

Marta POMADA
Politechnika Częstochowska

IZOLACYJNOŚĆ CIEPLNA PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH W DREWNIANYCH BUDYNKACH SZKIELETOWYCH

W artykule scharakteryzowana została technologia drewnianego budownictwa szkieletowego, a w szczególności konstrukcja przegród zewnętrznych i ich właściwości izolacyjne. Obliczono współczynniki przenikania ciepła dla przyjętych wariantów ścian zewnętrznych, a uzyskane wyniki porównano z odpowiednimi wymaganiami normowymi.

Słowa kluczowe: budownictwo drewniane, konstrukcja szkieletowa, przegroda zewnętrzna

WPROWADZENIE

Drewniane budownictwo szkieletowe staje się w Polsce coraz popularniejsze. Jest to technologia pozwalająca zastosować rozwiązania bardziej ekologiczne i ekonomiczne. Także spełnienie wymogów oszczędności energii (wskaźnik EP) i izolacyjności cieplnej przegród (wskaźnik $U_{C(max)}$) nie wymaga dużych nakładów finansowych i dodatkowych prac technologicznych [1].

Zaletą domów szkieletowych jest na pewno krótki czas budowy (ok. 3-4 miesiące), ponieważ oprócz fundamentu nie są wykonywane inne prace „mokre”, po których wymagana jest przerwa technologiczna. Drewniany szkielet konstrukcji można montować o każdej porze roku, a modernizacja i przebudowa domu drewnianego nie należy do zbyt trudnych. Grubości ścian zewnętrznych są mniejsze niż w domach murowanych, co oznacza, że przy takich samych wymiarach zewnętrznych uzyskuje się większą powierzchnię użytkową (ok. 10%). Charakterystyczna jest także bardzo dobra ochrona cieplna domu, trudna do uzyskania podobnym kosztem w innych technologiach. Ściany i dach w całej swojej grubości stanowią izolację cieplną, dzięki czemu osiąga się wysoką energooszczędność. Domy szkieletowe zużywają do 70% mniej energii cieplnej, co daje niższe koszty eksploatacji. Poprzez zastosowanie odpowiednich materiałów są to budynki bezpieczne i ognioodporne, a poprawnie zbudowany i użytkowany dom może przetrwać ok. 100 lat. Do wad technologii szkieletowej należy zaliczyć małą bezwładność cieplną budynku. Oznacza to, że budynek szybko się nagrzewa, ale po wyłączeniu ogrzewania również szybko się ochładza. Trudność może także sprawiać wymagana wyjąt-

kowo wysoka dokładność techniczna i bardzo dobra znajomość zasad wznoszenia konstrukcji [2].

1. KONSTRUKCJA DOMÓW SZKIELETOWYCH

Technologia szkieletu drewnianego polega na wznoszeniu budynków opartych na drewnianej konstrukcji nośnej z suchego drewna iglastego. Na konstrukcję składają się:

- szkielet budynku: ściany, stropy, dach, podwaliny, nadproża,
- elementy poszycia ścian i dachu,
- metalowe łączniki: gwoździe, zszywki, śruby, kotwy [3].

Głównym materiałem budowlanym jest drewno i od jego jakości zależy trwałość domu. Należy stosować drewno iglaste klasy C24, suszone komorowo, o wilgotności nie większej niż 18÷19%. Dodatkowo, suszenie pozbawia drewno wszelkich żywicznych substancji mogących stać się pożywieniem dla owadów. Ważne jest także, by belki były czterostronnie strugane. Ułatwia to pracę na budowie, pozwala zachować dokładność, a przede wszystkim zwiększa ognioodporność budynku. Na główne elementy konstrukcyjne ścian (podwaliny, oczepy, słupy), stropów i dachu wykorzystuje się drewno sosnowe, natomiast mniejsze elementy można wykonać z drewna świerkowego.

Konstrukcję nośną domu szkieletowego stawia się na ścianach fundamentowych lub płycie żelbetowej. Wysokość posadowienia, w celu zabezpieczenia przed zniszczeniem wskutek podciągania wilgoci, musi wynosić co najmniej 15 cm od poziomu terenu. Elementy drewniane (podwaliny) mające bezpośredni kontakt z fundamentem należy zaimpregnować chemicznie, a także w miejscach styku położyć poziomą izolację przeciwwilgociową. Szerokość podwaliny powinna być taka sama jak słupów [4].

Wymiary belek konstrukcyjnych są stałe i wynoszą:

- dla ścian działowych: 38 x 63 i 38 x 89 mm, dla ścian zewnętrznych: 38 x 140 mm,
- dla belek stropowych: 38 x 185, 38 x 235, 38 x 285 mm.

Rozstaw słupów ścian, belek stropowych i krokwi dachowych jest osiowy, oparty na modułach i najczęściej wynosi 60 cm. Wydziela się otwory okienne i drzwiowe, a strefy podokienne dodatkowo wzmacnia. Powstały szkielet objęta jest obustronnie płytami z poszyciem, a przestrzeń pomiędzy nimi wypełnia materiałem izolacyjnym.

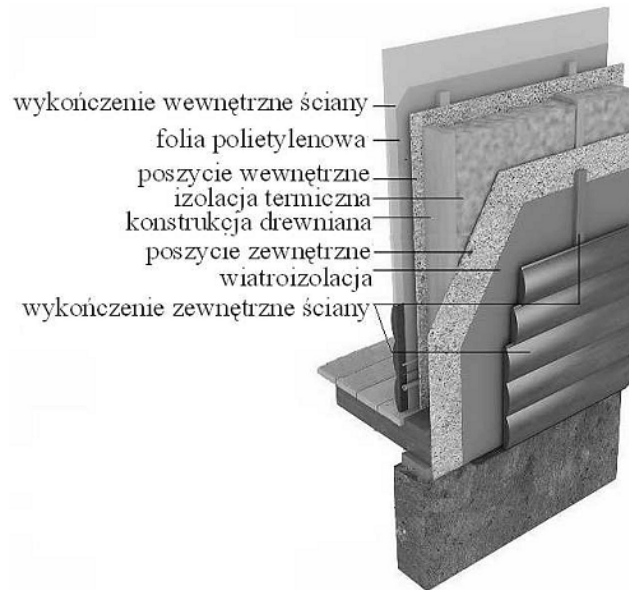
Deski stanowiące żebra stropu rozstawia się na oczepach stojących ścian. Najbardziej powszechna konstrukcja stropu to konstrukcja platformowa, w której każdy strop jest platformą służącą do zbijania, a następnie montażu ram ściennych następnej kondygnacji. Więźba dachowa może być wykonywana na placu budowy lub zaprojektowana jako gotowy więźbar.

Większość instalacji doprowadza się do budynku przez fundamenty, a następnie instaluje się w ścianach wewnętrznych domu. Nie zaleca się prowadzić rur wodnych

i kanalizacyjnych w ścianach zewnętrznych, ponieważ wówczas zmniejsza się grubość izolacji cieplnej, a w trakcie zimy mogłaby w nich zamarzać woda [5].

1.1. Konstrukcja ściany zewnętrznej

Odpowiednia kolejność warstw ściany zewnętrznej zapewni oddychanie przegrody i prawidłowy przepływ ciepła. Standardowy układ warstw został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat układu warstw w ścianie zewnętrznej drewnianych budynków szkieletowych [2]

Wykończeniem wewnętrznym ścian w domach szkieletowych są najczęściej płyty kartonowo-gipsowe. Grubość płyty dobiera się w zależności od rozstawu słupków. Może ona wynosić: 12,5 mm przy rozstawie do 60 cm, 15 mm powyżej 60 cm. Kolejną warstwą jest folia polietylenowa (paroizolacja). Jej zadaniem jest ograniczenie przepływu pary wodnej z pomieszczeń do wnętrza ściany, przez co paroizolację określa się również bardziej trafnym mianem „opóźniacza pary wodnej”. Zaleca się, aby miała ona grubość około 0,15 mm i maksymalną przepuszczalność w granicach $2\div 4$ (g/m^2)/24 h. Jest montowana do słupków szkieletu po wewnętrznej stronie zewnętrznej ściany budynku, już po założeniu izolacji cieplnej, lecz przed montażem płyt kartonowo-gipsowych. Paroizolacji nie należy stosować w ścianach wewnętrznych budynków.

W budownictwie szkieletowym główną warstwę izolacyjną układa się pomiędzy słupkami ramy nośnej ścian. Jest to zwykle wełna szklana bądź mineralna i włókna celulozowe. Grubość materiału izolacyjnego zależy od szerokości słupów ściany i najczęściej jest im równa. Po obu stronach warstwy izolacji cieplnej umieszcza się

plyty poszycia ścian. Są to najczęściej drewnopochodne płyty OSB/3, płyty wiórowe V-100 lub sklejki wodoodporne. Wszystkie charakteryzuje wysoka odporność na wilgoć i trwałość. Poszycie w konstrukcji ściany stanowi także izolację akustyczną, usztywnia przegrodę i jest podkładem pod materiały elewacyjne. Na poszycie nie powinno się stosować deskowania z uwagi na dużą przepuszczalność powietrza przez szpary.

Wiatroizolacja chroni ścianę i cały budynek przed wodą i napływem wilgoci z zewnątrz. Cechą charakterystyczną dla tej warstwy jest paroprzepuszczalność, czyli zdolność zabezpieczenia ściany zewnętrznej przed możliwością infiltracji powietrza do wnętrza przegrody przy jednoczesnej bardzo dobrej przepuszczalności pary wodnej w drugą stronę, tj. od strony poszycia ściany na zewnątrz budynku. Najczęściej stosuje się folie polipropylenowe lub włókniny o paroprzepuszczalności nie mniejszej niż $120 \div 160 \text{ (g/m}^2\text{)/24 h}$, dopuszczone do stosowania w budownictwie jako folie ściennie.

Technologia drewnianego budownictwa szkieletowego pozwala wykończyć elewację budynku w sposób zupełnie dowolny. Możliwości jest wiele: okładziny drewniane lub winylowe (siding), tynk na styropianie ryflowanym, tynk na styropianie na ruszcie, obmurowanie cegłą klinkierową. Przy wyborze należy pamiętać o ich właściwościach cieplnych i wilgotnościowych, co może zarówno poprawić jakość przegrody, jak i ją pogorszyć w przypadku nieprawidłowego wykonania (np. gdy nie będzie szczeliny wentylacyjnej w przypadku wykończenia cegłą klinkierową) [2, 6].

2. WSPÓŁCZYNNIK PRZENIKANIA CIEPŁA DLA PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH

Od dnia 1 stycznia 2014 r. obowiązują nowe wartości współczynników przenikania ciepła $U_{C(\max)}$ dla przegród zewnętrznych, określone w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. W tabeli 1 przedstawiono maksymalne wartości współczynnika przenikania ciepła $U_{C(\max)}$ dla ścian zewnętrznych.

Tabela 1. Wartości współczynnika przenikania ciepła $U_{C(\max)}$ [8]

Ściana zewnętrzna	Współczynnik przenikania ciepła $U_{C(\max)}$ [W/(m ² K)]		
	od 1 stycznia 2014 r.	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021 r.
a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$	0,25	0,23	0,20
b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$	0,45	0,45	0,45
c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,90	0,90	0,90

Poprawiony współczynnik przenikania ciepła U_C musi spełniać warunek:

$$U_C < U_{C(\max)} \quad (1)$$

gdzie:

$$U_C = U + \Delta U \quad (2)$$

Współczynnik przenikania ciepła przegrody U [$W/(m^2 K)$] oblicza się ze wzorów:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

$$R_T = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \frac{d_4}{\lambda_4} + \frac{d_5}{\lambda_5} + \frac{d_6}{\lambda_6} + \frac{d_7}{\lambda_7} + R_{se} \quad (4)$$

gdzie:

d - grubość warstwy [m],

λ - współczynnik przewodzenia ciepła warstwy [$W/(m K)$],

R_T - całkowity opór cieplny [$(m^2 K)/W$].

Człon korekcyjny ΔU [$W/(m^2 K)$] określa równanie:

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f \quad (5)$$

gdzie:

ΔU_g - poprawka z uwagi na pustki powietrzne,

ΔU_f - poprawka z uwagi na łączniki mechaniczne.

Poprawkę z uwagi na pustki powietrzne ΔU_g oblicza się zgodnie z równaniem:

$$\Delta U_g = \Delta U'' \left(\frac{R_1}{R_T} \right) \quad (6)$$

gdzie:

R_1 - opór cieplny warstwy zawierającej szczeliny [$(m^2 K)/W$],

R_T - całkowity opór cieplny [$(m^2 K)/W$],

$\Delta U''$ - współczynnik z tablicy D.1 normy [8] [$W/(m^2 K)$].

Poprawkę z uwagi na łączniki mechaniczne ΔU_f oblicza się zgodnie z równaniem:

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \left(\frac{R_1}{R_T} \right) \quad (7)$$

gdzie:

α - wynosi 0,8, jeżeli łącznik całkowicie przebija warstwę izolacji,

α - wynosi 0,8(d_1/d_0) w przypadku łącznika wpuszczonego,

λ_f - współczynnik przewodzenia ciepła łącznika [$W/(m K)$],

n_f - liczba łączników na metr kwadratowy,

A_f - pole przekroju poprzecznego łącznika [m^2],

d_0 - grubość warstwy izolacji zawierającej łącznik [m],
 d_1 - grubość łącznika, który przebija warstwę izolacyjną [m],
 R_1 - opór cieplny warstwy izolacji przebijanej przez łącznik [(m² K)/W],
 R_T - całkowity opór cieplny [(m² K)/W].

Do obliczeń przyjęto 3 warianty przegrody zewnętrznej (tab. 1-3):

- S_1 - dwie warstwy izolacji termicznej, materiały tradycyjne o standardowych wartościach współczynnika λ , założono minimalne grubości warstw,
- S_2 - dwie warstwy izolacji termicznej, materiały o lepszej jakości i wyższych wartościach współczynnika λ niż w S_1 , grubości warstw takie jak w S_1 ,
- S_3 - dwie warstwy izolacji termicznej, materiały o lepszej jakości i wyższych wartościach współczynnika λ niż w S_1 , grubości warstw większe od przyjętych w S_1 i S_2 , przegroda w standardzie domu pasywnego.

W powyższych przegrodach nie ma stalowych łączników, dlatego poprawka z uwagi na pustki powietrzne ΔU_f równa się 0. Konstrukcja ściany zakłada brak pustek powietrznych w obrębie izolacji, więc na podstawie tabeli D1 normy [8] wartość $\Delta U'' = 0$, co w konsekwencji daje poprawkę z uwagi na łączniki mechaniczne $\Delta U_g = 0$. Ostatecznie poprawiony współczynnik przenikania ciepła U_C wynosi:

$$U_C = U \quad (8)$$

Ad. a) Ściana szkieletowa S_1 wykończona tynkiem na styropianie; wełna mineralna jako izolacja termiczna

Tabela 2. Obliczenie wartości współczynnika przenikania ciepła U_{C1} dla ściany S_1

Nr warstwy	Materiał	d [m]	λ [W/(m K)]	R [(m ² K)/W]
i	Powierzchnia wewnętrzna	–	–	0,13
1	Płyta kartonowo-gipsowa	0,0125	0,25	0,05
2	Folia paroizolacyjna	–	–	–
3	Wełna mineralna między słupkami	0,14	0,045	3,11
4	Poszycie z płyt OSB	0,0125	0,32	0,04
5	Wiatroizolacja	–	–	–
6	Styropian	0,08	0,042	1,90
7	Tynk zewnętrzny	0,015	0,82	0,02
e	Powierzchnia zewnętrzna	–	–	0,04
Całkowity opór cieplny R_T [(m ² K)/W]			SUMA	5,29
Współczynnik przenikania ciepła U_{C1} [W/(m ² K)]			1/ R_T	0,189

Ad. b) Ściana szkieletowa S_2 wykończona tynkiem na wełnie; wełna szklana jako izolacja termiczna

Tabela 3. Obliczenie wartości współczynnika przenikania ciepła U_{C2} dla ściany S_2

Nr warstwy	Materiał	d [m]	λ [W/(m K)]	R [(m ² K)/W]
i	Powierzchnia wewnętrzna	–	–	0,13
1	Płyta kartonowo-gipsowa	0,0125	0,25	0,05
2	Folia paroizolacyjna	–	–	–
3	Wełna szklana między słupkami	0,14	0,033	4,24
4	Poszycie z płyt OSB	0,0125	0,32	0,04
5	Wiatroizolacja	–	–	–
6	Wełna skalna	0,08	0,042	1,90
7	Tynk zewnętrzny	0,015	0,82	0,02
e	Powierzchnia zewnętrzna	–	–	0,04
Całkowity opór cieplny R_T			SUMA	6,42
Współczynnik przenikania ciepła U_{C2} [W/(m ² K)]			$1/R_T$	0,156

Ad. c) Ściana szkieletowa S_3 w standardzie domu pasywnego

Tabela 4. Obliczenie wartości współczynnika przenikania ciepła U_{C3} dla ściany S_3

Nr warstwy	Materiał	d [m]	λ [W/(m K)]	R [(m ² K)/W]
i	Powierzchnia wewnętrzna	–	–	0,13
1	Płyta kartonowo-gipsowa	0,0125	0,25	0,05
2	Folia paroizolacyjna	–	–	–
3	Wełna mineralna między słupkami	0,20	0,045	4,44
4	Poszycie z płyt OSB	0,015	0,32	0,05
5	Wiatroizolacja	–	–	–
6	Wełna skalna	0,12	0,042	2,86
7	Tynk zewnętrzny	0,015	0,82	0,02
e	Powierzchnia zewnętrzna	–	–	0,04
Całkowity opór cieplny R_T			SUMA	7,59
Współczynnik przenikania ciepła U_{C3} [W/(m ² K)]			$1/R_T$	0,132

WNIOSKI

Na podstawie powyższych informacji od razu można wywnioskować, że przegrody zewnętrzne w konstrukcji szkieletowej drewnianej osiągają niskie współczynniki przenikania ciepła U_C . Nawet przy zastosowaniu minimalnych grubości

poszczególnych warstw i materiałów o standardowych właściwościach cieplnych (przypadek S_1) wyniósł on $0,189 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. W wariantach 1-3 wymagania co do maksymalnych wartości współczynnika U_C zostały spełnione, nawet te obowiązujące dopiero od 1 stycznia 2021 roku. Dodatkowo wariant S_3 spełnia wymagania przyjęte w budownictwie pasywnym. Daje to nam możliwość stosowania technologii szkieletowej (przy spełnieniu pozostałych wymagań). Jednocześnie trzeba mieć na uwadze, że tylko dokładnie i prawidłowo wykonane przegrody pozwolą osiągnąć tak dobre warunki izolacyjności cieplnej w każdym z przypadków. Budownictwo szkieletowe w Polsce nie jest jeszcze tak dobrze rozwinięte i popularne jak w USA, Kanadzie czy w krajach skandynawskich. Wiedza na ten temat wciąż jest ogólna, a doświadczenie wykonawców stosunkowo małe. Jednakże przy poprawie tych warunków może to być technologia wznoszenia budynków wybierana równie często jak tradycyjna technologia murowana.

LITERATURA

- [1] Neuhaus H., Budownictwo drewniane, Polskie Wydawnictwo Techniczne 2006.
- [2] Nitka W., Szkieletowy dom drewniany, Centrum Budownictwa Drewnianego, Gdańsk 2013.
- [3] Major M., Różycka J., Łączniki stalowe w konstrukcjach drewnianych, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2013 nr 169, Budownictwo 19, 107-104.
- [4] Kazimierowicz A., Wysoczańska B., Lekki dom z drewna, Murator Numer Specjalny Od piwnicy po dach 2013, 1, 59-61.
- [5] Kotwica J., Konstrukcje drewniane w budownictwie tradycyjnym, Arkady, Warszawa 2011.
- [6] www.szkielet.pl
- [7] Rozporządzenie Ministerstwa Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, DzU 2008, Nr 201, poz. 1238.
- [8] PN-EN ISO 6946 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [9] Major M., Major I., Dachowe więzary kratowe - ekonomiczne rozwiązania współczesnych więźb drewnianych, Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym 2012, 1(9), 68-76.

THE THERMAL INSULATION OF EXTERNAL WALLS IN THE WOODEN PREFABRICATED BUILDINGS

This article has characterized wooden frame construction technology, in particular construction of external walls and their insulating properties. There were calculated heat transfer coefficients for adopted variants of the walls, and the results were compared with the applicable requirements.

Keywords: wooden constructions, frame construction technology, external walls