

JAN CALIKOWSKI, ZDZISŁAW WOJTASZEK
Instytut Geologiczny

BADANIA NAD WYTRZYMAŁOŚCIĄ ZAMROŻONYCH GRUNTÓW W TEMPERATURACH BARDZO NISKICH

SCIANA LODOWO-GRUNTOWA powstająca przy sztucznym zamrażaniu gruntów ma nie tylko zapobiegać przenikaniu wody, lecz musi także spełniać funkcję ścianki podpierającej, przejmującej ciśnienie wody i gruntu. Stąd przy pracach nad zamrażaniem gruntów potrzebna jest znajomość danych charakteryzujących wytrzymałość zamrożonych gruntów.

W literaturze (1,4) podane są tabele i wykresy ilustrujące rezultaty badań różnych autorów nad wytrzymałością zamrożonych gruntów. Z danych tych wynika, że zamrożone grunty są znacznie więcej wytrzymałe niż lód, przy czym zależy to od rodzaju gruntu i jego wilgotności. Dotychczas pomiary w zakresie temperatur do -25° wykazały, że wzrost zawartości procentowej wody w gruntach wpływa silnie na zwiększenie się wytrzymałości i że z różnych rodzajów gruntów najbardziej wytrzymały w stanie zamrożonym jest piasek. W dalszym ciągu z omawianych badań wynika, że z obniżeniem temperatury wytrzymałość rośnie.

Badania zreferowane poniżej miały na celu uzupełnienie danych znanych z literatury, a mianowicie chodziło o ustalenie, jaka jest wytrzymałość na zgniatanie zamrożonych gruntów w temperaturach dotychczas nie uwzględnionych, to znaczy poniżej -25° .

Konieczność rozszerzenia badań wytrzymałościowych na tak niskie zakresy temperatur wynika z związku z prowadzonymi przez autorów wspólnie z T. Senkowskim pracami nad zastosowaniem rozprężanego powietrza do zamrażania gruntów (por. „Przegląd Geologiczny” 1955, zeszyt 7, str. 334). Przy tym sposobie zamrażania spotykamy się z bardzo niskimi temperaturami. Lokalnie, przy punkcie ekspansyjnym może ona spaść nawet do temperatury ciekłego powietrza. W nie opublikowanych jeszcze badaniach laboratoryjnych, w których mrożenie przeprowadzano w płasku, uzyskano temperaturę -100° .

Pomiary wytrzymałości zamrożonych gruntów przeprowadzano, poddając zgniataniu kostki o krawędzi 4,7 cm uformowane z próbek gruntów. Do prób wzięto trzy rodzaje gruntów: piaski, ły i pyły. Grunty te doprowadzono do stanu konsystencji płynnej

i nawodnienia (piaski) przez dodanie odpowiedniej ilości wody, a następnie z tak przygotowanego gruntu formowano kostki.

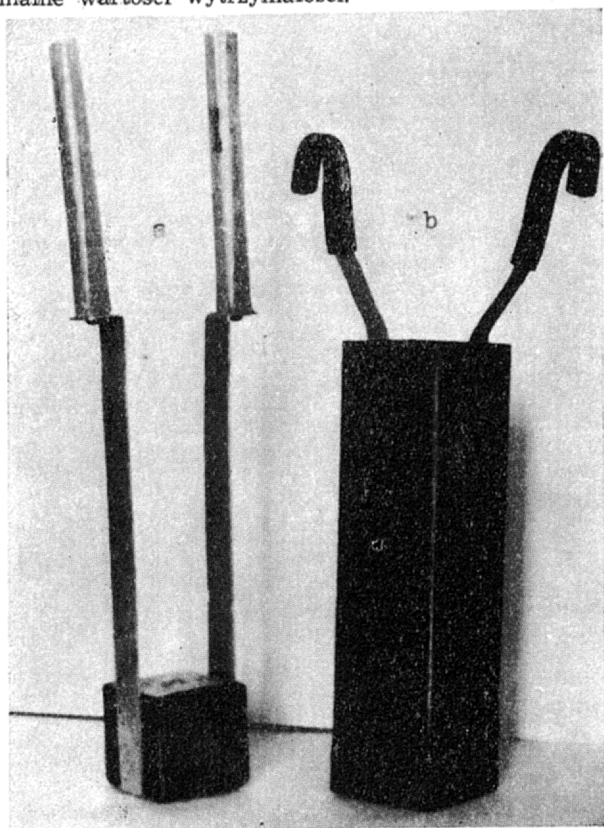
Próbki gruntów zamrażano odpowiednio długo we właściwych kąpielach kriostatycznych. Jako kąpeli używano: lodu zmieszanego z solą, topniejącego roztworu chlorku wapnia, zestalonego alkoholu metylowego w równowadze z cieczą oraz ciekłego powietrza. Alkohol metylowy zestalano stosując skroplone powietrze, zaś do mrożenia roztworu chlorku wapnia używano prócz ciekłego powietrza także stałego dwutlenku węgla. Oziębiając ciecz kriostatyczne ciekłym powietrzem posługiwano się metodą opisaną przez Stocka i Friedericiego („Chemische Berichte” 1911—1913, nr 46). Temperatury kąpeli mierzono termometrem pentanowym lub termoelementem miedź-konstantan.

Zamrażanie przeprowadzano w bardzo prostych kriostatach skonstruowanych we własnym zakresie w ten sposób, że do odpowiednio dużego naczynia próżniowego wstawiono specjalnie sporządzony z blachy miedzianej pojemnik na próbki. Pojemnik ten zawieszony był na ściankach naczynia dewarowskiego na dwóch taśmach metalowych izolowanych gumą (ryc. 1 i 2). Dalszymi częściami kriostatu był uchwyt pozwalający na wygodne wyjmowanie próbek z pojemnika oraz mieszadło.

Przy zagniataniu posługiwano się prasami marki Schopper, wykorzystując prasę mniejszą w jej maksymalnym zakresie (0 do 2500 kg obciążenia), a prasę większą w zakresie minimalnym (0 do 25 000 kg). Próbkę zamrożoną wyjmowano z kriostatu i zgniatano w jak najkrótszym czasie po to, by zmiana temperatury próbki była jak najmniejsza. Każdorazowo notowano prócz obciążenia także czas trwania zgniatania i temperatury otoczenia.

Przed przystąpieniem do właściwych prób przeprowadzono badania wstępne, mające na celu ustalenie okresu czasu potrzebnego do otrzymania całkowitego zamrożenia próbki w danej kąpeli ziębiącej. Przekonano się, że temperatura w środoku próbki zrównuje się z temperaturą ciekłego powietrza po upływie około 1. godziny. Stwierdzono jednak, że

czas ten nie wystarcza do uzyskania maksymalnej wytrzymałości i że dopiero po około trzech godzinach mrożenia w ciekłym powietrzu próbki wykazują wytrzymałość nie rosnącą przy dalszym ziębieniu. W tabeli i na wykresie uwzględniono jedynie te maksymalne wartości wytrzymałości.



Ryc. 1 — Części urządzenia kriostatycznego. a — uchwyt (w dolnej części kostka gruntu), b — pojemnik

Zbadano również szybkość wzrostu temperatury próbki po wyjęciu jej z kriostatu. Na podstawie tych pomiarów ustalono, że po wyjęciu próbki z kąpeli w ciekłym powietrzu temperatura środka próbki wzrasta po jednej minucie o około 6° .

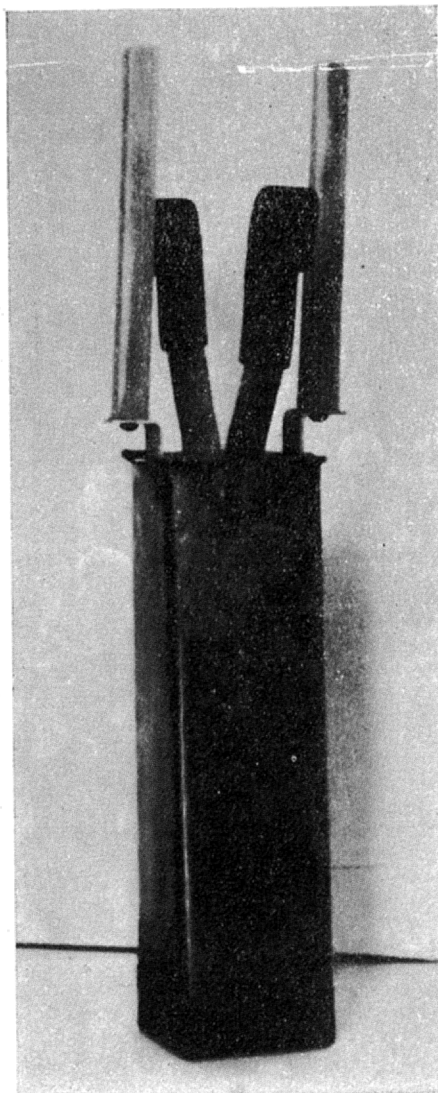
Rodzaj gruntu	Temp. kąpeli $^{\circ}\text{C}$	Czas trwania zamrażania (w godz.)	Temp. otoczenia $^{\circ}\text{C}$	Czas zgniatania (sek.)	Wytrż. na zgniat. (kg/cm^2)
Piasek	-7	29	19	76	30
"	-48	15	18	28	250
"	-101	14	18	78	277
"	-190	3	17	40	325
pył	-7	29	19	60	20
"	-48	15	18	60	259
"	-101	14	18	74	528
"	-190	3,5	17	61	693
il	-48	15	18	70	152
"	-101	14	18	36	389
"	-190	3	17	31	541

Tabela przedstawia rezultaty pomiarów, a wykres ustaloną na podstawie tych danych zależność wytrzymałości na ściskanie od temperatury.

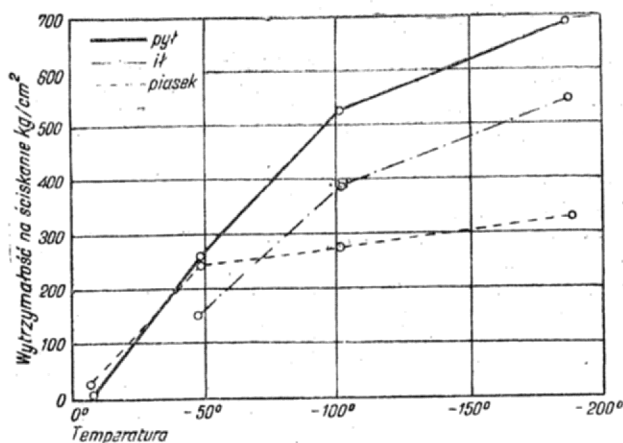
Postać pęknięcia próbek przedstawia ryc. 3.

Pierwszy wniosek, który nasuwa się przy rozpatrywaniu tabeli i krzywych przedstawionych na wykresie jest taki, że także poniżej -25° wytrzymałość zamrożonych gruntów wzrasta ze spadkiem temperatury, osiągając wartość bardzo wysoką. Gdy według do-

tychczasowych danych największa wytrzymałość na zgniatanie dochodziła do $2500 \text{ kg}/\text{cm}^2$, to tu mamy wytrzymałości przekraczające $700 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Szybkość wzrostu wytrzymałości nie jest stała: początkowo wzrost ten jest duży, później maleje.

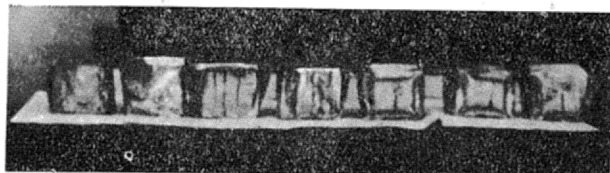


Ryc. 2 — Urządzenie kriostatyczne (złożone)



Dalszy wniosek dotyczy wzajemnego stosunku wartości wytrzymałości na ściskanie poszczególnych rodzajów gruntów. Przy normalnie dotychczas spotykanych, niezbyt niskich zamrażaniach kolejność była taka, że najbardziej wytrzymałe były piaski, naj-

mniej ily. W temperaturach niższych następują zmiany. Przyrost wytrzymałości piasków szybko maleje, natomiast u pyłków i iłów nie wykazuje dużego spadku. Stąd pochodzi, że w miarę obniżania temperatury pyły i ily stają się wytrzymalsze niż piaski.



Ryc. 3. — Próbkę gruntów po zgnieceniu

Wytlumaczenia otrzymanych wyników można by szukać w teorii zamrażania gruntów podanej przez Cytowicza (2). Autor ten uważa, że wytrzymałość zamrożonych gruntów wiąże się z obecnością wody błonkowej. W gruntach — jak wiadomo — są różne rodzaje wód, z których najbardziej osobliwe własności ma woda błonkowa. Dokoła cząstek gruntów tworzy się dzięki działaniu sił przyciągania błonkowa warstewka wody. Siły te są tak duże, iż cząsteczki wody tworzące błonkę poddane są ciśnieniu dochodzącemu do 10 000 kg/cm². Wskutek tego własności tej cienkiej warstewki wody są w dużym stopniu inne niż luźnej wody. Między innymi także temperatura krzepnięcia tej wody jest znacznie niższa (—75 do —78°) i dlatego wodę tę bardzo trudno zamrozić w całości. Wytrzymałość zamrożonego gruntu zależy głównie od tego, ile wody błonkowej w gruncie jeszcze nie uległo zestaleniu.

Z powyższego wynika zatem, że stosowanie głębokiego zamrażania będzie korzystnie wpływać na własności wytrzymałościowe gruntów, przede wszystkim dlatego, że zmniejsza ilość nie zestalonej wody błonkowej. Mogą tu mieć wpływ jeszcze inne czynniki np. to, że stosując niskie temperatury zwiększa się szybkość zamrażania, przez co uzyskuje się drobnokrystaliczną strukturę lodu, co też wpływa korzystnie na wytrzymałość.

Ilość wody błonkowej zawartej w gruncie zależy od wielkości cząstek gruntu: grunty o dużych cząstkach jak np. piaski przytrzymują stosunkowo mało wody błonkowej. Stąd pochodzi, że właśnie piaski zamrożone mają z wszystkich gruntów największą wytrzymałość. Tak jest jednak — jak wynika z prze-

prowadzonych badań — jedynie w temperaturach niezbyt niskich, do około —50°. Poniżej tej temperatury — zgodnie z tym, o czym powyżej wspomniano — kolejność ulega zmianie: najbardziej wytrzymałe stają się pyły, najmniej piaski. W związku z tym można by sugerować, że w tym zakresie temperatur cała woda w gruncie, nawet błonkowa, uległa skrzepnięciu, tak że nie obecność niezamrożonej wody, ale inne czynniki decydują o wytrzymałości. Tym czynnikiem mogłaby być np. różna postać lodu powstającego przy zamrażaniu w różnych rodzajach gruntów.

Ewentualność wzrostu wytrzymałości zamrożonych glin w temperaturach bardzo niskich przewiduje zresztą Trupak (4) pisząc, że jeżeli zamrozimy całą wodę błonkową, należy się liczyć z dużymi wytrzymałościami tych gruntów.

Na podstawie przeprowadzonych badań można odpowiedzieć na pytanie, czy przy obniżaniu temperatury poniżej —25° nie istnieje obawa spadku wytrzymałości? Otóż widać tu wyraźnie, że tego rodzaju okoliczność na pewno nie zachodzi: przy oziębianiu gruntów aż do temperatury ciekłego powietrza nie obserwuje się żadnego niespodziewanego spadku wytrzymałości, przeciwnie wytrzymałości gruntów w ten sposób zamrożonych stają się wysokie, przekraczając trzykrotnie znane dotychczas wartości.

Wyniki powyższe zgadzają się z obserwacjami, które przy badaniach mikroskopowych zmarzłych gruntów poczynił Szumski. (3). Stwierdził on mianowicie duży wzrost wartości wytrzymałości lodu i zamrożonych gruntów przy obniżeniu temperatury aż do punktu wrzenia azotu (—195,7°).

LITERATURA

1. Chakimow Ch. R. — Iskustwiennoje zamoraziwaniye gruntow dla stroitielnych celej. Maszstrojizdat. Moskwa 1949.
2. Cytowicz N. K. — K tieorii rawnowiesnogo sostojanija wody w mierzlych gruntach. „Izwestija AN SSSR” ser. geogr. i geofiz., t. IX, Moskwa 1944.
3. Matieriały po laboratorijnym issledowanijam mierzlych gruntow, sbornik 2. AN SSSR.
4. Trupak N. G. — Zamoraziwaniye gornych porod pri prochodkie stwołow. Ugletiechizdat. Moskwa 1954.