

## Słowa kluczowe

Skały solne, testy laboratoryjne, wytrzymałość i odkształcalność, litologia, wysad Mogilno

## Streszczenie

Właściwości soli kamiennej stanowią interesujący temat badawczy dla wielu naukowców na całym świecie, a od szeregu lat obserwuje się wzrost zainteresowania tą problematyką. Wiązać to należy z możliwością lokalizowania w górotworze solnym różnych obiektów strategicznych m.in. składowisk odpadów czy magazynów substancji użytecznych. Do tego celu szczególnie nadają się cechsztyńskie wysady solne występujące na Niżu Polskim. Duże miąższości mas solnych, ich zwięzłość oraz chemiczna obojętność umożliwiają bezbiornikowe magazynowanie substancji ropopochodnych i gazów.

Z punktu widzenia długotrwałej stateczności magazynu, konieczna wydaje się geomechaniczna ocena górotworu dla znajomości jego zachowania się w warunkach rzeczywistych. Zwykle ocenę taką przeprowadza się za pomocą modelowania numerycznego opierając się na wynikach badań laboratoryjnych, uśrednionych na całe złożo. Skomplikowana tektonika oraz zróżnicowana litologia w obrębie wysadu solnego powoduje konieczność generalizacji złoża, a więc i otrzymanych parametrów mechanicznych. W rzeczywistości skały wchodzące w skład górotworu solnego znacznie różnią się od siebie, zwłaszcza właściwościami geomechanicznymi.

Artykuł przedstawia wyniki badań nad właściwościami geomechanicznymi skał z wysadu solnego Mogilno, na podstawie badań laboratoryjnych, w których skupiono się na wyznaczeniu zależności między stanem naprężenia i stanem odkształcenia oraz przebiegu procesów reologicznych dla różnych typów skał. Do realizacji takiego celu wybrano badania jednoosiowego ściskania i pełzania, ponieważ w różnych laboratoriach całego świata to najczęściej one stanowią podstawę do określenia właściwości geomechanicznych. Uzyskane parametry posłużyły także do porównania ich z solami innych, lepiej rozpoznanych struktur. Złożo soli kamiennej „Mogilno I”, stanowiące południowo-wschodnią część struktury, nigdy nie było rozpoznawane pod kątem laboratoryjnych badań geomechanicznych, pomimo ponad dwudziestoletniej historii robót górniczych na tym obszarze. Badania takie wykonywane były jedynie dla złoża „Mogilno II” (Kłeczek, Flisiak 1986), gdzie zlokalizowany jest podziemny magazyn gazu. Badania właściwości mechanicznych soli prowadzono również dla złoża Lubień Kujawski (Kłeczek i in. 1978) oraz wysadu Góra, dla którego zrealizowano największy zakres badań (Kortas, Brańka 1999; Branka i in. 2006).

Badania laboratoryjne właściwości mechanicznych soli zostały przeprowadzone w Katedrze Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (Grzybowski 2007). Materiał do badań pochodził z odwierconego w 2006 roku otworu badawczo-eksploatacyjnego M-24 do głębokości 1923 m, czyli o ponad 500 m głębiej niż otwory odwiercone dotychczas w złożu Mogilno I. Ponadto wykonano inne badania rdzenia wiertniczego: makroskopowy opis litologii, analizy bromowe i analizy chemiczne, a także profilowanie geofizyczne w otworze, mające na celu rozpoznanie budowy geologicznej w bezpośrednim otoczeniu otworu (rys. 2).

Do badań laboratoryjnych wybrano 28 odcinków (NNS) o zróżnicowanej litologii z przedziału głębokości 353,8–1905,8 m. Wśród nich skały cyklotemu PZ2, reprezentowane przez sól kamienną szarą i jasnoszarą, różnoziarnistą z solami kryształowymi włącznie, skały soli młodszych i najmłodszych, w różnym stopniu zanieczyszczonych, także zubby (sole ilaste) oraz anhydryty. Tak duża różnorodność skał jest szczególnie widoczna podczas analizy wyników badań ciężaru objętościowego. Rozrzut wartości dla soli kamiennej wynosi od 20,96 do 22,36 kN/m<sup>3</sup>, a dla anhydrytu od 28,8 do 29,4 kN/m<sup>3</sup>.

Zgodnie z metodyką opracowaną w AGH, z rdzenia wykonano 34 próbki o średnicy 55,0 ± 0,1 mm i wysokości 110,0 ± 0,1 mm, metodą toczenia na sucho, z zachowaniem równoległości podstaw i przeznaczono do testów jednoosiowego ściskania i krótkotrwałego pełzania. Materiał, który pozostał z cięcia rdzenia, rozpuszczono w wodzie dejonizowanej i dla części nierozpuszczalnych wykonano analizę ilościową oraz jakościową. Dla wszystkich próbek określono procentowy udział frakcji nierozpuszczalnej, następnie dla 6 różnych litotypów

wykonano badania rentgenowskie, dla ustalenia składu mineralnego. Badania RTG zostały wykonane w Instytucie Geologii UAM w Poznaniu.

Efektom prób jednoosiowego ściskania było określenie naprężeń niszczących  $R_c$ , granicy dylatacji oraz charakterystyki deformacyjno-naprężeniowej dla każdej próbki. Na podstawie analizy przebiegu odkształceń pionowych  $\varepsilon_z$ , poziomych  $\varepsilon_r$  i objętościowych  $\varepsilon_v$ , określono parametry odkształceniowe zgodnie z wytycznymi ISRM: moduł Younga, jako średni w przedziale naprężeń 20–80%  $R_c$  oraz liczbę Poissona w zakresie liniowości odkształceń poprzecznych (tab. 1 i rys. 3).

Próby pełzania zrealizowano jako testy krótkotrwałe, ze stopniowym dociążaniem po każdym etapie dwugodzinnego pełzania. Mając na uwadze stwierdzoną w próbach jednoosiowego ściskania anizotropię odkształceń radialnych, ich pomiar wykonywano w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach, ustalając je na drodze oceny makroskopowej ułożenia ziaren. Wszystkie próbki były obciążone jednakowymi siłami osiowymi: 8, 16, 24, 32, 40, 48 kN. W wyniku określono prędkości pełzania zależnie od stratygrafii i wielkości naprężeń (rys. 5 i 6).

Analiza wyników badań i ich odniesienie do właściwości mechanicznych soli kamiennych z innych złóż (tab. 2) pozwoliły na sformułowanie zarówno szczegółowych wniosków o związku wykształcenia litologicznego z zachowaniem się próbek, jak i wniosków o charakterze ogólnym. W szczególności stwierdzono, że zachowanie się badanych skał w przeprowadzonych próbach nie odbiega od zachowania soli kamiennych z innych złóż. Zwraca uwagę duży rozrzut wartości pomiędzy poszczególnymi litotypami, co zapewne ma związek ze strukturą skały. Największą wytrzymałość posiadają starsze sole kamienne, słabsze są sole najmłodsze. Bardzo niekorzystne właściwości wykazują sole starsze kryształowe, gdzie rozluźnienie struktury krystalicznej następuje przy niskich wartościach naprężeń. Ściskaniu próbek towarzyszą duże deformacje, przy czym udział odkształceń sprężystych w całkowitym odkształceniu jest bardzo mały. Sole kamienne wykazują znaczącą anizotropię odkształceń, co być może jest efektem ukierunkowania kryształów. W solach kryształowych dodatkowo potęgowane jest to poprzez łatwe odpajanie się od siebie pojedynczych kryształów. Dylatacja pojawia się przy naprężeniach od 5 do 30% wytrzymałości, przy czym rozproszenie wartości liczbowych jest duże nawet w przypadku skał o podobnej budowie litologicznej. Obliczone prędkości pełzania wykazują nieliniową zależność od przyłożonego obciążenia. Ponadto zależy ona od litologii skały, przy czym decydujący wpływ ma udział i rozkład zanieczyszczeń, a czyste sole osiągają największe przyrosty odkształceń.

Do skał o zupełnie innych właściwościach mechanicznych należy zaliczyć anhydryt i sole ilaste. Ich charakterystyki można prawie w całym zakresie obciążeń przybliżyć linią prostą, a wzrost objętości następuje przy wyższych naprężeniach.

Zróznicowanie wartości liczbowych poszczególnych parametrów wskazuje, że do obliczeń modelowych należy także uwzględniać aktualny stan warunków geologiczno-inżynierskich. W związku z tym we wszystkich nowych otworach jest niezbędne uzyskiwanie jak największej ilości informacji odnośnie litologii oraz charakterystyki mechanicznej wszystkich skał wchodzących w skład górotworu solnego.