

BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Jerzy A. Pogorzelski*

UPROSZCZONE OBLICZANIE STRAT CIEPŁA Z BUDYNKU PRZEZ GRUNT ZGODNE Z PN-EN ISO 13370

Znajomość strumienia strat ciepła przez grunt jest potrzebna do obliczania szczytowej mocy cieplnej i sezonowego zapotrzebowania na ciepło. Podczas gdy 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, to w przypadku kontaktu z gruntem problem przenoszenia ciepła staje się bardziej skomplikowany. Obliczenia zgodnie z PN-EN ISO 13370 *Przenoszenie ciepła przez grunt. Metody obliczania* są bardzo pracochłonne. W artykule podano metodę uproszczonych obliczeń strat ciepła z budynku przez grunt dającą wyniki zgodne z PN-EN ISO 13370 i dogodną do ręcznego kalkulatora. Wyprowadzono użyteczne wzory dla podłogi typu „płyta na gruncie”, podłogi podwieszanej i podłogi nieogrzewanego podziemia.

1. Wprowadzenie

W obliczeniach strat ciepła budynku do otoczenia szczególnie problem stwarza ocena strat ciepła przez grunt. Sposób obliczania został ujęty w PN-EN ISO 13370 [1] (powstałej w drodze tłumaczenia EN ISO 13370), przy czym zakres przedmiotowy tej normy jest szerszy: rozpatruje się w niej wiele zagadnień specjalnych, między innymi podłogi chłodni i sztucznych lodowisk oraz podłogi z systemem ogrzewania wychodzące poza obszar obliczania strat ciepła przez grunt.

Obszerną prezentację sposobu obliczeń strat ciepła przez grunt według PN-EN ISO 13370:2001 wraz z analizą podanych w normie zależności i ilustracją ich przykładami obliczeniowymi podano w pracy [2]. Jak wynika z tych przykładów, obliczenia zgodne z PN-EN ISO 13370 są dość żmudne; do ich wykonywania autor korzystał z emulacji oprogramowania SOLVE.EQN palmtopa HP 200L na PC. Obliczenia te z pewnością nie będą akceptowane przez projektantów posługujących się tylko ręcznym kalkulatorem.

Jeden z dyplomantów autora opracował program komputerowy do obliczeń strat ciepła przez grunt [3]. Program ten jest bardzo wygodny w użytkowaniu i autor korzystał

* prof. dr hab. inż. – Zakład Fizyki Ciepłej ITB

z niego przy opracowywaniu opisanych dalej uproszczeń. Trzeba mieć jednak na uwadze, że strumień strat ciepła przez grunt nie jest samodzielnym przedmiotem przepisów budowlanych, a tylko jednym ze składników bilansu cieplnego do obliczania zarówno szczytowej mocy cieplnej, jak i sezonowego zapotrzebowania na ciepło.

Do wykonywania komputerowych obliczeń bilansu cieplnego wygodne i celowe jest więc wprowadzanie strat ciepła z budynku przez grunt przy zastosowaniu jednego parametru, odczytywanego z wykresu lub obliczanego w prosty sposób przy użyciu ręcznego kalkulatora.

Wygodne wykresy i tablice do znajdowania równoważnego współczynnika przenikania ciepła podłóg na gruncie podano w normach [4] i [5]. W niniejszym artykule przedstawiono i uzasadniono inny uproszczony sposób obliczania strat ciepła przez grunt, dający wyniki zgodne z PN-EN ISO 13370.

2. Zasady obliczeń według PN-EN ISO 13370

W PN-EN ISO 13370 rozpatrzono następujące przypadki podłóg:

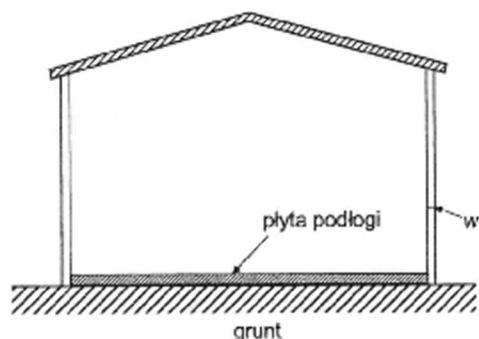
- podłogi typu „płyta na gruncie”, bez izolacji krawędziowej i z izolacją krawędziową (pionową lub poziomą),
- podłogi podniesione,
- podziemia ogrzewane i nieogrzewane.

Podłogi typu „płyta na gruncie” obejmują każdą podłogę, która składa się z płyty w kontakcie z gruntem na swojej całej powierzchni (patrz rys. 1, na którym w – grubość całkowita ścian zewnętrznych).

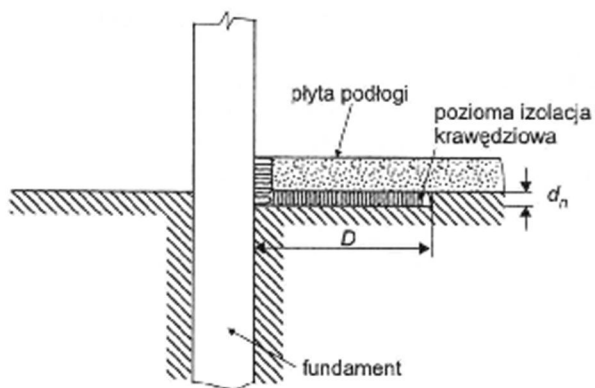
Podłoga typu „płyta na gruncie” może być:

- nie izolowana,
- równomiernie izolowana na całej powierzchni (powyżej, poniżej lub wewnątrz płyty), jak również bez izolacji krawędziowej lub z izolacją krawędziową.

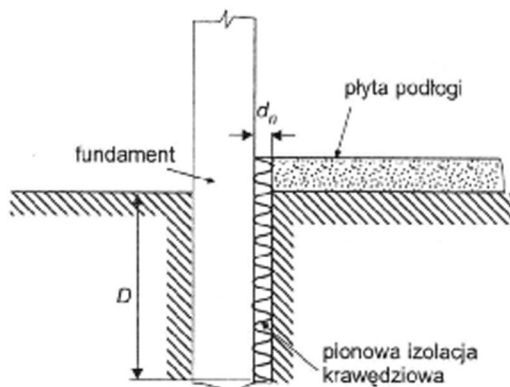
Przepisy polskie wymagają w budynkach ogrzewanych zawsze izolacji krawędziowej. Może być ona usytuowana poziomo (rys. 2) lub pionowo (rys. 3) i od wewnątrz lub na zewnątrz ściany zewnętrznej.



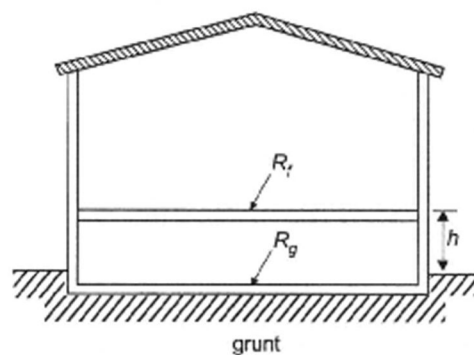
Rys. 1. Schemat podłogi typu „płyta na gruncie”
Fig. 1. Scheme of slab on the ground floor



Rys. 2. Izolacja krawędziowa pozioma
Fig. 2. Horizontal edge insulation



Rys. 3. Izolacja krawędziowa pionowa
Fig. 3. Vertical edge insulation

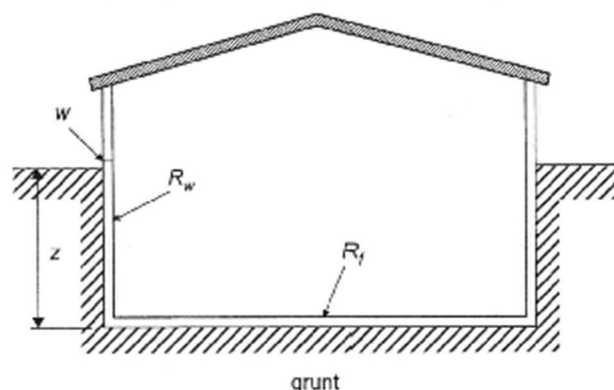


Rys. 4. Podłoga podniesiona
Fig. 4. Raised floor

Korzystniejsze jest stosowanie izolacji krawędziowej na zewnątrz budynku; uzyskuje się przy tym wyższe wartości temperatury w ścianie i w połączeniu ściany z podłogą na gruncie.

Podłogą podniesioną jest każda, która znajduje się w pewnej odległości od gruntu, z wentylowaną przestrzenią powietrzną pod podłogą (rys. 4).

Przypadek podziemia ogrzewanego lub nieogrzewanego pokazano na rysunku 5, wraz z oznaczeniem przyjmowanych wymiarów i określeń.



Rys. 5. Budynek z podziemiem ogrzewanym lub nieogrzewanym
Fig. 5. Building with heated or unheated basement

Według PN-EN ISO 13370 rzeczywisty kształt podłogi na gruncie zastępuje się figurą o obwodzie P i polu powierzchni A , które są zgodne z danymi rzeczywistego rzutu podłogi. Tak zwany wymiar charakterystyczny podłogi B' definiuje się wzorem

$$B' = \frac{A}{P/2} \quad (1)$$

w którym oznaczenia – jak wyżej.

Schematycznie warunki brzegowe przy przenoszeniu ciepła z ogrzewanego budynku przez grunt przedstawiono na rysunku 6.

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.

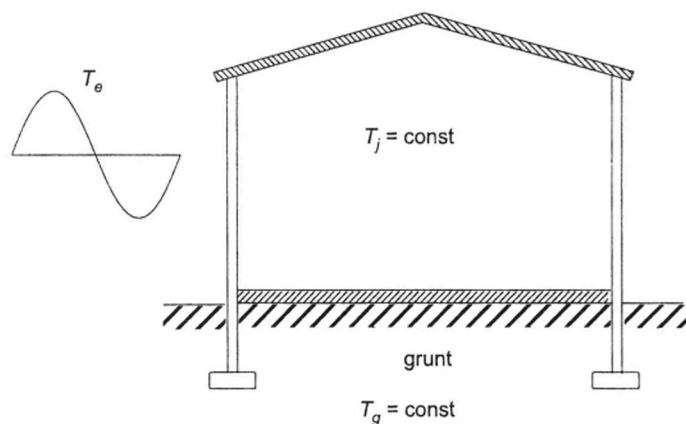
W obliczeniach przybliżonych, zwłaszcza w przypadku dużej długości sezonu grzewczego, strumień ciepła do gruntu można przyjąć jako człon stały, równy składnikowi stacjonarnemu

$$\Phi_{sV} = L_s (T_i - T_e) \quad (2)$$

gdzie: L_s – stacjonarny współczynnik sprzężenia cieplnego, obliczany według PN-EN ISO 13370 w odniesieniu do różnych przypadków podłóg,

T_i – obliczeniowa temperatura powietrza wewnętrznego,

T_e – średnia temperatura powietrza zewnętrznego w sezonie ogrzewczym.



Rys. 6. Warunki brzegowe przy przenoszeniu ciepła z ogrzewanego budynku przez grunt
 Fig. 6. Boundary conditions at heat transfer from heated building through the ground

3. Wyprowadzenie uproszczonego sposobu obliczania strat ciepła przez grunt

Geneza uproszczonego sposobu obliczania strat ciepła przez grunt datuje się jeszcze z lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku, z obliczeń metodą różnic skończonych dwuwymiarowych pól temperatury w gruncie pod budynkiem, wykorzystanych później przez autora przy opracowaniu PN-91/B-02020 [6] i Załącznika Krajowego NB do PN-EN ISO 6946:1999 [7]. Rozpatrywanym wówczas modelem budynku była nieskończenie długa hala o zmiennej szerokości; obliczenia wykazały monotoniczny wzrost oporu cieplnego gruntu wraz ze wzrostem szerokości hali.

Zamysł poszukiwań na nowo uproszczonego sposobu obliczania strat ciepła przez grunt powstał w drugiej połowie 2005 r. w ramach opracowywania prostego sposobu sprawdzania wymagań ochrony cieplnej budynków do umieszczenia bezpośrednio w *Warunkach technicznych* (będzie on przedmiotem odrębnego artykułu).

Płyta na gruncie:

Przyjęto, jak w Załączniku Krajowym NB do PN-EN ISO 6946:1999, modelową zależność

$$U = \frac{1}{R_f + R_g} \quad (3)$$

gdzie: U – współczynnik przenikania ciepła podłogi,

R_f – opór cieplny warstw izolacyjnych w podłodze, z pominięciem warstw betonu, tłucznia itp., obliczony według reguł PN-EN ISO 6946,

R_g – opór cieplny gruntu obliczony według reguł PN-EN ISO 13370.

W tabelicy 1 zestawiono obliczenia R_g dla 30 kompletów danych programem EN ISO 13370 (oznaczenia w tabeli według PN-EN ISO 13370).

Tablica 1. Przenikanie ciepła przez podłogę typu: płyta na gruncie
 Table 1. Heat transfer through the slab on the ground floor

Dane:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	100	100	150	200	300	400	80	100	150	200	300	400	80	100	150
P	40	40	50	60	70	80	36	40	50	60	70	80	36	40	50
B'	5,0	5,0	6,0	6,67	8,57	10,0	4,44	5,0	6,0	6,67	8,57	10,0	4,44	5,0	6,0
W	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Λ	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
R_f	1,50	0,00	1,50	1,50	1,50	1,50	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,00	1,00	1,00
Δ	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
D	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
d_{ins}	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
R_{ins}	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Wyniki:															
U	0,30	0,53	0,28	0,27	0,25	0,23	0,33	0,32	0,30	0,29	0,27	0,25	0,36	0,35	0,33
1/U	3,33	1,89	3,57	3,70	4,00	4,35	3,03	3,12	3,33	3,45	3,70	4,00	2,78	2,86	3,03
$R_g = 1/U - R_f$	1,83	1,89	2,07	2,20	2,50	2,85	1,78	1,87	2,08	2,20	2,45	2,75	1,78	1,86	2,03
L_s	30	53	42	55	75	93	26	32	46	59	80	99	29	35	49
L_{pi}	40	93	60	80	89	102	36	44	67	89	96	111	40	50	75
L_{pe}	11	24	13	16	18	21	10	12	14	17	20	23	11	13	16

Tablica 1 cd.
Table 1. Continued

Dane:	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	200	300	400	80	100	150	200	300	400	80	100	150	200	300	400
P	60	70	80	36	40	50	60	70	80	36	40	50	60	70	80
B'	6,67	8,57	10,0	4,44	5,0	6,0	6,67	8,57	10,0	4,44	5,0	6,0	6,67	8,57	10,0
W	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Λ	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
R_f	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
Δ	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
D	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
d_{ins}	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
R_{ins}	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Wyniki:															
U	0,32	0,28	0,26	0,39	0,38	0,35	0,34	0,30	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22
1/U	3,12	3,57	3,85	2,56	2,63	2,86	2,94	3,33	3,57	3,57	3,57	3,70	3,85	4,17	4,54
$R_g = 1/U - R_f$	2,12	2,57	2,85	1,76	1,83	2,06	2,14	2,53	2,77	1,87	1,87	2,00	2,15	2,47	2,84
L_s	63	85	92	31	38	53	67	90	109	23	28	40	52	71	89
L_{pi}	75	97	102	44	55	83	90	99	121	30	37	56	74	89	97
L_{pw}	19	22	26	13	14	17	21	24	28	8,8	9,8	12	15	17	20

W poszczególnych kompletach zmieniano:

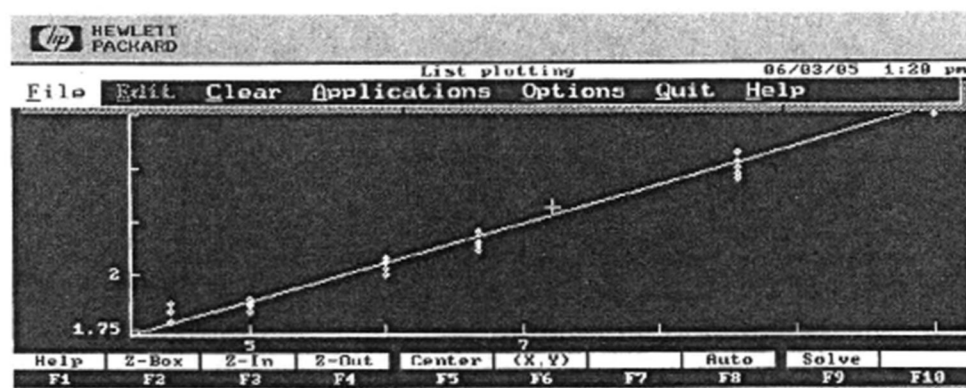
- pole powierzchni A ,
- obwód P ,
- opór cieplny podłogi R_f .

Obliczano między innymi współczynnik przenikania ciepła U , a stąd opór cieplny gruntu R_g .

Dla powyższych 30 kompletów danych i wyników zbadano zależność R_g od B , korzystając z emulacji kalkulatora HP200LX na PC. Uzyskano ze współczynnikiem korelacji 0,99 zależność liniową

$$R_g = 0,97 + 0,18 B' \quad (4)$$

jak przedstawiono niżej na rysunku 7.



Rys. 7. Zależność R_g od B dla podłogi typu „płyta na gruncie”
Fig. 7. Relationship between R_g and B for slab on the ground floor

Podłogi podniesione

Rozpatrzono 12 kombinacji kompletów danych, które zostały zestawione w tabelcy 2, i stwierdzono, że współczynnik przenikania ciepła podłogi na gruncie w każdej kombinacji jest z dokładnością do błędów zaokrążeń równy współczynnikowi samej podłogi podniesionej:

$$U \approx U_f \quad (5)$$

Oznaczenia w tabelcy 2 przyjęto zgodnie z PN-EN ISO 13370.

Tablica 2. Przenikanie ciepła przez podłogę podniesioną
 Table 2. Heat transfer through the raised floor

Dane:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	100	100	400	400	100	400	100	400	100	400	100	400
P	40	40	80	80	40	80	40	80	40	80	40	80
W	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
λ	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
R_g	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Δ	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
H	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
E	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
V	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
f_v	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
U_w	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
U_f	0,6	0,3	0,3	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9	0,9
Wyniki:												
U	0,59	0,30	0,29	0,58	0,39	0,39	0,49	0,48	0,68	0,67	0,87	0,85
L_s	59	30	29	57	39	39	49	48	68	67	87	85
L_{pi}	5,6	5,1	33	39	5,3	36	5,5	37	5,6	39	5,7	41
L_{pe}	58	29	28	56	39	38	48	47	67	66	86	84

Podziemie nieogrzewane

Przyjęto, jak poprzednio, modelową zależność

$$U = \frac{1}{R_f + R_g}$$

gdzie oznaczenia – jak we wzorze (3).

Obliczenia dla 16 kompletów danych (1–8 bez izolacji podłogi i 9–16 z izolacją cieplną podłogi) wykonano programem EN ISO 13370 jw. (oznaczenia w tabeli 3 według PN-EN ISO 13370).

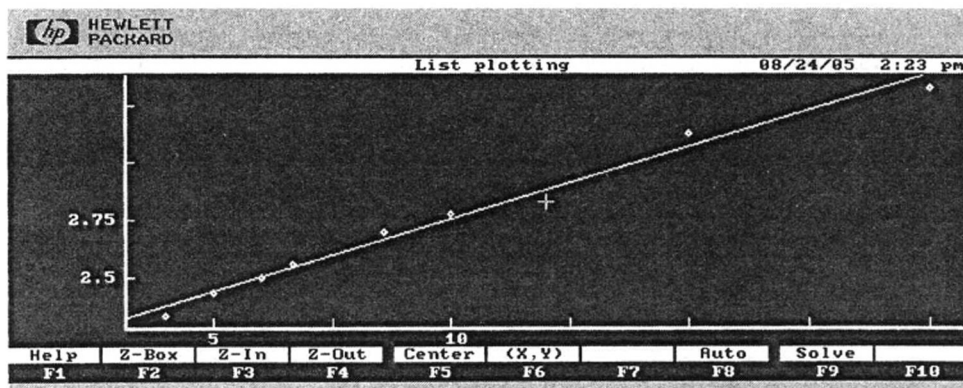
Tablica 3. Przenikanie ciepła przez podłogę podziemia nieogrzewanego
 Table 3. Heat transfer through the floor of unheated basement

Dane:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
λ	64	100	150	200	300	400	900	1600	64	100	150	200	300	400	900	1600
P	32	40	50	60	70	80	120	160	32	40	50	60	70	80	120	160
B'	4,0	5,0	6,0	6,67	8,57	10,0	15	20,0	4,0	5,0	6,0	6,67	8,57	10,0	15	20,0
W	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
λ	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
R_f	0	0	0	0	0	0	0	0	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Δ	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Z	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
R_w	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
H	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
V	147,2	230	345	460	690	920	2070	3480	147,2	230	345	460	690	920	2070	3480
N	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
U_f	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
U_w	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Wyniki:																
U	0,43	0,41	0,40	0,39	0,37	0,36	0,32	0,30	0,37	0,36	0,34	0,33	0,32	0,31	0,28	0,26
$1/U$	2,33	2,43	2,50	2,56	2,70	2,78	3,12	3,33	2,70	2,78	2,94	3,00	3,12	3,23	3,57	3,85
$R_g = 1/U - R_f$	2,33	2,43	2,50	2,56	2,70	2,78	3,12	3,33	1,45	1,53	1,69	1,75	1,87	1,98	2,32	2,60
L_s	28	41	60	78	110	140	290	470	24	36	51	67	97	120	250	420
L_{pi}	99	160	230	310	470	620	1400	2500	99	160	230	310	470	620	1400	2500
L_{pe}	13	18	25	32	44	55	110	170	8,9	14	19	24	32	43	900	150

Jak widać z tablicy 3, wyniki dzielą się wyraźnie na dwie oddzielne grupy w zależności od tego, czy podłoga jest ocieplona, czy nie.

W przypadku podziemi bez izolacji cieplnej podłogi, analogicznie jak poprzednio, uzyskano ze współczynnikiem korelacji 0,99 zależność liniową

$$R_g = 2,13 + 0,06 B'$$

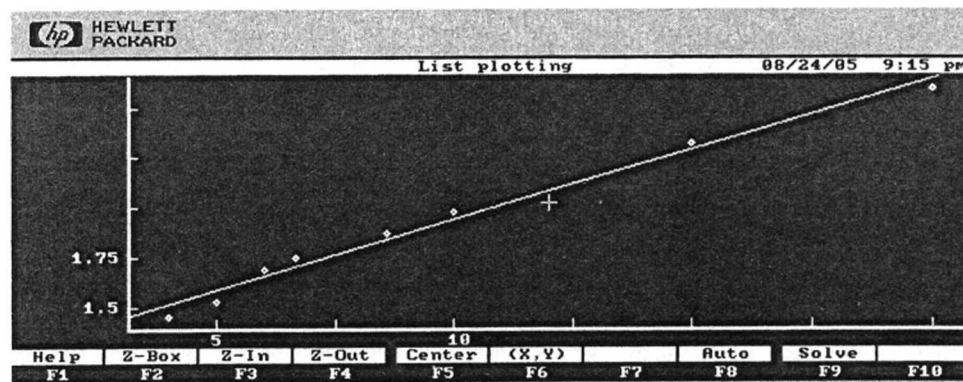


Rys. 8. Zależność R_g od B dla nie izolowanej podłogi podziemia nieogrzewanego

Fig. 8. Relationship between R_g and B for non insulated floor of unheated basement

W przypadku podziemi z izolacją cieplną podłogi o oporze cieplnym $1,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, analogicznie jak poprzednio, uzyskano ze współczynnikiem korelacji 0,99 zależność liniową

$$R_g = 1,23 + 0,07 B'' \quad (6)$$



Rys. 9. Zależność R_g od B dla izolowanej podłogi podziemia nieogrzewanego

Fig. 9. Relationship between R_g and B for insulated floor of unheated basement

Ponieważ w podziemiu nieogrzewanym zwykle nie stosuje się izolacji cieplnej podłogi, to ten ostatni przypadek nie ma większego znaczenia praktycznego.

4. Podsumowanie

Obliczenia strat ciepła przez grunt zgodnie z PN-EN ISO 13370 [1] jest uciążliwe z uwagi na skomplikowane algorytmy. W artykule został zaprezentowany uproszczony sposób obliczeń, dający dobrą zgodność z PN-EN ISO 13370 i nadający się do obliczeń przy zastosowaniu ręcznego kalkulatora. Ograniczono się do stacjonarnego członu strumienia cieplnego, co jest dla praktyki wystarczające. Wyprowadzono wzory dotyczące podłogi typu „płyta na gruncie”, podłogi podniesionej i podłogi podziemia nieogrzewanego.

We wszystkich przypadkach wraz ze wzrostem wymiaru charakterystycznego B obserwuje się wzrost oporu cieplnego gruntu R_g i – odpowiednio – spadek współczynnika przenikania ciepła przez grunt. Z tego względu wyprowadzone wzory można uważać za słuszne także w przypadku wartości B' wykraczających poza analizowane przedziały.

Bibliografia

- [1] PN-EN ISO 13370:2001 Właściwości cieplne budynków. Wymiana ciepła przez grunt. Metody obliczania
- [2] Pogorzelski J. A.: Straty ciepła z budynku przez grunt według PN-EN ISO 13370:2001. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 3 (119), 2002, s. 21–43
- [3] Słomczyński M.: Program komputerowy EN ISO 13370, wykonany w ramach pracy dyplomowej na Politechnice Białostockiej pod kierunkiem J. A. Pogorzelskiego w 2000 r..
- [4] prPN-EN 12831 Instalacje ogrzewcze w budynkach. Obliczanie zapotrzebowanie na moc cieplną
- [5] PrPN-EN ISO 13790 Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating
- [6] PN-91/B-02020 Ochrona cieplna budynków
- [7] Załącznik Krajowy NB do PN-EN ISO 6946:1999

SIMPLIFIED CALCULATIONS OF HEAT LOSSES FROM BUILDING VIA THE GROUND IN ACCORDANCE COMPATIBLE WITH PN-EN ISO 13370

Summary

The knowledge of heat transfer through the ground is necessary for calculation of heat peak power and of seasonal space heating requirements. Heat transfer through building opaque elements in contact with external air can be considered as stationary, one dimensional heat flow, with giving consideration to the influence of thermal bridges (point and linear one). However, in case of contact with the ground, the problem of heat transfer becomes more complicated. The calculations according to PN-EN ISO 13370:2001 *Heat transfer via the ground – Calculation methods* are very laborious. The paper deals with the method of simplified calculations of heat losses from building via the ground giving the results in conformity with PN-EN ISO 13370 and suitable for manual calculator. The useful formulae are derived for slab on the ground floor, raised floor and floor of unheated basement.

Praca wpłynęła do Redakcji 22 II 2006