

WPLYW ŚNIEGU NA NATURALNE POLE TEMPERATURY GRUNTU

Irena ICKIEWICZ*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Naturalne pole temperatury gruntu jest funkcją czasu i głębokości, występuje z dala od różnego rodzaju źródeł ciepła. Wpływ na naturalne pole temperatury mają wahania temperatury powietrza zewnętrznego i średnie temperatury roczne. Pomiary pola temperatur w gruncie wykonywane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMiGW) są prowadzone na otwartej przestrzeni, stąd też uzyskane w okresie zimy wyniki obarczone są błędem spowodowanym izolacją cieplną gruntu w postaci warstwy śniegu. Aby można było wykorzystać ogromny zasób danych dotyczących rozkładu temperatury w gruncie (w tym głębokości przemarzania gruntu) będących w zasobach IMiGW, należałoby ocenić wpływ zmiennej izolacji termicznej w postaci warstwy śniegu na otrzymane z pomiarów wartości. Próbę takiej oceny zamieszczono w niniejszym referacie.

Słowa kluczowe: naturalne pole temperatury w gruncie, izolacja termiczna gruntu, głębokość przemarzania.

1. Wprowadzenie

Naturalne pole temperatury gruntu jest funkcją czasu i głębokości, występuje z dala od różnego rodzaju źródeł ciepła takich jak przykładowo budynki, linie wysokich napięć, kanalizacja, rurociągi, magistrale ciepłownicze.

Wpływ na naturalne pole temperatury mają wahania temperatury powietrza zewnętrznego i średnie temperatury roczne. Stąd pod powierzchnią ziemi można wyróżnić 3 zasadnicze strefy: strefa wahań dobowych do głębokości 0,8-1,0m, wahań sezonowych do głębokości 5-8 m i wahań rocznych do głębokości 15-20 m. W strefie wahań dobowych naturalne pole temperatury gruntu zależy również od rodzaju pokrycia jego powierzchni, na przykład trawnik, płyty betonowe, a w okresie zimy śnieg.

Pomiary wartości temperatur w strefie wahań dobowych, najczęściej na głębokościach 5, 10, 20, 50 i 100 cm wykonują stacje meteorologiczne Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMiGW). Pomiary te wykonywane są na otwartej przestrzeni, stąd w okresie zimy uzyskane wyniki dotyczą rozkładu temperatur w gruncie ze „zmienną” izolacją cieplną w postaci warstwy śniegu.

2. Analiza wpływu grubości śniegu na rozkład temperatury w gruncie

Aby dane wartości temperatur w gruncie uzyskane z pomiarów bezpośrednich wykonywanych przez IMiGW można było wykorzystywać do innych celów, na przykład

prognozowania głębokości przemarzania gruntu, ale bez warstwy izolacji w postaci śniegu, należałoby określić wpływ tej warstwy albo jej braku na otrzymany wynik.

Do przeprowadzenia analizy wpływu pokrywy śnieżnej na rozkład temperatury w gruncie w pięciu punktach pomiarowych, wybrano trzy zimy charakteryzujące się wysokim wskaźnikiem mrozowym F_d i zróżnicowanymi opadami śniegu. Dane IMiGW przyjęto dla miasta Białystok (temperatury oraz grubości warstwy śniegu w funkcji czasu). Były to zimy:

- 1986/1987 o $F_d = 765$ stopniodni,
- 1995/1996 o $F_d = 787$ stopniodni,
- 2005/2006 o $F_d = 601$ stopniodni.

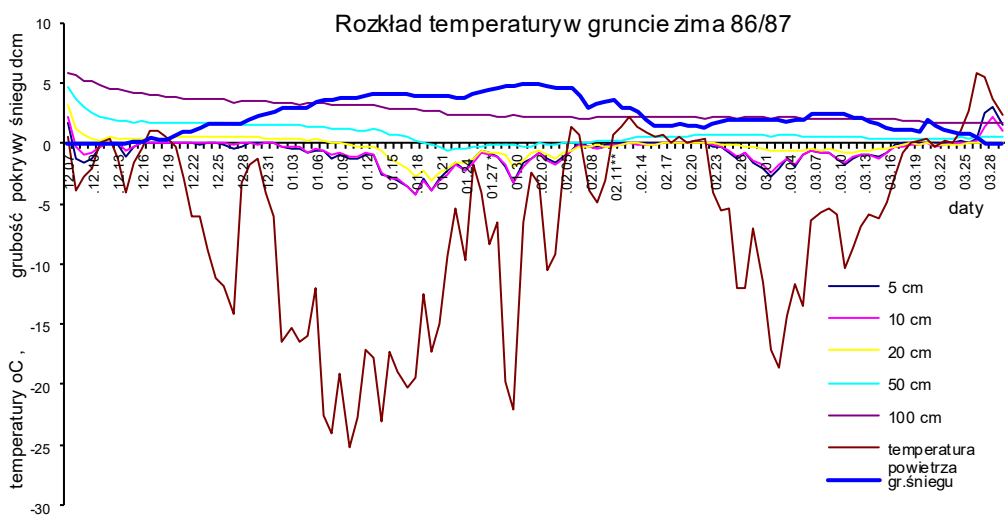
Wartości temperatur oraz grubości pokrywy śnieżnej dla zim 1985/1986, 1995/1996 i 2005/2006 pokazano na wykresie rysunkach 1, 2 i 3.

Wartości średnie temperatur w poszczególnych punktach pomiarowych 1-5, z okresów od pierwszego dnia z opadami do dnia z najniższą temperaturą, dla wybranych dni, zestawiono w tabeli 1.

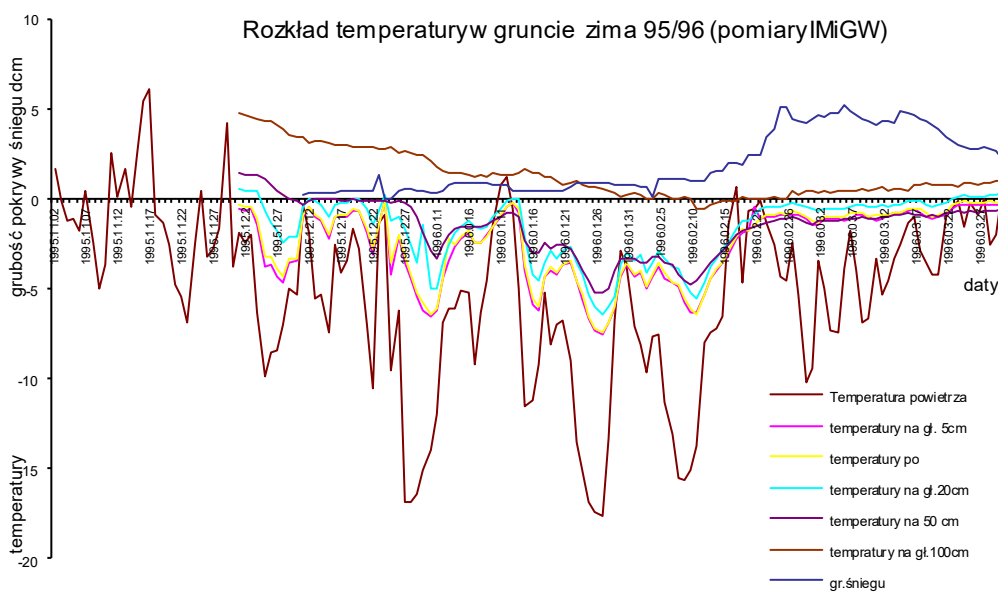
2.1. Obliczenia rozkładu temperatury w gruncie z uwzględnieniem i bez uwzględnienia warstwy śniegu

Obliczenie rozkładu temperatur w gruncie w okresie zimy wykonano korzystając za pomocą programu numerycznego HEAT 2. Program HEAT2 służy do obliczania dwu-wymiarowych zadań zarówno w stanie ustalonym, jak i przejściowym. Program ten został stworzony pod kątem rozwiązania zadań związanych z fizyką budowli, w tym obliczania pól temperatur (Blomberg, 2000 i 2001).

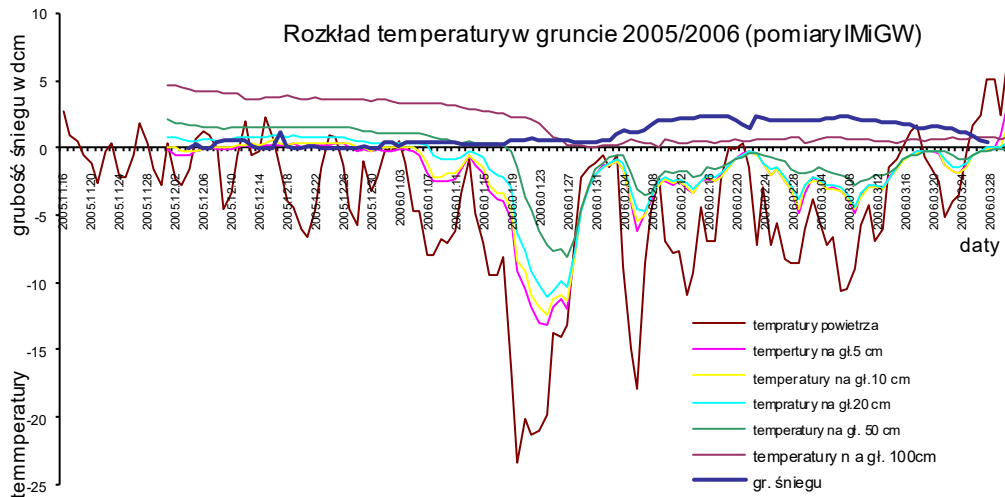
* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: i.ickiewicz@pb.edu.pl



Rys. 1. Rozkłady temperatury powietrza zewnętrznego dla zimy 1986/1987 oraz temperatur w gruncie na 5 głębokościach (5, 10, 20, 50, 100 cm) + grubość pokrywy śniegu



Rys. 2. Rozkłady temperatury powietrza zewnętrznego dla zimy 1995/1996 oraz temperatur w gruncie na 5 głębokościach (5, 10, 20, 50, 100 cm) + grubość pokrywy śniegu



Rys. 3. Rozkład temperatury powietrza zewnętrznego dla zimy 2005/2006 oraz temperatura w gruncie na 5 głębokościach (5, 10, 20, 50, 100 cm) + grubość pokrywy śniegu

Tab. 1. Wartości temperatur w 5 punktach pomiarowych temperatur w gruncie oraz grubości warstwy śniegu według IMiGW-Białystok

Zimy	Minimalne temperatury w gruncie na głębokości [cm]					F _d [stopnio- dni]	Średnia grubość śniegu [cm]	Dni ze śniegiem	Dni z najniższą temperaturą
	5	10	20	50	100				
1986/1987 F _d = 765	-2,2	-2,2	-1,5	-0,4	2,4	486	26,5	41	24.01.87
	-3,2	-3,2	-1,9	-0,1	2,4	548	28,9	47	30.01.87
	0,0	-0,1	-0,2	0,3	2,2	594	31,8	59	11.02.87
	0,2	0,1	-0,1	0,5	1,8	765	25,2	105	25.03.87
1995/1996 F _d = 787	-5,7	-5,3	-4,2	-4,0	0,8	428	7,4	44	24. 01.96
	-3,2	-4,2	-3,7	-3,3	0,1	503	7,5	50	30. 01.96
	-6,3	-6,4	-5,5	-4,5	-0,5	624	7,9	62	11.02.96
	-0,3	-0,1	0,3	-0,6	1,0	787	19,9	110	30.03.96
2005/2006 F _d = 601	-13,2	-12,5	-11,1	-7,3	1,2	276	4,1	34	24.01.06
	-2,7	-2,8	-2,9	-2,7	0	327	4,3	40	30.01.06
	-2,7	-2,6	-2,4	-1,8	0,5	403	6,3	52	11.02.06
	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	601	12,0	96	29.03.06

Podstawowe równanie różniczkowe opisujące przewodzenie ciepła w dwóch kierunkach w funkcji temperatury $T(x,y,t)$ wykorzystane w programie HEAT2 ma postać:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial x} \right) + I(x, y, t) = C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

gdzie: I jest to „wskaźnik” wewnętrznych źródeł ciepła w W/m^3 , λ_x i λ_y są to odpowiednio przewodność cieplna na kierunku x i y w W/mK , a C jest objętościową pojemnością cieplną w J/m^3K .

Warunki graniczne (brzegowe i początkowe) w przypadku dwu- i trój- kierunkowego przepływu ciepła są niezmiennie. Mogą być one stosowane dla powierzchni granicznych (b.s.) (Hagentoft, 1988; Ickiewicz, 2004). Warunki te przedstawiono poniżej:

Warunek brzegowy uwzględnia temperaturę otoczenia $T_{b,s}(t)$ oraz opór powierzchni R [m^2K/W].

$$T_{b,s}(t) - T|_{surf} = R \cdot (-\lambda) \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{surf} \quad (2)$$

gdzie $\partial T / \partial n$ jest pochodną w normalnym kierunku.

Warunek początkowy określono jako rozkład temperatury w czasie $t = t_{start}$ w dwóch kierunkach jako $T(x, y, t_{start})$.

Dane do obliczeń:

- średnia grubość pokrywy śniegu 24,7 cm utrzymująca się przez okres 108 dni (zima 1986/1987);
- współczynnika przewodzenia ciepła śniegu $\lambda = 0,2$ W/mK (wartość uśredniona) według EN 12524:2000 *Obliczeniowe wartości współczynników przewodzenia ciepła*;

– średnie temperatury powietrza – zima 1986/1987 według danych IMiGW.

Wyniki obliczeń, jak i dane z pomiarów bezpośrednich, pokazano na wykresach (rys. 4-6) oraz tabeli 2.

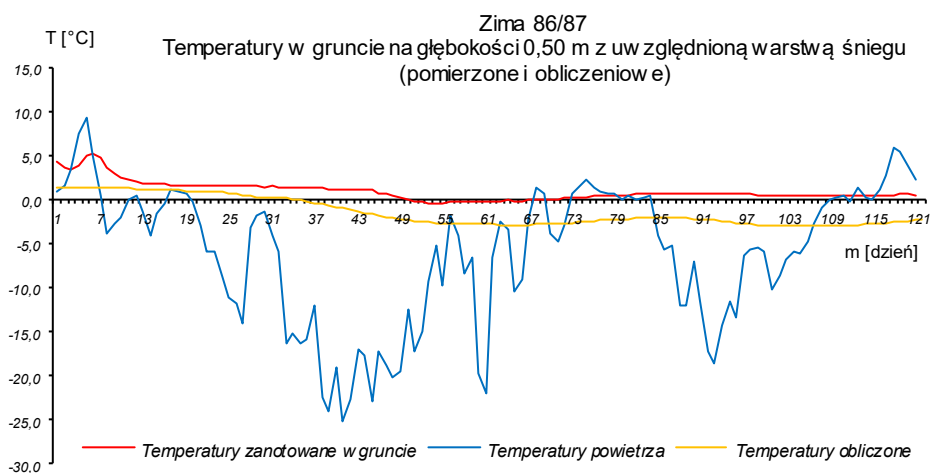
Tab. 2. Zestawienie temperatur obliczeniowych w gruncie na zadanych głębokościach z dnia 27.12.1987, wykonane przy wspomaganium numerycznym programem HEAT 2 5.01

Głębokości, na których wykonywano pomiary	Pomierzone temperatury w gruncie	Obliczeniowe temperatury w gruncie bez warstwy śniegu	Obliczeniowe temperatury w gruncie z warstwą śniegu*
5 cm	-0,4	-10,0	0,59
10 cm	-0,1	-7,90	-0,15
20 cm	0,5	-5,10	0,58
50 cm	1,6	-0,90	1,80
100 cm	3,4	1,60	2,80

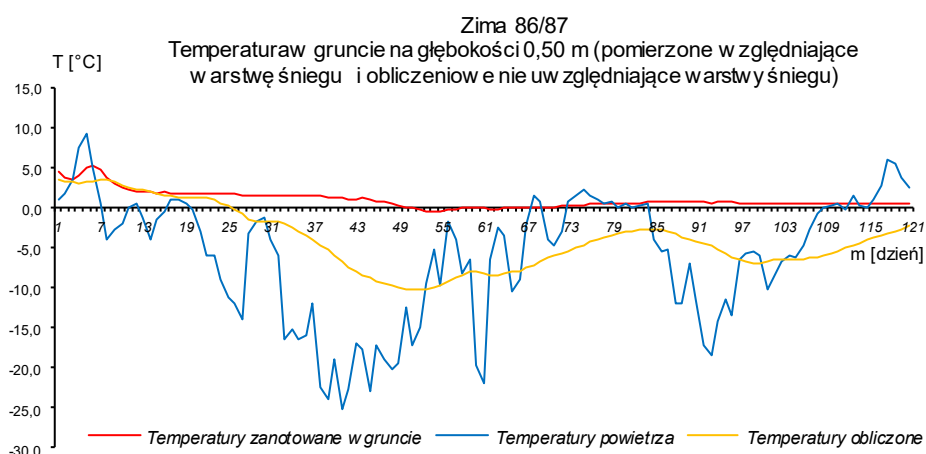
* średnia grubość pokrywy śniegu do 27.12.87 wynosiła 10 cm

3. Analiza otrzymanych wyników

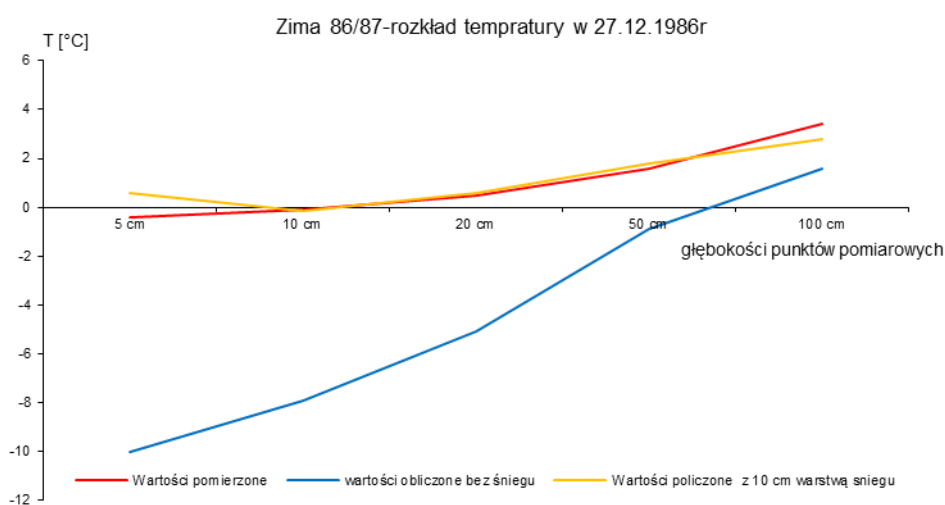
Analizując zestawione w tabelach 1 i 2 oraz na wykresach (rys. 1-5) wartości temperatur w zamrażających gruntach na różnych głębokościach, uzyskane z pomiarów bezpośrednich, jak i z obliczeń można stwierdzić, że grubość pokrywy śnieżnej ma istotny wpływ na wartość tych temperatur zwłaszcza w strefie wahań dobowych (od 0,8 do 1,0 m).



Rys. 4. Pomierzone (dane IMiGW) i obliczeniowe (HEAT2) wartości temperatur w gruncie na głębokości 50 cm z uwzględnioną warstwą śniegu



Rys. 5. Pomierzone (dane IMiGW) i obliczeniowe (HEAT2) wartości temperatur w gruncie na głębokości 50 cm bez uwzględnionej warstwy śniegu



Rys. 6. Wartości obliczeniowe (HEAT 2) i pomierzone (IMiGW) temperatur na głębokości 5, 10, 20, 50 i 100cm z uwzględnieniem i bez uwzględnienia warstwy śniegu

Tab. 3. Porównanie najniższych wartości temperatur na głębokości 50 cm dla 3 wybranych zim

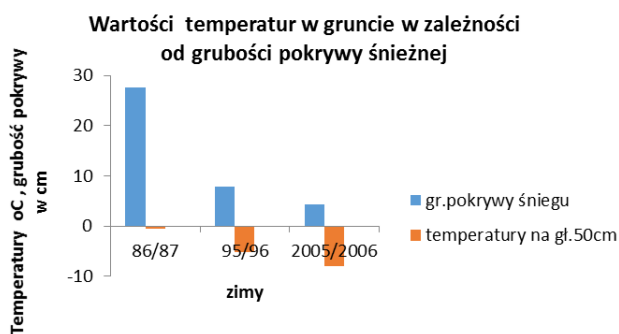
Zima	Wskaźnik mrozowy F_d		Średnia grubość śniegu	Ilość dób z pokrywą śniegu	Najniższa temperatura na głębokości [°C]	
	do 27.01.06	maksymalny			50 cm	100 cm
1986/1987	500	657	24,7 (27,6)*	108 (44)**	-0,5	1,8
1995/1996	480	787	19,9 (7,9)*	110 (48)**	-5,2	0,0
2005/2006	317	601	12,3 (4,3)*	97 (38)**	-8,1	0,0

Objaśnienia: * grubości średniej pokrywy śniegu do dnia najniższych temperatur jakie wystąpiły w czasie zimy,

** liczba dób do dnia najniższych temperatur jakie wystąpiły w czasie zimy.

Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 3 stwierdzono, że podczas zim o podobnych wskaźnikach mrozowych: 1986/1987 ($F_d = 765$), 1995/1996 ($F_d = 787$) i 2005/2006 ($F_d = 601$), najniższe temperatury w gruntach na głębokości 50 cm różniły się radykalnie. Podobnie grubości pokrywy śnieżnej dla 3 analizowanych zim różniły się znacznie, przykładowo dla zimy 1986/1987 przy średniej grubości pokrywy śnieżnej wynoszącej 27,6 cm temperatura minimalna na głębokości 50 cm wynosiła $-0,5^{\circ}\text{C}$, natomiast dla zimy 2005/2006 przy średniej grubości pokrywy śniegu 4,3 cm (6,5 krotnie mniejszej) temperatura w gruncie na tej samej głębokości wynosiła $-8,1^{\circ}\text{C}$ (16-krotnie niższa). Tak duże rozbieżności w wyników potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia o znaczącym wpływie warstwy śniegu na rozkład temperatury.

Otrzymane wyniki z obliczeń numerycznych (HEAT2) pokazane na rysunkach 4-7, dają dobrą zgodność z wartościami otrzymanymi z pomiarów bezpośrednimi wykonanymi przez IMiGW.



Rys. 7. Wartości najniższych temperatur w gruncie na głębokości 50 cm dla 3 zim

Wyniki rozkładu temperatury zamieszczone na rysunku 5 na głębokości 50 cm dla zimy 1986/1987 (śnieżnej) otrzymane z obliczeń numerycznych są średnio o $3,0^{\circ}\text{C}$ niższe w stosunku do wyników z pomiarów bezpośrednich. Przyczyną rozbieżności otrzymanych wyników jest przyjęcie stałej (uśrednionej) grubości pokrywy śniegu dla całej zimy. Zima ta charakteryzowała dużą ilością opadów śniegu. Już po 10 dniach występowania temperatur ujemnych warstwa śniegu zaczęła szybko zwiększać swoją grubość i po kolejnych 7 dniach wynosiła już 40 cm. Niestety program nie posiada opcji wprowadzanie zmiennej grubości izolacji termicznej (w funkcji czasu). Z logicznego punktu

widzenia jest to uzasadnione.

Za poprawnym działaniem programu HEAT 2 świadczy fakt, że w przypadku braku izolacji (pierwsze kilka dni zimy) wykresy temperatur obliczeniowych i pomierzonych pokrywają się (rys. 4).

W celu sprawdzenia czy rzeczywiście uśrednienie grubości pokrywy śnieżnej z całej zimy (rys. 4) miało wpływ na wynik, przeprowadzono dodatkowe obliczenia przy przyjęciu średniej grubości pokrywy śniegu dla małego okresu czasu (w pierwszym miesiącu). Wyniki zestawiono w tabeli 2 oraz na rysunku 6. Z analizy otrzymanych wyników można stwierdzić dużo większą zgodność (na wszystkich głębokościach) niż w przypadku obliczeń ze średnią grubością pokrywy ze znacznie większego okresu czasu (3 miesiące).

Wyniki rozkładu temperatury na głębokości 50 cm otrzymane z obliczeń numerycznych zamieszczone na rysunku 3 można uważać za poprawne. Podobne wartości otrzymano z pomiarów bezpośrednich dla prawie bezśnieżnej zimy 2005/2006 o podobnym wskaźniku stopniodni temperatur ujemnych (F_d).

Otrzymane z obliczeń numerycznych wyniki rozkładu temperatury w gruncie bez pokrywy śniegu dają możliwość oszacowania „inżynierskiego” jakie mogą być temperatury w gruncie na poszczególnych głębokościach. Uzyskane w ten sposób dane pozwalają między innymi na oszacowanie głębokości przemarzania gruntu w konkretnych warunkach pogodowych, ale bez warstwy śniegu.

4. Podsumowanie i wnioski

Dane na temat rozkładu temperatur na wybranych głębokościach, uzyskane z pomiarów bezpośrednich wykonywanych przez IMiGW, uwzględniają grubość pokrywy śniegu zmienną w czasie.

Wyników „obarczonych” zmienną izolacją cieplną w postaci warstwy śniegu w żaden sposób nie można uzależniać tylko od stopniodni temperatur ujemnych panujących w czasie analizowanej zimy (na przykład z 50-letnim okresem powrotu).

Aby można było wykorzystać ogromy zasób danych, dotyczących rozkładu temperatury wykonywanych przez IMiGW do oceny maksymalnej głębokości przemarzania gruntów, należałoby ocenić wpływ zmiennej izolacji termicznej w postaci warstwy śniegu na rozkład temperatury w gruncie. Próbę takiej oceny zamieszczono

w niniejszym artykule.

Otrzymane wyniki rozkładu temperatury w gruncie zarówno z pomiarów bezpośrednich, jak i wartości obliczeniowych, umożliwiają taką ocenę dla konkretnej zimy.

Niestety przy tak nieprzewidywalnych zmiennych losowych, jak: grubość warstwy śniegu, czas utrzymywania się tej warstwy, odwilże (wpływające na „puszystość” warstwy śniegu, a tym samym na współczynnik przewodzenia ciepła λ), czy nasłonecznienie, jest praktycznie niemożliwe uogólnienie określenia wpływu zmiennej warstwy śniegu na rozkład temperatury (na przykład w postaci współczynnika czy w jakiegokolwiek innej formie). Jedynie dane z pomiarów bezpośrednich pozwalają na bezpośrednią ocenę wpływu warstwy śniegu na rozkład temperatury w gruncie dla konkretnej zimy.

W przypadku obliczeń przy pomocy programu HEAT 2, otrzymane wyniki rozkładu temperatury, zweryfikowane doświadczalnie, potwierdzają poprawność działania programu do tego typu zadań. Jednak program powinien zawierać dodatkową opcję ze zmienną w czasie izolacją termiczną (warstwą śniegu). Uzyskane w ten sposób wyniki dałyby większą zgodność z wartościami rzeczywistymi.

Literatura

- Blomberg T. (2000). HEAT 2. A PC-program for heat transfer in two dimensions. Manual with brief theory and examples. *Lund-Gothenburg Group for Computational Building Physics*, Lund University and MIT, Lund.
- Blomberg T. (2001). HEAT 3. A PC-program for heat transfer in three dimensions. *Lund-Gothenburg Group for Computational Building Physics*, Lund University and MIT, Lund.
- Hagentoft C.-E. (1988). Heat loss to the ground from a building slab on the ground and cellar. *Department of Building Technology*, Raport TVBH-1004, Lund Institute of Technology, Lund.
- Ickiewicz I. (2004). Analiza możliwości obliczeń rozkładu temperatury w gruncie w otoczeniu budynku przy pomocy programów numerycznych. *Materiały konferencyjne VII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Energodom 2004*, Kraków, 129-136.

IMPACT OF SNOW ON THE NATURAL TEMPERATURE FIELD IN THE SUBSOIL

Abstract: Natural temperature field in the subsoil is a function of time and depth, it occurs away from various sorts of heat sources. Fluctuations of the outside air temperature and the average annual temperature have an impact on the natural temperature field. Measurements of the temperature field in the soil carried out by the IMiGW are conducted in an open area, hence results gained in winter are subject to error due to the thermal insulation of soil in the form of a layer of snow. To be able to use the huge amount of data on the temperature distribution in the subsoil (including the depth of frost penetration) held in IMiGW resources, we should assess the impact of the variable thermal insulation in the form of a layer of snow on the values obtained from the measurements. An attempt of such an assessment is described in this paper.