ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: BUDOWNICTWO z. 101 Nr kol. 1595

Agnieszka GONTASZEWSKA*
Uniwersytet Zielonogórski

OBLICZONE A ZAOBSERWOWANE PRZEMARZANIE GRUNTU W ZIMIE 2002/2003 NA STACJI IMGW RADZYŃ K. SŁAWY

Streszczenie. W artykule obliczono wybranymi wzorami empirycznymi głębokość przemarzania gruntu na stacji IMGW Radzyń. Przedstawiono kształtowanie się temperatur powietrza oraz gruntu podczas zimy 2002/2003. Porównano obliczoną i rzeczywistą głębokość przemarzania.

CALCULATED AND OBSERVED GROUND FREEZING IN WINTER 2002/2003 AT METEOROLOGICAL STATION RADZYŃ NEAR SŁAWA

Summary. The aim of this paper was to estimate the depth of ground freezing at meteorological station Radzyń. A comparison of real and estimated ground freezing temperature was shown.

1. Wstęp

Przemarzanie gruntów jest jednym z istotnych problemów, jakimi zajmuje się geotechnika. Polska norma PN-81/03020 podaje dla Polski maksymalne przemarzanie gruntu w postaci mapy z izoliniami głębokości od 0.8 do 1.4 metra. Jednak wyjątkowo mroźna zima 1995/96 dowiodła, że nie są to wartości maksymalne.

Stacja Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, na której pomiarach się opierano, znajduje się w miejscowości Radzyń niedaleko Sławy, w SE części woj. lubuskiego. Autorka chciałaby serdecznie podziękować dyrektorowi ww. stacji, panu mgr. Alfredowi Rösslerowi za udostępnienie danych. Wykorzystano następujące dane meteorologiczne: średnia dobowa temperatura miesięczna, średnia temperatura miesięczna oraz temperatura gruntu mierzona na

* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. Jerzy Liszkowski.

1,5,10,20,50 i 100 cm. Pomiar temperatury gruntu odbywa się o godz. 7.00. za pomocą aparatu Vaisala.

2. Stosowane wzory empiryczne

Wzory empiryczne bazują na dostępnych danych meteorologicznych - temperatury powietrza lub temperatury przygruntowej. Metody zachodnie opierają się głównie na tzw. wskaźniku mrozowym, wyznaczanym na podstawie średnich dobowych temperatur powietrza (air-freezing index, AFI). W różnych krajach stosuje się różne metody wyznaczania wskaźnika mrozowego (AFI), co opisano dalej. Wskaźnik mrozowy jest zwykle podawany w stopniodniach, rzadziej stopniogodzinach mrozu w danej zimie.

Jednym z takich wzorów jest wzór podawany przez Aldricha [1] i Sangera [13]:

$$D = \frac{\lambda\sqrt{2kF_s}}{L} \tag{1}$$

gdzie: D – głębokość przemarzania;
F_s – powierzchniowy indeks mrozowy;
λ – bezwymiarowy współczynnik;
k – przewodność cieplna zamarzniętego gruntu;
L – objętościowe ciepło utajone gruntu.

Wzór ten zawyża jednak wyniki [5].

Jeszcze prostszym wzorem jest wzór zaproponowany przez McKeowna i in. [7], gdzie współczynnik λ zawiera w sobie także wartości przewodności cieplnej i ciepła utajonego gruntu:

$$D = \lambda\sqrt{F_a} \text{ [m]} \tag{2}$$

gdzie: F_a – indeks mrozowy (AFI).

Współczynnik λ mieści się wg autorów w przedziale 0,069 – 0,125 dla gruntów gruboziarnistych i żwirów, a dla gruntów drobnoziarnistych jest niższy. Haas i Winters [4] podają podobny wzór:

$$D = a + \lambda\sqrt{F_a} \tag{3}$$

gdzie: a – stała.

Z badań przemarzania gruntów pod powierzchniami pokrytymi asfaltem i cementem przeprowadzonych w Kanadzie [2] wynika, że współczynnik λ mieści się w przedziale 0,037 – 0,083. Najniższe wartości λ zanotowano dla gruntów przykrytych asfaltem, co można tłumaczyć silniejszym nagrzewaniem się ciemnego asfaltu wskutek promieniowania słonecznego niż

powierzchni pokrytej jaśniejszym cementem. Dla powierzchni pokrytych cementem współczynnik λ wynosił zwykle 0,5 – 0,6. Autorzy tychże badań zalecają użycie do obliczeń zasięgu przemarzania maksymalnych wartości λ i współczynnika (indeksu) mrozowego.

W literaturze fińskiej można znaleźć gotowe wykresy pozwalające odczytać głębokość przemarzania gruntów w zależności od rodzaju gruntu oraz średniej grubości pokrywy śniegu zalegającej na danym terenie.

W dawnym Związku Radzieckim do określania głębokości przemarzania używano wzoru zamieszczonego w normie SNiP II-15-74:

$$H_H = H_0\sqrt{\sum|T_M|} \tag{4}$$

gdzie: H_H – głębokość przemarzania [cm],

H_O – głębokość przemarzania przy $\sum|T_m| = 1$, którą przyjmuje się odpowiednio jako:

23 – dla glin i glin piaszczystych;

28 – piaski gliniaste, drobne i pylaste;

30 – żwiry, piaski grube i średnie;

34 – grunty grubookruchowe;

T_M – ujemna średnia temperatura miesięczna.

Stosowano także inny dokładniejszy wzór oparty na zależnościach termodynamicznych:

$$H_H = \sqrt{\frac{2\lambda_m(t_2 + t_{H3})\tau_2}{q_2}} \tag{5}$$

gdzie: H_H – głębokość przemarzania;

λ_m – współczynnik przewodności cieplnej zamarzniętego gruntu (kcal/m h grad);

t_2 – średnia temperatura powietrza w okresie ujemnych temp. ze znakiem plus (°C);

$t_{H.3}$ – temperatura początku zamarzania gruntu (°C);

τ_2 – czas trwania okresu ujemnych temperatur powietrza (h);

$$q_2 = q(W_c - W_H)\gamma + 0{,}5C_M(t_2 + t_{H.3}) \tag{6}$$

gdzie: q – ciepło właściwe topnienia lodu, przyjmuje się 80 000 kcal/tc;

W_C – wilgotność gruntu [-];

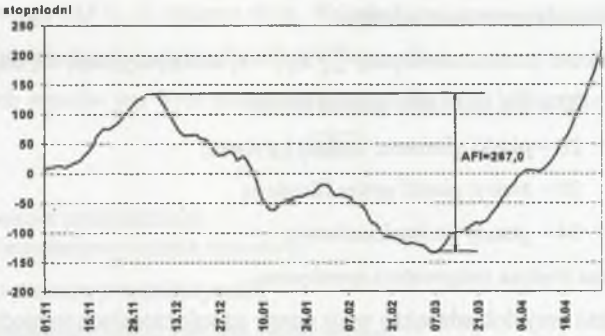
W_H – zawartość niezamarzniętej wody w gruncie [-];

C_M – objętościowa pojemność cieplna przemarzniętego gruntu (kcal/m^{3}grad);

γ – objętościowy ciężar szkieletu gruntowego (T/m^3).

3. Metody wyznaczania wskaźnika mrozowego

Metoda amerykańska [3, 17]. Indeks mrozowy wyznacza się z wykresu jako odległość w pionie pomiędzy najniższym i najwyższym punktem na „krzywej mrozowej" dla danej zimy. Krzywa ta powstaje przez sumowanie kolejnych średnich dobowych temperatur (ujemnych i dodatnich) w danym sezonie. Metoda ta eliminuje z sumy temperatur pewną ich liczbę, co odpowiada uwzględnieniu okresów ociepleń w danej zimie. Podobnie nie zostaną „zaliczone" do wskaźnika mrozowego mroźne dni panujące długo przed i długo po głównym okresie ujemnych temperatur. Rysunek 1. przedstawia wyznaczenie indeksu dla danych z Radzynia.



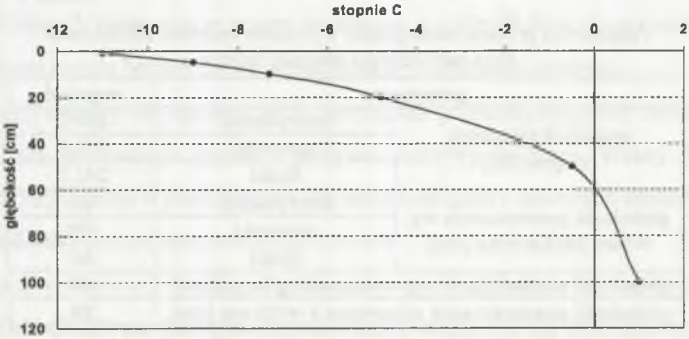
Rys. 1. Odczytywanie wskaźnika mrozowego wg metody amerykańskiej
Fig. 1. Reading of air-freezing index according to American method

Metoda norweska [3] polega na zsumowaniu wszystkich ujemnych temperatur w danym sezonie. Nie uwzględnia więc ona okresów ociepleń w trakcie zimy i może być zawyżona przez pojedyncze dni o ujemnej temperaturze poza głównym sezonem, które nie mają wpływu na przemarzanie gruntu. Jednak dla regionów zimnych metoda ta nie powinna zbyt odbiegać wynikami od amerykańskiej. Zaletą metody norweskiej jest łatwe wyznaczanie AFI.

Metodą polegającą na znacznie mniejszej ilości danych meteorologicznych jest ***metoda fińska***. Używa się w niej średniej temperatury miesięcznej i mnoży ją przez liczbę dni w miesiącu. Uwzględnia się oczywiście jedynie te miesiące, w których średnia temperatura miesięczna była mniejsza o zera. Z powodu swojej małej dokładności metoda ta może mieć zastosowanie wyłącznie dla długich i mroźnych zim bez większych okresów ociepleń. W warunkach polskich wskaźnik mrozowy obliczony metodą fińską ma zdecydowanie zaniżone wyniki.

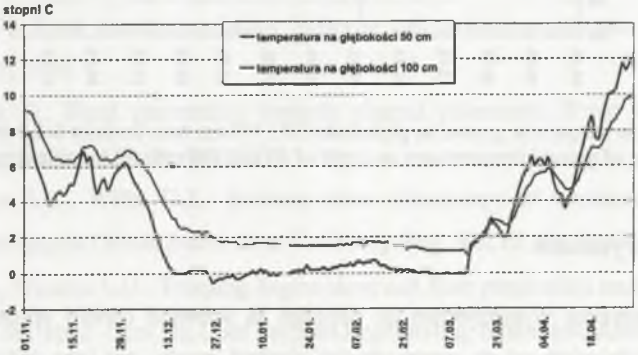
4. Rzeczywista wielkość przemarzania

Czujnik mierzący temperaturę gruntu na stacji IMGW w Radzyniu zainstalowany został w piaskach drobnych, powyżej zwierciadła wód gruntowych. Dla gruntu tego wykreślono hipotetyczną krzywą przemarzania na podstawie minimalnych temperatur zanotowanych na głębokościach 5; 10; 20; 50; 100 cm oraz minimalnej temp. powietrza (rys.2.) i odczytano zasięg ujemnych temperatur w gruncie. Należy jednak pamiętać, że jest to głębokość hipotetyczna, a grunt ma zwykle nieco niższą od 0 temperaturę zamarzania. Dla Radzynia głębokość przemarzania wyniosła 59 cm.



Rys. 2. Wyznaczanie głębokości przemarzania gruntu na podstawie hipotetycznej krzywej minimalnych temperatur gruntu (głębokość to punkt przecięcia krzywej z prostą x = 0)
Fig. 2. Determining of ground freezing depth on the basis of hypothetical curve of minimal ground temperatures (Ground freezing depth is the point of curve crossing with line x=0)

Na rys.3. przedstawiono wykres temperatur gruntu na głębokości 50 oraz 100 cm w zimie 2002/2003. Jak widać, na głębokości 100 cm nie zaobserwowano ujemnych temperatur, a na 50 cm jedynie sporadycznie.



Rys. 3. Temperatura gruntu na głębokości 50 i 100 cm, mierzona o godz. 7.00
Fig. 3. Ground temperatures on depth of 50 and 100 cm (7.00 AM)

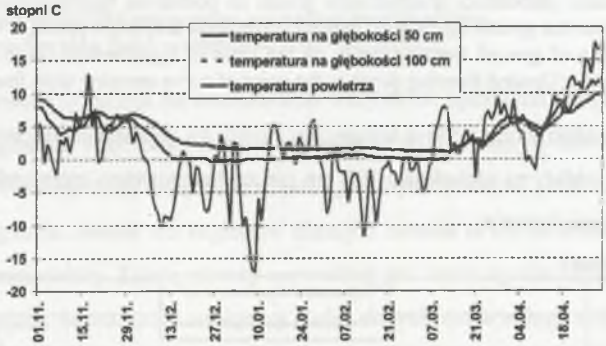
5. Głębokość przemarzania gruntu wg wzoru McKeowna i normowego radzieckiego a faktyczna wielkość przemarzania

Do obliczeń wybrano wzory McKeowna oraz wzór z radzieckiej normy SNiP II-15-74 jako wymagające najmniejszej ilości danych. Jako wartość współczynnika λ przyjęto 0,055 - średnią z przedziału podanego przez McCormicka, a dla wzoru radzieckiego H_o = 28, tj. jak dla piasków drobnych. Obliczono wskaźniki mrozowe wszystkimi metodami, a następnie policzono wg wzoru McKeowna teoretyczną głębokość przemarzania gruntu i przyrównano do głębokości odczytanej z wykresu.

Tabela 1

Głębokości przemarzania gruntu wyliczone wzorami McKeowna oraz radzieckim a pomiary terenowe

parametr		wartość
wskaźnik mrozowy [stopniodni]	amerykański	267,0
	norweski	332,0
	fiński	243,7
głębokość przemarzania wg wzoru McKeowna [cm]	amerykański	82
	norweski	100
	fiński	86
głębokość przemarzania wg wzoru radzieckiego [cm]		80
głębokość przemarzania odczytana z wykresu [cm]		**59**



Rys. 4. Porównanie temperatur gruntu na głębokości 50 i 100 cm oraz średniej dobowej temperatury
Fig. 4. Comparing of ground temperatures on depth of 50 and 100 cm and average air temperature

6. Dyskusja wyników

Wzory empiryczne wykorzystane do obliczeń są wzorami bardzo uproszczonymi. Nie zawierają one odniesień ani do przewodności cieplnej gruntu, ani jego wilgotności, liczby niezamarzniętej wody, składu mineralnego [8] czy też porowatości. Nie mogą więc „z

założenia" podać dokładnych wartości. Nie uwzględniają one także bardzo ważnego czynnika izolującego – pokrywy śnieżnej. Wzory te pozwalają jednak w miarę szybko i prosto zorientować się w zakresie wartości przemarzania. Oba wzory były testowane w zupełnie innych warunkach niż polskie (Syberia i północna Kanada), gdzie przemarzanie sięga nieporównywalnie głębiej, co też nie pozostaje bez wpływu na ich przydatność w Polsce.

Porównując wartości otrzymywane z obliczeń wykonanych wzorami McKeowna i z norm radzieckich z wartościami odczytanymi z wykresu, widoczne jest, że żaden z nich nie przedstawia dobrze głębokości przemarzania gruntu w Polsce. Oba wzory zdecydowanie zawyżają wyniki. Przyczyną jest fakt nieuwzględnienia grubości pokrywy śnieżnej. Poza tym w krajach, w których testowano te wzory, występują o wiele dłuższe okresy mrozu. W Polsce natomiast okresy mrozu bardzo często przeplatają się z okresami ciepłymi.

Wzór, który mógłby się sprawdzać w warunkach polskich, musiałby zawierać w sobie zmienną zależną od rodzaju gruntu i grubości pokrywy śnieżnej. Wzory przedstawione powyżej dają przybliżone wyniki jedynie dla bardzo długich i mroźnych sezonów zimowych (np. zima 1995/96).

Z obserwacji terenowych wynika niezbicie, że wartość głębokości przemarzania podana w normie PN-81/B-03020 nie jest prawidłowa i mniej więcej raz na dziesięciolecie zdarza się zima, podczas której wartości te mogą zostać przekroczone. Przy obecnie obserwowanych zmianach klimatycznych ilość takich ekstremalnie mroźnych zim może znacznie wzrosnąć. Dlatego też należałoby na nowo podjąć temat maksymalnej głębokości przemarzania gruntów w Polsce.

LITERATURA

1. Aldrich F.P.: Frost penetration below highway and airfield pavements. High. Res. B., Bulletin 135, 1956
2. McCormick G.: Frost penetration beneath cleared pavements, Frost in Geotechnical Engineering, Balkema, Rotterdam 1993.
3. DeGaethano A.T., Wilks D.S.: Extreme-value climatology of maximum soil freezing depth in contiguous United States. Jour. Cold Reg. Eng. Vol.16, No. 2, 2002.
4. Haas W.M., Winters L.H.: Freezing degree-days and frost penetration under roads, Proceedings, 3rd Int. Spec. Conf. on Cold Regions Engineering, Edmonton, Alberta, 1984.
5. Johnston G.H.: Permafrost: Engineering Design and Construction. John Wiley and Sons, Toronto 1981.

6. Kagan A.A., Kriwonogowa N.F.: Mnogolietnie mierzlie skalnye osnowanija sooruženij, Strojizdat lieningradskoe otdielienije, Leningrad 1978.
7. McKeown S., Clark J.I., Matheson D.: Frost penetration and thermal regime in dry gravel, ASCE, Journal of Cold Regions Engineering, vol.2, 1988.
8. Konishchev N.V.: Relationship between the lithology of active-layer materials and mean annual ground temperature in the former USSR. Proc. 7th Int. Conf. of Permafrost, 1998.
9. Mäkelä H.: Frost protection and thermal insulation of shallow-laid pipelines. Tech. Res. Center of Finland, Res. Notes 113, 1982.
10. Polska Norma PN-81/B-03020.
11. Rukowodstwo po projektirowaniju osnowanij zdanij i sooruženij. Nauc.–Isslied. Inst. Osnowanij i Podziemnych Sooruženij Gosstroja SSSR, Moskwa 1978.
12. Rückli R: Der Frost im Baugrund. Springer-Verlag, Wiedeń 1950.
13. Sanger F.J.: Degree-days and heat conduction in soils. Proceedings, International Permafrost Conference, National Academy of Science, Publ. No. 1287, 1963.
14. Seppälä M.: Geomorphological aspects of road construction in a cold environment. Finland, Geomorphology 31, 1999.
15. Steuer P.M.: Probability distributions used in 100-years return period of air-freezing index. Jour. Cold Reg. Eng. Vol. 10, No 1, 1996.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Lech Wysokiński

Abstract

The aim of this paper was to estimate the depth of ground freezing at meteorological station Radzyń. A comparison of real and estimated ground freezing temperature was shown. Real depth of ground freezing was 59 cm and estimated depth was 80, 82, 86 and 100 cm .