Nowa propozycja określania zasięgu i głębokości stref przemarzania

dr inż. Tomasz Godlewski

Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa

Konferencja: PRZEMARZANIE PODŁOŻA GRUNTOWEGO I GEOTERMICZNE ASPEKTY BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO,
Poznań, 13 czerwca 2018 r.

❑ WPROWADZENIE – historia i stan obecny

Norma tymczasowa roku **1945 r.** :

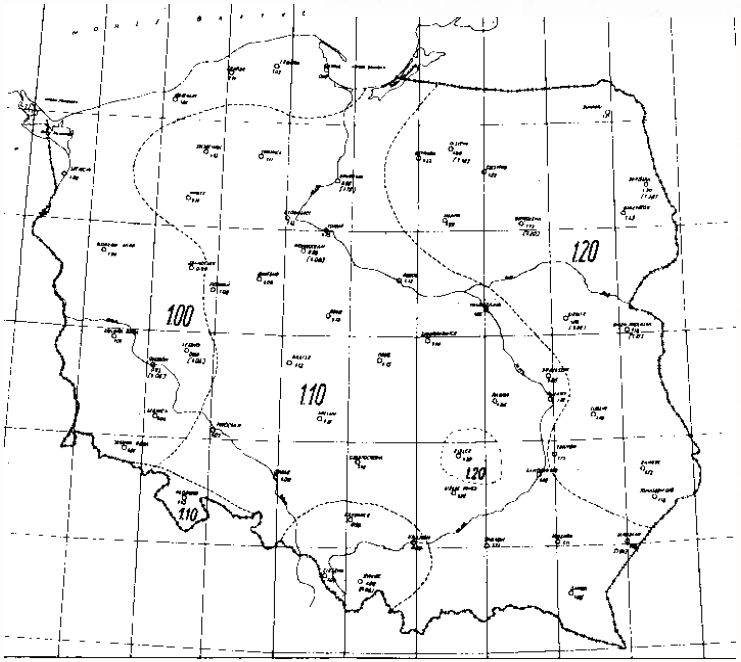
„ze względu na przemarzanie – fundamenty zewnętrzne ścian budynków zwykłych powinny być zagłębione co najmniej:

- *w województwach **zachodnich 1,0-1,2 m**,*
- *w **środkowych 1,2-1,6 m**,*
- *we **wschodnich 1,5-2,0 m***

w zależności od gruntu i ważności budynku.

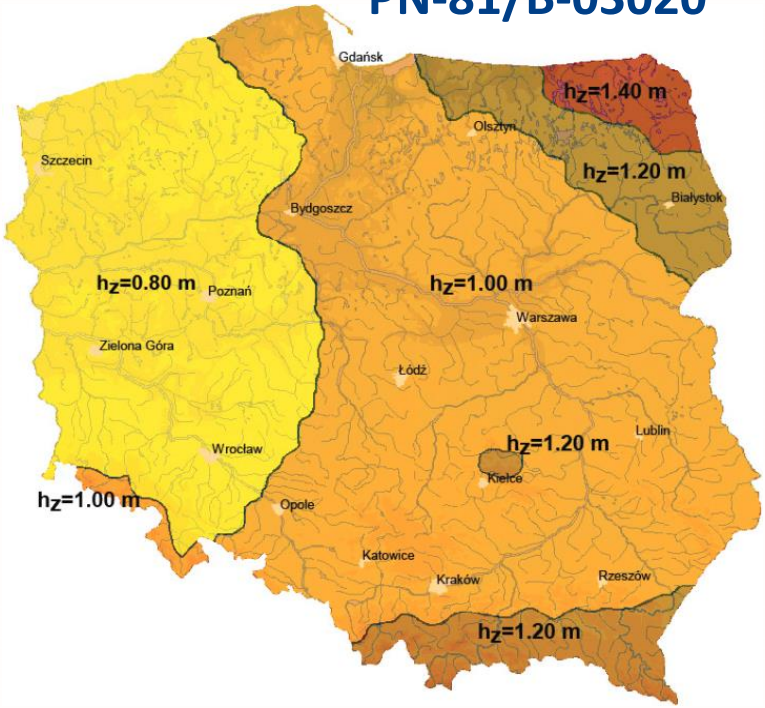
PN-74/B-03020

PN-55/B-03020 i PN-59/B-03020



Wiłun Z., Piaskowski A., Kowalewski Z, 1962

PN-81/B-03020



❑ WPROWADZENIE – geneza problemu

„Jak się wydaje pierwsze systematyczne badania głębokości przemarzania gruntów przeprowadzono w Polsce w latach 1928 – 1933 (cztery zimy, w tym najostrzejsza w naszym stuleciu zima 1928/29) z inicjatywy Ministerstwa Komunikacji”. (wyniki badań opracował Dębski, w 1938 r.)

*„Jak się zdaje 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 wykorzystując do opracowania danych klimatycznych wzór z poprzedniej normy radzieckiej... **Wartości liczbowe podane w PN-81/B-03020 dotyczą gruntów spoistych**.”*

Ickiewicz, Pogorzelski, 1987 - Wpływ wybranych czynników na głębokość przemarzania gruntów.- Inżynieria i Budownictwo, nr 1/12, 1987, ss. 338 – 342

*„…**parametry gruntu** w znacznym stopniu **wpływają na głębokość przemarzania**…*
*…tak więc oparcie prognozy (tego zjawiska) **jedynie na czynniku klimatycznym** jest **nieuzasadnione.”***

Kozłowski, 2003 Głębokość przemarzania krajowych gruntów budowlanych w aspekcie PN-81/B-03020 i projektu jej zmian. Inżynieria i Budownictwo, nr 3/2003, 1987, s. 168 – 170

❑ WPROWADZENIE – geneza problemu

*„…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**."*

Ickiewicz, Pogorzelski, 1987 Wpływ wybranych czynników na głębokość przemarzania gruntów.- Inżynieria i Budownictwo, nr 1/12, 1987, ss. 338 – 342

*… jest wymagane **nowe podejście do problemu wyznaczania głębokości przemarzania** gruntu.*
***Mapa normowa** powinna zawierać jedynie **wiarygodne dane klimatyczne**, a w kwestii obliczenia przewidywanej głębokości przemarzania należałoby pozostawić więcej swobody projektantowi… zamieszczając propozycję równania **uwzględniającego** podstawowe **parametry podłoża**."*

Kozłowski, 2003 Głębokość przemarzania krajowych gruntów budowlanych w aspekcie PN-81/B-03020 i projektu jej zmian. Inżynieria i Budownictwo, nr 3/2003, 1987, s. 168 – 170

❑ WPROWADZENIE – geneza zjawiska

Przemarzanie gruntu jest **wielowymiarowym**, **niestacjonarnym procesem losowym**, który zależy z jednej strony od losowo zmiennych zjawisk zewnętrznych (**klimatycznych**) oraz częściowo stałych, a częściowo zmiennych pod wpływem warunków zewnętrznych, **właściwości gruntu**.

(J. A. Żurański, 2017).

Podejścia do ustalania normatywnej głębokości przemarzania gruntów:

- **empiryczne** – na podstawie badań eksperymentalnych pola temperatur w gruncie i uogólnienie wyników w nawiązaniu do danych klimatycznych i klasyfikacji gruntów;
- **analityczne** – polega na rozwiązaniu równania przewodnictwa cieplnego w gruncie z uwzględnieniem zmiany stanu skupienia wody w temp. $0^{o}C$ lub niższej.

❑ CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA PRZEMARZANIE GRUNTU

Czynniki klimatyczne:

- **temperatura powietrza** – ilość dni z temp. ujemną i jej zmienność w czasie;
- **pokrywa śnieżna** – czas zalegania pokrywy i jej przemiany na skutek zmian temperatury, intensywności opadów i oddziaływania wiatru;
- **opady deszczu**.

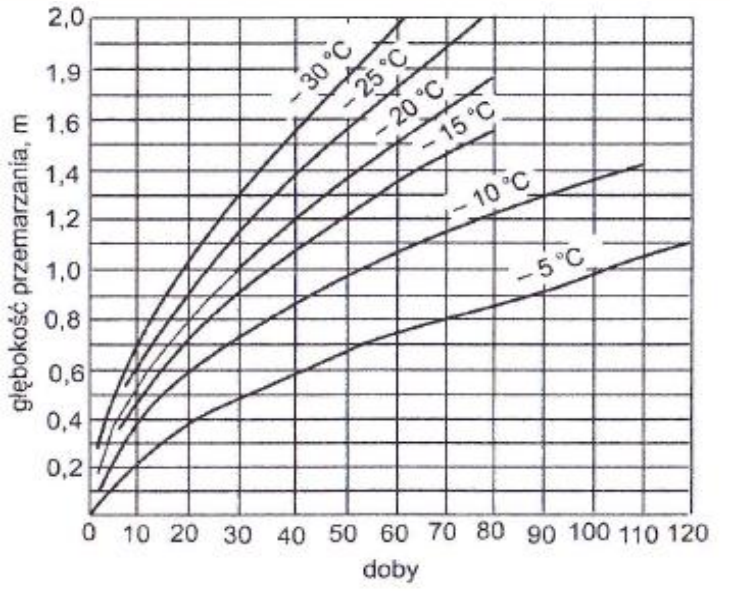
Czynniki gruntowe:

- **rodzaj gruntu** – porowatość i skład mineralny;
- **stan gruntu** – wilgotność, stopnia nasycenia;
- **układu warstw**;
- **zawartość wody** - położenia zwierciadła wód gruntowych, chemizm.

Inne:

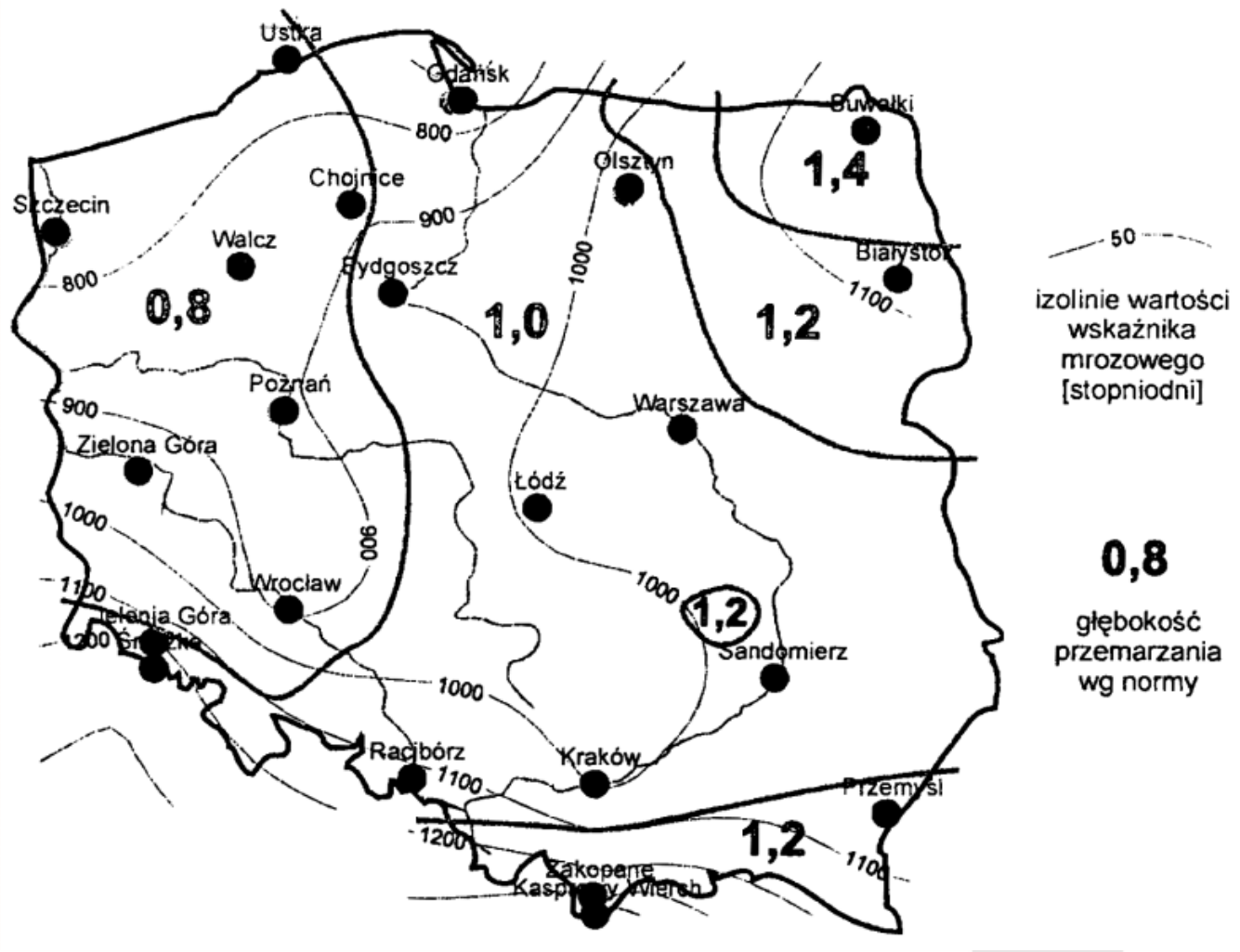
- od **morfologii** - lokalne anomalie klimatyczne, np. doliny rzeczne, kotliny, wzniesienia itp.);
- od **ekspozycji** – teren osłonięty, zakryty, stoki południowe;
- od **zagospodarowania terenu** – np. rodzaj szaty roślinnej, obszary miejskie i wiejskie, typ użytkowania (np. zabudowa zwarta, powierzchnie utwardzone).

❑ CZYNNIKI KLIMATYCZNE – temperatura powietrza



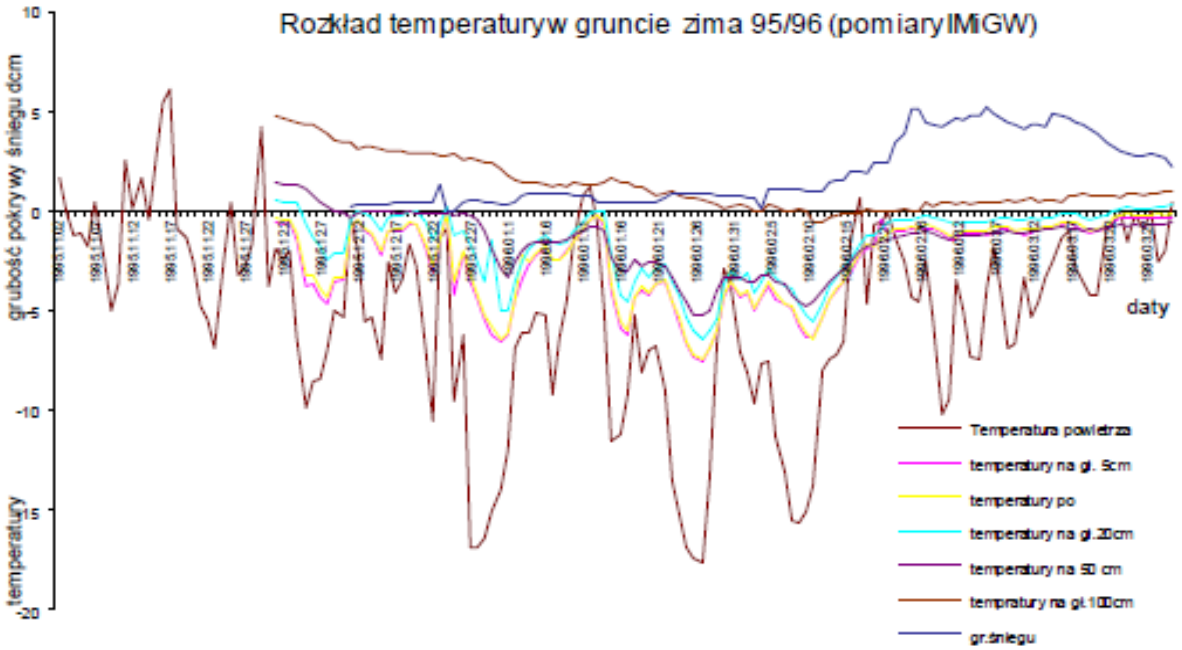
Ickiewicz, Pogorzelski, 1987

Wskaźnik mrozowy (z ang. freezing factor) – wartość stanowiąca całkę z ujemnych wartości temperatury powietrza po czasie ich występowania, mierzonego najczęściej w stopniodniach.

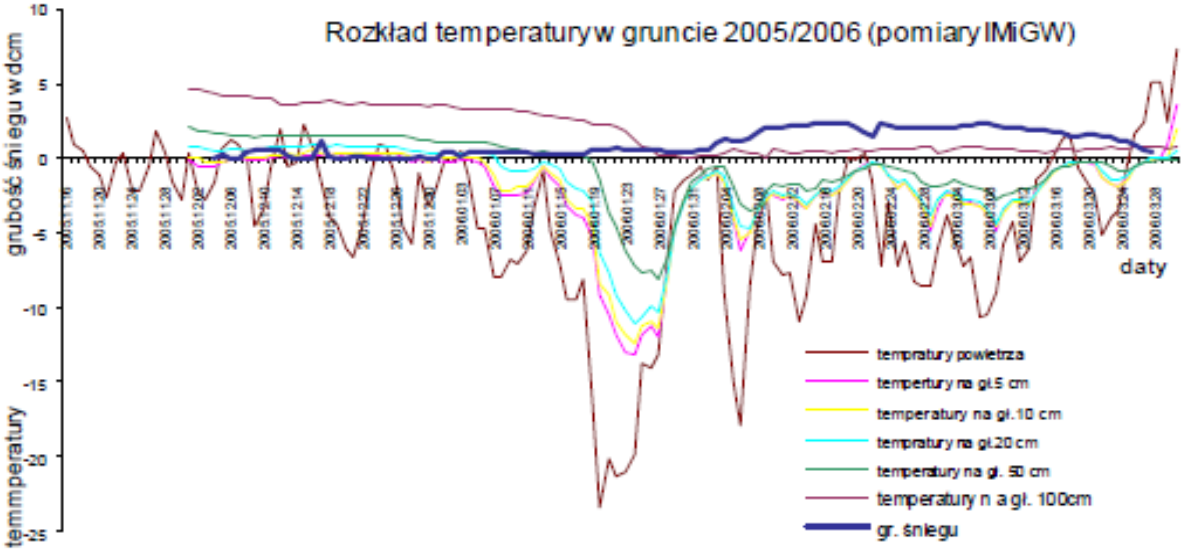


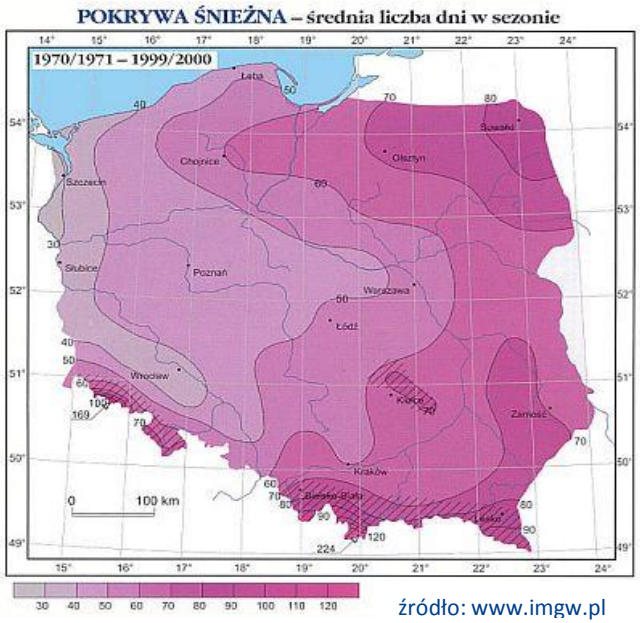
Mapa maksymalnych wartości wskaźnika mrozowego w stopniodniach – cienkie izolinie (Gontaszewska, 2010) oraz strefy głębokości przemarzania gruntu, w metrach – grube izolinie i duże liczby (PN-81/B-03020).

❑ CZYNNIKI klimatyczne – pokrywa śnieżna

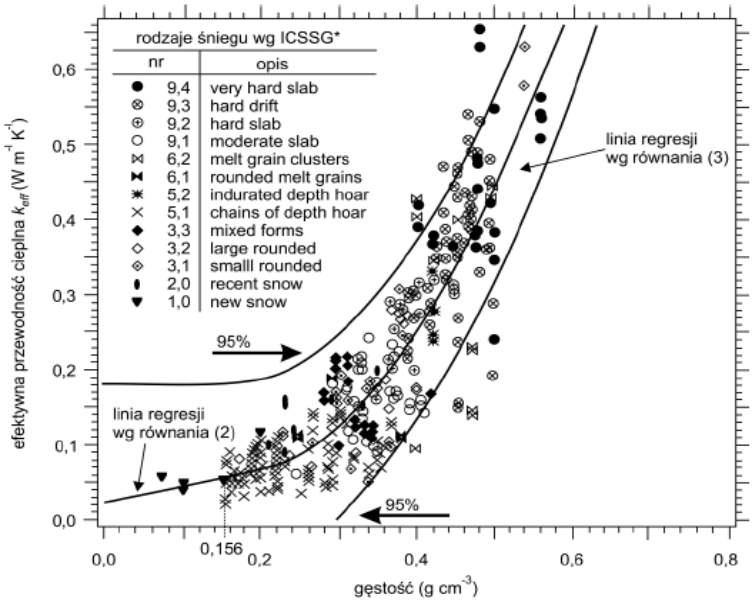


Ickiewicz, 2015





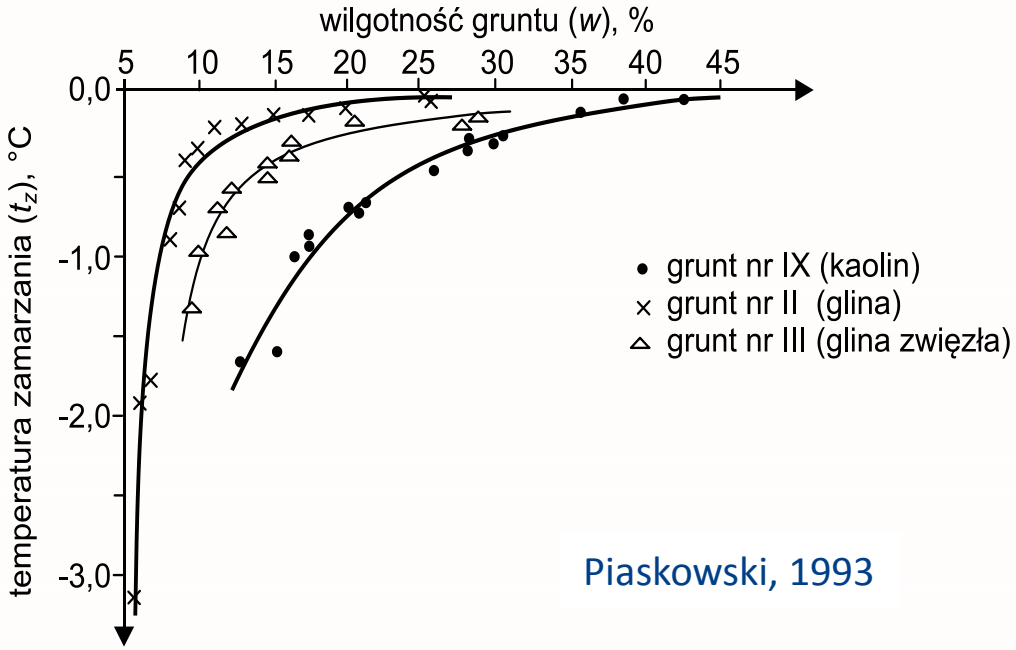
źródło: www.imgw.pl



* ICSSG – nazwy rodzajów śniegu wg międzynarodowej klasyfikacji sezonowej pokrywy śnieżnej

Efektywna przewodność cieplna śniegu w funkcji gęstości
(Sturm M., Holmgren J., König M., Morris K, 1997)

❑ CZYNNIKI gruntowe



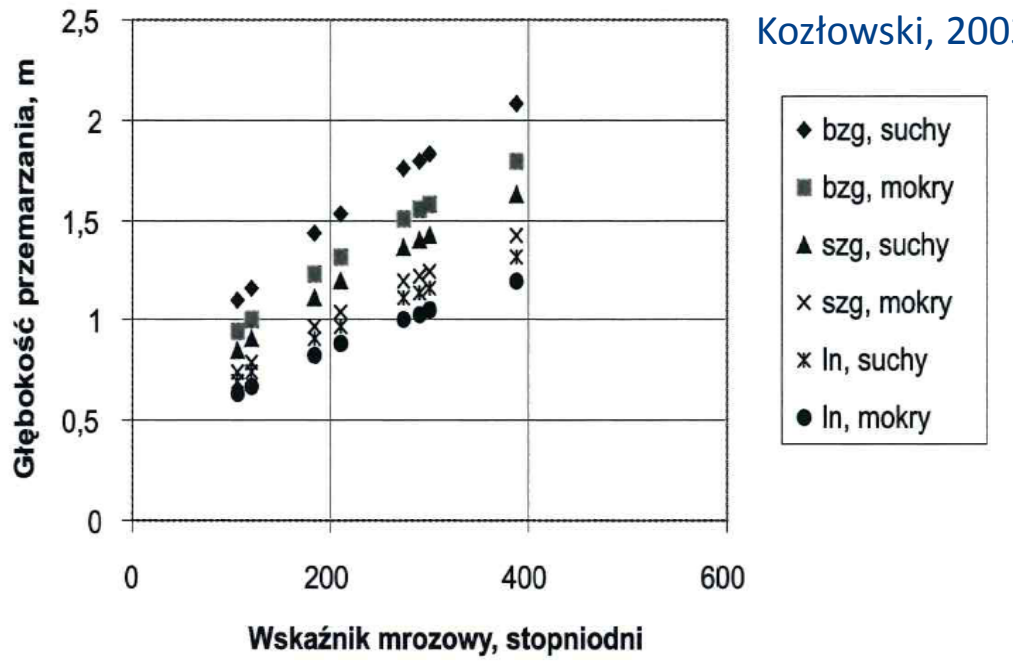
Piaskowski, 1993

Właściwości fizyczne gruntu (piasek średni) przyjęte do obliczeń głębokości przemarzania

Stan zagęszczenia	Bardzo zagęszczony		Średnio zagęszczony		Luźny	
Porowatość n	0,26		0,37		0,45	
Wskaźnik porowatości e	0,35		0,58		0,81	
Gęstość obj. szkieletu ρ_d, t/m³	1,96		1,68		1,46	
Stan wilgotności	suchy	mokry	suchy	mokry	suchy	mokry
Wilgotność w, %	3	13	4	22	6	31
Ciepło krzepnięcia L, kJ/m³	19 620	85 019	22 423	123 324	29 229	151 019
Współczynnik przewodzenia ciepła λ_f, W/(m·K)	1,27	4,09	0,88	3,70	0,76	3,23

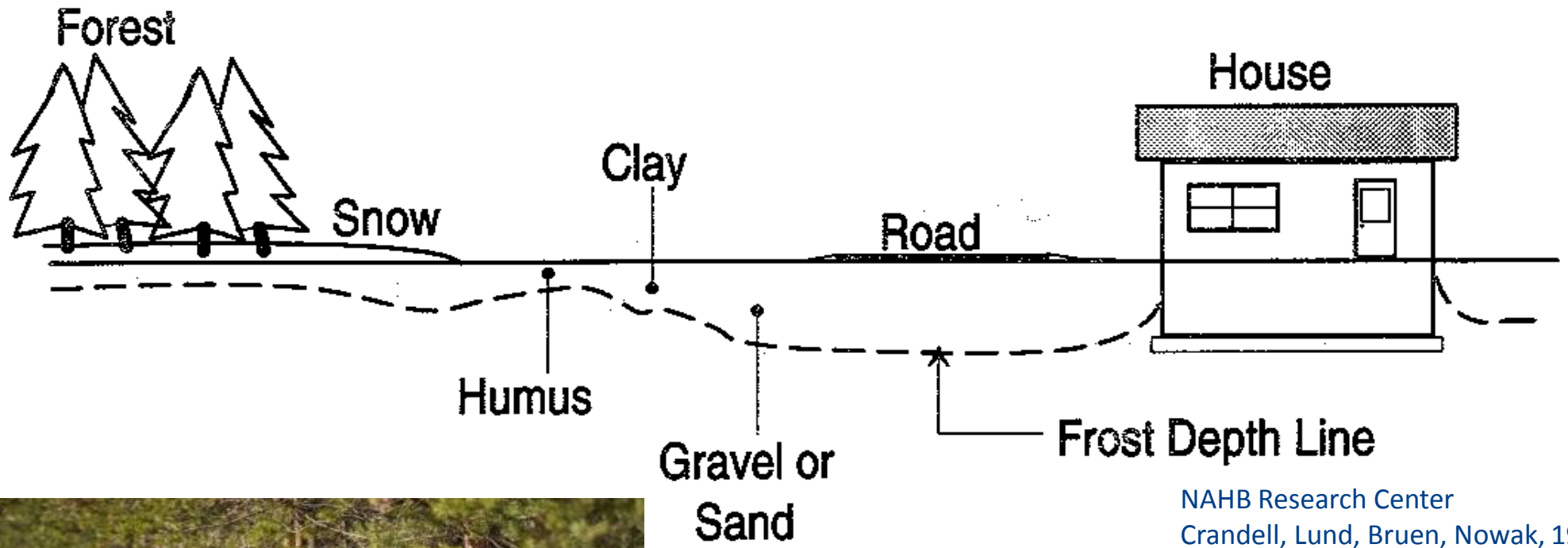
Rodzaj gruntu	Współczynnik przewodzenia ciepła λ
glina lub ił	1,50
piasek lub żwir	2,00
skała jednorodna	3,50
Jeśli rodzaj gruntu i jego wilgotność nie są znane, do obliczeń można przyjmować λ = 2,0 W/(mK).	

wg PN-EN ISO 13370:2008 Cieplne własności użytkowe budynków. Przenoszenie ciepła przez grunt. Metoda obliczania.



Kozłowski, 2003

CZYNNIKI inne



NAHB Research Center
Crandell, Lund, Bruen, Nowak, 1994

❑ POMIARY TEMPERATURY GRUNTU

Stacje synoptyczne IMGW – PIB (ok. 60 stacji) - mierzą temperaturę gruntu o 6:00, 12:00 i 18:00 UTC na głębokościach: 0,05 m, 0,10 m, 0,20 m i 0,50 m, a o 12:00 także na głębokości 1,0 m (od zimy 1981/1982).

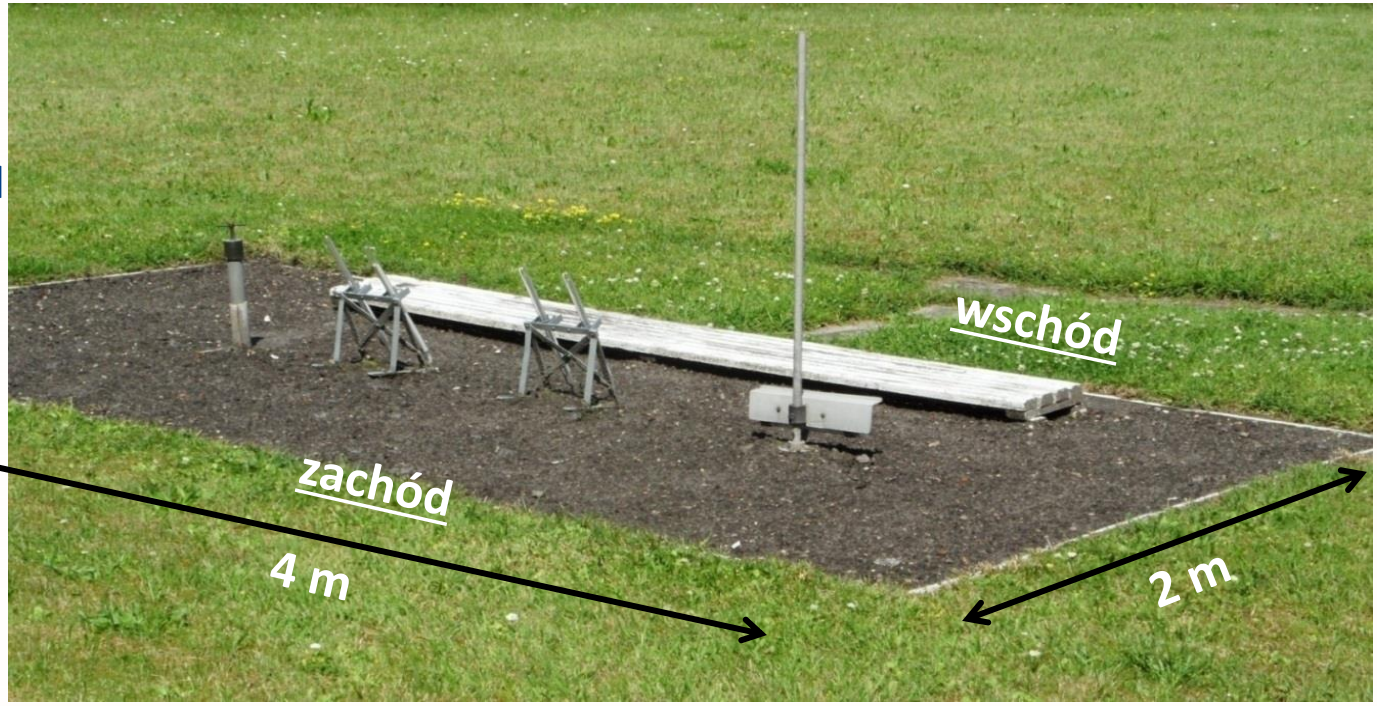
Głębokość występowania izotermy 0°C w gruncie w Polskiej Służbie Meteorologicznej wyznacza się:

- jeżeli powierzchnia gruntu o godzinie 06 UTC jest zamarznięta,
- jeżeli występuje w gruncie temperatura ujemna (bez względu na to czy powierzchnia gruntu jest zamarznięta czy nie).

Jeżeli powierzchnia gruntu nie jest zamarznięta, a temperatury gruntowe na wszystkich termometrach wskazują $t \geq 0°C$ to nie wyznacza się położenia izotermy 0°C

Urządzenia pomiarowe:

- rtęciowe termometry kolankowe, o skalach do odczytu znajdujących się nad gruntem,
- na głębokości 1,0 m za pomocą termometrów wpuszczanych w rurkę umieszczoną w gruncie i wyciąganych do odczytu,
- termopary z odczytem elektronicznym (nie wymaga odgarniania śniegu).



Termometry gruntowe na stacji meteorologicznej w Kołobrzegu, lipiec 2012 r., za Żurański i in., 2017

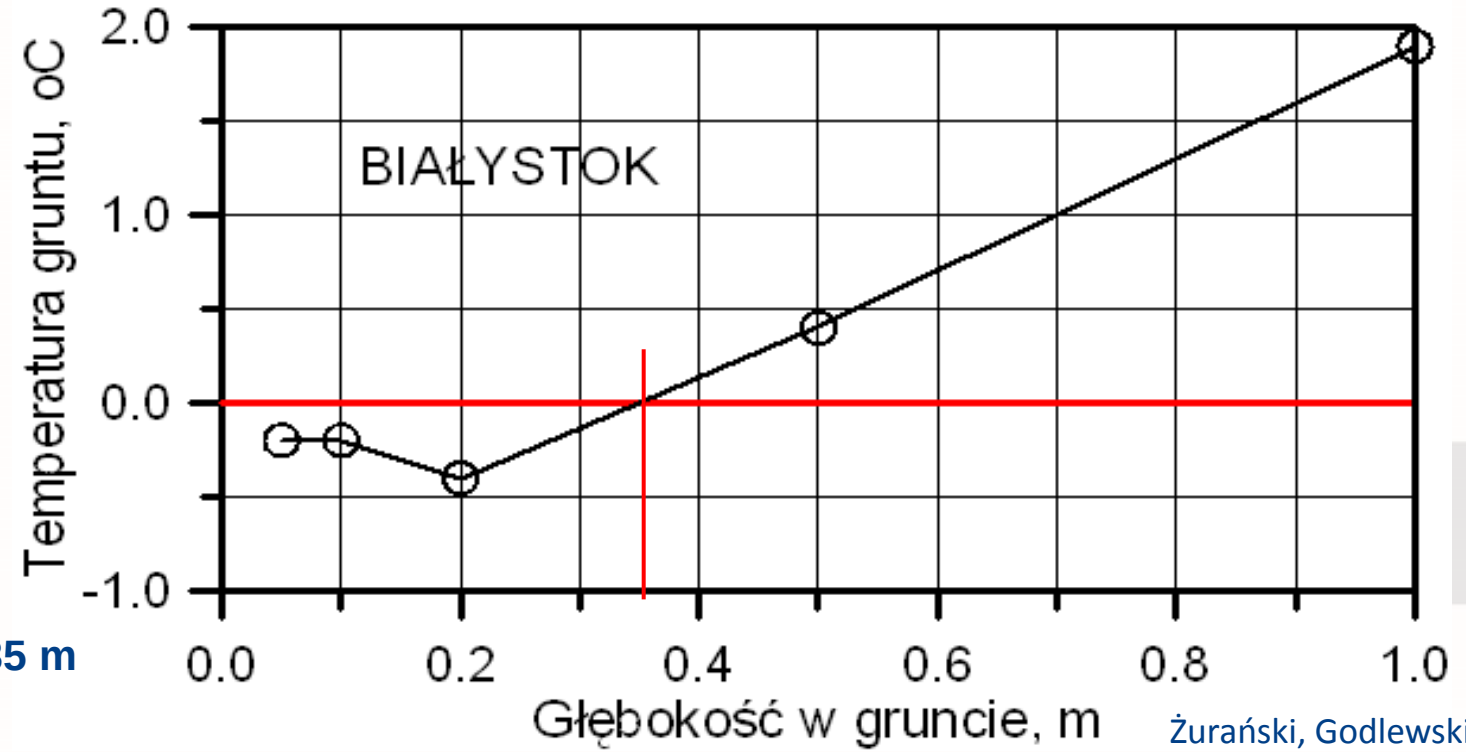
DANE POMIAROWE POŁOŻENIA IZOTERMY ZEROWEJ

Położenie izotermy zerowej pod powierzchnią gruntu oblicza się ze wzoru:

$$E_t = A + \frac{a \cdot \Delta t}{\Delta T},$$

w którym:

A – głębokość najniżej zmierzonej temperatury ujemnej,
a – grubość warstwy gruntu, w której występuje t = 0 ^{0}C,
Δt – różnica temperatury między t = 0 ^{0}C a temperaturą na głębokości A,
ΔT – różnica między wartościami temperatury na głębokościach, między którymi występuje t = 0 ^{0}C.



Wykres obok: E_t = 0,35 m

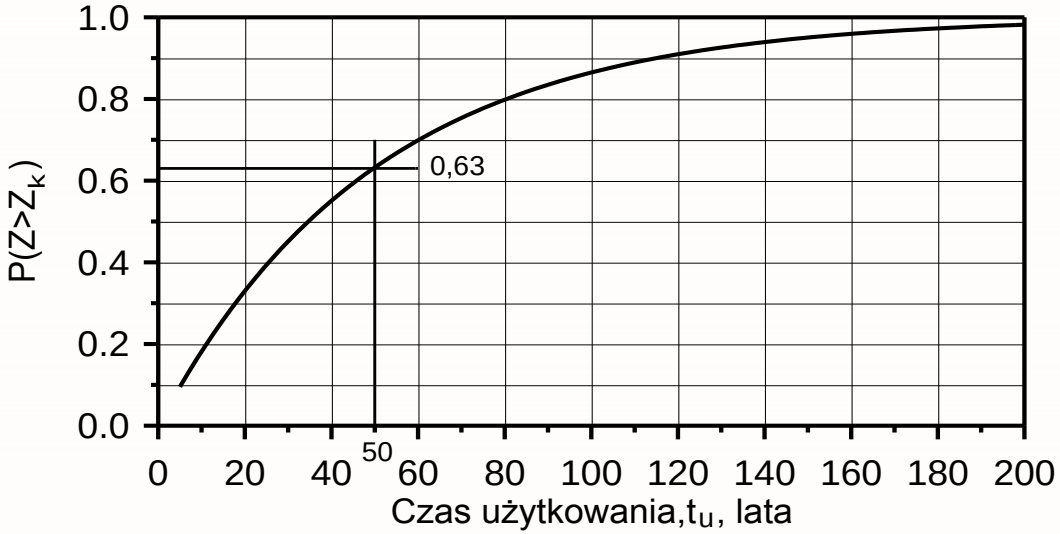
❑ METODA OPRACOWANIA

Przystępując do opracowania danych pomiarowych należy:

- ❑ **wybrać rozkład prawdopodobieństwa**;
- ❑ **wybrać metodę estymacji** (szacowania) parametrów rozkładu;
- ❑ **ocenić przydatność danych** ze stacji pomiarowych do wykorzystania, dysponując ciągami pomiarowymi krótszymi niż 50 lat.

Z punktu widzenia rachunku prawdopodobieństwa położenie izotermy zerowej w gruncie wyznacza **wartość prognozowana Z_k, przekraczana z pewnym arbitralnie przyjętym prawdopodobieństwem *p*,** i oceniana analogicznie do oceny innych oddziaływań klimatycznych.

Okres powrotu t_{ret} *(return period)* **wartości charakterystycznej** - średni odstęp czasu między kolejnymi przewyższeniami wartości . Okres powrotu równa się liczbie lat, jakie upływają przeciętnie między kolejnym przewyższeniami wartości Z_k przez proces losowy Z(t) przebiegający w czasie t.



Prawdopodobieństwo przewyższenia wartości charakterystycznej o okresie powrotu t_{ret} w ciągu czasu użytkowania t_u, Żurański, Sobolewski, 2016,.

❑ METODA OPRACOWANIA

Prognozowane wartości położenia izotermy zerowej w gruncie oblicza się aproksymując wybranym rozkładem prawdopodobieństwa rozkłady empiryczne wartości maksymalnych rocznych (zimowych).

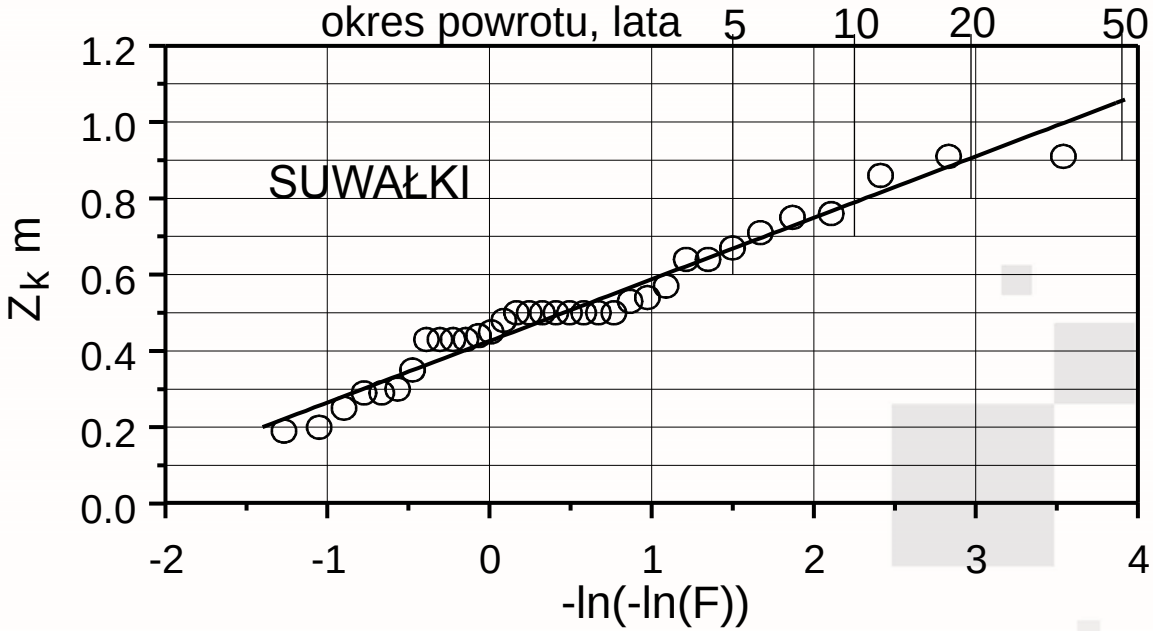
W przypadku innych oddziaływań klimatycznych dobrze nadaje się do tego **rozkład Gumbela** [Gumbel 1958]. Jego dystrybuanta jest przedstawiona wzorem:

$$F(Z) = \exp\{-\exp[-\alpha(Z-U)]\}$$

Wartość $Z_{t,k}$ o okresie powrotu T_r oblicza się z wzoru:

$$Z_{t,k} = U - \frac{1}{\alpha}\ln\left[-\ln\left(1-\frac{1}{T_r}\right)\right]$$

gdzie: α i U są parametrami rozkładu Gumbela *(parametr rozproszenia i wartość modalna)*,
T_r - okresem powrotu



Przykład rozkładu empirycznego wartości maksymalnych rocznych głębokości położenia izotermy zerowej na siatce probabilistycznej Gumbela, Żurański, Godlewski, 2017

❑ METODY OPRACOWANIA – ekstrapolacja

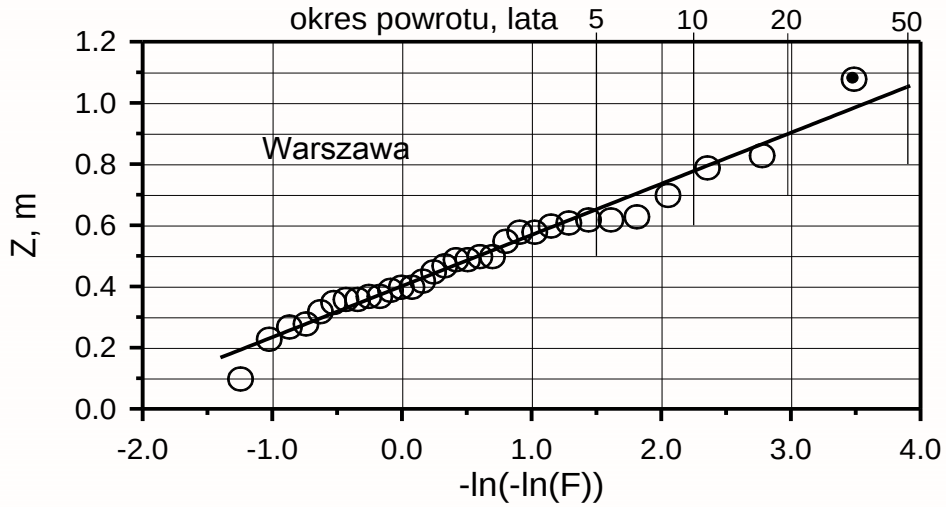
Najczęściej stosowane są trzy metody estymacji parametrów rozkładu:

- **metoda najmniejszych kwadratów (MNK)**
  - met. w oparciu o równanie prostej, $R \geq 0.95$
- metoda momentów (MM)
- metoda największej wiarygodności (MNW)
  - lepsze dopasowanie, mało wrażliwa na wartości skrajne, ale wymaga analizy numerycznej (iteracje).

Wykorzystanie wartości uzyskanych poprzez ekstrapolację:

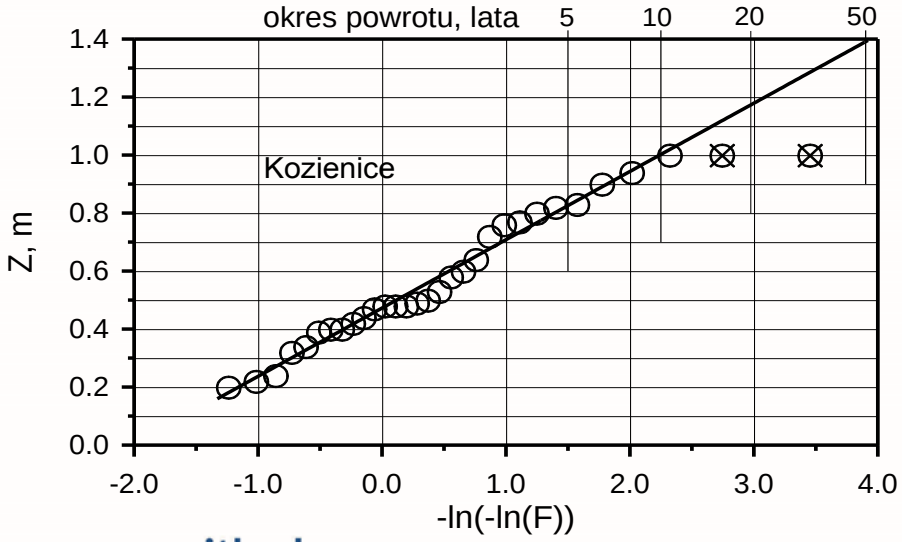
- **podejście 1**: wykorzystanie wartości uzyskanych z ekstrapolacji
- **podejście 2**: poprowadzenie prostej MNK z pominięciem tych wartości

Żurański, Godlewski, 2017



Rozkład empiryczny wartości maksymalnych rocznych głębokości położenia izotermy zerowej na siatce probabilistycznej Gumbela (MNK)

Czarnym punktem oznaczono wartość uzyskaną z ekstrapolacji.



Żurański, Godlewski, 2017

Przykład rozkładu empirycznego wartości maksymalnych rocznych głębokości położenia izotermy zerowej na siatce probabilistycznej Gumbela i dopasowanej MNK prostej rozkładu teoretycznego z pominięciem dwóch wartości (przekreślonych)

Lp.	Stacja	Położenie izotermy zerowej, m					
		Parametry rozkładu Gumbela		Okres powrotu, lata			
		α	U	10	20	50	100
1	Białystok, N = 31	4,980	0,404	0,856	1,000	1,188	1,328
	Białystok, N = 30	5,198	0,405	0,838	0,976	1,156	1,290
2	Bielsko - Biała	8,958	0,212	0,463	0,544	0,648	0,726
3	Chojnice N = 30	4,460	0,400	0,905	1,066	1,275	1,431
	Chojnice N = 28	4,785	0,400	0,870	1,021	1,215	1,361
4	Elbląg	5,902	0,363	0,744	0,866	1,024	1,142

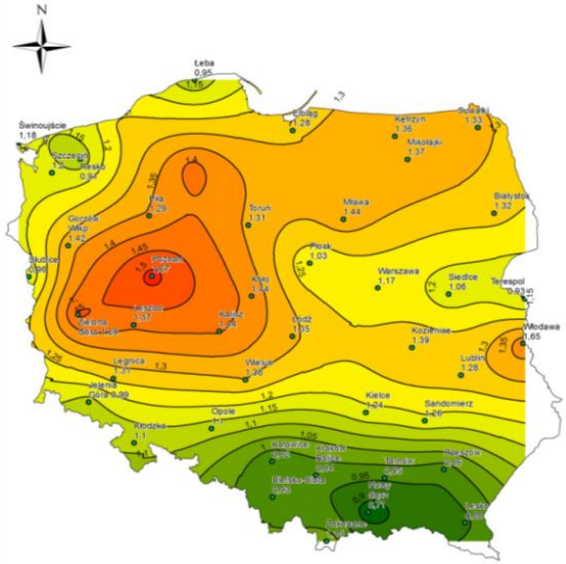
❑ Prace nad NOWĄ MAPĄ PRZEMARZANIA GRUNTÓW

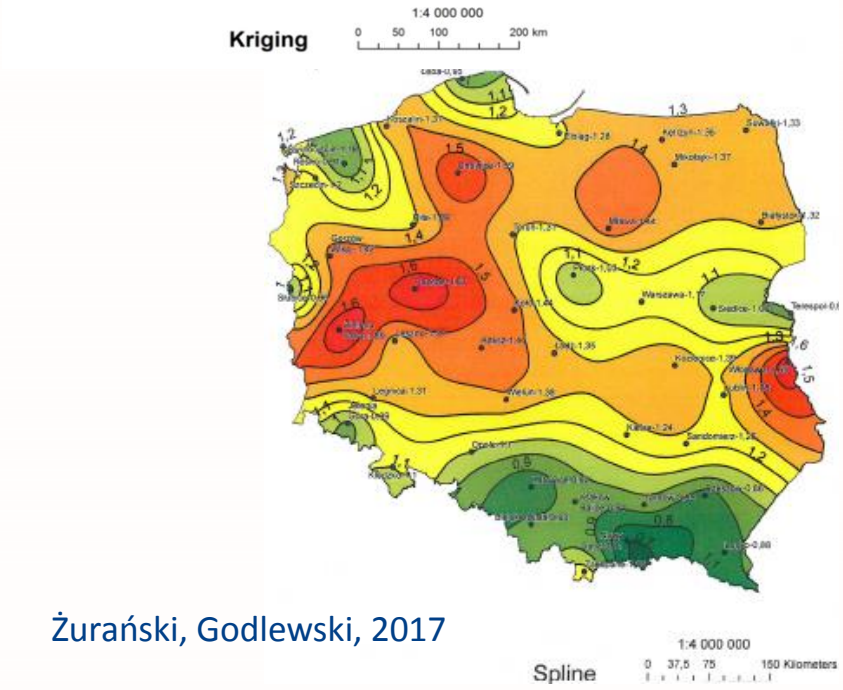
Grunt referencyjny dla zjawiska przemarzania**:**

- żwiry, piaski grube i średnie - **1,00**
- piaski drobne i pylaste - **0,90**
- pyły i gliny piaszczyste - **0,80**
- iły i inne gliny - **0,70**.

wartości oddają stosunki położenia izotermy zerowej między wymienionymi rodzajami gruntu.

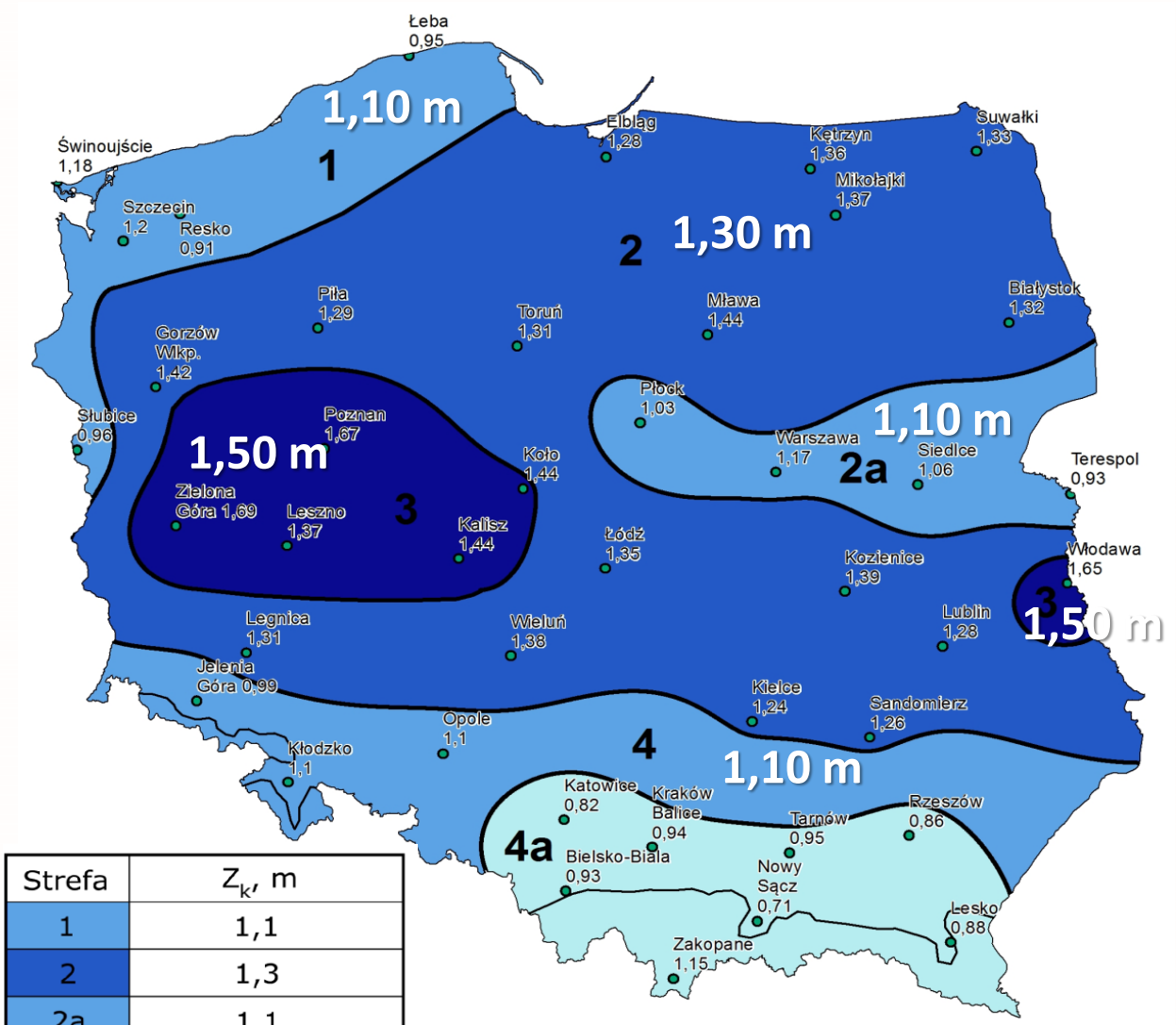
Lp.	Stacja	Rodzaj gruntu w podłożu	Współczynnik przeliczeniowy z uwagi na rodzaj gruntu	Wyniki bez korekty	Wyniki skorygowane
				Z_{50}, m MNW	$Z_{50,kor}$ MNW
1	Białystok	Pd i Pp	0,9	1,07	1,19
2	Elbląg	P i Gp	0,8	0,99	1,24
3	Jelenia Góra	Ż, Pr i Ps	1,0	0,97	0,99
4	Kalisz	P i Gp	0,8	1,12	1,41
5	Koło	I i G	0,7	1,00	1,44
6	Kraków Balice	Pd i Pp	0,9	0,84	0,93
7	Lublin	P i Gp	0,8	0,96	1,20
8	Łódź (Ruda Pabianicka)	Pd i Pp	0,9	1,18	1,31
9	Piła	Ż, Pr i Ps	1,0	1,29	1,29
10	Poznań	P i Gp	0,8	1,31	1,64
11	Rzeszów	Ż, Pr i Ps	1,0	0,86	0,86
12	Suwałki	P i Gp	0,8	1,06	1,32
13	Szczecin	Ż, Pr i Ps	1,0	1,12	1,12
14	Warszawa	Pd i Pp	0,9	1,04	1,16
15	Włodawa	Pd i Pp	0,9	1,39	1,54
16	Zielona Góra	Ż, Pr i Ps	1,0	1,50	1,50





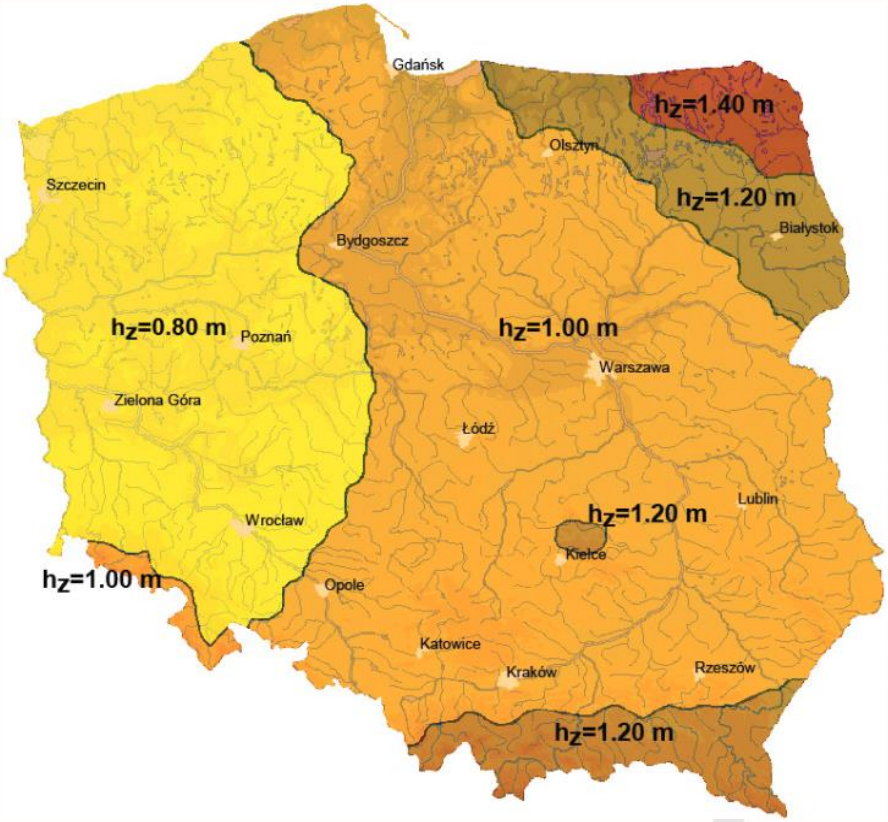
Żurański, Godlewski, 2017

❑ WYNIKI OPRACOWANIA - PORÓWNANIE Z NORMĄ



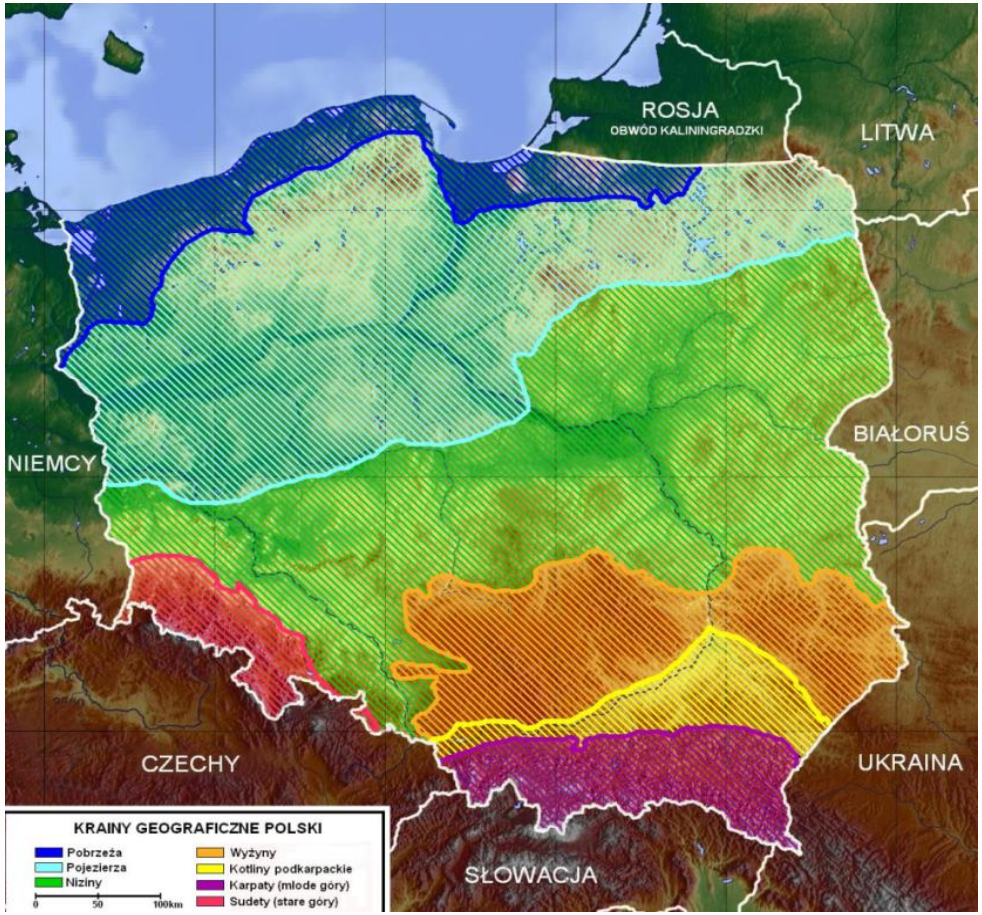
Strefa	Z_k, m
1	1,1
2	1,3
2a	1,1
3	1,5
4	0,6+0,0007A ≥ 1,1
4a	0,6+0,0007A ≥ 1,0

Żurański, Godlewski, 2017

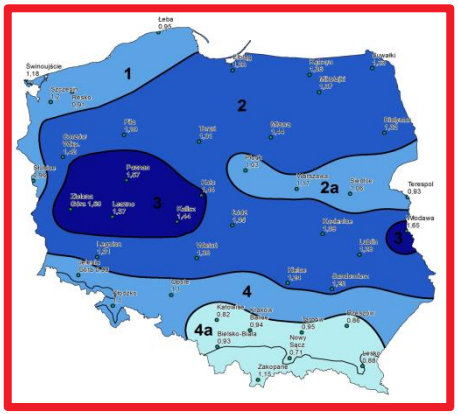


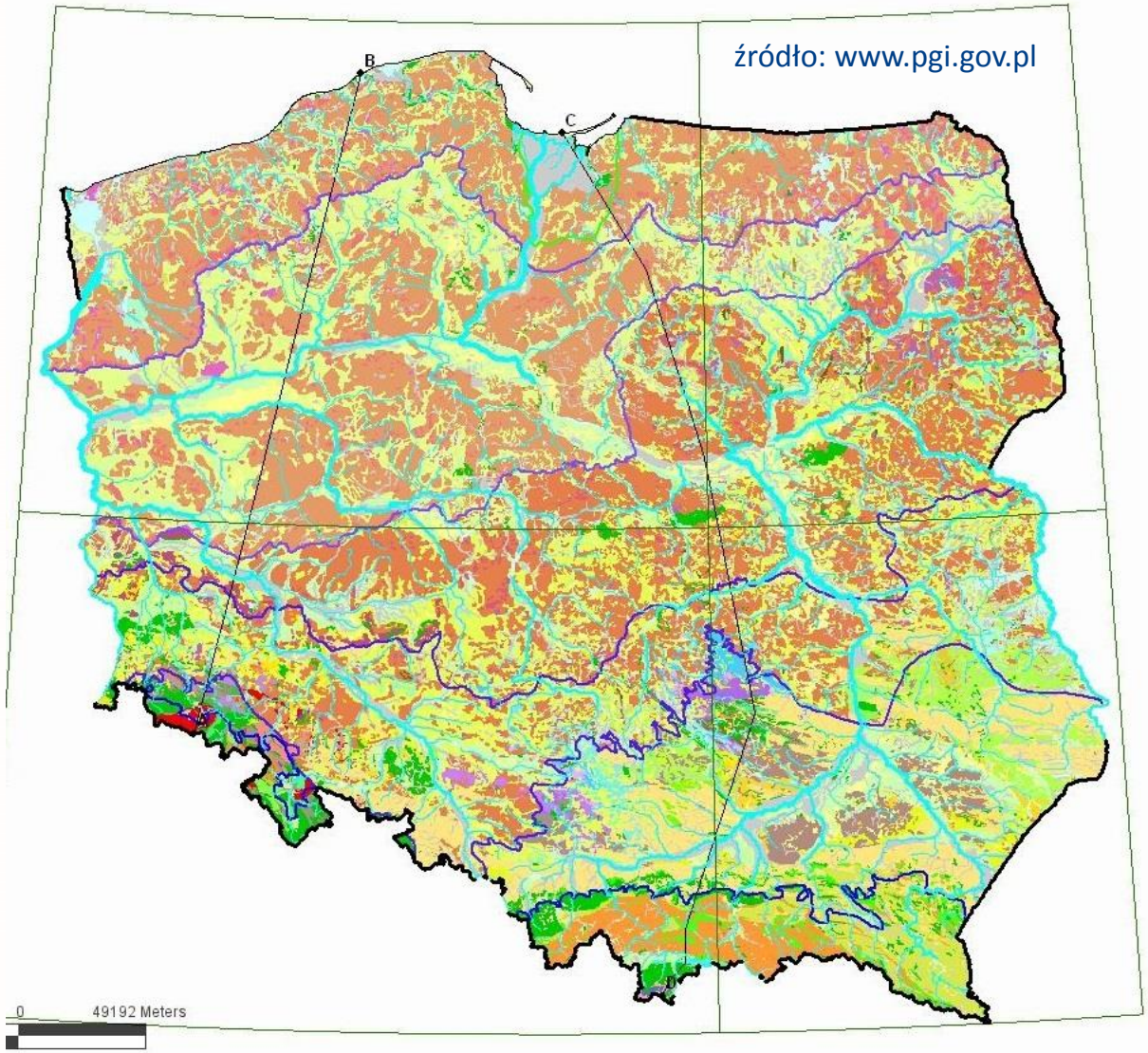
PN-81/B-03020

❑ DYSKUSJA – geomorfologia i geologia



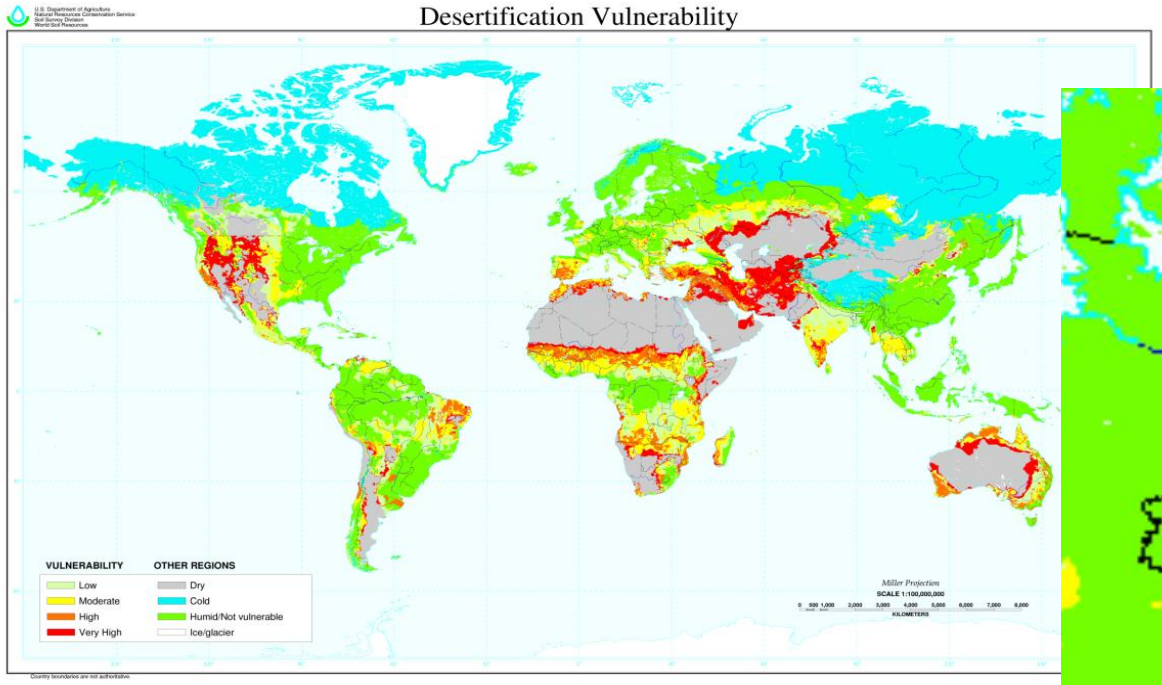
źródło: pl.wikipedia.org





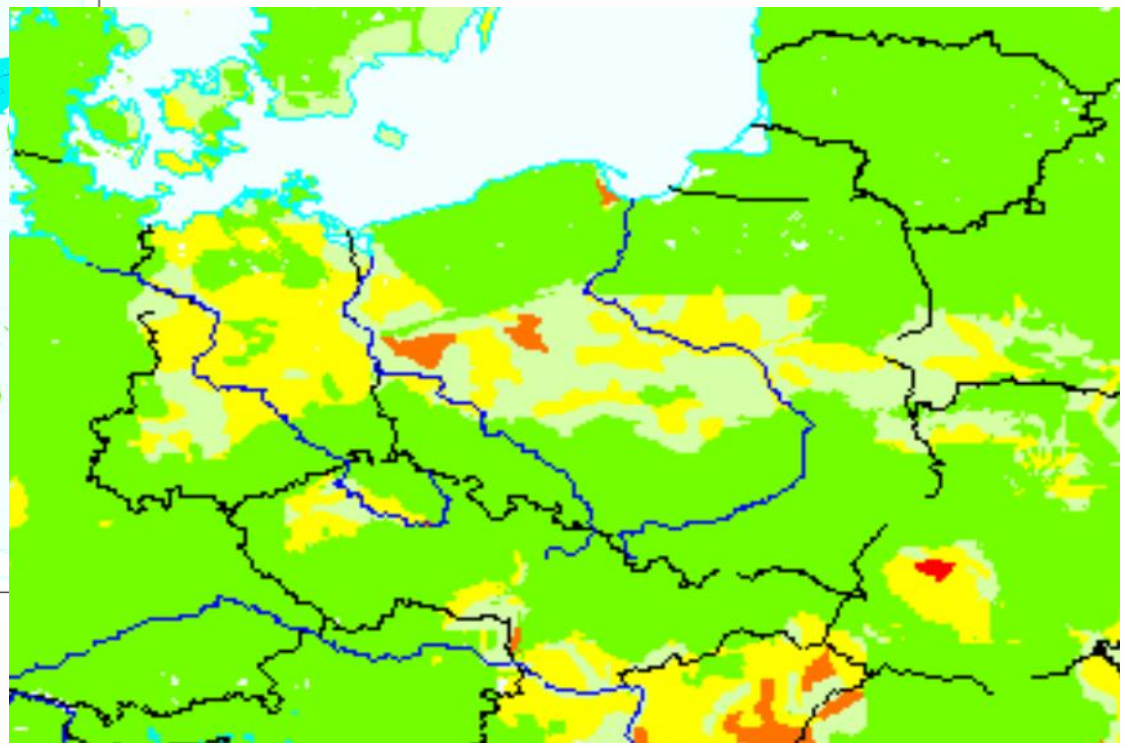
źródło: www.pgi.gov.pl

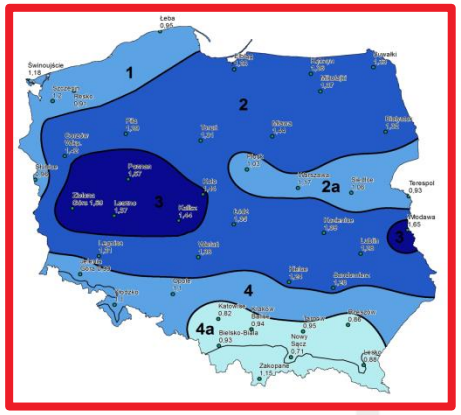
❑ DYSKUSJA – zmiany klimatyczne



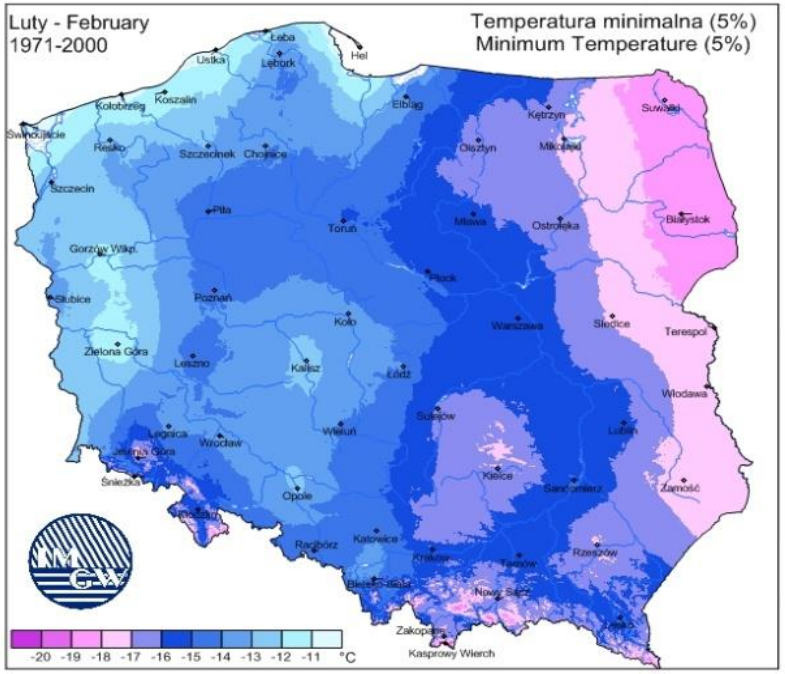
źródło: Raporty U.S. Department of Agriculture

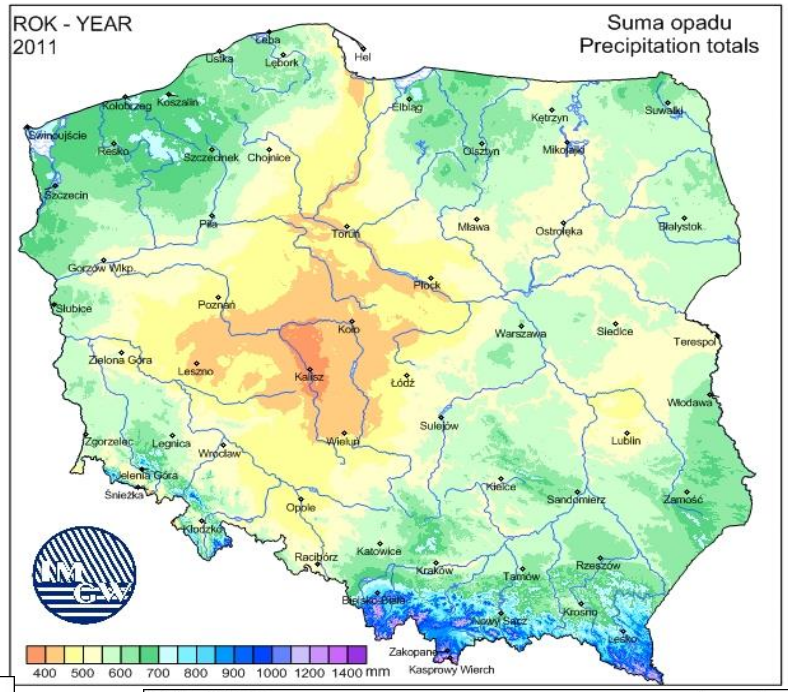
- zjawisko „stepowienia” w Polsce

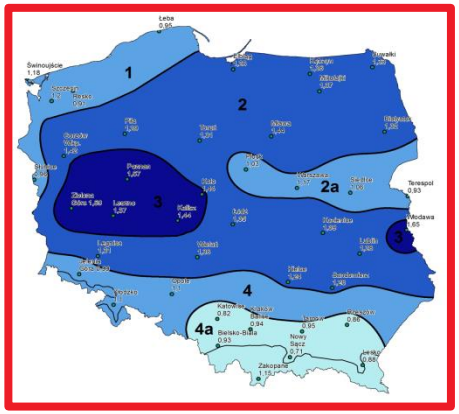


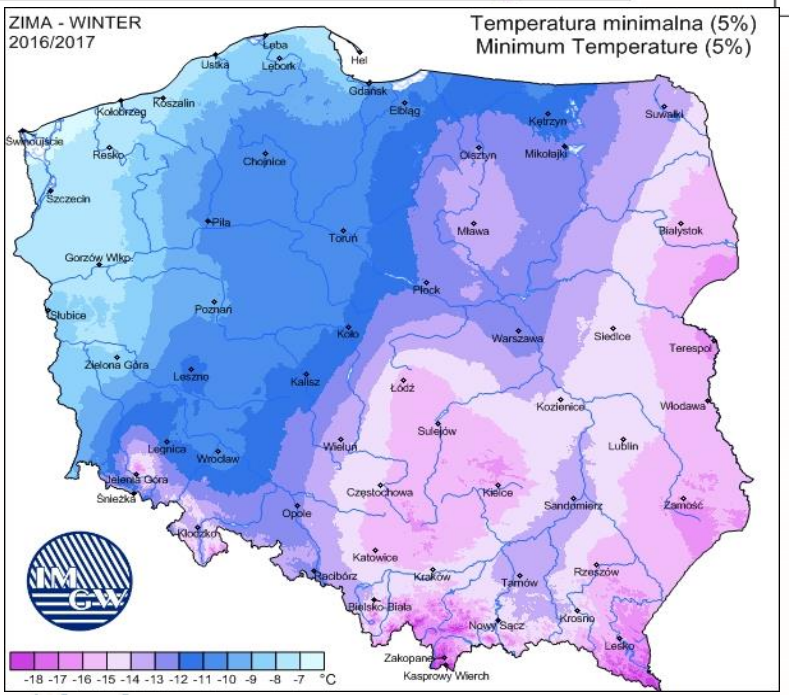


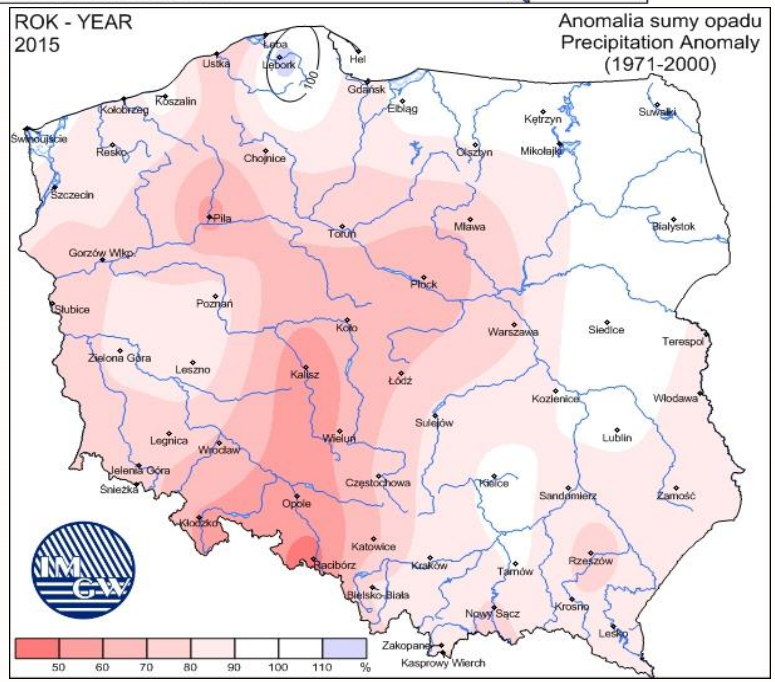
❑ DYSKUSJA – zmiany klimatyczne











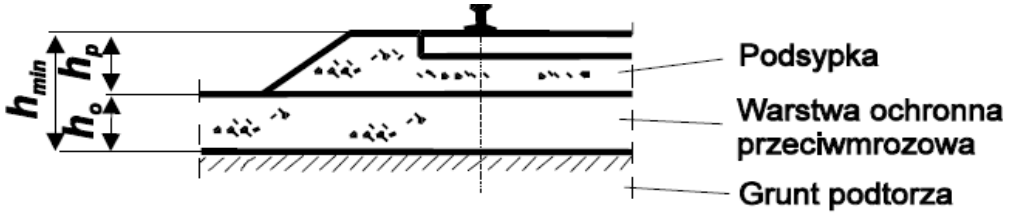
źródło: www.imgw.pl

❑ WYKORZYSTANIE WYNIKÓW - KONSEKWENCJE

Warunki utrzymania podtorza kolejowego ID-3, PKP PLK S.A., 2009, zał. 1

$$h_o = h_{min} - h_p \qquad (2)$$

2.3. Grubość warstwy przeciwmrozowej z materiału innego niż piasku oblicza się dzieląc otrzymany wymiar h_o przez wartość równoważnika termoizolacyjnego dla danego materiału (tab. 1-2).



Rys. 1 – 1. Najmniejsze grubości podsypki i warstwy ochronnej przeciwmrozowej h_{min} (m):
h_p - grubość warstwy podsypki mierzona od jej górnej powierzchni do torowiska pod szyną wewnętrzną,
h_o - wymagana grubość warstwy ochronnej przeciwmrozowej

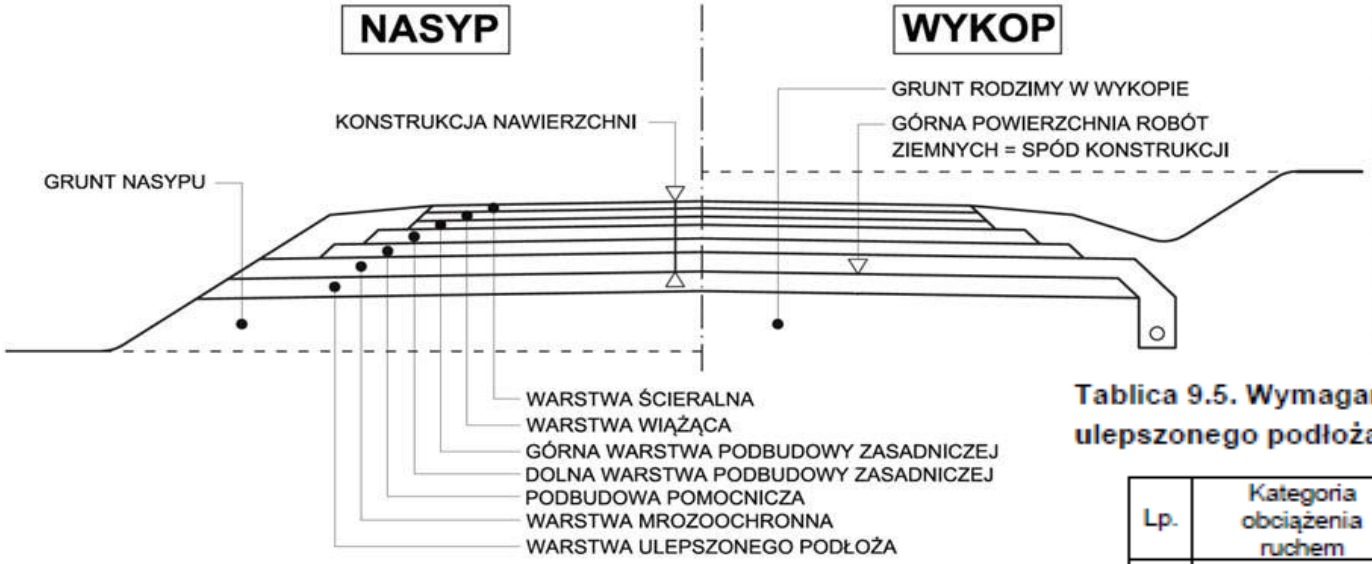
Tablica 1-2

Równoważniki termoizolacyjne materiałów warstw zabezpieczających

L. p.	Materiał	Równoważnik termoizolacyjny
1	*2*	*3*
1	Piasek, pospółka, odsiewki	1,00

❑ WYKORZYSTANIE WYNIKÓW - KONSEKWENCJE

Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych, GDDKiA, 2014



Tablica 9.5. Wymagana grubość konstrukcji nawierzchni i warstwy ulepszonego podłoża ze względu na odporność na wysadziny

Lp.	Kategoria obciążenia ruchem	Grupa nośności podłoża z gruntów wątpliwych i wysadzinowych		
		G2	G3	G4
1	2	3	4	5
1.	KR1	0,40 h_z	0,50 h_z	0,60 h_z
2.	KR2	0,45 h_z	0,55 h_z	0,65 h_z
3.	KR3	0,50 h_z	0,60 h_z	0,70 h_z
4.	KR4	0,55 h_z	0,65 h_z	0,75 h_z
5.	KR5	0,60 h_z	0,70 h_z	0,80 h_z
6.	KR6 i KR7	0,65 h_z	0,75 h_z	0,85 h_z

Warstwa mrozoochronna – warstwa, której głównym zadaniem jest ochrona nawierzchni przed wysadzinami powodowanymi przez szkodliwe działanie mrozu i zwiększenie nośności warstw dolnych konstrukcji nawierzchni.

UWAGA:
Ostatnio dokonane zmiany poprzez Rozp. (Dz.U. z 10.03.2015r., poz. 329) i przygotowywane następne do Rozp. z dn. 2.03.1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie **zniosły wymóg wyznaczania grup nośności** (G-I - G-4) wg załącznika 4, zniosły sam zał.4 i spowodowały **konieczność obliczania nośności podłoży**, na których będzie realizowana inwestycja.

❑ WYKORZYSTANIE WYNIKÓW - KONSEKWENCJE

PN-B-10725:1997 Wodociągi - Przewody zewnętrzne - Wymagania i badania

Sieć wodociągowa

Zagłębienie przewodów sieci wodociągowej w gruncie powinno uwzględniać strefę przemarzania dla określonego rejonu, zgodnie z normą PN-81/B-03020 z tym, że przykrycie gruntu mierzone od powierzchni przewodu do rzędnej projektowanego terenu powinno być większe, niż głębokość przemarzania gruntu: - dla rur o średnicy DN do 1000 mm – o 0,4 m,

- dla rur o średnicy DN powyżej 1000 mm – o 0,2 m.

PN-92/B-01706 Instalacje wodociągowe Wymagania w projektowaniu.

Ochrona przed wpływami termicznymi.

Przewody prowadzone w gruncie na zewnątrz obiektu budowlanego powinny być ułożone 0,4 m poniżej głębokości przemarzania gruntu, określonej w PN-81/B-03020, licząc od rzędnej terenu do wierzchu przewodu.

PN-B-10736:1999 Roboty ziemne - Wykopy otwarte dla przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych - Warunki techniczne wykonania

Sieć kanalizacyjna

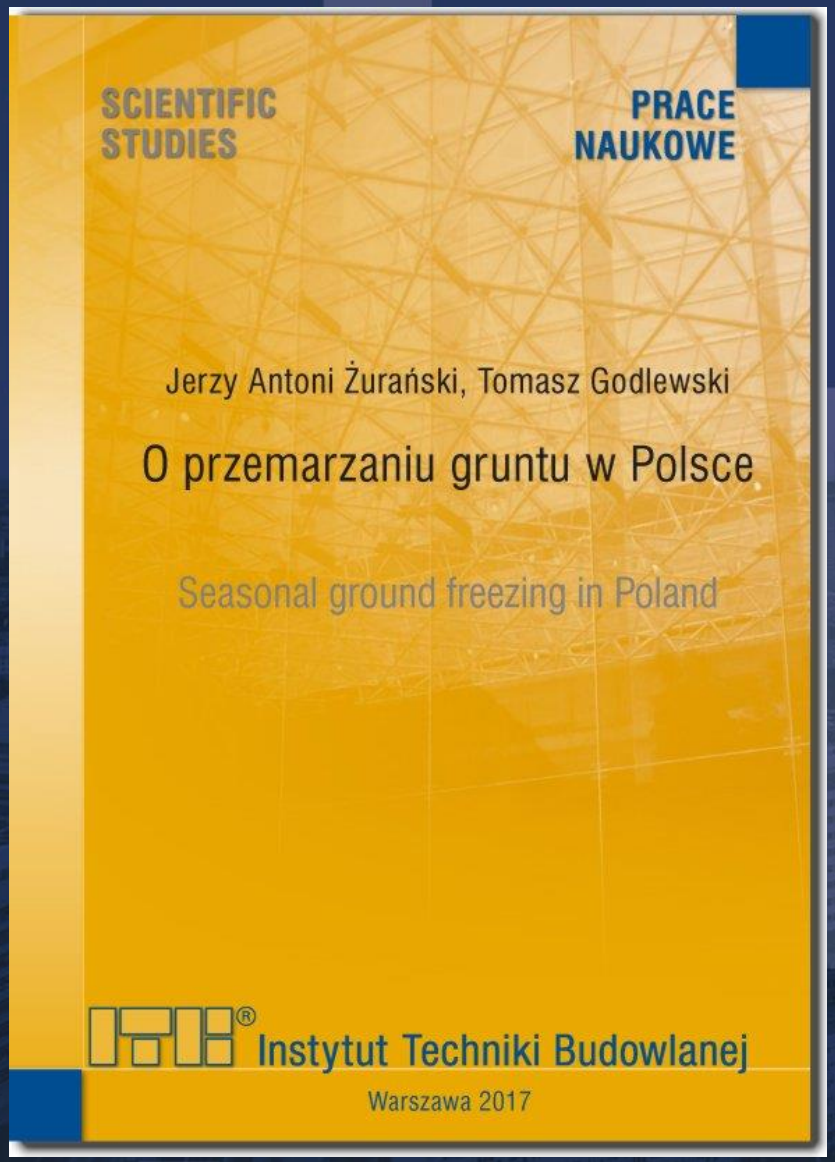
Minimalne przykrycie kanału powinno wynosić 1,2 m. W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się mniejsze niż 1,2 m przykrycie kanału, pod warunkiem odpowiedniego zabezpieczenia przewodów przed uszkodzeniem (zgnieceniem), stosując odpowiednie obudowy kanałów lub konstrukcje osłaniające oraz zabezpieczenie przed przemarzaniem.

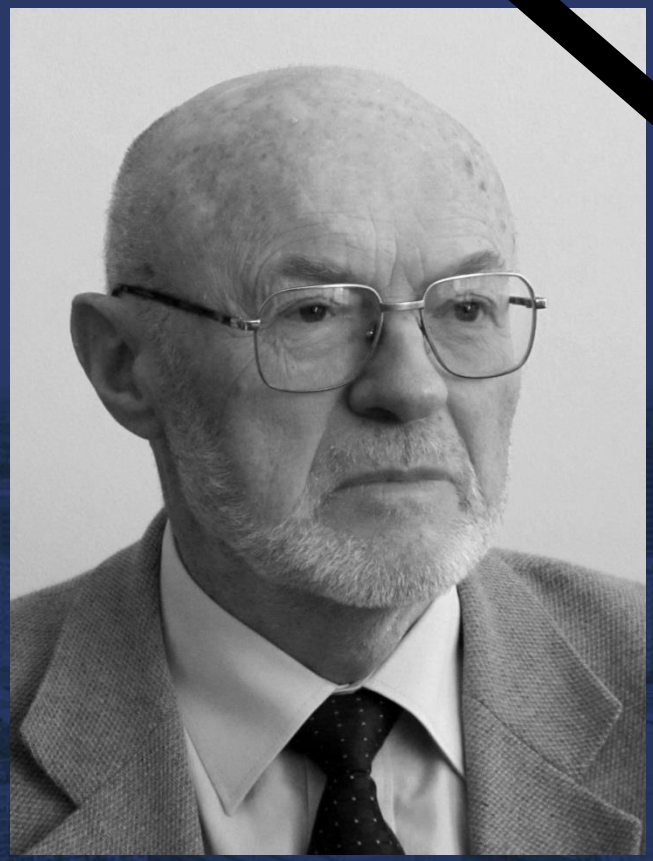
PWiK „Nysa" Sp. z o.o. w Zgorzelcu Wytyczne do projektowania 2015r.

❑PODSUMOWANIE

- **Należy zmienić dotychczasową mapę**, która była opracowana na podstawie obliczeń za pomocą przybliżonych wzorów uwzględniających jedynie temperaturę powietrza.
- **Probabilistyczna analiza** temperatury gruntu **uwzględnia losowy charakter zjawiska** i udział różnych zmiennych (tj. temperatury powietrza, pokrywę śnieżną, zawartości wody w gruncie).
- Opisany **grunt referencyjny** bierze pod uwagę jedynie jego rodzaj (**litologię**) – podejście wstępne.
- Dotychczas zebrane **dane wieloletnich pomiarów temperatury w gruncie**, umożliwiające ustalenie obliczeniowych wartości głębokości przemarzania odpowiadających 50-letniemu czasowi powrotu, **pozwalają na opracowanie Nowej Mapy Przemarzania Gruntów**.

- więcej szczegółów, w tym dane wykorzystane w prezentacji oraz do opracowania nowej propozycji mapy przemarzania można znaleźć w poniższej monografii:





dr hab. inż. Jerzy Antoni Żurański, prof. ITB, † 04. X. 2017

…pamięci prof. Żurańskiego

© Copyright by Instytut Techniki Budowlanej
Warszawa 2018