

**SCIENTIFIC  
STUDIES**  
Monographs

**PRACE  
NAUKOWE**  
Monografie

Jerzy Antoni Żurański, Tomasz Godlewski

# O przemarzaniu gruntu w Polsce

Seasonal ground freezing in Poland



Instytut Techniki Budowlanej

Warszawa 2017

## KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor naczelny	prof. dr hab. inż. LECH CZARNECKI
Zastępcy redaktora naczelnego	prof. dr inż. LESŁAW BRUNARSKI dr hab. inż. JADWIGA FANGRAT
Sekretarz	dr MICHAŁ GAJOWNIK
Członkowie	dr hab. inż. PAWEŁ LEWIŃSKI dr inż. TERESA MOŻARYN mgr inż. JAN SIECZKOWSKI dr inż. EWA SZEWCZAK dr inż. SEBASTIAN WALL

### Recenzenci

prof. dr inż. LESŁAW BRUNARSKI  
dr hab. inż. IRENA ICKIEWICZ, prof. PB  
prof. dr hab. inż. ZBIGNIEW GRABOWSKI

### Redakcja

dr MICHAŁ GAJOWNIK

### Opracowanie komputerowe

SŁAWOMIR KOSIARSKI

© Copyright by Instytut Techniki Budowlanej  
Warszawa 2017

*Czterysta sześćdziesiąta szósta pozycja  
„Prac Naukowych ITB”*

ISBN 978-83-249-8490-9

ISBN 978-83-249-8496-1 (PDF)

Wydawca i Autorzy dołożyli wszelkich starań, aby publikowane informacje pochodziły z rzetelnych źródeł. Wydawca nie ponosi odpowiedzialności ani też nie zaciąga zobowiązań w wyniku wykorzystania przez użytkowników treści niniejszej publikacji. W szczególności nie ponosi odpowiedzialności w stosunku do czytelników i/lub strony trzeciej za jakiegokolwiek poniesione straty, wydatki i szkody bezpośrednie i pośrednie, łącznie z utratą zysku i innych korzyści majątkowych, które mogły powstać lub być związane bezpośrednio lub pośrednio z treściami opublikowanymi, w tym ewentualnymi błędami lub pominięciami zawartymi w publikowanych materiałach.



**Instytut Techniki Budowlanej**

Sekcja Wydawnictw Naukowych

02-656 Warszawa, ul. Ksawerów 21, tel.: 22 843 35 19

[www.itb.pl](http://www.itb.pl)

Sklep internetowy [klient.itb.pl](http://klient.itb.pl)

## Spis treści

<i>Streszczenie</i> .....	5
<i>Summary</i> .....	7
Przedmowa .....	9
1. Wstęp .....	11
2. Dotychczasowe badania przemarzania gruntu .....	13
3. Czynniki klimatyczne i gruntowe wpływające na przemarzanie gruntu .....	17
3.1. Wprowadzenie .....	17
3.2. Temperatura powietrza .....	17
3.3. Pokrywa śnieżna .....	19
3.4. Struktura i stan gruntu .....	26
3.5. Głębokość przemarzania gruntu a położenie izotermy zerowej .....	28
4. Metody oceny głębokości przemarzania gruntu .....	31
4.1. Wprowadzenie .....	31
4.2. Wzór Dębskiego .....	33
4.3. Zmodyfikowany wzór Berggrena .....	35
4.4. Wytyczne NiTU .....	36
5. Głębokość przemarzania gruntu w polskich normach .....	39
6. Dotychczasowe propozycje oceny głębokości przemarzania gruntu w Polsce .....	53
6.1. Propozycja Gontaszewskiej .....	53
6.2. Propozycja Ickiewicz .....	58
7. Dane pomiarowe ze stacji meteorologicznych .....	59
7.1. Metody i techniki pomiarowe .....	59
7.2. Ekstrapolacja danych pomiarowych .....	62
7.3. Daty wystąpienia najgłębszego położenia izotermy zerowej .....	64
7.4. Wykorzystane dane pomiarowe .....	65
8. Metoda opracowania danych pomiarowych .....	67
8.1. Wprowadzenie .....	67
8.2. Rozkład Gumbela .....	70
8.3. Metody estymacji parametrów rozkładu Gumbela .....	71
8.4. Obliczanie prognozowanej wartości położenia izotermy zerowej w gruncie .....	73
9. Wyniki obliczeń danych pomiarowych .....	75
10. Zestawienie wyników analizy położenia izotermy zerowej w gruncie .....	83
10.1. Warunki gruntowe na stacjach meteorologicznych .....	83
10.2. Współczynniki przeliczeniowe ze względu na warunki gruntowe na stacjach meteorologicznych .....	83
10.3. Korekta wyników analizy położenia izotermy zerowej w gruncie .....	84

11. Porównanie otrzymanych wyników z wynikami uzyskanymi metodą stopniodni.....	91
12. Podsumowanie. Propozycje wykorzystania wyników i dalszych prac .....	95
Bibliografia.....	103
Załącznik 1. Lokalizacja stacji meteorologicznych oraz opisy gruntów.....	109
Załącznik 2. Maksymalne roczne głębokości położenia izotermy zerowej .....	123
Załącznik 3. Wykresy pomocnicze do ekstrapolacji wyników pomiarów .....	129
Załącznik 4. Wyniki obliczeń statystycznych i probabilistycznych .....	143
Załącznik 5. Wykresy na siatce probabilistycznej Gumbela.....	149

## PRZEDMOWA

Monografia jest wynikiem prac prowadzonych w ramach działalności statutowej w ITB. Rozpoczęto je na podstawie tematu NG-63/2011, następnie kontynuowano w ramach tematu NK-37 i zakończono tematem NZK-37/2016.

Podstawową część pracy stanowi analiza danych pomiarowych temperatury gruntu, udostępnionych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, za co należą się podziękowania.

Podziękowania składam również poniższym osobom zaangażowanym w wykonanie pracy:

– mgr. Sławomirowi Wereskiemu z IMGW-PIB, który przygotował dane pomiarowe i opisy gruntu na stacjach meteorologicznych,

– dr. inż. Andrzejowi Sobolewskiemu, uczestniczącemu w analizie wyników badań do momentu opuszczenia przez niego ITB z końcem kwietnia 2015 r.,

– mgr. Marcinowi Witowskiemu z Zakładu Konstrukcji Budowlanych i Geotechniki ITB, który przygotował graficzny obraz wyników analizy w formie map izolinii.

Recenzentom, Pani Profesor Irenie Ickiewicz oraz Panom Profesorom Lesławowi Brunarskiemu i Zbigniewowi Grabowskiemu, dziękuję za cenne uwagi, które podniosły wartość monografii.

*lipiec 2017 r.*

*Jerzy Antoni Żurański*

Z wielkim żalem informuję szanownych Czytelników, że na początku października 2017 r. zmarł wybitny specjalista w zakresie oddziaływań klimatycznych w budownictwie, cierpliwy mentor i wspaniały człowiek – główny inicjator i współautor książki, dr hab. inż. Jerzy Antoni Żurański, prof. ITB.

Niniejsza monografia jest ostatnim dziełem Profesora z wielu opublikowanych, a dotrzymana obietnica jej dokończenia to hołd dla Jego licznych zasług oraz osobiste podziękowanie. Świat nauki i praktyki budowlanej poniósł wielką stratę. Cześć Jego pamięci!

*październik 2017 r.*

*Tomasz Godlewski*

## 1. WSTĘP

Przemarzenie gruntu jest jednym ze zjawisk będących skutkiem oddziaływań klimatycznych – w tym przypadku ujemnej temperatury powietrza. Należy brać je pod uwagę w projektowaniu fundamentów budowli naziemnych oraz w projektowaniu obiektów i urządzeń podziemnych.

Celem monografii jest przedstawienie głębokości przemarzania gruntu, a ściślej mówiąc, głębokości położenia izotermy zerowej na terenie Polski, wyznaczonych na podstawie probabilistycznej analizy danych pomiarowych stacji meteorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB). Instytut ten od wielu lat prowadzi pomiary temperatury gruntu na kilku głębokościach, na większości stacji pierwszego rzędu początkowo do głębokości 0,5 m, a od zimy 1981/1982 do głębokości 1,0 m. Ponad trzydziestoletni ciąg danych pomiarowych uznaje się za wystarczająco długi, aby poddać go analizie probabilistycznej. Należy podkreślić, że głębokość przemarzania gruntu nie jest identyczna z położeniem izotermy zerowej (p. 3.5), jednak tylko takie dane pomiarowe istnieją i można je opracować statystycznie i probabilistycznie.

W monografii przedstawiono także mapy stref przemarzania gruntu w Polsce, które znajdują się w dotychczasowych normach polskich, poczynając od 1955 r., oraz omówiono metody wykorzystane do ich opracowania, w stopniu, w jakim jest to obecnie możliwe do ustalenia.

W dotychczasowych metodach wyznaczania głębokości przemarzania gruntu wykorzystuje się liczbę dni w roku (w czasie zimy) z ujemną temperaturą powietrza, tzw. stopniodni, podobnie jak w analizach zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków, a także kilka współczynników zależnych przede wszystkim od rodzaju gruntu i grubości pokrywy śnieżnej. Metody te krótko omówiono poniżej. Przedstawiono również dwie publikacje zawierające propozycje zmian na mapie przemarzania gruntu w Polsce, opracowane z wykorzystaniem liczby stopniodni – wskaźnika mrozowego [14], [26].

Podstawowa część monografii obejmuje analizę probabilistyczną maksymalnych rocznych (zimowych) głębokości położenia izotermy zerowej z 45 stacji meteorologicznych IMGW-PIB z lat 1981/1982 – 2011/2012. Przyjęto, że rok oznacza tu rok klimatyczny, trwający od 1 października

do 30 września. Temperaturę gruntu początkowo mierzyło 60 stacji IMGW-PIB. Wprowadzana stopniowo automatyzacja pomiarów meteorologicznych, a także przenoszenie niektórych stacji, zmieniające warunki gruntowe i zrywające w ten sposób ciągi pomiarowe, ograniczyło tę liczbę. Uznano jednak, że dane z 45 stacji wystarczą do opracowania mapy przemarzania gruntu w Polsce.

Stwierdzono, że rozkład Gumbela dobrze aproksymuje empiryczne rozkłady maksymalnych wartości głębokości położenia izotermy zerowej w gruncie. Zaproponowano, że do wykorzystywania w praktyce projektowej należy przyjmować głębokości o okresie powrotu  $t_{\text{ret}} = 50$  lat, tzn. takie, których roczne prawdopodobieństwo przewyższenia wynosi 0,02. Uzyskane z obliczeń wartości prognozowane  $Z_k$  o okresie powrotu  $t_{\text{ret}} = 50$  lat różnią się od wartości podanych w dotychczasowych polskich normach, przy czym na części terytorium Polski różnice są znaczne.

Na podstawie oceny warunków gruntowych występujących na stacjach meteorologicznych oraz analiz danych z literatury zaproponowano podział na cztery rodzaje gruntów i współczynniki przeliczeniowe umożliwiające przeliczenie głębokości położenia izotermy zerowej dla gruntu przyjętego jako referencyjny (odniesienia) na pozostałe rodzaje gruntów.

Opracowano mapę przemarzania gruntu w Polsce w postaci izolunii głębokości położenia izotermy zerowej w gruncie referencyjnym, o okresie powrotu 50 lat, a także przedstawiono te wartości tabelarycznie. Wzoru-jąc się na kodyfikacji innych oddziaływań klimatycznych, np. obciążenia śniegiem oraz oddziaływania wiatru i temperatury powietrza, zaproponowano wprowadzenie współczynnika bezpieczeństwa (współczynnika częściowego), zwiększającego głębokość położenia izotermy zerowej.

Literatura dotycząca zjawisk związanych z temperaturą w gruncie jest bardzo obszerna. Celem niniejszej monografii nie jest jednak jej omówienie, ani także przedstawienie fizycznych procesów zamarzania gruntu. Monografia obejmuje jedynie przedstawienie metod oceny głębokości przemarzania gruntu, zastosowanych do ustalenia dotychczasowych postanowień normowych w polskich normach oraz nowej metody, wykorzystującej dane pomiarowe położenia izotermy zerowej w gruncie. W pracy wykorzystano wyniki pomiarów temperatury gruntu wykonywane w standardowych warunkach na poletkach, z których usunięto trawę, lecz z pokrywą śnieżną (jeżeli występowała).

## 2. DOTYCHCZASOWE BADANIA PRZEMARZANIA GRUNTU

Stan normalizacji przemarzania gruntu w Polsce oraz sposoby uaktualnienia i uwiarygodnienia wartości normowych przedstawili wiele lat temu Ickiewicz i Pogorzelski [20]. Poniżej podano obszernie fragmenty ich artykułu (powołane publikacje według bibliografii niniejszej pracy).

*Piszą oni: ...krajowe dane doświadczalne o głębokości przemarzania gruntów wydają się niewystarczające, tak do utrzymania, jak i do zmiany wartości podanych w PN-81/B-03020, jeśli głębokość przemarzania ma być należycie uzasadniona, a nie oparta na ustaleniach arbitralnych. I dalej: Jak się wydaje pierwsze systematyczne badania głębokości przemarzania gruntów przeprowadzono w Polsce w latach 1928-1933 (cztery zimy, w tym najostrejsza w naszym stuleciu zima 1928/29) z inicjatywy Ministerstwa Komunikacji. Wyniki badań opracował Dębski [8].*

*Jak się zdaje [6] wzór Dębskiego [...] i temperatury powietrza z okresu 1881-1931 dotyczące 151 stacji klimatycznych posłużyły do podziału obecnego obszaru Polski na strefy o różnej głębokości zamarzania w pierwszej powojennej normie PN-55/B-03020. Zmiany postanowień normowych w 1974 r. dokonano (jak się zdaje [69]), wykorzystując do opracowania danych klimatycznych wzór z poprzedniej normy radzieckiej [...]. Wartości liczbowe podane w PN-81/B-03020 dotyczą gruntów spoistych.*

*Pomiary temperatury gruntu oraz określanie na tej podstawie izotermi 0°C w gruncie prowadzi Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, przy czym na głębokości ponad 50 cm tylko w kilkunastu stacjach, w zasadzie od zimy 1958/59, jednak z przerwą w latach siedemdziesiątych. W okresie tym następowały zmiany lokalizacji niektórych punktów pomiarowych. Nie ze wszystkich stacji są dane o rodzaju i stanie gruntu na poletku pomiarowym.*

*Na podstawie danych PIHM (Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny, obecnie IMGW-PIB) oraz informacji z przedsiębiorstw melioracyjnych, z propozycją złagodzenia ustaleń PN-81/B-03020 dotyczących głębokości przemarzania i posadowienia bezpośredniego obiektów budownictwa rolniczego, wystąpił Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa [55]. Autorzy tego opracowania stwierdzili, że w rozpatrywanym okresie głębokości przemarzania z pomiarów IMGW są*



*zawsze niższe od wartości normowych, jak również znacznie niższe od obliczonych ze wzoru SNiP.*

*Zdaniem autorów, przy dotychczas stosowanym podejściu do ustalania głębokości przemarzania gruntów, problem może być rozstrzygany tylko arbitralnie. Brak jest bowiem systematycznych, wieloletnich pomiarów temperatury w gruncie, umożliwiających ustalenie obliczeniowych wartości głębokości przemarzania odpowiadających 50-letniemu czasowi powrotu. Wieloletnie dane klimatyczne, na których można by się oprzeć, istnieją natomiast w odniesieniu do temperatury powietrza. Na tej podstawie można, analogicznie do postępowania znanego przy ustalaniu obliczeniowych wartości innych oddziaływań klimatycznych na budowlę, ustalić wskaźniki mrozu odpowiadające 50-letniemu czasowi powrotu. Prawdopodobnie wartości te będą niższe od odpowiadających ziemie 1928/29.*

Chociaż cytowany artykuł ukazał się w roku 1987, to większość stwierdzeń pozostaje aktualna (z wyjątkiem propozycji złagodzenia postanowień normowych, zgłoszonej przez IBMER i przytoczonej powyżej). Od tego czasu zmienił się jednak stan danych pomiarowych. Obecnie IMGW-PIB dysponuje danymi sponad 30 lat pomiarów. Można już opracować te dane bez uciekania się do stosowania metod pośrednich, takich jak wskaźnik mrozowy. Jest to możliwe poprzez bezpośrednie wyznaczenie położenia izotermy zerowej oraz jej prognozy w okresie powrotu 50 lat, stosując w tym celu metody rachunku prawdopodobieństwa. Podobnie krytycznie o dotychczasowych mapach przemarzania gruntu w Polsce wypowiedzieli się inni autorzy, np. Kozłowski [33], [55].

Od czasu publikacji artykułu Ickiewicz i Pogorzelskiego [20] ukazały się liczne prace poświęcone przemarzaniu gruntu z punktu widzenia fundamentowania, np. [10 – 14, 16, 20 – 26, 31 – 33, 55], aczkolwiek nielicznej grupy autorów. Są to najczęściej krytyczne oceny mapy przemarzania, znajdującej się w nadal aktualnej normie [33]. Propozycje normowego ujęcia tego zagadnienia przedstawiły Gontaszewska [14] i Ickiewicz [26]. Propozycje te są nadal oparte na tzw. współczynniku mrozowym, czyli liczbie stopniodni ujemnej temperatury powietrza. Zapewne liczniejsze są prace poświęcone temperaturze gruntu, jako ważnemu czynnikowi w rolnictwie, ale w niniejszej monografii nie są one omawiane, poza przykładowym przywołaniem kilku, np. [29], [30], [50]. Praca [54] dotyczy wprawdzie najniższych wartości temperatury w glebie, ale na głębokości 0,05 m.

Pisząc o dotychczasowych pracach, należy odnieść się także do wcześniejszych badań i analiz. Przede wszystkim należy wymienić prace

Dębskiego [8], [9], przedstawione szerzej poniżej. W Wilnie wykonał badania Okołowicz [39], lecz przedstawił wyniki w postaci średnich wartości temperatury gruntu. W latach pięćdziesiątych XX w. analizę przemarzania gruntu ze względu na potrzeby lotnictwa wojskowego (zapobieganie wysadzinom pasów startowych) prowadzili Wiłun, Piaskowski i Kowalewski. Ich obszerna praca została opublikowana w 1962 r. [69].

Zaproponowali oni nową mapę głębokości przemarzania, która jednak nie znalazła się w normie [46]. Badania Grodeckiego, przeprowadzone w połowie lat sześćdziesiątych XX w. na pięciu stanowiskach w Białymstoku i okolicy [16], pokazują wpływ pokrywy śnieżnej na głębokość przemarzania gruntu i różnice między położeniem izotermy zerowej a głębokością przemarzania.

Niewielką pracę na temat przemarzania gruntów opublikował Wierzbicki [68]. Jest ona omówiona w rozdziale 5.

Nowsze badania dotyczą własności termofizycznych gruntów [14], [52] oraz komputerowych metod wyznaczania głębokości przemarzania gruntów [28]. W pracy Gontaszewskiej [14] podana jest także propozycja normowego ujęcia głębokości przemarzania gruntów. Jest ona szerzej omówiona w dalszej części monografii. Propozycja ujęcia normowego znalazła się także w pracy Ickiewicz [26], lecz w znacznie węższym zakresie.