

Aleksandra JAKÓBSKA

Zdzisław KŁECZEK

Leon PORWÓŁ

Ryszard WOSZ

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

#### CHARAKTERYSTYKA DEFORMACYJNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWA ZAMROŻONYCH SKAŁ ZWIĘZŁYCH

**Streszczenie.** W pracy podjęto próbę wyjaśnienia wpływu zamrażania górotworu na własności deformacyjno-wytrzymałościowe skał zwięzłych (margli), zalegających w otoczeniu skał płynnych, mrożonych podczas głębenia szybów. W efekcie przeprowadzonych doświadczeń laboratoryjnych podano zależności empiryczne określające wpływ ujemnej temperatury na wytrzymałość, na ściskanie  $R_c$  oraz współczynnik odkształcalności wzdłużnej  $E$  badanych skał. Otrzymane wyniki z badań przyrostu objętości próbek w trakcie mrożenia zinterpretowano pod kątem wniosków, mających znaczenie praktyczne przy projektowaniu obudowy szybów, głębnionych pod osłonę uprzedniego mrożenia górotworu.

#### 1. Uwagi wstępne

Od czasu gdy w górnictwie rozpoczęto na szeroką skalę stosować głębenie szybów metodą mrożeniową, daje się zauważyć również rozwój tych kierunków badawczych, których ostatecznym celem jest określenie wpływu temperatury na własności geomechaniczne skał poddanych procesowi mrożenia. W większości jednak przypadków znanych z literatury przedmiotowe badania dotyczyły skał płynnych lub silnie zawodnionych, dla których proces mrożenia jest wyjściowym procesem technologicznym w głębeniu szybów.

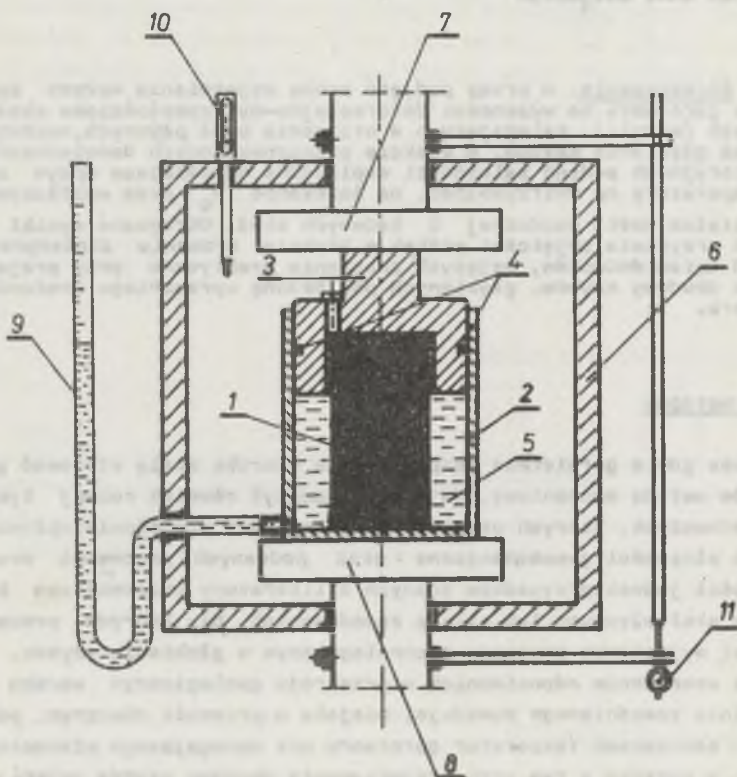
Celowe zamrażanie odpowiednich w przekroju geologicznym warstw górotworu silnie zawodnionego powoduje, niejako w procesie ubocznym, poddanie działaniu obniżonych temperatur górotworu nie wymagającego pierwotnie zamrażania. W związku z tym przy projektowaniu obudowy szybów należy uwzględnić również wpływ procesu mrożeniowego na zmianę własności nie tylko skał płynnych, lecz również skał zwięzłych. Na tym tle rodzi się więc potrzeba określenia wpływu ujemnej temperatury na charakterystykę deformacyjno-wytrzymałościową tych skał.

Dla wyjaśnienia powyższego zagadnienia w Instytucie Geomechaniki Górniczej AGH zbudowano odpowiednie stanowisko laboratoryjne oraz wykonano serię doświadczalnych prób ściskania w zakresie ujemnych temperatur

do  $-30^{\circ}\text{C}$ . W niniejszej pracy, jako przykład otrzymanych rezultatów, przedstawiono wyniki badań margli pobranych z szybu S-4/2 Nadrybia w Lubelskim Zagłębiu Węglowym.

## 2. Stanowisko laboratoryjne

Na bazie komory mroźniowej do badań własności skał płynnych w ujemnych temperaturach [1] zbudowane zostało stanowisko pomiarowe, którego schemat przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe do badania skał zwięzłych w ujemnych temperaturach

1 - badana próbka skały zwięzłej, 2 - cylinder miedziany, 3 - tłoczysko cylindra, 4 - pierścień uszczelniający tłoczysko, 5 - ciecz do pomiaru przyrostu objętości próbki, 6 - osłona zewnętrzna komory mroźniowej, 7 - górna płyta oporowa maszyny wytrzymałościowej, 8 - dolna płyta oporowa maszyny wytrzymałościowej, 9 - u-rurka pomiarowa, 10 - termometr kontrolny, 11 - tensometr mechaniczny

Próbkę skały 1 umieszcza się wewnątrz szczelnego cylindra 2 zakończonego przesuwным tłoczyskiem 3 z pierścieniem uszczelniającym 4. Objętość pomiędzy badaną próbką a cylindrem wypełnia się cieczą 5 o niskiej temperaturze krzepnięcia. Tak przygotowany układ umieszczony zostaje wewnątrz komory mroźniowej 6, zainstalowanej pomiędzy płytami oporowymi maszyny wytrzymałościowej 7 i 8. W trakcie procesu mrożenia próbki istnieje możliwość pomiaru jej zmian objętościowych za pomocą wyskalowanej u-rurki 9 oraz odczytu odkształceń wzdłużnych ściskanej próbki za pomocą tensometru 11.

W opisanym stanowisku pomiarowym można więc przeprowadzać laboratoryjne próby ściskania skał zwięzłych w ujemnych temperaturach, przy możliwościach pomiaru siły, odkształceń próbki i jej zmian objętościowych w funkcji ujemnych temperatur.

### 3. Wyniki badań laboratoryjnych

Jak już wspomniano na wstępie, przeprowadzone badania miały na celu określenie charakterystyki deformacyjno-wytrzymałościowej skał w ujemnych temperaturach. Badanymi próbkami skał były próbki margli pobranych w przełocie głębokości 162,5-180 m szybu S-4/2 Nadrybie, charakteryzujące się ciężarem objętościowym:

$$\gamma = 16,16 \text{ kN/m}^3$$

oraz wilgotnością bezwzględną:

$$w = 17,54\%$$

Przed przystąpieniem do badań zasadniczych, zmierzających do określenia podstawowej dla skał charakterystyki:

$$\sigma = f(\epsilon)$$

przeprowadzono serię doświadczeń polegających na pomiarze przyrostu objętości próbek  $\Delta V$ , w miarę postępującego procesu zamrażania.

Rezultaty tych doświadczeń przedstawiono na rys. 2, z którego wynika, że dla badanych margli przyrost objętości ma charakter przyrostu skokowego, obserwowanego w wąskim zakresie temperatury od  $-8^{\circ}\text{C}$  do  $-10^{\circ}\text{C}$ . Zarówno przed osiągnięciem tego zakresu temperatur, jak i po jego przekroczeniu objętość badanych próbek praktycznie nie ulega zmianie.

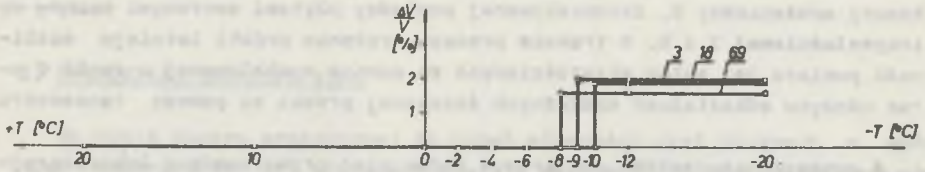
Jak wynika z danych ilościowych przedstawionych na rys.2, względny przyrost objętości badanych próbek waha się w granicach:

$$\frac{\Delta V}{V} = 1,614-1,955\%$$



i wynosi średnio:

$$\frac{\Delta V}{V} = 1,797\%$$



Rys. 2. Przyrost objętości badanych margli w funkcji temperatury

Ponieważ we wszystkich przypadkach przy dalszym zamrażaniu próbek nie obserwuje się zmian objętościowych, można uznać, że temperatura zamrażania badanych skał waha się w granicach:

$$\text{od } T_z = -8^{\circ}\text{C}$$

$$\text{do } T_z = -10^{\circ}\text{C}$$

Kolejny etap doświadczeń polegał na przeprowadzeniu laboratoryjnych prób ściskania w zakresie temperatur:

$$\text{od } T = 0^{\circ}\text{C}$$

$$\text{do } T = -30^{\circ}\text{C}$$

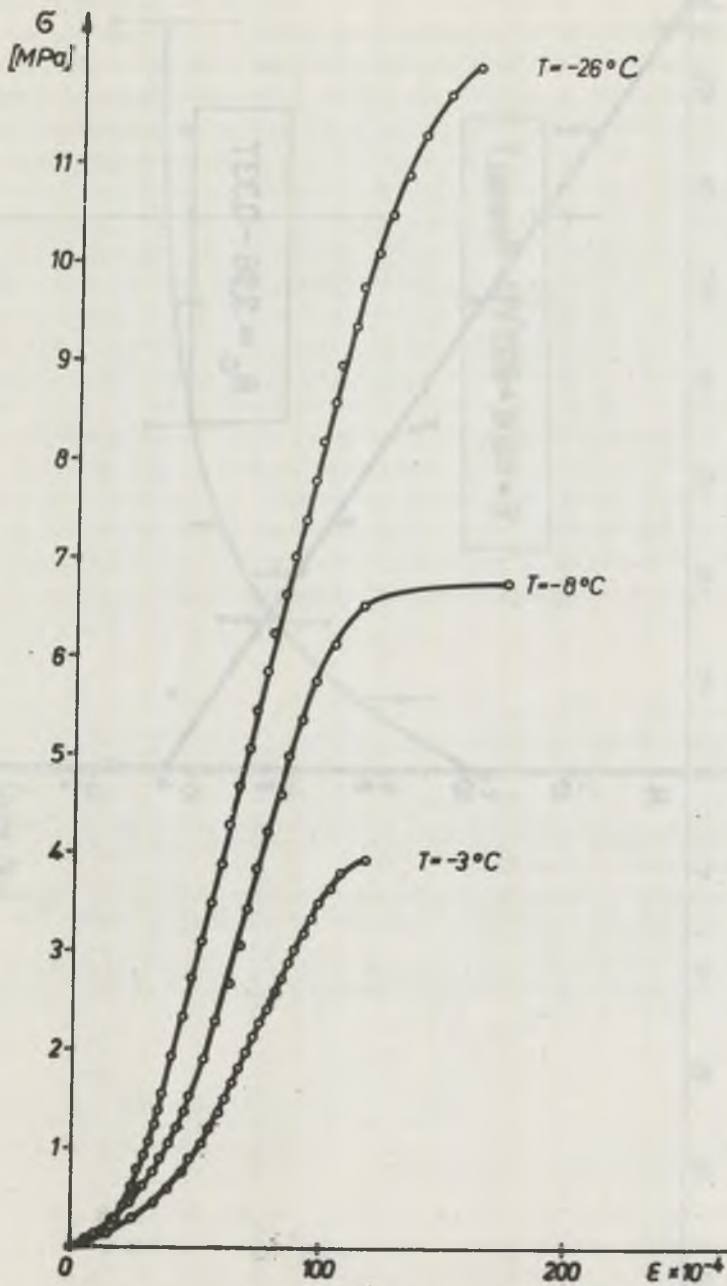
Na rys. 3 przedstawiono charakterystyczne wykresy dla tych prób, uzyskane kolejno w temperaturach:

$$T = -3^{\circ}\text{C} < T_z$$

$$T = -8^{\circ}\text{C} = T_z$$

$$T = -26^{\circ}\text{C} > T_z$$

W wyniku statystycznego opracowania rezultatów wszystkich doświadczeń laboratoryjnych uzyskano doświadczalne zależności ujmujące wpływ ujemnej temperatury  $T$  na wytrzymałość badanych skał na ściskanie  $R_c$  (rys. 4) oraz na współczynnik odkształcalności wzdłużnej  $E$  (rys. 5).



Rys. 3. Charakterystyka deformacyjno-naprężeniowa badanych margli

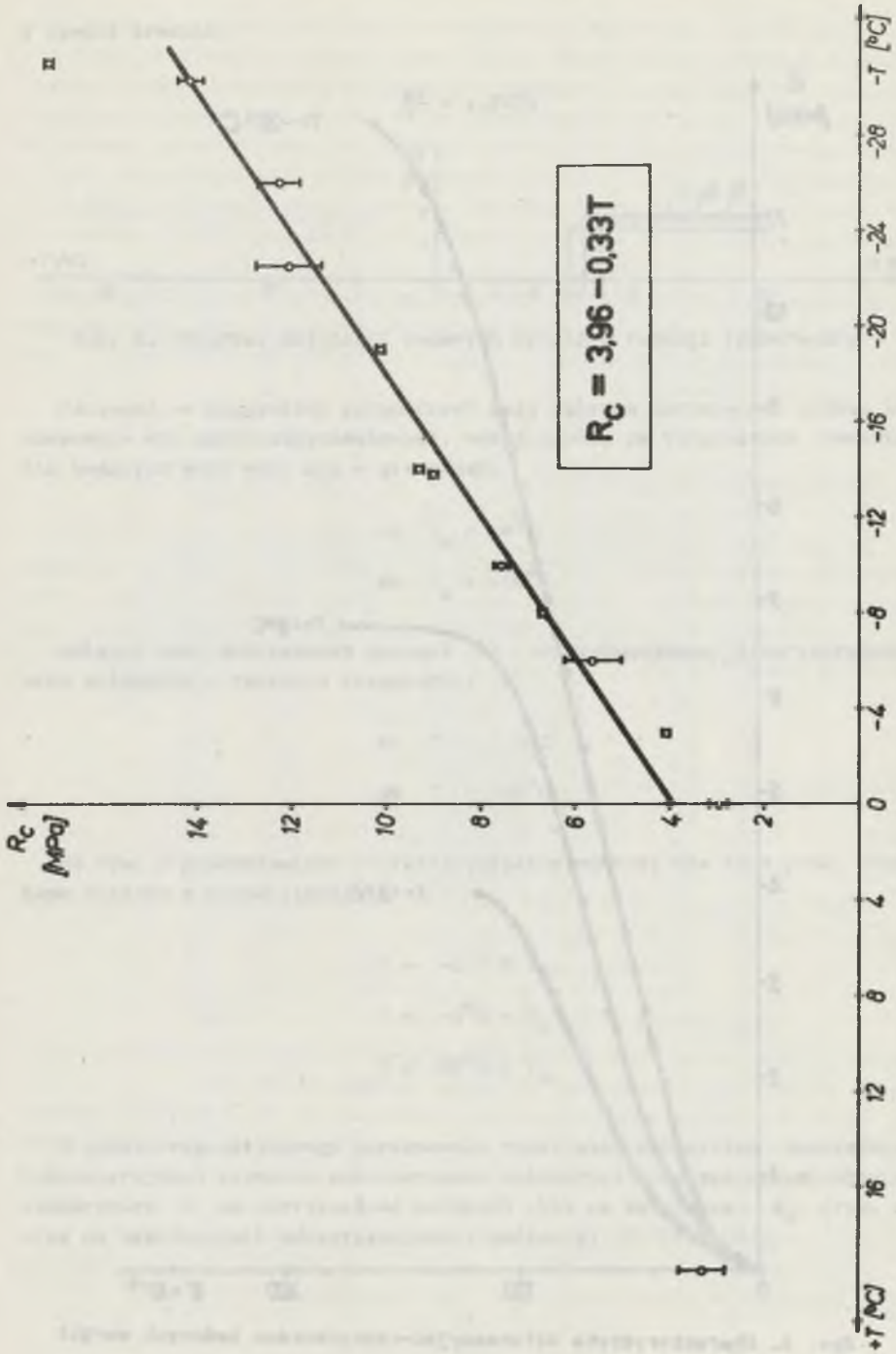
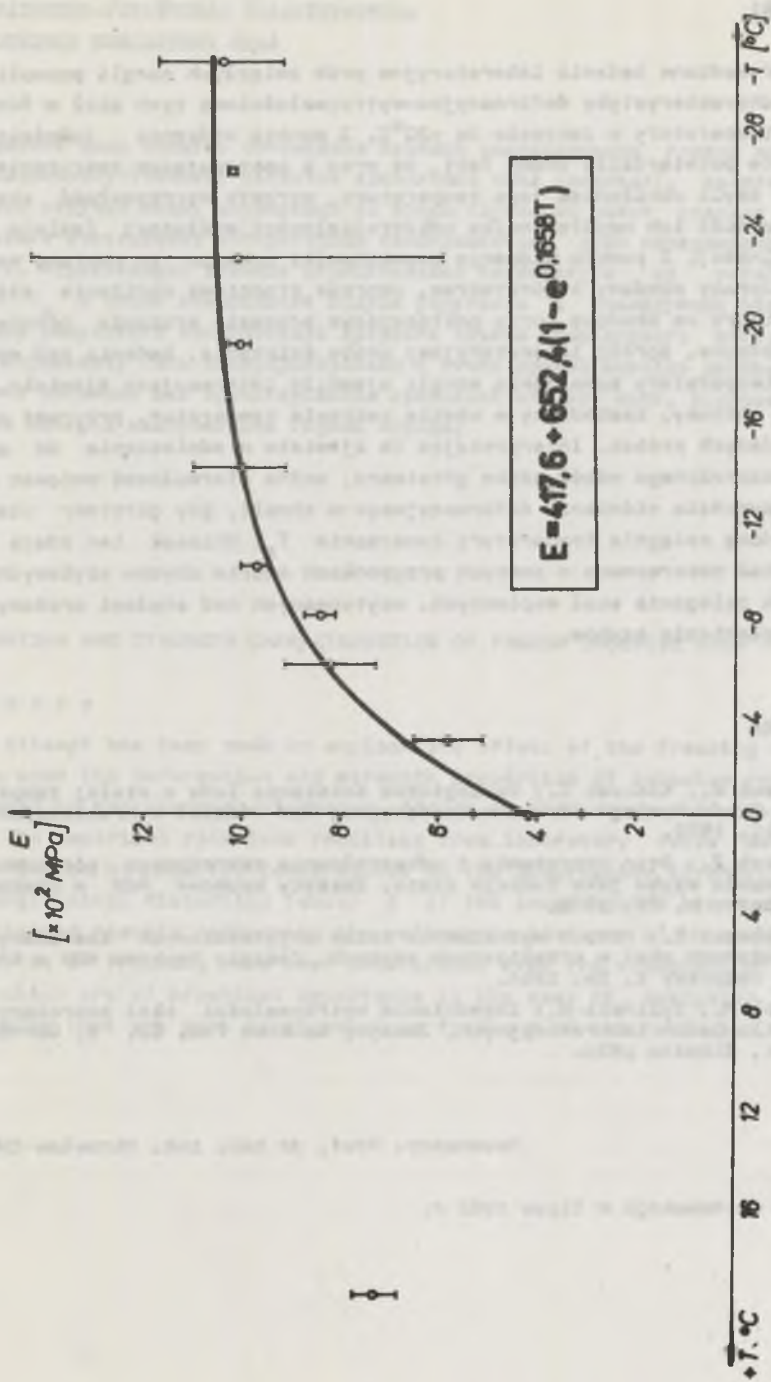


Рис. 4. Впływ температуры на wytrzymałość badanych margli na ściskanie



Rys. 5. Wpływ temperatury na współczynnik odkształcalności wzdłużnej badanych margli



#### 4. Wnioski

Przeprowadzone badania laboratoryjne prób zwięzłych margli pozwoliły określić charakterystykę deformacyjno-wytrzymałościową tych skał w funkcji ujemnej temperatury w zakresie do  $-30^{\circ}\text{C}$ . Z punktu widzenia jakościowego badania te potwierdziły znany fakt, że wraz z postępującym zamrażaniem górotworu, czyli obniżaniem jego temperatury, wzrasta wytrzymałość skał i rośnie wartość ich współczynnika odkształcalności wzdłużnej (maleje odkształcalność). Z punktu widzenia geomechaniki oznacza to poprawę warunków współpracy obudowy z górotworem, poprzez stopniowe obniżanie ciśnienia górotworu na obudowę, przy postępującym procesie mrożenia górotworu. Przeprowadzone, oprócz laboratoryjnej próby ściskania, badania nad wyznaczeniem temperatury zamrażania margli ujawniły interesujące zjawisko, jakim jest skokowy, zachodzący w wąskim zakresie temperatur, przyrost objętości badanych próbek. Interpretując to zjawisko w odniesieniu do pierścienia zamrożonego wokół szybu górotworu, można sformułować wniosek o skokowym przyroście ciśnienia deformacyjnego w chwili, gdy górotwór otaczający obudowę osiągnie temperaturę zamrażania  $T_z$ . Wniosek ten zdają się potwierdzać obserwowane w pewnych przypadkach awarie obudów szybowych na poziomach zalegania skał wapiennych, usytuowanych nad skałami mrożonymi w trakcie głębiania szybów.

#### LITERATURA

- [1] Kłeczek B., Kłeczek Z.: Reologiczne ściskanie lodu w stałej temperaturze. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej PAN Oddział w Krakowie, Górniczo - two 11, 1972.
- [2] Kłeczek Z.: Stan naprężenia i odkształcenia zamrożonego górotworu w otoczeniu szybu jako funkcja czasu. Zeszyty Naukowe AGH w Krakowie, Górnictwo z. 37, 1971.
- [3] Strzelecki Z.: Metoda wyznaczania zmian objętościowych zamrażanych i odmrażanych skał w przebijanych szybach. Zeszyty Naukowe AGH w Krakowie, Rozprawy z. 26, 1964.
- [4] Chudek M., Zyliński R.: Zagadnienie wytrzymałości skał zamrożonych w świetle badań laboratoryjnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Górnictwo z. 51, Gliwice 1974.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Mirosław CHUDEK

Wpłynęło do Redakcji w lipcu 1983 r.



**ДЕФОРМАЦИОННО-УСТОЙЧИВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
ЗАМОРОЖЕННЫХ КОМПАКТНЫХ СКАЛ****Р е з ю м е**

В работе дана попытка объяснения влияния замораживания горной породы на деформационно-устойчивые свойства компактных скал (мергели), залегающих в близости текучих скал, мороженных во время глубинных работ стволов шахт. В результате проведенных лабораторных экспериментов, даны эмпирические зависимости, определяющие влияние отрицательной температуры на устойчивость сжатия  $R_c$  а также коэффициент модуля упругости  $E$  исследуемых скал. Полученные результаты исследований прироста объема исследуемого материала во время морозения, были интерпретированы с точки зрения выводов имеющих практическое значение для проектирования креплений стволов шахт, получаемых под охраной наперед замороженной горной породы.

**DEFORMATION AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF FROZEN COHESIVE ROCK****S u m m a r y**

An attempt has been made to explain the effect of the freezing of rock strata upon the deformation and strength properties of cohesive rock (marl) deposited in the vicinity of gangue, frozen in the course of shaft sinking. The empirical relations resulting from laboratory tests determine the influence of negative temperatures on the compressive strength  $R_c$  and the longitudinal distortion factor  $E$  of the investigated kinds of rock. The obtained results concerning the volumetric increase of the samples in the course of freezing have been interpreted from the viewpoint of conclusions which are of practical importance in the case of designing linings for shafts that are sunk after previous freezing of the rock mass.