

dr hab. inż. Andrzej Dylla, prof. nadzw. UTP¹⁾mgr inż. arch. Ambela Dylla^{1)*}mgr inż. Paulina Rożek¹⁾

Straty ciepła

z ogrzewanego podziemia do gruntu

Heat losses from a heated underground to the soil

DOI: 10.15199/33.2015.05.34

(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. W artykule przedstawiono trzy metody obliczeń strat ciepła z ogrzewanego podziemia do gruntu: trójwymiarową metodę numeryczną, metodę przybliżoną oraz metodę orientacyjną. Przeprowadzono analizę pozwalającą na porównanie dokładności zastosowanych metod obliczeniowych. Udowodniono, że straty ciepła przez przegrody ogrzewanego podziemia do gruntu w istotny sposób uczestniczą w kształtowaniu bilansu energetycznego budynku i nie powinny być pomijane przy projektowaniu jego termoizolacyjności. Wyniki analiz wskazują na potrzebę znormalizowania wymagań cieplnych w odniesieniu do elementów (ścian i podłóg) podziemia ogrzewanego budynków.

Słowa kluczowe: przepływ ciepła, straty ciepła, podziemie ogrzewane.

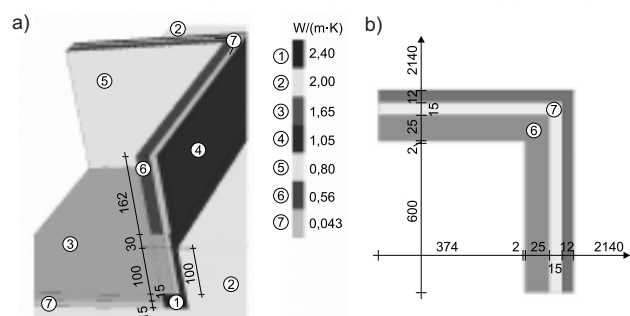
Abstract. In the paper three methods of heat losses calculation from the heated underground into the ground are presented: three-dimensional numerical method, the approximate method and the indicative method. The research allowing for accuracy comparison of used calculation methods was conducted. It has been proven that heat losses through the surface of the heated underground to soil make significant contribution in shaping energy balance of the building and should not be overlooked when designing its thermal shield. The results indicate the need to normalize the heat requirements in relation to elements (walls and floors) in heated building undergrounds.

Keywords: heat flow, heat loss, heated underground.

Analiza strat ciepła z ogrzewanego podziemia budynku do gruntu (a właściwie przez grunt do atmosfery) należy do rutynowych czynności w sporządzaniu charakterystyki energetycznej budynku. W rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych (WT) [1], z nieznanymi powodów nie ustalono wymagań ograniczających strumienie ciepła przenikające przez ściany i podłogi budynku w jego **ogrzewanym podziemiu**. W artykule udowodniono, że straty ciepła przez te powierzchnie wpływają w istotny sposób na bilans energetyczny budynku i nie powinny być pomijane przy projektowaniu jego termoizolacyjności.

Przebieg badań i obliczeń

W celu uzyskania materiału porównawczego przyjęto do badań budynek szczegółowo scharakteryzowany w pracy [2]. Jest to budynek podpiwniczony, ogrzewany, częściowo zagłębiony w gruncie na głębokość 1,0 m. Termiczną izolację ściany podziemia tworzy warstwa styropianu grubości 11 cm, a podłogi warstwa grubości 15 cm (rysunek).



Przekrój pionowy (a) i rzut (b) fragmentu budynku [2]
Vertical section (a) and floor plan (b) of the part of the building [2]

¹⁾ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

^{*)} Autor do korespondencji: e-mail: adylla@utp.edu.pl

Straty ciepła z ogrzewanego podziemia do gruntu mogą być obliczone jedną z trzech znanych metod:

1) trójwymiarową metodą numeryczną, reprezentującą najdokładniejsze wyniki w ramach przyjętego, opisanego modelu 3D wg PN-EN ISO 10211 [3];

2) przybliżoną metodą empiryczną wg PN-EN ISO 13370 [4] z poprawką uwzględniającą wpływy mostków cieplnych w złączeniu, uzyskane symulacją 2D;

3) metodą orientacyjną podaną w normie instalacyjnej PN-EN 12831 [5].

Interpretacja metod obliczeniowych

Trójwymiarowa metoda numeryczna. Umowna płaszczyzna a-a rozdzielająca wewnątrz strumienie ciepłone do atmosfery (H_D) i do gruntu (H_g) jest usytuowana w poziomie terenu. Strumień ciepłony L_{3D} składa się z dwóch składników: strumienia napływającego na ścianę fundamentową $L_{3D,w}$ i strumienia płynącego przez podłogę $L_{3D,f}$. Dodatkowy strumień ciepłony w strefie ponad gruntem, wywołany przez mostek ciepłony, jest zwykle włączony do wartości współczynnika H_g . Rezultatem obliczeń symulacyjnych 3D jest wartość strumienia L_{3D} i jego składowe – przez podłogę $L_{3D,f}$ i przez ścianę fundamentową $L_{3D,w}$. W tym ostatnim mieści się całkowity strumień ciepła przez ścianę ponad gruntem (a) w miejscu oddziaływania mostka. Wobec tego, aby otrzymać wartość współczynnika H_g , należy wartość sprzężenia L_{3D} pomniejszyć o należący do strumienia H_D przepływ jednowymiarowy $L_{1D,s}$ w części ponad płaszczyzną a-a do granicy obliczanego złącza (3g).

Współczynnik przenoszenia ciepła ogrzewanego podziemia wynosi [2]:

$$H_g = L_{3D} - L_{1D,s} \quad [W/K] \quad (1)$$

Można określić umowne średnie współczynniki [2]:

– przenikania ciepła z podłogi do gruntu:

$$U_{bf} = \frac{L_{3D,f}}{A_p} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (2)$$

Zagadnienia konstrukcyjne, materiałowe i ciepło-wilgotnościowe w budownictwie

– przenikania ciepła przez ścianę fundamentową do gruntu:

$$U_{bw} = \frac{L_{3D,w} - L_{1D,s}}{z \cdot l} [W/(m^2 \cdot K)] \quad (3)$$

W celach orientacyjnych można również określić średni współczynnik przenikania ciepła budynku przez grunt, odniesiony do podłogi budynku i ścian w gruncie [2]:

$$U = \frac{H_g}{A_p + z \cdot l} [W/(m^2 \cdot K)] \quad (4)$$

W dalszej analizie przyjęto wyniki symulacji 3D i obliczenia cieplne dla wskazanego podziemia podane w pracy [2], a mianowicie średni współczynnik przenikania ciepła przez grunt odniesiony do powierzchni podłogi budynku i zagłębionej w gruncie ściany podziemia:

$$U = \frac{0,25 \cdot H_g}{A_p + z \cdot l} = \frac{14,093}{22,44 + 1,0 \cdot 9,74} = 0,438 [W/(m^2 \cdot K)] [2]$$

Metoda przybliżona. Przyjęto w niej, że przepływ ciepła z całego podziemia wyraża równanie:

$$H_g = H_{bf} + H_{bw} = A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} \quad (5)$$

gdzie:

- A, P – wewnętrzna powierzchnia [m²] i obwód podłogi [m] z pominięciem grubości ścian zewnętrznych;
- U_{bf} – średnia wartość współczynnika przenikania ciepła podłogi (2D) [W/(m²·K)];
- U_{bw} – średnia wartość współczynnika przenikania ciepła ściany fundamentowej w styku z gruntem (2D) [W/(m²·K)].

Równanie (5) jest jednak niepełne i powinno zostać uzupełnione wartościami uwzględniającymi wpływ mostków cieplnych w złączu:

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi_{g,i} \quad (6)$$

a więc iloczynem P · Ψ_{g,i} oznaczających straty ciepła wywołane obecnością płaskich mostków w granicach złącza na jego krawędzi P, obliczone symulacją 2D zgodnie z PN-EN ISO 10211 [3]. Obliczenia dokonano w pracy [2], uzyskując w przypadku podziemia:

- średnią wartość współczynnika przenikania ciepła podłogi U_{bf} [W/(m²·K)]:

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5z} = 0,190 [W/(m^2 \cdot K)]$$

- średnią wartość współczynnika przenikania ciepła ściany podziemia U_{bw}:

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi \cdot z} \left(1 + \frac{0,5d_w}{d_w + z} \right) \cdot \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) = 0,285 [W/(m^2 \cdot K)]$$

W drugim etapie obliczeń przeprowadzono symulację komputerową wg PN-EN ISO 10211 [2] i uzyskano wyniki:

- średni współczynnik przenikania ciepła przez grunt ogrzewanego podziemia U wynosi:

$$U = \frac{H_g}{A + z \cdot P} = \frac{51,53}{89,76 + 1 \cdot 38,96} = 0,40 [W/(m^2 \cdot K)]$$

- liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi_{g,i} = 0,6 W/(m \cdot K)$$

Metoda orientacyjna nie uwzględnia wpływu mostków cieplnych, dlatego też może być akceptowana tylko jako metoda pomocnicza, przy obliczaniu instalacji centralnego ogrzewania w budynkach. Współczynnik przenoszenia ciepła przez grunt oblicza się w przypadku ogrzewanego podziemia wg zależności [5]:

$$H_g = f_{g1} \cdot (A \cdot U_{eq,bf} + z \cdot P \cdot U_{eq,bw}) \quad (7)$$

gdzie:

- f_{g1} – współczynnik korekcyjny uwzględniający wpływ rocznych wahań temperatury zewnętrznej, którego wartość ustalona na poziomie krajowym wynosi 1,45;
- U_{eq,bf}, U_{eq,bw} – równoważne współczynniki przenikania ciepła przez podłogę i ściany podziemia w kontakcie z gruntem, interpolowane z tablic normy [5];

$$H_g = 1,45(88,76 \cdot 0,16 + 1,0 \cdot 38,96 \cdot 0,34) = 40,03 [W/K]$$

- średni współczynnik przenikania ciepła przez grunt ogrzewanego podziemia U wynosi:

$$U = \frac{H_g}{A + z \cdot P} = \frac{40,03}{89,76 + 1 \cdot 38,96} = 0,311 [W/(m^2 \cdot K)]$$

Analiza dokładności metod

Przeprowadzane symulacje i analizy pozwalają na porównanie dokładności zastosowanych metod obliczeniowych. Wartości dwóch parametrów – współczynnika przenoszenia ciepła przez grunt oraz średniego współczynnika przenikania ciepła przez ściany i podłogę ogrzewanego podziemia, decydujących o jakości cieplnej rozwiązania, zestawiono w tabeli.

Parametry cieplne budynków z ogrzewanym podziemem, obliczone różnymi metodami

Thermal parameters of buildings with heated underground calculated by different methods

Metoda obliczeń	H _g [W/K]	U [W/(m ² ·K)]	Zalecane stosowanie
Trójwymiarowa numeryczna, symulacja 3D (PN-EN ISO 10211)	56,572*	0,438*	+
Przybliżona wg PN-EN ISO, mostki (PN-EN ISO 10211)	51,53*	0,400*	+/-
Orientacyjna wg PN-EN 12831	40,03	0,311	-

* wyniki podane w pracy [2]

Wyniki analiz jednoznacznie wskazują, że konieczne jest znormalizowanie wymagań cieplnych w odniesieniu do elementów podziemia ogrzewanego budynków. Mimo pozornie dobrego ocieplenia tych elementów (ściana warstwą styropianu grubości 11 cm, podłoga w podziemiu warstwą styropianu grubości 15 cm), istniejący w złączu ściany z podłogą mostek cieplny nie pozwala ograniczyć płynących strumieni ciepła. W rezultacie współczynnik przenikania ciepła w zagłębionej w gruncie części budynku jest bardzo wysoki. Wykonane porównania wskazują jednocześnie na potrzebę używania w obliczeniach sprawdzonych metod numerycznych. Metoda przybliżona nie jest wystarczająco dokładna, a orientacyjne szacowanie wg PN-EN 12831 nie służy nawet dokładniejszemu obliczeniu i zaprojektowaniu sieci instalacji centralnego ogrzewania.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2013, poz. 926).
- [2] Dylla A., 2015 r. Fizyka cieplna budowlanej w praktyce. Obliczenia ciepło-wilgotnościowe. Wydawnictwa PWN SA Warszawa (w przygotowaniu).
- [3] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [4] PN-EN ISO 13370:2008 Ciepłota właściwości użytkowe budynków. Przenoszenie ciepła przez grunt. Metody obliczania.
- [5] PN-EN 12831:2006 Instalacje grzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.

Otrzymano 08.01.2015 r.