

LECH WYSOKIŃSKI

Uniwersytet Warszawski

CHARAKTERYSTYKA WYTRZYMAŁOŚCIOWA JURAJSKICH SKAŁ WĘGLANOWYCH REJONU BĘŁCHATOWA

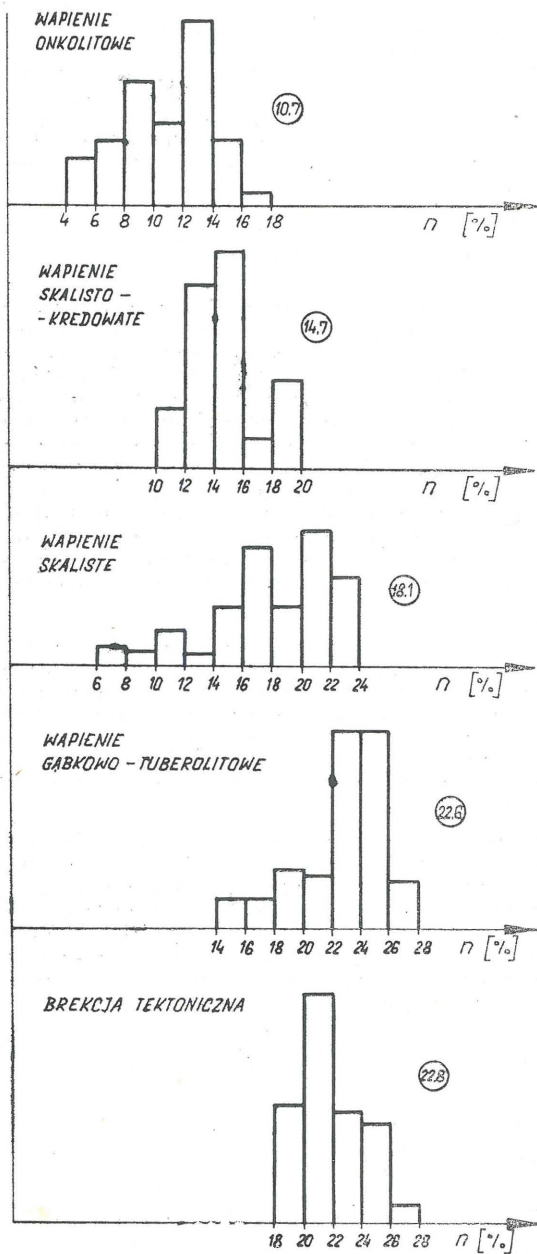
UKD 624.131.438:552.54:551.762:622.332'271.3(438—191.2 Bełchatów — rejon):622.83

Badania prowadzone dla celów złożowych w Bełchatowie traktowały problematykę inżyniersko-geologiczną podłoża mezozoicznego marginesowo. W momencie prac, przy zdejmowaniu nadkładu powstała pilna potrzeba uzupełnienia tej luki. Problem pokonywania trudności, które związane są z występowaniem podłoża mezozoicznego w odkrywcę uzyskał cenny przykład we wrześniu 1979 r., gdy po raz pierwszy w odkrywcę na skarpie południowej stwierdzono wapienie onkolitowe kimerydu. Pozwoliło to zdobyć pierwsze doświadczenia służbom kopalnianym, dotyczące pracy w materiałach skalnych.

W przyszłości trudności związane z występowaniem skał w skarpach odkrywki będą narastać. Trudno obecnie dokładnie określić ilość skały litej w skarpach całej kopalni, ale po 1983 r. przewiduje się, że trzeba będzie urabiać po około 2 mln m³ skał rocznie. Strop podłoża mezozoicznego południowej skarpy kopalni przebiega wzdłuż krawędzi strefy tek-

tonicznej i ma bardzo urozmaiconą rzeźbę. Występują tu na różnych poziomach kulisowo ułożone liczne stopnie uskokowe, obserwuje się zjawiska wietrzeniowe i zboczowe. Utwory mezozoiczne w kontakcie z trzeciorzędowymi wykazują różny stopień zwietrzenia, są naruszone licznymi uskokami oraz wykazują zazwyczaj znaczny stopień skrasowienia. Zmienność litologiczna utworów mezozoicznych jest bardzo duża. Z dotychczasowego rozpoznania wynika, że wśród utworów jury i kredy, w strefie skarpy południowej można wyróżnić około 20 serii inżyniersko-geologicznych.

Wydzielania serii inżyniersko-geologicznych dokonuje się na podstawie opracowanego modelu budowy geologicznej, z uwzględnieniem celu jakiegomu te serie będą służyć, a w szczególności przyjętych wydzieleni litologicznych i litostratygraficznych oraz zróżnicowanych właściwości fizyczno-mechanicznych przyporządkowanych tym wydzieleniom. W tym przypadku celów jest kilka. Na podstawie wydziałonych serii



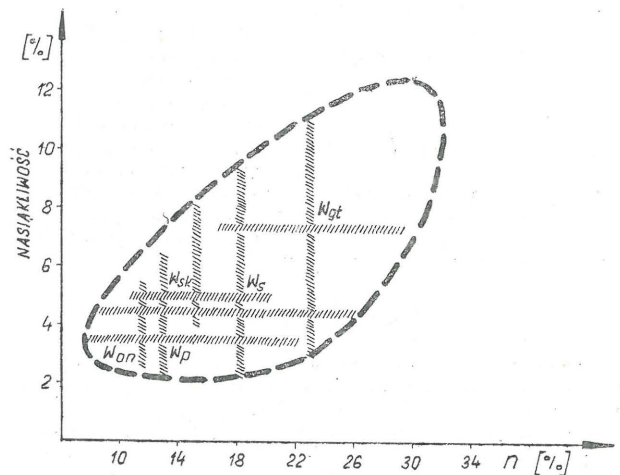
Ryc. 1. Statystyki rozkładu porowatości wydzielonych serii wapieni jurajskich okolic Bełchatowa.

Fig. 1. Statistics of distribution of porosity values for the recognized Jurassic limestone series in the Bełchatów area.

powinno nastąpić zróżnicowanie masywu dla scharakteryzowania:

- urabialności (głównie w strefie, która może się znaleźć w zasięgu odkrywk);
- wytrzymałości skał, które mogą znaleźć się w strefie płaszczyzn predysponowanych do osuwisk;
- porowatości (kawernistości), przepuszczalności związanej z problemami odwadniania i rozwojem zjawisk krasowych, a także zagrożeń dla kopalni.

Istotnymi problemami jest znalezienie różnicujących cech fizycznych lub mechanicznych badanych skał, które mogą pozwolić na wytypowanie optymalnej metody badania skał pod przykryciem gruntów trzeciorzędowych i czwartorzędowych. Podstawową sprawą jest obiektywność dokonanych ocen litologicznych. W wydzieleniach litologicznych znajduje wiele cech fizycznych i mechanicznych, a także cech powstałych w procesach dynamicznych w okresie diagenety i hipergezycji skał.



Ryc. 2. Zależność między nasiąkliwością a porowatością dla wapieni jurajskich okolic Bełchatowa.
Fig. 2. Interdependence of ability to soaking and porosity of Jurassic limestones from the Bełchatów area.

Przy wyróżnianiu serii litologicznych w wapieniach brano pod uwagę następujące cechy litologiczne: skład chemiczno-mineralny, utawienie, stopień zwięzłości, porowatość, występowanie krzemieni diagenetycznych, występowanie mikrytowej masy podstawowej, składników ziarnistych, szczątków organizmów. Jako podstawę wydzielenia litologicznych przyjęto wydzielenia serii litologicznych, opracowane w regionalnym podsumowaniu dokonanym przez J. Kutka i zespół (1). Schemat ten zastosowano dlatego, że zawiera on makroskopowo wyróżnialne typy litologiczne, jak również wiele informacji regionalnych, dotyczących pozycji stratygraficznej utworów występujących w kamieniołomach w stosunku do profilu wykształcenia litologicznego osadów górnourajskich Jury Polskiej. Założeniem było, aby te odmiany litologiczne skał węglanowych można było łatwo rozpoznać makroskopowo w rdzeniach wiertniczych lub w terenie.

Podstawową cechą wiodącą, od której zależą inne parametry badanych skał węglanowych jest porowatość. Cechę tę wydzieleno jako podstawę w poszukiwaniu zależności pomiędzy parametrami mechanicznymi. W stosunku do porowatości scharakteryzowano główne wartości parametrów mechanicznych, a więc wytrzymałość na ściskanie, rozciąganie, moduły sprężystości itp. Tab. I podaje zestawienie wyników badań gęstości objętościowej i porowatości. Liczba próbek dla badanych serii jest wystarczająca by stanowiła charakterystykę gęstości objętościowej i — obliczonej na jej podstawie i wynikach gęstości rzeczywistej — porowatości. Porowatości badanych próbek są zmienne w dość szerokich granicach, a wartości średnie dla serii występują średnio ok 2%. Statystyki rozkładu dla wyników badań porowatości podaje ryc. 1.

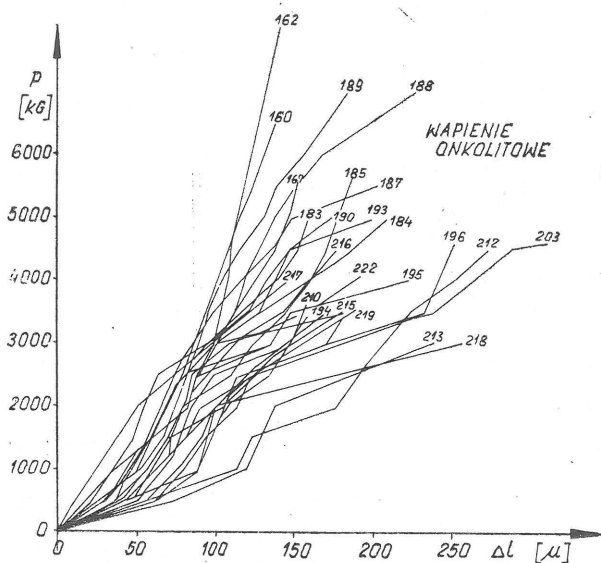
Reakcje na działanie wody badanych próbek charakteryzuje badanie wilgotności kapilarnej i nasiąkliwości oraz dokonywane w trakcie tych badań obserwacje zachowania próbek. Oznaczanie wilgotności kapilarnej wykonywano łącznie z oznaczaniem nasiąkliwości wagowej. W momencie, gdy cała próbka wykazywała zmianę koloru i na powierzchni górnej próbki cylindrycznej występowała wilgoć, próbkę ważono. W dalszym ciągu badania próbkę zanurzano całkowicie i w wodzie trzymano aż do uzyskania stałej wagi. Wykres na ryc. 2 podaje zależność między porowatością a nasiąkliwością (liniami kreskowanymi zaznaczono przedziały zmienności porowatości i nasiąkliwości). Jak z niego wynika — nasiąkliwość w badanych wapieniach jurajskich osiąga jedynie ok. 50% wartości porowatości.

Uzyskane wyniki wskazują też na nieznaczne różnice między wilgotnością kapilarną a nasiąkliwością — co świadczy o zakończeniu procesu nasycania praktycznie w momencie podsiąkania kapilarnego. Skutki długotrwałego działania wody na próbki widocz-

ZESTAWIENIE
WYNIKÓW BADAŃ GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ I POROWATOŚCI

Seria	Liczba wykonanych oznaczeń	Gęstość objętościowa ρ kg/m^3		Liczba oznaczeń	Porowatość n %	
		min max	średnia		min max	średnia
Wapienie skaliste	34	$2,01 \cdot 10^3$ $2,56 \cdot 10^3$	$2,26 \cdot 10^3$	30	$\frac{7,25}{27,17}$	18,08
Wapienie gąbkowo-tuberolitowe	27	$1,97 \cdot 10^3$ $2,53 \cdot 10^3$	$2,14 \cdot 10^3$	23	$\frac{15,56}{27,03}$	22,65
Wapienie skalisto-kredowate	19	$2,18 \cdot 10^3$ $2,40 \cdot 10^3$	$2,32 \cdot 10^3$	19	$\frac{11,03}{19,85}$	14,72
Wapienie onkolitowe	43	$2,25 \cdot 10^3$ $2,58 \cdot 10^3$	$2,39 \cdot 10^3$	43	$\frac{3,75}{16,04}$	10,72
Wapienie płytowe*	—	—	—	34	$\frac{5}{19}$	12,80
Brekcje tektoniczne	31	$1,99 \cdot 10^3$ $2,20 \cdot 10^3$	$2,10 \cdot 10^3$	31	$\frac{18,82}{31,73}$	22,33

* dane archiwalne



Ryc. 3. Wyniki badań ściskania osiowego z pomiarem odkształcenia przy pełnym nasyceniu wodą.

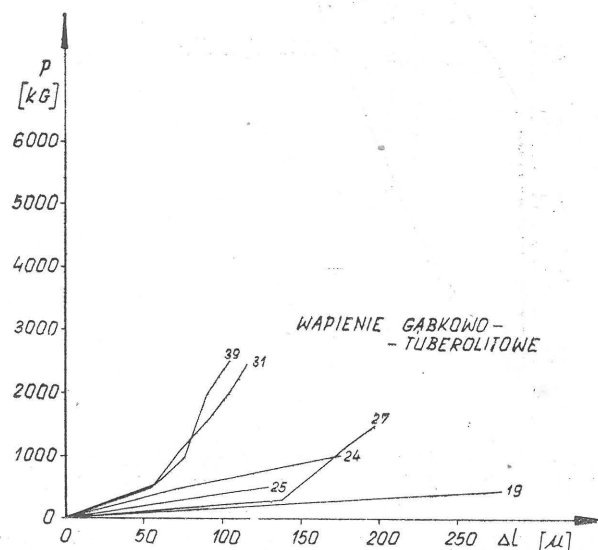


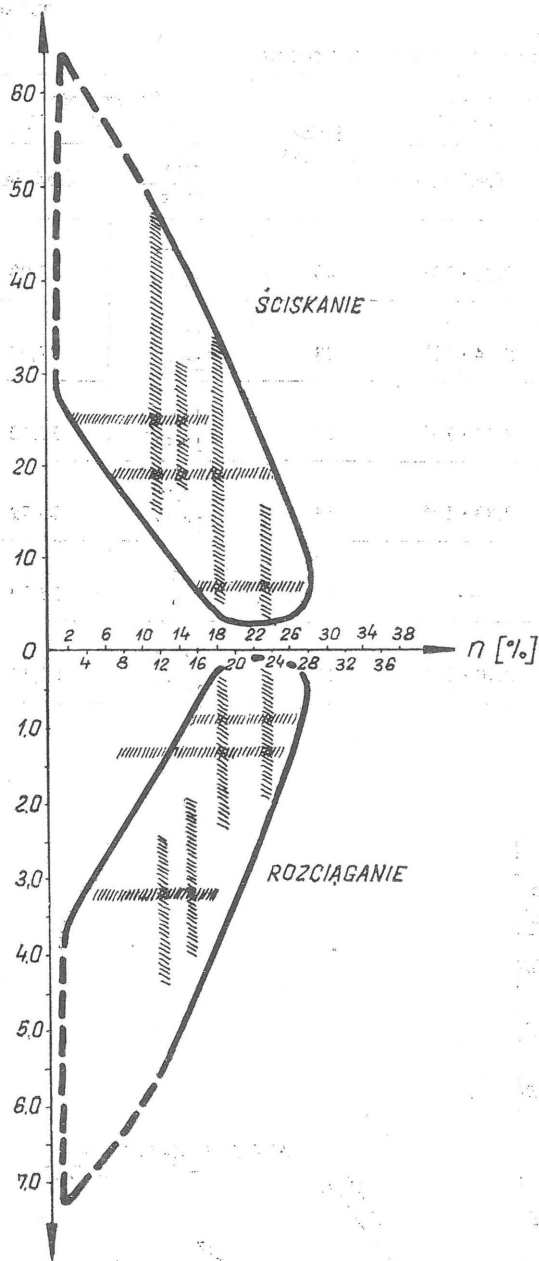
Fig. 3. Results of axial compression tests with measurements of deformations under full saturation conditions.

ne były w zniszczeniu części próbek w okresie ok. 2 miesięcy nasycania wodą. 4% próbek opok kredowych i 2% próbek brekcji wapiennych uległy zniszczeniu wskutek pęknięcia lub oddzielenia znacznych fragmentów. Inne typy wapieni nie wykazały zniszczeń w ciągu tego okresu.

Wytrzymałość na ściskanie badano na próbkach walcowych $H = D = 5$ cm bez podkładek. Podczas ściskania prowadzono rejestrację odkształceń próbek. Przykładowe wyniki badań dla najwytrzymalszej serii kimerydzkich wapieni onkolitowych oraz najsłabszej z badanych serii oksfordzkich wapieni gąbkowo-tuberolitowych przedstawia ryc. 3. Duża rozpiętość wyników między badaniami archiwalnymi a własnymi wynika z różnych metod badania. Stare badania wykonywane były metodą z podkładami, a uzyskiwane wyniki wytrzymałości różnią się o po-

nad 100% w stosunku do otrzymywanych metodą obecną normy. Znaczenie otrzymywanych wartości wytrzymałości zależy również od wymiaru i kształtu próbek.

Wytrzymałość na rozciąganie badano metodą ściskania walców po tworzącej ($H = D = 5$ cm). Wyniki badań na ściskanie i rozciąganie w zależności od porowatości podaje ryc. 4. Zaznaczone obszary zawierają wyniki możliwe do uzyskania w wapieniach jurajskich. Istotnym parametrem dla skał, zwłaszcza przy projektowaniu systemów urabiania, jest dynamiczny moduł sprężystości. Moduł ten oznaczony był metodą akustyczną przy użyciu aparatu Unipram 541 i głowic generujących impulsy o częstotliwości 500 KHz, zgodnie z metodyką podaną w pracy J. Pinińskiej i E. Drescher (2). Ryc. 5 podaje zależność modułów sprężystości od porowatości, a ryc.



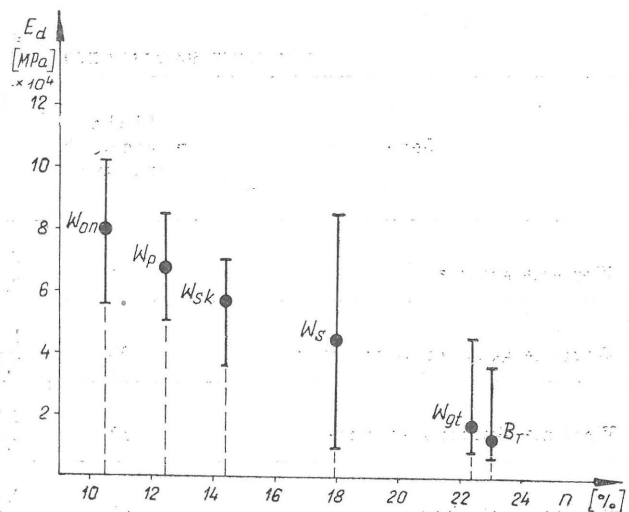
Ryc. 4. Zależność wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie od średniej porowatości wydzielonych serii wapieni jurajskich.

Fig. 4. Dependence of strength to compression and tension on mean porosity of the recognized Jurassic limestone series.

6 od wytrzymałości okruchów. W obu wypadkach zależności te są liniowe.

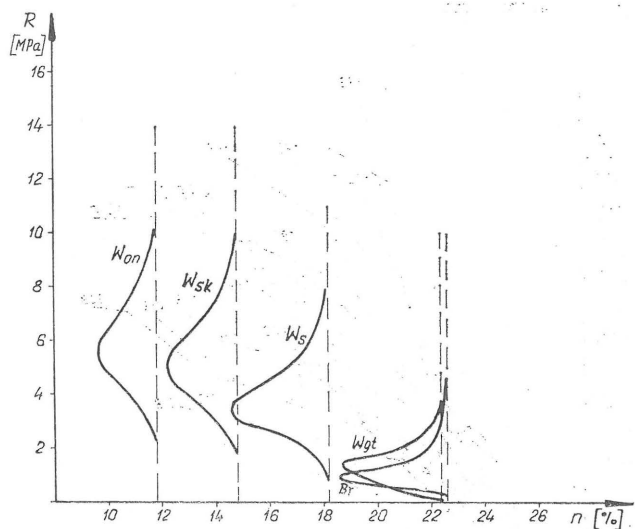
Ważnym badaniem, zwłaszcza bardzo potrzebnym przy rozkruszonych rdzeniach, jest badanie okruchów. Jest to bardzo wygodne badanie, pozwalające uzyskać szybką, statystyczną informację, przy braku możliwości wycięcia próbek foremnych. W badaniach tych łagodzone są wady wszystkich badań laboratoryjnych, związane z wykonywaniem próbek z materiału, zwykle najbardziej wytrzymałego. Stąd niejednokrotnie pełniejszą ocenę rozkładu wytrzymałości w masywie możemy uzyskać wykonując badania okruchów, niż np. badając wytrzymałość na ściskanie. Rozwój teorii i zrozumienie mechanizmu niszczenia nadaje tym badaniom coraz większego znaczenia.

Badania wykonuje się na okruchach (kawałkach) skały formy obłej, o stosunku najdłuższej do najkrótszej maksymalnie osi max 1:2. Próbki o średnicy



Ryc. 5. Zmienność modułów dynamicznych w zależności od średniej porowatości dla wydzielonych serii wapieni okolic Bełchatowa.

Fig. 5. Variability of dynamic moduli in dependence on mean porosity of the recognized Jurassic limestone series in the Bełchatów area.



Ryc. 6. Zależność wytrzymałości okruchów od porowatości wydzielonych serii.

Fig. 6. Dependence of strength of rock debris on porosity of the recognized series.

ok. 5 cm i masie ok. 200 g ściskano w maszynie wytrzymałościowej, ustawiając punktowo wzdłuż dłuższej osi okruchu. Uzyskane rezultaty wartości siły niszczonej analizowane zostały dwoma wzorami: Protodiakonowa i Wobikowa (1967)

$$\sigma_1 = \frac{P}{3\sqrt{V^2}} \quad [1]$$

gdzie: V — objętość próbki, oraz Wysokińskiego i Krauzlisa (3)

$$\sigma_2 = \frac{P}{\pi \cdot ab} \quad [2]$$

a , b — długość osi prostokątnych w okruchu.

Wzór [1] jest obecnie zalecany przez normę. Wzór [2] zakłada, że okruch ma kształt elipsoidy i wyzna-

OCENA PARAMETRÓW SZCZELINOWATOŚCI I PODATNOŚCI NA KRASOWIENIE WYDZIELONYCH TYPÓW LITOLOGICZNYCH

Typ litologiczny	Stratygrafia	Miąsżność ławic	Bloczność 1/m ³	Porowatość krasowa	Uwagi
Wapienie skaliste	oksford środkowy — górny	brak	1	20—25	Rzadkie duże formy podziemne, powszechna makroporowatość
Wapienie pylaste	oksford górny	40—70 cm	4—30	2—4	Rzadkie łagodne zagłębienia krasowe
Wapienie kredowate	oksford środkowy — kimeryd	ponad 1 m	4—10	20—30	Makroporowatość, liczne różnorodne formy krasowe
Wapienie płytowe	oksford górny — kimeryd	10—30 cm	100—4000	2—4	Liczne drobne formy krasowe
Wapienie skalisto-kredowe	oksford środkowy — górny	ponad 1 m	4—100	20—30	Różne, liczne duże formy krasowe
Wapienie gąbkowo-tuberolitowe (zawodziańskie)	oksford środkowy	50—100 cm	4—30	4—10	Liczne, ale niewielkie formy krasowe
Wapienie onkolitowe	kimeryd	40—90 cm	4—35	10—20	Liczne, nieduże formy krasowe
Wapienie oolitowe	kimeryd	20—50 cm	10—300	4—8	Niewielkie formy krasowe
Wapienie organodetrytyczne	jura środkowa — kreda	40—60 cm	10—40	2—5	Słabo skrasowiałe, czasem liczne drobne formy krasowe
Brekcje tektoniczne	—	—	—	—	Często bardzo silnie skrasowiałe, rzadziej w zaciśniętych strefach uskokuwych nie skrasowiałe

cza naprężenie średnie. Drugi wzór daje wartości niższe, zbliżone do wartości wytrzymałości na rozciąganie zazwyczaj nieco od niej wyższe. Wyniki uzyskiwane tymi wzorami różnią się o ok. 100%.

Zależności wytrzymałości okruchów od porowatości wydzielonych serii przedstawia ryc. 6. Na skali pionowej przedstawione są krzywe gęstości rozkładu wyników dla serii, przy odpowiedniej średniej porowatości serii odłożonej na osi poziomej.

Zespół uzyskanych informacji z badań laboratoryjnych wzbogacić można o dane wynikające z obserwacji rdzeni i odstonień Jury Polskiej (tab. II). Porowatość krasową liczono jako stosunek w procentach pustek krasowych i partii rdzeni skrasowiałych do całej długości rdzenia. Analiza badań laboratoryjnych i obserwacji terenowych posłużyła do oceny zagrożeń skarp i poziomów roboczych. Zagrożenia te możemy podzielić na:

1) bezpośrednie, gdy skalne podłoże występuje odsłonięte w wykopie;

2) pośrednie, gdy skalne podłoże przykryte nadkładem utworów klastycznych oddziaływać będzie w widoczny sposób na warunki eksploatacji w kopalni.

Bezpośrednie zagrożenia występują głównie przy urabialności skał, która zależy głównie od takich czynników jak bloczność oraz cechy mechaniczne skał. Z innych czynników należy wymienić bieg i upad warstw, obecność powierzchni tektonicznych czy wkładki materiałów o innych cechach niż podstawowa skała.

Wapienie jurajskie mieszczą się w szerokim przedziale klasyfikacji Protodiakonowa od skał związanych f ok. 9 do miękkich f ok. 2. Zagrożenia pośrednie to głównie zagrożenia osuwiskowe, predysponowane powierzchniami stropu podłoża mezozoicznego i pokryw zwietrzelinowych. W różnych partiach skarpy południowej kopalni występują obszary zagrażające osuwiskami jednemu poziomowi roboczemu, a są również stwierdzone możliwości osuwisk, które mogą rozwinąć się na 2 i więcej poziomach. Osuwiska występują głównie w materiale czwartorzędowym i trzeciorzędowym, ale pośrednio odbicie znajduje w nich budowa starszego podłoża.

W strefach tektonicznych występuje wzmózona predyspozycja do powstawania osuwisk. Kilka powstałych w kopalni osuwisk związanych było ze strefami zaburzonymi, występującymi nad uskokami w podłożu. Strefy te w dalszym ciągu stanowią będą miejsca przyszłych osuwisk. W strefach nad uskokami, w podłożu, można się spodziewać znacznego zmniejszenia tekstury utworów trzeciorzędowych i zwietrzelin. Dochodzą trudności odwodnienia takich stref oraz osłabienia licznymi zlustrowaniami i płaszczynami poślizgów. Analizując formy ewentualnych osuwisk nie zawsze można się spodziewać wystąpienia głębokich powierzchni poślizgu, opierających się aż o utwory mezozoiczne, ale wydaje się, że w strefach uskokuwych przedłużających się w utwory trzeciorzędowe zawsze należy liczyć się z możliwością powstawania osuwisk, nawet wtedy gdy w profilu gruntowym występują utwory o małej podatności do osuwisk, jak piaski czy pyły. Podstawową sprawą w przeciwdziałaniu powstawaniu osuwisk jest osuszenie skarpy.

Inne zagrożenie to zagrożenie wodne. Przy obecności kanałów krasowych w podłożu mezozoicznym może się ono ujawnić podczas znacznych opadów. System krasowy może być kolektorem dla wód infiltracyjnych, które przy niekorzystnym wystąpieniu warunków atmosferycznych mogą tą drogą próbować przedrzeć się do wkopu.

Liczne możliwości zagrożenia występują w związku z odwodnieniem. Obniżanie zwierciadła wody w podłożu mezozoicznym wywołuje przemieszczanie się wypełnień piaszczystych w szczelinach i kawernach krasowych. Usuwanie tych wypełnień ze spękań, szczelin i kawern zwiększa porowatość ośrodka. Wyznaczona na podstawie pomiarów pustek krasowych w wierceniach „porowatość krasowa”, liczona jako przelot otworu w kawernach krasowych w stosunku do całego przelotu wiercenia, wynosiła maksymalnie ok. 30% w wapieniach kredowatych i skalistokredowych. Stwierdzone maksymalne wielkości kawern dochodziły do kilku metrów. Po oczyszczeniu kawern i szczelin w masywie pozostają pustki, które gdy znajdują się w pobliżu powierzchni mogą ulec zawaleniu i powodować zapadanie powierzchni.

Procesy zapadania się powierzchni przy obniżaniu zwierciadła wody w utworach skrasowiałych obserwowane są w wielu miejscach na świecie. Zniszczenia powstają niejednokrotnie w przypadkowych miejscach nawet w dalekich miejscach od punktów pomiarowania.

I wreszcie zjawiska odprężania. Wykonanie odkrywki powoduje znaczne odciążenie masywu i rozwój zjawisk odprężeniowych. Odprężenie już dwukrotnie dało znać o sobie w formie trzęsień ziemi. Ostatnie zanotowano 26 II 1980 r. o godz. 11⁵⁰ i objęło strefę głównego uskoku Widawki. Trzęsienie było zauważalne nawet na otwartej przestrzeni. Spowodowało zarysowanie narożnika budynku i ruch obrazów. Było odczuwalne na przestrzeni kilku kilometrów. W odkrywce powstała rysa biegnąca wzdłuż płaszczyzny uskokowej. Krawędź rysy miała maksymalnie wysokość ok. 6 cm.

SUMMARY

The major interdependences of physical and strength parameters of Jurassic limestones occurring in Mesozoic surrounding of the Bełchatów deposit are determined. Porosity is recognized as the leading parameter, used to calculate dependences on elasticity modulus, determined with the use of acoustic method.

Final part of the paper deals with major hazards in mining works, related to specific structure of the Mesozoic basement.

Wymienione tu problemy, a również wiele innych są na bieżąco dokładnie rozpoznawane dla zapewnienia bezpiecznej i oszczędnej eksploatacji górniczej.

LITERATURA

1. Kutek J., Wierzbowski A. i in. — Z problematyki stratygraficznej osadów górnourajskich Jury Polskiej. Prz. Geol. 1977 nr 10.
2. Pinińska J., Drescher E. — Laboratoryjne badania akustyczne skał. Tech. Poszukiwań Geol. 1977 nr 2.
3. Wysokiński L., Krauzlis K. — Charakterystyka wytrzymałości skał na podstawie badania okruchów. Arch. Hydrotechniki, t. 20, z. 1.

РЕЗЮМЕ

В статье приведены определения главных зависимостей между физическими и прочностными параметрами юрских известняков выступающих в мезозойском окружении карьера „Белхатов”. В качестве ведущего параметра принята пористость и по отношению к ней определены зависимости от прочности модуля упругости установленного акустическим методом. В заключении статьи рассмотрены главные опасности выступающие при работе карьера, связанные со спецификой геологического строения мезозойского основания.