopniu zapobiegać wychładzaniu się pomieszczeń zimą i ich przegrzewaniu latem. Nie mniej jednak nie należy zapominać o tym, że wysokie parametry termoizolacyjne przegród mogą nie rozwiązać problemu, ponieważ wewnątrz nich będzie nieustannie odbywał się ruch wilgoci, która jest czymś zbędnym praktycznie w każdym materiale budowlanym, lecz nie sposób jej uniknąć. Dobrze zaprojektowana przegroda to taka, która w okresach grzewczych przyjmie pewną ilość wilgoci, natomiast w okresach ciepłych (kwiecień-wrzesień) będzie mogła się jej pozbyć. W innych sytuacjach może nastąpić trwała jej kondensacja wewnątrz przegród warstwowych, która może doprowadzić do ich degradacji i jednocześnie obniżenia zdolności ciepłochronnych. Do prawidłowego funkcjonowania przegród niezbędne jest zapewnienie odpowiedniego komfortu cieplnego w pomieszczeniach, czyli temperatury na wymaganym poziomie (Tablica 7) oraz odpowiedniej ilości wymian powietrza, przez wyposażenie budynków w odpowiednie instalacje (Tablica 8).

Na rynku budowlanym pojawia się coraz więcej propozycji instalacji grzewczych, od konwencjonalnych (piece opalane np. gazem, piece elektryczne), do rozwiązań nowoczesnych takich jak m.in. pompy ciepła pobierające ciepło z gruntu lub powietrza.

Systemy te mogą być wspomagane kolektorami słonecznymi, układanymi w warstwach dachu, ogniwami fotowoltaicznymi oraz energią wiatru.

Dla utrzymania wymaganego stanu technicznego przegród oraz komfortu użytkowego pomieszczeń wymagane jest usunięcie z nich zużytego powietrza. W rozwiązaniach tradycyjnych odbywa się to poprzez wentylację grawitacyjną, która, o ile będzie sprawna, może wymagać do ogrzania wymienianego powietrza nawet ok. 50% ogółu ciepła niezbędnego do ogrzania całego obiektu. Alternatywą dla wentylacji grawitacyjnej może być mechaniczna wentylacja nawiewno-wywiewna z odzyskiem ciepła (rekuperacja), tj. z urządzeniem podgrzewającym napływające powietrze ciepłem odzyskiwanym z usuwanych gazów z pomieszczeń budynku.

Poniżej, w dużym skrócie opisano rodzaje paliw alternatywnych, jakie można stosować w celu zapewnienia komfortu cieplnego każdego obiektu, w tym głównie obiektów energooszczędnych. Stale kurczące się zasoby paliw konwencjonalnych oraz wysoce szkodliwa emisja gazów będących skutkiem spalania ww. paliw, dają impet do poszukiwania i wdrażania nowych rozwiązań wykorzystujących naturalne, niekonwencjonalne zasoby energetyczne ziemi i słońca, które mogłyby zaspokoić zapotrzebowanie na wszelkiego rodzaju energię m.in. dla potrzeb budownictwa. Zapotrzebowanie na energię będzie zależne od lokalizacji obiektu, odpowiednio do długości i szerokości geograficznej. Coraz częściej zarówno w przepisach, jak i w samej praktyce budowlanej pojawia się termin „budownictwie ekologiczne”, któremu coraz częściej przypisuje się definicję „budownictwa zrównoważonego”, czyli przyjaznego naturalnemu środowisku [8], [9]. Ustawa Prawo budowlane i przepisy wykonawcze wymagają, aby budownictwo powszechne było budownictwem bezpiecznym, spełniającym wymagania użyteczności obiektów i ich pomieszczeń na odpowiednio wysokim poziomie, natomiast budownictwo zrównoważone wymaga, aby stało się ono jeszcze ekologiczne przez ograniczenie negatywnego wpływu robót i obiektów budowlanych na środowisko naturalne, w tym na ludzi. Pozyskiwanie energii ze środowiska naturalnego tj. energii: wiatru, grawitacji wody, wnętrza ziemi i słońca, a także energii, jaką można pozyskać z naturalnego lub wymuszonego przetwarzania odpadów, tj. biogaz i biomasę, ograniczają zapotrzebowanie na energię konwencjonalną, natomiast w najbliższej przyszłości mogą ją całkowicie wyeliminować. Budownictwo zrównoważone powinno i będzie opierać się zarówno na rozwiązaniach oraz materiałach tradycyjnych, jak i na materiałach wtórnych, uzyskanych w drodze recyklingu odpowiednich odpadów. Ponadto stale zaostrzające się przepisy wciąż ograniczają z tendencją wzrastającą wielkość strat ciepła, związaną z eksploatacją obiektów budowlanych, zarówno w okresach ich ogrzewania, jak i wychładzania. Obecnie głównym źródłem energii w Polsce jest węgiel kamienny i brunatny, olej opałowy oraz gaz: ziemny i propan – butan. Produkty spalania węgla oraz pochodnych ropy naftowej stanowią znaczące zagrożenie dla środowiska, ze

względu na emisję gazów cieplarnianych do atmosfery (para wodna, dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), freony (CFC), podtlenek azotu (N<sub>2</sub>O), ... [9]. Opalanie węglem „centrów” polskich miast stwarza zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia ludzkiego w wyniku lokalnego występowania wysokich stężeń toksycznych gazów i pyłów, które w kilku polskich miastach doprowadzają nawet do powstawania smogu. Nadal jednak projektuje się, produkuje i wykonuje tradycyjne instalacje opalane węglem. W wielu obiektach występują jeszcze piece opalane paliwem stałym, takim jak węgiel, które bez szkody dla siebie mogą jeszcze spalać wszelkiego rodzaju odpady.

Stale rosnące uznanie zdobywa energia słońca, chociaż urządzenia ją przetwarzające w inne postaci energii charakteryzują się jeszcze bardzo niską sprawnością. Jest to energia o niewyczerpywalnych zasobach, zasilająca „odbiorniki” służące do jej przetworzenia w energię elektryczną (panele fotowoltaiczne) lub do podgrzewania wody (kolektory słoneczne). Energia geotermalna to energia ciepłej wody znajdującej się pod powierzchnią ziemi. Czystą i pożądaną obecnie energią jest energia pozyskiwana z procesów spalania gazu ziemnego [9]. Obecnie intensywnie wykorzystywane są złoża konwencjonalne powszechnie i aktualnie eksploatowane, lecz istnieją jeszcze inne możliwości wydobywania i przetwarzania gazu na skalę przemysłową ze źródeł dotąd nieeksploatowanych, które można nazwać złożami niekonwencjonalnymi. Innym rodzajem gazu jest gaz ziemny występujący w skałach macierzystych o niskiej przepuszczalności- tzw. gaz łupkowy, lecz w gospodarce energetycznej kraju jest to jeszcze dalsza przyszłość, szczególnie w pozyskiwaniu tego surowca. Metan, jako alternatywne źródło energii jest gazem pozyskiwanym podczas eksploatacji złóż węgla kamiennego lub też podczas procesów fermentacji beztlenowej, zachodzących na składowiskach odpadów komunalnych oraz w oczyszczalniach ścieków, jako składnik biogazu (20÷70%).

Biomasa jest kolejnym, alternatywnym paliwem dosyć intensywnie wykorzystywanym w Polsce, powstającym wskutek biodegradacji produktów pochodzenia zwierzęcego lub roślinnego (drzewa, krzewy pochodzące zarówno z naturalnych zasobów, jak i z plantacji energetycznych). Głównym producentem biomasy jest obecnie rolnictwo i leśnictwo.

### **Ruch powietrza w pomieszczeniach [2], [5]**

W okresach letnich oraz zimowych, w pomieszczeniach zamkniętych i otwartych powinien odbywać się ruch powietrza. Może on być wymuszony sprawnie działającą wentylacją grawitacyjną lub mechaniczną, przyczyniając się do utrzymywania mikroklimatu wewnątrz obiektów budowlanych.

W pomieszczeniach zamkniętych, o ograniczonej możliwości ruchu powietrza, lub w pomieszczeniach z kratkami wentylacyjnymi, o ograniczonym przepływie strumienia powietrza, jego prędkość waha się od 0 do 0,5 m/s (Rysunek 2).

W pomieszczeniach wentylowanych, o sprawniej instalacji np. grawitacyjnej lub nieznacznie wspomaganie mechanicznie, prędkość ruchu powietrza może dochodzić do 3 m/s. Na prędkość strumienia powietrza w budynkach wyposażonych w instalację grawitacyjną bardzo istotny wpływ ma również rozwieranie i otwieranie okien (Rysunek 3).



Rysunek 2. Pomiar przepływu powietrza w kratce wentylacyjnej przy zamkniętych oknach, wentylacja grawitacyjna (źródło własne)



Rysunek 3. Pomiar przepływu powietrza w kratkach wentylacyjnych przy rozszczelnionych oknach (źródło własne Zjawia-

sko to nie tylko decyduje o jakości mikroklimatu w pomieszczeniach, lecz także o kondycji technicznej przegród, ma decydujący wpływ na zdolność ich wysychania i dotyczy zarówno istniejących (starszych) oraz nowo wznoszonych budynków.

Zasadniczą rolę w przemieszczaniu się wilgoci w przegrodach odgrywa skuteczność wymian powietrza w pomieszczeniach przez nie chronionych, o czym nader często się zapomina [3]. Dla podkreślenia wagi tego problemu poniżej zamieszczono Tablicę 8, w której dokonano porównania sprawności przegród w pozbywaniu się wilgoci, w zależności od krotności wymian powietrza w przestrzeniach, które one ograniczają. Obliczenia wykonano dla jednorodnej przegrody o grubości 38 cm wykonanej z cegły ceramicznej pełnej, przy pomocy programu WUFI 2D, zgodnie z założeniami normy *Ashrae Standard 160-2016, Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings*. Aspekt zawilgacania przegród jest praktycznie zawsze pomijany w symulacjach obliczeniowych a powinien każdorazowo być priorytetem.

Tablica 8. Zależność pozbywania się wilgoci z przegród od krotności wymian powietrza w pomieszczeniach

Lp.	Krotność wymian powietrza na godzinę	Wzrost poziomu wilgoci w miesiącach grzewczych	Wzrost poziomu wilgoci na trwale pozostającej w przegrodzie
1	2/h	1	1
2	1/h	2 x	3 x
3	0,5/h	3 x	5 x

## Krótko o wentylacji

Wentylacja (bez względu na jej rodzaj) pełni bardzo istotną rolę w procesie wymiany ciepła i wilgoci pomiędzy środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym, wpływającym na stan techniczny przegród. Wymiana powietrza w pomieszczeniach jest zarówno zjawiskiem negatywnym, jak i pozytywnym. Jego negatywność polega na konieczności stałego ogrzewania wymienianego powietrza, a tym samym ponoszeniu dodatkowych strat ciepła i jednocześnie wyższych kosztów. Z drugiej strony, sprawna wentylacja reguluje bilans cieplno-wilgotnościowy zarówno ogrzewanych pomieszczeń, jak i ich przegród. Nie ma tu większego znaczenia jej rodzaj tj. czy będzie ona funkcjonowała na zasadzie ciągu kominowego, czy też wymuszonego mechanicznie. Jej sprawność powinna zagwarantować wymaganą ilość wymian powietrza w pomieszczeniach budynków [2].

Nadal w starszej substancji budowlanej przeważającą większość wyposażenia stanowią tradycyjne kominy wentylacyjne, dymowe i spalinowe. W powszechnym budownictwie niskim dosyć często stosuje się również tradycyjne rozwiązania w zakresie wentylacji budynków. O ile łatwiej będzie zapewnić sprawność wentylacji wymuszonej, to bardzo duży problem stanowi niska skuteczność wentylacji grawitacyjnej, a tym samym zagrożenie, jakie może być pochodną jej niesprawności.

Przyczyną takiego stanu jest:

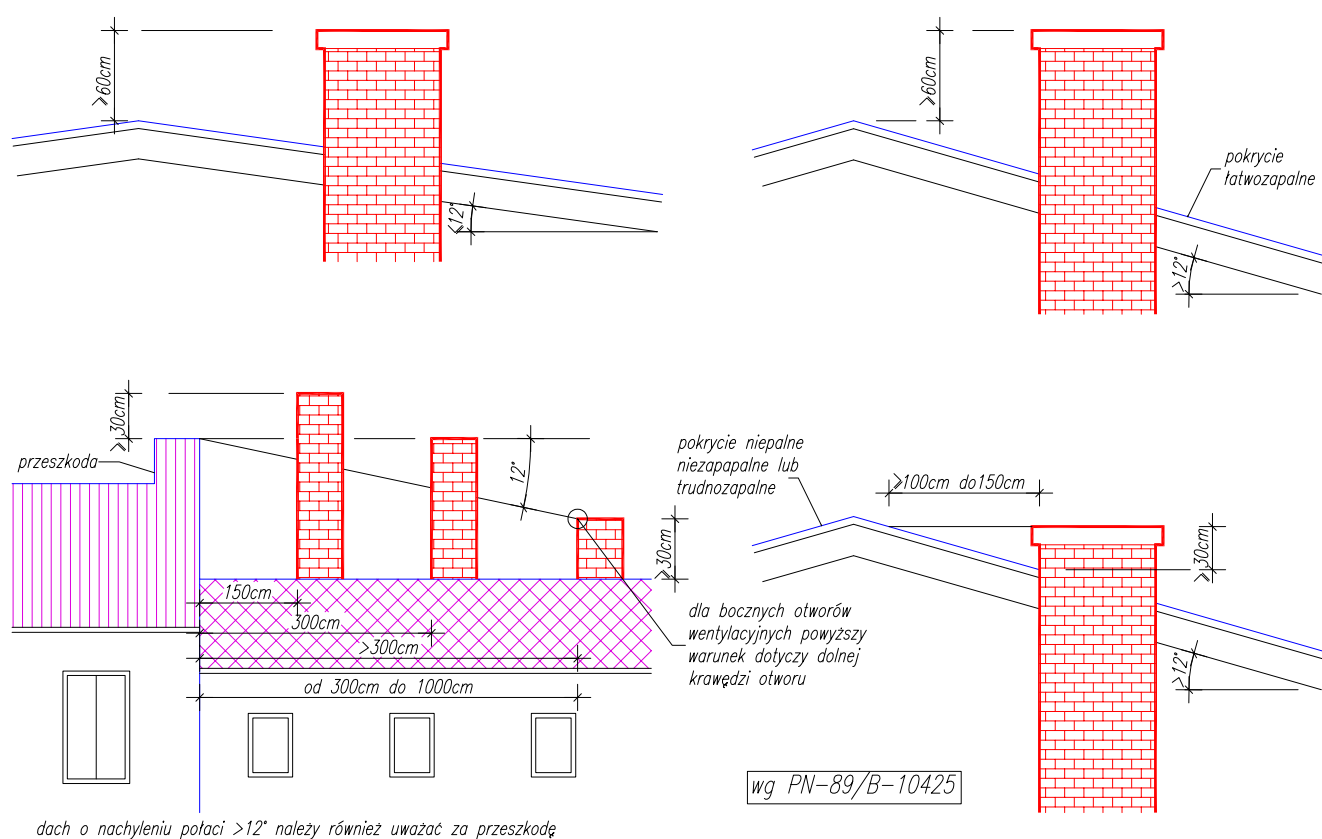
- niska świadomość użytkowników i zarządców budynków dotycząca roli i wagi takich instalacji podczas eksploatacji obiektów budowlanych,
- brak wiedzy projektantów na temat prawidłowości rozwiązań systemowych wentylacji grawitacyjnej,
- brak zamieszczania szczegółowych rozwiązań w projektach budowlanych wskazujących na odpowiednią lokalizację kominów, wymagania w stosunku do ich przekrojów, długości przewodów, wysokości ponad dachem oraz zabezpieczeń przed nadmiernym nagrzewaniem się i wychładzaniem, w tym w przestrzeni ostatniej kondygnacji.

Podstawowym elementem systemu wentylacji tradycyjnej (grawitacyjnej) są kominy działające na zasadzie ciągu kominowego, wykonywane w sposób tradycyjny lub z wykorzystaniem nowocześniejszych technologii. Kominy, odkąd odkryto ich znaczenie zawsze wchodziły w podstawowe wyposażenie obiektów budowlanych i jeszcze przez wiele lat pozostaną ich nieodłącznym elementem. Stąd też niedopuszczalnym jest ograniczanie ich ciągu przez nieuzasadnione montowanie na nich jakichkolwiek urządzeń (masztów, anten satelitarnych, reklam itp.). Ograniczeniem ciągu kominowego mogą być również wszelkie nierówności wnętrza przewodów kominów,



załamania oraz znajdujące się w nich materiały obce. Tak jak wspomniano wyżej, komin jest elementem – urządzeniem w dużym stopniu decydującym o prawidłowości przebiegu procesów fizykalnych wewnątrz przegród budowlanych oraz bezpośrednio decyduje o samym mikroklimacie pomieszczeń. Minimalne wartości temperatur wewnętrznych w ogrzewanych pomieszczeniach określa norma [N6]. Trzonów kominowych wydzielonych lub oddylatowanych od konstrukcji budynku nie można obciążać stropami ani też uwzględniać ich w obliczeniach jako części konstrukcji. Kminy prefabrykowane lub nieprzewiązywane ze ścianami budynku można stosować tylko wówczas, kiedy w inny sposób zostanie zapewniona sztywność przestrzenna budynku. Ich także nie należy obciążać stropami, natomiast trzony kominowe stanowiące ciągły element ścian można obciążać stropami po uprzednim sprawdzeniu obliczeniowym stanu granicznego nośności i użyteczności.

Wysokość wyprowadzania kominów ponad dachy określa norma kominowa [N12] PN-B-10425:1989 Przewody dymowe, spalinowe i wentylacyjne murowane z cegły – Wymagania techniczne i badania przy odbiorze, przywoływana w załączniku nr 1 do Rozporządzenia [N12]. Wysokość ta powinna zabezpieczać kminy przed niedopuszczalnym i groźnym zakłóceniem ciągu. Zasadę kształtowania kominów, w tym lokalizacji ich wylotów ponad dachem, pokazano na Rysunku 4. Zasadę, kształtowania dachów tj. dobór materiałów pokryciowych w zależności od wielkości pochylenia połaci dachowych określa norma [N9].



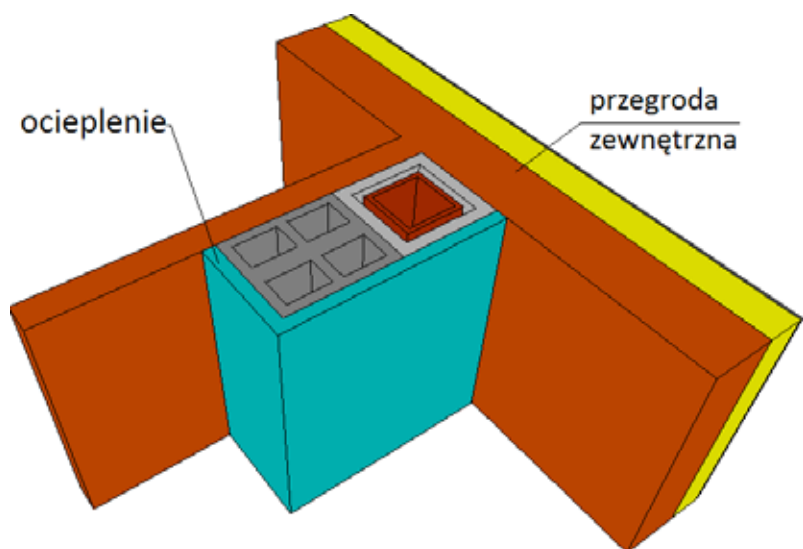
Rysunek 4. Wymagania normowe w stosunku do wysokości wyprowadzenia kominów ponad przegrody i ponad pokrycie dachowe [2]

Sprawność każdego kominu będzie zależała od zapewnienia stałego dopływu świeżego powietrza do pomieszczeń i skutecznego usuwania powietrza zużytego lub spalin.

Odcinki kominów przechodzące przez ostatnie kondygnacje budynków bez dodatkowych zabezpieczeń mogą

stwarzać problemy w eksploatacji znajdujących się tam pomieszczeń, zarówno pod względem użytkowym, jak i estetycznym (Rysunek 5,6,7). Może to się ujawnić w postaci kondensującej się wilgoci, lokalnych odbarwień, a w efekcie końcowym pojawieniem się i rozwojem grzybów pleśniowych na okresowo wychładzanych fragmentach przewodów kominowych, głównie cienkościennych [2]. Ponadto w miejscach wyprowadzenia kominów ponad dachy ponad ogrzewanymi kondygnacjami mogą pojawić się mostki termiczne będące przyczyną okresowego, intensywnego wychładzania poddaszy i lokalnych przecieków w miejscach roztopów śniegu [2].

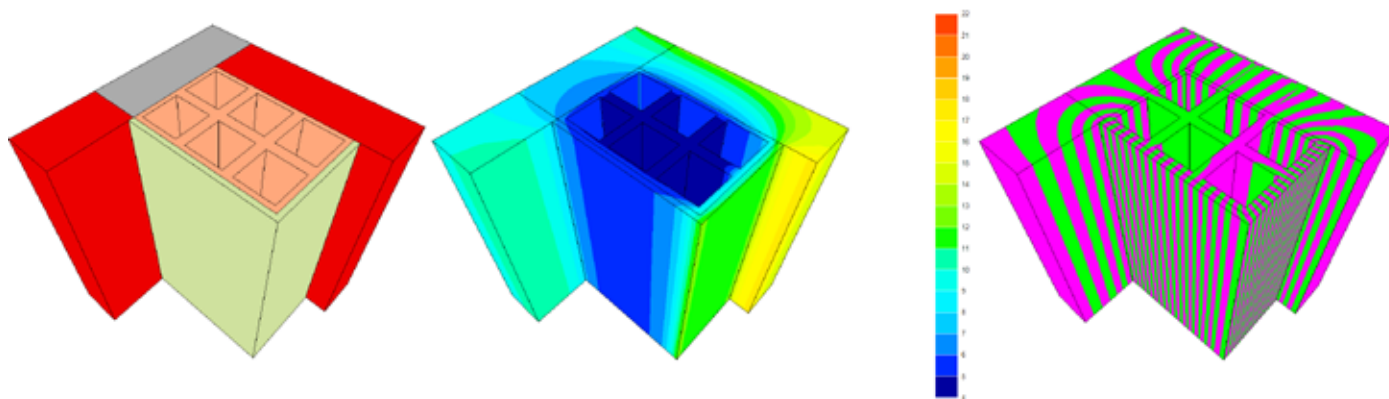
Tę zjawiskę nie uda się w całości wyeliminować, lecz można je znacznie ograniczyć. Istotnym elementem w generowaniu strat ciepła może okazać się również nieświadome, okresowe wyłączenie z użytkowania części kondygnacji, lokalu lub pojedynczych pomieszczeń. Takie zjawisko jest często błędnie utożsamiane z wadliwością przegród, niejednokrotnie nie mając z nimi nic wspólnego. Minimalne wielkości zewnętrznych temperatur, jakie mogą występować na zewnątrz obiektów, zostały określone w normie [N7]. Nie oznacza to oczywiście, że stale będą one osiągały ww. wartości lub też wielkości skrajne w okresach zimowych. Niemniej jednak nawet wewnętrzne przegrody obiektów budowlanych, które mogą być wychładzane przez zabudowanie w nich np. pionów wentylacyjnych, powietrzno-spalinowych lub dymowych, powinny być dodatkowo chronione warstwą termoizolacji, zabezpieczającą je przed obniżeniem się temperatury powierzchni do wielkości krytycznych. Nawet niewielkiej grubości warstwa termoizolacji o niskim współczynniku przewodzenia ciepła i jednocześnie niskim oporze dyfuzyjnym jest w stanie znacznie poprawić parametry wychładzanych przegród, a tym samym całych pomieszczeń.



Rysunek 5. Przykład ocieplenia ścian kominu na najwyższych kondygnacjach budynku

O ile każdy element budowlany dobrze dobrany, zaprojektowany i wykonany nie będzie w sposób negatywny „przypominał” o sobie w czasie jego użytkowania, to tej zasady nie można bezpośrednio przenieść do kominów, ponieważ ich uszkodzenie może pociągnąć za sobą natychmiastowe skutki. Są to urządzenia wymagające stałych przeglądów, czyszczenia, konserwacji oraz naprawiania [N13], [N14]. Każda zastosowana technika kominowa będzie właściwa, o ile zostanie wcześniej zaprojektowana w dostosowaniu do warunków późniejszej eksploatacji kominów, zakładanego okresu ich eksploatacji (trwałości), rodzaju materiałów, w które zostaną wbudowane oraz wymagań narzucanych przez stosowne normy oraz wymagania użytkowe [N13].

Poniżej przedstawiono przykład kominu wychładzanego na wysokości ostatniej kondygnacji budynku, co zdarza się również w sytuacjach, kiedy budynki są obsługiwane przez nowocześniejsze systemy wentylacji wymuszonej.



Rysunek 6. Model wychłodzonego na ostatniej kondygnacji przewodu kominowego, rozkład temperatury na powierzchni ścian komina, linie strumieni ciepła

Stąd też projektowanie obiektów budowlanych powinno obejmować również ten aspekt, a mianowicie wskazywać w opracowaniach projektowych na konieczność docieplania przewodów kominowych na wysokości ostatnich kondygnacji mieszkalnych, poddaszy oraz ponad dachem.

Efekty braku takich dociepleń pokazano na Rysunku. 7, na przykładzie budynku, którego ściany zostały wykonane z cegły pełnej.



Rysunek 7. Przykład komina wbudowanego w ściany, wychłodzanego na całej wysokości: a) ponad dachem (temp. zewn.  $-4^{\circ}\text{C}$ ), b) na poziomie ostatniej kondygnacji, c) na poziomie kondygnacji niższych (źródło ciepła w piwnicy)

## 4. Zasady projektowania budynków energooszczędnych z silikatów

Projektowanie budynków energooszczędnych z silikatów nie odbiega od zasad projektowania takich obiektów z innych materiałów. Ściany z silikatów wykonuje się podobnie jak tradycyjne, z użyciem zwykłych zapraw (cem-wap), na poziome i pionowe spoiny lub też na „pióro – wpust” [N19], [N20]. Do wykonywania ścian, do wykonywania spoin poziomych wykorzystuje się również cienkowarstwowe zaprawy o grubości ok. 3 mm. Wyroby silikatowe produkuje się w kilku klasach wytrzymałościowych  $10 \div 40$  MPa, z przeznaczeniem dla budownictwa mieszkalnego niskiego i wysokiego, budownictwa użyteczności publicznej oraz przemysłowego. W niskim budownictwie jednorodzinym na elementy murowe stosuje się wyroby silikatowe o klasach  $15 \div 25$  MPa. Spośród drobnowymiarowych elementów murowych silikaty produkowane z piasku, wapna i wody charakteryzują się najwyższymi właściwościami wytrzymałościowymi. Pod względem promieniotwórczości naturalnej są jednym z najbezpieczniejszych materiałów budowlanych. Ściany wykonywane z silikatów charakteryzują się wysoką izolacyjnością akustyczną oraz dużymi zdolnościami akumulacji ciepła, co skutecznie stabilizuje temperaturę wewnętrzną pomieszczeń, niwelując skutki szybkich zmian temperatur.

Projekt budowlany budynku, którego przegrody przewidziane są do wykonania z silikatów powinien uwzględniać:

- wykonanie ich z jednorodnego materiału – przez unikanie mieszania technologii (przemuruowań i wstawek z innych materiałów);
- stabilność budynku poprzez zaprojektowanie takiego układu ścian, który zapewni im ciągłość, a tym samym zagwarantuje sztywność przestrzenną budynku;
- sposób połączeń dwóch różniących się materiałów w przypadku „krępacji” murów (np. wiązania ze słupami lub trzpieniami żelbetowymi), uwzględniający skutki dalszej ich współpracy
- obliczeniowy dobór warstw przegrody uwzględniający zarówno warunki cieplne, jak i wilgotnościowe oraz ich wpływ na trwałość przegród i całego obiektu – silikaty należą do grupy jednych z najtrwalszych materiałów stosowanych w budownictwie;
- zapewnienie szczelności przegród;
- lokalizację mostków cieplnych oraz sposoby ich eliminacji przez odpowiednie rozwiązania techniczne;
- odpowiednie ukształtowanie dachów w celu zabezpieczenia zewnętrznych powierzchni ścian przed niepożądaną wodą opadową;
- zapewnienie szczelności p/wilgociowej (wodnej) i termicznych wszelkiego rodzaju przejść instalacji lub konstrukcji przez przegrody.

Podstawowym źródłem wiedzy projektanta powinny być normy oraz jego doświadczenie oparte na rozsądku. W kwietniu 2010 r. Polskie Normy zostały wycofane ze spisu norm, zastąpiono je Eurokodami wspólnymi dla całej Unii Europejskiej, lecz zarówno Polskie Normy PN, jak i Eurokody można było stosować w budownictwie [N17]. Prawidłowa interpretacja PN-B i Eurokodów należy do zadań projektantów, a zatem to na nich przerzucono całą odpowiedzialność za bezpieczeństwo projektowanych przez obiektów budowlanych, przy projektowaniu których należy przyjmować wszystkie możliwe rodzaje oddziaływań, jakie mogą wystąpić w czasie ich eksploatacji, czyli nawet te, których wystąpienie jest mało prawdopodobne, ale możliwe. Niedopuszczalne jest równoczesne stosowanie norm PN i Eurokodów przy projektowaniu obiektów budowlanych, dotyczy to szczególnie wymiarowania konstrukcyjnego.

Normy stanowią podstawową wiedzę z zakresu projektowania i wykonywania konstrukcji budowlanych, elementów uzupełniających, pokryć itp. Mimo że z dniem 1 stycznia 2003 roku ich stosowanie przestało być obowiązujące, to nie istnieje inna, obszerniejsza wiedza techniczna niż ta zawarta w normach [N17]. Można je nadal stosować na zasadach dobrowolności. Można też wprowadzić obowiązek ich stosowania w umowach projektowych i wykonawczych, czy też w odpowiednich przepisach. Wówczas uzyskują one status aktów obowiązujących. Takim przykładem może być Rozporządzenie [N8], które w załączniku 1 przywołuje pewną grupę norm lub ich części, których stosowanie ma zapewnić wymagany poziom bezpieczeństwa w budownictwie. Normy stanowią więc podstawową wiedzę techniczną, na którą powołuje się Ustawa [N16], w treści art. 5. Wobec powyższego wymagania zawarte w Polskich PN i Europejskich Normach PN EN są wiążące przy projektowaniu i wykonywaniu obiektów budowlanych. Nie zwalnia to projektantów z zasad rozsądnego stosowania norm na podstawie posiadanej przez nich wiedzy technicznej ponieważ konsekwencje niewłaściwego zwymiarowania lub wykonania obiektu będą obciążać wyłącznie uczestników procesu budowlanego, a nie autorów normy, o czym już wspomniano wyżej.

## 4.1. Projekty budowlane i wykonawcze

Podstawą do zaprojektowania nowego obiektu, rozbudowy, nadbudowy i przebudowy istniejącego, dla którego będzie wymagane uzyskanie decyzji administracyjnej (pozwolenia budowlanego) jest projekt budowlany [N15]. Ustawa [N16], w art. 34 jednoznacznie precyzuje, jak powinien on wyglądać oraz co powinien zawierać.

Niestety, projekty budowlane to tylko jeden z elementów dokumentacji technicznej. W rzeczywistości szczegółowość rozwiązań detali architektoniczno-konstrukcyjnych w projektach budowlanych jest bardzo uboga i bardzo często nie pozwala na rzetelne ich wykonanie. W praktyce budowlanej utarła się opinia, że projekty budowlane mają służyć jedynie uzyskaniu pozwolenia na budowę lub pozwolenia na wykonywanie robót. W rzeczywistości brak rozwiązań szczegółowych (wykonawczych) znacznie obniża jakość wykonania robót budowlanych i niejednokrotnie może stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa konstrukcji i użytkowania przyszłego obiektu budowlanego.

W przypadku braku rozwiązań szczegółowych odpowiedzialność za ich ewentualne wadliwe wykonanie spada



na wykonawców, którzy niejednokrotnie podejmują się prób uzupełnienia braków projektowych, już na etapie prowadzenia robót. W Ustawie [N16] nie występuje pojęcie projektu wykonawczego, stąd należy wnioskować, że każda osoba, nawet nieposiadająca odpowiedniego wykształcenia i doświadczenia w budownictwie, mogłaby takie projekty sporządzać.

## 4.2. Projektowanie i wykonawstwo opierające się na „rutynie”

Osoba posiadająca rutynę zarówno w projektowaniu, jak i wykonawstwie musi mieć też bogatą wiedzę, na którą pracuje się latami. Tą cechą nie będzie wyróżniała się osoba z kilkuletnim doświadczeniem w budownictwie, szczególnie jeśli swoją wiedzę w większości opiera na informacjach pozyskanych z Internetu oraz z programów obliczeniowych. Nie oznacza to, że programy komputerowe są złe czy też ograniczające wiedzę. To zależy, w jakim stopniu się z nich korzysta. Są one z pewnością zarówno doskonałym narzędziem obliczeniowym, jak i kreślącym, o ile zostaną właściwie użyte.

Rutyna może również mieć złe strony. Przykładem może być sytuacja, kiedy projektant lub wykonawca wdraża rozwiązania wyłącznie na bazie swojego doświadczenia z pominięciem stosownych uzasadnień obliczeniowych, np. opartych na normach [N1], [N2], [N3]. Dotyczy to szczególnie procesów fizykalnych zachodzących we wnętrzu przegród budynków i budowli oraz zagadnień związanych z naprawami i wzmocnieniami tych konstrukcji. W ostatnim okresie coraz częściej znajduje zastosowanie technologia docieplania przegród zewnętrznych po ich wewnętrznych stronach. Nieumiejętne zastosowanie tej metody, bez odpowiedniego poparcia zaawansowanym aparatem obliczeniowym, głównie w zakresie kondensacji wilgoci w ich wnętrzu, może przynieść zarówno pozytywne, jak i negatywne skutki takich decyzji. Ta tematyka została obszernie omówiona w publikacji [10]. Termomodernizacja budynków, bez względu na ich wiek i rodzaj materiałów, z jakich zostały wykonane jego przegrody, powinna zostać poprzedzona badaniami termowizyjnymi [8] w celu zidentyfikowania ich „słabych miejsc” oraz zlokalizowania mostków cieplnych, które należy wyeliminować opierając się na wynikach zaawansowanych obliczeń cieplno-wilgotnościowych i wspomnianych wyżej norm. Obecnie, projektanci dysponują już profesjonalnym oprogramowaniem wspomagającym symulację przebiegu procesów cieplno-wilgotnościowych w elementach obiektów budowlanych, a także możliwością prawidłowego zaprojektowania nowych i poprawy termoizolacyjności istniejących przegród [6], [7].

## 5. Wymagania dotyczące izolacyjności termicznej przegród pionowych budynków [2][3]

Przegrody obiektów budowlanych powinny charakteryzować się szczelnością oraz wymaganą izolacyjnością i jednocześnie nie powinny trwale gromadzić w sobie wilgoci [N13]. Takie warunki mogą zostać dotrzymane jedynie przez odpowiedni dobór rodzaju i grubości materiału na poszczególne warstwy budujące przegrody, wykończenie warstwą zabezpieczającą przed wnikaniem wilgoci opadowej i sorpcyjnej oraz zapewnienie odpowiedniego mikroklimatu we wnętrzu pomieszczeń. Skuteczność ocieplenia będzie znacznie większa, jeśli uda się w maksymalnie wysokim stopniu wyeliminować mostki termiczne. Projekt budowlany powinien być na tyle precyzyjny co do rodzaju i kolejności wbudowania warstw przegród, w tym termoizolacyjnych, i ich wzajemnych połączeń, żeby nie stwarzał możliwości do późniejszych interpretacji na etapie wykonawstwa. Rysunki zamieszczone w części graficznej projektów są zazwyczaj mocno wyidealizowane w stosunku do późniejszych realizacji.

Problemem wielu budynków są nadmierne straty ciepła przez ich zewnętrzne przegrody, a także niepożądana nadmierna wilgoć, która gromadzi się w a tym samym może gromadzić się we wnętrzu pomieszczeń.

Nader często w praktyce budowlanej (projektowo-wykonawczej) lekceważy się wpływ mostków termicznych na wielkość strat ciepła oraz mikroklimat budynków. **Mostek termiczny** jest obszarem naruszającym pewien stan równowagi cieplno-wilgotnościowej przegrody, w której występuje np. w wyniku zachwiania ciągłości materiału o tych samych właściwościach cieplnych, w tym izolacji termicznej [5], [N2], [N3]. Głównie dotyczy to zewnętrznych przegród budynków. Taka sytuacja doprowadza zazwyczaj do lokalnej (powierzchniowej, liniowej, punktowej) kondensacji pary wodnej, zwiększając ryzyko rozwoju pleśni przez lokalne zmiany strumienia ciepła (zagęszczenie

adiabat) i temperatury powierzchni. Mostki termiczne opisuje się liniowymi ( $\psi$  [W/(mK)]) oraz punktowymi ( $X$  [W/K]) współczynnikami przenikania ciepła, których wielkość oraz ilość mają znaczący wpływ na wzrost wielkości strumienia ciepła przepływającego przez przegrody zewnętrzne, co nie jest obojętne dla bilansu energetycznego budynku. Rodzaj oraz zagęszczenie mostków termicznych może znacznie podwyższyć rzeczywistą wielkość współczynnika przenikania ciepła całych przegród  $U$  [5], stąd istotne jest szacowanie wielkości ich udziału w całkowitych stratach ciepła w celu możliwie maksymalnego ograniczania przepływu ciepła przez te przegrody.

Ciepło nie jest niczym innym jak energią przemieszczającą się w materiale w kierunku niższych temperatur [5]. Obiekty budowlane ograniczane są przegrodami oddzielającymi środowiska o różnych temperaturach i wilgotności, stąd też gradient temperatury będzie powodował przenikanie ciepła przez przegrody – ściany, dachy, stropodachy itp. – z ośrodka cieplejszego w kierunku ośrodka chłodniejszego. Ze względu na niejednorodność materiałów „budujących” przegrody rozkład temperatury może być w nich nieuporządkowany i niejednorodny. Znaczącą rolę będzie tu odgrywała ciągłość poszczególnych warstw przegród (szczególnie termoizolacji), w tym głównie miejsca lokalizacji mostków termicznych.

Wymiana ciepła przez przegrody określane jako przenikanie ciepła odbywa się w trzech etapach. Pierwszym z nich jest napływ ciepła na powierzchnię przegrody wewnętrznej (od strony pomieszczenia – o wyższej temperaturze) poprzez konwekcję i promieniowanie, drugim etapem jest przewodzenie ciepła we wnętrzu przegrody, w kierunku zewnętrznej powierzchni przegrody oddzielającej ją od przestrzeni o niższej temperaturze, natomiast ostatnim etapem (zjawiskiem) jest odpływ ciepła z przegrody, a w zasadzie z jej powierzchni zewnętrznej do przestrzeni chłodniejszej wskutek konwekcji i promieniowania.

**Przewodzenie ciepła** jest zjawiskiem polegającym na wymianie ciepła pomiędzy bezpośrednio stykającymi się materiałami przez przekazywanie energii kinetycznej makroskopowego ruchu cząsteczek z miejsc o temperaturze wyższej do miejsc o temperaturze niższej.

Przez **konwekcję** (unoszenie ciepła) należy rozumieć ruch makroskopowych części gazu lub płynu o różnych temperaturach i różnych gęstościach wskutek ich mieszania się. Konwekcję można podzielić na naturalną, spowodowaną różnicą gęstości, oraz sztuczną, wywołaną przez urządzenia wymuszające ruch wyżej wymienionych gazów lub płynów: pompy, dmuchawy, itp.

**Promieniowanie cieplne** jest wynikiem wysyłania energii w postaci kwantów promieniowania elektromagnetycznego, o pewnym zakresie długości fali, przez ciała o temperaturze wyższej od temperatury zera bezwzględnego. Wszystkie ciała wysyłają promieniowanie elektromagnetyczne, a ilość tej energii jest zależna od rodzaju powierzchni i temperatury ciała. Energia fal elektromagnetycznych zostaje częściowo lub całkowicie pochłonięta i przekształcona w energię wewnętrzną ciała napotkanego. Wymiana ciepła przez promieniowanie występuje wówczas, gdy ilość energii wypromieniowanej przez ciało jest różna od ilości energii pochłoniętej. Odbywa się ponadto między ciałami rozdzielonymi ośrodkiem przenikliwym dla promieniowania termicznego, którym może być zarówno atmosfera ziemską, jak i próżnia.

Rozkład temperatury w przegrodzie obrazują pola temperatur, które są zbiorami ich wartości we wszystkich punktach rozpatrywanej przegrody, w konkretnym czasie [1], [2], [5]. Zbiory punktów o jednakowych wartościach temperatur tworzą powierzchnie lub linie izotermiczne. Wielkością opisującą ilościowy przepływ ciepła przez przegrody jest strumień ciepła  $\Phi$  lub jego gęstość  $q$ . Strumień cieplny jest wielkością skalarną, opisującą ilość ciepła przechodzącego z jednego ośrodka do drugiego przez określoną powierzchnię w jednostce czasu. Gęstość strumienia ciepła (intensywność wymiany ciepła) jest wektorem prostopadłym do powierzchni (linii) izotermicznych (pola lub linie temperatur o tych samych wartościach) o polu elementarnym, skierowanym w stronę spadku temperatury. Gęstość strumienia ciepła przedstawia się za pomocą adiabat, tj. wykresów linii gęstości strumienia ciepła. Ich zagęszczenie świadczy o intensywności przepływu ciepła w danych lokalizacjach.

Budowa, naprawa lub termomodernizacja wszelkich przegród budowlanych odpowiedzialnych za przepływ ciepła i wilgoci każdorazowo powinna zostać poprzedzona wykonaniem odpowiednich obliczeń oraz sporządzeniem szczegółowej dokumentacji graficznej.

Wspomniane wyżej opracowanie projektowe powinno uwzględniać:

- warunki klimatyczne środowiska zewnętrznego odpowiadające lokalizacji przedmiotowego obiektu,
- warunki środowiska wewnętrznego (użytkowego) ze szczególnym uwzględnieniem wymagań co do ilości wymian powietrza w pomieszczeniach,
- właściwości cieplno-wilgotnościowe i odporność korozyjną przewidywanych do wbudowania materiałów,
- kolejność poszczególnych warstw przegród,
- lokalizację przegrody w stosunku do kierunku ruchu słońca oraz intensywności obciążenia opadami atmosferycznymi,
- możliwość zacienienia przegród np. drzewostanem, innymi obiektami lub elementami obiektów takimi jak: kominy, balkony, zadaszenia,
- rodzaj oraz kolor warstw wykończeniowych w aspekcie zdolności pochłaniania energii charakteryzowanej współczynnikiem absorpcji lub emisyjności  $\epsilon$ .

Naprawa uszkodzeń, wymiana pokrycia, ocieplenie lub docieplenie przegród budowlanych powinna za każdym razem uwzględniać procesy fizyczne mogące zachodzić zarówno w ich wnętrzach, jak i na ich wewnętrznych powierzchniach. Żadna przegroda budynku lub budowli, mająca chronić te obiekty przed wpływem środowiska zewnętrznego, nie powinna być wyłącznie przypadkowym lub też nawet rutynowym rozwiązaniem. Zadaniem przegród, oddzielających od siebie środowiska o różnych parametrach, powinno być maksymalne ograniczenie strat ciepła przy jednoczesnym zachowaniu dopuszczalnego poziomu zawartej w nich wilgoci.

Jak wspomniano wyżej, w ustalaniu podatności wewnętrznych powierzchni przegród na możliwość kondensacji pary wodnej należy posługiwać się wielkością współczynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$ , którego wymagana (krytyczna) wartość, obliczona wg [N4] dla pomieszczeń ogrzewanych do temperatury co najmniej 20°C, przy założeniu średniej miesięcznej wartości wilgotności względnej powietrza wewnętrznego  $\phi = 50\%$  w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej, nie powinna być niższa niż  $f_{Rsi} = 0,72$  [N13]. Przegroda jest wówczas prawidłowo zaprojektowana (zbudowana), gdy obliczony dla niej rzeczywisty współczynnik temperaturowy  $f_{Rsi}$  przekracza wartość **0,72**. Gęstość strumienia ciepła w przegrodzie określa prawo Fouriera (5)

$$q = - \frac{d\theta}{dx} = \frac{\lambda}{d} \cdot (\theta_{si} - \theta_{se}) \quad (5)$$

gdzie:

$\lambda$ - współczynnik przewodzenia ciepła - W/(m·K)

$d$ - grubość ściany (warstwy) - m

$\theta_{si}$ - temperatura powierzchni wewnętrznej przegrody - °C

$\theta_{se}$ - temperatura powierzchni zewnętrznej przegrody - °C

Opor ciepły każdej warstwy przegrody złożonej lub całej przegrody jednorodnej można opisać prostym równaniem (6):

$$R = \frac{d}{\lambda} [(m^2 \cdot K)/W] \quad (6)$$

Opor ciepły samej przegrody (przewodzenia ciepła przez samą przegrodę) złożonej z wielu warstw jest równy sumie oporów poszczególnych warstw (7):

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{a=1}^n \frac{d_a}{\lambda_a} = \sum_{a=1}^n R_a \quad (7)$$

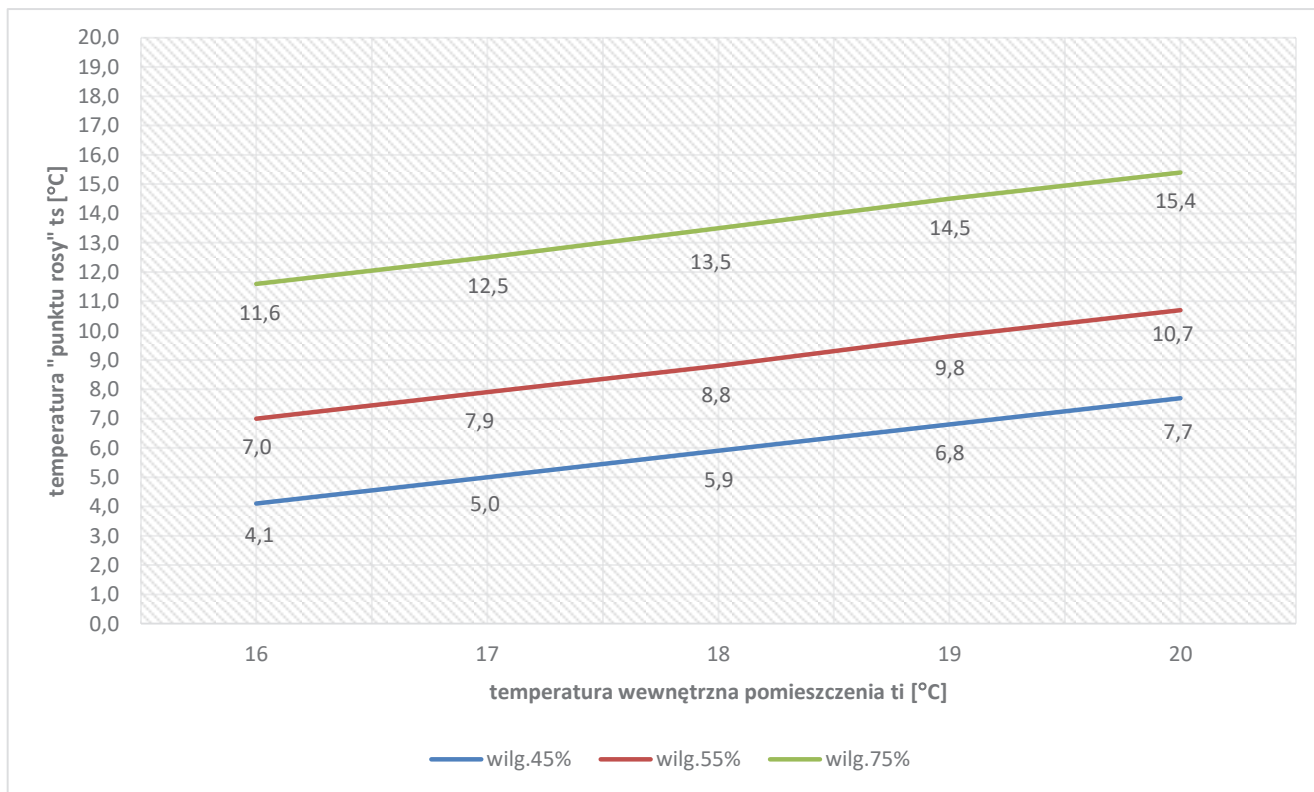
Opor przenikania ciepła przegrody jest równy sumie oporów przewodzenia ciepła przez materiał przegrody oraz oporów przejmowania ciepła na jej zewnętrznych powierzchniach (8):

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{se} [(m^2 \cdot K)/W] \quad (8)$$

Gęstość strumienia ciepła przewodzonego przez jednorodną przegrodę płaską można opisać następującym równaniem (9):

$$q = \frac{(\theta_{si} - \theta_{se})}{R} \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (9)$$

Nadal w praktyce budowlanej bardzo często pojawia się termin „punktu rosy”, stąd poniżej (Rysunek 8) zamieszczono przykładowy diagram wskazujący na wartości graniczne temperatur, przy których występuje wykraplanie się pary wodnej na powierzchniach wewnętrznych przegród.



Rysunek 8. Diagram zależności temperatury punktu rosy od temperatury powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu

Temperatura punktu rosy jest wartością progową temperatury, w której występuje zjawisko pełnego nasycenia powietrza parą wodną i jej wykraplania się.

#### PRZYKŁADY OBLICZEŃ WSPÓŁCZYNNIKA PRZENIKANIA CIEPŁA $U$ ORAZ CZYNNIKA TEMPERATUROWEGO $f_{Rsi}$

Poniżej w czterech przykładach (Rys.9,10,11,12) przedstawiono algorytm obliczania oporu cieplnego oraz współczynnika przenikania ciepła, a także czynnika temperaturowego dla prostych nieocieplonych i ocieplonych przegród zewnętrznych budynków, w tym dla ścian skrzepowanych [N1], [N4].

## Obliczenie współczynnika przenikania ciepła U wg PN-EN ISO 6946 jednorodny mur z cegły silikatowej - niedocieplany

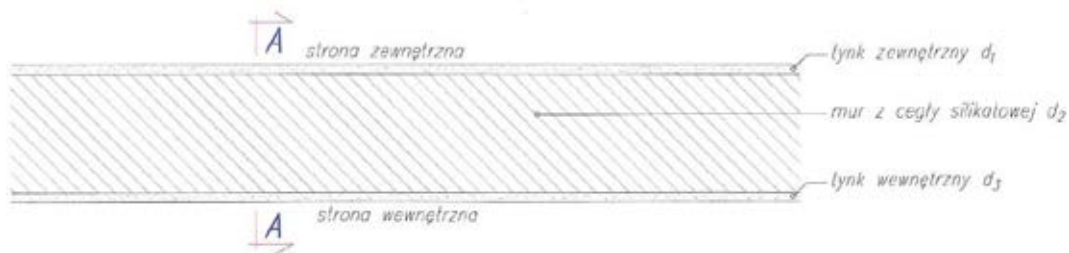
### Budowa ściany

1. tynk cienkowarstwowy	$d_1 := 0.7 \text{ cm}$	$\lambda_{p1} := 0.82 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	$R_1 := \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = 0.01 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$
2. termoizolacja	$d_2 := 0 \text{ cm}$	$\lambda_{p2} := 0.043 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	$R_2 := \frac{d_2}{\lambda_{p2}} = 0.00 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$
3. mur z cegły silikatowej	$d_3 := 24 \text{ cm}$	$\lambda_{p3} := 0.65 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	$R_3 := \frac{d_3}{\lambda_{p3}} = 0.37 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$
4. tynk wewnętrzny	$d_4 := 1.5 \text{ cm}$	$\lambda_{p4} := 0.82 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	$R_4 := \frac{d_4}{\lambda_{p4}} = 0.02 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$

$$R_{si} := 0.13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{se} := 0.04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

### PRZEKRÓJ PRZEZ ŚCIANĘ



$$R := R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{si} = 0.57 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$U := \frac{1}{R} = 1.77 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

### Współczynnik temperaturowy powierzchni wewnętrznej wg PN-EN ISO 13788

$$R_{siw} := 0.25 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

opór przyjmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej przy obliczaniu współczynnika temperaturowego wg PN-EN ISO 13788

$$R_{Tf} := R_{se} + R_1 + R_2 + R_4 + R_{siw} = 0.34 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$U_f := \frac{1}{R_{Tf}} = 2.98 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$f_{Rsi} := \frac{(R_{Tf} - R_{siw})}{R_{Tf}} = 0.25$$

Dane meteorologiczne dla miasta Krakowa  
 klimat wewnętrzny: klasa 3 wilgotności,  
 temperatura wewnętrzna stała -  $t_w = +20^\circ\text{C}$

$$f_{Rsi} = 0.25 < f_{Rsi\_min} := \frac{\theta_{si\_min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = 0,777$$

### Nastąpi wykroplenie pary wodnej na wewnętrznej powierzchni ścian

Rysunek 9. Ściana jednorodna niedocieplana

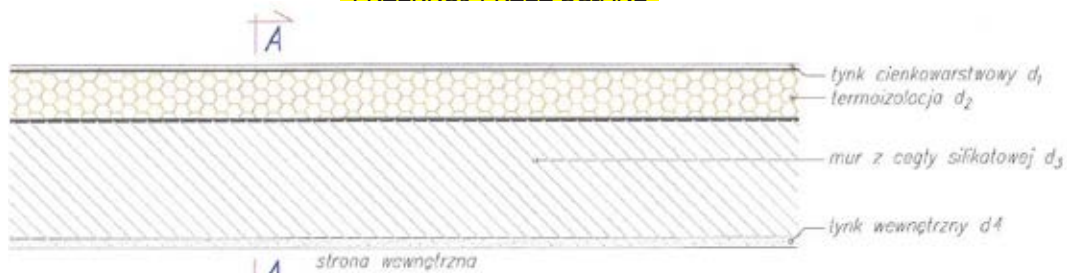
## Obliczenie współczynnika przenikania ciepła U wg PN-EN ISO 6946 jednorodny mur z cegły silikatowej - docieplony od zewnątrz

### Budowa warstwowa ściany

1. tynk cienkowarstwowy	$d_1 := 0.7 \text{ cm}$	$\lambda_{p1} := 0.82 \frac{W}{m \cdot K}$	$R_1 := \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = 0.01 \frac{m^2 \cdot K}{W}$
2. termoizolacja	$d_2 := 16 \text{ cm}$	$\lambda_{p2} := 0.043 \frac{W}{m \cdot K}$	$R_2 := \frac{d_2}{\lambda_{p2}} = 3.72 \frac{m^2 \cdot K}{W}$
3. mur z cegły silikatowej	$d_3 := 24 \text{ cm}$	$\lambda_{p3} := 0.65 \frac{W}{m \cdot K}$	$R_3 := \frac{d_3}{\lambda_{p3}} = 0.37 \frac{m^2 \cdot K}{W}$
4. tynk wewnętrzny	$d_4 := 1.5 \text{ cm}$	$\lambda_{p4} := 0.82 \frac{W}{m \cdot K}$	$R_4 := \frac{d_4}{\lambda_{p4}} = 0.02 \frac{m^2 \cdot K}{W}$

$$R_{se} := 0.13 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad R_{sc} := 0.04 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

### PRZEKRÓJ PRZEZ ŚCIANĘ



$$R := R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{si} = 4.29 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$U := \frac{1}{R} = 0.23 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

### Współczynnik temperaturowy powierzchni wewnętrznej wg PN-EN ISO 13788

$$R_{siv} := 0.25 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{opór przyjmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej przy obliczaniu współczynnika temperaturowego wg PN-EN ISO 13788}$$

$$R_{Tf} := R_{se} + R_1 + R_2 + R_4 + R_4 + R_{siv} = 4.06 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad U_f := \frac{1}{R_{Tf}} = 0.25 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$f_{Rsi} := \frac{(R_{Tf} - R_{siv})}{R_{Tf}} = 0.94 \quad \text{Dane meteorologiczne dla miasta Krakowa klimat wewnętrzny: klasa 3 wilgotności, temperatura wewnętrzna stała - tw = +20 °C}$$

$$f_{Rsi} = 0.94 > f_{Rsi\_min} := \frac{\theta_{si\_min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = 0.777$$

**Nie nastąpi wykroplenie pary wodnej na wewnętrznej powierzchni ścian**

Rysunek 10. Ściana jednorodna docieplona



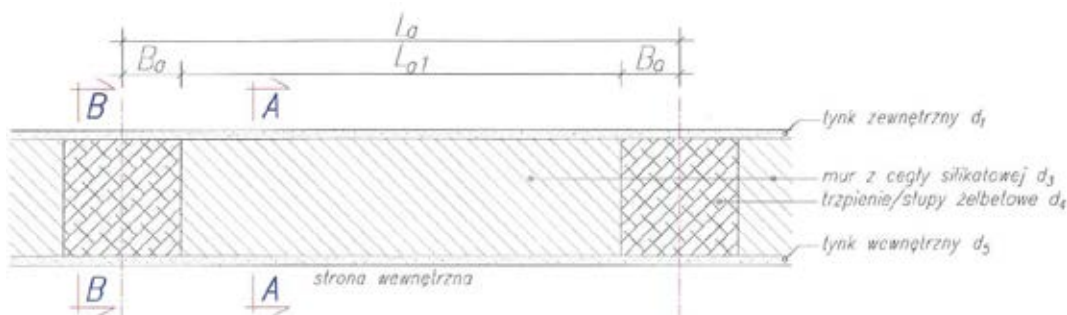
## Obliczenie współczynnika przenikania ciepła U wg PN-EN ISO 6946 "mur skrępowany" niedocieplany

Mury "skrępowane" stanowią konstrukcję niejednorodną, w której murowa warstwa nośna wzmocniana jest elementami żelbetowymi. Do wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła U przegrody wymagane jest tu obliczenie górnego i dolnego kresu oporu cieplnego.

### Budowa warstwowa ściany

1. tynk zwykły	$d_1 := 1.5 \text{ cm}$	$\lambda_{p1} := 0.82 \frac{W}{m \cdot K}$	$R_1 := \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = 0.02 \frac{m^2 \cdot K}{W}$
2. termoizolacja	$d_2 := 0 \text{ cm}$	$\lambda_{p2} := 0.043 \frac{W}{m \cdot K}$	$R_2 := \frac{d_2}{\lambda_{p2}} = 0.00 \frac{m^2 \cdot K}{W}$
3. mur z cegły silikatowej	$d_3 := 24 \text{ cm}$	$\lambda_{p3} := 0.65 \frac{W}{m \cdot K}$	$R_3 := \frac{d_3}{\lambda_{p3}} = 0.37 \frac{m^2 \cdot K}{W}$
4. trzpień/słup żelbetowy	$d_4 := 24 \text{ cm}$	$\lambda_{p4} := 1.70 \frac{W}{m \cdot K}$	$R_4 := \frac{d_4}{\lambda_{p4}} = 0.14 \frac{m^2 \cdot K}{W}$
5. tynk wewnętrzny	$d_5 := 1.5 \text{ cm}$	$\lambda_{p5} := 0.82 \frac{W}{m \cdot K}$	$R_5 := \frac{d_5}{\lambda_{p5}} = 0.02 \frac{m^2 \cdot K}{W}$
	$R_{si} := 0.13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$	$R_{sc} := 0.04 \frac{m^2 \cdot K}{W}$	

### PRZEKRÓJ PRZEZ ŚCIANĘ



$$L_a := 1500 \text{ mm} \quad L_{a1} := 1250 \text{ mm} \quad B_a := 125 \text{ mm}$$

### Kres górny

$$R_{T_{A_A}} := R_{sc} + R_1 + R_2 + R_3 + R_5 + R_{si} = 0.58 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{T_{B_B}} := R_{sc} + R_1 + R_2 + R_4 + R_5 + R_{si} = 0.35 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$f_{A_A} := \frac{L_{a1}}{L_a} = 0.83 \quad f_{B_B} := \frac{B_a + B_a}{L_a} = 0.17$$

Rysunek 11. Mur skrępowany niedocieplany

## Obliczenie współczynnika przenikania ciepła U wg PN-EN ISO 6946 "mur skrępowany" docieplony od zewnątrz

Mury "skrępowane" stanowią konstrukcję niejednorodną, w której murowa warstwa nośna wzmacniana jest elementami żelbetowymi. Do wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła U przegrody wymagane jest tu obliczenie górnego i dolnego kresu oporu cieplnego.

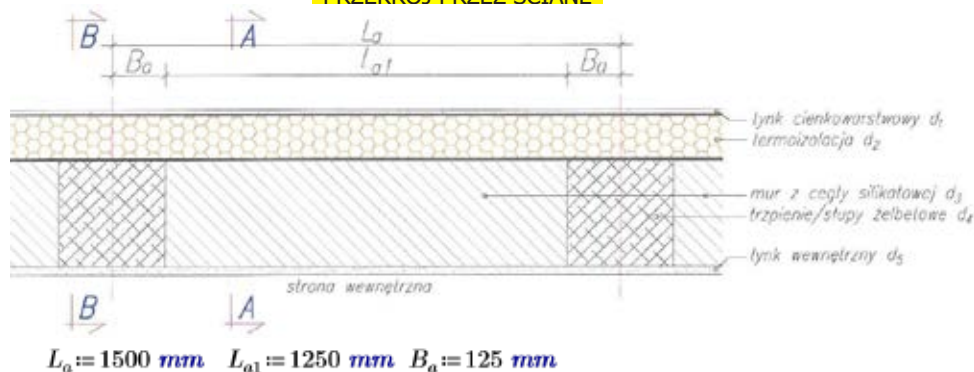
### Budowa warstwowa ściany

1. tynk cienkowarstwowy	$d_1 := 0.7 \text{ cm}$	$\lambda_{p1} := 0.82 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	$R_1 := \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = 0.01 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$
2. termoizolacja	$d_2 := 16 \text{ cm}$	$\lambda_{p2} := 0.043 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	$R_2 := \frac{d_2}{\lambda_{p2}} = 3.72 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$
3. mur z cegły silikatowej	$d_3 := 24 \text{ cm}$	$\lambda_{p3} := 0.65 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	$R_3 := \frac{d_3}{\lambda_{p3}} = 0.37 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$
4. trzpień/słup żelbetowy	$d_4 := 24 \text{ cm}$	$\lambda_{p4} := 1.70 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	$R_4 := \frac{d_4}{\lambda_{p4}} = 0.14 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$
5. tynk wewnętrzny	$d_5 := 1.5 \text{ cm}$	$\lambda_{p5} := 0.82 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	$R_5 := \frac{d_5}{\lambda_{p5}} = 0.02 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$

$$R_{\text{wi}} := 0.13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{se}} := 0.04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

### PRZEKRÓJ PRZEZ ŚCIANĘ



$$L_a := 1500 \text{ mm} \quad L_{01} := 1250 \text{ mm} \quad B_a := 125 \text{ mm}$$

### Kres górny

$$R_{T\_A\_A} := R_{\text{se}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_5 + R_{\text{wi}} = 4.29 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{T\_B\_B} := R_{\text{se}} + R_1 + R_2 + R_4 + R_5 + R_{\text{wi}} = 4.06 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$f_{A\_A} := \frac{L_{01}}{L_a} = 0.83 \quad f_{B\_B} := \frac{B_a + B_a}{L_a} = 0.17$$

Rysunek 12. Mur skrępowany docieplony

Ponadto w obliczeniach współczynnika przenikania ciepła dla pionowych przegród zewnętrznych należy uwzględnić poprawki z uwagi na pustki powietrzne w warstwie izolacji ( $\Delta U_g$ ) oraz łączniki mechaniczne ( $\Delta U_f$ ), o których nader często się zapomina. Określone one zostały w załączniku D (normatywnym) do normy [N1].

Terminem pustki powietrzne określa się wolne przestrzenie powietrzne w izolacji lub pomiędzy izolacją a przylegającą konstrukcją, tj:

- szczeliny między arkuszami izolacyjnymi, płytami lub matami, lub między izolacją i elementami konstrukcji,



- w kierunku strumienia ciepła,
  - wnęki w izolacji lub między izolacją i konstrukcją, prostopadłe do kierunku strumienia ciepła.
- Mogą one zwiększać współczynnik przenikania ciepła komponentu przez zwiększenie przenoszenia ciepła w wyniku promieniowania i konwekcji.

Poprawkę stosuje się jako dodatek do współczynnika przenikania ciepła wyrażony jako  $\Delta U_g$ .

Szczeliny powietrzne są spowodowane małymi zmianami wymiarów wyrobów izolacyjnych (odchyłkami ich wymiarów), zmianami od wymaganych rozmiarów podczas cięcia i instalacji oraz wynikają z odchyłek wymiarów towarzyszących samej konstrukcji oraz jej nieregularności. Jedynie szczeliny przechodzące przez całą grubość izolacji ze strony ciepłej na zimną powodują zwiększenie przenikania tak, że poprawka jest uzasadniona i zasadniczo jest tylko poprawką średnią. Instalowanie izolacji w więcej niż jednej warstwie ze spoinami przestawionymi usuwa konieczność stosowania poprawki. Wnęki są spowodowane powierzchniami niepłaskimi w obrębie konstrukcji: izolacja jest zbyt sztywna, za mało elastyczna lub za mało ściśliwa, aby wypełnić ją całkowicie. Nieregularności takie jak grudki zaprawy, które działają jak przekładki tworzące przestrzenie powietrzne lub przestrzenie powietrzne między konstrukcją i izolacją, wywołują ten sam efekt. Gdy wnęki są nieciągłe (brak komunikacji z innymi wnękami, szczelinami powietrznymi lub wewnętrznymi i zewnętrznym środowiskiem), stosowana jest jedynie średnia poprawka. Dla obu typów pustek powietrznych porównanie obliczenia i pomiaru pokazuje dobrą zgodność.

Jeżeli dwa typy pustek powietrznych występują łącznie, dodatkowe straty ciepła mogą wynikać z powodu przenoszenia masy, co wymaga zastosowania większej poprawki. Zakłada się zawsze odpowiedni standard wykonania.

W celu uproszczenia procedury poprawki, jako podstawę do poprawki stosuje się sposób instalowania izolacji, różniąc trzy poziomy opisane poniżej (Tablica 9).

Tablica 9. Poprawka z uwagi na pustki powietrzne  $\Delta U$

Poziom	Opis	$\Delta U''$ W/(m <sup>2</sup> ·K)
0	Brak pustek powietrznych w obrębie izolacji lub gdy występują tylko mniejsze pustki powietrzne, które nie mają znaczącego efektu na współczynnik przenikania ciepła	0,00
1	Pustki powietrzne przechodzące od ciepłej do zimnej strony izolacji, ale niepowodujące cyrkulacji powietrza pomiędzy ciepłą i zimną stroną izolacji	0,01
2	Pustki powietrzne przechodzące od ciepłej do zimnej strony izolacji, łącznie z wnękami powodującymi swobodną cyrkulację powietrza między ciepłą i zimną stroną izolacji	0,04

Poprawkę tę opisuje równanie:

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left( \frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2$$

gdzie:

$R_1$  opór cieplny warstwy zawierającej szczeliny (wg 5.1 [N1])

$R_{T,h}$  całkowity opór cieplny komponentu z pominięciem mostków cieplnych (wg 6.1 [N1])

#### Przykłady dla poziomu 0 poprawki ( $\Delta U''=0$ )

Ciągłe warstwy izolacji, bez jakichkolwiek przerw w warstwie izolacji spowodowanych elementami konstrukcji, np. słupy, krokwie lub belki stropowe ze złączami przestawnymi między matami lub płytami w poszczególnych warstwach. Izolacja jest w ciągłym kontakcie z konstrukcją, bez wnęk między konstrukcją i izolacją.

Więcej niż jedna warstwa, gdy jedna warstwa jest ciągła, bez jakichkolwiek przerw w warstwie izolacji spowodowanych

elementami konstrukcji, np. słupy, krokwie lub belki stropowe, pokryciami innej warstwy (warstw) przechodzącymi przez elementy konstrukcji. Izolacja jest w ciągłym kontakcie z konstrukcją, bez wnęk między konstrukcją i izolacją.

Pojedyncza warstwa ciągłej izolacji ze złączami, takimi jak na zakład, wpust i pióro, lub uszczelniona. Izolacja jest w ciągłym kontakcie z konstrukcją, bez wnęk między konstrukcją i izolacją.

Pojedyncza warstwa ciągłej izolacji ze spoinami na styk, gdzie odchyłki wymiarów długości, szerokości i prostokątności połączone ze stabilnością wymiarową dają w efekcie szczeliny przy złączach o grubości mniejszej niż 5 mm. Izolacja jest w ciągłym kontakcie z konstrukcją, bez wnęk między konstrukcją i izolacją.

Pojedyncza warstwa izolacja w konstrukcji, gdzie opór cieplny izolacji jest mniejszy lub równy połowie całkowitego oporu cieplnego konstrukcji. Izolacja jest w ciągłym kontakcie z konstrukcją, bez wnęk między konstrukcją i izolacją.

### Przykłady dla poziomu 1 poprawki ( $\Delta U''=0,01$ )

Jedna warstwa izolacji, przerwana przez elementy konstrukcji, np. słupy, krokwie lub belki stropowe. Izolacja jest w ciągłym kontakcie z konstrukcją, bez wnęk między konstrukcją i izolacją.

Pojedyncza warstwa izolacji ze złączami na styk, gdzie odchyłki wymiarów długości, szerokości i prostokątności połączone ze stabilnością wymiarową dają w efekcie szczeliny przy złączach o grubości większej niż 5 mm. Izolacja jest w ciągłym kontakcie z konstrukcją, bez wnęk między konstrukcją i izolacją.

### Przykład dla poziomu 2 poprawki ( $\Delta U''=0,04$ )

Co najmniej jedna warstwa izolacji przy braku kontaktu z ciepłą stroną konstrukcji, z wnękami między konstrukcją i izolacją powodującymi ruch powietrza między ciepłą i zimną stroną izolacji.

### Poprawka z uwagi na łączniki mechaniczne

Efekt łączników mechanicznych można oceniać za pomocą obliczeń zgodnych z ISO 10211 w celu uzyskania punktowego współczynnika przenikania ciepła,  $\chi$ , spowodowanego jednym łącznikiem. Poprawka dla współczynnika przenikania ciepła opisana jest równaniem:

$$\Delta U_f = n_f \cdot \chi$$

gdzie  $n_f$  jest liczbą łączników na metr kwadratowy.

Poniżej przedstawiono procedurę przybliżoną oceny efektu łączników, którą można stosować, gdy łączniki nie są uwzględnione innymi metodami. Gdy warstwę izolacyjną przebijają łączniki mechaniczne, takie jak kotwie ścienne między warstwami muru, łączniki dachowe lub łączniki w złożonych systemach paneli, to poprawkę do współczynnika przenikania ciepła określa się z równania:

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \left( \frac{R_1}{R_{T,h}} \right)$$

gdzie współczynnik  $\alpha$  podany jest następująco:

$\alpha = 0,8$ , jeżeli łącznik całkowicie przebija warstwę izolacji

$\alpha = 0,8 \times d_1/d_0$ , w przypadku łącznika wpuszczonego (Rysunek D.1 [N1])

$\lambda_f$  współczynnik przewodzenia ciepła łącznika, w W(m·K)

$n_f$  liczba łączników na m<sup>2</sup>

$A_f$  pole przekroju poprzecznego jednego łącznika, w m<sup>2</sup>

$d_0$  grubość warstwy izolacji zawierającej łącznik, w m

$d_1$  długość łącznika, który przebija warstwę izolacyjną, w m

$R_1$  opór cieplny warstwy izolacyjnej przebijanej przez łączniki, w  $m^2 \cdot K/W$

$R_{t,h}$  całkowity opór cieplny komponentu z pominięciem jakichkolwiek mostków cieplnych, w  $m^2 \cdot K/W$

Wartość  $d_1$  nie może być większa niż grubość warstwy izolacji, jeżeli łącznik przechodzi przez nią pod kątem. W przypadku łącznika wpuszczonego  $d_1$  jest mniejsza niż grubość warstwy izolacji oraz  $R_1$  jest równe  $d_1$  podzielonemu przez współczynnik przewodzenia izolacji.

### Rola szczelin w przegrodzie [N1], [5]

Spora z projektowanych i wykonywanych w praktyce budowlanej przegród budowlanych zawiera w swoim wnętrzu zamknięte i jednocześnie puste przestrzenie o niewielkich grubościach. Przykładem tego może być cegła poryzowana, pustaki ceramiczne, betonowe, żużlobetonowe. Wymiana ciepła w szczelinach zamkniętych odbywa się przez przewodzenie, konwekcję i promieniowanie. Uwzględnianie w obliczeniach szczelin zamkniętych dokładnie opisano w normie PN-EN ISO 6946 [N1].

Ponadto w procesach wymiany ciepła i wilgoci w przegrodach biorą udział niewentylowane i wentylowane szczeliny, połączone z powietrzem zewnętrznym, w tym:

- **szczeliny z niewentylowaną warstwą powietrza**, niepołączoną lub połączoną z powietrzem atmosferycznym otworami o polu powierzchni nieprzekraczającym  $500 \text{ mm}^2$  na  $1 \text{ m}$  szerokości szczeliny pionowej i na  $1 \text{ m}^2$  powierzchni szczeliny poziomej,
- **szczeliny ze słabo wentylowaną warstwą powietrza**, połączoną z powietrzem atmosferycznym otworami o polu powierzchni większym od  $500 \text{ mm}^2$  i nieprzekraczającym  $1500 \text{ mm}^2$  na  $1 \text{ m}$  szerokości szczeliny pionowej i na  $1 \text{ m}^2$  powierzchni szczeliny poziomej,
- **szczeliny z dobrze wentylowaną warstwą powietrza**, w której pole powierzchni przekracza  $1500 \text{ mm}^2$  na  $1 \text{ m}$  szerokości szczeliny pionowej i na  $1 \text{ m}^2$  powierzchni szczeliny poziomej.

Całkowity opór cieplny komponentu budowlanego z dobrze wentylowaną warstwą powietrza oblicza się, pomijając opór cieplny tej warstwy i innych warstw znajdujących się między nią a środowiskiem zewnętrznym i dodając wartość środowiska zewnętrznego oporu przejmowania ciepła, odpowiadającą nieruchomemu powietrzu (tj. równą oporowi przejmowania ciepła na wewnętrznej powierzchni tego komponentu).

Dla innych, niewielkich przestrzeni nieogrzewanych przylegających do budynku wielkość wymiany ciepła pomiędzy środowiskiem wewnętrznym a zewnętrznym można określić, uznając nieogrzewaną przestrzeń wraz z komponentem wewnętrznej konstrukcji za dodatkową jednorodną warstwę o oporze cieplnym  $R_u$  określonym wzorem (10):

$$R_u = 0,09 + 0,4 \frac{A_j}{A_e} \quad (10)$$

pod warunkiem, że  $R_u \leq 0,5 \text{ m}^2 \cdot K/W$ , w którym:

$A_j$  – łączna powierzchnia wszystkich komponentów między środowiskiem wewnętrznym a nieogrzewanym pomieszczeniem,

$A_e$  – łączna powierzchnia wszystkich komponentów między środowiskiem wewnętrznym a środowiskiem zewnętrznym.

Do małych, nieogrzewanych przestrzeni zalicza się np. garaże, składziki i oranżerie.

Jeżeli między środowiskiem wewnętrznym a nieogrzewaną przestrzenią jest więcej niż jeden element,  $R_u$  można uwzględnić w obliczeniach współczynnika przenikania ciepła każdego komponentu.

## 6. Wilgoć w przegrodach

### 6.1. Przyczyny i skutki zawilgacania przegród

Żadna przegroda budowlana nie będzie pozbawiona wilgoci, nawet w warunkach jej pełnego, możliwego zabezpieczenia przed środowiskiem zewnętrznym i prawidłowej eksploatacji. Materiały budowlane zawierają w sobie pewien poziom wilgoci początkowej, natomiast ich wbudowywanie w obiekty budowlane dostarcza dodatkowe ilości wilgoci, będącej efektem procesów technologicznych wykonywanych na „mokro”. Kolejnym znaczącym dostawcą wilgoci do przegród jest ich otoczenie dostarczające ją w postaci opadów atmosferycznych oraz przenikającej pary wodnej. Powietrze atmosferyczne jest mieszaniną suchego gazu oraz pary wodnej [3].

Dosyć istotnym „wytwórcą” pary wodnej, głównie w budynkach mieszkalnych, jest człowiek, który wytwarza dodatkowe jej ilości będące wynikiem procesów życiowych oraz zwykłych czynności domowych takich jak: gotowanie, pranie, kąpiel itp. W obiektach przemysłowych źródłem wilgoci będą procesy technologiczne. Powietrze ma tę właściwość, że potrafi wchłonąć w określonej temperaturze pewną ilość wilgoci, lecz tylko do stanu pełnego nasycenia ( $\varphi = 100\%$ ). Dalszy jej przyrost będzie powodował wytrącanie się pary wodnej w postaci mgły, a następnie wykropleń. Wilgoć występująca we wnętrzu przegród sprzyja obniżeniu ich termoizolacyjności, stąd też jest zjawiskiem niepożądanym, wymagającym prawidłowego ich zaprojektowania i wykonania, a następnie monitorowania w czasie eksploatacji obiektów. Z drugiej strony, woda będąca dobrym przewodnikiem ciepła i zdolnym do jego gromadzenia podwyższa bezwładność cieplną materiału, „pozwalając na przyjęcie” z otoczenia większych porcji ciepła.

Tak jak wspomniano wyżej, pierwszym okresem, w którym wilgoć (technologiczna) dociera do przegród, jest etap wytwarzania materiałów budowlanych oraz okres budowy obiektu. Wówczas wilgoć może występować w nadmiarze, który w określonym czasie powinien wyparować na zewnątrz. Po wykonaniu obiektu następuje okres jego eksploatacji. Wówczas pojawia się już wilgoć eksploatacyjna, która może zmieniać swoją wielkość w zależności od:

- sorpcyjności materiałów budujących przegrody,
- wielkości przenikających opadów atmosferycznych,
- kondensacji wewnętrznej, będącej efektem dyfuzji pary wodnej,
- trwałości przegród i rozwiązań technicznych (rozszczelnienie się przegród w czasie),
- jakości przeprowadzanych napraw.

### 6.2. Sorpcja a desorpcja wilgoci w przegrodach

Sorpcją to zdolność wchłaniania pary wodnej z otoczenia przez materiały budowlane i gromadzenie tej wilgoci w porach. Jest to zjawisko złożone, na które składają się dwa procesy: adsorpcja i absorpcja [3], [5].

Pod pojęciem adsorpcji należy rozumieć proces wiązania cząstek pary wodnej wskutek działania sił kohezji (międzycząsteczkowych) na granicy dwóch faz tj. gazu (pary) i ciała stałego (powierzchnia porów).

Przez absorpcję należy rozumieć proces przenikania pary wodnej w głąb materiału.

Zjawisko sorpcji odbywa się w trzech etapach, gdzie w dwóch pierwszych zachodzi głównie powierzchniowa adsorpcja w zakresie do ok. 20% wilgotności względnej powietrza – I etap i 20% do ok. 80% wilgotności względnej powietrza i II etap.

W III etapie następuje kondensacja kapilarna wilgoci przy wzroście wilgotności względnej powietrza powyżej 80% aż do pełnego nasycenia powietrza parą wodną (100%), czyli do pełnego nasycenia sorpcyjnego. To nasycenie (100%) jest zazwyczaj znacznie mniejsze od nasiąkliwości materiału.

Odwrotnym do opisanego zjawiskiem jest wysychanie materiału (desorpcja), polegające na pozbywaniu wilgoci z materiału budowlanego, lecz krzywa (izoterma) desorpcji nie pokrywa z izotermą sorpcji.

Wilgotność sorpcyjną materiałów budowlanych do celów oceny właściwości ochronnych przegród przed

zawilgoceniem należy określać dla standardowych warunków brzegowych, przy wilgotności względnej powietrza  $\varphi_i = 80\%$  i temperaturze wewnętrznej  $i = 23^\circ$ .

W Tabelicy 10 zamieszczono dane dotyczące sorpcyjności niektórych materiałów budowlanych, wg PN-EN ISO 10456 [5].

Stan wilgotnościowy materiałów w przegrodach budowlanych określa się przez opisanie ich (Tabelica 9):

- wilgotnością masową  $u_m$ , wyrażoną stosunkiem masy wody w materiale do jego suchej masy, określanej w kg/kg lub %,
- wilgotnością objętościową  $u_v$ , wyrażoną stosunkiem objętości zawartej w materiale wody do jego objętości, określanej w  $m^3/m^3$  lub w %.

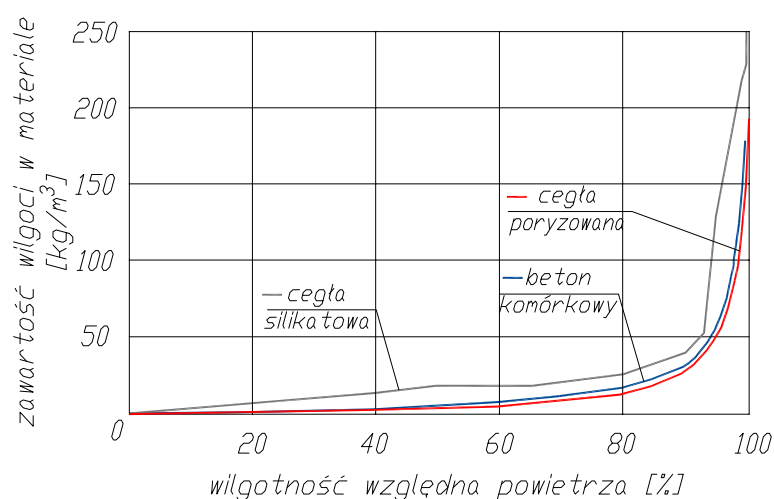
Tabelica 10. Wilgotności sorpcyjne wybranych materiałów budowlanych

Rodzaj materiału	Wilgotność sorpcyjna w temperaturze $+23^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej 80%	
	$u_m$ [%m.]	$u_v$ [% obj.]
gazobeton autoklawizowany $\rho = 300\text{--}1000 \text{ kg/m}^3$	4,5	
ceramika poryzowana $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$	0,2	
silikat $\rho = 900\text{--}2200 \text{ kg/m}^3$		2,4
cegła pełna wypalana z gliny $\rho = 1000\text{--}2400 \text{ kg/m}^3$		1,2

Bardzo często stan wilgotności materiałów w przegrodach budowlanych określa się ilością wilgoci w ich jednostkach objętości [ $\text{kg/m}^3$ ], tak jak to przedstawiono na Rysunku 13.

Na wykresie [Rysunku 13] pokazano przyrost wilgotności materiału w zależności od wilgotności względnej powietrza (ciśnienia pary wodnej) dla trzech wybranych materiałów:

- betonu komórkowego –  $\rho = 650 \text{ kg/m}^3$
- cegły silikatowej –  $\rho = 1850 \text{ kg/m}^3$
- cegły ceramicznej poryzowanej –  $\rho = 700\div 800 \text{ kg/m}^3$



Rysunek 13. Izotermę sorpcji dla wybranych materiałów budowlanych: cegły silikatowej, cegły poryzowanej i betonu komórkowego (źródło: Fraunhofer-Institut für Bauphysik – WUFI) Izotermę sorpcji, opisującą właściwości niektórych materiałów budowlanych [Rys.13], wyraźnie wskazują na intensywny wzrost ich zawilgocenia, po przekroczeniu progu 80% wilgotności względnej powietrza.

### 6.3. Kondensacja pary wodnej

Kondensacja pary wodnej zarówno na powierzchni wewnętrznej przegród, jak i w ich wnętrzu jest zjawiskiem dalece niepożądanym, lecz stale towarzyszącym eksploatacji obiektów budowlanych.

Kondensacja pary wodnej na powierzchniach wewnętrznych przegród jest efektem ich ochłodzenia się poniżej temperatury punktu rosy, tj. temperatury, w której para wodna zawarta w powietrzu osiąga stan nasycenia. Stykając się z tymi powierzchniami powietrze również ochładza się poniżej temperatury punktu rosy, a nadmiar wilgoci się skrapla. Zjawisko to najczęściej występuje w „wypukłych” narożnikach budynków, w miejscach przerwania ciągłości izolacji oraz w miejscach występowania konstrukcyjnych mostków termicznych (balkony, gzymsy, nadproża).

Kondensację pary wodnej we wnętrzu przegród wywołuje zjawisko ruchu kapilarnego wilgoci, połączone z dyfuzją pary wodnej, wywołaną różnicą jej ciśnień cząstkowych, po obydwu stronach przegrody [3]. O wielkości tej kondensacji będzie „decydowała” już sama budowa przegród i rodzaj użytych materiałów. O ile jednorodna przegroda nie będzie stanowiła większych przeszkód dla ruchu wilgoci i jej wysychania, to już jej układ warstwowy może ograniczać swobodny transport wilgoci. O tym będzie decydowała ilość i kolejność warstw budujących przegrody oraz ich zdolność do przepuszczania pary wodnej. W okresach zimowych wewnątrz przegród mogą pojawić się strefy będące w zasięgu pól niskich temperatur (poniżej  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ ), stąd też materiały narażone na takie oddziaływanie powinny charakteryzować się również odpowiednią mrozoodpornością, czyli odpornością na powtarzające się cykle zamrażania i odmrażania.

### 6.4. Zależność oporu cieplnego materiałów od poziomu ich zawilgoce- nia [5]

Wilgotność materiałów ma znaczący wpływ na ich opór cieplny (przewodność cieplną). Woda, wypełniając pory tych materiałów, wypiera z nich powietrze. Przewodność cieplna wody  $\lambda = 0,56 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  jest ponad dwudziestokrotnie wyższa od współczynnika przewodności cieplnej powietrza  $\lambda = 0,025 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , stąd zawartość wody w porach materiałów budujących przegrodę obniża jej sprawność termoizolacyjną. Tę liniową zależność można opisać przybliżonym wzorem (11) – odpowiednim dla materiałów wymienionych w Tabelicy 11:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot (1 + b \cdot w / \rho_s) \quad (11)$$

gdzie:

$\lambda_0$  – współczynnik przewodzenia ciepła suchego materiału,  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

$\lambda$  – jw. dla materiału o określonej wilgotności  $w$ ,  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

$w$  – zawartość wilgoci w materiale,  $\text{kg}/\text{m}^3$

$\rho_s$  – gęstość pozorna suchego materiału,  $\text{kg}/\text{m}^3$

$b$  – współczynnik wilgotności, oddający procentowy wzrost współczynnika w odniesieniu do wzrostu masy wilgoci

W materiałach kapilarno-porowatych wartość współczynnika  $b$  jest zależna od gęstości pozornej (Tabela 11).

Tabela 11. Wielkość współczynnika wilgotności  $b$  dla wybranych materiałów

rodzaj materiału	gęstość pozorna $\text{kg}/\text{m}^3$	przewodność cieplna $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Współczynnik $b$
1	2	3	4
beton komórkowy	400 ÷ 800	0,09 ÷ 0,19	4
cegła silikatowa	1800	0,5 ÷ 0,7	8
keramzytobeton	1400 ÷ 1800	0,5 ÷ 1,0	4
beton zwykły	2300	1,3 ÷ 1,5	8



drewno	400 ÷ 700	0,08 ÷ 0,15	1,5
cegła ceramiczna	1900	0,6	15

Porównując właściwości cegły silikatowej do cegły ceramicznej przy założeniu, że znajdują się one w stanie powietrzno-suchym (zawartość wilgoci do 3% uznaje się za wielkość dopuszczalną), otrzymamy następujące wielkości wzrostu współczynnika przewodzenia ciepła w stosunku do wzrostu poziomu tej wilgoci w materiale.

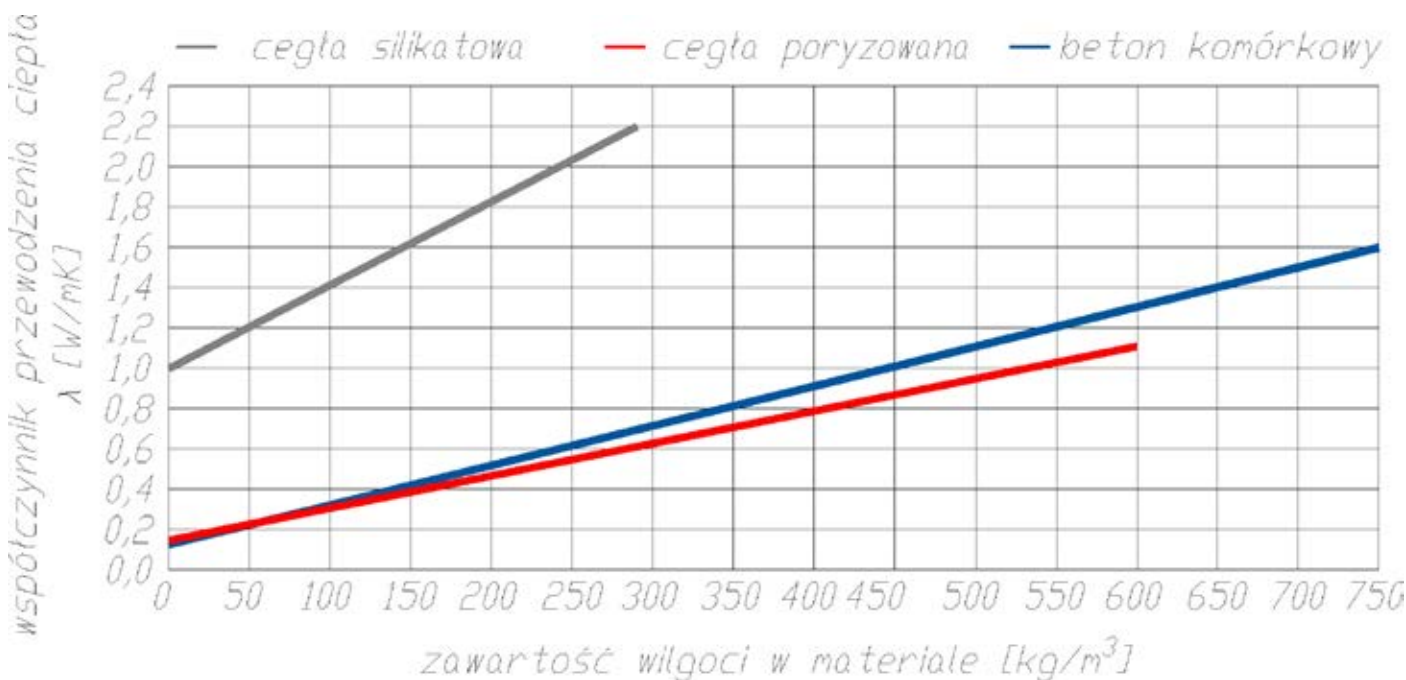
$$\lambda_{sil} = 0,6 \cdot (1 + b \cdot w / \rho_{ssil}) = 0,6 \cdot (1 + 8 \cdot 10 / 1800) = 0,63 \text{ W}/(m \cdot K) \text{ – wzrost współczynnika o ok. 5,0\% (dla silikatów)}$$

$$\lambda_{ceg} = 0,6 \cdot (1 + b \cdot w / \rho_{sc}) = 0,6 \cdot (1 + 15 \cdot 10 / 1900) = 0,65 \text{ W}/(m \cdot K) \text{ – wzrost współczynnika o ok. 8,5\% (dla cegły ceramicznej wypalanej z gliny)}$$

Cegła ceramiczna wykazuje znacznie wyższe obniżenie parametrów cieplnych po jej zawilgoceniu w stosunku do cegły silikatowej.

W organicznych materiałach izolacyjnych zależność między zawartością wilgoci a współczynnikiem przewodzenia ciepła nie jest liniowa.

Poniżej, na wykresie [Rysunek 14] pokazano zmienność właściwości cieplnych wybranych materiałów budowlanych w zależności od ilości zawartej w nich wilgoci, wg danych Fraunhofer-Institut für Bauphysik (WUFI).



Rysunek 14. Liniowa zależność współczynnika przenikania ciepła: cegły silikatowej, cegły poryzowanej i betonu komórkowego

Dlatego bardzo istotnym elementem w projektowaniu, wykonawstwie i eksploatacji przegród jest maksymalne ograniczenie zarówno okresowego ich zawilgocenia (miesiące chłodne), jak również trwale pozostającej w przegrodzie wilgoci (okresy wiosenno-letnie). Procesy te decydują o wielkości strat ciepła przez przegrody, komforcie pomieszczeń oraz o trwałości samych przegród i całych obiektów budowlanych. Temat ten rozszerzono w Rozdziale 9.

## 6.5. Uszkodzenia materiałów budowlanych (w tym całych przegród) wskutek poddania ich oddziaływaniu niskich temperatur

Każda przegroda zewnętrzna będzie kumulowała w sobie pewną ilość wilgoci, od której będzie zależała m.in. jej trwałość. Rozkład wilgoci w przekroju przegrody oraz na jej powierzchni nie będzie jednakowy.

Zewnętrzne powierzchnie przegród budowlanych będą w okresach ujemnych temperatur stale w ich zasięgu i w obrębie ich negatywnego oddziaływania. Zakres tego oddziaływania ulegnie znacznemu skróceniu w sytuacji wprowadzenia termoizolacji na ich zewnętrznych powierzchniach i wówczas zostanie ograniczony wyłącznie do tej warstwy. W sytuacjach, gdy termoizolacja będzie znajdowała wewnątrz przegrody lub też zostanie ułożona po jej wewnętrznej stronie, pola temperatur ujemnych mogą docierać do nowo ułożonej termoizolacji lub nawet jej wnętrza, stwarzając zagrożenie mrozowe dla warstw znajdujących się wcześniej. Wówczas nagromadzona w porach i kapilarach materiałów woda (w zależności też od jej ilości), zwiększając swoją objętość może doprowadzać do trwałych uszkodzeń. Na destrukcyjny wpływ mrozu szczególnie narażone będą zewnętrzne warstwy przegród, w których gromadzi się zazwyczaj najwięcej wilgoci (pary wodnej), stale zasilanej opadami atmosferycznymi, stąd też bardzo niekorzystnie będą oddziaływać na te przegrody częste skoki temperatur, od ich wartości dodatnich do ujemnych. O ile do budowy nowych przegród można dobrać materiały o wymaganych parametrach, to w przypadku docieplania istniejących obiektów nie będzie to możliwe w stosunku do materiałów już wbudowanych. Symulacje obliczeniowe powinny uwzględniać takie sytuacje.

Stan wilgotnościowy materiału w przegrodzie charakteryzuje się:

- wilgotnością masową  $u_m$  [%], wyrażającą stosunek masy wody w materiale do suchej masy tego materiału ( $kg/kg$ ) lub,
- wilgotnością objętościową  $u_v$  [%], wyrażającą stosunek objętości wody zawartej w materiale do objętości tego materiału ( $m^3/m^3$ ).

Często stan wilgotnościowy materiału określa się zawartością wilgoci w jego jednostce objętości w  $kg/m^3$ .

Stan wilgotnościowy jest zmienny w czasie. Zależy on od pory roku, wielkości i częstotliwości nasłonecznienia powierzchni przegród, wielkości opadów atmosferycznych itp.

## 7. „Słabe miejsca” w budynkach – lokalizacja mostków termicznych [1]

Praktyka budowlana potwierdza, że nie istnieją obiekty budowlane pozbawione jakichkolwiek wad. Już od samego momentu rozpoczęcia procesu budowlanego materiały wbudowywane w przyszły obiekt są poddawane oddziaływaniom otoczenia zewnętrznego, a także obciążeniom technologicznym będącym efektem prowadzonych robót, obciążeniom eksploatacyjnym oraz wyjątkowym. Projektant powinien przewidywać wszelkie możliwe oddziaływania środowiska zewnętrznego oraz wewnętrznego na elementy nośne, wykończeniowe oraz uzupełniające budynku, w okresie jego wznoszenia i w czasie jego późniejszej eksploatacji. Działanie to powinno mieć na celu ograniczenie do minimum liczby defektów, które mogą wystąpić w obiektach. Nie każdy symptom pojawiającej się w i na elementach obiektu budowlanego degradacji musi być jednoznaczny ze stanem zagrożenia, lecz może być jego zwiastunem. Nie tylko środowisko zewnętrzne i sam proces starzenia się może prowadzić do defektów technicznych budynków i budowli. W praktyce budowlanej mamy do czynienia również z innymi przyczynami takich uszkodzeń.

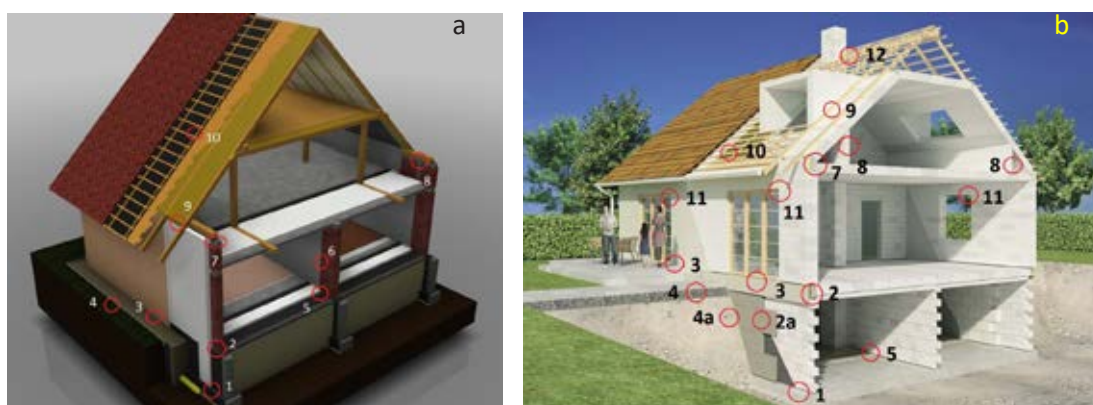
Każdy obiekt budowlany, niezależnie od jego wieku i technologii wykonania, posiada tzw. słabe miejsca [1], [2], które utrudniają jego eksploatację, skracają żywotność techniczną lub mogą stanowić również pośrednie lub bezpośrednie zagrożenie dla jego użytkowania. Znajomość rodzaju, lokalizacji występowania oraz technik powstawania „słabych miejsc” w budynkach i budowlach pozwala na szybsze odkrycie ich przyczyn i usunięcie. Prawidłowe rozpoznanie stanu technicznego obiektu będzie znacznie łatwiejsze w sytuacji, gdy znane będą jego „słabe miejsca”, których rodzaj i lokalizacje będą do siebie zbliżone w obiektach wybudowanych w podobnych technologiach. Poniżej, w Tabelicy 12, wymieniono najczęściej spotykane mankamenty w przegrodach pionowych budynków i budowli, związane z utrudnieniami w ich eksploatacji, których wizualne skutki mogą świadczyć o wadliwości rozwiązań technicznych i samego wykonawstwa, co nader często bywa mylnie kojarzone z wadliwością sprawdzonych w praktyce materiałów i technologii.

*Tabelica 12. Najczęściej występujące wady w ścianach i zagrożenia z nimi związane*

Lp.	Wady ścian	Skutki/zagrożenia (numery podane w nawiasach oznaczają odniesienie do niektórych oznaczeń wg rys. 8)
1	niewłaściwy dobór rodzaju materiału na ściany oraz uzupełnienia ścian (zamurowania, przemurowania)	zarysowania i pęknięcie, pobór wilgoci z otoczenia, niska termoizolacyjność (mostki termiczne)
2	dowolność we wbudowywaniu w ściany elementów o różnym współczynniku rozszerzalności cieplnej, słupy stalowe, żelbetowe, kominy nieprzewiązane lub niewłaściwie przewiązane	spękania i zarysowania (rozwarstwienia) – (6)
3	niewłaściwy dobór izolacji termicznej do rodzaju przegrody oraz nieprzestrzeganie zasady zachowania jej ciągłości	odbarwienia, zawilgocenia, przemarzanie, nadmierne starty ciepła (9)
4	stosowanie termoizolacji po niewłaściwej stronie przegród	zawilgocenie przegród, rozwój grzybów pleśniowych, szkody mrozowe
5	stosowanie nieocieplonych nadproży, kaset nadprożowych	przemarzanie, nadmierne straty ciepła, zawilgocenie, zmiany w strukturze materiału, pleśń (11)
6	brak (pomijanie) termoizolacji na ościeżach okiennych (węgarkach)	uwagi j.w. (11)
7	brak szczelin wentylujących przegrody, w ścianach o budowie warstwowej i silnej kondensacji międzystrefowej	stałe zwilgocenie przegród, brak możliwości odparowywania wilgoci poza przegrody
8	lekceważenie zasad prawidłowego ocieplania naroży budynków	przemarzanie, rozwój grzybów pleśniowych, podwyższone straty ciepła
9	stosowanie ociepleń budynków bez właściwego ich udokumentowania – ograniczenie dyfuzji pary wodnej – brak analiz	krótka trwałość materiałów użytych do ociepleń, kondensująca się wewnątrz przegród wilgość, możliwość rozwoju pleśni po wewnętrznych stronach przegród
10	pomijanie dociepleń ścian piwnic oraz ścian fundamentowych	nadmierne straty ciepła spowodowane przez strop piwnic lub posadzki „na gruncie”, podwyższona wilgotność w pomieszczeniach parteru, rozwój grzybów pleśniowych oraz przemarzanie (2)
11	nieuregulowana gospodarka wodna wokół obiektu	brak drenażu, odpowiednich utwardzeń i ich spadków – uwagi j.w. (3)(4)
12	nieszczelne i niedrożne instalacje pod budynkiem i w jego bezpośrednim sąsiedztwie	silne zawilgocenie przegród, możliwość nierównomiernego osiadania obiektu, często mylnie utożsamiane z niewłaściwym zabezpieczeniem przed wodą gruntową lub wilgocią infiltracyjną
13	stosowanie wnęk na grzejniki, szafki licznikowe, rury spustowe	brak wymaganej grubości termoizolacji, nadmierne straty ciepła, przemarzanie, osłabianie przekrojów ścian a czasami doprowadzanie do utraty ich ciągłości i sztywności przestrzennej budynku
14	ukrywanie wszelkich instalacji w ścianach	uwagi jw. plus dynamiczna ingerencja w konstrukcję obiektu
15	dowolność wykonywania przebić (otworów) w ścianach oraz prowadzenia bruzd	uwagi jw.
16	niewłaściwa akustyka ścian	komfort użytkownika (zeszyt: <i>Izolacyjność od dźwięków powietrznych i dźwięków uderzeniowych – regulacje prawne, obliczenia i rozwiązania konstrukcyjne</i> )

17	nieskuteczna wentylacja pomieszczeń, brak otworów nawiewnych (np. podokienne), ograniczanie światła przewodów kominowych lub zaślepienie kratak wylotowych (w tym wbudowywanie wentylatorów)	brak możliwości przewietrzania pomieszczeń i odprowadzenia z nich zanieczyszczonego powietrza zawierającego spore ilości pary wodnej, wilgoć na wewnętrznych powierzchniach ścian
18	nagminne ustawianie ciężkich ścian działowych na podkładach nośnych posadzek układanych „na gruncie”, z pominięciem ich dodatkowych wzmocnień lub na stropach o niskiej sztywności	spękania i deformacje posadzek, nadmierne ugięcie stropów, zarysowania, pęknięcia i odspojenia ścian (czasami przesklepienie)- (6)
19	stosowanie ścian działowych wysokich o sporej wiotkości	deformacje, zarysowania i pęknięcia, możliwa utrata stabilności
20	stosowanie tynków, powłok oraz okładzin o niskiej przepuszczalności dla pary wodnej (materiały o dużym oporze dyfuzyjnym)	zatrzymywanie wilgoci wewnątrz pomieszczeń i w przegrodach
21	niedostosowanie sztywności nadproży w otworach bramowych, okiennych i drzwiowych do warunków użytkowania (możliwość późniejszego dociążenia ościeżnic)	deformacja ram okiennych, trudności z otwieraniem skrzydeł, pęknięcia ram okiennych (11)
22	nieszczelność połączeń obróbek blacharskich, brak progów okien balkonowych oraz tarasowych, niewłaściwe ukształtowanie obróbek blacharskich styków elementów wystających z murów	lokalne, a nawet silne zawilgocenia ścian i w ich następstwie uszkodzenia mrozowe, korozja biologiczna (3)
23	niezachowywanie sprawdzonych w praktyce nawyków (zasad) sytuowania posadzek na wysokości min. 30 cm powyżej powierzchni terenu	nadmierna wilgotność oraz uszkodzenia wypraw i ścian przyziemia, przemarzania w miejscach uszkodzeń (5)
24	pomijanie sprawdzonych zasad wbudowywania materiałów podatnych na zawilgocenia o silnym podciąganiu kapilarnym wilgoci min. 50 cm powyżej terenu	silne zawilgocenie elementów nasiąkliwych, osłabienie termoizolacyjności przegród, zmiany strukturalne, szkody mrozowe
25	niska odporność materiałów elewacyjnych na warunki atmosferyczne oraz warunki otoczenia	łuszczenie się materiałów, dopływ wilgoci do wnętrza, spadające odłamki z wysokości
26	brak rozwiązań szczegółowych i „przypadkowe” wykonawstwo izolacji elementów zagłębionych w gruncie lub wykonywanie ich z materiałów zanikających – głównie dot. izolacji pionowych i poziomych ścian	stałe, silne zawilgocenie przegród, degradacja konstrukcji i elementów uzupełniających, zagłębionych w gruncie
27	brak zapewnienia ciągłości izolacji na połączeniu posadzek i ścian	j.w.
28	wykonanie izolacji po niewłaściwej stronie lub tylko z jednej strony przegrody	j.w.
29	nieszczelności w osadzaniu stolarki okiennieo-drzwiowej	lokalne nieszczelności, przenikanie wody do wnętrza pomieszczeń, degradacja ścian, osłabienie ich termoizolacyjności
30	niewzglądnięcie parcia gruntu oraz parcia hydrostatycznego wody na powierzchnie ścian piwnicznych	możliwość utraty stateczności ścian lub nawet naruszenie konstrukcji budynku, intensywne zawilgocenie, trwałe zmiany w strukturze materiałów
31	wykonywanie zbyt długich ścian bez odpowiednich usztywnień oraz dylatacji	deformacje, spękania, możliwość utraty stateczności ścian, nieszczelność przegród zewnętrznych
32	„przesztywnianie” ścian podczas ich napraw i uzupełnień lub nowych „skrupowanych” bez odpowiedniego uzasadnienia obliczeniowego	zarysowania i spękania, wykruszenia
33	brak stosowania zbrojenia ścianek, które tego wymagają	utrata ich nośności, deformacje, spękania
34	usuwanie ścian uznawanych za działowe bez odpowiedniego sprawdzenia ich funkcji w obiekcie (usztywnienia, podparcia)	możliwość wystąpienia katastrofy budowlanej, gdy ściana jest elementem usztywniającym lub podparciem

35	bliskie sąsiedztwo zieleni (zacienienie, zawilgocenie, korzenie drzew)	podwyższona wilgotność, glony na ścianach, uszkodzenia elewacji (4)
36	bliskie sąsiedztwo innych budynków lub innych przeszkód	j.w.
37	krótka trwałość stosowanych technologii ociepleń budynków, często brak podejścia projektowego do termomodernizacji budynków	niektóre z zastosowanych 15-10 lat temu metod wymagają już gruntownych zmian
38	mieszanie technologii oraz materiałów, z których wznoszone są ściany w poziomie jednej kondygnacji	brak odpowiednich wiązań, spękania będące skutkiem różnic w parametrach użytych materiałów
39	wykonywanie otworów (przebieg instalacji) przez ściany oddzielenia pożarowego	zagrożenie bezpieczeństwa użytkowego budynku



Rysunek 15. Lokalizacja najczęściej powtarzających się tzw. słabych miejsc w budynkach mieszkalnych: a) niepodpiwniczonych (źródło autora), b) podpiwniczonych (źródło Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe Murowanie”) – (Tabela 12)

Na Rysunku 15 pokazano lokalizacje najczęściej występujących wad w budynkach, nie tylko na ich przegrodach pionowych.

1. Szczelność połączenia ściany fundamentowej/piwnicznej z fundamentem i posadzką na gruncie – wpływ wód gruntowych i infiltracyjnych.
2. Ciągłość termoizolacji i izolacji p/wilgociowych w miejscu styku ściany parteru z fundamentową/piwniczną (Rysunek 17).
3. Zabezpieczenie przed wilgocią ścian budynku na styku z przyległym gruntem/utwardzeniem oraz szczelność progów stolarki otworowej.
4. (4a) parcie gruntu oraz parcie hydrostatyczne wody infiltracyjnej/gruntowej na przegrody zagłębione w gruncie.
5. Szczelność połączeń konstrukcji wewnętrznych budynku (ściany, słupy) z posadzką i fundamentami.
6. Stosowanie różnych materiałów murowych w poziomie jednej kondygnacji lub np. murów „skrępowanych”, niewłaściwie połączonych z konstrukcjami sztywniejszymi (Rysunek 18).
7. Braki w ciągłości izolacji w miejscu połączenia dachów i stropodachów ze stropami ostatnich kondygnacji lub ściankami kolankowymi.
8. Zbyt oszczędne kotwienie płatwi stopowych (murlat) w wieńcach lub ścianach kolankowych bądź nieprzystosowanie ścian kolankowych do przenoszenia sił pochodzących od oparć dachów rozporowych.
9. Ocieplanie wyłącznie przestrzeni „między krokwiowych” tworzy gęstą sieć liniowych mostków termicznych



(drewno charakteryzuje się ok. czterokrotnie niższym oporem cieplnym niż wełna mineralna – Rysunek 22).

10. Szczelność pokryć poddachówkowych w miejscach przybijania „kontrłat” (przebite membrany, brak ich odpowiedniego naciągu).
11. Nadproża, wieńce oraz balkony tworzące liniowe mostki cieplne (termiczne) – Rys.16,17,20.
12. Nieszczelności pokryć przy elementach wystających ponad pokrycia dachowe (kominy, lukarny, konstrukcje anten, balustrad).
13. Obsuwanie się mało sztywnych lub nieskutecznie mocowanych termoizolacji wewnętrznych w ścianach warstwowych (Rys.18,19).

Poniżej na kilku fotografiach pokazano lokalizację „słabych miejsc” przy wykorzystaniu termowizji.

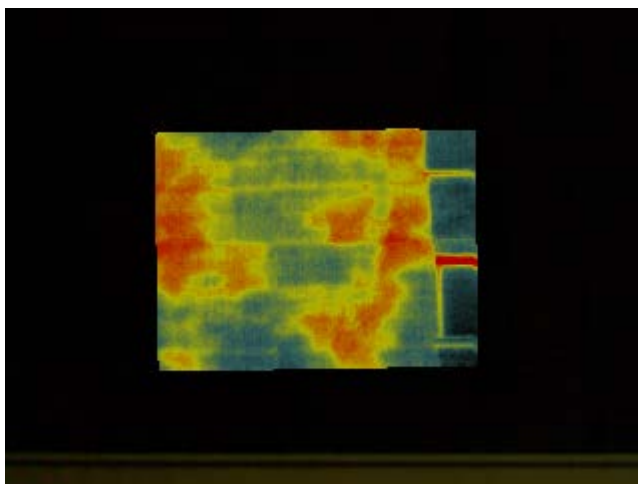
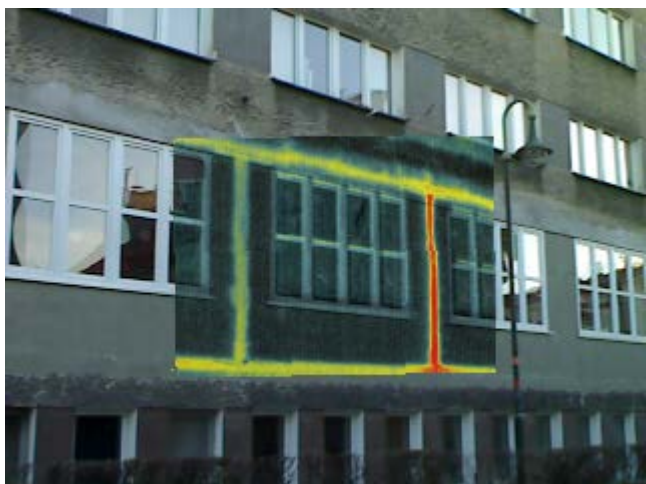


Rysunek 16. Mostki cieplne (termiczne) w okolicach nadproży i w lokalizacjach spoin wspornych i pionowych – widok od środka pomieszczeń (źródło własne)

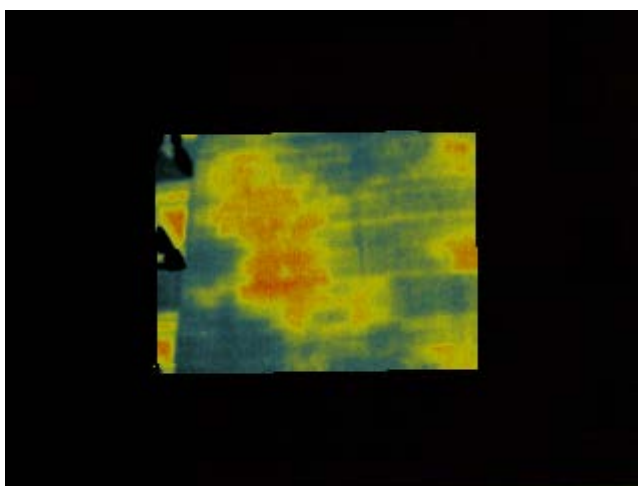
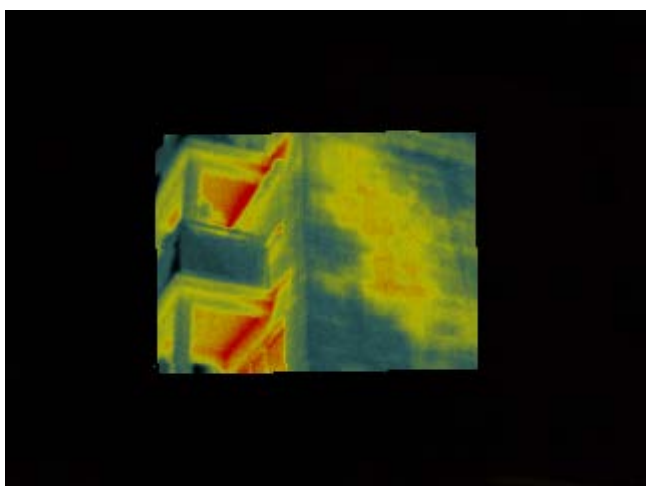


Rysunek 17. Mostki cieplne w okolicach nadproży, oparcie – utwierdzenia konstrukcji balkonów wspornikowych oraz w lokalizacjach spoin wspornych i pionowych murów – widok z zewnątrz (źródło własne)

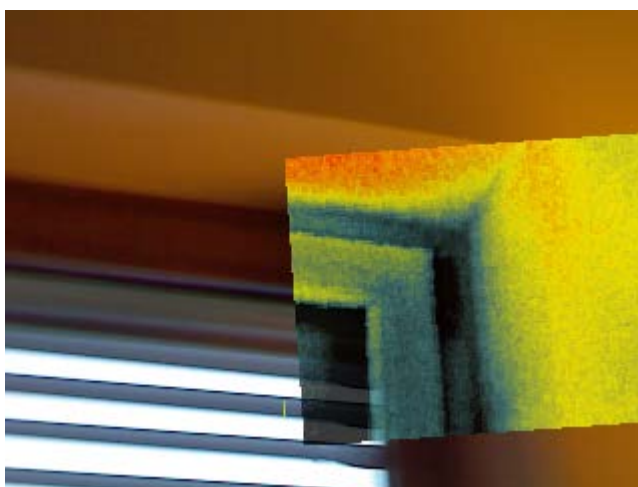
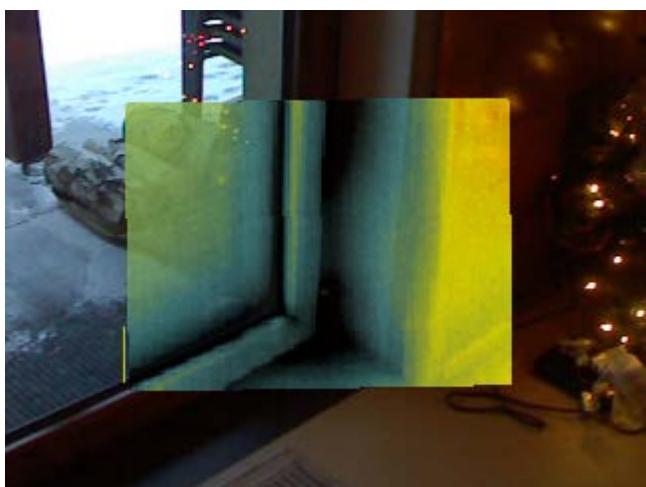




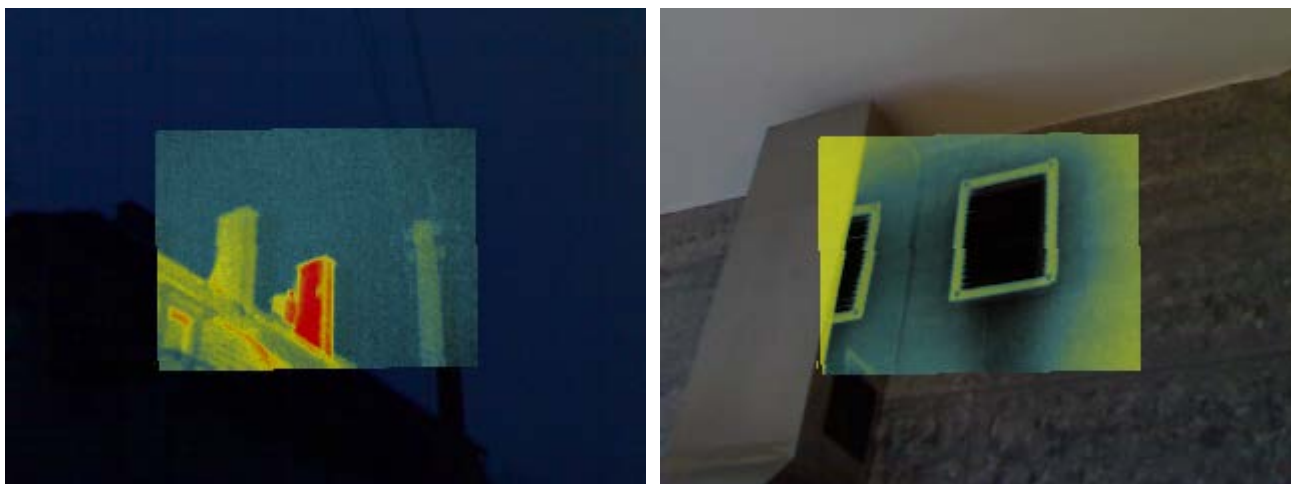
Rysunek 18. Mostki cieplne w miejscach połączenia muru z konstrukcją żelbetową (bez wymaganego ocieplenia) oraz w miejscach osunięcia się termoizolacji w zewnętrznej ścianie warstwowej (źródło własne)



Rysunek 19. Mostki cieplne o sporych powierzchniach strat ciepła w miejscach osunięcia się termoizolacji w zewnętrznych ścianach warstwowych oraz w miejscach oparcie (zamocowań) konstrukcji balkonów (źródło własne)



Rysunek 20. Liniowe mostki cieplne występujące po obwodzie osadzenia stolarki okiennieo-drzwiowej (źródło własne)



Rysunek 21. Straty ciepła (wychładzanie – Rysunek 7) w nieocieplanych kominach przechodzących przez kondygnacje nie-ogrzewane i ponad dachem, wychłodzone kratki wylotowe wentylacji grawitacyjnej – wskazujące na konieczność ogrzewania wymienianego powietrza w pomieszczeniach (źródło własne)



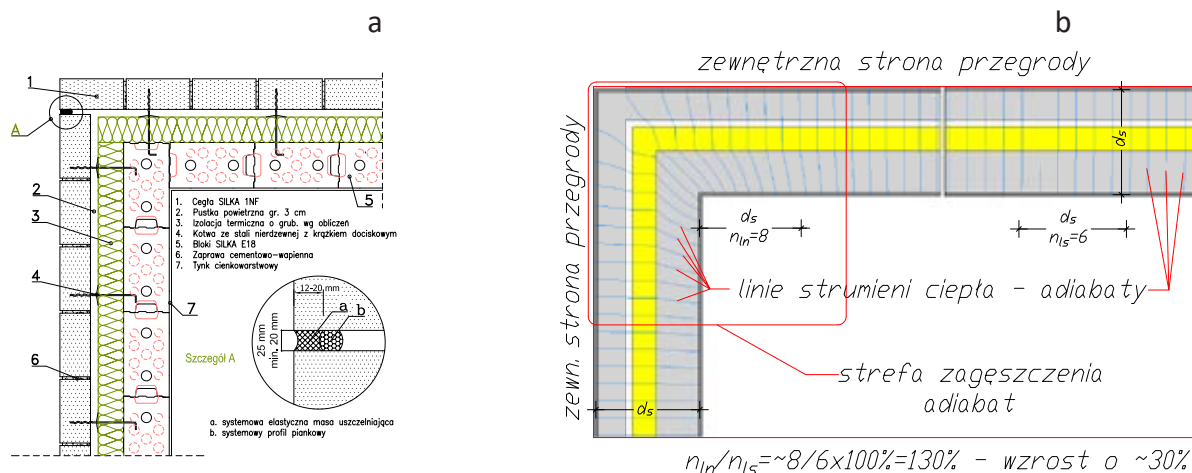
Rysunek 22. Straty ciepła na styku krokiew–termoizolacja oraz na styku termoizolacji ukośnej dachu z pionową ścian (źródło własne)

## 8. Zabezpieczenie mostków termicznych w rozwiązaniach typowych dla systemu wznoszenia ścian z silikatów z podaniem wskazówek dla ewentualnych rozwiązań indywidualnych

Mostki termiczne będące „zachwianiem” pewnej równowagi w jednorodności przegród budowlanych powodują w nich zmiany gęstości strumienia cieplnego oraz temperatury powierzchni o wyższych współczynnikach przewodzenia ciepła w stosunku do powierzchni pozbawionych mostków. Obecność takich mostków, ich wielkość oraz rodzaj – powierzchniowe, liniowe, punktowe, przebijające lub rozrywające warstwę cieplną – należy uwzględniać w obliczeniach współczynnika przenikania ciepła wraz z uwzględnieniem możliwości kondensacji powierzchniowej lub międzywarstwowej wilgoci na lub wewnątrz przegród. Mostki cieplne są jedną z najczęstszych przyczyn obniżania temperatury wewnętrznej przegród, powodując ryzyko powierzchniowej kondensacji pary wodnej lub rozwoju grzybów pleśniowych. Katalog mostków termicznych w liczbie 60 stanowi załącznik do normy [N3].

Poniżej na Rysunkach 23, 24, 36 i 41 (źródło Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe Murowanie”) pokazano zasady ograniczania strat ciepła poprzez prawidłową lokalizację termoizolacji i zachowania jej ciągłości. Rysunki

przedstawiają praktycznie wszystkie zasadnicze przegrody budynków, w których występują mostki ciepłe.



Rysunek 23. Naroże ścian jest elementem generującym znacznie wyższe straty ciepła od prostych odcinków przegród z uwagi na mniejszą powierzchnię napływu ciepła w stosunku do jego odpływu z powierzchni zewnętrznej: a) typowa budowa prawidłowo wykonanego narożnika ścian (źródło Stowarzyszenia Producentów Silikatów „Białe Murowanie”), b) porównanie gęstości strumieni ciepła w narożniku w stosunku do powierzchni płaskiej (źródło własne)

Poniżej na diagramach (Rysunki 24-30) pokazano rozkład izoterm w przekroju poziomym narożnika ścian (Rysunek 24) oraz linie (adiabaty) strumieni ciepła.

Obliczenia symulacyjne przeprowadzono dla następujących parametrów przegród:

- mur z cegły silikatowej...  $\lambda = 0,65$  [W/m·K], grub. 18 cm – warstwa wewn. i 12 cm – warstwa zewnętrzna
- cegła pełna  $\lambda = 0,9$  [W/m·K], grub. 18 cm – warstwa wewn. i 12 cm – warstwa zewnętrzna (w obliczeniach przyjęto grubość wewnętrznej ściany ceglanej porównywalną do silikatowej tj. 18 cm, jak również równą 25 cm)
- termoizolacja  $\lambda = 0,040$  [W/m·K], grub. 10 cm powszechnie stosowana (16 cm wymagana [N8]), oraz dla temperatury zewnętrznej otoczenia równej - 20°C i wewnętrznej pomieszczeń równej +20°C.

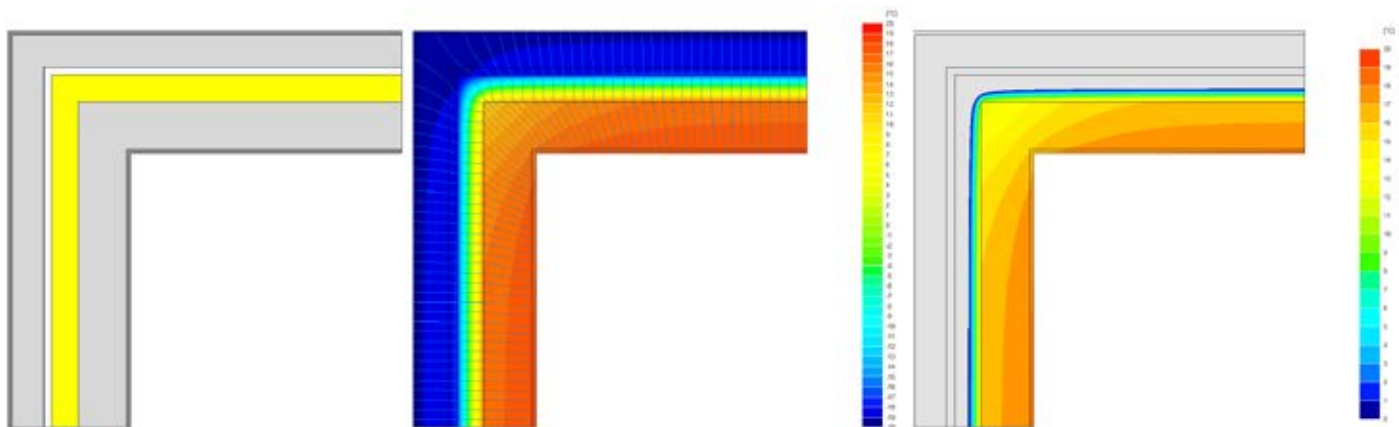
Na Rysunku 24 pokazano typowe naroże budynku, utworzone przez stykające się dwie ściany warstwowe z wentylowaną szczeliną powietrza (Rysunek 23). Ostatni z diagramów wskazuje na izotermę o zerowej wielkości temperatury, która zlokalizowana jest w warstwie termoizolacji (w tym przypadku o grub. 10 cm).

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano następujące wielkości charakteryzujące przegrodę pod względem cieplnym, które zamieszczono w Tablicy 13.

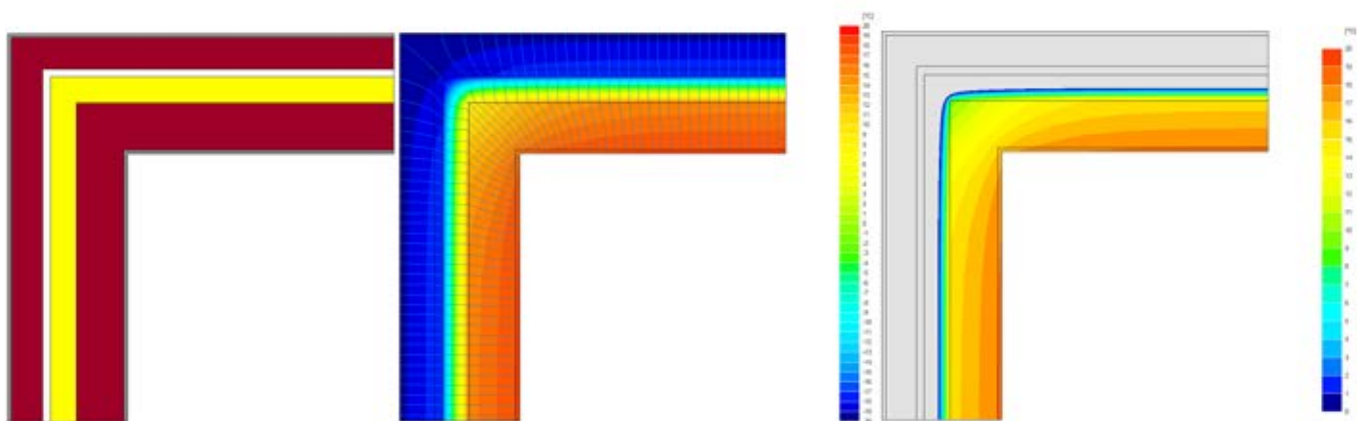
Tablica 13. Charakterystyka cieplna przegrody pokazanej na Rysunku 23

grubość termoizolacji	współczynnik U (powierzchnie płaskie)	współczynnik U (wielkość dopuszczalna [N8])	wewnętrzna temperatura narożnika
[cm]	[W/m <sup>2</sup> ·K]	[W/m <sup>2</sup> ·K]	[°C]
10	0,315	0,230	+16
16	0,214	0,230	+18

Dla grubości termoizolacji równej 10 cm przegroda nie spełnia wymagań rozporządzenia [N13] pod względem ciepłochronności, ale celem obliczeń było pokazanie rozkładu izoterm temperatury i adiabat strumieni ciepła w prostych fragmentach ścian i w ich narożu.



Rysunek 24. Ściana warstwowa z cegły silikatowej z lekko wentylowaną pustką powietrzną oraz wewnętrzną termoizolacją (źródło własne)

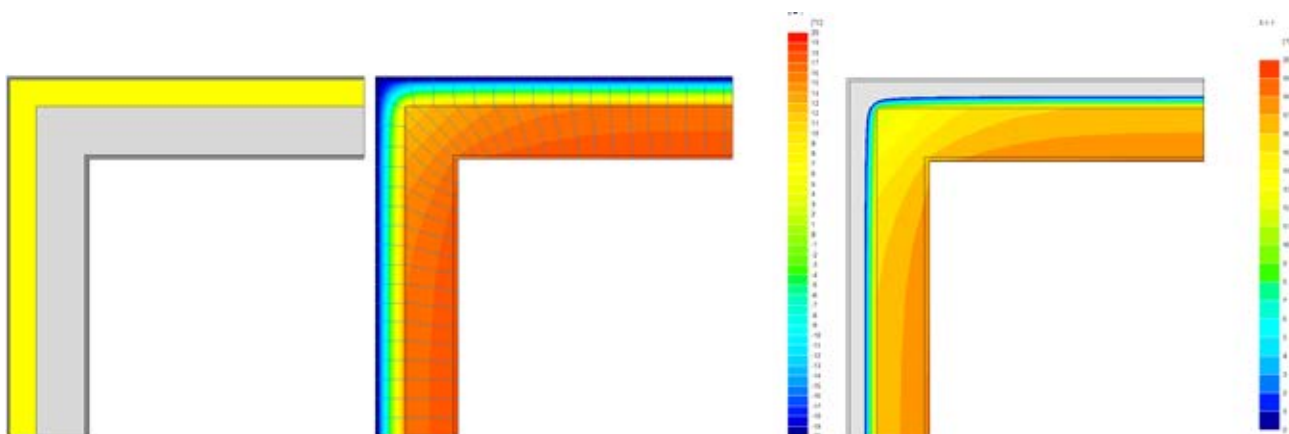


Rysunek 25. Ściana warstwowa jw. z cegły ceramicznej pełnej z lekko wentylowaną pustką powietrzną oraz wewnętrzną termoizolacją (źródło własne)

Wielkości charakteryzujące przegrodę (Rysunek 24) pod względem cieplnym zamieszczono w Tabelicy 14.

Tablica 14. Charakterystyka cieplna przegrody pokazanej na Rysunku 24

grubość termoizolacji [cm]	współczynnik U (powierzchnie płaskie) [W/m <sup>2</sup> ·K]	współczynnik U (wielkość dopuszczalna [N8]) [W/m <sup>2</sup> ·K]	wewnętrzna temperatura narożnika [°C]
10	0,328	0,230	+16
16	0,220	0,230	+18

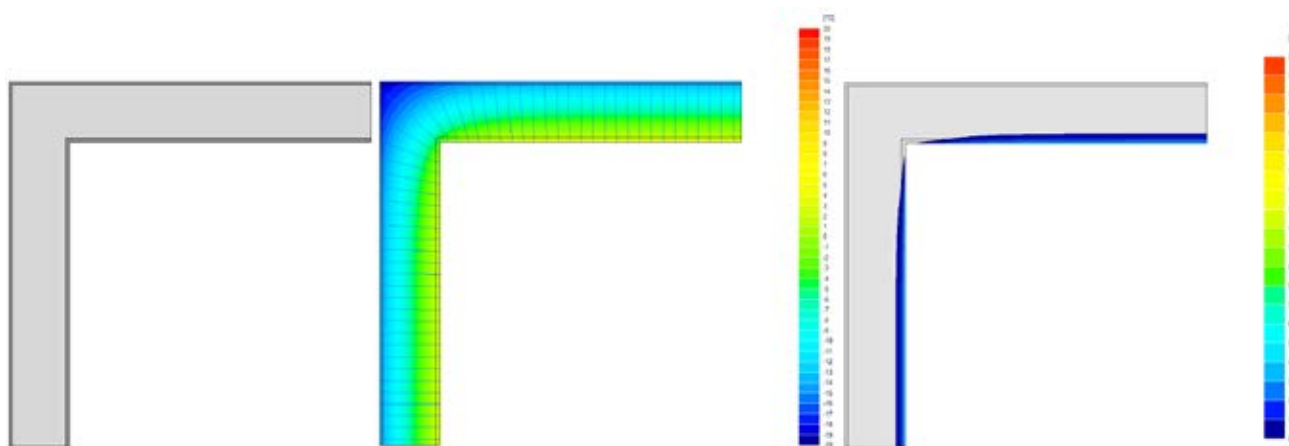


Rysunek 26. Warstwowa ściana niewentylowana z cegły silikatowej ocieplona od zewnątrz tym samym rodzajem i grubością termoizolacji jak w przypadkach opisanych wyżej, wykończona cienkowarstwowym tynkiem strukturalnym (źródło własne)

Wielkości charakteryzujące przegrodę (Rysunek 25) pod względem cieplnym zamieszczono w Tabelicy 15.

Tabelica 15. Charakterystyka cieplna przegrody pokazanej na Rysunku 25

grubość termoizolacji	współczynnik U (powierzchnie płaskie)	współczynnik U (wielkość dopuszczalna [N8])	wewnętrzna temperatura narożnika
[cm]	[W/m <sup>2</sup> ·K]	[W/m <sup>2</sup> ·K]	[°C]
10	0,336	0,230	+16
16	0,223	0,230	+18



Rysunek 27. Jednowarstwowa ściana z cegły silikatowej, wykończona obustronnym tynkiem cementowo-wapiennym (źródło własne). Wielkości charakteryzujące przegrodę (Rysunek 26) pod względem cieplnym zamieszczono w Tabelicy 16.

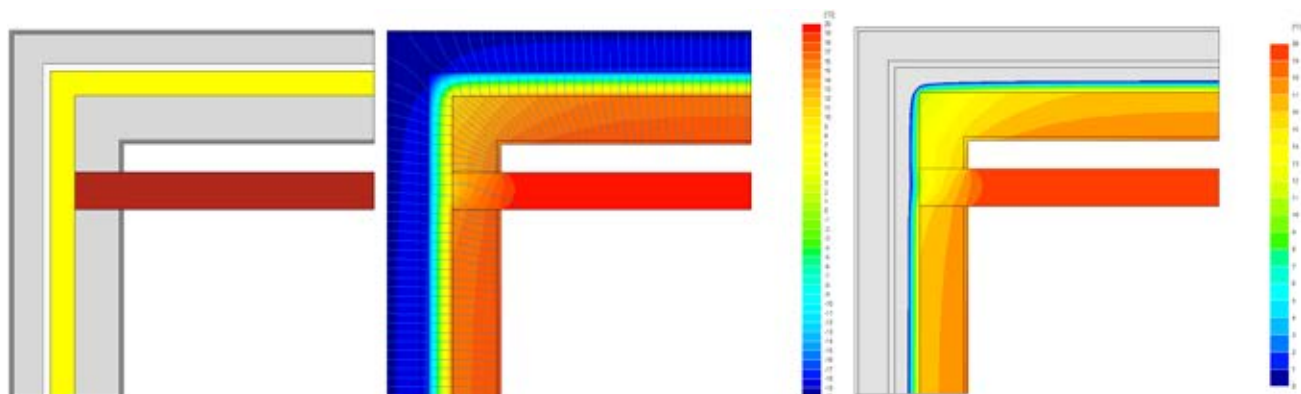
Tabelica 16. Charakterystyka cieplna przegrody pokazanej na Rysunku 26

grubość termoizolacji	współczynnik U (powierzchnie płaskie)	współczynnik U (wielkość dopuszczalna [N8])	wewnętrzna temperatura narożnika
[cm]	[W/m <sup>2</sup> ·K]	[W/m <sup>2</sup> ·K]	[°C]
0	2,103	0,230	+3,0

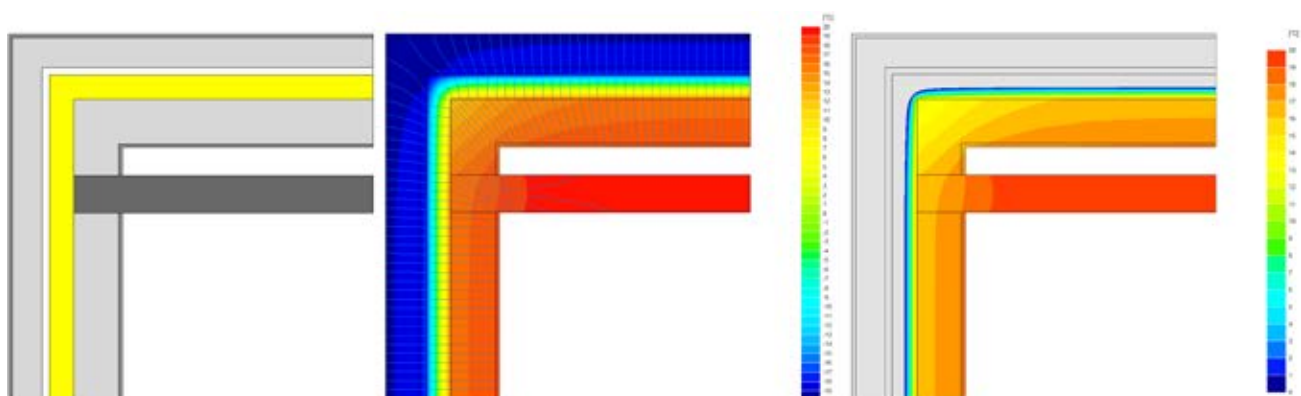
Poniżej, na Rysunkach 28, 29 i 30 przedstawiono naroża ścian warstwowych (Rysunki 24,25) z osadzonymi belkami stropowymi: drewnianymi i żelbetowymi. Jak wiadomo, drewno jest materiałem szczególnie podatnym na korozję



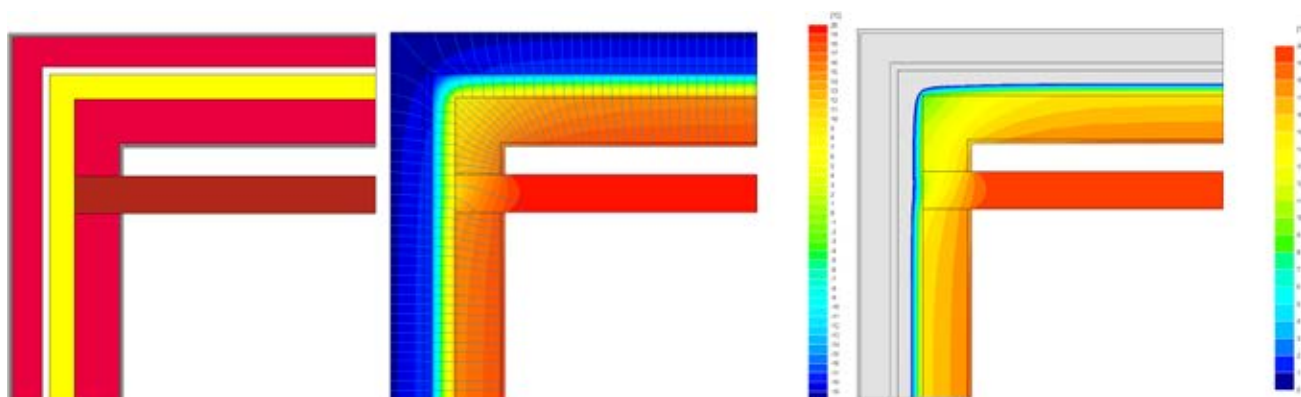
biologiczną. Końcówki belek stropowych, osadzone w ścianach zewnętrznych, są narażone nie tylko na porażenie grzybami z gromady podstawkowych (rozkład brunatny), lecz także na oddziaływanie zmian temperatury i wilgoci. Zmiana wilgotności drewna sprzyja jego pęcznieniu i skurczowi. Przyczyny i skutki zawilgacania przegród opisano w Rozdziale 6. Poważnym zagrożeniem dla zawilgoconych elementów drewnianych są ujemne temperatury, które w ścianach jednowarstwowych lub w przegrodach docieplanych od środka bardzo często obejmują swym zasięgiem również końcówki belek stropowych. Takie sytuacje przyspieszają degradację drewna. W przypadku ścian warstwowych, w których termoizolacja znajduje się w ich wnętrzu (Rysunek 24,25,28 i 29) lub po ich zewnętrznej stronie (Rysunek 26), nie występuje zagrożenie związane ze szkodami mrozowymi, nawet w przypadku gdyby końcówki belek drewnianych były mocno zawilgocone.



Rysunek 28. Ściana warstwowa z cegły silikatowej z lekko wentylowaną pustką powietrzną oraz wewnętrzną termoizolacją, z osadzoną drewnianą belką stropową (źródło własne)



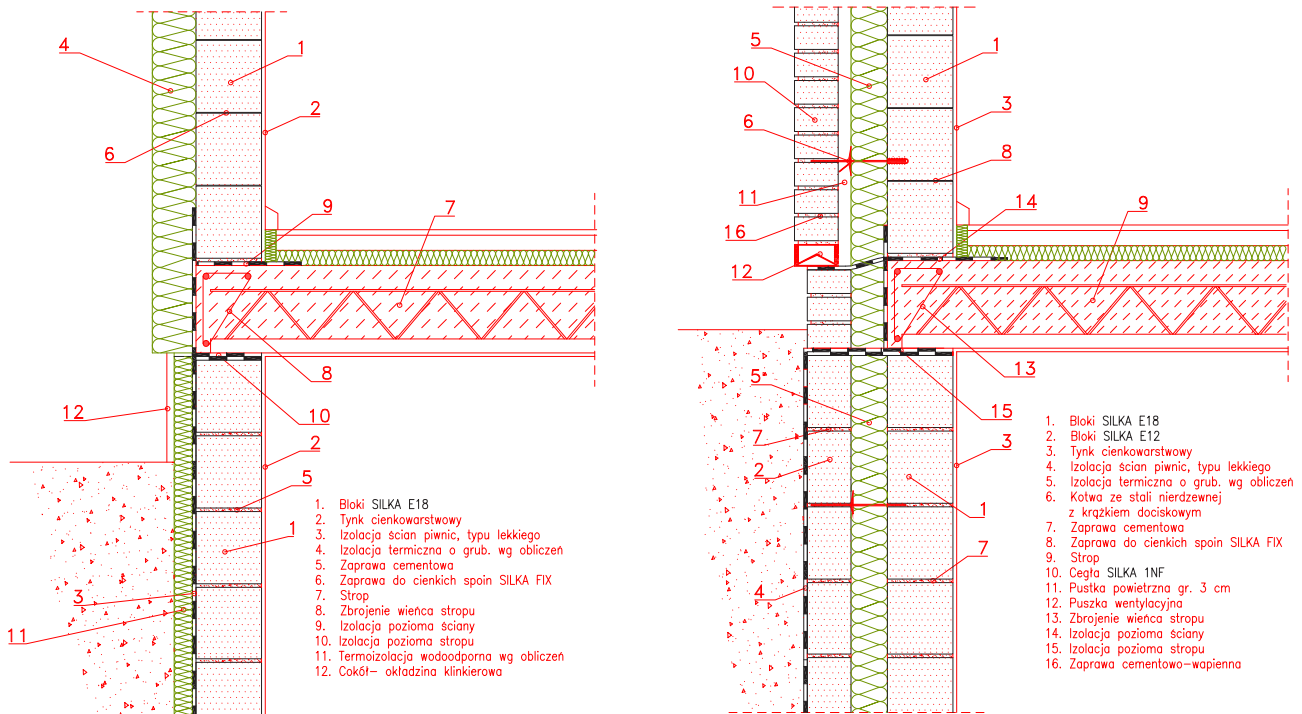
Rysunek 29. Ściana warstwowa z cegły silikatowej z lekko wentylowaną pustką powietrzną oraz wewnętrzną termoizolacją, z osadzoną żelbetową belką stropową (źródło własne)



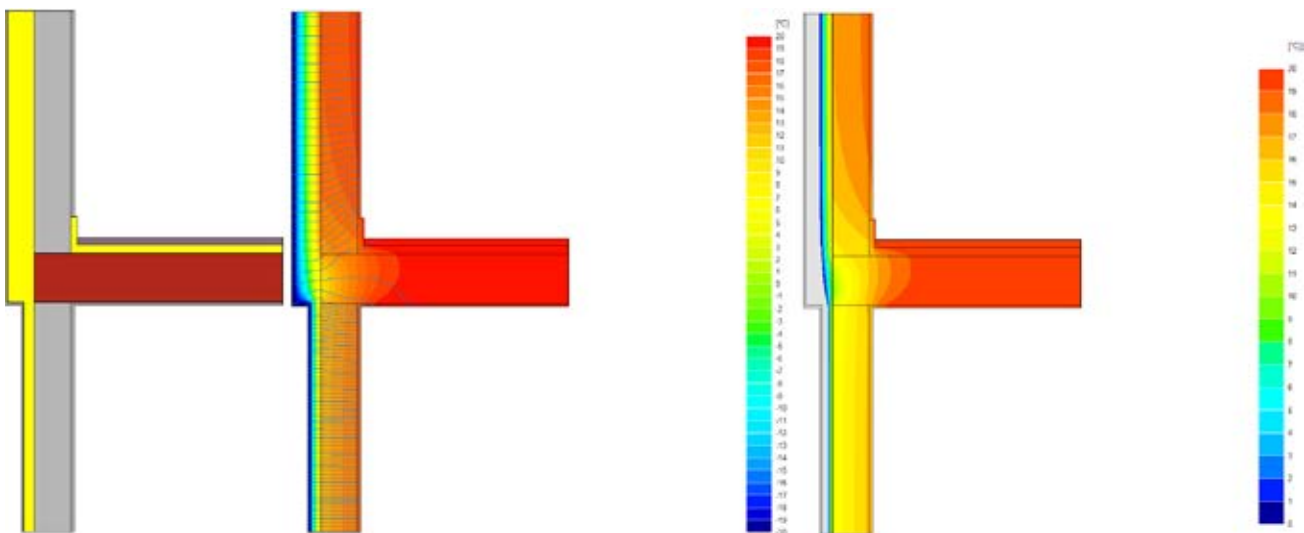
Rysunek 30. Ściana warstwowa z cegły ceramicznej pełnej z lekko wentylowaną pustką powietrzną oraz wewnętrzną termoizolacją, z osadzoną drewnianą belką stropową (źródło własne)



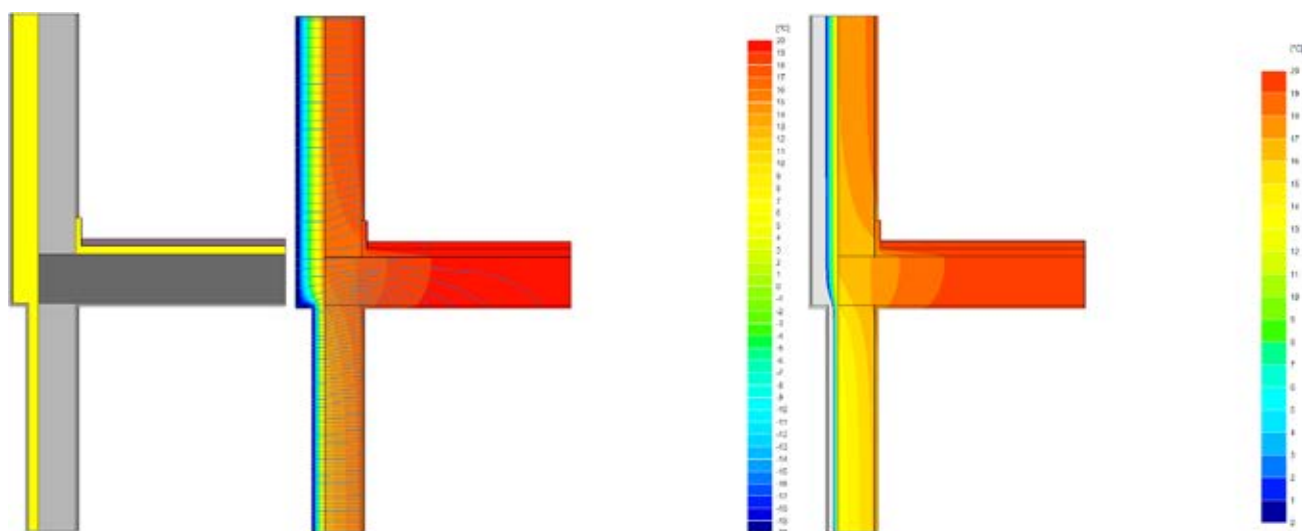
Na kolejnych ilustracjach (Rysunki 31-44) pokazano rozkład izoterm i linii strumieni ciepła w przekroju pionowym przegród z uwzględnieniem w nich wieńców, stropów (lekkich drewnianych oraz masywnych), dachów oraz stolarki otworowej. Ostatni z przekrojów zamieszczonych na poszczególnych rysunkach wskazuje na lokalizację izotermi o zerowej wartości temperatury.



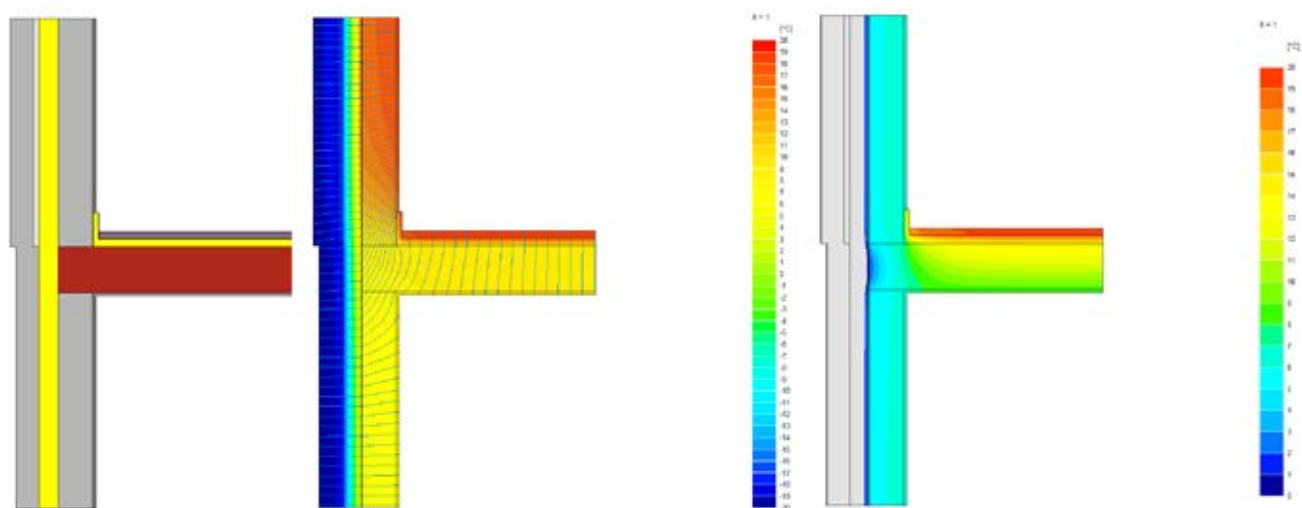
Rysunek 31. Przekrój pionowy ściany piwnicznej parteru – prawidłowo zabezpieczone miejsca występowania stropów i wieńców żelbetowych (źródło Stowarzyszenia Producentów Silikatów „Białe Murowanie”)



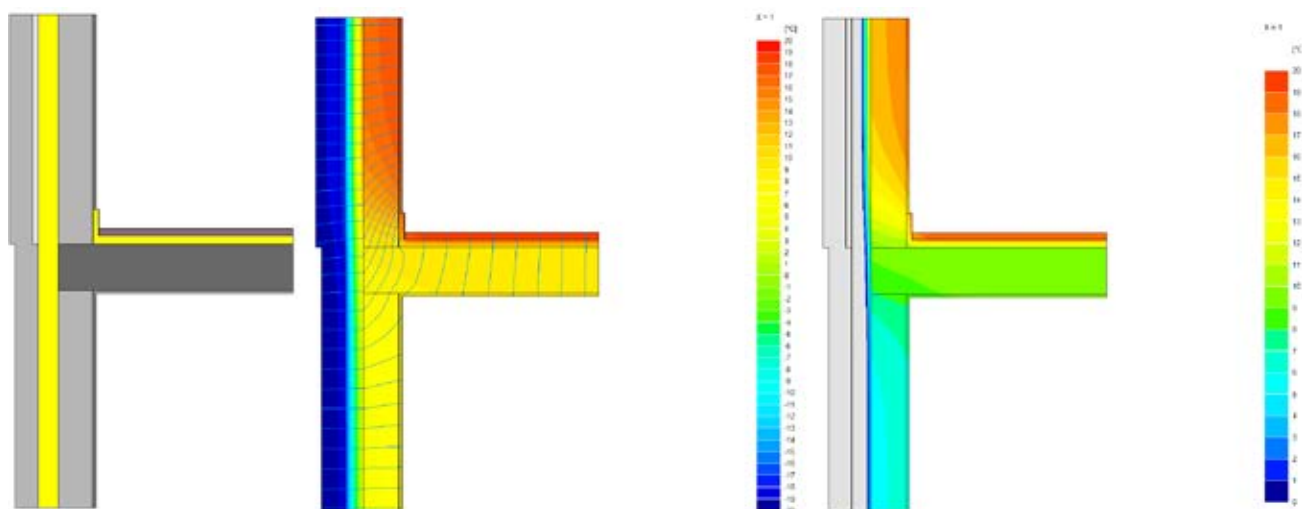
Rysunek 32. Przekrój pionowy ściany piwnicznej parteru – rozkład izoterm i adiabat dla przypadku jw. i wbudowanej konstrukcji stropu drewnianego (źródło własne)



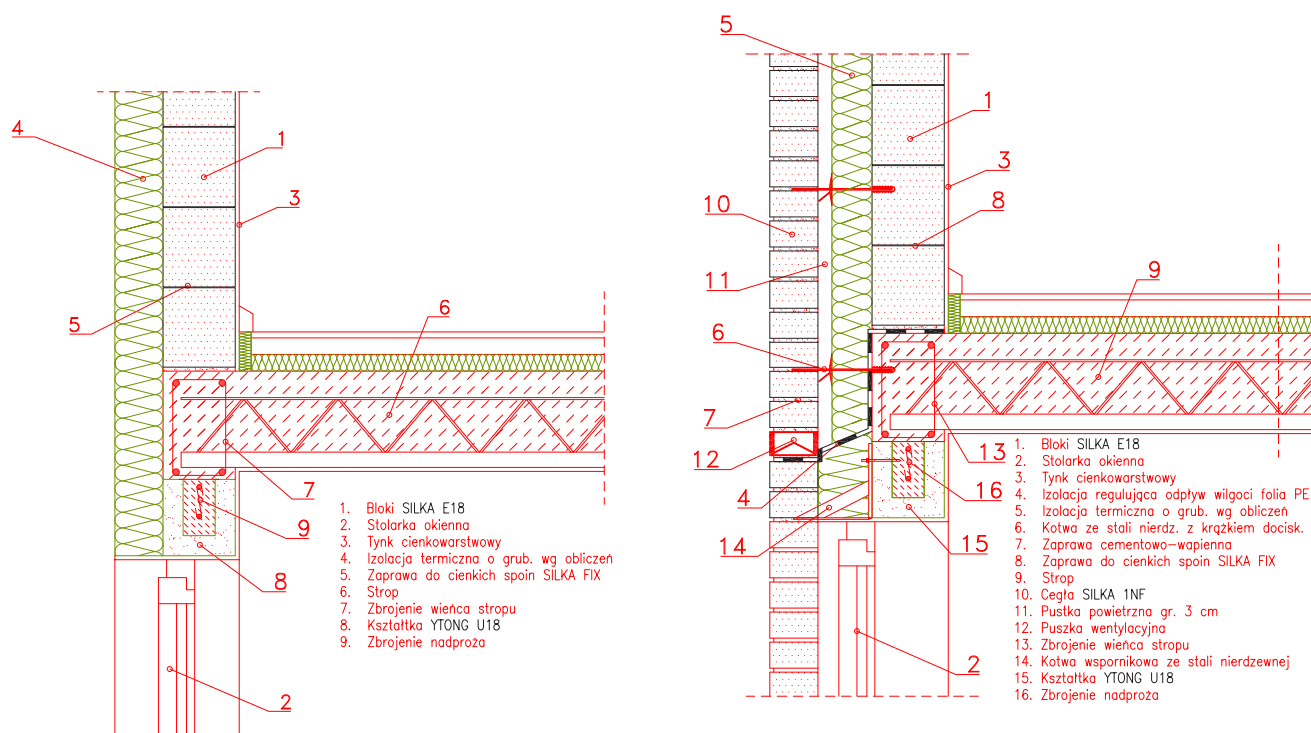
Rysunek 33. Przekrój pionowy ściany piwnicznej parteru – rozkład izoterm i adiabat dla przypadku jw. i wbudowanej konstrukcji stropu żelbetowego (źródło własne)



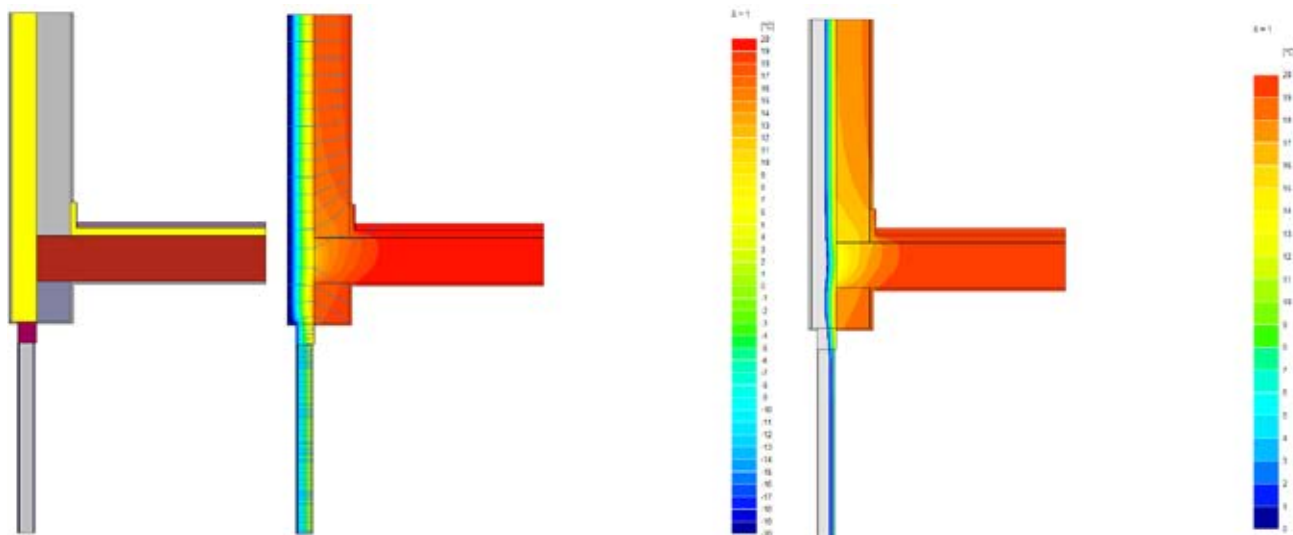
Rysunek 34. Przekrój pionowy przez ściany kondygnacji użytkowych ze stropem drewnianym (źródło własne)



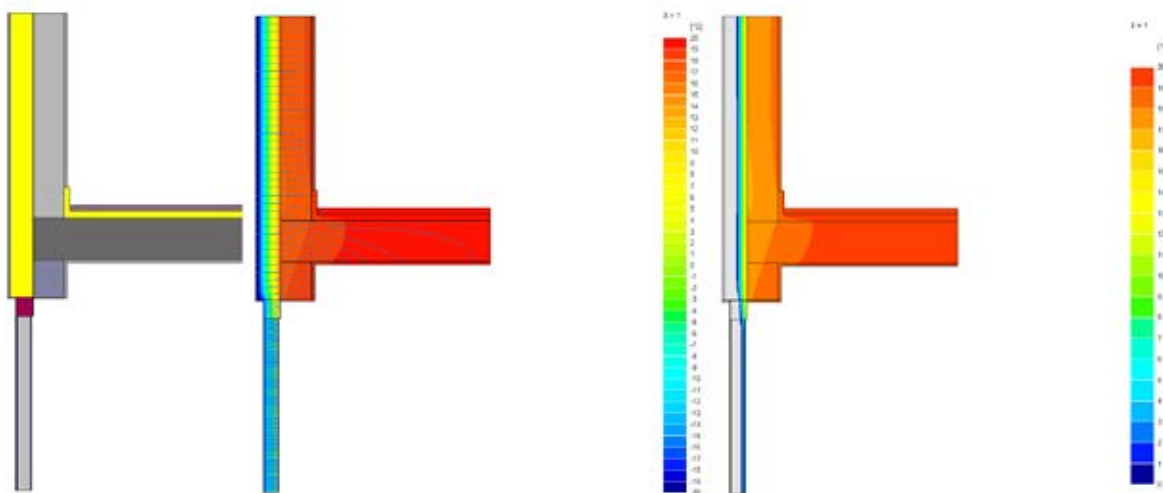
Rysunek 35. Przekrój pionowy przez ściany kondygnacji użytkowych ze stropem żelbetowym (źródło własne)



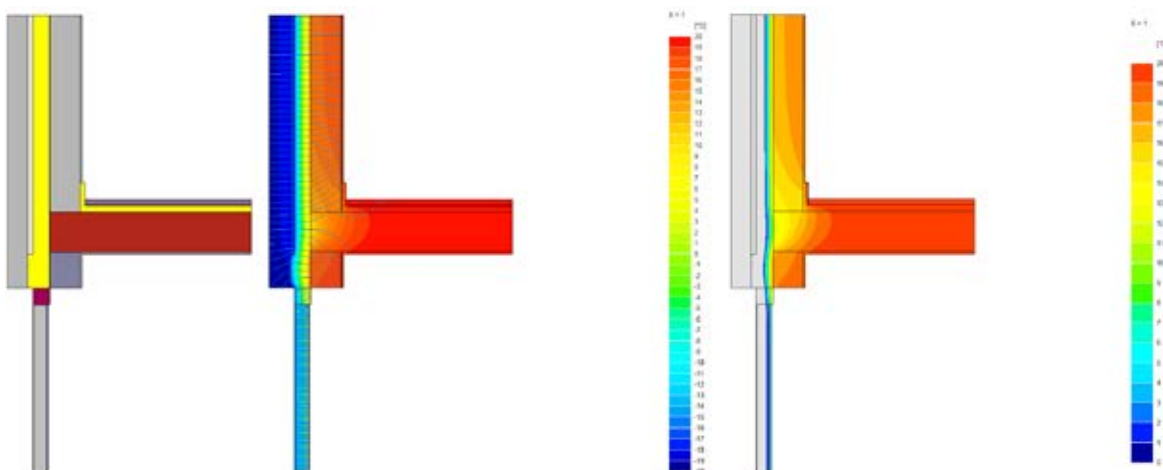
Rysunek 36. Zabezpieczenie mostków termicznych w sąsiedztwie nadproży żelbetonowych – lokalnie występujący mostek liniowy w miejscu osadzenia stalarki (źródło Stowarzyszenia Producentów Silikatów „Białe Murowanie”)



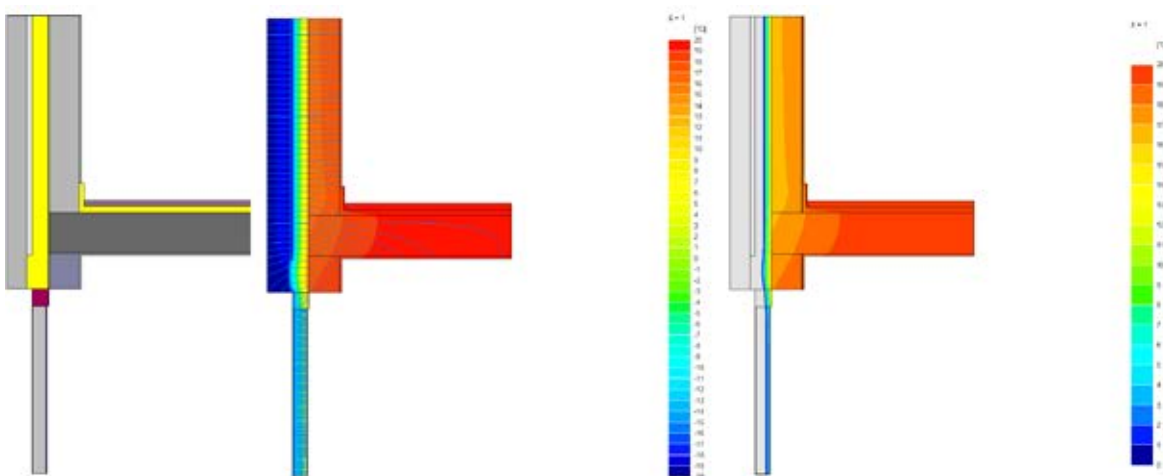
Rysunek 37. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową (niewentylowaną) i nadproże z ościeżnicą ułożoną w warstwie termoizolacji (strop drewniany) – układ izoterm i adiabat (źródło własne)



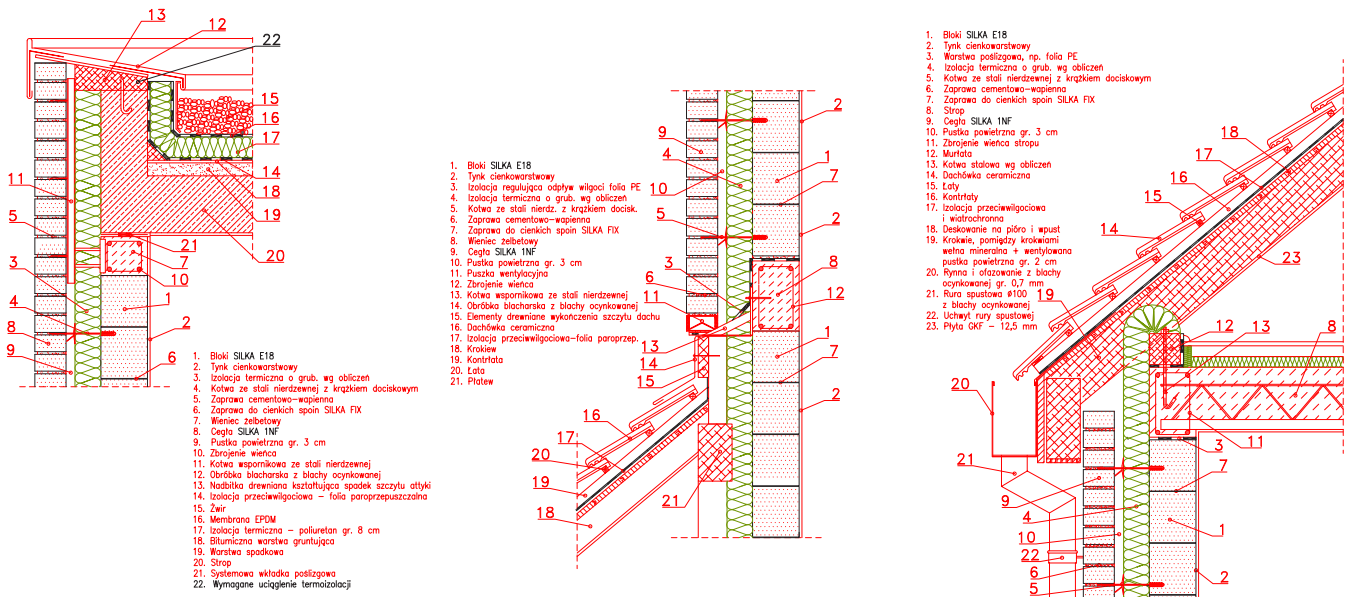
Rysunek 38. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową (niewentylowaną) i nadproże z ościeżnicą ulokowaną w warstwie termoizolacji (strop żelbetowy) – układ izoterm i adiabat (źródło własne)



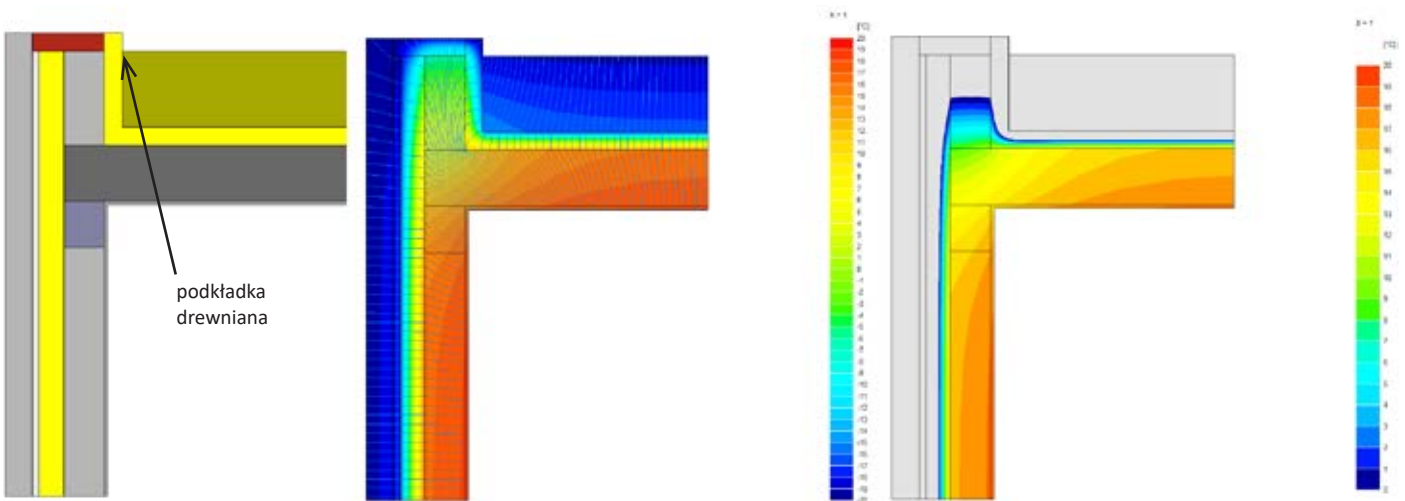
Rysunek 39. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową wentylowaną i nadproże z ościeżnicą ulokowaną w warstwie termoizolacji (strop drewniany) – układ izoterm i adiabat (źródło własne)



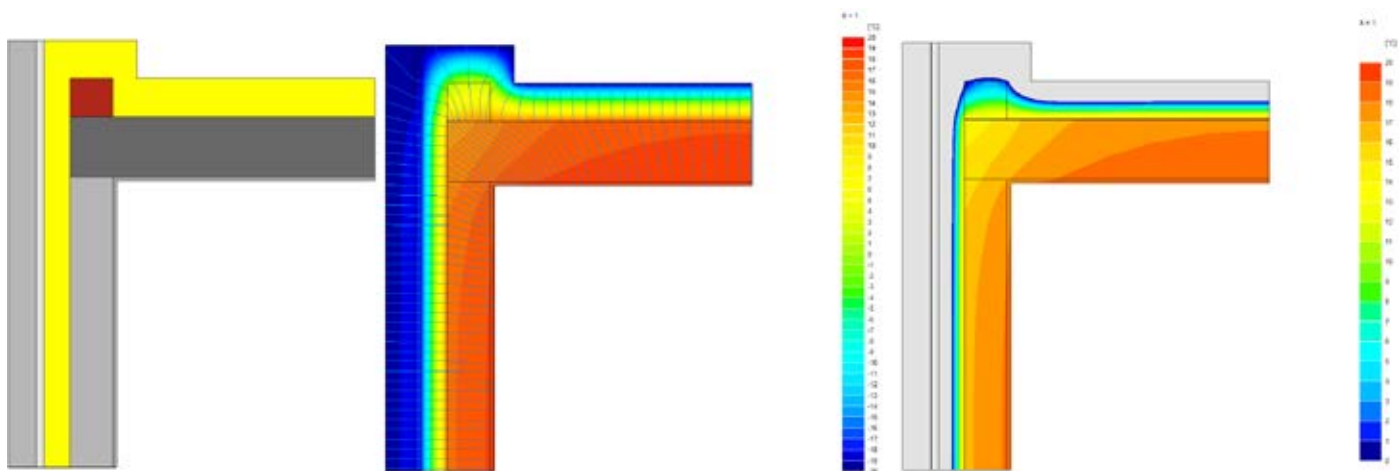
Rysunek 40. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową wentylowaną i nadproże z ościeżnicą ulokowaną w warstwie termoizolacji (strop żelbetowy) – układ izoterm i adiabat (źródło własne)



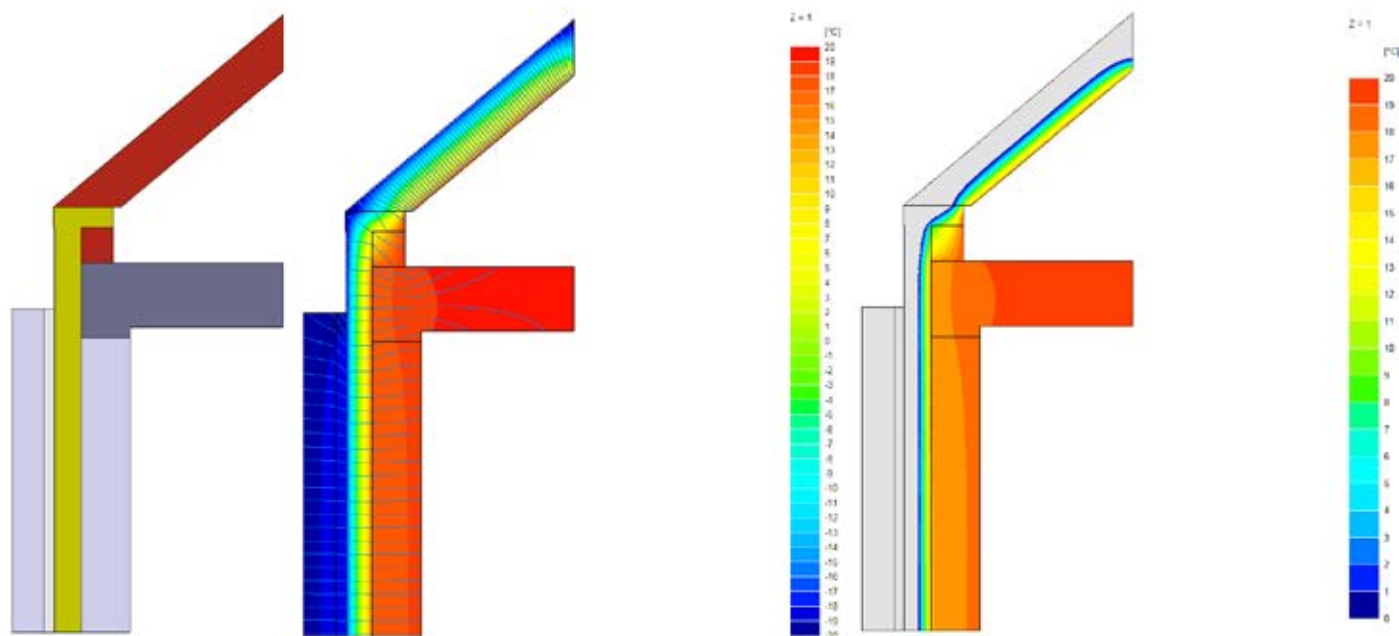
Rysunek 41. Przykładowe sposoby eliminowania mostków termicznych w poziome dachów i stropodachów (źródło Stowarzyszenia Producentów Silikatów „Białe Murowanie”)



Rysunek 42. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową wentylowaną połączoną ze stropodachem z attyką wykończoną od góry podkładką drewnianą pod obróbką blacharską – układ izoterm i adiabat (źródło własne)



Rysunek 43. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową wentylowaną połączoną ze stropodachem z attyką (jw.) z zachowaniem ciągłości izolacji po obwodzie styku ścian ze stropodachem – układ izoterm i adiabat (źródło własne)



Rysunek 44. Przekrój pionowy przez ścianę warstwową wentylowaną połączoną z tradycyjnym dachem krokwiowym z termoizolacją ułożoną jedynie w przestrzeni między krokwiemi – układ izoterm i adiabat (źródło własne)

Zamieszczone powyżej diagramy rozkładu temperatury i strumieni ciepła wyraźnie wskazują na prawidłową budowę przegród, pomimo koncentracji w ich węzłach poziomych materiałów o bardzo zróżnicowanych parametrach pod względem cieplno-wilgotnościowym. Izoterm temperatury o wartościach ujemnych lokują się w warstwie termoizolacji, nie dochodząc do wewnętrznych warstw przegrody o znacznie wyższym współczynniku przewodzenia ciepła, które mogą być podatne na korozję chemiczną oraz biologiczną. Dotyczy to również przegrody z wbudowaną belką drewnianą (Rysunek 34). Obowiązkiem projektanta jest każdorazowe dobranie warstw przegrody pod względem nośności, ciepłochronności oraz trwałości, z uwzględnieniem procesów wilgotnościowych, o których mowa w Rozdziale 9. Na zamieszczonych powyżej diagramach wskazano również „słabe miejsca” niektórych węzłów, związane z ich kształtem, lokalizacją oraz rodzajem materiału, z jakiego zostały wykonane. Dobrym tego przykładem są ościeżnice stolarki okiennie-drzwiowej, których lokalizacja w przekroju przegrody powinna być każdorazowo przemyślana.

Na uwagę zasługuje tu szczegół połączenia ściany zewnętrznej ze stropodachem i rodzaj zastosowanych w tym węzle materiałów. Porównując dwa zbliżone do siebie rozwiązania, przedstawione na Rysunkach 42 i 43 można



zauważyć wyraźną różnicę w zagęszczeniu strumieni ciepła w warstwie attyki, co jest skutkiem zastosowania pod obróbką blacharską cienkiej podkładki drewnianej zamiast odpowiedniej pod względem grubości i ciepłochronności warstwy termoizolacji.

Podstawową zasadą, którą należy kierować się w celu ograniczenia wpływu mostków termicznych na straty ciepła i zawilgocenie przegród powinno być zapewnienie ciągłości termoizolacji w miejscach przerw roboczych i dylatacyjnych, w punktach załamania oraz przejść instalacji, a także każdorazowy, obliczeniowy dobór jej rodzaju oraz grubości, przewidujący rozkład wilgoci w ich przekroju i jego wpływ na trwałość tych elementów.

## 9. Rozkład wilgoci w przegrodzie i możliwość jej kondensacji na wewnętrznych powierzchniach [N3], [N4]

Kondensacja powierzchniowa może doprowadzać i często doprowadza do destrukcji materiałów budujących przegrody budowlane, które nie są naturalnie odporne na wilgoć lub też nie zostały przed nią zabezpieczone. O ile kondensacja nie okaże się procesem trwałym w czasie, jest zjawiskiem akceptowalnym. Dotyczy to szczególnie pomieszczeń okresowo „mokrych”, takich jak łazienki, kuchnie, powierzchnie przeszklone, gdzie zazwyczaj stosuje się dodatkowe zabezpieczenie powierzchni ścian przed wilgocią wnikającą z zewnątrz której powierzchnie przegród nie absorbują.

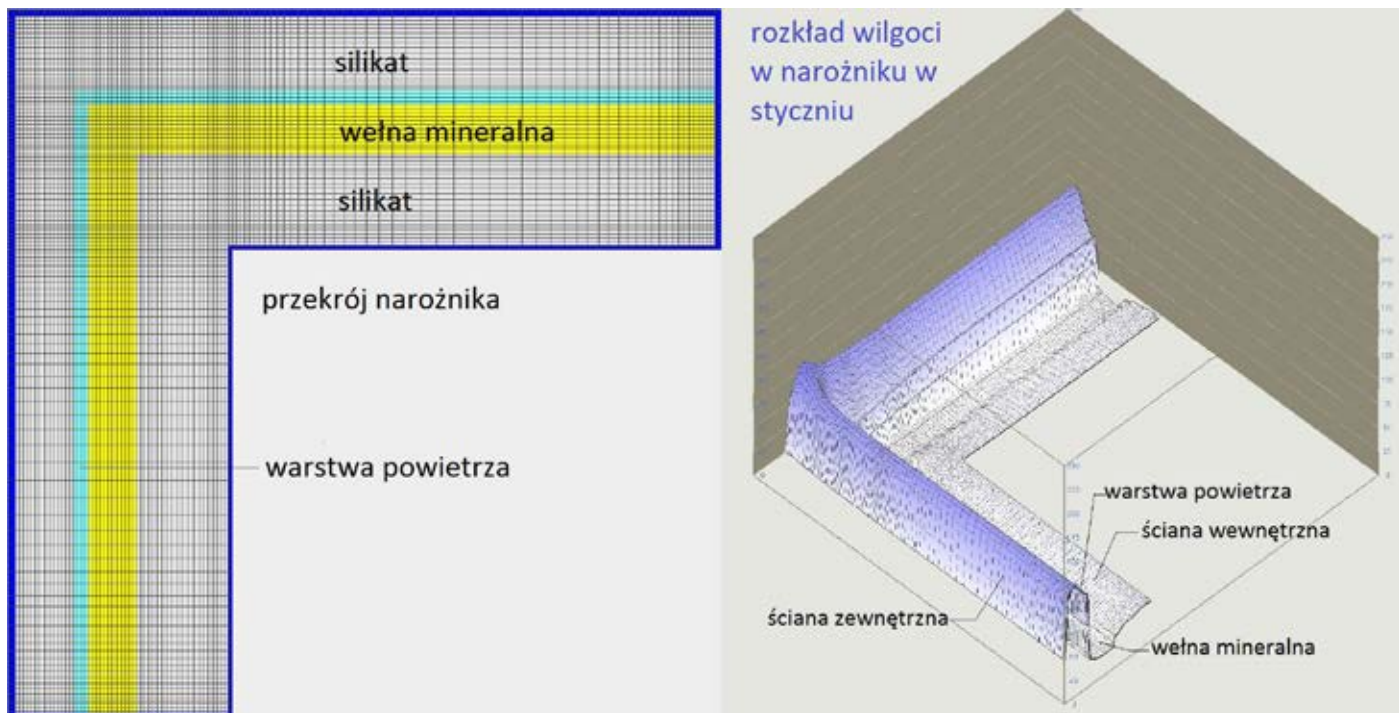
Ryzyko rozwoju pleśni na wewnętrznych powierzchniach przegród pojawia się wówczas, gdy ich wilgotność przekracza 80% w ciągu kilku następujących po sobie dni.

Poza klimatem zewnętrznym (temperaturą powietrza i wilgotnością) za kondensację powierzchniową i rozwój pleśni odpowiedzialne są trzy parametry:

- a) „jakość cieplna”, która reprezentowana jest przez opór cieplny, mostki cieplne, geometrię przegrody oraz opór przyjmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej. Parametrem charakteryzującym jakość cieplną każdego elementu obudowy budynku jest czynnik temperaturowy  $f_{Rsi}$ ;
- b) wewnętrzny dopływ wilgoci;
- c) temperatura powietrza wewnętrznego i system grzewczy.

Na ogół bardziej krytyczną temperaturą jest jej niższa wartość w pomieszczeniu, szczególnie, gdy chodzi o przypadki osłabionego lub przerywanego ogrzewania lub też jego braku. Wówczas para wodna może wnikać do wnętrza przegrody z ogrzewanych pomieszczeń sąsiednich, ponieważ lokalnie chłodniejsze obszary obudowy budynku mogą stać się bardziej krytyczne.

Poniżej, dla przypadku pokazanego na Rysunku 45 przedstawiono rozkład wilgoci w narożniku budynku dla jednego z najniekorzystniejszych okresów tj. stycznia, dla ścian wykonanych z silikatów i z cegieł ceramicznych, powszechnie uznawanych za najbardziej stabilne przegrody pod względem cieplnym i wilgotnościowym.

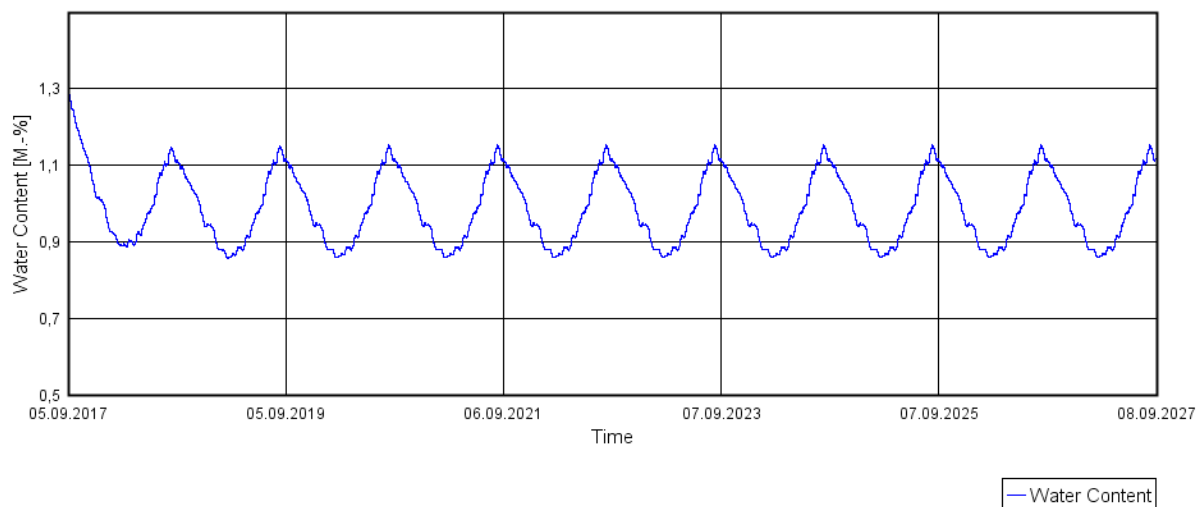


Rysunek 45. Rozkład wilgoci w połączonych w narożu wentylowanych ścianach warstwowych wykonanych z silikatów (źródło własne)

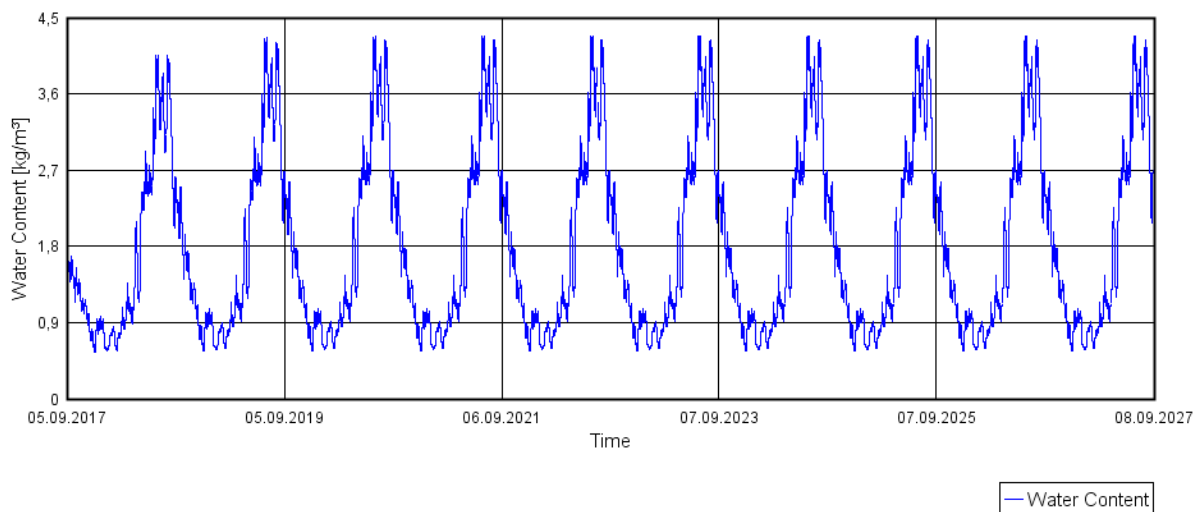
Rysunek 45 przedstawia przekrój poziomy narożnika budynku (wentylowana ściana o budowie warstwowej z wkładką termoizolacyjną) oraz rozkład wilgoci w przekroju. Uzupełnieniem do Rysunku 45 jest zamieszczony poniżej diagram rozkładu wilgoci w badanej części przegrody w okresie 10 lat eksploatacji [Rysunek 46]. Dwa pierwsze wykresy przedstawiają odpowiednio: wilgotność masową wewnętrznej części przegrody w % oraz zawartość w niej wody, w  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Kształt wykresów jednoznacznie wskazuje na wysoką stabilność tak zbudowanych przegród pod względem wilgotnościowym, przypisując je do przegród o dopuszczalnej wilgotności ( $0 \div 3\%$ )[4], poziom wilgotności masowej w okresach letnio-zimowych waha się w przedziale  $0,9 \div 1,1\%$ . Ostatnim elementem diagramu [Rysunek 46] jest wykres izoplety, wskazujący na brak zagrożenia kondensacją i wykraplaniem się wilgoci na wewnętrznej powierzchni ściany.

### Water Content

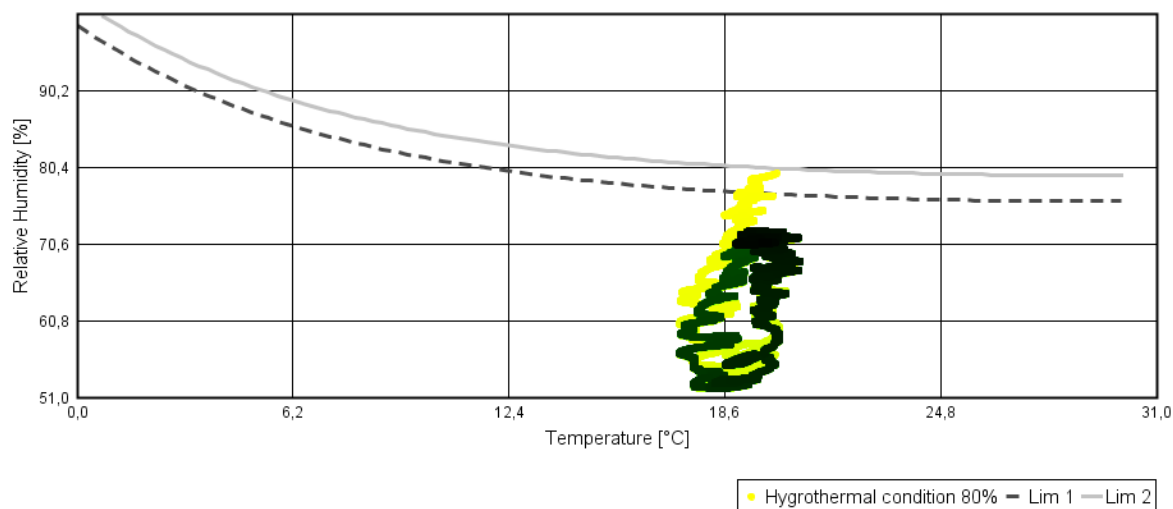
### wewnętrzna ściana z cegieł silikatowych



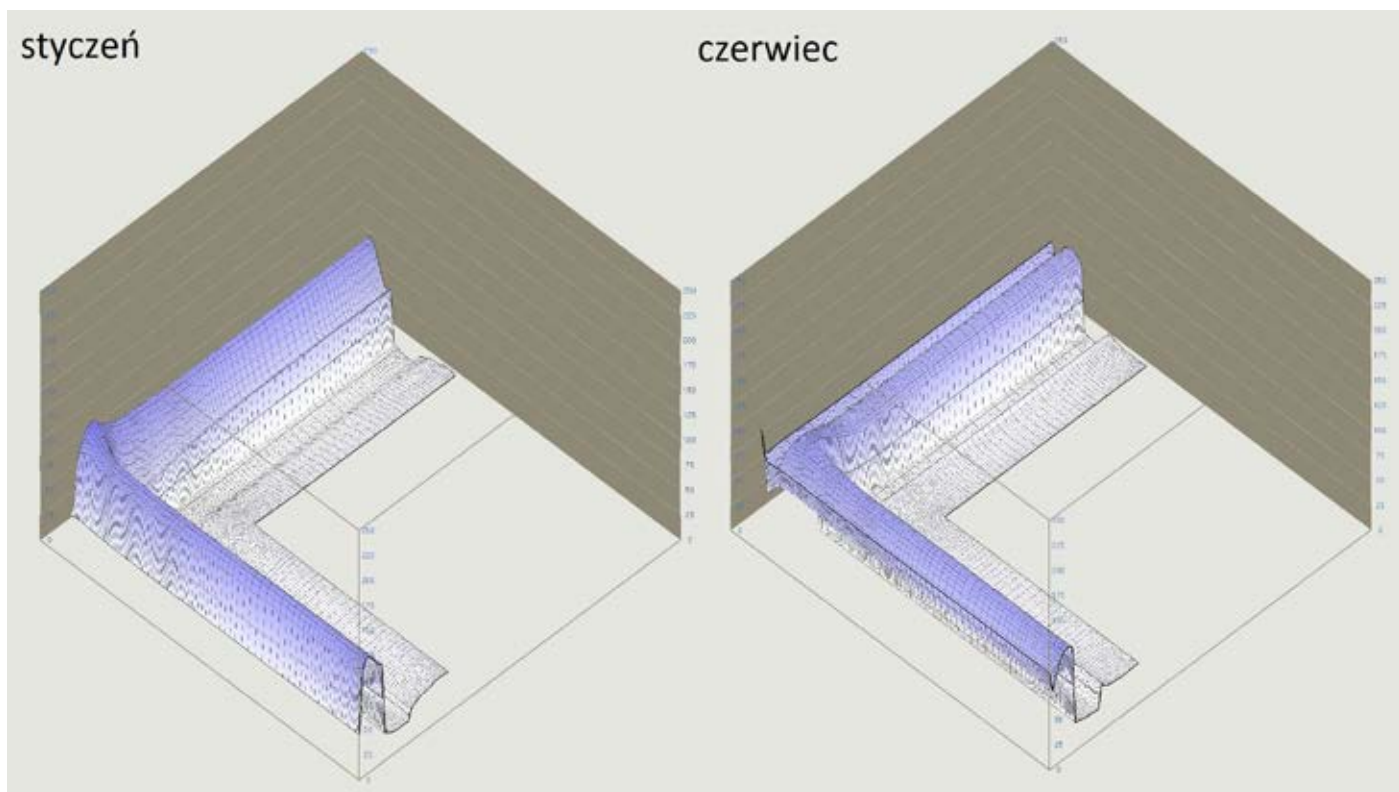
### Water Content



### Isopleths



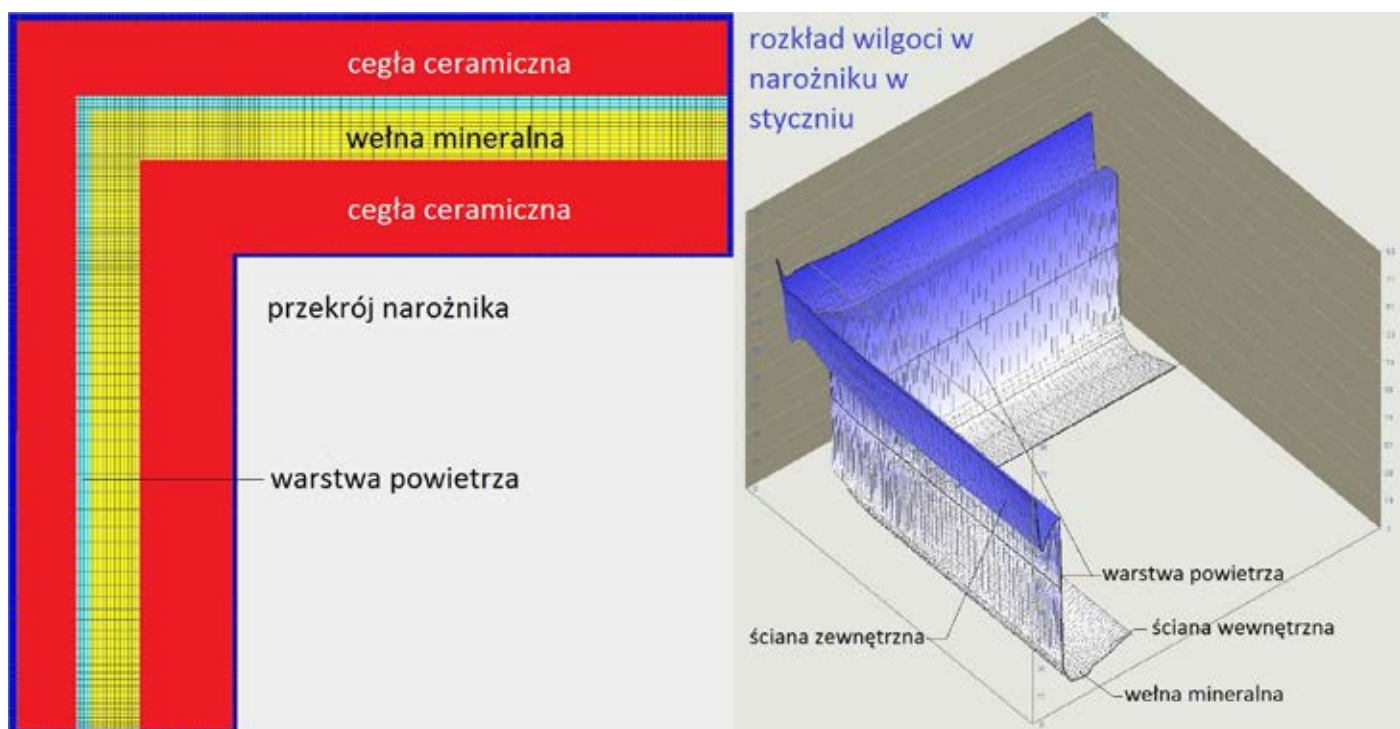
Rysunek 46. Diagram rozkładu wilgoci w przegrodzie pokazanej na Rysunku 45, dla wewnętrznej warstwy nośnej muru (zawartość wody w  $\text{kg/m}^3$ , wilgotność masowa w %), oraz izopleta wskazująca na brak kondensacji powierzchniowej po wewnętrznej stronie narożnika (źródło własne)



Rysunek 47. Porównanie diagramów rozkładu wilgoci w narożu wentylowanych ścian warstwowych, wykonanych z silikatów, w styczniu i czerwcu (źródło własne)

Zarówno na Rysunku 45 jak i 47 diagramy rozkładu wilgoci w narożu budynku (opisujące styczeń i czerwiec) pokazują najwyższy poziom zawilgocenia przegrody w jej warstwie zewnętrznej, będący skutkiem wnikania wilgoci pochodzącej z opadów atmosferycznych, a także sorpcji. Wewnętrzne warstwy przegrody (termoizolacja i ściana wewnętrzna) charakteryzują się wyraźnie niższą zawartością wilgoci.

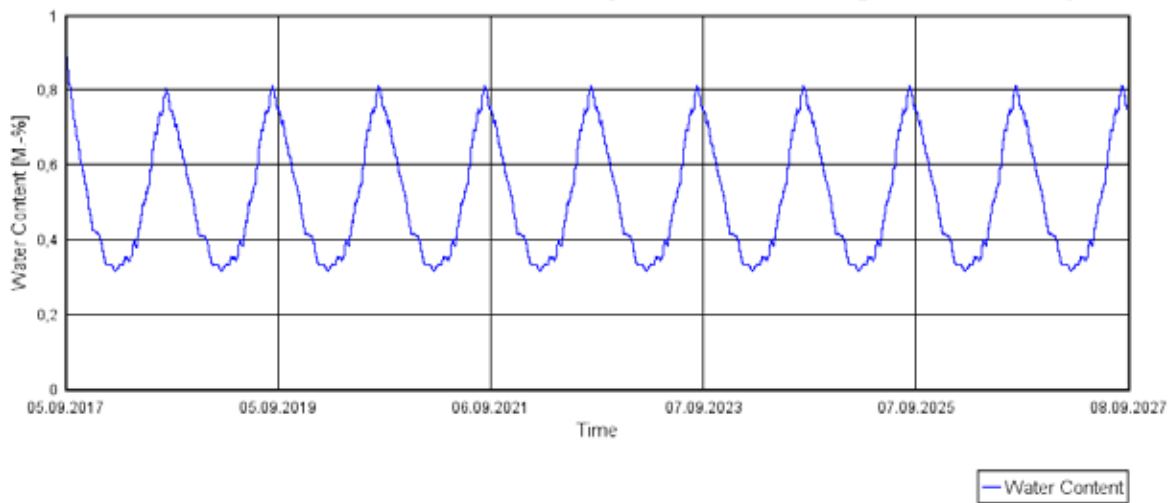
Dla porównania poniżej zamieszczono diagram rozkładu wilgoci w przekroju ściany warstwowej o elementach nośnych i osłonowych wykonanych z cegły ceramicznej pełnej.



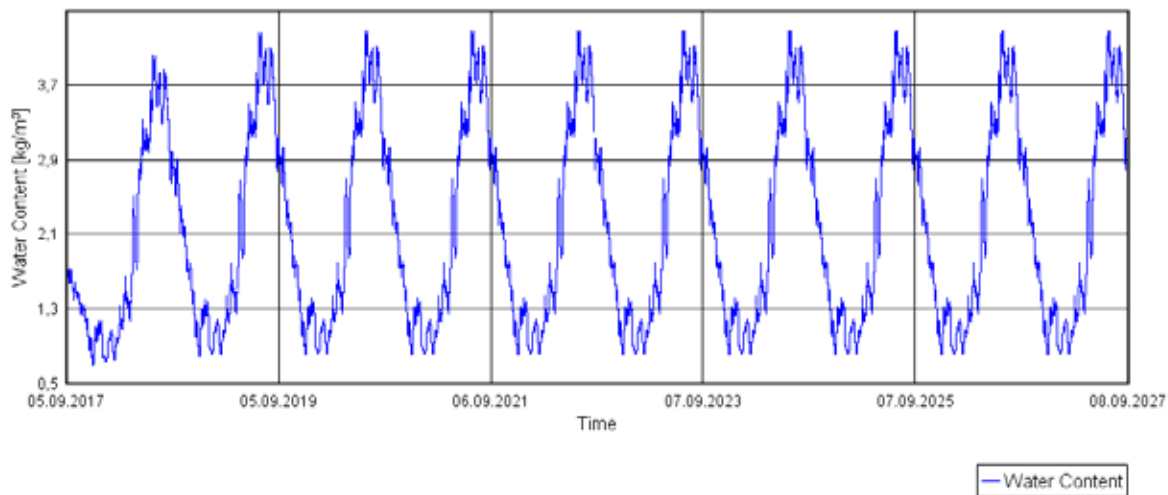
Rysunek 48. Rozkład wilgoci w narożniku wentylowanych ścian warstwowych wykonanych z cegieł ceramicznych (źródło własne)

**Water Content**

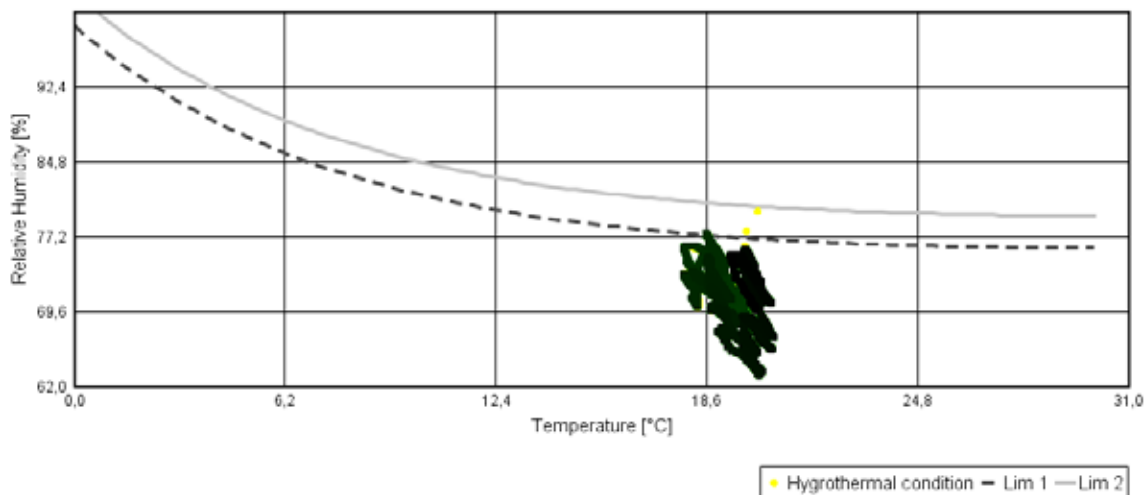
wewnętrzna ściana z cegieł ceramicznych



**Water Content**



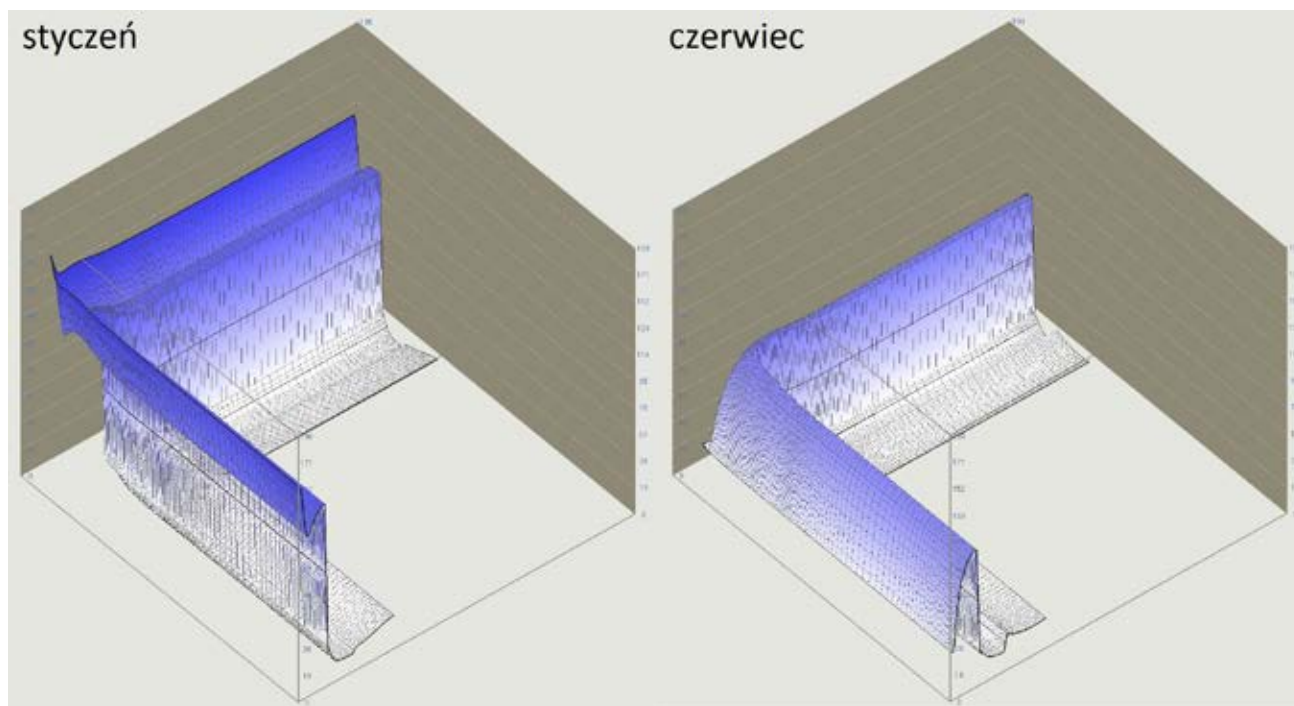
**Isopleths**



Rysunek 49. Diagram rozkładu wilgoci w przegrodzie pokazanej na Rysunku 48, dla wewnętrznej warstwy nośnej muru (zawartość wody w  $\text{kg/m}^3$ , wilgotność masowa w %), oraz izopleta wskazująca na brak kondensacji powierzchniowej, po wewnętrznej stronie narożnika (źródło własne)



Ściany wykonane z cegieł ceramicznych pełnych są powszechnie uznawane za najstabilniejsze pod względem cieplnym i wilgotnościowym. Porównując ze sobą diagramy znajdujące się na Rysunkach 45÷47 i diagramy na Rysunkach 48÷50, można wskazać jedynie niewielkie różnice, występujące pomiędzy cegłą ceramiczną pełną a silikatową. W obydwu przypadkach wilgoć zarówno trwale pozostająca w przegrodach, jak i ta pojawiająca się w okresach zimnych nie przekracza wielkości dopuszczalnych dla przegród suchych [4]. W obydwu przypadkach nie występuje zagrożenie pojawianiem się wilgoci po wewnętrznych stronach przegród (od strony pomieszczeń). Wykresy rozkładu wilgoci w przekroju ścian wykonanych z cegły silikatowej i ceramicznej pełnej do siebie bardzo zbliżone.



Rysunek 50. Porównanie diagramów rozkładu wilgoci w narożu wentylowanych ścian warstwowych, wykonanych z cegły pełnej, w styczniu i czerwcu (źródło własne)

## 10. Zasady unikania nadmiernej kondensacji wilgoci w ścianach – etap projektowania, wykonawstwa i eksploatacji

Nie istnieje katalog uniwersalnych zasad i metod pozwalających na zapobieganie zawilgoceniom, w tym przypadku pionowych przegród budowlanych i ich późniejszej degradacji, także biologicznej. Mimo że przegrody mogą być wykonane z materiałów jednego producenta, przez tego samego wykonawcę i wbudowane w budynki o tożsamych parametrach, to każda z nich może zachowywać się inaczej, tj. inaczej reagować na oddziaływanie zarówno środowiska wewnętrznego, jak i zewnętrznego. Głównym problemem przegród jest wilgoć będąca skutkiem procesów fizykalnych zachodzących w ich wnętrzu. Najgroźniejszym rodzajem wilgoci będzie ta, trwale kondensująca się we wnętrzu przegród, niejednokrotnie doprowadzająca je do zaawansowanej degradacji.

W praktyce budowlanej mamy do czynienia z dwoma rodzajami kondensującej wilgoci: powierzchniowej i wewnętrznej (w tym międzywarstwowej). Zjawisko kondensacji powierzchniowej omówiono w Rozdziałach 4 i 6, natomiast kondensacji wewnętrznej w Rozdziałach 8 i 11.

Podsumowując zapisy ww. rozdziałów, należy stwierdzić, że na ilość i lokalizację wilgoci kondensującej w przegrodach ma wpływ ma wiele czynników, które powinien przewidzieć i ująć w swoim opracowaniu projektant. Projekty budowlane są bardzo ubogie w obliczenia cieplno-wilgotnościowe, a na rysunkach architektoniczno-budowlanych brakuje szczegółowych rozwiązań przegród, z wyszczególnieniem ich warstw składowych. Obliczenia, o ile w ogóle są wykonywane, ograniczają się do podania współczynnika przenikania ciepła dla przegrody  $U$ , w miejscu, gdzie wszystkie jej elementy składowe są ciągłe. Nagminnie pomijane są tu łączeni, uskoki i załamania przegród, których

docieplenie może stwarzać problemy. Kolejność ułożenia warstw w przegrodach nie jest dowolna, ponieważ przy takich samych materiałach i takich samych ich grubościach, lecz ułożonych w różnej kolejności uzyskamy tożsame parametry cieplne, ale wielkość i rodzaj kondensacji wilgoci mogą okazać się znacząco różne. Mostki cieplne powinny być każdorazowo uwzględniane w obliczeniach i pokazywane w części graficznej opracowań, robi się to jednak bardzo rzadko. Nagminnie stosowane jest doprowadzanie termoizolacji do przeszkód (np. ściany poprzeczne) i niewyprowadzanie na nie, co dodatkowo stwarza kolejny mostek cieplny. Projektanci zazwyczaj dokonują ograniczonej analizy w zakresie cieplnym prostych odcinków przegród, nie uwzględniając liniowych i punktowych mostków termicznych, bardzo istotnych w bilansie strat ciepła. Rutynowo, bez uzasadnienia obliczeniowego przyjmuje się dowolny rodzaj materiału termoizolacyjnego, a wiadomo, że opór dyfuzyjny np. styropianu jest ponad sześćdziesięciokrotnie wyższy od oporu dyfuzyjnego wełny mineralnej, co w niektórych przypadkach może utrudniać wysychanie przegród.

Okres wykonawstwa jest etapem wdrażania rozwiązań projektowych i jego znacznym spłyceciem. Jeżeli rozwiązania szczegółów przegród były podane w dokumentacji projektowej, to będą w rzeczywistości zbliżone do wymagań przepisów i norm chyba, że wykonawca wprowadzi np. zamienniki materiałowe lub inne swoje rozwiązania, co nie jest rzadkością na polskich budowach. Wówczas mamy do czynienia z czymś, co będzie jedynie przypominać przegrodę. W wykonawstwie wymaga się posługiwania się materiałami dopuszczonymi do stosowania na terenie Polski, odpowiednio wysezonowanymi i wbudowywanymi zgodnie z wymaganiami projektu i instrukcjami producentów.

Sprawdzeniem jakości wszelkich robót budowlanych jest okres eksploatacji obiektów. Należy tu przypomnieć art. 5.2 Ustawy [N16], który wymaga, aby obiekty były eksploatowane zgodnie z ich pierwotnym przeznaczeniem. Stąd o ile przegrody zostały prawidłowo zaprojektowane, a sposób użytkowania obiektu nie odbiega od pierwotnych założeń, taka przegroda z pewnością spełni przeznaczone dla niej zadanie. Jeżeli jeżeli wspomniane wyżej warunki nie zostaną spełnione, a dodatkowo jakiś element budynku ulegnie uszkodzeniu, mamy do czynienia z postępującą degradacją całego obiektu. Wówczas trudno mówić o wymaganiach dotyczących parametrów technicznych takich przegród. Zasady utrzymywania obiektów budowlanych w należytym stanie technicznym określono w Rozdziale 6 [N16].

Na stan techniczny przegród mają wpływ również inne, z pozoru nieistotne czynniki. W praktyce zbyt często zapomina się o podstawowej, ochronnej roli tynków i innych okładzin, zabezpieczających zewnętrzne elementy obiektów budowlanych przed destrukcyjnym wpływem otaczającego środowiska. Dlatego też ubytki wypraw i okładzin mogą doprowadzić do częściowej lub całkowitej degradacji materiałów budujących przegrody o niskiej odporności na dobowe i sezonowe wahania temperatur, silne nasłonecznienie, wiatr, promienie UV, opady atmosferyczne. Tynki lub inne okładziny zewnętrzne tworzą warstwy ochronne przegród budowlanych, zabezpieczające je przed negatywnym wpływem środowiska zewnętrznego oraz uszkodzeniami mechanicznymi (oddziaływaniami wyjątkowymi). Ich częściowa lub całkowita utrata może doprowadzić do głębokich uszkodzeń w wewnętrznych warstwach przegród, a nawet skrócić trwałość całych obiektów przy jednoczesnym obniżeniu ich parametrów użytkowych. W praktyce nie docenia się roli, jaką w eksploatacji obiektów spełniają tynki i okładziny. Nie jest ona bez znaczenia w procesie utrzymywania budynków i budowli w należytym stanie technicznym. Z jednej strony mogą one ograniczać dyfuzję pary wodnej w przegrodach, z drugiej będą je chronić przed nadmierną „dostawą” nowych porcji wilgoci sorpcyjnej i opadowej, zabezpieczając jednocześnie przed promieniowaniem UV, wiatrem, a także uszkodzeniami mechanicznymi.

## 11. Rola akumulacji cieplnej

**Akumulacja cieplna** jest procesem dwustronnym, polegającym na przyjmowaniu ciepła z otoczenia o wyższej temperaturze i oddawaniu go, gdy temperatura otoczenia spada. Pozwala to na zapobieganie wychładzaniu pomieszczeń w okresach przerw w ogrzewaniu obiektów budowlanych. Zjawisko to wystąpi tylko wówczas, gdy warstwa termoizolacyjna zostanie ułożona po chłodniejszej stronie przegrody. Zjawisko to nie będzie zachodziło przy docieplaniu przegród po ich wewnętrznych stronach, gdyż wówczas energia cieplna (np. pochodząca od słońca) w ich zewnętrznych warstwach np. fakturowych, znajdujących się poza termoizolacją, będzie oddawana z powrotem do środowiska zewnętrznego i nie wpłynie na bilans cieplny budynku, a tym samym na tzw. jego stabilność cieplną.

Zasada kumulowania energii cieplnej w materiałach budujących przegrody budowlane wynika bezpośrednio z ich pojemności. Silikaty są materiałem o dużej gęstości  $\sim 1800 \text{ kg/m}^3$ , tworzą masywne konstrukcje murowe doskonale akumulujące ciepło, umożliwiając zniwelowanie skutków nagłych zmian temperatur, zarówno w okresach zimnych, jak i ciepłych. Pozwala to przede wszystkim na utrzymanie stabilności cieplnej pomieszczeń. Stąd też użycie takiego materiału jak silikaty do wykonania wszystkich ścian budynku, łącznie z działowymi, tworzy pojemny „magazyn” do „przechowywania” ciepła w okresach niskiej stabilności temperatury otoczenia. Ponadto zakumulowane ciepło w przegrodach pozwoli na skuteczne unikanie powierzchniowej kondensacji pary wodnej na ich wewnętrznych stronach, co też zapobiegnie lokalnym zawilgoceniom i zagrożeniu pojawienia się i rozwinięcia grzybów pleśniowych. Nawet w zamkniętych (osłoniętych) pomieszczeniach przegrody są w stanie kumulować energię promieniowania słonecznego, „dołączając” ją do ogólnego bilansu ciepła, natomiast zdolność akumulowania ciepła przez wszystkie przegrody budynku decyduje o jego stateczności cieplnej.

## 12. Podsumowanie. Ściany silikatowe a ochrona cieplna budynków.

Ochrona cieplna budynków jest jednym z kluczowych czynników wpływających na zapotrzebowanie na energię. Z tego powodu wymagania prawne w tym zakresie wobec budynków stale rosną, podobnie jak świadomość projektantów, wykonawców oraz użytkowników. Należy przy tym podkreślić, że zagadnienie ochrony termicznej dotyczy zarówno okresów zimowych (ochrona przed stratami cieplnymi), jak i gorących (ochrona przed przegrzewaniem).

W powyższym kontekście należy uznać, że przegrody wykonane z silikatów są jednym z najlepszych dostępnych rozwiązań stosowanych przy budowie obiektów niskoenergetycznych i pasywnych. Obecne wymagania sprawiają, że niemal każda przegroda wymaga zastosowania lekkich materiałów termoizolacyjnych, często o niebagatelnej grubości (powyżej 20 cm). To sprawia, że od konstrukcji nośnej wymaga się równolegle odpowiedniej stateczności oraz smukłości, aby zachować łączną grubość przegród na racjonalnym poziomie.

Z tego powodu w budynkach pasywnych częstym rozwiązaniem są ściany z bloków silikatowych ocieplone grubą warstwą izolacji. Dzięki zastosowaniu wytrzymałego silikatu mur może mieć grubość ok. 15–18 cm, tj. znacznie mniej niż mury wykonywane z bloczków lub pustaków o grubości 24–25 cm. Daje to dodatkową przestrzeń na izolację termiczną, która w budynkach pasywnych często musi mieć grubość nawet 30 cm. Jednocześnie latem masywna konstrukcja ścian silikatowych sprawia, że konieczność chłodzenia jest ograniczona. Warto przy tym podkreślić, że koszty klimatyzowania pomieszczeń mogą być znacznie wyższe niż ich ogrzewania.

Innym częstym rozwiązaniem w budynkach energooszczędnych jest umieszczenie dużych przeszkleń w elewacji południowej i/lub zachodniej. Promieniowanie słoneczne stanowi wówczas dodatkowe źródło energii cieplnej, szczególnie zimą. W okresie letnim konieczne jest jednak zapewnienie odpowiedniego bufora, pochłaniającego nadmiar energii, aby nie doprowadzić do przegrzania wnętrza. Takim buforem bardzo często są grube i masywne ściany silikatowe umieszczone w pomieszczeniu narażonym na przegrzanie. Często mury te umiejscowione są w taki sposób, że promieniowanie słoneczne pada przez szklenie bezpośrednio na ich powierzchnię.

Dzięki zastosowaniu energooszczędnych rozwiązań, i użyciu silikatowych ścian o dużej bezwładności cieplnej, istnieje możliwość znacznie oszczędniejszego wykorzystania systemów grzewczych i chłodzenia (klimatyzacji). Długi czas oddawania ciepła powoduje, że ogrzewanie może działać tylko wtedy, kiedy jest potrzebne, ponieważ cały budynek wychładza się bardzo powoli. Inwestor oszczędza zatem, zużywając mniej energii w krótszym czasie na ogrzanie powietrza do oczekiwanej temperatury.

Trwałe i wytrzymałe przegrody wykonane z bloczków silikatowych [N19], [N20] należy uznać za rozwiązanie pozwalające na zaprojektowanie i wykonanie obiektów o niskim zapotrzebowaniu na energię.

## Literatura

- [1] Bajno D., *Rewitalizacja konstrukcji budowlanych w obiektach zabytkowych*, UTP Bydgoszcz, Bydgoszcz 2013.  
Bajno D., *Dachy. Zasady kształtowania i utrzymywania*, PWN, 2016.
- [2] Bobociński A., *Ocena stanu wilgotnościowego przegród budowlanych z uwzględnieniem kondensacji pary wodnej*, ITB, Warszawa 2011.
- [3] Dulak L., *Izolacyjność od dźwięków powietrznych i dźwięków uderzeniowych. Regulacje prawne, obliczenia i rozwiązania konstrukcyjne na przykładzie ścian z silikatów*. Warszawa 2016 Stowarzyszenie Producentów białych materiałów ściennych, .
- [4] Dylla A., *Fizyka ciepła budowli w praktyce. Obliczenia ciepłno-wilgotnościowe*, PWN, Warszawa 2015
- [5] Garbarczyk S., *Fizyka budowli. Komputerowe wspomaganie projektowania budownictwa energooszczędnego*, Warszawa 2005.
- [6] Nowak H., *Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie*, Wrocław 2012.
- [7] Pawłowski K. Krause P., Sztubecka M., Topoliński K., Nakielska M., Bujakiewicz A., Mrówczyńska M., Sztubecki J., *Budownictwo zrównoważone. Wybrane aspekty projektowe i wykonawcze Tom.1. Projektowanie budynków o niskim zużyciu energii w świetle przepisów prawnych*, Bydgoszcz 2017
- [8] Pawłowski K. Krause P., Sztubecka M., Topoliński K., Nakielska M., Bujakiewicz A., Mrówczyńska M., Sztubecki J., *Budownictwo zrównoważone. Wybrane aspekty projektowe i wykonawcze Tom.1. Niekonwencjonalne źródła energii a budownictwo zrównoważone*, Bydgoszcz 2017
- [9] Wójcik R., *Docieplanie budynków od wewnątrz*, Grupa Medium, Warszawa 2017
- [10] Wójcik R., *Docieplanie budynków od wewnątrz*, Grupa Medium, Warszawa 2017

## Normy i akty prawne

- [N1] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania
- [N2] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumień cieplny i temperatura powierzchni. Ogólne metody obliczania
- [N3] PN-EN ISO 14683 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- [N4] PN-EN ISO 13788:2015-05 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku. Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa. Metody obliczania
- [N5] PN-ISO 9836/1997 Właściwości użytkowe w budownictwie. Określanie i obliczanie wskaźników powierzchniowych i kubaturowych
- [N6] PN-82/B-02402 Ogrzewnictwo. Temperatuty ogrzewanych pomieszczeń w budynkach
- [N7] PN-82/B-02403 Ogrzewnictwo. Temperatuty obliczeniowe zewnętrzne
- [N8] PN-83/B-03430/Az3:2000 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania
- [N9] PN-B-02361:2010 Pochylenia połaci dachowych
- [N10] PN-69/B-02360 Kubatura budynków. Zasady obliczania
- [N11] PN-70/B-02365 Powierzchnia budynków. Podział, określenia i zasady obmiaru
- [N12] PN-B-10425:1989 Przewody dymowe, spalinowe i wentylacyjne murowane z cegły
- [N13] Rozporządzenie Ministra infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. (z późn. zm.) w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
- [N14] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych
- [N15] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego
- [N16] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo Budowlane
- [N17] Ustawa z dnia 12 września 2002 r. o normalizacji
- [N18] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2014 r. o wyrobach budowlanych
- [N19] PN-EN 771-2:2011 + A1:2015-10 Wymagania dotyczące elementów murowych. Część 2: Elementy murowe silikatowe
- [N20] Materiały Stowarzyszenia Producentów Silikatów „Białe Murowanie”

**Recenzenci:**

**dr hab. inż. Jan Kempa, prof. nadzw. Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy**

**dr inż. Anna Rawska-Skotniczny, Politechnika Opolska**

**dr inż. Krzysztof Pawłowski, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy**

ISBN 978-83-950919-0-2  
Warszawa 2018



# BIAŁE MUROWANIE

STOWARZYSZENIE  
PRODUCENTÓW  
SILIKATÓW

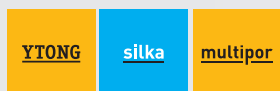
Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe Murowanie”

ul. Nowy Świat 41a

00-042 Warszawa

[stowarzyszenie@bialemurowanie.pl](mailto:stowarzyszenie@bialemurowanie.pl)

Nasi członkowie



Nowe Technologie Budowlane