STRATY CIEPŁA PRZEZ PODŁOGI NA GRUNCIE

TEKST: JERZY BOGDAN ZEMBROWSKI

Analizy wielu projektów budowlanych obiektów różnej wielkości i przeznaczenia wskazują, że ocieplenia podłóg na gruncie oraz sąsiadujących z nimi fundamentów często są dobierane uznaniowo, a nawet przez przypadek.

Zjawiska ruchu ciepła zachodzące w podłogach i posadowieniach stykających się bezpośrednio lub pośrednio z gruntem są niezwykle istotne, gdyż:

- podczas projektowania budynku konieczne jest określenie mocy cieplnej zarówno urządzeń grzejnych w pomieszczeniach, jak i źródła ciepła dla całego obiektu;
- przy ocenie energetycznej budynku i sporządzaniu jego charakterystyki energetycznej konieczne jest poznanie rocznych strat;
- optymalizacja rozwiązań technicznych na etapie projektowania, termorenowacji lub modernizacji oraz przebudowy wymaga znajomości strat ciepła;
- ich straty wpływają na wynik analiz cieplno-wilgotnościowych i możliwość wyeliminowania zjawisk korozji biologicznej.

TYPY PODŁÓG TRACĄCYCH CIEPŁO DO GRUNTU

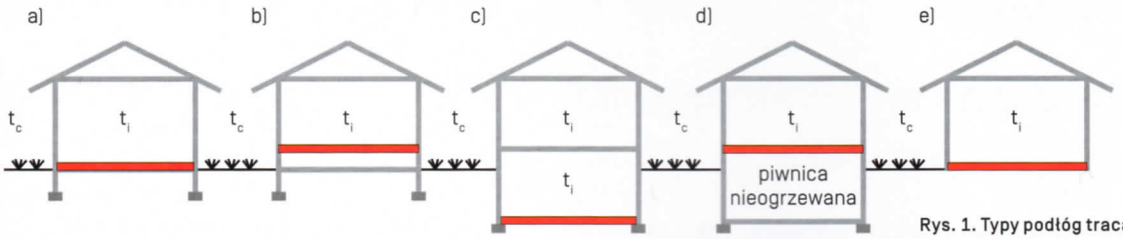
W praktyce wyróżniamy pięć zasadniczych układów podłóg na gruncie (rysunek 1):

- z posadowieniem na ławach;
- podniesionej (podwieszonej) nad gruntem;
- piwnicy ogrzewanej;
- parteru nad piwnicą nieogrzewaną;
- z posadowieniem na płycie.

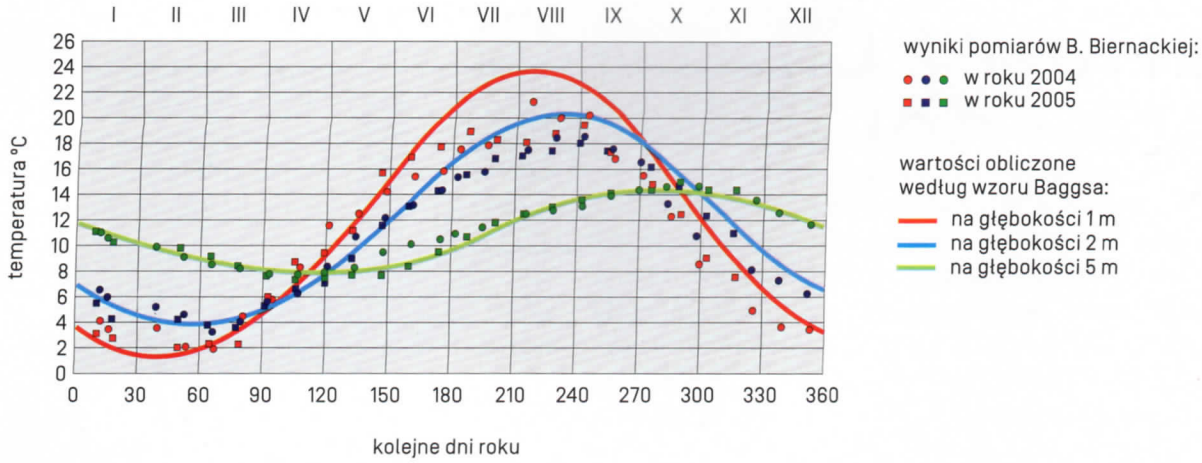
Straty ciepła odbywają się jednocześnie bezpośrednio do gruntu oraz pośrednio poprzez posadowienie budynku i podłoże stykające się z powietrzem zewnętrznym. W efekcie mamy do czynienia ze skomplikowanym trójwymiarowym przepływem ciepła z wnętrza ogrzewanego do otoczenia. Występują trzy strefy warunków brzegowych wymiany ciepła: wnętrze, otoczenie i grunt. Te specyficzne uwarunkowania oraz zmienność własności fizycznych w czasie są powodem niemałych trudności w obliczaniu ilościowych przepływów ciepła w omawianych przegrodach.

TEMPERATURA GRUNTU

Dla określenia strat ciepła przez podłogi podstawowe znaczenie ma ustalenie właściwej temperatury gruntu w posadowieniu danego budynku i warunków gruntowo-wodnych



Rys. 1. Typy podłóg tracących ciepło do gruntu.



Rys. 2. Roczny rozkład temperatury w gruncie w Białymstoku.

wynikających z badań geologicznych. Wykazano, że temperatura ta zależy od: pory roku, własności fizycznych warstw gruntu, pokrycia terenu oraz zagłębienia poniżej jego poziomu.

Jej przykładowy rozkład w ciągu roku na różnych głębokościach w Białymstoku[1] przedstawia rysunek 2. Widać, że zimą wraz z głębokością temperatura podnosi się, zaś latem maleje. Jej wartość minimalna odnotowywana jest wprawdzie w miesiącach zimowych, jednak co ciekawe – im głębiej, tym później to się dzieje. Zauważmy, że na głębokości metra występuje ona w połowie lutego i wynosi ok. 1°C, na 2 m – na początku marca i osiąga ok. 4°C, a na 5 m – dopiero na początku maja i wynosi ok. 8°C. Wraz ze wzrostem głębokości maleje amplituda wahań temperatury gruntu.

Jak wykazały światowe badania, 5 m poniżej poziomu terenu jest ona równa średniorocznej temperaturze powietrza zewnętrznego w danej lokalizacji. Zatem, aby obliczyć straty ciepła do gruntu, projektant musi znać wartość temperatury gruntu oraz projektowej temperatury powietrza zewnętrznego zimą. Podział Polski na strefy klimatyczne w tym zakresie określa norma[2], co przedstawia rysunek 3.

STRUMIENIE CIEPŁA PRZENIKAJĄCE DO GRUNTU

Z badań zjawiska przenikania ciepła przez podłogi na gruncie wynika zagadkowa właściwość, o której nie wszyscy wiedzą. Z tego powodu jest ona często pomijana bądź przyczynia się do powstawania niedomówień. Otóż okazuje się, że z uwagi na olbrzymią pojemność cieplną gruntu, ciepło z podłogi przenika trzema różnymi strumieniami, co w przekroju pionowym schematycznie pokazuje rysunek 4. Z powierzchni o szerokości S_1 (wynoszącej 0,8–1,0 m) strumień ciepła Φ_{S1} przenika po łuku zbliżonym do półokręgu

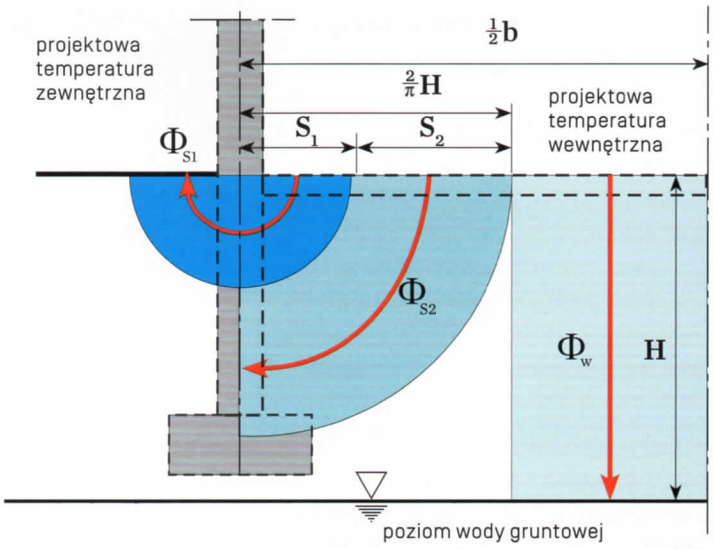
1 J.B. Zembrowski, *Sekrety tworzenia murowanych domów bez błędów*, Białystok 2017.

2 PN-EN ISO 12831:2006 *Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.*

Projektowe temperatury powietrza zewnętrznego zimą:
-16°C w strefie I
-18°C w strefie II
-20°C w strefie III
-22°C w strefie IV
-24°C w strefie V

Projektowe średnie roczne temperatury powietrza zewnętrznego:
7°C w strefie I
9°C w strefie II
6°C w strefie III
9°C w strefie IV
5°C w strefie V

Rys. 3. Średnie roczne i projektowe temperatury powietrza zewnętrznego zimą w Polsce.



Rys. 4. Ideowy model przepływu ciepła z podłogi na gruncie według W. Wasilewskiego.

przez warstwy podłogi, warstwy pod nią i dalej przez fundament i grunt do otoczenia. Z powierzchni o szerokości S_2 (wynoszącej 0,64 H–S_1) strumień ciepła Φ_{S2} przenika ćwierćokręgiem przez warstwy podłogi oraz warstwy pod nią aż do osi pionowej fundamentu. Z pozostałej powierzchni podłogi sięgającej połowy jej szerokości b strumień ciepła Φ_W przenika prostopadle w dół przez warstwy podłogi i warstwy pod nią do poziomu wody gruntowej. Jak widać, znaczącą rolę w określaniu strat ciepła podłogi odgrywa jej szerokość b. Dlatego wzory służące do obliczania współczynnika przenikania ciepła U_C podłogi na gruncie są uzależnione od jej charakterystycznych wymiarów geometrycznych: pola powierzchni oraz obwodu mierzonego po ścianach zewnętrznych.

→ Architektom potrzebne jest komputerowe narzędzie wspomagające projektowanie podłóg na gruncie, aby inwestor mógł otrzymać w projekcie budowlanym rozwiązania optymalizujące koszty inwestycji i eksploatacji. ←

OBLICZANIE WSPÓŁCZYNNIKA PRZENIKANIA CIEPŁA U

Rozporządzenie[3] wskazuje normę[4], według której można obliczać przybliżone współczynniki przenikania ciepła U oraz straty ciepła przez podłogę na gruncie. Służą one do doboru urządzeń grzewczych i źródła ciepła dla budynku. Jednakże norma ta zaleca wykonywanie obliczeń w stanach ustalonych metodą szczegółową według ISO 13370[5], która pozwala uzyskać wyniki bardziej zbliżone do rzeczywistych niż metoda uproszczona. Zgodnie z tą normą uwzględnia się trójwymiarową naturę wymiany ciepła, bezwładność cieplną gruntu i jego przewodnictwo cieplne, a także sinusoidalne zmiany miesięcznych średnich temperatur zewnętrznych i wewnętrznych w ciągu roku. Dopuszcza ona następujące sposoby obliczania strumienia ciepła traconego przez przegrody do gruntu w stanie ustalonym:

- trójwymiarowe obliczenia komputerowe zgodnie z normami ISO 10211-1[6] i ISO 10211-2[7] według rzeczywistych wymiarów podłogi;
- dwuwymiarowe obliczenia komputerowe zgodnie z normami ISO 10211-1 i ISO 10211-2 w odniesieniu do nieskończonej długości podłogi i jej szerokości równej wymiarowi charakterystycznemu;

3 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z 12.04.2002 r. z późniejszymi zmianami.

4 PN-EN ISO 12831:2006 *Nowa metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.*

5 PN-EN ISO 13370:2008 *Cieplne właściwości użytkowe budynków. Przenoszenie ciepła przez grunt. Metody obliczania.*

6 PN-EN ISO 10211-1:2005 *Mostki cieplne w budynkach. Obliczanie strumieni cieplnych i temperatury powierzchni cz. 1: Metody ogólne.*

7 PN-EN ISO 10211-2:2002 *Mostki cieplne w budynkach. Obliczanie strumieni cieplnych i temperatury powierzchni cz. 1: Liniowe mostki cieplne.*

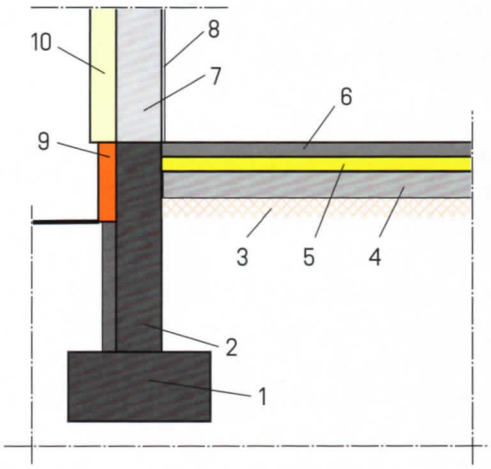
- obliczenia analityczne przepływu ciepła według zamieszczonych w niej wzorów, z uwzględnieniem dwuwymiarowego komputerowego obliczania liniowych mostków ciepła wzdłuż krawędzi podłogi według norm ISO 10211-1 i ISO 10211-2;
- obliczenia jak w punkcie powyższym, lecz z zastosowaniem katalogów mostków cieplnych wzdłuż krawędzi podłogi (ze względu na znaczne błędy wynikające z uproszczeń skatalogowanych mostków cieplnych i niezgodność z faktycznymi wymiarami i materiałami należy ten sposób odrzucić).

ZAGROŻENIE PLEŚNIĄ

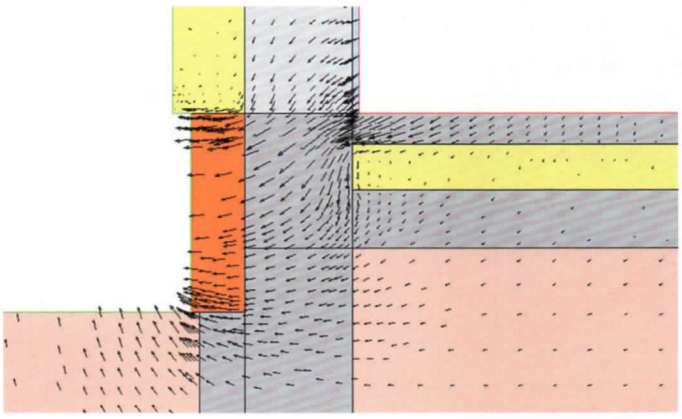
Dokonajmy analizy ocieplenia podłogi ogrzewanej obliczanej sposobem trzecim na podstawie pewnego projektu niepodpiwniczonego domu jednorodzinnego w Warszawie. Powierzchnia podłogi ogrzewanej parteru wynosi 170 m^2, zaś jej obwód stykający się ze ścianami zewnętrznymi – 54 m. Przekrój pionowy przez podłogę oraz fundament według rozwiązania zawartego w projekcie budowlanym przedstawia rysunek 5, a rozkład kierunków i wektorów strumieni przenikającego ciepła na styku podłogi ze ścianą w pokojach – rysunek 6. Widać, że ich największe zagęszczenie i wielkości występują w pachwinie między podłogą a ścianą, zaś ich zwrot jednoznacznie wskazuje, że celowe jest postawienie dodatkowego oporu cieplnego na ich drodze, szczególnie na fundamencie na wysokości warstw podłogi oraz dwa razy tyle niżej.

Rozkład temperatur w omawianym przekroju obliczony sposobem drugim przedstawiony jest na rysunku 7, zaś gęstość strumieni przewodzonego ciepła – na rysunku 8. Widać, że w pachwinie między podłogą a ścianą strumień osiąga wartość 50–170 W/m^2, podczas gdy w niedalekim sąsiedztwie w podłodze i ścianie zaledwie ok. 14. Skutkiem tego jest występowanie w pachwinie temperatury powierzchniowej 7,3°C, podczas gdy w pozostałej strefie ściany jest to 18,7°C, zaś na podłodze – 18,6°C. W pokojach, w których odnotowuje się 20°C i 50-procentową wilgotność względną powietrza, temperatura punktu rosy wynosi 9,3°C. Oznacza to, że w pachwinie dojdzie do kondensacji pary wodnej i rozwoju pleśni. Zatem rozwiązanie zaproponowane w projekcie nie spełnia wymagań WT, mimo że współczynnik przenikania ciepła podłogi U_c=0,227 W/m^{2}K i spełnia je w tym zakresie. Określony drugim sposobem liniowy współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego fundamentu Ψ_L wynosi 0,535 W/mK.

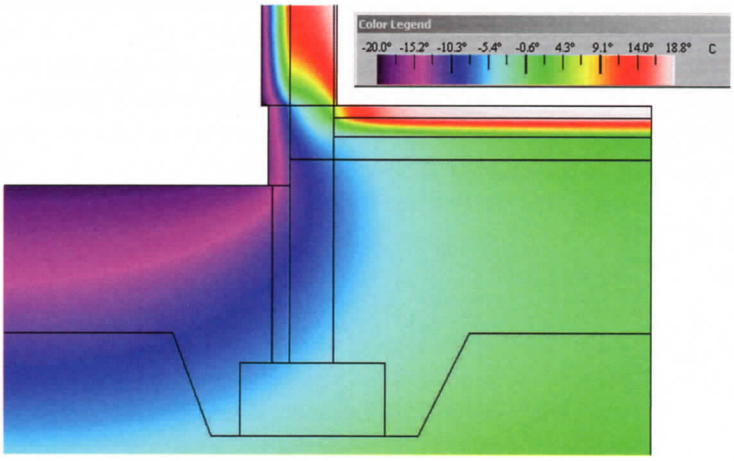
1 - ława bet. zbrojona 80 x 40 cm
2 - fundament betonowy grub. 24 + 10 cm
3 - podsypka, gruby żwir grub. 10 cm
4 - beton podkładowy C-12/15 grub. 15 cm
5 - styropian EPS-100 grub. 10 cm
6 - jastrych bet. grub. 7 cm
7 - mur z bloczków silikatowych drążonych grub. 24 cm
8 - tynk gipsowy grub. 1,5 cm
9 - cegła klinkierowa 12 cm
10 - ocieplenie EPS-70 grub. 16 cm



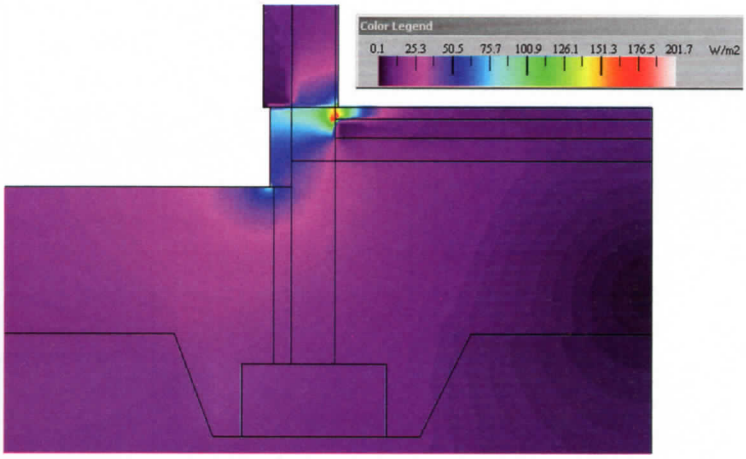
Rys. 5. Przekrój pionowy przez podłogę parteru i fundament, według omawianego projektu.



Rys. 6. Rozkład wektorów strumieni przenikającego ciepła na styku podłogi ze ścianą w pokojach.



Rys. 7. Rozkład temperatur w strefie styku podłogi, fundamentu i ściany.



Rys. 8. Gęstość strumieni przewodzonego ciepła w strefie styku podłogi, fundamentu i ściany.

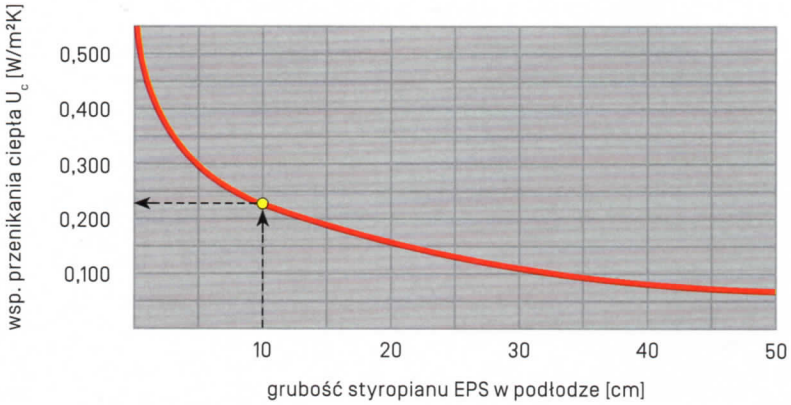
EFEKT OCIEPLENIA PODŁOGI

Przeanalizujmy, jak będzie zmieniać się wartość U_c tej podłogi w zależności od grubości styropianu użytego do jej ocieplenia. Zależność obliczoną drugim sposobem przedstawia rysunek 9. Widać, że najbardziej efektywną redukcję strat ciepła uzyskuje się dla 8-centymetrowej termoizolacji. Zwiększanie grubości do 30 cm powoduje mało znaczące obniżenie współczynnika przenikania ciepła. Na krzywej kolorem żółtym zaznaczono jego wartość dla podłogi opracowanej w projekcie.

Z rysunków 6 i 8 wynika, że przez pachwinę między podłogą a ścianą następuje znaczna ucieczka ciepła przez fundament i cokół do otoczenia. Ponadto, cały fundament i ława znajdują się w gruncie o temperaturze ujemnej, co nie jest dobrym rozwiązaniem, szczególnie przy gruntach o charakterze wysadzinowym.

EFEKT OCIEPLENIA FUNDAMENTU I COKOŁU

Warto zwrócić uwagę, co, poza ociepleniem podłogi, dało położenie dodatkowej termoizolacji pionowej



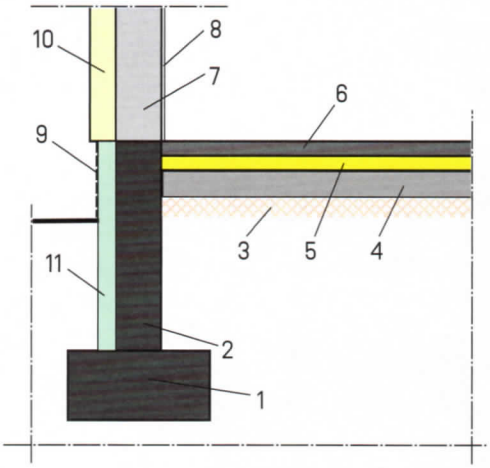
Rys. 9. Wartość współczynnika przenikania ciepła podłogi U_c w zależności od grubości jej ocieplenia.

ze styropianu XPS o grubości 10 cm na fundamencie od zewnątrz i zamiana cegły klinkierowej na cokole także na ten materiał, jak przedstawia rysunek 10. Rozkład temperatur w przekroju pionowym obrazuje rysunek 11, zaś gęstość strumieni przewodzonego ciepła – rysunek 12.

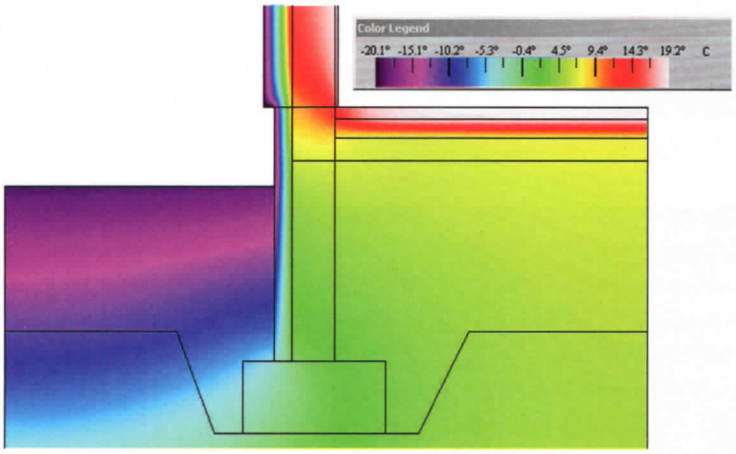
Po obłożeniu fundamentu strumień ciepła w pachwinie między podłogą a ścianą zmalał do 20–60 W/m², natomiast w niedalekim sąsiedztwie w podłodze i ścianie – do ok. 6 W/m². Należy zauważyć, że temperatura w pachwinie w pokojach wzrosła z 7,3 do 14,3°C i spełnia wymogi WT, gdyż wystarczająco zabezpiecza najzimniejsze miejsce przed kondensacją pary wodnej i pleśnią. Wartość liniowego współczynnika przenikania liniowego mostka cieplnego Ψ_L zmniejszyła się do 0,051 W/mK, czyli aż ponad 10 razy w stosunku do stanu projektowanego.

Przeanalizujmy teraz, jak będzie się zmieniać wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_L tej podłogi w zależności od grubości ocieplenia styropianem

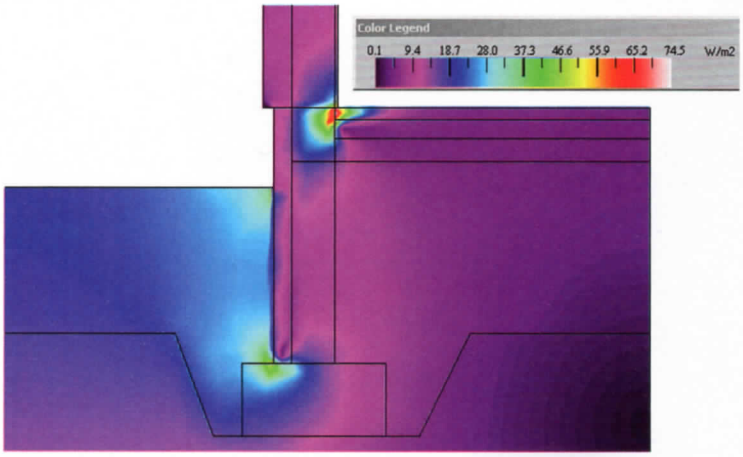
1 - ława bet. zbrojona 80 x 40 cm
2 - fundament betonowy grub. 24 cm
3 - podsypka, gruby żwir grub. 10 cm
4 - beton podkładowy C-12/15 grub. 15 cm
5 - styropian EPS-100 grub. 10 cm
6 - jastrych bet. grub. 7 cm
7 - mur z bloczków silikatowych drążonych grub. 24 cm
8 - tynk gipsowy grub. 1,5 cm
9 - płytki klinkierowe 1 cm
10 - ocieplenie EPS-70 grub. 16 cm
11 - styropian XPS grub. 10 cm



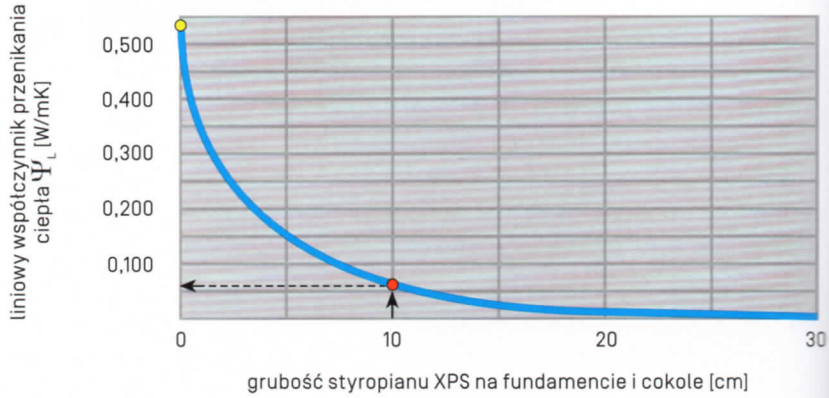
Rys. 10. Przekrój pionowy przez podłogę parteru i ocieplony fundament.



Rys. 11. Rozkład temperatur w strefie styku podłogi, fundamentu i ściany po ociepleniu fundamentu.



Rys. 12. Gęstość strumieni przewodzonego ciepła w strefie styku podłogi, fundamentu i ściany po ociepleniu fundamentu.



Rys. 13. Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła podłogi U_L w zależności od grubości ocieplenia fundamentu.

fundamentu i cokołu przy niezmienionej grubości 10 cm ocieplenia podłogi. Obliczoną drugim sposobem zależność przedstawia rysunek 13. Widać, że istotną redukcję strat ciepła uzyskuje się przy termoizolacji pionowej o grubości ok. 15 cm, gdyż powyżej niej funkcja staje się płaska, a więc ocieplenie jest mało efektywne. Na krzywej na żółto zaznaczono zaprojektowaną wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ_L, a na czerwono – wartość Ψ_L po dodaniu ocieplenia pionowego 10 cm fundamentu i cokołu.

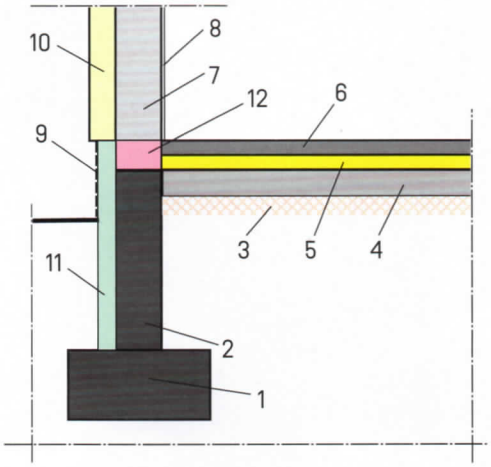
ZBAWIENNA WARSTWA TERMICZNA

Z rysunku 12 wynika, że – mimo istotnego zmniejszenia strumienia ciepła z podłogi w strefie cokołu za pomocą pionowej warstwy styropianu – występuje pewna istotna ucieczka ciepła przez fundament na wysokości pachwiny między podłogą a ścianą zewnętrzną. Przeanalizujmy zatem, jaki efekt energetyczny da zamiana w tej strefie bloczków silikatowych drążonych (λ = 0,80 W/mK) na bloczki z betonu komórkowego o gęstości 600 kg/m³ (λ = 0,15 W/mK), jak pokazuje to rysunek 14. Uzyskany dzięki temu rozkład strumieni ciepła w analizowanym przekroju przedstawiono na rysunku 15. Widać, że w pachwinie między podłogą a ścianą strumień przenikającego ciepła zmalał do zaledwie 24 W/m², zaś temperatura wzrosła z 14,3°C do 17,4°C. Wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego podłogi Ψ_L zmniejszyła się do -0,047 W/mK. Mechanizm zamiany pierwszej warstwy muru z materiału dobrze przewodzącego ciepło na materiał o małej przewodności cieplnej nazywa się wprowadzeniem warstwy termicznej na fundamencie. Powinien on być powszechnie brany pod uwagę podczas projektowania obiektów ogrzewanych.

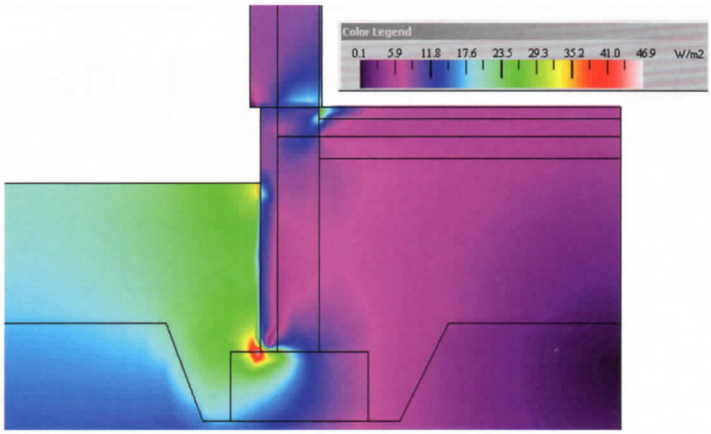
WNIOSKI

- Przenikanie ciepła z podłóg na gruncie ma charakter trójwymiarowy, ponieważ spowodowane jest wpływem pojemności cieplnej gruntu, liniowych mostków cieplnych po obwodzie podłóg oraz wymiarów geometrycznych podłogi. Dlatego nie można obliczać współczynnika przenikania ciepła U_c podłogi na gruncie według wzorów zasadnych dla przegród płaskich. W praktyce, niestety, często oblicza się go błędnie.
- Ocieplenia podłóg na gruncie powinny być wspomagane pionowymi termoizolacjami fundamentów oraz cokołów, by uniknąć zagrożenia pleśnią.

1 - ława bet. zbrojona 80 x 40 cm
2 - fundament betonowy grub. 24 cm
3 - podsypka, gruby żwir grub. 10 cm
4 - beton podkładowy C-12/15 grub. 15 cm
5 - styropian EPS-100 grub. 10 cm
6 - jastrych bet. grub. 7 cm
7 - mur z bloczków silikatowych drążonych grub. 24 cm
8 - tynk gipsowy grub. 1,5 cm
9 - płytki klinkierowe 1 cm
10 - ocieplenie EPS-70 grub. 16 cm
11 - styropian XPS grub. 10 cm
12 - beton komórkowy 600 kg/m³



Rys. 14. Przekrój pionowy przez podłogę parteru i fundament z warstwą termiczną.



Rys. 15. Gęstość strumieni przewodzonego ciepła w strefie styku podłogi, fundamentu i ściany po zastosowaniu warstwy termicznej.

- Lokalizacja i grubość ocieplenia podłóg i fundamentów powinny bazować na optymalizacji energetyczno-ekonomicznej, zapewniającej najniższe koszty materiału i pracy przy najniższych kosztach ogrzewania pomieszczeń z podłogą na gruncie.
- Uzasadnione jest stosowanie warstwy termicznej na fundamencie, jeśli mur wykazuje duże przewodnictwo cieplne.
- Architektom potrzebne jest komputerowe narzędzie wspomagające projektowanie podłóg na gruncie, aby inwestor mógł otrzymać w projekcie budowlanym rozwiązania optymalizujące koszty inwestycji i eksploatacji. ●

JERZY BOGDAN ZEMBROWSKI

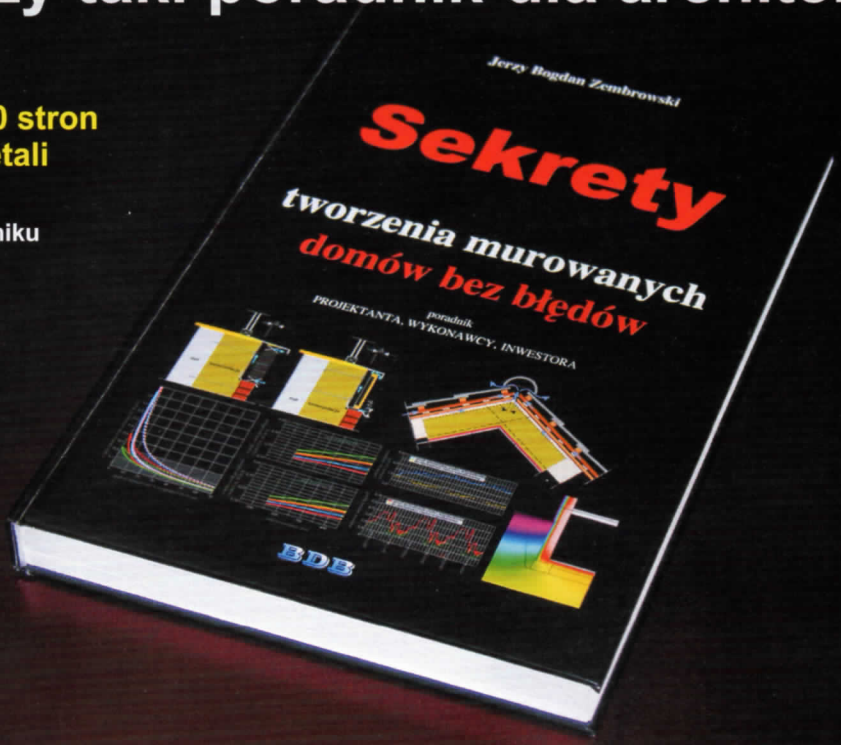
specjalista fizyki budowli, autor poradnika dla architektów *Sekrety tworzenia murowanych domów bez błędów*, prowadzi konsultingowy serwis budowlany www.bdb.com.pl

REKLAMA

pierwszy taki poradnik dla architektów !

format A4, 500 stron
i rysunków detali

wszystko o poradniku
i zamawianie
www.bdb.com.pl



praktyczna fizyka budowli - czyli jak uniknąć błędów
przy projektowaniu budynków