

Jerzy A. Pogorzelski\*

## STRATY CIEPŁA Z BUDYNKU PRZEZ GRUNT WEDŁUG PN-EN ISO 13370:2001

Przenikanie ciepła przez przegrody pełne w kontakcie z powietrzem zewnętrznym można rozpatrywać jako ustalone, jednowymiarowe przewodzenie ciepła, z uwzględnieniem – w formie dodatkowych członów – wpływu mostków cieplnych punktowych i liniowych. W przypadku kontaktu z gruntem problem przenoszenia ciepła staje się bardziej skomplikowany. Podczas minionych ponad pięćdziesięciu lat dokonano kilku prób obliczania strat ciepła do gruntu bez zadowalających wyników. Znajomość strumienia ciepła do gruntu jest potrzebna do obliczania szczytowej mocy cieplnej i sezonowego zapotrzebowania na ciepło. W Polsce obliczanie szczytowej mocy cieplnej i sezonowego zapotrzebowania na ciepło jest ujęte w dwu różnych normach z różnymi algorytmami obliczania strat ciepła do gruntu; stwarza to trudności w przygotowaniu wspólnych programów komputerowych. W artykule zaprezentowano algorytmy podane w PN-EN ISO 13370:2001 *Przenoszenie ciepła przez grunt – Metody obliczania*. Mogą być one zastosowane do zastąpienia algorytmów używanych dotychczas w PN na obliczanie szczytowej mocy cieplnej i sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania. Szczególnie powinny być zastosowane w programach komputerowych do obliczania tych wielkości.

### 1. Wprowadzenie

Przenikanie ciepła przez przegrody pełne oddzielające powietrze wewnętrzne od zewnętrznego rozpatrujemy z zasady jako zadanie ustalonego, jednowymiarowego przewodzenia ciepła, z uwzględnieniem – w formie dodatkowych członów – wpływu mostków cieplnych punktowych i liniowych. Tak obliczony współczynnik przenikania ciepła przegrody pełnej może służyć do sprawdzania zgodności z wymaganiami przepisów [1] i do dalszych obliczeń: szczytowej mocy cieplnej („zapotrzebowania ciepła” według terminologii PN-B-03406:1994 [2]) oraz sezonowego zapotrzebowania na ciepło według PN-B-02025:1999 [3].

Problem komplikuje się znacznie w przypadku przegród pełnych stykających się z gruntem; obliczanie strat ciepła budynku przez grunt to złożone zadanie przewodzenia ciepła, w ogólności trójwymiarowe i niestacjonarne. Jednocześnie udział strat ciepła do gruntu w bilansie cieplnym budynku nie jest duży i zwykle nie przekracza kilku procent

---

\* prof. dr hab. inż.

całkowitych strat ciepła, co nie uzasadnia poświęcania zbyt dużo czasu na jego obliczanie. Stąd od wielu lat trwały poszukiwania prostego i zarazem dostatecznie dokładnego algorytmu opisującego strumień ciepła przenoszony z budynku przez grunt.

Ten strumień ciepła nie występuje jako samodzielny podmiot przepisów budowlanych, jest natomiast potrzebny jako jeden ze składników bilansu cieplnego do obliczania zarówno szczytowej mocy cieplnej według normy [2], jak i sezonowego zapotrzebowania na ciepło według normy [3].

Obie wymienione normy ujmują ten składnik, ale operują różnymi algorytmami do jego obliczania, zaczerpniętymi z różnych źródeł, co utrudnia opracowywanie programów do obliczania szczytowej mocy cieplnej i sezonowego zapotrzebowania na ciepło tego samego budynku z zastosowaniem tych samych danych wejściowych.

W ostatnim okresie dokonana się jednak istotna zmiana, ponieważ ustanowiona została PN-EN ISO 13370:2001 [4] (w drodze tłumaczenia EN ISO 13370:1998). Zgodnie z zasadami obowiązującymi w normalizacji europejskiej normy krajowe sprzeczne z tą EN powinny ulec wycofaniu. Problem jest przy tym szerszy, ponieważ ani PN-B-03406:1994, ani PN-B-02025 nie są zgodne z odpowiednimi normami europejskimi w całości, a nie tylko we fragmencie dotyczącym strumienia strat ciepła do gruntu. Jest to jednak temat wymagający odrębnej publikacji, a więc trzymajmy się tylko tematyki awizowanej tytułem artykułu.

Trzeba dodać, że zakres przedmiotowy PN-EN ISO 13370:2001 jest szerszy niż tylko straty ciepła budynku ogrzewanego do gruntu; w normie tej rozpatruje się wiele zagadnień specjalnych, między innymi dotyczących podłóg chłodni i sztucznych lodowisk oraz podłóg z systemem ogrzewania. Również samo obliczanie strat ciepła do gruntu ujmuje trudne sprawy wpływu filtracji wody w gruncie oraz nieustalonego przepływu ciepła, które komplikują znacznie i tak nieprosty temat.

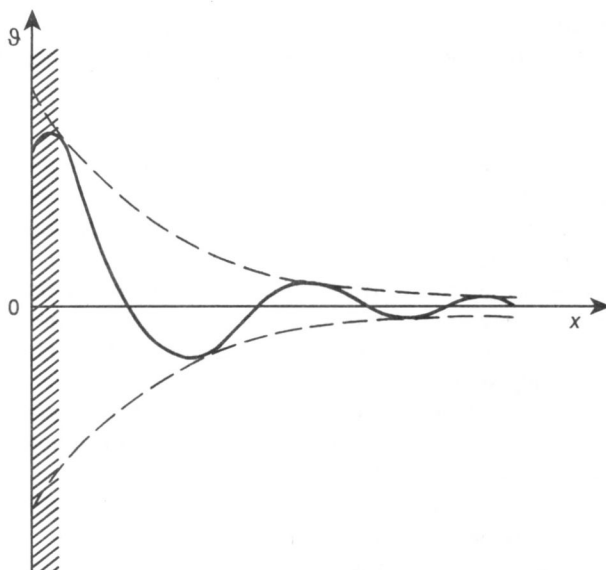
Celem artykułu jest prezentacja sposobu obliczeń strat ciepła do gruntu według PN-EN ISO 13370:2001, analiza podanych w normie zależności z ilustracją przykładami obliczeniowymi i sformułowanie propozycji wdrożenia tej normy do polskiej praktyki.

## **2. Model ogólny wymiany ciepła budynku z gruntem**

Pole temperatury w gruncie poza budynkiem zależy tylko od czynników atmosferycznych (temperatury powietrza zewnętrznego, nasłonecznienia, prędkości wiatru i pokrywy śnieżnej); gradient geotermiczny w skorupie ziemskiej jest pomijalny.

Rozpatrzmy na wstępie w celu uproszczenia oddziaływanie na powierzchnię gruntu tylko temperatury powietrza zewnętrznego, zmieniającej się według prostej funkcji harmonicznego, charakteryzowanej amplitudą i okresem wahań.

Amplituda wahań temperatury w gruncie zanika eksponencjalnie (według funkcji wykładniczej) ze wzrostem głębokości, natomiast okres wahań temperatury nie zależy od głębokości i jest stały podczas całego procesu cyklicznego (rys. 1).



Rys. 1. Zmiany temperatury w gruncie przy zmianie temperatury powierzchni według funkcji harmoniczej  
 Fig. 1. Temperature variations in ground at surface temperature varying with harmonic function

Można wykazać, że amplituda wahań temperatury w gruncie spadnie  $e$  razy ( $e$  – podstawa logarytmów naturalnych) na głębokości  $\delta$  (tzw. głębokości periodycznego wnikania), określonej wzorem

$$\delta = \sqrt{\frac{a}{\omega}} = \sqrt{\frac{a \tau_0}{2 \pi}} \quad (1)$$

w którym:

- $a = \frac{\lambda}{c \rho}$  – współczynnik wyrównywania temperatury,
- $\omega$  – prędkość kątowna,
- $\tau_0$  – okres wahań.

Ze wzoru (1) wynika, że im większa wartość prędkości kątownej  $\omega$  (a mniejsza okresu wahań  $\tau_0$ ), tym mniejsza jest wartość głębokości periodycznego wnikania i amplituda wahań temperatury bardziej zanika ze wzrostem głębokości. Rozpatrzmy dwa przypadki wahań temperatury:

- o okresie  $\tau_0 = 1$  rok (31 556 926 s), spowodowanych sezonowymi zmianami warunków klimatycznych,
- o okresie  $\tau_0 = 1$  doba (86 400 s), spowodowanych dobowymi zmianami promieniowania słonecznego.

Przyjmując parametry gruntu:  $\lambda = 2,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ,  $c = 1000 \text{ J/kg}$ ,  $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$ , otrzymamy wartość głębokości okresowego wnikania równą odpowiednio:

- przy wahaniami o okresie dobowym – 0,12 m,
- przy wahaniami o okresie rocznym – 2,24 m.

W przypadku wahań o okresie rocznym na głębokości około 4,5 m (to jest 2  $\delta$ ) amplituda wahań temperatury zmniejszy się 7,4 razy, a na głębokości około 6,7 m (to jest 3  $\delta$ ) – 20 razy.

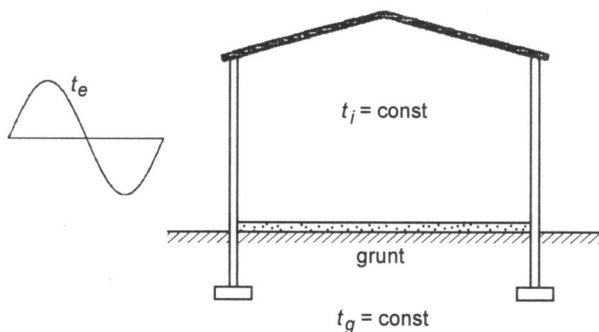
Analogicznie w przypadku wahań o okresie dobowym ich amplituda ulegnie zmniejszeniu około 20 razy już na głębokości 0,36 m.

Jak widać, na głębokości gruntu równej kilku metrom wahania dobowe i wszystkie inne krótkotrwałe zmiany temperatury można zaniedbać w porównaniu z wahaniami rocznymi. W praktyce na głębokości od 7 m do 10 m możemy zakładać stałą temperaturę gruntu  $t_g$ , równą wieloletniej średniej rocznej temperaturze powietrza (w Polsce środkowej przeciętnie  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ ), podwyższonej o około 1,5 K przez promieniowanie słoneczne. Temperatura powierzchni będzie superpozycją średniej rocznej temperatury i funkcji harmonicznej o okresie 1 rok i amplitudzie rocznej.

W gruncie jednorodnym, jeśli pominiemy lokalne odchylenia (nachylenia gruntu, roślinność itp.) izotemy będą się układać poziomo.

Temperaturę powietrza  $t_e$  w otoczeniu budynku też można przyjąć jako równą superpozycji średniej rocznej i funkcji harmonicznej o okresie 1 rok oraz amplitudzie rocznej. Wewnątrz budynku można założyć temperaturę wewnętrznego powietrza  $t_i$  w przybliżeniu stałą (ewentualnie ze składową harmoniczną o okresie rocznym).

Schematycznie warunki brzegowe przy przenoszeniu ciepła z ogrzewanego budynku do gruntu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Warunki brzegowe przy przenoszeniu ciepła z ogrzewanego budynku do gruntu

Fig. 2. Boundary conditions at heat transfer from heated building to the ground

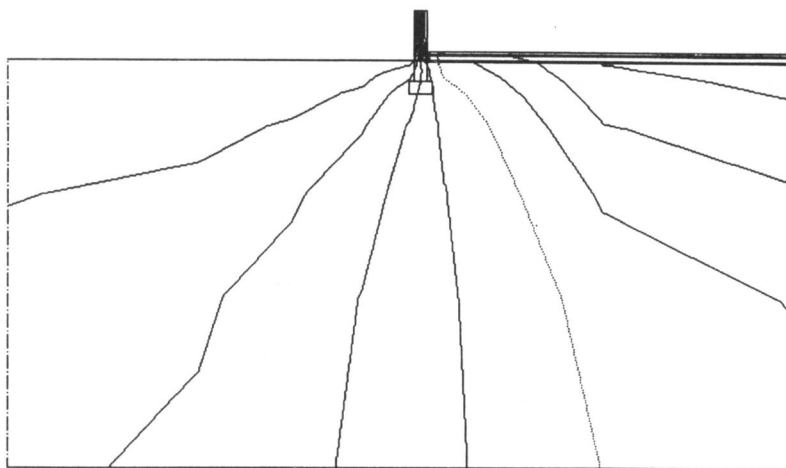
Jest oczywiste, że przy takich warunkach brzegowych strumień ciepły oddawany z budynku do gruntu będzie superpozycją dwu strumieni:

- średniorocznego, stałego w czasie, proporcjonalnego do różnicy temperatury powietrza w pomieszczeniu i średniej rocznej temperatury powietrza,

- periodycznie zmiennego, proporcjonalnego do amplitudy rocznych wahań temperatury.

Zjawisko wymiany ciepła między budynkiem i gruntem ma charakter przestrzenny; można jednak wprowadzić istotne uproszczenia, pomijające rzeczywisty kształt rzutu budynku i wynikające z tego, że największa gęstość strumienia ciepłego występuje przy styku podłogi ze ścianą zewnętrzną i maleje w miarę oddalania się od ściany.

Ilustruje to rysunek 3, na którym przedstawiono izotermy temperatury gruntu w otoczeniu ogrzewanego budynku na podstawie komputerowych obliczeń za pomocą programu EUROKOBRA [5] z pakietu PHYSIBEL. Jak widać, na przecięciu podłogi i ściany fundamentowej następuje skupienie izoterm, które tworzą zbieżny pęk linii. Odpowiednio, linie gęstości strumienia ciepłego prostopadłe do izoterm (nie pokazane na rysunku) mają kształt okręgów.



Rys. 3. Rozkład izoterm w gruncie pod budynkiem  
Fig. 3. Distribution of isotherms in ground under a building

Gęstość stacjonarnego strumienia ciepłego powinna mieć postać typu

$$q = \frac{\lambda}{\pi r + A} \quad (2)$$

a strumień ciepły typu

$$\psi = \frac{B\lambda}{\pi} \ln(\pi r + A) \quad (3)$$

gdzie  $A$  i  $B$  są stałymi do wyznaczenia z warunków brzegowych.

Gęstość strumienia ciepłego maleje więc w miarę odległości od ściany zewnętrznej, a strumień ciepły rośnie z odległością od ściany znacznie wolniej niż szerokość pasa przyściennego.

### 3. Obliczanie stacjonarnego strumienia ciepłego przez grunt według PN-EN ISO 13370:2001

Poniżej rozpatrzono tylko wybrane przypadki:

- podłogi typu płyta na gruncie, bez izolacji krawędziowej i z izolacją krawędziową (pionową lub poziomą),
- podłogi podniesione,
- podziemia ogrzewane i nieogrzewane.

Do obliczenia stałego w czasie strumienia ciepłego według PN-EN ISO 13370:2001 są wymagane następujące dane o temperaturze:

- a) średnia roczna temperatura wewnętrzna w pomieszczeniach,
- b) średnia roczna temperatura zewnętrznego powietrza.

W przypadku podłóg podniesionych z wentylacją przestrzeni powietrznej potrzebna jest jeszcze znajomość średniej prędkości wiatru na wysokości 10 m nad terenem.

W normie została przyjęta koncepcja, aby rzeczywisty kształt podłogi na gruncie zastąpić figurą o obwodzie  $P$  i polu powierzchni  $A$ , zgodnymi z danymi rzeczywistego rzutu podłogi. Obwodowi budynku przypisujemy pas podłogi o szerokości  $B'$ , zwanej „wymiarem charakterystycznym”, zdefiniowanej wzorem

$$B' = \frac{A}{P/2} \quad (4)$$

w którym oznaczenia – jak wyżej.

Wielkością charakteryzującą przenikanie ciepła przez grunt w stanie ustalonym jest stacjonarny współczynnik sprzężenia ciepłego  $L_s$ , definiowany jako iloraz strumienia ciepłego przez różnicę średniej w czasie temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego. W celu uproszczenia jego wyrażania wprowadza się pojęcie „grubości równoważnej”, to jest grubości gruntu o tym samym oporze cieplnym, jak zastępowany nią opór cieplny. W PN-EN ISO 13370:2001 przyjęto oznaczenia:

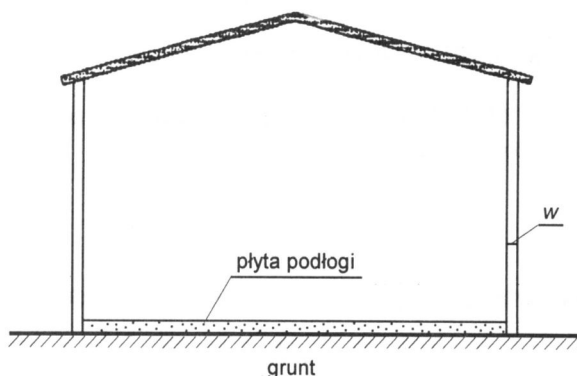
- $d_t$  – grubość równoważna dla podłóg,
- $d_w$  – grubość równoważna dla ścian podziemi poniżej poziomu gruntu.

Przewodność cieplną gruntu i głębokość periodycznego wnikanie można przyjmować z tablicy 1.

Tablica 1. Właściwości cieplne gruntu  
Table 1. Thermal properties of ground

Kategoria	Opis	Przewodność cieplna $\lambda$ W/(m·K)	Głębokość periodycznego wnikania $\delta$ , m
1	Gлина lub ił	1,5	2,2
2	Piasek lub żwir	2,0	3,2
3	Lita skała	3,5	4,2

Podłogi typu „płyta na gruncie”, obejmują każdą podłogę, która składa się z płyty w kontakcie z gruntem na swojej całej powierzchni (patrz rysunek 4, na którym  $w$  – grubość całkowita ścian zewnętrznych).



Rys. 4. Schemat podłogi: płyta na gruncie  
Fig. 4. Scheme of slab on the ground floor

Podłoga typu „płyta na gruncie” może być:

- nieizolowana,
- równomiernie izolowana na całej powierzchni (powyżej, poniżej lub wewnątrz płyty).

Współczynnik przenikania ciepła i stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego zależą od wymiaru charakterystycznego podłogi  $B'$  i jej całkowitej grubości równoważnej  $d_t$ , zdefiniowanej wzorem

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (5)$$

w którym:

- $w$  – grubość całkowita ścian zewnętrznych budynku, jak na rysunku 4,
- $R_f$  – opór cieplny warstw izolacyjnych w podłodze, z pominięciem warstw betonu, tłucznia itp.

W przypadku podłóg bez izolacji krawędziowej współczynnik przenikania ciepła

$$U = U_0 \quad (6)$$

a w przypadku podłóg z izolacją krawędziową

$$U = U_0 + \frac{2 \Delta \Psi}{B'} \quad (7)$$

Stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego podłogi bez izolacji krawędziowej jest określony wzorem

$$L_s = A U_0 \quad (8)$$

Stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego podłogi z izolacją krawężniową jest określony wzorem

$$L_s = A U_0 + P \Delta\Psi \quad (9)$$

gdzie pierwszy człon obejmuje przenikanie ciepła przez powierzchnię podłogi, a drugi na jej obwodzie.

Według PN-EN ISO 13370:2001, jeżeli  $d_t < B'$  (w przypadku podłóg nieizolowanych lub lekko izolowanych), to stosuje się wzór

$$U_0 = \frac{2 \lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left( \frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) \quad (10)$$

a jeżeli  $d_t \geq B'$  (w przypadku podłóg dobrze izolowanych), to stosuje się wzór

$$U_0 = \frac{\lambda}{0,457 B' + d_t} \quad (11)$$

Izolacja krawężniowa może być usytuowana poziomo lub pionowo i od wewnątrz lub na zewnątrz ściany zewnętrznej. Korzystniejsze jest stosowanie izolacji krawężniowej na zewnątrz budynku (z zastosowaniem materiałów odpornych na zawilgocenie); używa się przy tym wyższe wartości temperatury w ścianie i w połączeniu ściany z podłogą na gruncie.

Na rysunku 5 przedstawiono izolację poziomą poniżej podłogi, a na rysunku 6 izolację pionową po wewnętrznej stronie ściany fundamentowej.

W przypadku izolacji krawężniowej poziomej stosuje się równanie (12), które odnosi się także do izolacji krawężniowej poziomej nad płytą lub na zewnątrz budynku:

$$\Delta\Psi = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (12)$$

w którym  $D$  – szerokość poziomej izolacji krawężniowej,

a w przypadku izolacji krawężniowej pionowej stosuje się równanie (13), które odnosi się także do izolacji na zewnątrz fundamentu lub wewnątrz ściany fundamentowej:

$$\Delta\Psi = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{2 D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{2 D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (13)$$

w którym  $D$  – głębokość pionowej izolacji krawężniowej (lub fundamentu) pod poziomem gruntu.

W obu przypadkach  $d_t$  jest zdefiniowane jak we wzorze (3).

Równania (12) i (13) zawierają dodatkową grubość równoważną  $d'$ , wynikającą z izolacji krawężniowej, określoną wzorem

$$d' = R' \lambda \quad (14)$$



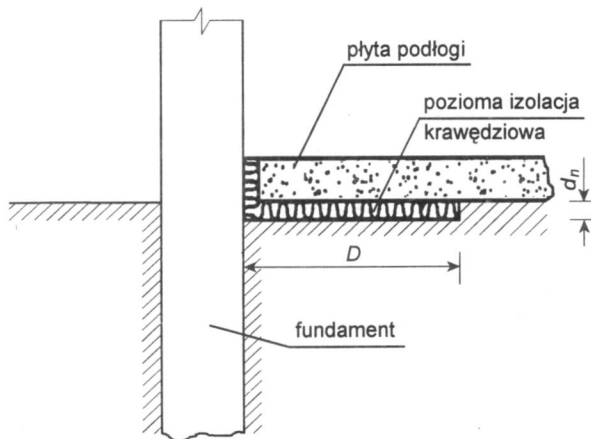
w którym  $R'$  – dodatkowy opór cieplny wprowadzony przez izolację krawędziową, określony wzorem

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} \quad (15)$$

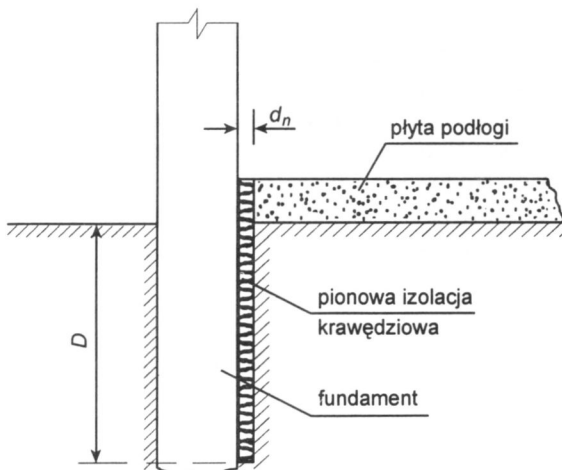
w którym:

$R_n$  – opór cieplny poziomej lub pionowej izolacji krawędziowej,

$d_n$  – grubość izolacji krawędziowej.

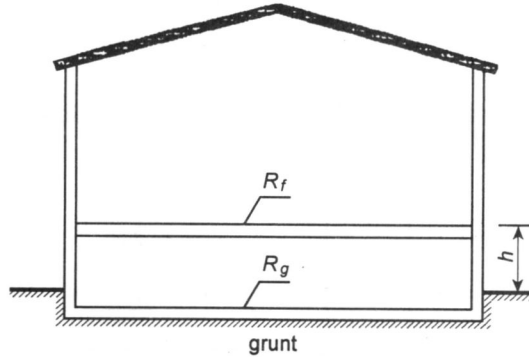


Rys. 5. Izolacja krawędziowa pozioma  
Fig. 5. Horizontal edge insulation



Rys. 6. Izolacja krawędziowa pionowa  
Fig. 6. Vertical edge insulation

Podłogą podniesioną jest każda, która znajduje się w pewnej odległości od gruntu, z wentylowaną przestrzenią powietrzną pod podłogą (rys. 7).



Rys. 7. Podłoga podniesiona  
Fig. 7. Suspended floor

Stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego między środowiskiem wewnętrznym i zewnętrznym wynosi w tym przypadku

$$L_s = A U \quad (16)$$

a współczynnik przenikania ciepła  $U$  otrzymuje się z zależności

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (17)$$

w której:

$U_f$  – współczynnik przenikania ciepła podłogi od środowiska wewnętrznego do podpodłogowej przestrzeni powietrznej,

$U_g$  – współczynnik przenikania ciepła przy przepływie ciepła przez grunt,

$U_x$  – równoważny współczynnik przenikania ciepła od podpodłogowej przestrzeni powietrznej do środowiska zewnętrznego.

Współczynnik przenikania ciepła podłogi  $U_f$  oblicza się według PN-EN ISO 6946:1999.

Współczynnik przenikania ciepła  $U_g$  przy przepływie ciepła przez grunt oblicza się ze wzoru

$$U_g = \frac{2 \lambda}{\pi B' + d_g} \ln \left( \frac{\pi B' + 1}{d_g} \right) \quad (18)$$

w którym:

$$d_g = w + \lambda (R_{si} + R_g + R_{se})$$

$R_g$  – opór cieplny izolacji u spodu przestrzeni podpodłogowej.

Równoważny współczynnik przenikania ciepła od podpodłogowej przestrzeni powietrznej do środowiska zewnętrznego  $U_x$  oblicza się ze wzoru

$$U_x = \frac{2 h U_w}{B'} + \frac{1450 \varepsilon v f_w}{B'} \quad (19)$$

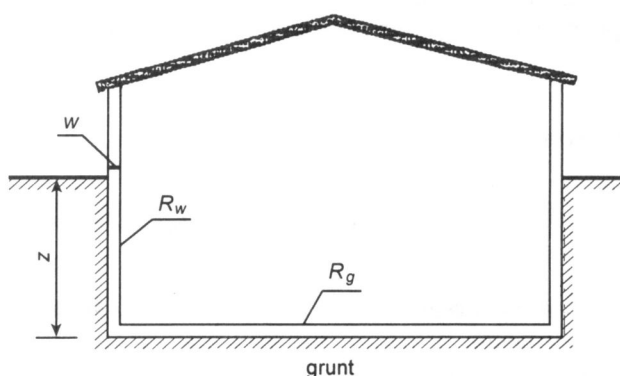
w którym:

- $h$  – wysokość górnej powierzchni podłogi ponad zewnętrzny poziom gruntu,
- $U_w$  – współczynnik przenikania ciepła ścian przestrzeni podpodłogowej nad poziomem gruntu obliczony według PN-EN ISO 6946:1999,
- $\varepsilon$  – stosunek pola otworów wentylacyjnych do obwodu przestrzeni podpodłogowej,
- $v$  – średnia wieloletnia prędkość wiatru na wysokości 10 m (przy braku bliższych danych można przyjąć 3,5 m/s),
- $f_w$  – czynnik osłony przed wiatrem, odnoszący prędkość wiatru na wysokości 10 m do prędkości wiatru na poziomie gruntu; wartości reprezentatywne podano w tabelcy 2.

Tabela 2. Wartości czynnika osłony przed wiatrem  $f_w$   
Table 2. Wind protection factor  $f_w$

Położenie	Przykład	Czynnik osłony przed wiatrem $f_w$
Osłonięte	centrum miasta	0,02
Przeciętne	przedmieście	0,05
Nieosłonięte	obszar wiejski	0,10

Przypadek podziemia ogrzewanego z pomieszczeniami ogrzewanymi poniżej poziomu terenu pokazano na rysunku 8, wraz z oznaczeniem przyjmowanych wymiarów i określeń.



Rys. 8. Budynek z ogrzewanym podziemiem  
Fig. 8. Building with heated basement

Stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego  $L_s$  jest określony w tym przypadku wzorem

$$L_s = A U_{bf} + z P U_{bw} \quad (20)$$

Jeżeli  $\left(d_t + \frac{1}{2} z\right) < B'$  (podłogi nie izolowane lub lekko izolowane), to do obliczenia współczynnika przenikania ciepła podłogi podziemia stosuje się wzór

$$U_{bf} = \frac{2 \lambda}{\pi B' + d_t + \frac{z}{2}} \ln \left( \frac{\pi B'}{d_t + \frac{z}{2}} + 1 \right) \quad (21)$$

Jeżeli  $\left(d_t + \frac{1}{2} z\right) \geq B'$  (podłogi dobrze izolowane), to stosuje się wzór

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457 B' + d_t + \frac{z}{2}} \quad (22)$$

Współczynnik przenikania ciepła ścian podziemia oblicza się ze wzoru

$$U_{bw} = \frac{2 \lambda}{\pi z} \left( 1 + \frac{0,5 d_t}{d_t + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (23)$$

Równoważną grubość izolacji podłogi podziemia oblicza się ze wzoru (5) jak poprzednio, a równoważną grubość izolacji ścian podziemia – ze wzoru

$$d_w = w + \lambda \left( R_{si} + R_w + R_{se} \right) \quad (24)$$

W przypadku podziemia nieogrzewanego, wentylowanego powietrzem zewnętrznym, stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego  $L_s$  jest określony wzorem

$$L_s = A U \quad (25)$$

Współczynnik przenikania ciepła otrzymuje się ze wzoru

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{A U_{bf} + z P U_{bw} + h P U_w + 0,33 n V} \quad (26)$$

w którym:

- $U_f$  – współczynnik przenikania ciepła stropu (pomiędzy środowiskiem wewnętrznym i podziemiem),
- $U_w$  – współczynnik przenikania ciepła ścian podziemia powyżej poziomu gruntu,
- $n$  – krotność wymiany powietrza,
- $V$  – objętość powietrza w podziemiu.

Z braku dokładniejszych danych można przyjąć wartość  $n$  równą 0,3 wymian powietrza na godzinę.

$U_f$  i  $U_w$  oblicza się według PN-EN ISO 6946:1999.

$U_{bf}$  i  $U_{bw}$  oblicza się jak w przypadku podziemia ogrzewanego.

Prowadzenie obliczeń według powyższych wzorów jest kłopotliwe; w podanych dalej analizach i przykładach obliczeniowych wykorzystano oprogramowanie SOLVE.EQN palmtopa HP 200L, zainstalowane na PC, zapisując w nim poszczególne postaci wyrażań na stacjonarny współczynnik sprzężenia.

**Przykład 1.** Obliczyć stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego podłogi bez izolacji krawędziowej przy następujących danych:

- pole powierzchni podłogi  $A = 100 \text{ m}^2$ ,
- obwód podłogi  $P = 40 \text{ m}$ ,
- grubość ścian zewnętrznych  $w = 0,30 \text{ m}$ ,
- przewodność cieplna gruntu  $\lambda = 1,50 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ,
- opór cieplny podłogi  $R_f = 1,25 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ .

$$\text{Obliczamy } B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P} = 5,0 \text{ m} \text{ i } d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}) = 2,43 \text{ m}.$$

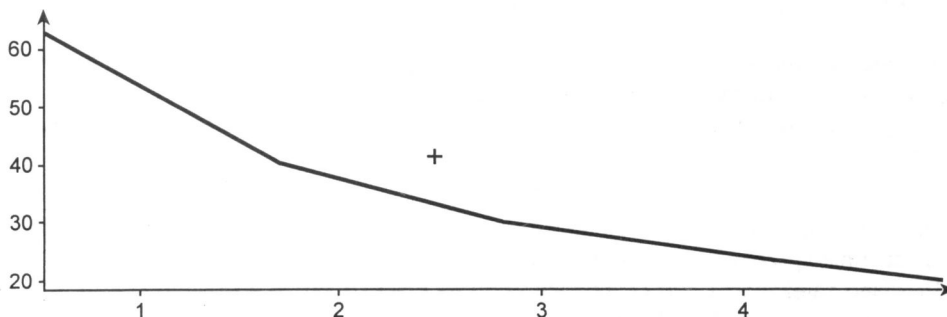
Stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego otrzymany przy zastosowaniu tych danych wynosi

$$L_s = 33,25 \text{ W/K}.$$

Jeśli powtórzmy obliczenia, przyjmując  $A = 400 \text{ m}^2$ ,  $P = 80 \text{ m}$ , to otrzymamy stacjonarny współczynnik sprzężenia 93,39 W/K, a więc wzrost  $L_s$  jest słabszy niż wzrost pola powierzchni podłogi.

Przeanalizujmy, jak wpływa zmiana oporu cieplnego podłogi na stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego. Wartości  $R_f$  równej 0 odpowiada wartość  $d_t$  równa 0,55 m, wartości  $R_f$  równej  $3 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$  odpowiada wartość  $d_t$  równa 5,05 m.

Przebieg zależności  $L_s$  od  $d_t$  przedstawiono na rysunku 9; ze wzrostem  $R_f$  wartość  $L_s$  zmniejsza się od około 58 W/K do około 19 W/K, a więc około trzykrotnie.



Rys. 9. Zależność stacjonarnego współczynnika sprzężenia od  $d_t$   
Fig. 9. Dependence of stationary coupling coefficient upon  $d_t$

**Przykład 2.** Obliczyć stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego podłogi z poziomą izolacją krawędziową przy danych jak w przykładzie 1, a ponadto zawierających:

- szerokość izolacji krawędziowej  $D = 1,2$  m,
- grubość izolacji krawędziowej  $d_n = 0,05$  m,
- opór cieplny izolacji krawędziowej  $R_n = 1,25$  m<sup>2</sup>·K/W.

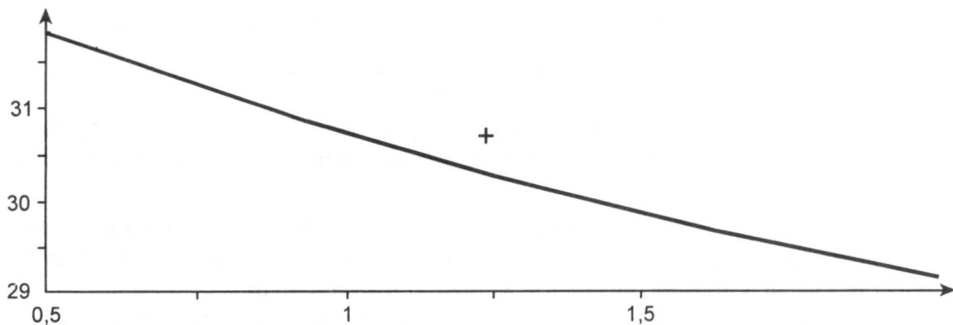
Z równania (15)  $R' = 1,25 - \frac{0,05}{1,50} = 1,22$  m<sup>2</sup>·K/W, a stąd z równania (14)  $d^* = 1,22 \cdot 1,50 = 1,83$  m.

Stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego otrzymany przy zastosowaniu tych danych wynosi

$$L_s = 30,32 \text{ W/K.}$$

Przeanalizujmy, jak wpływa zmiana szerokości izolacji krawędziowej na stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego. Załóżmy zmienność  $D$  od 0,5 m do 2,0 m.

Przebieg zależności  $L_s$  od  $D$  przedstawiono na rysunku 10; ze wzrostem  $D$  wartość zmniejsza się nieznacznie (od około 31,8 W/K do około 29 W/K, a więc tylko o około 10%). Występujące w polskich przepisach wymaganie szerokości izolacji krawędziowej równej 1,0 m należy ocenić jako dobrze trafione, choć powstało ćwierć wieku temu.



Rys. 10. Zależność stacjonarnego współczynnika sprzężenia od  $D$  (izolacja pozioma)

Fig. 10. Dependence of stationary coupling coefficient upon  $D$  (horizontal insulation)

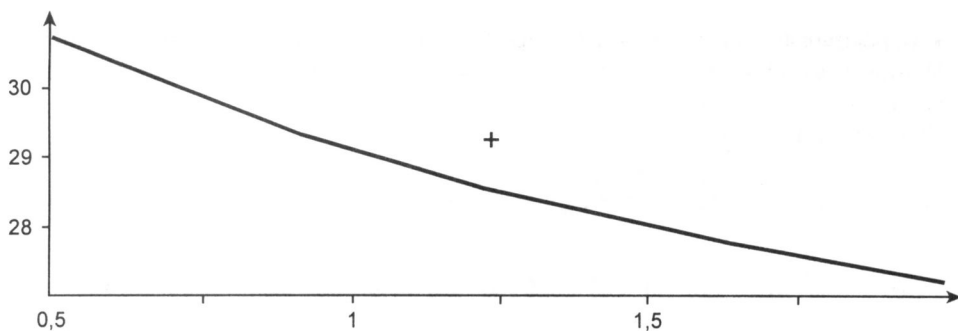
**Przykład 3.** Obliczyć stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego podłogi z pionową izolacją krawędziową przy danych jak w przykładzie 2.

Stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego przy zastosowaniu tych danych wynosi

$$L_s = 28,66 \text{ W/K.}$$

Przeanalizujmy, jak wpływa zmiana szerokości izolacji krawędziowej na stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego. Załóżmy zmienność  $D$  od 0,5 m do 2,0 m.

Przebieg zależności  $L_s$  od  $D$  przedstawiono na rysunku 11; ze wzrostem  $D$  wartość  $L_s$  zmniejsza się od około 31,6 W/K do około 28 W/K, a więc o około 12%, podobnie jak w przykładzie poprzednim. Jak widać, orientacja izolacji krawędziowej nie ma większego znaczenia.



Rys. 11. Zależność stacjonarnego współczynnika sprzężenia od  $D$  (izolacja pionowa)  
 Fig. 11. Dependence of stationary coupling coefficient upon  $D$  (vertical insulation)

**Przykład 4.** Obliczyć stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego podłogi podniesionej przy danych jak w przykładzie 1, poszerzonych o dane następujące:

- współczynnik przenikania ciepła ścian przestrzeni podpodłogowej nad poziomem terenu  $U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- wysokość  $h$  górnej powierzchni podłogi ponad zewnętrzny poziom gruntu  $0,7 \text{ m}$ ,
- współczynnik przenikania ciepła podłogi podniesionej  $U_f = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- powierzchnia otworów wentylacyjnych  $\varepsilon = 0,05 \text{ m}^2/\text{m}$ ,
- czynnik osłony przed wiatrem  $f_w = 0,05$ ,
- prędkość wiatru  $v = 3,5 \text{ m/s}$ .

Stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego przy powyższych danych wynosi

$$L_s = 51,59 \text{ W/K}$$

**Przykład 5.** Obliczyć współczynnik przenikania ciepła i stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego podziemia ogrzewanego przy zastosowaniu danych jak w przykładzie 1, a ponadto obejmujących:

- opór cieplny ścian podziemia  $R_w = 1,40 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ,
- głębokość podłogi poniżej poziomu terenu  $z = 1,2 \text{ m}$ .

Ze wzoru (5) obliczamy równoważną grubość izolacji podłogi podziemia:

$$d_f = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}) = 0,3 + 1,50 (0,13 + 1,25 + 0,04) = 2,43 \text{ m}.$$

Ze wzoru (21) obliczamy równoważną grubość izolacji ścian podziemia:

$$d_w = w + \lambda (R_{si} + R_w + R_{se}) = 0,3 + 1,50 (0,13 + 1,40 + 0,04) = 2,66 \text{ m}.$$

Przyjęty ze wzoru (26) stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego  $L_s$  wynosi

$$L_s = 48,15 \text{ W/K}$$

**Przykład 6.** Obliczyć współczynnik przenikania ciepła i stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego podziemia nieogrzewanego przy danych jak w przykładzie 1, a ponadto obejmujących:

- krotność wymian powietrza  $n = 0,3 \text{ h}^{-1}$ ,
- współczynnik przenikania ciepła stropu nad podziemiem  $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,

• współczynnik przenikania ciepła ścian podziemia powyżej poziomu gruntu  $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .  
Wartości współczynnika przenikania ciepła podłogi podziemia i ścian podziemia  
przyjmujemy jak w przykładzie 1.

Ze wzoru (26) obliczamy

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{A U_{bf} + z P U_{bw} + h P U_w + 0,33 n V} =$$

$$= \frac{1}{0,60} + \frac{100}{100 \cdot 0,29 + 1,20 \cdot 40 \cdot 0,40 + 0,60 \cdot 40 \cdot 0,80 + 0,33 \cdot 0,3 \cdot 180} = 2,84 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

a stąd  $U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,

$$L_s = 100 \cdot 0,35 = 35 \text{ W/K.}$$

Średnią roczną temperaturę przestrzeni podpodłogowej oblicza się ze wzoru

$$\bar{T}_{us} = \frac{A U_f \bar{T}_i + \dot{V} c_p \rho T_v + (A U_{bf} + h P U_w) \bar{T}_e}{A U_f + \dot{V} c_p \rho + A U_{bf} + h P U_w} \quad (27)$$

w którym:

$\bar{T}_{us}$  – średnia roczna temperatura w przestrzeni podpodłogowej,

$\bar{T}_i$  – średnia roczna temperatura wewnętrzna,

$\bar{T}_e$  – średnia roczna temperatura zewnętrzna,

$\bar{T}_v$  – średnia roczna temperatura powietrza wentylacyjnego,

$U_f$  – współczynnik przenikania ciepła podniesionej części podłogi,

$U_{bf}$  – współczynnik przenikania ciepła gruntu,

$U_w$  – współczynnik przenikania ciepła ścian przestrzeni podpodłogowej (powyżej poziomu gruntu),

$\dot{V}$  – objętościowy strumień przepływu powietrza,

$h$  – wysokość podłogi podniesionej powyżej poziomu gruntu,

$c_p$  – ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu,

$\rho$  – gęstość powietrza.

**Przykład 7.** Obliczyć średnią roczną temperaturę w przestrzeni podpodłogowej ze wzoru (27).

Przyjmijmy dane:

- średnia roczna temperatura wewnętrzna  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- średnia roczna temperatura zewnętrzna  $8,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- średnia roczna temperatura powietrza wentylacyjnego  $8,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- współczynnik przenikania ciepła podniesionej części podłogi  $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- współczynnik przenikania ciepła gruntu  $0,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- współczynnik przenikania ciepła ścian przestrzeni podpodłogowej  $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,
- objętościowy strumień przepływu powietrza  $0,3 \cdot 70 = 21 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0058 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- wysokość podłogi podniesionej powyżej poziomu gruntu  $0,7 \text{ m}$ ,
- ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu  $1005 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ,
- gęstość powietrza  $1,25 \text{ kg}/\text{m}^3$ .



Stąd ze wzoru (27) średnia roczna temperatura w przestrzeni podpodłogowej

$$\bar{T}_{us} = \frac{100 \cdot 0,60 \cdot 20,0 + 0,0058 \cdot 1005 \cdot 1,25 \cdot 8,0 + (100 \cdot 0,29 + 0,7 \cdot 40 \cdot 0,8) 8,0}{100 \cdot 0,60 + 21 \cdot 0,0058 \cdot 1,25 + 100 \cdot 0,29 + 0,7 \cdot 40 \cdot 0,8} = 17,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### 4. Obliczanie periodycznego strumienia ciepłego przez grunt według PN-EN ISO 13370:2001

Składnik periodyczny jest związany z wahaniami temperatury wewnętrznego i zewnętrznego powietrza odbywającymi się wokół odpowiednich wartości średnich zgodnie ze wzorami

$$T_{i,m} = \bar{T}_i - \hat{T}_i \cos\left(2\pi \frac{m-\tau}{12}\right) \quad (28)$$

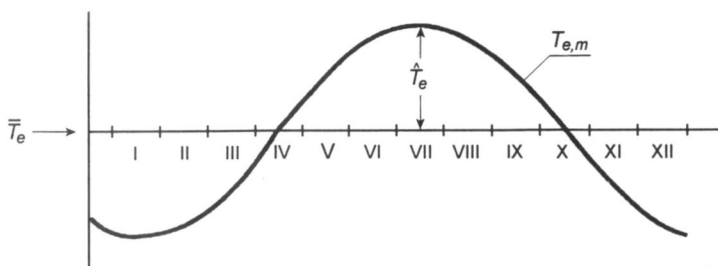
$$T_{e,m} = \bar{T}_e - \hat{T}_e \cos\left(2\pi \frac{m-\tau}{12}\right) \quad (29)$$

w których:

- $T_{i,m}$  – średnia miesięczna temperatura wewnętrzna w miesiącu  $m$ ,  $^\circ\text{C}$ ,
- $\bar{T}_i$  – średnia roczna temperatura wewnętrzna,  $^\circ\text{C}$ ,
- $\hat{T}_i$  – amplituda wahań średniej miesięcznej temperatury wewnętrznej, K,
- $T_{e,m}$  – średnia miesięczna temperatura zewnętrzna miesiąca  $m$ ,  $^\circ\text{C}$ ,
- $\bar{T}_e$  – średnia roczna temperatura zewnętrzna,  $^\circ\text{C}$ ,
- $\hat{T}_e$  – amplituda wahań średniej miesięcznej temperatury zewnętrznej, K,
- $m$  – numer miesiąca ( $m = 1$  dla stycznia,  $m = 12$  dla grudnia),
- $\tau$  – numer miesiąca o najniższej temperaturze zewnętrznej.

Generalnie można przyjąć dla półkuli północnej  $\tau = 1$ , a dla półkuli południowej  $\tau = 7$ . To samo dotyczy temperatury wewnętrznej.

Rysunek 12 przedstawia definicję  $\bar{T}_e$  i  $\hat{T}_e$ .



Rys. 12. Roczne wahania temperatury powietrza zewnętrznego (na półkuli północnej)  
Fig. 12. Annual variations of external air temperature (northern hemisphere).

Zgodnie z PN-EN ISO 13370:2000 istnieją trzy możliwości obliczeń strumienia ciepłego:

- obliczanie oddzielnie dla każdego miesiąca,
- obliczenie średniej wartości podczas sezonu ogrzewczego,
- obliczenie średniej rocznej wartości.

Strumień ciepły w miesiącu  $m$  jest określony wzorem

$$\Phi_m = L_s (\bar{T}_i - \bar{T}_e) - L_{pi} \hat{T}_i \cos \left( 2\pi \frac{m - \tau + \alpha}{12} \right) + L_{pe} \hat{T}_e \cos \left( 2\pi \frac{m - \tau - \beta}{12} \right) \quad (30)$$

w którym:

$L_s$  – stacjonarny współczynnik sprzężenia ciepłego, W/K,

$L_{pi}$  – wewnętrzny periodyczny współczynnik sprzężenia ciepłego, W/K,

$L_{pe}$  – zewnętrzny periodyczny współczynnik sprzężenia ciepłego, W/K,

$\alpha, \beta$  – przesunięcia fazowe, w miesiącach,

$\alpha$  – czas wyprzedzenia cyklu przepływu ciepła względem cyklu temperatur wewnętrznych, w miesiącach,

$\beta$  – czas opóźnienia cyklu przepływu ciepła względem cyklu temperatur zewnętrznych, w miesiącach.

Wartości przybliżone przesunięć fazowych w przypadku podłóg typu „płyta na gruncie” określa się ze wzorów

$$\alpha = 1,5 - \frac{12}{2\pi} \arctan \left( \frac{d_t}{d_t + \delta} \right) \quad (31)$$

$$\beta = 1,5 - 0,42 \ln \left( \frac{\delta}{d_t + 1} \right) \quad (32)$$

Izolacja krawędziowa płyty na gruncie, szczególnie pionowa lub na zewnątrz budynku, może wyraźnie podwyższyć opóźnienie fazowe w stosunku do wahań temperatury zewnętrznej. W przypadku podłóg podniesionych efekty są mniejsze, ponieważ strumień ciepły wentylacji nie ma przesunięcia fazowego. W przypadku podziemi o głębokości porównywalnej z  $\delta$  lub większej  $d_t$  w równaniach (31) i (32) zastępuje się przez  $d_w$ .

Przesunięcia fazowe (w miesiącach) dotyczące różnego rodzaju podłóg zostały przedstawione w tablicy 3.

Tablica 3. Przesunięcia fazowe (w miesiącach)

Table 3. Phase lag (in months)

Rodzaj podłogi	$\alpha$	$\beta$
Płyta na gruncie bez izolacji krawędziowej	0	1
Płyta na gruncie z poziomą izolacją krawędziową od strony pomieszczenia	0	1
Płyta na gruncie z pionową lub zewnętrzną izolacją krawędziową	0	2
Podłoga podniesiona	0	0
Podziemie (ogrzewane lub nieogrzewane)	0	1

W obliczeniach średniej wartości podczas sezonu ogrzewczego można zwykle pominąć efekt przesunięcia fazowego między przepływem ciepła i wahaniami temperatury. Średni strumień ciepły przepływający przez grunt w sezonie ogrzewczym określa się z wartości średniej członów cosinusowych w równaniu (30) w czasie sezonu ogrzewczego:

$$\bar{\Phi} = L_s (\bar{T}_i - \bar{T}_e) - \gamma L_{pi} \hat{T}_i + \gamma L_{pe} \hat{T}_e \quad (33)$$

w którym wartość  $\gamma$ , zależną od długości sezonu ogrzewczego, otrzymuje się z równania (34):

$$\gamma = \frac{12}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi}{12}\right) \quad (34)$$

w którym  $n$  – liczba miesięcy w sezonie ogrzewczym.

Równanie (33) można również stosować do obliczeń strat ciepła w poszczególnych miesiącach w przypadkach, gdy nie trzeba uwzględniać zmienności strat ciepła do gruntu pomiędzy miesiącami. Ma to taki skutek, że straty do gruntu są traktowane jako człon stały, stąd straty na końcach sezonu ogrzewczego są zawyżone, a straty w środku sezonu ogrzewczego – заниżone.

Jeżeli nie są znane  $\hat{T}_i$ ,  $\hat{T}_e$  lub długość sezonu ogrzewczego, albo jeśli są wymagane tylko przybliżone straty ciepła do gruntu, to strumień ciepła do gruntu można przyjąć jako człon stały, równy składnikowi stacjonarnemu:

$$\Phi_{av} + L_s (\bar{T}_i - \bar{T}_e) \quad (35)$$

Jest to często wystarczające przybliżenie, zwłaszcza jeżeli sezon ogrzewczy jest długi lub jeżeli  $\hat{T}_i$  i  $\hat{T}_e$  mają przeciwne oddziaływanie na przepływ ciepła.

Całkowita ilość ciepła  $Q$  przepływająca przez grunt jest całą strumienia ciepła, co można wyrazić sumą wartości miesięcznych:

$$Q = \sum_{m=m_1}^{m_2} Q_m \quad (36)$$

$$Q_m = 86400 N_m \Phi_m \quad (37)$$

gdzie:  $Q_m$  – ilość ciepła przepływająca w miesiącu  $m$ , J,

$N_m$  – liczba dni w miesiącu  $m$ ,

$\Phi_m$  – strumień ciepły w miesiącu  $m$ , W,

$m_1$  – pierwszy miesiąc sezonu ogrzewczego,

$m_2$  – ostatni miesiąc sezonu ogrzewczego,

86 400 – liczba sekund w dobie.

Występujące w powyższych wzorach periodyczne współczynniki sprzężenia cieplnego, wewnętrzny  $L_{pi}$  i zewnętrzny  $L_{pe}$ , są określone wzorami:

**Podłoga typu „płyta na gruncie”**

$$L_{pi} = A \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta/d_t)^2 + 1}} \quad (38)$$

$$L_{pe} = 0,37 P \lambda \ln \left( \frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \quad (39)$$

**Podłoga typu „płyta na gruncie, z izolacją krawędziową”**

• Przy rozpatrywaniu wahań temperatury wewnętrznej izolacja krawędziowa jest pomijana, a  $L_{pi}$  oblicza się według wzoru (38).

• Przy rozpatrywaniu wahań temperatury zewnętrznej  $L_{pe}$  składa się z dwu członów, z których jeden jest związany z krawędzią, a drugi ze środkiem podłogi.

• W przypadku podłóg z poziomą izolacją krawędziową

$$L_{pe} = 0,37 P \lambda \left[ \left(1 - e^{-D/\delta}\right) \ln \left( \frac{\delta}{d_t + d'} + 1 \right) + e^{-D/\delta} \ln \left( \frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \right] \quad (40)$$

gdzie:  $D$  – szerokość poziomej izolacji krawędziowej, m,

$d'$  – według równań (14) i (15).

• W przypadku podłóg z pionową izolacją krawędziową

$$L_{pe} = 0,37 P \lambda \left[ \left(1 - e^{-D/\delta}\right) \ln \left( \frac{\delta}{d_t + d'} + 1 \right) + e^{-2D/\delta} \ln \left( \frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \right] \quad (41)$$

gdzie:  $D$  – głębokość pionowej izolacji krawędziowej (lub fundamentu) poniżej poziomu gruntu, m,

$d_t$  – według równania (5),

$d'$  – według równań (14) i (15).

**Podłoga podniesiona**

Wartości  $U_f$ ,  $U_x$  i  $U_g$  – jak zdefiniowano w objaśnieniach do wzoru 17.

• Przy rozpatrywaniu wahań temperatury wewnętrznej

$$L_{pi} = A \left( \frac{1}{U_f} + \frac{1}{\frac{\lambda}{\delta} + U_x} \right)^{-1} \quad (42)$$

- Przy rozpatrywaniu wahań temperatury zewnętrznej

$$L_{pe} = U_f \frac{0,37 P \lambda \ln \left( \frac{\delta}{d_g} + 1 \right) + U_x A}{\frac{\lambda}{\delta} + U_x + U_f} \quad (43)$$

### Podziemie ogrzewane

Współczynnik sprzężenia cieplnego związany z wahaniami temperatury wewnętrznej składa się z dwu członów, z których jeden odnosi się do ścian podziemia, a drugi – do podłogi:

$$L_{pi} = A \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta/d_t)^2 + 1}} + z P \frac{\lambda}{d_w} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta/d_w)^2 + 1}} \quad (44)$$

Współczynnik sprzężenia cieplnego związany z wahaniami temperatury zewnętrznej składa się z dwu członów, z których jeden odnosi się do ścian podziemia, a drugi do podłogi:

$$L_{pe} = 0,37 P \lambda \left[ 2 \left( 1 - e^{-z/\delta} \right) \ln \left( \frac{\delta}{d_w} + 1 \right) + e^{-zH/\delta} \ln \left( \frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \right] \quad (45)$$

### Podziemie nieogrzewane

Współczynnik sprzężenia cieplnego związany z wahaniami temperatury wewnętrznej

$$L_{pi} = \left[ \frac{1}{A U_f} + \frac{1}{(A + H P) \frac{\lambda}{\delta} + h P U_w + 0,33 n V} \right]^{-1} \quad (46)$$

Współczynnik sprzężenia cieplnego związany z wahaniami temperatury zewnętrznej

$$L_{pe} = \left[ A U_f \frac{0,37 P \lambda \left( 2 - e^{-z/\delta} \right) \ln \left( \frac{\delta}{d_t} + 1 \right) + H P U_w + 0,33 n V}{A + z P U_w + 0,33 n V + A U_f} \right]^{-1} \quad (47)$$

**Przykład 8:** Obliczyć strumień cieplny w poszczególnych miesiącach dla budynku z podłogą bez izolacji krawędziowej z przykładu 1, z izolacją o oporze cieplnym  $1,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  na całej powierzchni, lokalizacja Białystok.

Średnie miesięczne temperatury powietrza zewnętrznego przyjęto według załącznika B do PN-B-02025:1999:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	°C
-4,8	-4,2	-0,3	6,6	12,4	16,5	17,6	16,6	12,2	7,1	2,3	-2,0	

Jako temperaturę wewnętrzną przyjęto 20 °C w styczniu i 23 °C w lipcu.  
Średnie roczne temperatury:

- wewnętrzna:  $\bar{T}_i = \frac{20 + 23}{2} = 21,5 \text{ °C}$
- zewnętrzna:  $\bar{T}_e = 6,7 \text{ °C}$

Amplituda temperatury

- wewnętrznej:  $\hat{T}_i = \frac{23 - 20}{2} = 1,5 \text{ K}$
- zewnętrznej:  $\hat{T}_e = \frac{17,6 + 4,8}{2} = 11,2 \text{ K}$

Przyjęto jak w przykładzie 1:

$P = 40 \text{ m}$ ;  $A = 100 \text{ m}^2$ ;  $B' = 5,00 \text{ m}$ ;  $\lambda = 1,5 \text{ W/(m·K)}$ ;  $d_t = 2,43 \text{ m}$ ;  $L_s = 33,25 \text{ W/K}$ .

Z tablicy 1:  $\delta = 2,2 \text{ m}$

Ze wzoru (38):

$$L_{pi} = 100 \frac{1,5}{2,43} \sqrt{\frac{2}{(1 + 2,2/2,43)^2 + 1}} = 30,37 \text{ W/K}$$

Ze wzoru (39):

$$L_{pe} = 0,37 \cdot 100 \cdot 1,5 \ln\left(\frac{2,2}{2,43} + 1\right) = 35,78 \text{ W/K}$$

Przyjmując  $\tau = 1$ ,  $\alpha = 0$  i  $\beta = 1$  można obliczyć strumień ciepły w każdym miesiącu ze wzoru (30):

$$\begin{aligned} \Phi_m &= 33,25 (21,5 - 6,7) - 30,37 \cdot 1,5 \cos\left(2\pi \frac{m-1}{12}\right) + 35,78 \cdot 11,2 \cos\left(2\pi \frac{m-2}{12}\right) = \\ &= 492,1 - 45,6 \cos\left(2\pi \frac{m-1}{12}\right) + 400,7 \cos\left(2\pi \frac{m-2}{12}\right) \end{aligned}$$

jak niżej:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	W
793,5	853,3	816,3	692,5	514,9	341,2	190,7	130,9	167,9	291,8	469,3	653,0	

Jeżeli sezon ogrzewczy rozpoczyna się od początku września, a kończy się w końcu maja (9 miesięcy), to z powyższych danych otrzymuje się średni strumień ciepły w sezonie równy 583,6 W.

Alternatywnie, pomijając przesunięcie fazowe, z równania (33) otrzymuje się średni strumień ciepły w sezonie ogrzewczym:

$$\bar{\Phi} = 33,25 (21,5 - 6,7) - 0,3 \cdot 30,37 \cdot 1,5 + 0,3 \cdot 35,78 \cdot 11,2 = 492,1 - 13,7 + 120,2 = 598,6 \text{ W}$$

bliski wartości obliczonej wyżej.

Jak widać, przesunięcie fazowe ma niewielki wpływ na średni strumień ciepły w sezonie ogrzewczym.

## 5. Podsumowanie

Ustanowiona niedawno PN-EN ISO 13370:2001 daje możliwość obliczania maksymalnej (na potrzeby obliczania szczytowej mocy cieplnej) i średniej w sezonie ogrzewczym (na potrzeby obliczania sezonowego zapotrzebowania na ciepło) wartości strumienia ciepła przenoszonego z budynku przez grunt. Autor spodziewa się, że powyższy tekst może się przysłużyć przybliżeniu zawartości normy jej użytkownikom.

Obliczenia według PN-EN ISO 13370:2001 są jednak dosyć żmudne i z pewnością nie zostaną zaakceptowane przez projektantów posługujących się tylko ręcznym kalkulatorem.

Celowe jest wprowadzenie algorytmów opisujących straty ciepła budynków przez grunt do programów obliczeniowych służących do obliczania szczytowej mocy cieplnej i sezonowego zapotrzebowania na ciepło, przeznaczonych dla projektantów.

## Bibliografia

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 14 grudnia 1994 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (tekst jednolity – załącznik do obwieszczenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 4 lutego 1999 r., DzU nr 15, poz. 140)
- [2] PN-B-03406:1994 Ogrzewnictwo. Obliczanie zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń o kubaturze do 600 m<sup>3</sup>
- [3] PN-B-02025:1999 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej
- [4] PN-EN ISO 13370:2001 Ciepłne właściwości użytkowe budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metody obliczania
- [5] Program KOBRA. PHYSIBEL c. V., Belgia

### HEAT LOSSES FROM BUILDING VIA THE GROUND AFTER PN-EN ISO 13370:2001

#### Summary

Heat transfer through building opaque elements in contact with external air can be considered as stationary one dimensional heat flow with special treatment of selected places with pointlike and linear thermal bridges. In case of contact with the ground the problem of heat transfer becomes more complicated. During past over 50 years several approaches to calculate heat losses to the ground have been done with no satisfactory results. The knowledge of heat transfer through the ground is necessary for calculation of heat peak power and of seasonal space heating requirements. In Poland the calculation of heat peak power and of seasonal space heating requirements is covered by two different standards with different algorithms of calculation of heat losses to the ground; it forms difficulties with preparation of common computer programs. The paper deals with demonstration of algorithms used in PN-EN ISO 13370:2001 „Heat transfer via the ground – Calculation methods”. They can be used for replacement of algorithms used till now in Polish standards for calculation of heat peak power and of seasonal space heating requirements. Especially they should be used in computer programs for calculation of these two quantities.

*Praca wpłynęła do Redakcji 22 IV 2002*