



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska
Wydział Inżynierii Środowiska
Geodezji i Energetyki Odnawialnej

Kierunek studiów:
Inżynieria Środowiska

Jerzy Zbigniew Piotrowski

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

BUDOWNICTWO I FIZYKA BUDOWLI

opracowane w ramach realizacji Projektu
**„Dostosowanie kształcenia
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb
współczesnej gospodarki”**
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2025





Spis treści

1. Realizacja inwestycji w świetle uwarunkowań prawnych	2
2. Wytyczenie, wykopy, wyrównanie pod fundamenty	3
3. Fundamenty i ściany piwnic	7
4. Izolacje i drenaż	13
5. Ściany nadziemne	18
6. Stropy	20
7. Stropodachy i dachy	24
8. Ciepło i współczynnik U	30
9. Dyfuzja i przepływ pary wodnej w przegrodzie	38
Literatura	42



Materiały dydaktyczne objęte licencją Creative Commons BY 4.0.

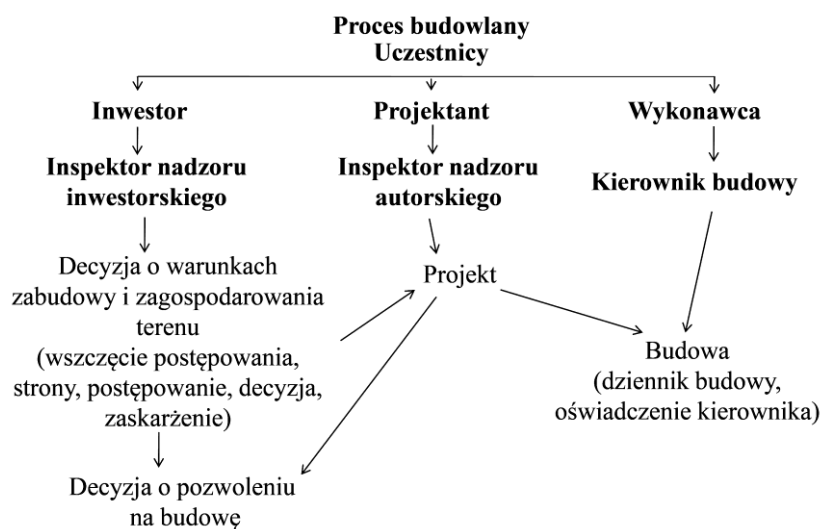
Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Realizacja inwestycji w świetle uwarunkowań prawnych

Wymieniając podstawową literaturę z zakresu budownictwa należy zwrócić uwagę na 5-tomową monografię „Budownictwo ogólne” [13], a także „Poradnik inżyniera i technika budowlanego” [12] jako przykład pozycji z serii zawierającej encyklopedyczne informacje z budownictwa, do której należą także np. „Vademecum budownictwa” [11], „Poradnik majstra budowlanego” [10] czy najnowsze „Materiały pomocnicze do zajęć z przedmiotów budownictwo ogólne fizyka budowli” [9]. Ważnymi aktami prawnymi zawierającymi teksty jednolite są: „Prawo budowlane” (Dz. U. 2020 poz. 1333 t.j.) [17], „Rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej, specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych oraz programu funkcjonalno – użytkowego” (Dz. U. z 2013 poz. 1129 t.j.) [18], zmienione w zakresie dokumentacji projektowej „Rozporządzeniem w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Dz. U. z 2018 poz. 1335 t.j.) [19]. Istotne znaczenie dla branży budowlanej, w tym instalacyjnej, ma „Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie” (Dz. U. 2019 poz. 1065 t.j.) [20], zmieniane kilkakrotnie i aktualny tekst jednolity pochodzi z 2022 roku (Dz. U. 2022 poz. 1225 t.j.) [21]. „Warunki techniczne...” [21], często oznaczone jako „WT 2022” jest rodzajem „biblii budowlanej” i zawiera m.in. najważniejsze wytyczne w zakresie projektowym np. wysokości pomieszczeń, wymiary schodów, klatek schodowych itp. Korzystając z rozporządzenia [21] należy mieć na uwadze częste zmiany, które dokonane są od wydania tekstu jednolitego. Z kolei „Prawo budowlane” [17] zawiera podstawy prawne w zakresie projektowania i realizacji procesu budowlanego, w tym np. informacje o samodzielnych funkcjach w budownictwie i uprawnieniach np. budowlanych w zakresie instalacyjnym. Przydatną jest strona internetowa z dostępnymi dziennikami ustaw: <https://www.prawo.pl/akty/dziennik-ustaw.html> , dzięki której można uzyskać pełny tekst wybranych dzienników ustaw. Postępowanie administracyjne w celu uzyskanie pozwolenia na budowę wydane przez jednostkę samorządu terytorialnego (Urząd Miasta, Starostwo Powiatowe, Urząd Gminy) rozpoczyna się od analizy miejscowego planu zagospodarowania terenu. Jego ustalenia są podstawą do wydania decyzji o warunkach zabudowy, sporządzenia projektu i uzyskania decyzji o pozwoleniu na budowę. Brak planu na danym terenie komplikuje sprawę, ponieważ wydanie warunków zabudowy poprzedzić musi analiza sporządzona podczas postępowania, w której badana jest zgodność zamierzenia inwestycyjnego z istniejącą zabudową na danym terenie, funkcją i przeznaczeniem. W wyniku analizy określone zostają nieprzekraczalne linie zabudowy oraz szczegóły wysokościowe, pochylenia dachu, kolorystyki itp. Dopiero prawomocne warunki zabudowy i zagospodarowania terenu, projekt i prawomocna decyzja o pozwoleniu na budowę są podstawą rozpoczęcia inwestycji.

Na rys. 1 wymieniono uczestników procesu budowlanego i schemat postępowania od pomysłu realizacji budowlanej do rozpoczęcia budowy. W znacznej części postępowanie w przypadku realizacji budynku kubaturowego i np. obiektu inżynierskiego (wodociągu, oczyszczalni ścieków) jest w pełni analogiczne. [Tekst alternatywny. Schemat organizacyjny procesu budowlanego. Wymienieni są uczestnicy procesu i zakresy decyzyjne, połączone strzałkami wzajemnych zależności.]



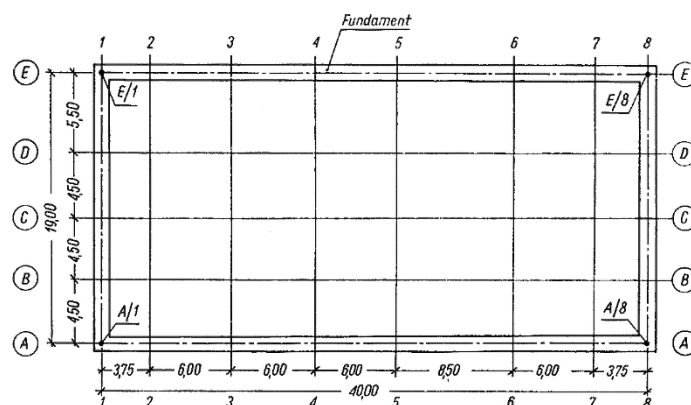
Rys. 1. Uczestnicy procesu budowlanego [9]

2. Wytyczenie, wykopy, wyrównanie pod fundamenty

Jeden z pierwszych wpisów do dziennika budowy dokonuje geodeta po wytyczeniu budynku – miejsca przecięcia poszczególnych osi (rys. 2) oraz wyznaczeniu poziomu zero (0,0), któremu odpowiada bezwzględna wysokość „nad poziomem morza”. Istotne jest to, że poziom zero jest poziomem wykończonego parteru. Poziom zero (0,0) zaznaczany jest przez geodetę dla wytyczanego przyszłego budynku na trwałym elemencie, w pobliżu przyszłego wykopu np. słupie trakcji elektrycznej, słupie ogrodzeniowym itp.

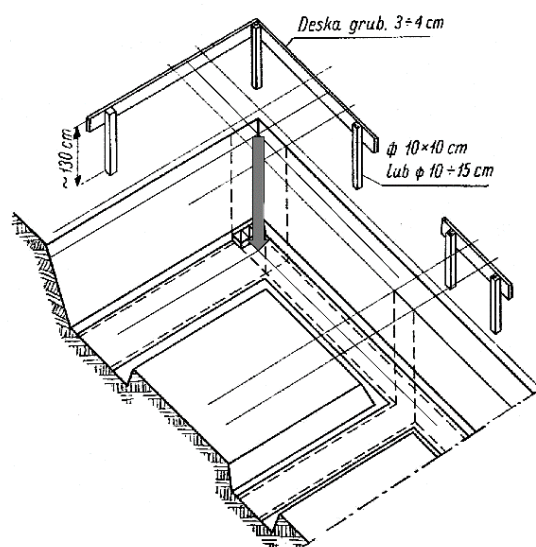
Każdy obiekt posiadający fundamenty ma na projekcie zaznaczone i opisane osie np. wzdłuż obiektu A-A, E-E, a poprzecznie 1-1 i 8-8 (rys. 2). I właśnie przecięcie tych osi oznacza w terenie geodeta palikiem wytyczając budynek w terenie a położenie tych miejsc, można zawsze odtworzyć poprzez wykonanie tzw. ław drutowych (rys. 3). Są to dość proste konstrukcje, które w każdym momencie, szczególnie po wykonaniu wykopów, pozwalają odtworzyć przede wszystkim osie fundamentów realizowanego obiektu. Mając na uwadze przeciętne szerokości fundamentów (ok. 1 m), ławy drutowe wykonywane są najczęściej ok. 4 m od miejsca przecięcia osi (jeżeli pozwolą na to wymiary działki).

[Tekst alternatywny. Rzut fundamentów ławowych o prostokątnym obrysie. Zaznaczone zostały osie, ponumerowane zgodnie z zasadą: pionowe oznaczone numerami, poziome oznaczone literami drukowanymi. W narożnikach podano przykładowe oznaczenie punktów z przecięciem osi.]



Rys. 2. Przykładowy rzut fundamentów ławowych z zaznaczonymi osiami [12]

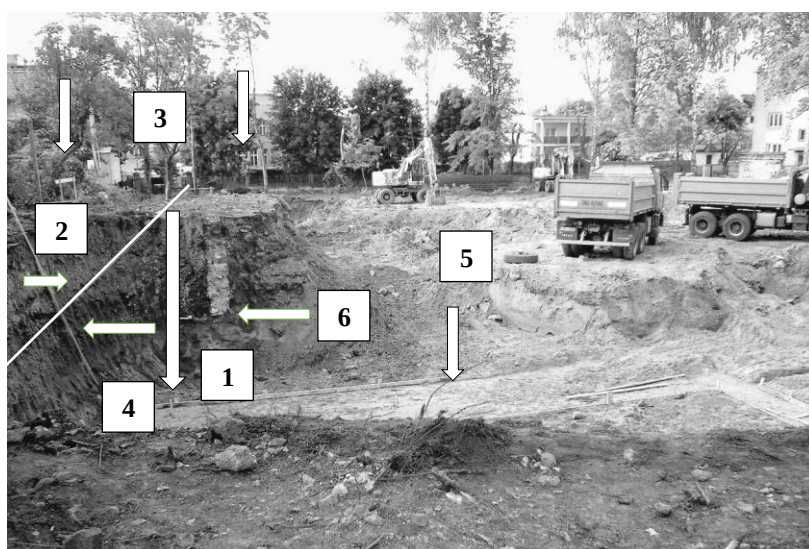
[Tekst alternatywny. Schemat wyznaczenia osi z pomocą ław drutowych. Na wrysowanych ławach drutowych (deskach do zaznaczenia przebiegu osi) pokazano różne lokalizacje linek odpowiadających przebiegowi osi, na przecięciu których, na dnie wykopu, zlokalizowany zostanie palik mierniczy, wyznaczający przecięcie głównych osi budynku.]



Rys. 3. Wyznaczenie osi z pomocą ław drutowych [11]

Na dnie wykopu paliki odwzorowują przebieg osi (rys. 2, 3). Na fotografii (rys. 4) widoczny jest jeden z palików (1), linka wyznaczająca lokalizację palika i przebieg osi (2) oraz ławy drutowe (3). Widoczne jest zróżnicowanie w odcieniu gruntu w wykopie: dominujący jest grunt nasypowy, nienośny (4) i grunt rodzimy (5), gliniasty, na którym posadowione zostaną fundamenty. Zauważyć można także pozostałości po konstrukcji wcześniej wykonanej (6). Ważne jest, aby posadowienie fundamentów odbywało się na gruncie rodzimym, poniżej poziomu posadowienia wcześniejszej konstrukcji (5).

[Tekst alternatywny. Fotografia obrazująca wykonywanie wykopu. Widoczne wyrównane dno, sprzęt budowlany oraz charakterystyczne miejsca oznaczone numerami: 1-palik mierniczy, 2-linka pokazująca przebieg osi, 3-konstrukcja ław drutowych, 4-grunt nasypowy, 5-grunt rodzimy, 6-pozostałość po wcześniej wykonanych fundamentach.]

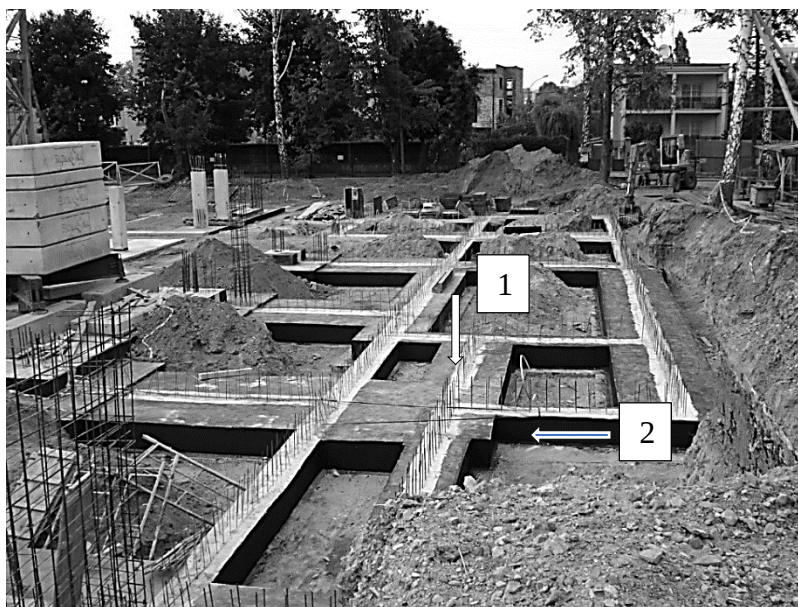


Rys. 4. Wykonywanie wykopu (opis w tekście) [autor]

Na rys. 5 zilustrowano przykład posadowienia fundamentu bezpośrednio na gruncie rodzimym a na rys. 6 na podkładzie z chudego betonu. Podkład najczęściej wykonywany jest w przypadku fundamentów, które przewidziano jako monolitycznie powiązane ze ścianami piwnic. O przyszłym, monolitycznym powiązaniu świadczą wystające z fundamentów pręty zbrojeniowe, tzw. startery (rys. 7), do których dowiązane zostanie zbrojenie ściany piwnicy. Z tego też powodu izolację poziomą nie można wykonać między fundamentem a ścianą piwnicy (przeszkadzają startery) i musi ona być ułożona pod fundamentem na podkładzie z chudego betonu, a następnie kontynuowana na wykonanym fundamencie (rys. 7).

Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki”
nr FERS.01.05-IP.08-0234/23

[Tekst alternatywny. Fotografia fundamentu ławowego z prętami startowymi do połączenia monolitycznego ze ścianą piwnicy. Fundament pokryty jest hydroizolacją z pominięciem miejsc występowania prętów startowych. Lokalizację starterów i izolacji oznaczono cyfrowo.]

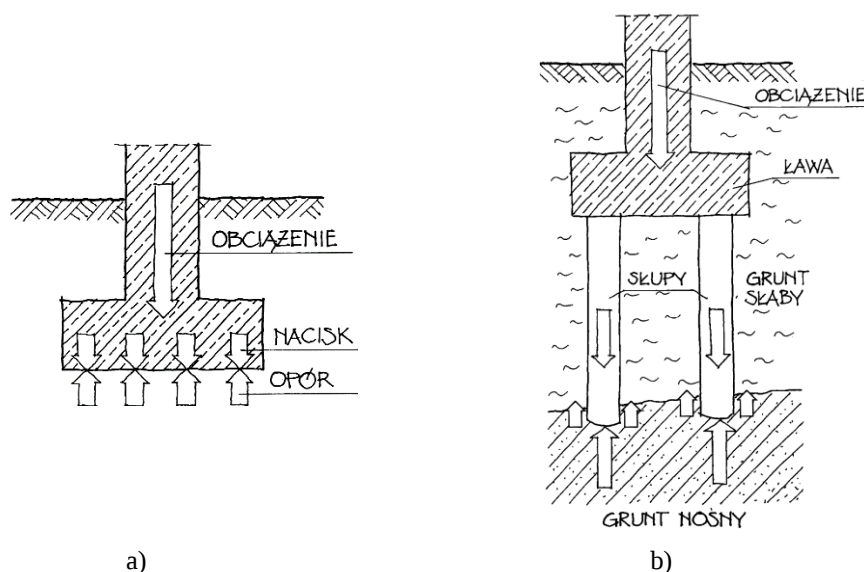


Rys. 7. Fundament ławowy z widocznymi prętami zbrojeniowymi tzw. starterami służącymi do łączenia ze zbrojeniem ściany piwnicy w celu stworzenia konstrukcji monolitycznej (1), izolacja na fundamencie połączona z izolacją wykonaną pod fundamentem na podkładzie z chudego betonu (2) [autor]

3. Fundamenty i ściany piwnic

Ogólnie fundamenty dzielą się na bezpośrednie i pośrednie. Fundamenty bezpośrednie wykonywane są w praktyce w ok. 70-80% budynków. To fundamenty usytuowane na warstwie nośnej gruntu, stąd nazwa fundamenty bezpośrednie (rys. 8a). Fundamenty pośrednie stosowane są w przypadku gruntów nienośnych. W tym wypadku pale lub studnie opuszczane są do warstwy nośnej, znajdującej się często na głębokościach poniżej 6 metrów (np. 8, 10 czy 12 m), i w niej kotwione przez zagłębienie na zaprojektowaną długość kotwienia. W ten sposób obiekt nie spoczywa na gruncie, jak to ma miejsce w przypadku fundamentów bezpośrednich, tylko poprzez pale obciążenie przenoszone jest do warstwy nośnej, stąd nazwa fundamenty pośrednie (rys. 8b).

[Tekst alternatywny. Przykład fundamentu bezpośredniego (a) i pośredniego (b). Pokazane zostały siły oddziaływania budynku przenoszone na fundamenty oraz reakcja (odpór) gruntu nośnego na to oddziaływanie.]



Rys. 8. Podział fundamentów ze względu na posadowienie: a) bezpośrednie, b) pośrednie [14]

Podział konstrukcyjny fundamentów bezpośrednich jest następujący: ławy fundamentowe, stopy fundamentowe, fundamenty płytowe, fundamenty rusztowe, fundamenty skrzyniowe.

Ławy fundamentowe (rys. 7) mogą spoczywać wprost na gruncie (rys. 5) lub za pośrednictwem podkładu z chudego betonu (rys. 6). Ławy fundamentowe to powszechnie stosowane fundamenty, posadowione na gruntach jednorodnych, o co najmniej średnich parametrach wytrzymałościowych. Charakteryzują się tym, że obciążone są najczęściej murem piwnicy (w przypadku podpiwniczenia) lub ścianą fundamentową (w budynku nieposiadającym podpiwniczenia). Obecnie najczęściej wykonywane są z betonu lub żelbetu.

Beton jest mieszaniną w odpowiedniej proporcji cementu, kruszywa – najczęściej z frakcją do $\phi 32$ mm oraz piasku i wody. Frakcja to kruszywo, które przejdzie przez określone oczko sita, np. $\phi 32$, $\phi 16$, $\phi 8$. Ostatecznie kruszywo do betonu jest mieszaniną frakcji, co, obok proporcji użytego cementu, piasku i wody, decyduje o wytrzymałości (klasie) projektowanego betonu. Przykładowo klasa C20/25 to wytrzymałość 25 MPa (dawna marka B25). Chudy beton, będący często podkładem pod fundamenty) to mieszanina tych samych składników co beton, jedynie

kruszywo posiada frakcję do $\phi 8$ mm. Z kolei żelbet to beton zbrojony prętami stalowymi, zgodnie z normą „żelbetową” w ilości większej niż 1,5% objętości betonu.

Stopy fundamentowe lokalizowane są najczęściej, podobnie jak ławy, na gruntach jednorodnych, o co najmniej średnich parametrach wytrzymałościowych, wykonywane

z betonu lub żelbetu. Stosowane są w budownictwie szkieletowym lub w obiektach, w których występują elementy nośne słupowe.

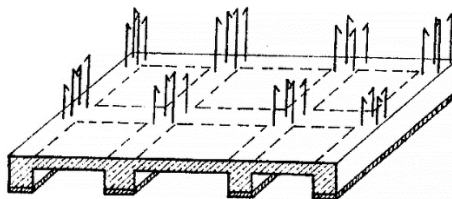
Fundamenty płytowe wykonywane są z żelbetu, charakteryzują się tym, że obejmują całą powierzchnię zabudowy budynku (rys. 9). Stosowane są najczęściej w sytuacjach, kiedy grunt pod budynkiem posiada zróżnicowane parametry wytrzymałościowe lub fizyczne, np. wilgotnościowe czy strukturalne. Fundamenty te znakomicie minimalizują nierównomierne osiadanie, najczęściej są monolitycznie (sztywno) połączone z konstrukcją zasadniczą. Mają zastosowanie we wszystkich rodzajach obiektów. Wykorzystywane są również jako zwieńczenie pali, czyli w sytuacjach posadowienia tzw. pośredniego. Na rysunku 10 pokazany jest fundament płytowy zespolony z ławami fundamentowymi. To ostatnio często stosowane rozwiązanie, które wzmacnia stabilność fundamentów ławowych połączonych z płytą, zapewniające jednocześnie konstrukcję i podłoże pod posadzkę.

[Tekst alternatywny. Przykład płyty fundamentowej wykonywanej w miejscu występowania trudnych warunków hydrologicznych polegających na permanentnym zalewaniu wykopu wodą gruntową. W konsekwencji zastosowano szczelną ściankę wokół płyty fundamentowej z zainstalowanym na niej systemem odsączającym wodę.]



Rys. 9. Płyta fundamentowa – widoczne utrudnienie w wykonawstwie wynikające z zalewania wykopu przez wysoki poziom wody gruntowej, co spowodowało zastosowanie szczelnej ścianki i systemu odsączającego wodę [autor]

[Tekst alternatywny. Fundament płytowy zespolony z fundamentem ławowym. Rozwiązanie często stosowane w praktyce budowlanej, z uwagi na dużą sztywność i odporność na nierównomierne osiadanie. Zespolenie zrealizowane jest konstrukcją żelbetową.]



Rys. 10. Fundament płytowy w zespoleniu z ławami fundamentowymi [14]

W przypadku budynków pasywnych, często pozbawionych podpiwniczenia, płytę wykonuje się na warstwie ocieplającej, co pozwala na płytsze posadowienie. Na gruntach wysadzinowych (np. gliniastych), ulegających deformacji pod wpływem tzw. wysadzin w przypadku spadku temperatur poniżej zera, stosuje się grubszy podkład z gruntu sykiego (np. piasku), dobrze zagęszczonego, oraz dodatkowe ocieplenie opaskowe wokół fundamentu płytowego. Ogólnie w przypadku gruntów wysadzinowych obowiązuje zasada posadawiania fundamentów poniżej głębokości przemarzania. W warunkach polskich jest to przedział min. 0,8-1,2 m poniżej poziomu terenu.

Fundamenty rusztowe są konstrukcjami żelbetowymi wykonywanymi na gruntach niejednorodnych, o niskich parametrach wytrzymałościowych, stosowane także jako zwieńczenie pali w posadowieniu pośrednim. Mają zastosowanie głównie w budownictwie przemysłowym, szczególnie o konstrukcji szkieletowej.

Fundament skrzyniowy składa się z płyt dolnej i górnej, połączonych pionowymi, żelbetowymi przegrodami. Całość wykonana z żelbetu, zespolona w sposób monolityczny. Tak jak w przypadku fundamentów płytowych, skrzynie wykonywane są w sytuacjach, kiedy grunt pod budynkiem posiada różne parametry wytrzymałościowe lub fizyczne, np. wilgotnościowe czy strukturalne. Fundamenty te znakomicie minimalizują nierównomierne osiadanie. Mają zastosowanie głównie w budownictwie przemysłowym, w którym występują znaczne obciążenia jednostkowe gruntu (np. silosy), gdzie dodatkowo przestrzeń między płytami wykorzystuje się do lokowania urządzeń (np. taśmociągów).

Zwieńczenie płytą fundamentową pali po wykonaniu fundamentów pośrednich obrazuje rysunek 11. Pale mogą występować jako żelbetowe prefabrykowane, wbijane kafarem (np. w budownictwie mostowym), albo wiercone, zbrojone i zalewane masą betonową (np. w budownictwie obiektów w miastach, gdzie ograniczone jest stosowanie kafarów). Przykład palownicy do wiercenia otworów na pale pokazany został również na rysunku 11.

[Tekst alternatywny. Na rysunku 11 pokazano dwie fotografie. Jedna zawiera płytę wieńczącą wykonane wcześniej palowanie. Świadczą o tym wystające z płyty pionowe pręty będące zbrojeniem pali. Druga, jest fotografią palownicy służącej do wiercenia otworów na pale podczas fundamentowania pośredniego.]

Rys. 11. Zwieńczenie pali płytą żelbetową i widok palownicy [autor]

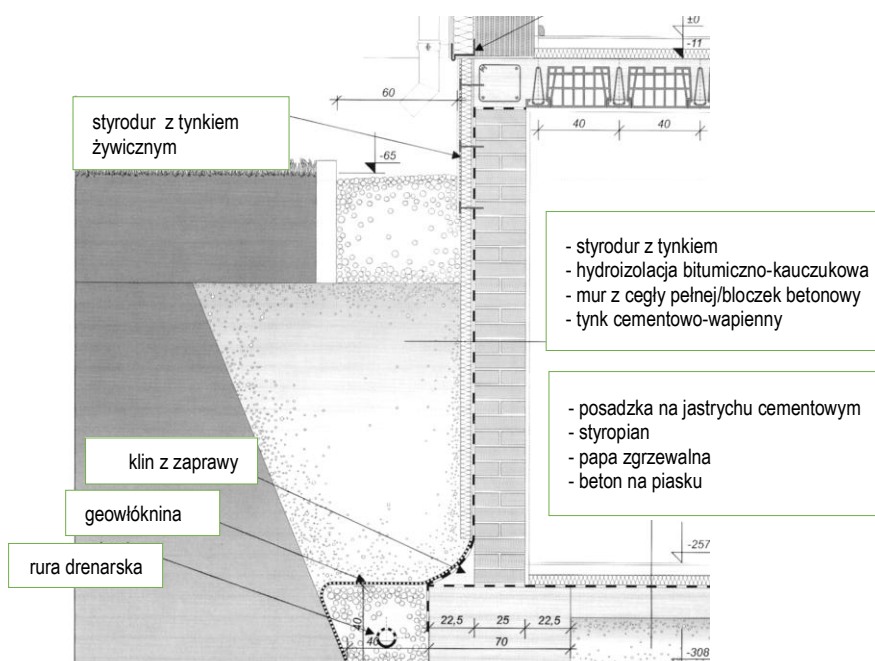


Technologicznie ściany piwnic, jak również ściany fundamentowe wykonuje się jako murowane lub monolityczne żelbetowe, z betonu formowanego w szalunkach.

Na rys. 12 pokazano szczegóły rozwiązań ściany piwnicy z hydroizolacją w posadzce połączonej z izolacją w ścianie i izolacją poziomą pod wieńcem.

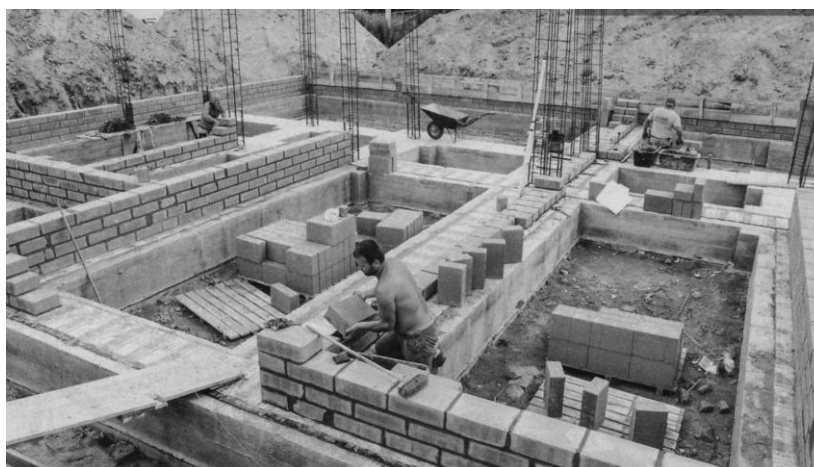
Przykład murowania ścian piwnic z bloczków betonowych pokazano na rysunku 13, a szalowanie pod monolityczną ścianą żelbetową na rysunku 14. Uszczelnienie ściany z fundamentem (rys. 14) uzyskuje się przez umiejscowienie w osi ściany (między starterami) sznura bentonitowego lub wkładki gumowej.

[Tekst alternatywny. Rysunek 12 zawiera klasyczne rozwiązanie połączenia fundamentu ławowego ze ścianą murowaną piwnicy. Pokazane są poszczególne warstwy izolacji cieplnej i hydroizolacji w posadzce i ścianie. Na ścianie izolacja cieplna ze styroduru, w posadzce ze styropianu. Na ścianie hydroizolacja z masy bitumiczno – kauczukowej, w posadzce i na połączeniu ściany z fundamentem i ściany ze stropem piwnicy, z papy zgrzewalnej. Ściana piwnicy murowana jest z bloczków betonowych, rzadko obecnie, może być również wykonana z cegły ceramicznej pełnej. Prezentowany przykład posiada także drenaż, z rurą drenarską, kruszywem i geowłókniną. Drenaż wykonuje się w przypadku wystąpienia zagrożenia wodą gruntową lub brakiem odpływu wody opadowej, z uwagi na grunt trudno przepuszczalny w poziomie posadowienia.]



Rys. 12. Szczegóły rozwiązań ściany piwnicy z drenażem [5]

[Tekst alternatywny. Fotografia obrazuje proces murowania ścian piwnic z blozków betonowych. Pracownik na częściowo wymurowanej ścianie, na zaprawie, układa bloczki betonowe. Ściana posiada pionowe zbrojenia trzpieni, które zostaną zaszalowane i zalane betonem, tworząc wraz ze stropem wzmocnienie przestrzenne konstrukcji piwnicy.]



Rys. 13. Murowanie ścian piwnic z blozków betonowych [7]

[Tekst alternatywny. Zbrojenie żelbetowej, monolitycznej ściany piwnicy. Zbrojenie siatkowe, połączone ze starterami wychodzącymi z płyty fundamentowej.]

Po dokończeniu montażu płyt szalunkowych i zalaniu mieszanką betonową nastąpi monolityczne zespolenie ściany i płyty fundamentowej. Uszczelnienie połączenia realizuje się przez montaż wewnątrz, między ścianą i płytą, gumy uszczelniającej lub sznura bentonitowego, rozszerzającego się pod wpływem wilgotnej masy betonowej.]



Rys. 14. Szalowanie ściany piwnicy łączonej do starterów dla zapewnienia monolitycznego zespolenia [autor]

4. Izolacje i drenaż

W budynkach występuje kilka rodzajów izolacji: paroizolacje, przeciwwilgociowe, przeciwwodne, nazywane często hydroizolacjami (tab. 1), cieplne, akustyczne, przeciwwietrzne. Zadaniem hydroizolacji jest ochrona budynku przed wodą gruntową pojawiającą się w związku z niestabilnym poziomem wody w gruncie, a także przed wodą opadową, w tym przenikającą do gruntu. Hydroizolacje występują zarówno w przegrodach pionowych (ścianach), przegrodach poziomych (posadzkach, stropach, dachach) oraz częściach budowli, np. fundamentach.

Izolacje cieplne chronią przed utratą ciepła i występują w przegrodach rozgraniczających środowiska zróżnicowane temperaturowo. Izolacje akustyczne ochraniają przed dźwiękami, szczególnie w przegrodach poziomych takich jak stropy międzykondygnacyjne. W konstrukcjach lekkich, np. w systemie kanadyjskim oraz w lekkich ściankach działowych, izolacja akustyczna występuje również w przegrodach ściennych. Izolacja przeciwwietrzna chroni przed przenikaniem wiatru przez konstrukcje lekkie, np. w systemie kanadyjskim oraz w konstrukcjach dachowych przy zagospodarowanych poddaszach.



[Tekst alternatywny. Tabela zawiera zestawienie rodzajów hydroizolacji. Podzielona jest na dwie kolumny z rodzajami hydroizolacji i ich charakterystyką. Trzy wiersze zawierają typy hydroizolacji: lekkiej z paroizolacją, średniej z białą wanną i ciężkiej.]

Tabela 1. Rodzaje hydroizolacji

Rodzaj hydroizolacji	Charakterystyka
Hydroizolacje typu lekkiego i paroizolacja	bitumiczne izolacje powłokowe (abizol, bitizol) lub mineralne zaprawy wodochronne, stosowane na ścianach piwnic, na które oddziałuje wilgoć gruntowa pochodząca z wody opadowej, a przegroda znajduje się na gruntach przepuszczalnych; paroizolacje – najczęściej na przegrodach poziomych lub lekkich konstrukcjach ściennych (szkielet kanadyjski), z folii PE gr. 0,2-0,4 mm, przeciw parze wodnej dyfundującej (przepływającej) od strony pomieszczeń
Hydroizolacje typu średniego, przeciwwilgociowe	izolacje z pap zgrzewalnych lub folii o gr. powyżej 0,4 mm (na podłożach poziomych) lub z mas bitumiczno-kauczukowych (na przegrodach pionowych), chronią przed wodą opadową niebędącą pod ciśnieniem hydrostatycznym, a w przypadku gruntów nieprzepuszczalnych dodatkowo z systemem drenażowym; chronią również przed okresowym podwyższeniem poziomu wody gruntowej, również za wspomaganie systemem drenażowym; ten typ izolacji może być wykonany także w systemie białej wanny z betonu hydroizolacyjnego
Hydroizolacje typu ciężkiego, przeciwwodne	izolacje z kilku warstw pap zgrzewalnych lub folii (na podłożach poziomych) lub z mas bitumiczno-kauczukowych (na przegrodach pionowych) charakteryzujących się absolutną szczelnością i dużą wytrzymałością, dodatkowo zabezpieczone warstwą dociskową (np. z betonu zbrojonego), chronią przed wodą naporową wywierającą ciśnienie hydrostatyczne (np. w przypadku trwale podniesionego poziomu wody gruntowej)

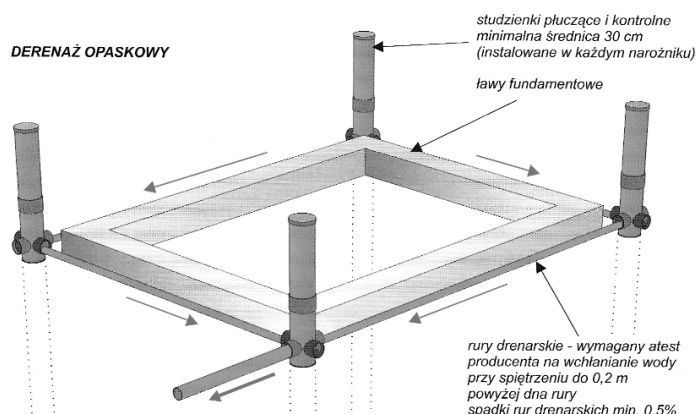


Podział hydroizolacji (tab. 1) wynika z zastosowanych materiałów oraz stworzonych przez nie zapór przeciw wilgoci i wodzie. Izolacja lekka chroni przed naturalną wilgocią np. w gruncie, paroizolacja przed parą wodną, izolacja średnia przed wodą, która spływa np. po ścianie, ale nie wytwarza ciśnienia hydrostatycznego, natomiast izolacja ciężka chroni przed wodą wytwarzającą ciśnienie hydrostatyczne pod wpływem np. podniesionego poziomu wody gruntowej czy zalegania wody w poziomie posadowienia, wynikające z braku możliwości odpłynięcia do warstw przepuszczalnych (posadowienie na gruntach nieprzepuszczalnych).

Jako izolację typu średniego stosuje się technologię białej wanny, w której wykorzystuje się beton wodoodporny w obiektach z konstrukcją monolityczną w posadowieniu. W celu zabezpieczenia szczelności połączenia ściany piwnicy (przyziemia) z fundamentem płytowym wykonuje się zatopioną w fundamencie, między prętami starterowymi, wkładkę z gumy. W tej technologii oprócz uszczelnienia przejścia między fundamentem i ścianą stosuje się tuleję do wprowadzenia w ścianę zewnętrzną piwnicy (przyziemia) w celu sprowokowania do wystąpienia zarysowania ściany. To prowokacyjne działanie pozwala przewidzieć prawdopodobne miejsce wystąpienia zarysowania i wykonanie na nim specjalnej izolacji uszczelniającej uniemożliwiającej ewentualne przesączenie wody przez ścianę piwnicy. Sam beton w technologii białej wanny jest odporny hydroizolacyjnie, zawiera dodatki uszczelniające oraz posiada właściwości wodoodporne, określane wskaźnikiem W8. Wykazuje wystarczającą odporność na przepływającą przez grunt w pobliżu ściany wodę, pochodzącą głównie z przesąceń i opadów.

W przypadku posadowienia budynku na gruntach trudno przepuszczalnych, kiedy istnieje niebezpieczeństwo gromadzenia się wody opadowej na wysokości fundamentów, należy zastosować system drenarski umożliwiający odprowadzenie wody i osuszenie przyległego gruntu (rys. 5, 6, 12). Lokalizację drenażu (rury drenarskiej) do odprowadzenia wody przesączającej się w gruncie, usytuowanego w pobliżu fundamentu posadowionego na gruntach nieprzepuszczalnych, pokazano na rysunkach 12 i 15. Drenaż zalecany jest również w wypadku niestabilnego lub podwyższonego poziomu wody gruntowej, która może pojawić się nad poziomem fundamentów i może oddziaływać na konstrukcję podziemną (ścianę, fundament). Najczęściej wykonuje się drenaż opaskowy, okalający budynek dookoła (rys. 16).

[Tekst alternatywny. Drenaż opaskowy okala dokoła fundament. Dla zapewnienia drożności i możliwości czyszczenia, w każdym narożniku montowana jest studnia. Do studni dochodzą przewody drenarskie, najczęściej z perforowanych rur PCV. Posiadają one spadki, które nie powinny być mniejsze niż 0,5 %, skierowane do rury odprowadzającej wodę z drenażu np. do rowu melioracyjnego, kanalizacji deszczowej, na potrzeby własne jako rozsączenie itp.]

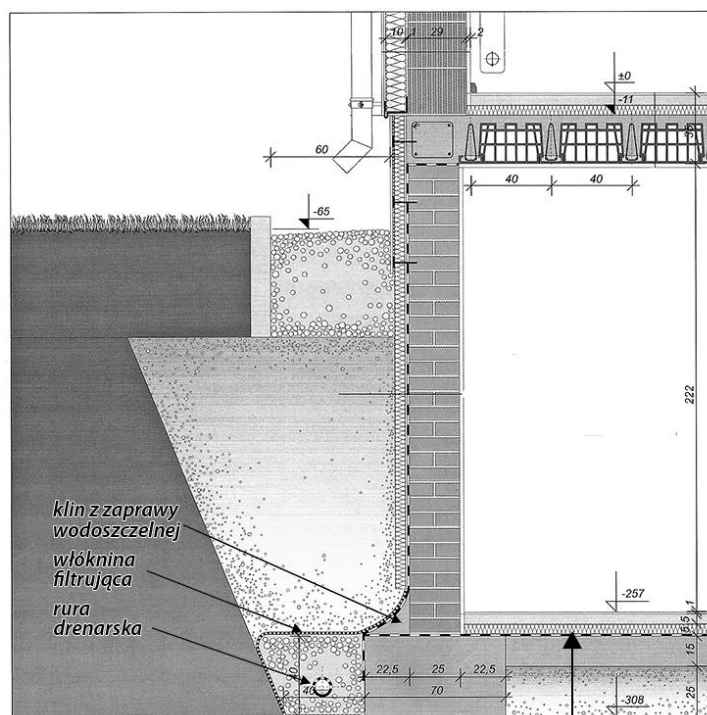


Rys. 15. Drenaż opaskowy okalający ławy fundamentowe [3]

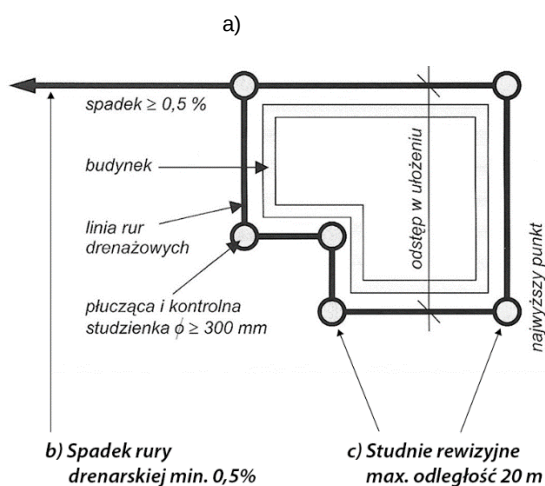
Zasady wykonywania drenażu opaskowego (rys. 16):

- rurę drenarską należy poprowadzić między poziomem posadowienia a poziomem izolacji posadzki piwnicy (te poziomy nie mogą być przekroczone) – rys. 16 a,
- minimalny spadek rury drenarskiej to 0,5% (5‰) – rysunek 16 b,
- na każdym załamaniu przebiegu rury, szczególnie w narożnikach i uskokach, należy wykonać studnie rewizyjne (rys. 16 c), a ostatnia z nich powinna łączyć cały system drenażu ze studnią zbiorczą, a następnie z kanalizacją deszczową lub rowem melioracyjnym. Ważne jest, aby zachować minimalny spadek, nie przekraczając skrajnych poziomów (posadowienia i izolacji posadzki). Dlatego rurę drenarską należy usytuować najwyżej (przy poziomie izolacji posadzki) w najdalej odsuniętym od studni zbiorczej miejscu, a przy studni rewizyjnej, najbliższej studni zbiorczej, tuż nad poziomem posadowienia (rys. 16 a). Jeżeli przekroczenie skrajnych poziomów jest zagrożone, to dla zachowania odpowiedniego spadku i reżimu skrajnych poziomów należy wykonać dodatkową studnię zbiorczą, np. na przeciwległym miejscu w stosunku do studni zbiorczej głównej. Rurę drenarską należy otoczyć kruszywem i zabezpieczyć geowłókniną. Zabezpieczenie geowłókniną można wykonać (jest to praktyczniejsze) bezpośrednio na rurze drenarskiej.

[Tekst alternatywny. Zasady wykonywania drenażu przedstawione są na dwóch rysunkach. Pierwszy opisuje usytuowanie rury drenarskiej wrysowanej w typowy przekrój na poziomie piwnicy. Rura musi być usytuowana (a) między poziomem posadowienia a izolacją posadzki piwnicy. Drugi rysunek zawiera dwie kolejne zasady przypominające: o spadku minimalnym rury drenarskiej (b) wynoszącym min. 0,5 % oraz o konieczności montażu studni rewizyjnych w narożnikach i jeżeli odległość między studniami przekracza 20m.]



a) Usytuowanie: w pasie między poziomem posadowienia a poziomem izolacji posadzki



b) Spadek rury drenarskiej min. 0,5%

c) Studnie rewizyjne max. odległość 20 m

(b)

(c)

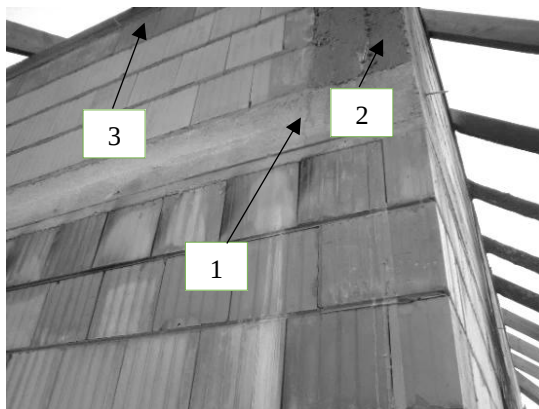
Rys. 16. Zasady wykonywania drenażu: a) lokalizacja rury drenarskiej, b) spadek min. 0,5%, c) studnie rewizyjne [3, 5]

5. Ściany nadziemne

W rozdziale przedstawiono ściany nadziemne, szczególnie zewnętrzne, wykonane w technologii murowanej, z różnych materiałów: silikatowych, ceramicznych, gazobetonowych itp. Te rodzaje materiałów ze względu na wymiar (np. bloczek czy pustak $38 \times 25 \times 25$ cm), wytrzymałość i brak przestrzennego wiązania, wymaga często wzmocnień żelbetowych w formie wieńca (na wysokości stropu), trzpieni pionowych, elementu żelbetowego pod murlatą więźby dachowej. Takie wzmocnienia tworzą przestrzenne usztywnienie całego budynku.

Do łączenia materiałów ściennych, jak również do tynkowania stosuje się zaprawy murarskie. Najbardziej popularne są zaprawy na bazie cementu, w tym zaprawy cementowo-wapienne. Występują również zaprawy cienkowarstwowe, np. do łączenia bloczków gazobetonowych lub silikatowych. Ostatnio pojawiły się systemy bloczków na bazie perlitu łączone bezspoinowo, np. Dom 3E.

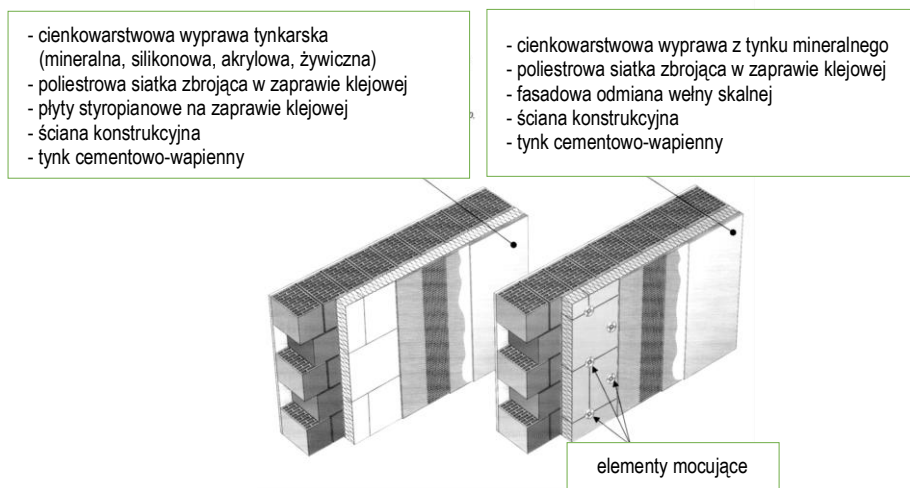
[Test alternatywny. Wzmocnienia muru elementami żelbetowymi tworzą przestrzenne usztywnienie budynku. Na fotografii w murze z pustaków ceramicznych wyróżniono trzy elementy żelbetowe: 1- wieniec łączący strop z konstrukcją ścienną, 2-narożnik, 3- wieniec łączący mur poddasza z konstrukcją więźby.]



Rys. 17. Mur z pustaków ceramicznych wzmocniony elementami żelbetowymi (1 – wieniec, 2 – narożnik, 3 – murlata żelbetowa) [autor]

Na rysunku 18 pokazana została technologia ocieplania ścian metodą lekką mokrą (styropianem i wełną skalną) oraz poszczególne warstwy wyprawy tynkarskiej.

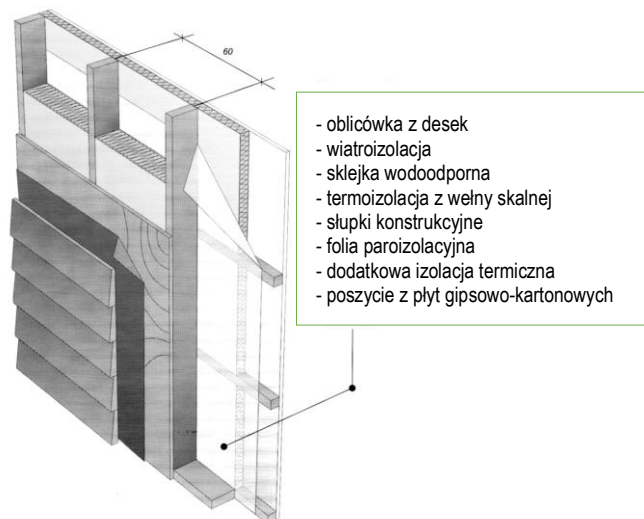
[Tekst alternatywny. Technologia ocieplania metodą lekką różni się zastosowanym materiałem izolacji cieplnej: styropianem lub wełną skalną. Pozostałe warstwy są analogiczne: klej, poliestrowa siatka zbrojąca, cienkowarstwowa wyprawa tynkarska.]



Rys. 18. Ocieplenie metodą lekką mokrą styropianem i wełną skalną [3]

Na rysunku 19 pokazano warstwy lekkiej ściany szkieletowej typu kanadyjskiego. Należy zwrócić uwagę, że w takiej lekkiej konstrukcji występuje folia przeciwwietrzna od strony zewnętrznej oraz paroizolacja od strony wewnętrznej. Taki układ warstw występuje również w konstrukcji dachowej poddasza użytkowego. W ścianach masywnych, murowanych wiatro- i paroizolacja nie jest wymagana.

[Tekst alternatywny. Warstwy ściany szkieletu kanadyjskiego jest charakterystyczna dla lekkich konstrukcji ściennych i poddasza dachowego. Od strony wewnętrznej, na warstwie wykończeniowej występuje paroizolacja, w środku izolacja cieplna, od zewnątrz wiatroizolacja pod warstwą wykończenia zewnętrznego.]



Rys. 19. Przykład lekkiej ściany szkieletu typu kanadyjskiego [3]



W budownictwie przemysłowym stosuje się często prefabrykowaną płytę ścienną w postaci tzw. płyty warstwowej PW (rys. 20). Płyta montowana jest do szkieletowej konstrukcji stalowej pełniąc rolę ustroju nośnego. Jako płyta zewnętrzna spełnia zadania osłonowe, w tym m.in. izolacyjności cieplnej, wykończenia od wewnątrz i od zewnątrz, i tworzy uszczelnienie chroniące przed oddziaływaniem środowiska zewnętrznego (rys. 20).

[Tekst alternatywny. Ściany stosowane w budownictwie przemysłowym przedstawiono na dwóch fotografiach. Jedna przedstawia widok ogólny hali, druga halę od strony wewnętrznej z widocznymi elementami szkieletu stalowego i płyt ściennych, a także dachowych.]



Rys. 20. Ściany z prefabrykowanej płyty warstwowej od strony zewnętrznej i wewnętrznej [autor]

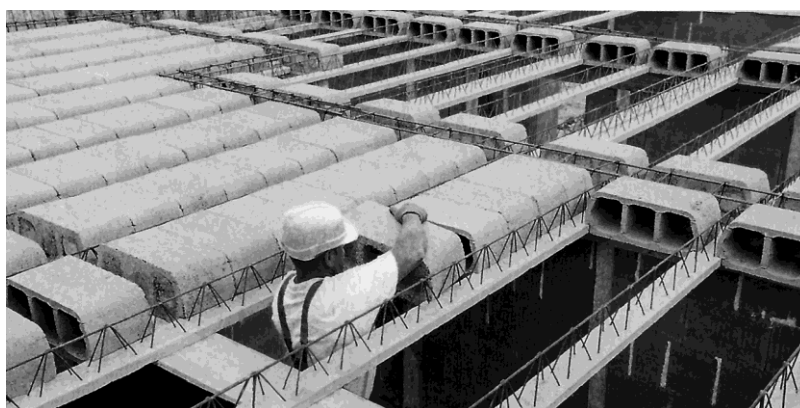
6. Stropy

Stropy to elementy stanowiące o przestrzennym usztywnieniu obiektów, dzięki oddziaływaniu w płaszczyźnie prostopadłej do konstrukcji ściennych. Początkowo dominowały stropy drewniane, następnie sklepienia, głównie z materiałów ceramicznych, w późniejszym okresie pojawiły się konstrukcje stalowo-ceramiczne, a obecnie stropy zdominowały konstrukcje żelbetowe, w tym gęstożebrowe, monolityczne, prefabrykowane oraz sprężone. Należy także wspomnieć o stropach stalowych, dźwigarach z drewna klejonego i klasycznych drewnianych, w tym w szkieletowym systemie kanadyjskim.

Popularnym obecnie stropem gęstożebrowym jest strop Teriva o rozstawie belek 60 cm (rys. 21). Stopka belki jest betonowa, połączona z kratownicą. Wypełnieniem stropu jest pustak betonowy. Dopiero po montażu na podstępowaniu wykonanym na placu budowy wypełnia się całość betonem i nadbetonem (płytą o grubości 0,03 m nad pustakiem). Również popularny jest strop Fert 45 o rozstawie belek 45 cm.

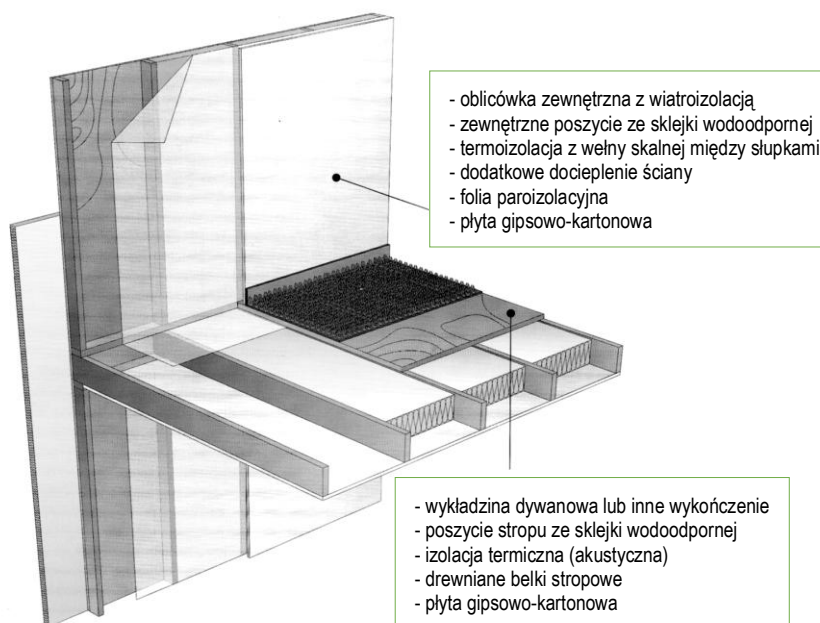
Posiada on podobną do Terivy belkę z kratownicą i wypełniający pustak z materiału ceramicznego. Z kolei przykład stropu drewnianego w systemie kanadyjskim, w wersji wykończonej pokazuje rysunek 22.

[Tekst alternatywny. Strop Teriva jest popularnym stropem gęstożebrowym o rozstawie belek 60 cm. Posiada belkę z kratownicą stalową, wypełnienie z pustaków betonowych, uzupełnione nadbetonem. Na etapie montażu wymaga podparcia, a przy większych rozpiętościach (powyżej 3,6 m) żeber rozdzielających.]



Rys. 21. Strop Teriva [6]

[Tekst alternatywny. Strop w konstrukcji szkieletu kanadyjskiego, podobnie jak ściana wymaga płytowych elementów usztywniających np. w postaci płyt OSB.]

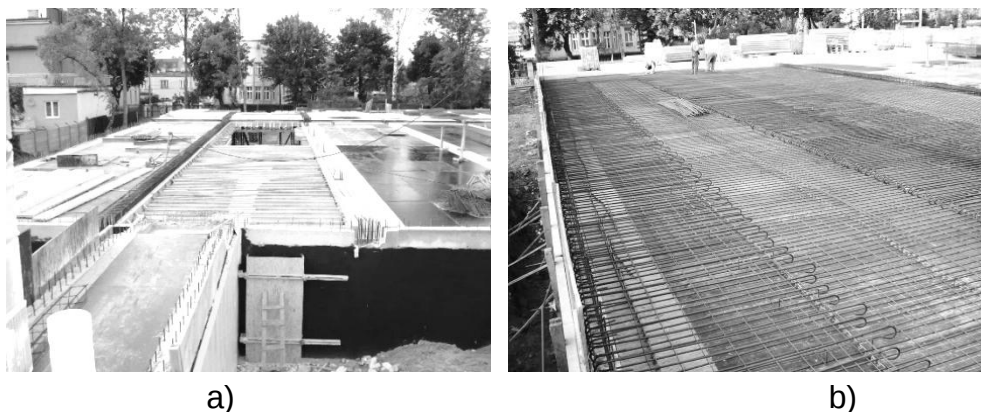


Rys. 22. Wykończona konstrukcja ścienna i podłogowa w budynku szkieletowym [5]

Wraz z pojawieniem się na przełomie XIX i XX wieku konstrukcji żelbetowych rozwinęło się wykonawstwo stropów monolitycznych, głównie w budownictwie przemysłowym. Obecnie są one często wykonywane również w budynkach o innych funkcjach, w tym w budownictwie mieszkaniowym wielorodzinnym. Strop monolityczny może występować w wariacie bez belki (jednoprzęsłowy) lub z belką zespoloną i płytą (wieloprzęsłowy).

Przykład szalunku pod strop monolityczny, dwuprzęsłowy pokazano na rysunku 23a, a zbrojenie do tego stropu na rysunku 23b, z charakterystycznym przebiegiem górnym nad podporami ściennymi i dolnym w środku rozpiętości (w miejscach występowania naprężeń rozciągających przy zginaniu).

[Tekst alternatywny. Strop żelbetowy monolityczny wymaga wykonania pełnego szalunku (a) i zbrojenia przygotowanego na placu budowy (b). Na fotografii wyraźnie widoczne są miejsca, w których występowanie podpór wymaga zbrojenia górnego, w przeciwieństwie do przęsła, wyłącznie ze zbrojeniem dolnym.]



Rys. 23. Strop żelbetowy monolityczny: a) szalunek, b) zbrojenie [autor]

Innym wariantem stropu monolitycznego jest strop filigranowy (rys. 24a), częściowo prefabrykowany w części dolnej. Wymaga stemplowania (rys. 24b), ale nie szalunku, tak jak w przypadku klasycznego stropu monolitycznego. Niemniej jednak konieczne jest zbrojenie i betonowanie, a część dolna spełnia tylko rolę szalunku płytowego.

[Tekst alternatywny. Strop filigranowy jest popularną odmianą stropu monolitycznego. Posiada część dolną prefabrykowaną z kratownicą na przeniesienie górnych naprężeń ściskających (a). Strop wymaga podparcia (b) na etapie montażu zbrojenia i zalewania betonem. Płyta prefabrykowana spełnia rolę tzw. szalunku traconego.]



Rys. 24. Strop filigranowy: a) widok ogólny, b) sposób stemplowania [autor]

Rysunek 25 pokazuje również popularny obecnie strop płytowy prefabrykowany, wielokanałowy. Występuje w wersji żelbetowej, jak również w wersji, w której beton jest dodatkowo sprężony, co pozwala na osiągnięcie przez płytę stropową większych rozpiętości (do 12 m). Nieodzowny w przypadku stropów, szczególnie żelbetowych, jest wieniec będący elementem kotwiącym strop ze ścianą.

[Tekst alternatywny. Strop żelbetowy prefabrykowany w wersji wielokanałowej jest popularnym rozwiązaniem mieszkaniowym wielorodzinnym i przemysłowym. Na fotografii przedstawiony jest montaż płyty sprężonej, strunobetonowej, która na tym etapie posiada charakterystyczne dla płyt sprężonych ugięcie odwrotne (do góry).]

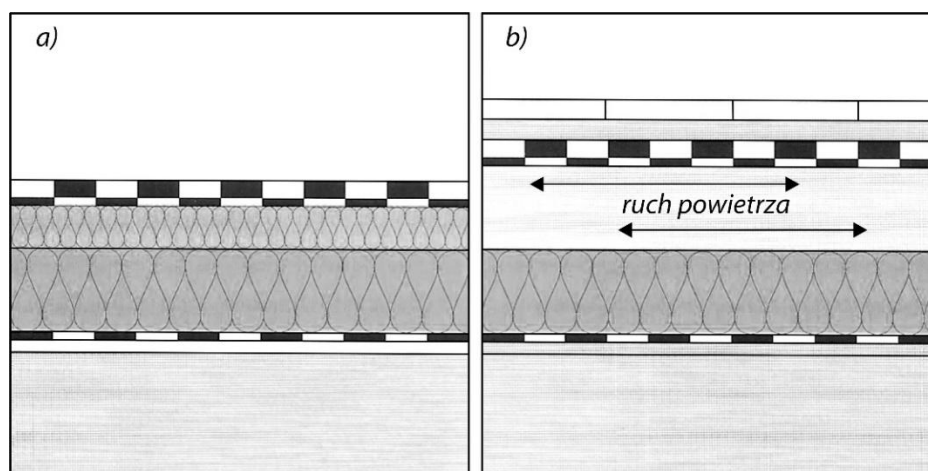


Rys. 25. Montaż stropu prefabrykowanego wielokanałowego [6]

7. Stropodachy i dachy

Stropodachy to konstrukcje zespolone stropu i pokrycia dachowego, które nie mogą być konstrukcyjnie oddzielone. Ogólnie stropodachy dzielą się na pełne i wentylowane – ideę takiego podziału pokazuje rysunek 26. Pełne mogą posiadać układ tradycyjny z wierzchnią warstwą z izolacją przeciwwodną (rys. 27) lub coraz częściej stosowany układ odwrócony (rys. 28). Wentylowane z kolei mogą być wentylowane dwudzielne (realizowane najczęściej) z częścią z izolacją cieplną i hydroizolacją przedzielonych warstwą powietrza (rys. 29). Występują także w wersji odpowietrzanej, kanałowo lub szczelinowo jako stropodachy powszechnie wykonywanych poddaszy użytkowych.

[Tekst alternatywny. Ogólnie stropodachy dzielą się na pełne (a) i wentylowane (b). Różnica wynika z całkowitego zespolenia warstw w przypadku pełnego (a) w przeciwieństwie do dwudzielności w przypadku wentylowanego (b). Ważny jest ruch powietrza w przypadku stropodachu wentylowanego (b), uzależniony od istnienia otworów wlotowych/wylotowych.]

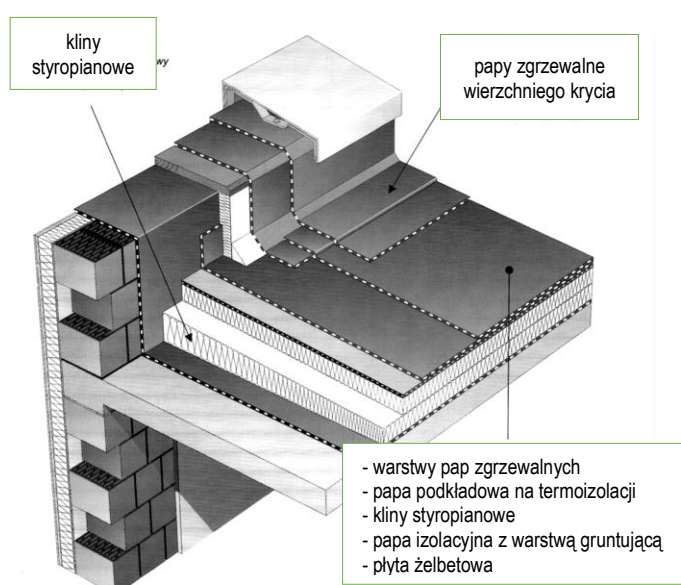


Rys. 26. Idea podziału stropodachów: a) pełne, b) wentylowane [14]

Tradycyjny układ stropodachu pełnego prezentuje rysunek 27. Należy zwrócić uwagę, że wszystkie warstwy połączone są ze sobą w układzie: paroizolacja (na stropie), izolacja cieplna, izolacja przeciwwodna. Jeżeli warstwą wykończeniową na izolacji przeciwwodnej jest np. ziemia urodzajna z trawą, żwirek ozdobny, płyty chodnikowe czy płyty ceramiczne (wykończenie tarasu), to na izolacji przeciwwodnej należy zastosować tzw. warstwę poślizgową, np. z włókniny filtrującej (umożliwia to minimalne przemieszczenia związane z odkształceniami termicznymi). Zarówno w przypadku tradycyjnego układu, jak i z wykończeniem nietypowym obróbka blacharska okapu

musi znajdować się bezpośrednio pod izolacją przeciwwodną. Wywinięta na obróbkę blacharską umożliwi odprowadzenie wody z obróbki wprost do rynny.

[Tekst alternatywny. W stropodachu pełnym istotne znaczenie posiada warstwa paroizolacyjna. Powinna ona zabezpiecza przed przepływem pary wodnej w kierunku wierzchniej, szczelnej warstwy pokrycia zewnętrznego, gdzie mogą wystąpić niekorzystne warunki termiczne. Dla pełnej ochrony warstwa paroizolacyjna powinna posiadać szczelność odpowiednią dla hydroizolacji.]



Rys. 27. Stropodach pełny w układzie tradycyjnym [5]

Lepszym rozwiązaniem, z uwagi na warunki eksploatacyjne, w przypadku wyboru wykończenia nietypowego jest zastosowanie rozwiązania stropodachu pełnego odwróconego (rys. 28). Układ warstw w tego typu stropodachu jest odwrotny w stosunku do tradycyjnego stropodachu pełnego i składa się z izolacji przeciwwodnej znajdującej się na powierzchni stropu, na niej położona jest izolacja cieplna, a następnie geowłókna i warstwa wykończeniowa, np. żwirek ozdobny. Łatwo zauważyć, że warstwa izolacji cieplnej w tym układzie narażona jest na przepływ wody opadowej spływającej w kierunku izolacji przeciwwodnej, z której następnie odprowadzana jest rynną. Dlatego podstawowym warunkiem, który musi spełnić izolacja cieplna, to wodoodporność. Taki warunek spełnia polistyren ekstrudowany, popularnie nazywany styrodurem. Jeżeli warstwą wykończeniową są płyty chodnikowe, to należy układać je na „plackach” cementowych na geowłókninie.

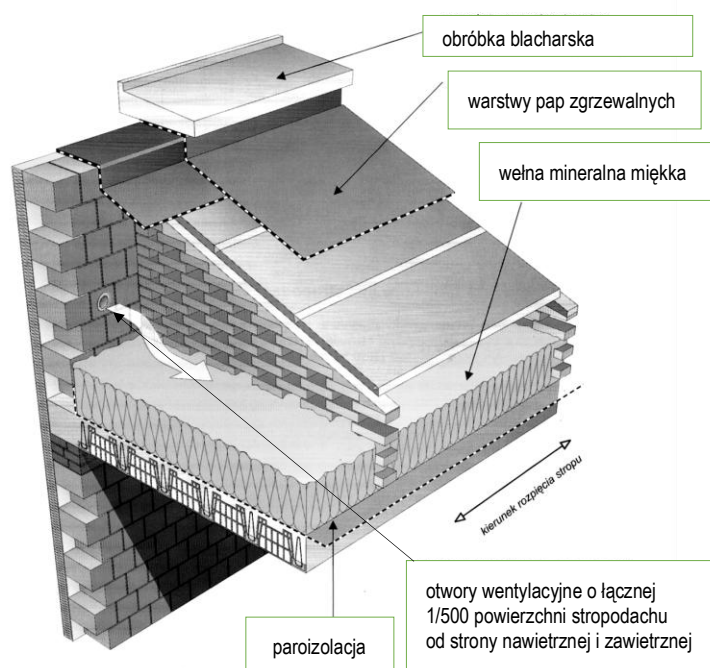
[Tekst alternatywny. Stropodach w wersji odwróconej musi spełnić wymóg, aby warstwa paroizolacyjna posiadała szczelność hydroizolacyjną np. w postaci podwójnej papy zgrzewalnej. Drugim istotnym warunkiem jest odporność wilgotnościowa i szczelność na wchłanianie wody warstwy izolacji cieplnej. W tym wypadku jedynym obecnie materiałem izolacyjnym jest styrodur. Górna, wierzchnia warstwa, powinna być przepuszczalna i spełniać rolę ochronną.]



Rys. 28. Stropodach pełny odwrócony [5]

Najbardziej popularnym stropodachem wentylowanym jest stropodach z układem warstw dwudzielnym. Układ warstw stropodachu: izolacja cieplna na stropie (w przypadkach lokalizacji nad pomieszczeniami z podwyższoną wilgotnością, dodatkowo na warstwie paroizolacyjnej), nad izolacją cieplną pustka powietrzna wentylowana, a nad pustką konstrukcja pokrycia, np. płyty korytkowe z izolacją przeciwwodną (rys. 29). Istotne znaczenie eksploatacyjne ma wielkość i rozkład otworów wlotowo/wylotowych, spełniających proporcje powierzchniowe do wielkości połaci dachowych.

[Tekst alternatywny. Stropodach wentylowany w wersji dwudzielnej posiada obszerną przestrzeń przewietrzaną otworami wlotowo/wylotowymi. Odpowiedni dobór wielkości tych otworów, ich usytuowanie, zapewni właściwe warunki eksploatacyjne oraz trwałość funkcjonalną konstrukcji.]



Rys. 29. Stropodach wentylowany dwudzielny [5]

Powszechnie stosowanym rozwiązaniem jest szczelinowe odpowietrzanie stropodachów w przypadku poddaszy użytkowych. Podstawową konstrukcję spełniają drewniane belki konstrukcji dachowej, np. krokwie więźby drewnianej dachowej. Ten typ stropodachów, stosowany jako wierzchnie wykończenie konstrukcji dachowej poddaszy użytkowych, ma układ warstw charakterystyczny dla tzw. konstrukcji lekkich, np. szkieletu kanadyjskiego, wykonanych z lekkich materiałów, np. drewna, aluminium.

Układ warstw konstrukcji lekkiej poddasza użytkowego od strony wewnętrznej jest następujący: wykończenie (np. płyty gipsowe na ruszcie), folia paroizolacyjna, pogrubiona izolacja cieplna, np. wełna mineralna miękka, bardzo ważna izolacja przeciwwietrzna, mocowana kontrłatami (biegnącymi wzdłuż krokwi), ułatwiająca odpowietrzanie i odprowadzanie wilgoci, oraz zewnętrzna warstwa wykończeniowa, np. pokrycie dachówką na łątach (przybijanych do krokwi poprzez kontrłaty mocujące folię przeciwwietrzną). Istotne znaczenie izolacji przeciwwietrznej (wiatroizolacji) polega na umożliwieniu odpływu pary wodnej, która, mimo zastosowania folii paroizolacyjnej, dyfunduje (przeptywa) przez izolację cieplną w kierunku środowiska zewnętrznego i nieusunięta może spowodować zawilgocenie termoizolacji.

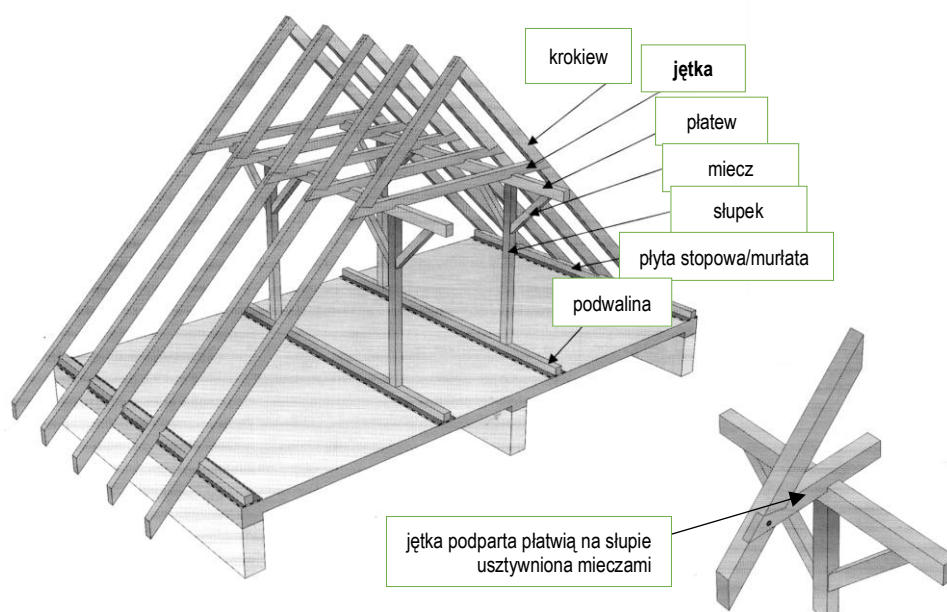
Klasyczne dachy kształtowane są przez więźby dachowe, które najczęściej, prawie

Strona 27 z 43

w całości, wykonywane są z drewna. Proste w kształcie dachy (jedno- lub dwuspadowe) mogą być również ukształtowane przez więzary dachowe, przy czym więzary mogą być drewniane, ale również stalowe, rzadko żelbetowe.

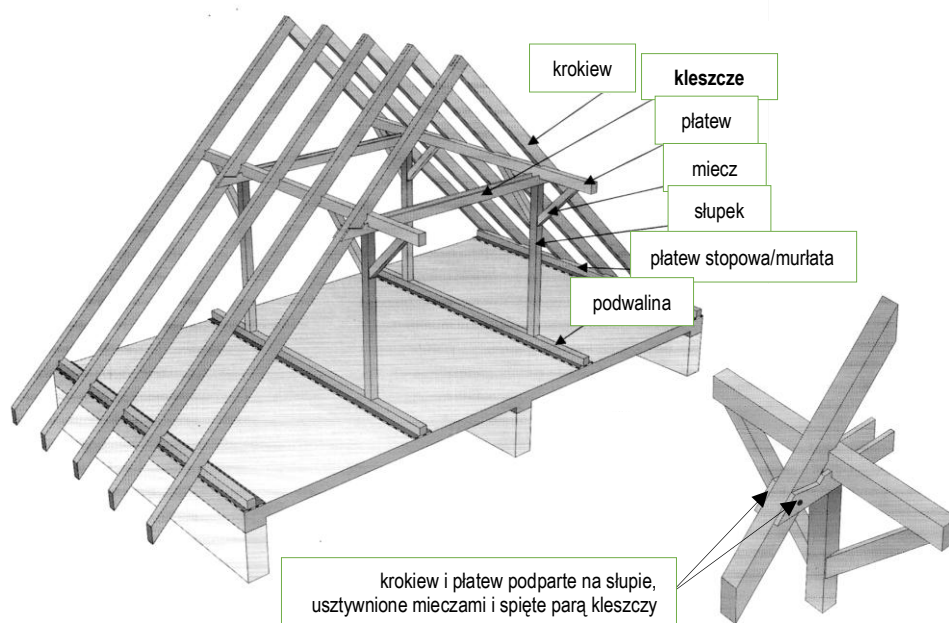
Najbardziej popularne więzby dachowe występują w wersji więzby w wersji płatwiowo-jętkowej (rys. 30) oraz płatwiowo-kleszczowej (rys. 31). Na uwagę zasługuje fakt, że jętka, jako ważny element konstrukcyjny, zlokalizowana jest nad płatwiami, które stanowią dla niej element podporowy. Z kolei w więźbie dachowej płatwiowo-kleszczowej głównym elementem nośnym są płatwie, a kleszcze znajdujące się pod płatwiami pełnią rolę spinającą krokwie, płatwie i słupki. Na rysunkach 30 i 31 przedstawiono najważniejsze elementy więźb dachowych: krokwie, płatwie, jętki, kleszcze, słupki (dawniej nazywane stolcami), miecze, podwaliny (czasami z blachy podwalinowej), płatwie stopowe, często nazywane murlatami i nierzadko wykonywane w wersji żelbetowej.

[Tekst alternatywny. Więżba dachowa w wersji płatwiowo – jętkowej posiada istotny jest konstrukcją, w której istotną rolę w zakresie nośności spełnia jętka. Jest to element pracujący jak zginana belka, podparta płatwiami, obciążona na końcu rozpiętości siłami skupionymi od krokwi.]



Rys. 30. Więżba dachowa płatwiowo-jętkowa (aksonometria) [5]

[Tekst alternatywny. Więźba dachowa w wersji płatwiowo – krokwiowej jest, ze względu na układ elementów, konstrukcją rozpierającą. Istotnym elementem nośnym są płatwie, zginane w dwóch płaszczyznach oraz spinające całość kleszcze. Są to elementy rozciągane, przeciwdziałające siłą rozpierającym więźbę.]



Rys. 31. Więźba dachowa płatwiowo-kleszczowa (aksonometria) [5]

Po wykonaniu więźby dachowej montowane są obróbki blacharskie, ponieważ na nich dopiero wykonywane jest pokrycie dachu. Należy zwrócić uwagę na kolejność wykonywania poszczególnych warstw obróbek, szczególnie gzymsu i rynny: najpierw pas podrynnowy, następnie haki rynnowe z rynną oraz pas okapowy (nadrynnowy). W miejscu kominów lub innych konstrukcji wychodzących nad pokrycie należy wykonać tzw. odbojnię dla wody, najczęściej z betonu, klinów styropianowych, papy, blachy.

Popularnym obecnie kryciem dachu jest blachą dachówkowa oraz dachówka zakładkowa. Oba pokrycia wykonywane są na łątach mocowanych poprzez kontrłaty do krokwi. Szczególnie dachówka zakładkowa, z uwagi na sposób mocowania (nie każda dachówka jest przytwierdzana) umożliwia łatwy montaż fotowoltaiki.



8. Ciepło i współczynnik U

Z racji zróżnicowania temperaturowego cząstek o różnej energii, ciepło przekazywane jest prostą wymianą ciepła trzema metodami: przez przewodzenie, konwekcję i promieniowanie. W praktyce występuje złożona wymiana ciepła w wyniku sumarycznego oddziaływania poszczególnych składowych prostej wymiany ciepła.

Sam proces przewodzenia zachodzi w obrębie ciała stałego (materiału budowlanego) wskutek bezpośredniego kontaktu (styku) cząstek o różnej energii wewnętrznej, a więc o różnej temperaturze. Ponieważ proces przewodzenia zachodzi w obrębie ciała stałego, stanowi podstawę obliczeń przewodzenia przez przegrody budowlane w warstwach o tym samym współczynniku przewodności cieplnej λ (wzór (1)).

Współczynnik λ , nazywany współczynnikiem przewodzenia ciepła charakterystyczny dla poszczególnych ciał stałych, podany jest w normie [16]. Określa on ilość energii przepływającej przez materiał o grubości 1 m i powierzchni 1 m² przy różnicy temperatur 1 K, z jednostką W/m·K. Przykładowe wielkości współczynnika λ : 0,04 W/m·K dla styropianu, 0,25 W/m·K dla gazobetonu, 1,27 W/m·K dla żelbetu. Ze wzoru (1) można określić strumień ciepła przepływający przez przegrodę na podstawie różnicy temperatur ϑ_1 i ϑ_2 , grubości przegrody d i współczynnika przewodności λ :

$$q_{cd} = \lambda \cdot \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{d_{12}} = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{R_{cd}} \quad (1)$$

gdzie: q – strumień ciepła, W·m⁻²; λ – współczynnik przewodzenia ciepła (właściwość fizyczna materiału), W/(m²·K); ϑ – temperatura powierzchni (umownie 1 i 2 strona), K; d – grubość przegrody, m; R_{cd} – opór cieplny przy przewodzeniu, m²·K/W

$$R_{cd} = \frac{d_{12}}{\lambda} \quad (2)$$

Należy zwrócić uwagę, że opór cieplny R , będący wynikiem ilorazu d/λ , jest oporem cieplnym, jaki stawiany jest na przepływ energii przez materiał o grubości d i posiadający współczynnik przewodzenia λ , z jednostką m²·K/W. Przykładowe opory cieplne: 2,4 m²·K/W styropianu o grubości 0,1 m, 0,96 m²·K/W gazobetonu 500 o grubości 0,24 m, 0,079 m²·K/W żelbetu o grubości 0,1 m.

Poza ciałem stałym w ośrodkach gazowych i płynnych przekazywanie energii odbywa się w wyniku konwekcji. Zachodzi ona również na styku powierzchni ciała stałego (przegrody budowlanej) z płynem lub gazem (powietrzem) wskutek ruchu płynu pod wpływem sił wyporu termicznego, ewentualnie wspomaganych siłami zewnętrznymi. Ten rodzaj wymiany ciepła występuje na styku między przegrodą budowlaną a środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym otaczającym przegrodę. Strumień ciepła przepływającego w wyniku konwekcji określa różnica temperatur oraz zależność funkcyjna nazywana współczynnikiem przejmowania ciepła w wyniku konwekcji h_{cv} :



$$q_{cv} = h_{cv} |T_{\infty} - \vartheta_A| = \frac{|T_{\infty} - \vartheta_A|}{R_{cv}}, \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \quad (3)$$

przy czym

$$h_{cv} = f(|T_{\infty} - \vartheta_A|, w_{\infty}, Re), \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \quad (4)$$

$$R_{cv} = \frac{1}{h_{cv}}, \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-2} \quad (5)$$

gdzie: h_{cv} – współczynnik przejmowania ciepła w wyniku konwekcji, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$;

R_{cv} – opór cieplny przy konwekcji; T_{∞} – temperatura środowiska, K; w – prędkość ruchu powietrza, m/s.

Promieniowanie jest formą przekazywania energii między ciałami będącymi w pewnej odległości. Zachodzi między oddalonymi od siebie powierzchniami dwóch ciał o zróżnicowanej temperaturze wskutek emisji i absorpcji (pochłaniania) kwantów promieniowania termicznego (elektromagnetycznego).

Tradycyjnie promieniowanie utożsamiane jest z oddziaływaniem słońca zarówno w postaci promieniowania bezpośredniego, jak i odbitego. Tymczasem promieniowanie może odbywać się między ciałami stałymi, wewnętrznymi i zewnętrznymi, zróżnicowanymi termicznie. W zwykłych warunkach jest to mało odczuwalne, ale podczas zbliżenia np. do rozgrzanego do czerwoności pieca lub narzędzia wykonanego ze stali, oddziaływanie emisyjne promieniowania jest wyraźnie odczuwalne. Podobnie odczuwalna jest absorpcja promieniowania w przypadku różnych barw, szczególnie porównując jasne i ciemne barwy ubrania i oddziaływanie na nie promieni słonecznych. Strumień ciepła przepływającego w wyniku promieniowania, podobnie jak w przypadku konwekcji, określany jest zróżnicowaniem temperaturowym oraz zależnością funkcyjną nazywaną współczynnikiem przejmowania ciepła w wyniku promieniowania h_{rd} :

$$q_{rd} = h_{rd} |\vartheta_{A1} - \vartheta_{A2}| = \frac{|\vartheta_{A1} - \vartheta_{A2}|}{R_{rd}}, \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \quad (6)$$

przy czym

$$h_{rd} = f(\varepsilon_{\infty}, \varepsilon_A, \varphi_{A\infty}), \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \quad (7)$$

$$R_{rd} = \frac{1}{h_{rd}}, \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-2} \quad (8)$$

gdzie: h_{rd} – współczynnik przejmowania ciepła w wyniku promieniowania, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$; R_{rd} – opór cieplny przy promieniowaniu; ε – współczynniki: emisji (ε_{∞}), absorpcji (ε_A); φ – kąt oddziaływania promieniowania.

Wzory (1)-(8) wyznaczają przepływ ciepła w obliczeniach poszczególnych form przekazywania energii. Zauważalna jest pełna analogia w obliczeniach strumienia q , wskaźników przekazywania ciepła h i oporów ciepła R . W przypadku konwekcji i promieniowania współczynniki h_{cv} i h_{rd} mają matematycznie wymiary funkcyjne (zależności (4) i (7)), które są wyrazem dość skomplikowanego procesu fizycznego. Dlatego dla ułatwienia obliczeń w fizyce budowli przyjmuje się pewne uproszczenia. I tak wprowadzone zostało pojęcie przejmowania do opisu złożonej wymiany ciepła. Jest ono efektem sumarycznego oddziaływania konwekcji i promieniowania. Strumień ciepła w tym przypadku można wyrazić zależnością:

$$q_h = h_s |T_\infty - \vartheta_A| = \frac{|T_\infty - \vartheta_A|}{R_s}, \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (9)$$

przy czym

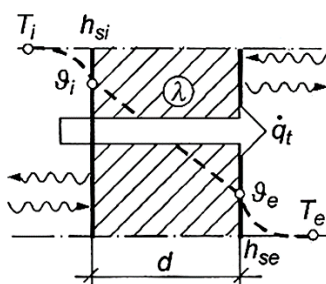
$$h_s = h_{cv} + h_{rd}, \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (10)$$

$$R_s = \frac{1}{h_s}, \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-2} \quad (11)$$

gdzie: h_s – sumaryczny współczynnik przejmowania, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; R_s – opór przejmowania, $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-2}$.

Przejmowanie opisuje stan fizycznego przekazywania ciepła na powierzchniach przegrody. Jest to najczęściej w zwykłych, zimowych warunkach przekazywanie (przejmowanie) ciepła od strony wewnętrznej do przegrody w wyniku konwekcji i promieniowania. Następnie w przegrodzie następuje proces przewodzenia, aby od strony zewnętrznej nastąpiło ponowne oddawanie (przejmowanie) ciepła w wyniku konwekcji i promieniowania do środowiska zewnętrznego (rys. 32).

[Tekst alternatywny. Przenikanie ciepła wyrażone zostało w formie graficznej. W jednorodnej przegrodzie przewodzenie ciepła skutkuje jednostajnym przebiegiem rozkładu temperatury wewnętrznej.]



Rys. 32. Przenikanie ciepła [21]

Cały ten sumaryczny proces przejmowania, przewodzenia i przejmowania określa się jako przenikanie i oznacza współczynnikiem U . W celach rachunkowych przejmowanie

opisywane jest oporami przejmowania R_{si} i R_{se} , określanymi jako odwrotność współczynników przejmowania h_s (wzór (11)) od strony wewnętrznej h_{si} i zewnętrznej h_{se} (tab. 2).

[Tekst alternatywny. W tabeli podano wartości oporów przejmowania ciepła w zależności od kierunku strumienia ciepła dla stropów (do góry), dla ścian (poziomy), dla przegród nad środowiskiem zewnętrznym (w dół).]

Tabela 2. Opory przejmowania ciepła [21]

Opór przejmowania ciepła, m^2K/W	Kierunek strumienia ciepła		
	w górę	poziomy	w dół
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Sumaryczny strumień ciepła przechodzący przez przegrodę jest uzależniony od współczynnika przenikania ciepła U i różnicowania temperaturowego:

$$q_t = U(T_i - T_e) = \frac{T_i - T_e}{R_t}, \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (12)$$

przy czym

$$R_t = \frac{1}{U}, \text{ m}^2\text{K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (13)$$

$$U = \left(\frac{1}{h_{si}} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_{se}} \right)^{-1}, \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (14)$$

$$U = (R_{si} + R_{cd} + R_{se})^{-1}, \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (15)$$

gdzie U oznacza współczynnik przenikania ciepła, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

W praktyce najczęściej występują przegrody dwu- lub trójwarstwowe (z pominięciem tynku wewnętrznego i zewnętrznego jako warstwy) (rys. 33). W tej sytuacji zależność:

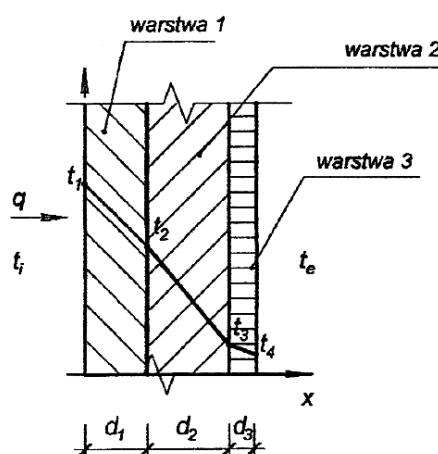
$$U = \frac{1}{R_{si} + \Sigma R_\lambda + R_{se}}, \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (16)$$

przybiera postać wzoru, w którym ΣR_λ staje się sumą oporów wszystkich warstw składowych przegrody:

$$\Sigma R_\lambda = \frac{d_i}{\lambda_i}, \text{ m}^2\text{K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (17)$$

gdzie: ΣR_λ – suma oporów na przewodzenie poszczególnych warstw; d_i – grubość i -tej warstwy, m; λ_i – współczynnik przewodzenia ciepła materiału i -tej warstwy, $W/(m^2 \cdot K)$.

[Tekst alternatywny. Przykład rozkładu temperatur w przegrodzie niejednorodnej (trójwarstwowej). Przebieg temperatur ma jednostajny przebieg tylko w obrębie jednej warstwy (jednorodnej).]



Rys. 33. Przekrój przez przegrodę trójwarstwową: gdzie t_i , t_e (oznaczane również T_i , T_e) – temperatury w otoczeniu przegrody, $t_1 \dots t_4$ (oznaczane również $\vartheta_1 \dots \vartheta_4$) – temperatury na powierzchni poszczególnych warstw, $d_1 \dots d_3$ – grubość poszczególnych warstw [8]

Dobierając współczynniki przejmowania ciepła od strony wewnętrznej R_{si} i zewnętrznej R_{se} (tab. 2) oraz obliczając sumę oporów przewodzenia przez przegrodę ΣR_λ , można określić całkowity opór cieplny R oraz współczynnik przenikania ciepła U dla przegrody wielowarstwowej (wzór (16)). Współczynniki przewodzenia ciepła właściwe dla danego materiału przegrody λ_i dobiera się z tablicy w normie [16]. Współczynnik U definiuje się jako ilość energii przepływającej w ciągu 1 s przez przegrodę o powierzchni 1 m^2 przy różnicy temperatur 1 K , z jednostką $W/m^2 \cdot K$.

W przypadku przegrody szklanej (szyby zespolonej), gdzie w środku znajduje się pustka powietrzna, opór cieplny warstwy powietrznej R_p również określa się z normy w zależności od grubości warstwy (tab. 3). Jednocześnie maksymalny współczynnik U dla całego okna, zgodnie z [20, 21], wynosi $U_o = 0,9 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$ (tab. 6), a dla drzwi $U_d = 1,3 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$.



[Tekst alternatywny. Tabela oporów zamkniętych warstw powietrza dotyczy głównie przegród warstwowych zespolonych, np. szklanych zestawów okiennych. Opory uzależnione są od grubości zamkniętej warstwy oraz lokalizacji określającej kierunek strumienia ciepła.]

Tabela 3. Tabela oporów zamkniętych warstw powietrza (w $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$) [21]

Grubość warstwy powietrza, mm	Opory przy kierunku strumienia ciepła		
	w górę	poziomy	w dół
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Opór cieplny gruntu przylegającego do podłogi R_{gr} należy przyjmować w zależności od strefy podłogi. Jako strefę pierwszą przyjmuje się pas podłogi o szerokości 1 m przyległy do ścian zewnętrznych. Strefę drugą stanowi pozostała powierzchnia podłogi budynku. Przy zagłębieniu górnej powierzchni podłogi więcej niż 1 m poniżej powierzchni terenu całą powierzchnię podłogi traktuje się jako strefę drugą. Wartości oporu cieplnego gruntu R_{gr} należy przyjmować: w strefie pierwszej $R_{gr} = 0,50 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, w strefie drugiej R_{gr} według tabeli 4, lecz nie może on przekraczać wartości $R_{gr \max}$ ze wzoru:

$$R_{gr \max} = 0,57 \cdot Z + 0,09, \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (19)$$

gdzie Z to wysokość górnej powierzchni podłogi od poziomu zwierciadła wody gruntowej, m.

[Tekst alternatywny. Wartość oporu cieplnego gruntu przylegającego do podłogi wg tabeli 4 (ważne w przypadku budynków niepodpiwniczonych) otrzymuje się w zależności od szerokości strefy usytuowanej powyżej 1 m od ściany zewnętrznej.]

Tabela 4. Wartości oporu cieplnego R_{gr} gruntu przylegającego do podłogi [21]

Szerokość strefy drugiej, m	≤4	6	8	10	15	20	25	50	75	≥10 0
R_{gr} , m ² ·K/W	0,6	0,9	1,0	1,1	1,5	1,7	2,0	3,6	5,2	5,7

Opór cieplny gruntu przylegającego do ścian R_{gr} należy przyjmować według tabeli 5, w zależności od wysokości H mierzonej od górnej powierzchni podłogi do powierzchni terenu.

[Tekst alternatywny. Wartość oporu cieplnego gruntu przylegającego do ścian (ważne w przypadku pomieszczeń zagłębionych) otrzymuje się w zależności od głębokości zagłębienia podłogi w stosunku do poziomu terenu.]

Tabela 5. Wartości oporu cieplnego R_{gr} gruntu przylegającego do ścian [21]

Wysokość H , m	≤0,5 0	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	≥10 ,0
R_{gr} , m ² ·K/W	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,9

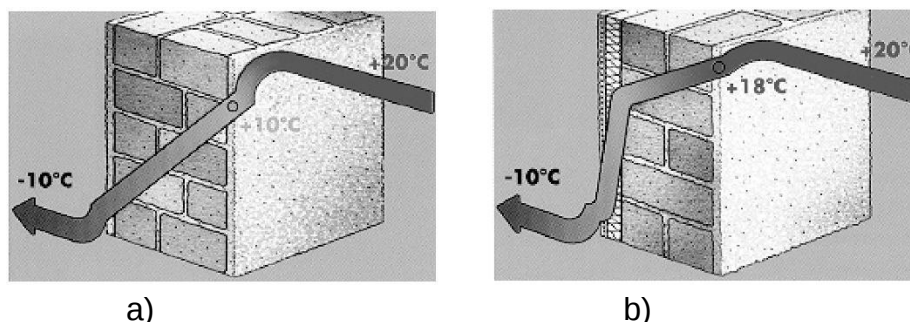
Współczynnik U_{gr} podłóg i ścian przylegających do gruntu należy obliczać ze wzoru:

$$U_{gr} = \frac{1}{R_T + R_{gr}}, \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \quad (19)$$

gdzie R_T oznacza całkowity opór cieplny przegrody (wzór (13)) bez zewnętrznego oporu przejmowania ciepła R_{se} , m²·K/W.

Zróznicowanie współczynnika U dla ściany pozbawionej ocieplenia i ściany ocieplonej pokazano na rysunku 34. Rozkład temperatur wskazuje, że w przypadku ściany pozbawionej ocieplenia, przy przeciętnym poziomie wilgoci wewnątrz pomieszczenia, nastąpi kondensacja pary wodnej już na powierzchni wewnętrznej przegrody. Wskazuje to temperatura powierzchni (10°C), która dla przeciętnego poziomu wilgoci jest temperaturą punktu rosy. Rysunek 34 jest schematem, na którym nie pokazano ani grubości, ani rodzaju zastosowanego materiału.

[Tekst alternatywny. Wpływ zróznicowania w ociepleniu przegrody na rozkład temperatury, szczególnie przy powierzchni wewnętrznej przegrody, może skutkować spadkami temperatury poniżej punktu rosy, a w konsekwencji trwałym zawilgoceniem przegrody.]



a) b)
Rys. 34. Efekt zróżnicowania współczynnika U dla ściany:
a) bez ocieplenia, b) z ociepleniem [14]

Współczynnik przenikania ciepła U jest narzędziem obliczeniowym w ocenie izolacyjności przegród przy wyliczeniach z zakresu projektowania instalacji grzewczych i potrzeb energetycznych, charakterystyki i audytu energetycznego. Należy mieć również na uwadze maksymalne współczynniki U . W tabeli 6 podano minimalne, średnie i maksymalne grubości izolacji cieplnej dla niektórych przegród budowlanych oraz maksymalne współczynniki U dla okien.

[Tekst alternatywny. Orientacyjne przedziały grubości izolacji cieplnej w zależności od typu przegrody i wymogów WT są przydatne w celach informacyjnych lub podczas przyjmowania założeń projektowych.]

Tabela 6. Grubość izolacji cieplnej dla różnych przegród budowlanych oraz maksymalna wartość współczynnika U dla okien [9]

Przegroda	Grubość izolacji cieplnej	
	zgodnie z WT 2017	zgodnie z WT 2019
Ściany nadziemne zewnętrzne	15-18 cm w przypadku budynku jednorodzinnego – 20 cm	18-20 cm w przypadku budynku jednorodzinnego – 25 cm
Ściany piwnic i posadzki na gruncie	10-12 cm	12-15 cm
Dachy	25-30 cm	28-32 cm w przypadku budynku jednorodzinnego – 35 cm
Okna	wsp. $U = 1,1$	wsp. $U = 0,9$



W związku z mostkami termicznymi współczynniki U , dla uproszczenia, można przyjąć z korektą na podstawie zależności (20), uwzględniającą nieciągłości izolacji (np. wzmocnienia żelbetowe), mostki liniowe (np. w związku z mocowaniem płyt balkonowych lub stolarki) i punktowe (np. przy mocowaniach okładzin elewacyjnych):

$$U = U_0 + \Delta U \quad (20)$$

gdzie: $U_0 = 1/R_t$, zgodnie ze wzorem (13); ΔU – człon korygujący współczynnik U .

Z uwagi na nieciągłości izolacji termicznej, mostki punktowe i liniowe dla przegrody pełnej ΔU wynosi:

$\Delta U = 0,00$ – bez mostków i zamontowanej stolarki,

$\Delta U = 0,05$ – z mostkami punktowymi,

$\Delta U = 0,05$ – ze względu na połączenie przegrody z oknami i drzwiami,

$\Delta U = 0,015$ – przegroda z otworami i płytami balkonowymi.

9. Dyfuzja i przepływ pary wodnej w przegrodzie

Zagadnienie transportu pary wodnej (dyfuzji) ściśle związane jest ze współczynnikiem dyfuzji pary wodnej danego materiału, zwykle oznaczanego literą δ (delta). Oznacza on ilość pary wodnej, która przenika przez materiał o grubości 1 m i powierzchni 1 m² w ciągu 1 h przy różnicy ciśnień 1 Pa, z jednostką g/m·h·Pa. Przykłady ilościowe współczynnika δ : 480·10⁻⁶ g/m·h·Pa – wełna mineralna miękka, 12·10⁻⁶ g/m·h·Pa – styropian zwykły, 3·10⁻⁶ g/m·h·Pa – tynk żywiczny. Należy odróżnić wełnę mineralną od wełny skalnej, która ma współczynnik δ zbliżony do styropianu. Opór dyfuzyjny jaki prezentuje materiał, oznaczony literą R_v , strukturalnie analogiczny jest do oporu cieplnego materiału i obliczany jest zgodnie ze wzorem:

$$R_v = \frac{d}{\delta_v}, \quad \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{g} \quad (21)$$

gdzie: R_v – opór dyfuzyjny materiału, m²·h·Pa/g; d – grubość materiału, m; δ_v – współczynnik dyfuzji pary wodnej, g/m·h·Pa.

Opór dyfuzyjny definiuje się jako opór stawiany przenikaniu pary wodnej przez materiał przegrody o grubości d w m i powierzchni 1 m², z jednostką m²·h·Pa/g.

Przykłady ilościowe oporu R : 208 m²·h·Pa/g – wełna mineralna miękka o grubości 0,1 m, 8333 m²·h·Pa/g – styropian zwykły o grubości 0,1 m, 667 m²·h·Pa/g – tynk żywiczny o grubości 0,002 m.

Należy zwrócić uwagę, że może pojawić się opór równy 0, który przyjmuje się w przypadku warstwy powietrza. Wynika z tego, że zamknięta warstwa powietrza np. w przestrzeni między szybami zespolonymi posiada opór dyfuzyjny równy 0 (w rzeczywistości jest liczbowo bardzo mały).



Opór dyfuzyjny przegrody składającej się z kilku warstw jest sumą poszczególnych oporów warstw przegrody:

$$R_v = \sum R_{vj}, \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa/g} \quad (22)$$

gdzie: R_{vj} – opór dyfuzyjny j -tej warstwy przegrody obliczony zgodnie ze wzorem (12.1); $R_v = 0$ – opór zamkniętej warstwy powietrza w przegrodzie.

Nieodłącznym zjawiskiem obecności pary wodnej może być fizyczny proces roszczenia lub inaczej wykraplania. Zachodzi on w warunkach, w jakich znajdzie się para wodna, o odpowiednim ciśnieniu i temperaturze. Para przemieszczając się przez przegrodę, posiada ciśnienie zależne od ilości cząsteczek pary wodnej w jednostce objętości. Jeżeli temperatura, przy której przemieszcza się para wodna pod określonym ciśnieniem, jest powyżej tzw. temperatury punktu rosy, fizycznie stan pary wodnej nie ulegnie zmianie. Temperatura punktu rosy to charakterystyczna temperatura gazu – pary wodnej, mającej ciśnienie graniczne. Jeżeli w tym stanie (przy określonym ciśnieniu) temperatura obniży się, część pary wodnej (po przekroczeniu punktu rosy) wykropi się, aby odzyskać stan równowagi. Jeżeli kolejny raz nastąpi spadek temperatury, kolejna ilość pary wodnej wykropi się. Jeżeli temperatura wzrośnie nastąpi proces odwrotny.

Jak się okazuje, w odniesieniu do przegrody, w której zróżnicowana jest struktura materiałowa, zmienne warunki temperaturowe i ciśnieniowe zależą od dynamiki zmian warunków środowiskowych na zewnątrz przegrody. To powoduje, że proces roszczenia jest trudny do precyzyjnego obliczenia i jednoznacznego zlokalizowania miejsca wykroplenia się pary wodnej, szczególnie przy dużej zmienności temperatury zewnętrznej. Również trudne jest określenie czasu, w którym zachodzi wykroplenie, oraz ewentualnie czasu procesu odwrotnego, czyli ponownej zmiany stanu skupienia albo inaczej wysuszenia miejsca wcześniejszego wykroplenia. Z pewnym przybliżeniem można oszacować punkt rosy, posługując się zależnością:

$$p_{vu \ u+1} = p_{vi} - \frac{p_{vi} - p_{ve}}{R_v} \sum_{j=1}^u (R_{vj}), \text{ hPa} \quad (23)$$

gdzie: $p_{vu \ u+1}$ – ciśnienie cząsteczkowe pary wodnej między warstwami u i $u+1$; p_{vi} – ciśnienie pary wodnej na wewnętrznej powierzchni przegrody; p_{ve} – ciśnienie pary wodnej na zewnętrznej powierzchni przegrody; R_{vj} – opór dyfuzyjny warstw od j do u .

Przyjmując warunki na zewnątrz przegrody jako stacjonarne (niezmienne), z pewnym przybliżeniem strefę kondensacji można wyznaczyć w sposób analityczny (wykorzystując oprogramowanie cyfrowe) lub graficzny (rys. 35). Punkt rosy występuje w miejscu, w którym dyfundująca (przepływająca) para wodna przez warstwy materiału o oporności R_{vj} (dla całej przegrody opór wynosi R_v) osiąga

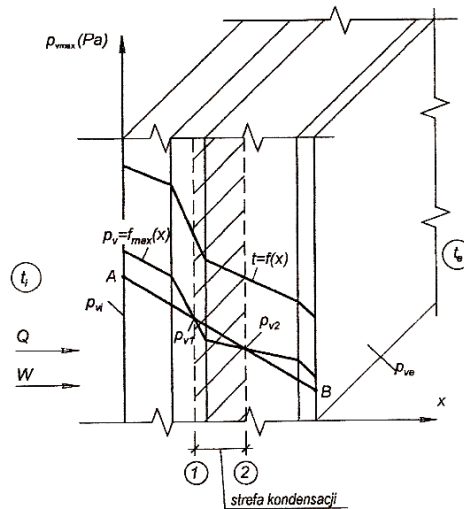


ciśnienie cząsteczkowe p_v (określone wzorem (23)) równe lub większe od ciśnienia pary nasyconej p_{vs} w danej temperaturze. Wartości p_{vs} dla różnych temperatur zawiera norma [16]. Krzywa $p_v = f_{\max}(x)$ wyznaczana jest z wykorzystaniem wzoru (23) i wartości z normy [16]. Na podstawie temperatury, w każdym punkcie określa się maksymalne parcie cząstkowe przy wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniu i buduje linię maksymalnych parć cząstkowych $p_{v \max}$. Podobnie $t = f(x)$, do naniesienia której wykorzystuje się równania bilansu cieplnego dla powierzchni na granicach warstw konstrukcyjnych o temperaturze t_n i wartości λ_i z normy [16]:

$$U'_i(t_i - t_n) = U'_e(t_n - t_e) \quad (24)$$

Odcinek A-B powstaje z połączenia punktu A, który charakteryzuje parcie cząsteczkowe pary wodnej w powietrzu wewnętrznym p_{vi} , oraz punktu B, który charakteryzuje analogicznie parcie w powietrzu zewnętrznym p_{ve} . Przecięcie linii AB z linią maksymalnego parcia cząstkowego może świadczyć o pojawieniu się w przegrodzie strefy kondensacji pary wodnej (zakreskowana strefa na rysunku 35) [8]. Procesowi wykraplania sprzyja warstwowość przegrody. W praktyce jest mało prawdopodobne roszenie w przegrodach jednorodnych. Natomiast w przegrodach warstwowych należy spodziewać się roszenia na granicach poszczególnych warstw materiałowych. W takich przypadkach, mimo obciążonej dużym błędem zależności (23), korzysta się z niej w celu oszacowania ilościowego w punkcie rosy, aby sprawdzić możliwość wykraplania oraz wysuszenia i ewentualnie podjąć środki zabezpieczające poprzez zastosowanie odpowiednich materiałów (bardziej przepuszczalnych) lub technologii (np. przegród wentylowanych). Należy pamiętać, że eksploatacja budynków z wilgotnymi przegrodami jest niedopuszczalna z powodów higienicznych. W przegrodach wilgotnych powstają warunki m.in. do rozwoju grzybów pleśni, a wilgotne przegrody mają znacznie większy współczynnik przewodności cieplnej w porównaniu z suchymi.

[Tekst alternatywny. Wyznaczenie strefy kondensacji sposobem analityczno – graficznym należy traktować jako orientacyjne oszacowanie możliwości wystąpienia kondensacji. Związane jest to z przyjęciem warunków stacjonarnych temperaturowych i wilgotnościowych, co w praktyce jest założeniem umownym. Każda zmiana temperatury ma wpływ na wartości przyjmowanych ciśnień pary wodnej, a przede wszystkim ilość, a przez to ciśnienie pary wodnej ulega wahaniom i jest zmienne w krótkim przedziale czasu.]



Rys. 35. Wyznaczenie strefy kondensacji sposobem analityczno-graficznym: t_i – temperatura powietrza wewnętrznego, t_e – temperatura powietrza zewnętrznego, Q – strumień ciepły, W – strumień wilgoci [8]

Ilość pary wodnej, która skropli się w przegrodzie, można określić z dużym przybliżeniem ze wzoru:

$$W_K = \frac{p_{v1} - p_{v2}}{\sum R_{v1}} - \frac{p_{v2} - p_{ve}}{\sum R_{v2}}, \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \quad (25)$$

gdzie W_K to ilość pary wodnej skroplonej na łączeniu warstwy v_1 i v_2 .

W praktyce budowlanej w ograniczonym stopniu stosuje się przegrody wielowarstwowe. Przyjęło się stosowanie głównie przegród dwuwarstwowych ściennych i przegród dachowych wentylowanych, według schematu: od wewnątrz warstwa konstrukcyjna, od zewnątrz warstwa ociepleniowa. W takich wypadkach wykroplenie może wystąpić w części zewnętrznej warstwy: pod tynkiem zewnętrznym lub na ociepleniu w warstwie wentylowanej. Sytuacja taka nie stanowi zagrożenia dla trwałości przegrody, ponieważ wykroplenie szybko usuwane jest w procesie parowania lub przepływu powietrza.

W budynkach zabytkowych, w których nie można stosować ocieplenia zewnętrznego, dopuszcza się ocieplenie od wewnątrz. Jednakże każde takie zastosowanie musi poprzedzić dogłębna analiza procesów fizykalnych uwzględniających strukturę przegrody, materiału ocieplającego oraz warunków wewnętrznych mikroklimatycznych, w tym wentylacyjnych.



Literatura

- [1] Hoła J., Pietraszek P., Schabowicz K. (2006). *Obliczanie konstrukcji budynków wznoszonych tradycyjnie*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław.
- [2] Laskowski L. (2005). *Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [3] Markiewicz P. (2002). *Detale projektowe nowoczesnych technologii budowlanych*, Wydawnictwo Archi-Plus, Kraków.
- [4] Markiewicz P. (2002). *Projekt jednego domu w pięciu technologiach*, Wydawnictwo Archi-Plus, Kraków.
- [5] Markiewicz P. (2002). *Prezentacja nowoczesnych technologii budowlanych, Vademecum projektanta*, Wydawnictwo Archi-Plus, Kraków.
- [6] Murator, Numer Specjalny (2019). Wydawca Time SA, Warszawa.
- [7] Murator, Numer specjalny (2023). Wydawca Time SA, Warszawa.
- [8] Piotrowski J.Z. (2013). *Przepływ powietrza przez przegrody i pomieszczenia budynku*, M51, Politechnika Świętokrzyska, Kielce.
- [9] Piotrowski J.Z. (2024). *Materiały pomocnicze do zajęć z przedmiotów budownictwo ogólne i fizyka budowli*, Nr 182, Politechnika Świętokrzyska, Kielce.
- [10] Praca zbiorowa (1992). *Poradnik majstra budowlanego*, Arkady, Warszawa.
- [11] Praca zbiorowa (1994). *Vademecum budowlane*, Arkady, Warszawa.
- [12] Praca zbiorowa (1996). *Poradnik inżyniera i technika budowlanego*, t. 1-6, Arkady, Warszawa.
- [13] Praca zbiorowa (2005-2011). *Budownictwo ogólne*, t. 1-5, Arkady, Warszawa.
- [14] Pyrak S., Włodarczyk W. (2000). *Posadowienie budowli, konstrukcje murowe i drewniane*, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- [15] Tauszyński K. (1994). *Budownictwo z technologią*, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- [16] PN-EN ISO 6946. (1999). *Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- [17] *Prawo budowlane*. (2020). (Dz.U. 2020 poz. 1333).
- [18] *Rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej, specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych oraz programu funkcjonalno- użytkowego*. (2013). (Dz.U. 2013 poz. 1129).
- [19] *Rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego*. (2018). (Dz.U. 2018 poz. 1335).
- [20] *Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*. (2019). (Dz.U. 2019 poz. 1065).
- [21] *Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*. (2022). (Dz.U. 2022 poz. 1225).



Na etapie opracowywania niniejszych materiałów dydaktycznych wykorzystana zostało wiedza i doświadczenie nabyte w ramach wizyt studyjnych w Faculty of Manufacturing Technologies of the Technical University of Košice with the seat in Prešov oraz w Vilnius Gediminas Technical University, zrealizowanych w ramach projektu „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki” FERS.01.05-IP.08-0234/23. W szczególności dotyczy to zagadnień odnoszących się do najnowszych technologii, trendów badawczych oraz rozwiązań praktycznych stosowanych w obszarze budownictwa i fizyki budowli ważnych dla studentów kierunków inżynieria środowiska oraz odnawialne źródła energii, pozwalających na lepsze zrozumienie zagadnień z jakimi spotykają się w pracy zawodowej jako inżynierowie, a także na świadome stosowanie innowacyjnych i prośrodowiskowych rozwiązań na każdym etapie procesu inwestycyjnego, zgodnych z ideą zrównoważonego rozwoju i zielonej transformacji.

Jerzy Zbigniew Piotrowski