

Głębokość posadowień fundamentów – wymagania a rzeczywistość



Naturalne pole temperatury gruntu występuje z dala od źródeł ciepła i jest funkcją czasu oraz głębokości. Wpływ na naturalne pole temperatury mają wahania temperatury powietrza zewnętrznego oraz średnie temperatury roczne, a także różnego rodzaju źródła ciepła takie jak: budynki (zwłaszcza ogrzewane), linie wysokiego napięcia, kanalizacja, rurociągi czy magistrale ciepłownicze. Ten wpływ jest złożony, a tym samym trudny do określenia.

Pod powierzchnią ziemi wyróżnia się trzy zasadnicze strefy wahań temperatury: dobowych (5–20 cm), sezonowych (50–180 cm) oraz rocznych (450–950 cm). Głębokość tych stref zależy od przewodnictwa cieplnego gruntu, jego struktury oraz wilgotności.

Znajomość pola temperatur w gruntach, a zwłaszcza położenia izotermi „0” (utożsamianej z głębokością przemarzania), jest bardzo ważna w praktyce inżynierskiej. Głębokość przemarzania gruntów (głównie wysadzinowych) ma istotny wpływ na głębokość posadowień bezpośrednich budynków oraz projektowanie izolacji termicznych chroniących fundamenty od działania mrozu.

Pierwsze badania głębokości przemarzania gruntu w Polsce przeprowadzono w 1929 r. podczas wyjątkowo ostrej zimy [1, 2]. Po wojnie, w latach 50. rozpoczęto studia nad rejonizacją klimatyczną kraju, jednak ze względu na brak dostatecznych



**dr hab. inż.
Irena Ickiewicz
prof. PUZ w Suwałkach**

**Państwowa Uczelnia
Zawodowa w Suwałkach**

danych z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej zrezygnowano z dalszych prac [3, 4]. Do określenia głębokości przemarzania gruntu w Polsce posłużono się więc wzorem empirycznym znajdującym się w normie rosyjskiej NiTU-127-50 [5, 6]. W ten właśnie sposób dokonano podziału kraju na cztery strefy klimatyczne, do których przypisano odpowiednie głębokości posadowień bezpośrednich.

Wartości te zamieszczono w załączniku 1 do normy PN-B-03020:1981 Grunty budowlane – Posadowienie bezpośrednie budowli – Obliczenia statyczne i projektowanie [7] (wynoszą one: I strefa – 0,8 m; II – 1,0 m; III – 1,2 m i IV – 1,4 m). Ponieważ jednak dane kli-

matyczne z terenów ówczesnego Związku Radzieckiego sąsiadujących z Polską różniły się (na znacznym obszarze) od danych klimatycznych z obszaru Polski, wykorzystanie wzoru empirycznego opracowanego dla innych warunków klimatycznych spowodowało, że otrzymane na jego podstawie wyniki nie zawsze odzwierciedlały stan faktyczny.

ANALIZA GŁĘBOKOŚCI PRZEMARZANIA GRUNTU

Model teoretyczny przemarzania

Aby zweryfikować (uaktualnić) przyjęty w normie PN-B-03020 podział Polski na cztery strefy klimatyczne ze względu na głębokość posadowień bezpośrednich, podjęto wiele prac naukowo-badawczych. Posłużono się przy tym m.in. teoriami Clapeyrona, Stefana i Lejbenzona [8], w których założono, że dolna ruchoma granica zamarzania gruntu ma stałą temperaturę zamarzania.

Na tej granicy następuje przejście z jednego stanu skupienia w drugi. Dolną granicę rozmarzniętej strefy przyjęto w nieskończoności ($l = \infty$).

W publikacji [8] zastosowano metodę rozdzielania zmiennych Fouriera jako jednowymiarowy klasyczny model analityczny procesu przemarzania gruntu, dla którego przyjęto następujące założenia:

- temperatura w gruncie przed okresem mrozów T_0 jest wyrównana i równa temperaturze gruntu na dużej głębokości,
- temperatura powierzchni gruntu przez cały okres mrozów jest stała i wynosi T_c .

Wpływ wybranych czynników na rozkład temperatury w gruncie pod budynkiem

Dane mające istotny wpływ na rozkład temperatury w gruncie pod budynkiem, poza danymi klimatycznymi, to: parametry termofizyczne zależne od rodzaju gruntu, obecność wody gruntowej, śniegu, przesunięcie fazowe i zamarzanie gruntu (ciepło utajone przemiany fazowej) [9–12].

Dane klimatyczne. Podstawowym parametrem mającym bezpośredni wpływ na głębokość przemarzania gruntu (utożsamianą z położeniem izotermy „0”) jest wskaźnik stopniodni temperatur ujemnych. Maksymalne wartości wskaźnika mrozowego F_d – stopniodni temperatur ujemnych – dla wybranych miast Polski zamieszczono w tab. 1.

Parametry termofizyczne gruntu. Rozkład temperatury w gruncie w znacznej mierze zależy od parametrów termofizycznych tego gruntu: współczynnika przewodzenia ciepła λ , pojemności cieplnej oraz efektywnego ciepła właściwego gruntu. Parametry te zależą z kolei od rodzaju i struktury gruntu, jego wilgotności oraz gęstości, a także temperatury (grunty zamarznięte i niezamarznięte) [13].

Generalnie większa jest przewodność cieplna gruntu zamarzniętego (λ_2) niż gruntu niezamarzniętego (λ_1), a tym samym wyższe są straty ciepła. Jednak nie zawsze współczynnik przewodzenia ciepła gruntu zamarzniętego jest większy od współczynnika przewodzenia ciepła gruntu niezamarzniętego (w gruntach

o niskiej wilgotności). Z tych powodów do zagadnienia tego należy podchodzić z dużą ostrożnością.

Zależność współczynnika przewodzenia ciepła λ gruntu od wilgotności ma charakter logarytmiczny. Najsilniejszą zależność pomiędzy tymi dwoma czynnikami zauważono w przypadku gruntów spoistych [2, 14].

ANALIZA MOŻLIWOŚCI POSADOWIEŃ BEZPOŚREDNICH BUDYNKÓW NA NIŻSZYCH GŁĘBOKOŚCIACH

W Polsce wymagania dotyczące głębokości posadowień bezpośrednich nadal są uzależnione od strefy klimatycznej i wynoszą odpowiednio dla: I strefy – 0,8 m; II – 1,0 m; III – 1,2 m i IV – 1,4 m.

Do analizy możliwości posadowień bezpośrednich fundamentów budynków na głębokości H , mniejszej niż wymienione wymagania, lecz nie mniejszej niż 0,5 m, wybrano miasto Białystok, gdzie wskaźnik mrozowy $F_d = 787$ stopniodni temperatur ujemnych (zima 1995/1996; tab. 1).

Wybrano trzy zimy charakteryzujące się najwyższym wskaźnikiem mrozowym. Z analizy pomiarów bezpośrednich wynika, że w przypadku posadowienia nieocieplonych fundamentów na głębokości 0,5 m i przyjęcia okresu użytkowania budynku $T > 50$ lat istnieje możliwość występowania większej głębokości przemarzania, niż wynika z opracowań statystycznych zimy z 50-letnim okresem powrotu [15].

W Polsce przemarzanie gruntu powyżej 0,5 m zdarza się głównie w przypadku gruntów niewysadzinowych. Natomiast grunty

wysadzinowe podczas zim charakteryzujących się wskaźnikiem mrozowym do 800 stopniodni temperatur ujemnych przemarzają maksymalnie na głębokość 0,5 m [2, 15]. Jednak ze względu na brak kompletnych danych z pomiarów bezpośrednich głębokości przemarzania gruntów wysadzinowych, zwłaszcza w okolicy fundamentów budynków, lepiej zabezpieczyć te fundamenty przed ewentualnym przemarzaniem.

Wykonanie izolacji cieplnej, poza zabezpieczeniem przed wysadziną, przynosi dodatkowe korzyści wynikające z mniejszych strat ciepła przenikającego z budynku do gruntu.

Warunki posadowienia fundamentów budynków na głębokości 0,5 m

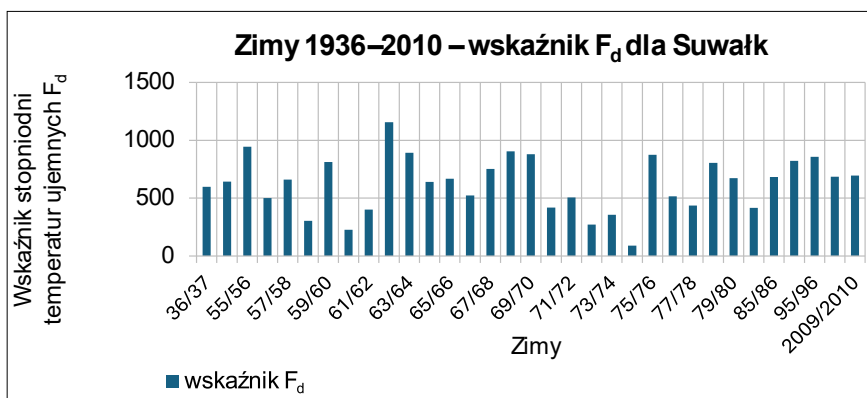
W normie dotyczącej posadowień bezpośrednich (PN-B-03020:1981 [7]) zaleca się, aby minimalne zagłębienie fundamentu ze względu na głębokość przemarzania nie było mniejsze niż 0,5 m – dlatego taką wartość głębokości posadowienia przyjęto do obliczeń.

Niebezpieczeństwo wystąpienia ujemnych temperatur (przemarzania gruntów) w otoczeniu fundamentów budynków zależy od:

- wskaźnika stopniodni temperatur ujemnych F_d ;
- cech termofizycznych gruntu, głównie współczynnika przewodzenia ciepła λ otaczającego gruntu;
- głębokości posadowienia fundamentów;
- sposobu użytkowania (eksploatacji) budynku (ogrzewany, nieogrzewany);
- sposobu izolacji cieplnej ściany fundamentowej oraz fundamentu.

Tab. 1. Maksymalne wartości wskaźnika mrozowego F_d w okresie od 1967 do 2005 r. dla pięciu wybranych miast

Zima	Suwałki	Białystok	Warszawa	Jelenia Góra	Poznań
1967/1968	754,0	628,5	425,1	438,1	269,5
1968/1969	906,1	740,0	590,1	499,5	437,0
1969/1970	879,3	752,0	648,3	577,0	599,0
1975/1976	874,9	779,1	561,1	535,8	436,7
1986/1987	brak danych	765,0	brak danych	brak danych	brak danych
1995/1996	brak danych	787,0	brak danych	brak danych	brak danych
2005/2006	brak danych	601,0	brak danych	brak danych	brak danych



Rys. 1. Wskaźniki F_d stopniodni temperatur ujemnych z okresu ponad 50 lat (1936–2010)

Na podstawie danych ze stacji meteorologicznych IMiGW z lat 1920–2010 ustalono, że w polskich warunkach klimatycznych największym wskaźnikiem stopniodni temperatur ujemnych (poza terenem górskim) charakteryzowała się zima 1962/1963. W przypadku najbardziej mroźnego miasta Suwałk wskaźnik F_d wynosił 1156. Przykładowe dane z zimy 1962/1963 dla Suwałk przedstawiono na rys. 1.

Z analizy danych klimatycznych [3, 16] wynika, że celowe jest dokonanie podziału terenu Polski na strefy klimatyczne w zależności od wartości wskaźnika F_d . Podział taki można zilustrować, nanosząc izolnie wartości wskaźnika stopniodni temperatur ujemnych. Wskazane byłoby wyłączyć z tego podziału tereny górskie od wysokości $h > 1000$ m n.p.m.

Proponowane strefy:

- I strefa: $F_d > 1000$ stopniodni temperatur ujemnych,
- II strefa: $750 \leq F_d \leq 1000$ stopniodni temperatur ujemnych,
- III strefa: $F_d < 750$ stopniodni temperatur ujemnych.

Po analizie otrzymanych wyników stwierdzono, że przy niekorzystnych warunkach eksploatacji budynku może się pojawić ryzyko wystąpienia ujemnych temperatur w okolicy fundamentów. Niekorzystne warunki, w których mogą wystąpić ujemne temperatury w okolicy fundamentów na głębokości 0,5 m, to:

- liczba stopniodni temperatur ujemnych $F_d > 750$,
- współczynnik przewodzenia ciepła gruntu w otoczeniu fundamentu $\lambda > 1,80$ W/(m · K),
- nieogrzewany budynek,
- fundament bez izolacji cieplnej.

Aby bezpiecznie posadowić fundamenty budynków na głębokości 0,5 m

Tab. 2. Minimalne wymagania dotyczące ocieplenia fundamentów posadowionych na głębokości 0,5 m

Proponowana strefa klimatyczna	Budynek ogrzewany	Budynek nieogrzewany	Uwagi
I $F_d > 1000$			Zalecane minimalne ocieplenie fundamentu w celu uzyskania dodatnich temperatur w pkt. 3 fundamentu (zob. rys. 2). Izolacja cieplna – styropian ekstrudowany lub inny materiał termoizolacyjny o podobnych cechach termofizycznych [$\lambda < 0,05$ W/(m · K)] i wytrzymałościowych, przenoszący wymagane naprężenia ściskające pod fundamentem
II $750 \leq F_d \leq 1000$			
III $F_d < 750$			

w polskich warunkach klimatycznych, fundamenty budynków zarówno ogrzewanych, jak i nieogrzewanych znajdujących się w I i II strefie (według proponowanego podziału) należy ocieplić w płaszczyźnie pionowej i poziomej oraz pod ławą (stopą) fundamentową. Fundamenty budynków ogrzewanych i nieogrzewanych znajdujących się w proponowanej III strefie mogą być ocieplone tylko w płaszczyźnie pionowej.

Przedstawione w tab. 2 przykłady ociepleń fundamentów zostały policzone dla gruntów charakteryzujących się współczynnikiem przewodzenia ciepła $\lambda \geq 2,00 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

UWAGA! Wykonanie ocieplenia pod fundamentem jest kłopotliwe ze względów technicznych, dlatego można z niego zrezygnować, zwiększając głębokość posadowienia w przypadku budynków zlokalizowanych w I strefie klimatycznej ($F_d > 1000$) do głębokości 60 cm (budynki ogrzewane) lub 70 cm (budynki nieogrzewane).

SYMULACYJNE WARTOŚCI TEMPERATURY W GRUNCIE NA GŁĘBOKOŚCI 0,5 M W OKOLICY FUNDAMENTU **Obliczenia**

Obliczenia wykonano dla budynków ogrzewanych i nieogrzewanych dla:

- sześciu punktów pomiarowych (rys. 2a, 2b);
- trzech wybranych zim (1986/1987, 1995/1996 i 2005/2006);
- trzech rodzajów gruntów budowlanych charakteryzujących się zróżnicowanym współczynnikiem przewodzenia ciepła: $\lambda = 0,85; 1,292; 2,00 \text{ [W/(m} \cdot \text{K)]}$ (wartość uśredniona dla gruntów na poletku badawczym IMiGW Białystok wynosi $1,292 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$).

Na rys. 2a oraz 2b przedstawiono rozmieszczenie punktów, w których były wykonywane obliczenia wartości temperatury (w zależności od sposobu ocieplenia), układ warstw i wymiary analizowanego fundamentu.

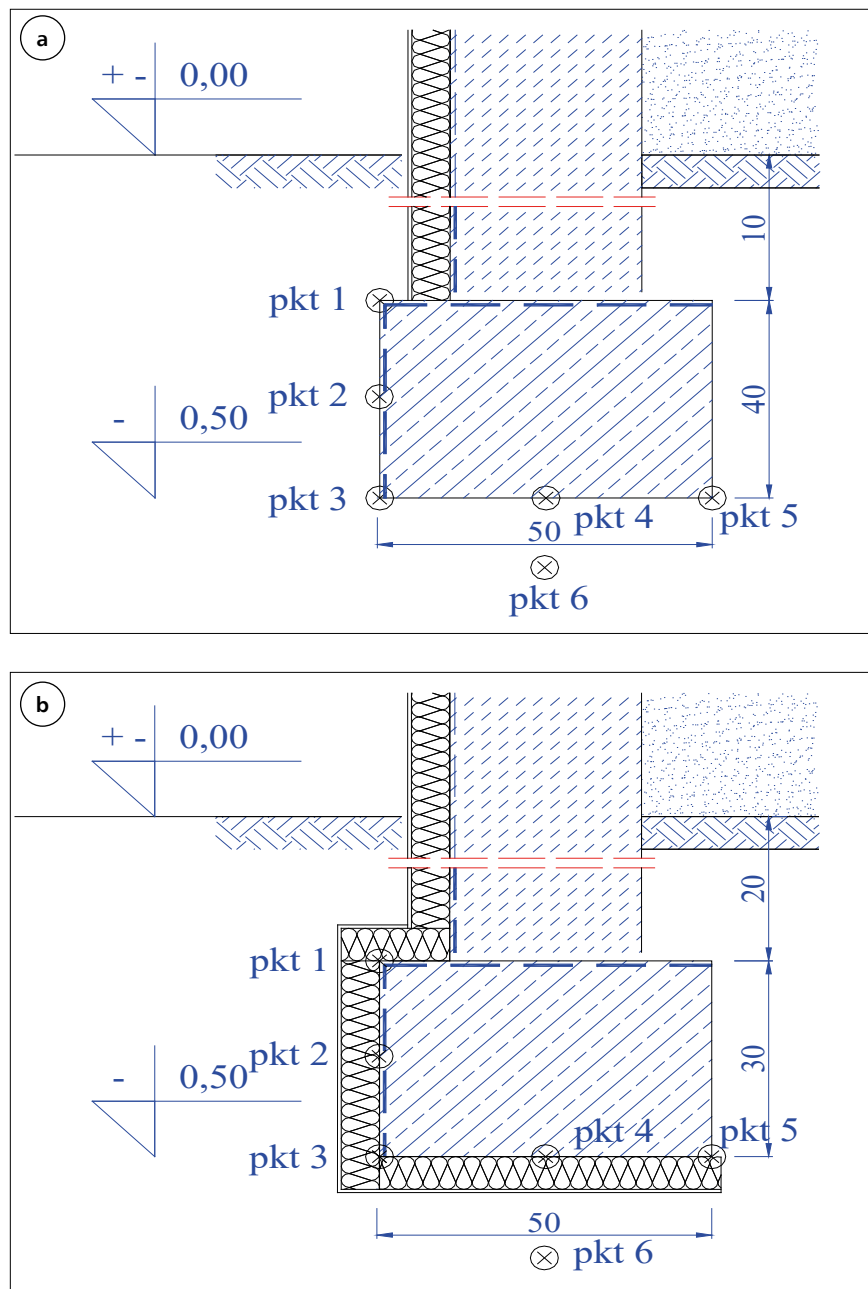
Na podstawie analizy wartości obliczeniowych temperatur na głębokości 0,5 m

w gruncie w okolicy fundamentu w budynku ogrzewanym ustalono, że wartości temperatury (w pkt. 3 na rys. 2) w zależności od wskaźnika F_d [przy stałej wartości $\lambda_{\text{gruntu}} = 0,85 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$] zmieniają się według wzoru:

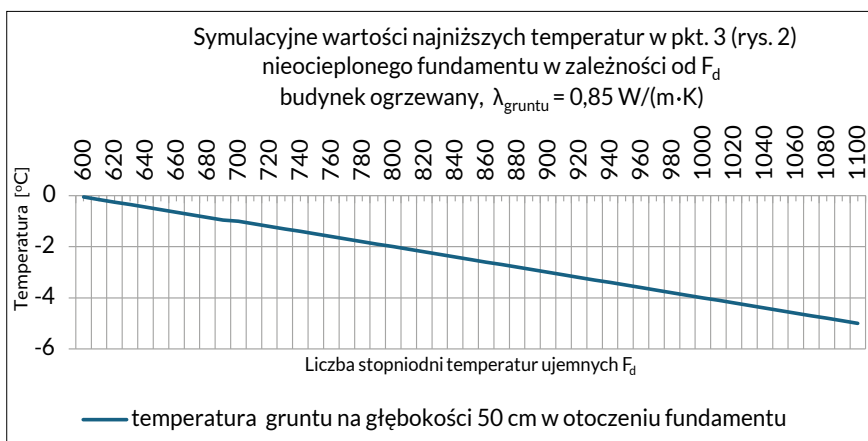
$$T = -0,01F_d + 5,95 \quad (1)$$

Stosowalność wzoru (1) dotyczy zakresu $600 \leq F_d \leq 1100$ stopniodni temperatur ujemnych.

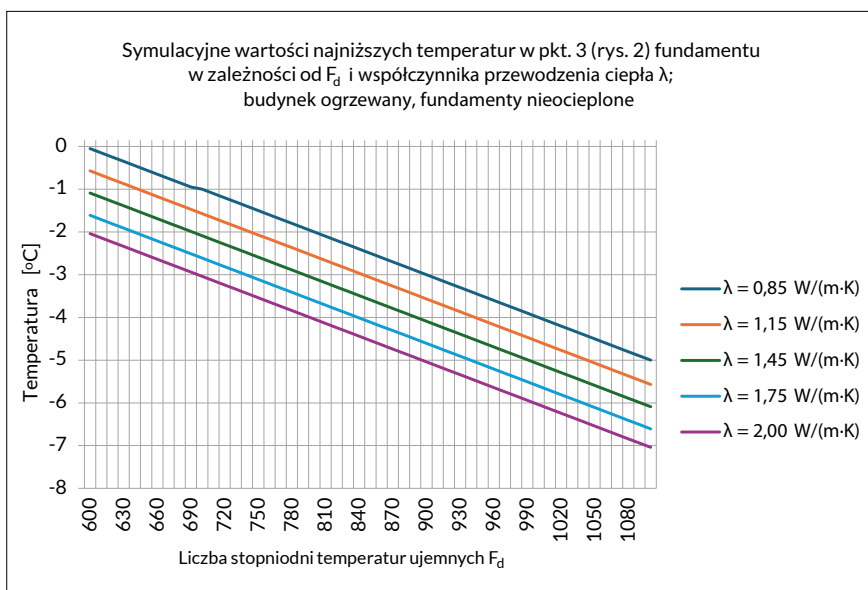
Na rys. 3 pokazano symulacyjne wartości temperatur w gruncie w otoczeniu nieocieplonego fundamentu (pkt 3 na rys. 2) w zależności od stopniodni temperatur ujemnych dla budynku ogrzewanego. Zależności temperatury od wskaźnika F_d , przedstawione w postaci wzoru (1), otrzymano na podstawie wartości uśrednionej z obliczeń dla wybranych zim.



Rys. 2. Analizowane rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe fundamentów, rozmieszczenie punktów pomiarowych: a) wariant z izolacją tylko ściany fundamentowej, b) wariant z izolacją ściany fundamentowej oraz ławy (stopy) fundamentowej



Rys. 3. Symulacyjne wartości najniższych temperatur, jakie mogą wystąpić w gruncie o współczynniku przewodzenia ciepła $\lambda = 0,85 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ w otoczeniu nieocieplonego fundamentu na głębokości 0,5 m (pkt 3); budynek ogrzewany, w zależności od stopniodni temperatur ujemnych



Rys. 4. Wartości najniższych temperatur w otoczeniu fundamentu na głębokości 0,5 m w zależności od wartości wskaźnika F_d oraz współczynnika λ gruntu (budynek ogrzewany, fundamenty nieocieplone)

Na podstawie analizy wartości obliczeniowych temperatur w okolicy fundamentu na głębokości 0,5 m w budynku ogrzewanym uzyskano zależność temperatury T gruntu w pkt. 3 na rys. 2 fundamentu od wartości wskaźnika F_d oraz współczynnika λ gruntu według wzoru:

$$T = 0,01F_d + 5,95 + (-0,087 \cdot n) \quad (2)$$

gdzie: n – w zależności od wartości współczynnika λ przyjmuje wartość od $n = 1$ do $n = 25$, np. $n = 0$ dla $\lambda = 0,85$, $n = 1$ dla $\lambda = 0,90$, ... $n = 25$ dla $\lambda = 2,10 \text{ [W/(m} \cdot \text{K)]}$; zmiana wartości n o 1 jednostkę powoduje zmianę wartości współczynnika λ o 0,05.

Na rys. 4 pokazano symulacyjne wartości temperatur gruntu w otoczeniu nieocieplonego fundamentu budynku ogrzewanego (pkt 3) w zależności od wskaźnika F_d oraz zmiennych wartości współczynnika λ .

Podobne obliczenia wykonano dla wyższych wartości współczynnika λ w przedziale: $0,85 \leq \lambda \leq 1,70 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ oraz $\lambda \geq 1,75 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Wszystkie wzory (1–8) wartości temperatur dla różnych wartości współczynnika λ gruntu zamieszczono w tab. 3.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule przedstawiono możliwości posadowień fundamentów w polskich warunkach klimatycznych na mniejszych głębokościach niż zalecane w normie. Na podstawie długoterminowych badań opracowano optymalną izolację

Tab. 3. Wzory obliczeniowe wartości temperatur

Nr wzoru	Budynki ogrzewane		Nr wzoru	Budynki nieogrzewane	
	Wzór	Wyjaśnienie		Wzór	Wyjaśnienie
(1)	$T = -0,01 F_d + 5,95$	dla $\lambda_{\text{gruntu}} = 0,85 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, fundamenty nieocieplone	(5)	$T = -0,012 F_d + 3,98 + (-0,073 \cdot n)$	$0,8 \leq \lambda_{\text{gruntu}} \leq 1,7 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, fundamenty nieocieplone
(2)	$T = 0,01 F_d + 5,95 + (-0,087 \cdot n)$	$0,85 \leq \lambda_{\text{gruntu}} \leq 2,10 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, fundamenty nieocieplone	(6)	$T = -0,013 F_d + 0,3,29 + (-0,073 \cdot n)$	$\lambda_{\text{gruntu}} > 1,70 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, fundamenty nieocieplone
(3)	$T = -0,004 F_d + 8,10 + (-0,08 \cdot n)$	$0,85 \leq \lambda_{\text{gruntu}} \leq 2,10 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, ocieplenie warstwą 6 cm styropianu ekstrudowanego	(7)	$T = -0,001 F_d + 0,70 + (-0,030 \cdot n)$	$0,85 \leq \lambda_{\text{gruntu}} \leq 2,10 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, ocieplenie warstwą 6 cm styropianu ekstrudowanego
(4)	$T = -0,006 F_d + 9,90 + (-0,09 \cdot n)$	$0,85 \leq \lambda_{\text{gruntu}} \leq 2,10 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, fundamenty ocieplone warstwą 8 cm styropianu ekstrudowanego	(8)	$T = -0,002 F_d + 1,90 + (-0,035 \cdot n)$	$0,85 \leq \lambda_{\text{gruntu}} \leq 2,10 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, fundamenty ocieplone warstwą 8 cm styropianu ekstrudowanego

termiczną fundamentów pozwalającą na zmniejszenie normowej głębokości posadowienia nawet do 0,5 m, jeżeli głębokość ta jest podyktowana tylko ochroną fundamentów przed zniszczeniem spowodowanym przemarzaniem gruntu.

Odpowiednie ocieplenie fundamentów, poza zapewnieniem poprawy bilansu cieplnego budynku, pozwala na posadowienie go na mniejszej głębokości, niż wskazano w normach.

Analizę wpływu izolacji cieplnej na rozkład temperatury w otoczeniu ławy fundamentowej wykonano za pomocą obliczeń symulacyjnych (w programie HEAT 2). Na podstawie otrzymanych wyników opracowano wzory obliczeniowe wartości temperatury w punkcie najbardziej narażonym na przemarzanie. Otrzymane wartości temperatur w punktach pomiarowych są uzależnione od wskaźnika stopniodni temperatury ujemnej F_d , współczynnika przewodzenia ciepła λ [$W/(m \cdot K)$] gruntu oraz eksploatacji budynku. ■

Literatura

1. K. Dębski, *Wstępne badania funkcji zamarzania gruntów w Polsce*, „Wiadomości Służby Hydrologicznej”, Warszawa 1938.
2. I. Ickiewicz, *Przewodzenie ciepła w gruntach budowlanych*, ITB, Warszawa 1988.
3. M. Stopa-Boryczka i in., *Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, cz. 4: *Klimat północno-wschodniej Polski*, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1986.
4. U. Radziszewska, B. Majczyna, *Weryfikacja normowej głębokości przemarzania i zasady bezpiecznego posadowienia budynków rolnych na gruntach wysadzinowych*, IBMER, Warszawa 1984.
5. N.A. Cytowicz, H.N. Bogusławskij, C. Kacurin, *Glubina založenija fundamentov maloetażnych zdaniij v svjazi z sezonnym promarżaniem gruntov*, Akademia Nauk ZSSR, Moskwa 1946.
6. N.A. Cytowicz, *O fizycznych jawnienach i processach w promierzajuszczich, mierzlych i otaiwajuszczich gruntach*, Akademia Nauk, Sb. 3, Moskwa 1957.
7. PN-B-03020:1981 Grunty budowlane – Posadowienie bezpośrednie budowli – Obliczenia statystyczne i projektowanie.
8. A.W. Lykov, *Tiorija tiepłoprowodnosti*, Moskwa 1952.
9. A. Gontaszewska, *Estymacja przewodnictwa cieplnego gruntu na podstawie przewodnictwa cieplnego jego poszczególnych faz*, *Prace naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, t. 110, nr 42, Wrocław 2005, s. 183–193.
10. I. Ickiewicz, J.A. Pogorzelski, *Wpływ wybranych czynników na głębokość przemarzania gruntów*, „Inżynieria i Budownictwo” nr 1/12, 1987, s. 338–342.
11. I. Ickiewicz, A. Panek, *Model numeryczny określania głębokości zamarzania gruntu*, „Archiwum Inżynierii Lądowej”, t. XXXVI, z. 1–2, 1990, s. 157–166.
12. Z. Wiłun, *Wpływ mrozu na grunty. Zarys geotechniki*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2001.
13. I. Ickiewicz, J.A. Pogorzelski, *Izolacja cieplna podłoża gruntowego od działania mrozu*, Konferencja naukowo-techniczna „Harmonizacja polskich norm geotechnicznych z systemem norm europejskich”, Mrągowo 2000.
14. A. Gontaszewska, *Zastosowanie wzorów opartych na wskaźniku mrozowym do obliczania głębokości przemarzania gruntu w Polsce*, Konferencja naukowo-techniczna „Aktualne problemy naukowo-badawcze budownictwa”, Olsztyn 2003.
15. I. Ickiewicz, *Analiza możliwości posadowienia fundamentów na głębokości <0,5 m*, XVIII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologiczne i energooszczędne budownictwo oraz mieszkalnictwo wojskowe”, EKOMILITARYS 2004, Zakopane 2004, s.183–187.
16. H. Lorenc, *Studia nad 220-letnią (1772–1998) serią pomiarów temperatury powietrza w Warszawie*, Materiały Badawcze IMiGW, seria: Meteorologia – 31, Warszawa 2000.