

ANALIZA ODKSZTAŁCEŃ SKAŁ GÓRNOKREDOWYCH SYNKLINORIUM LUBELSKIEGO W BADANIACH WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH NA ZGNIATANIE

UKD 624.131.5:552.541:551.763.3(438.14:438.13—11)

Materiał do badań pobrano z utworów kredy górnej w odsłonięciach naturalnych synklinorium lubelskiego, występujących w dolinie Wisły oraz w wyrobiskach eksploatacyjnych wzdłuż linii, którą wyznaczają miejscowości: Aleksandrów, Annapol, Prawledniki, Skrzyńce, Młodziejów, Siedliszczki, Fajslawice, Rejowiec, Chełm (ryc. 1).

W tabeli I przedstawiono: miejscowość, pozycję stratygraficzną, numer łomu i numer kolejny monolitów pobranych do badań oraz typ petrograficzny niektórych badanych skał górnokredowych, należących stratygraficznie do turonu i mastrychtu.

W celu określenia typu petrograficznego badanych skał oraz możliwości nawiązania do trójkąta klasyfikacyjnego, zaproponowanego dla tego typu skał przez W. C. Kowalskiego (3), dla wszystkich pobranych monolitów wykonano metodą miareczkową analizę na zawartość CO₂. Wobec niewielkiej zawartości MgO w badanych skałach oraz możliwości częściowego powiązania MgO w innych minerałach, a zwłaszcza w stwierdzonych minerałach ilowych, dla ogólnego scharakteryzowania zawartości węglanów w badanych skałach, całą zawartość CO₂ przeliczono na węglan wapnia.

Zawartość krzemionki bezpostaciowej, występującej w badanych skałach, określono metodą J. L. Thiébaud (7), a następnie przyjęto, że reszta poza węglanami i krzemionką bezpostaciową stanowi kwarc, występujący w minimalnych ilościach, minerały ilowe i inne glinokrzemiany.



Ryc. 1. Szkic lokalizacji łomów, z których pobrano monolity do badań.

1 — miejsce i numer łomu.

Fig. 1. Situation sketch of quarries, in which monoliths for examinations have been taken.

1 — site and number of quarry.

Zawartość węglanu wapnia w badanych skałach turońskich waha się w granicach od 50,08% do 88,54%, zawartość krzemionki bezpostaciowej — w granicach od 1,04% do 21,82%, natomiast w skałach mastrychtu zawartość węglanu wapnia wydaje się nieco przesunięta, mianowicie waha się w granicach od 52,21% do 91,36%, a zawartość krzemionki bezpostaciowej od 1,91% do 22,32%.

Następnie przyjmując za M. S. Szwiecowem (1948) i W. C. Kowalskim (3) zasadę, „że skałe nadaje nazwę ten składnik, którego zawartość wynosi ponad 50% wagowo” oraz dla dokładniejszego zdefiniowania skały przyjmując drugą zasadę, „...że o jej określeniu decydują następane z kolei co do procentowej zawartości składniki, o ile występują one w ilości ponad 5%, licząc się z możliwościami popełnienia niewielkiego błędu, wynikającego z braku szczegółowego przeliczenia ilościowego składu mineralnego wszystkich występujących w badanych skałach minerałów”, nawiązano do zaproponowanego przez W. C. Kowalskiego (3) trójkąta klasyfikacyjnego wapień-ił-czert (ryc. 2).

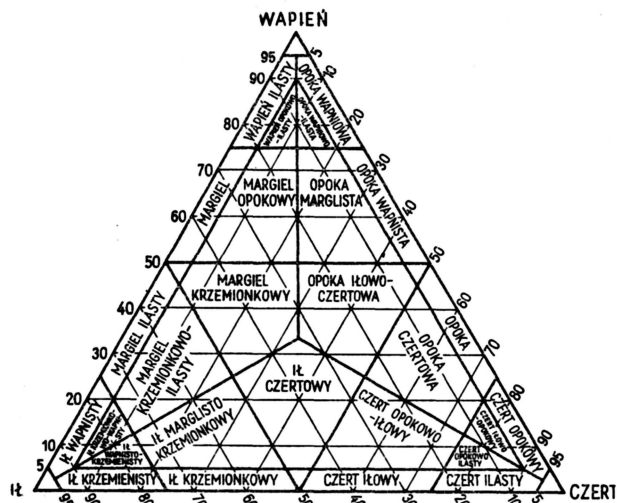
Przyjmując zaproponowany przez W. C. Kowalskiego trójkąt z podziałem na pola, które odwzorowują skały o zbliżonych skałach mineralnych wraz z proponowaną przez niego terminologią dla poszczególnych typów skał, uzyskano następujące (ryc. 3 i tab. I) typy petrograficzne badanych skał. Jak widać więc badane skały, mimo pozornej powierzchniowej jednorodności i dużego podobieństwa makroskopowego, reprezentują różne skały, a tylko niektóre można nazwać opokami (jak np. próbka nr 1.1), większość z badanych skał stanowią margle opokowe (próbki od nr 4.1 do nr 9.3).

W celu przeprowadzenia analizy odkształceń w badaniach wytrzymałościowych na zgniatanie z wyżej podanych miejscowości pobrano do badań zorientowane przestrzennie monolity badanych skał. Na każdym monolicie zaznaczono wyznaczony w łomach strop i spąg warstwy, z której pobrano monolit. Następnie wycięto z nich po 6 kostek sześciennych — każda o długości boku 5 cm również jak monolity zorientowane przestrzennie.

Badanie wytrzymałości na zgniatanie wykonano zgodnie z normą PN-54/B-04110 na prasie hydraulicznej typu C.S.B.29, na której wzrost ciśnienia starano

Tabela I
POZYCJA STRATYGRAFICZNA I TYPY PETROGRAFICZNE
BADANYCH SKAŁ

Miejscowość	Pozycja stratygraficzna	Nr łomu	Nr monolitu	Typ skały
Prawledniki	mastrycht	1	1.1	opoka marglistą
Skrzyńce		2	2.1	wapień ilasty
Siedliszczki		3	3.1	„ opokowo-ilasty
Młodziejów		4	4.1	margiel opokowy
Fajslawice		5	5.1	
Rejowiec		6	6.1 6.3	
Chełm		7	7.1	
Aleksandrów		8	8.1	
Annapol	turon	9	9.1 9.2 9.3	margiel opokowy
		10	10.1 10.2	margiel margiel opokowy
		11	11.1 11.2	wapień ilasty wapień opokowy
		12	12.1	wapień ilasty



Ryc. 2. Trójkąt klasyfikacyjny wapień-il-czert (wg W. C. Kowalskiego — 1961).
Fig. 2. Classification triangle limestone-clay-chert (according to W. C. Kowalski).

się zwiększać nie szybciej niż 10 kG/cm²/sek. Próbkę poddano badaniu wytrzymałości na zgniatanie w stanie powietrzno suchym, tj. średnio przy wilgotności wynoszącej od 0,40 do 1,73% i wyznaczono ich wytrzymałość zarówno w kierunku prostopadłym, jak i równoległym do uwarstwienia.

Ze wszystkich monolitów wykonano wyżej wymienione badania wytrzymałościowe, a wyniki uzyskano z 3 próbek z każdego monolitu, a jako wynik graniczny wytrzymałości na zgniatanie badanych skał przyjęto średnią arytmetyczną z trzech pomiarów, jeżeli różnica poszczególnych wyników nie odbiegała od średniej arytmetycznej więcej niż o 20%.

Wartość granicy wytrzymałości na zgniatanie badanych skał w kierunku prostopadłym do uwarstwienia waha się od 129 do 404 kG/cm², a w kierunku równoległym do uwarstwienia od 103 do 341 kG/cm².

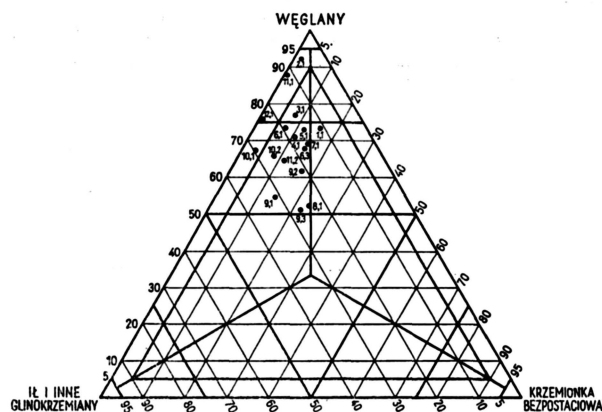
Na podstawie uzyskanych wyników zaobserwowano, że wytrzymałość na zgniatanie badanych skał masyrcyhtu waha się w szerszych granicach, niż to stwierdzono dla skał turońskich. I tak granica wytrzymałości na zgniatanie skał masyrcyhtu, poddanych zgniataniu w kierunku prostopadłym do uwarstwienia, znajdujących się w stanie powietrzno-suchym, waha się od 129 do 404 kG/cm²; w kierunku równoległym do uwarstwienia waha się od 103 do 341 kG/cm². Badane skały turońskie wykazały, jak już podano, mniejsze wahania w uzyskanych wartościach. Wartość granicy wytrzymałości na zgniatanie w kierunku prostopadłym do uwarstwienia waha się od 162 kG/cm² do 228 kG/cm², a w kierunku równoległym do uwarstwienia — od 134 kG/cm² do 202 kG/cm².

Jak widać z powyższych granicznych wartości oraz z danych w tabeli II wytrzymałość na zgniatanie w kierunku prostopadłym do uwarstwienia jest przeważnie większa od wytrzymałości w kierunku równoległym do uwarstwienia tych samych monolitów badanych skał. Porównanie to pozwoliło na wyznaczenie współczynnika zorientowanej anizotropowości wytrzymałościowej na zgniatanie, który zgodnie z definicją W. C. Kowalskiego (3) określony jest zależnością:

$$A = \frac{R_{c \parallel s}}{R_{c \perp s}}$$

W tab. II (kolumna 4) zestawiono obliczone współczynniki zorientowanej anizotropowości na zgniatanie badanych skał w stanie powietrzno suchym.

Przyjmując za W. C. Kowalskim (3), że współczynnik zorientowanej anizotropowości wytrzymałościowej



Ryc. 3. Odzworowanie badanych skał w trójkącie klasyfikacyjnym.

Fig. 3. Presentation of the rocks examined in classification triangle.

Tabela II
ŚREDNIE WARTOŚCI WYTRZYMAŁOŚCI NA ZGNIATANIE (R_c) W KIERUNKU PROSTOPADŁYM ($R_{c \perp s}$) I RÓWNOLEGLYM ($R_{c \parallel s}$) DO UWARSTWIENIA, WSPÓŁCZYNNIK ANIZOTROPOWOŚCI (A) ORAZ WARTOŚCI ODKSZTAŁCEN WŁAŚCIWYCH (ϵ) NA GRANICY WYTRZYMAŁOŚCI NA ZGNIATANIE BADANYCH SKAŁ

Nr monolitu	Średnia arytmetyczna $R_{c \perp s}$ kG/cm ²	Średnia arytmetyczna $R_{c \parallel s}$ kG/cm ²	Współczynnik anizotropowości A	Odkształcenia właściwe na granicy wytrzymałości $\epsilon/R_{c \perp s}$ %	Odkształcenia właściwe na granicy wytrzymałości $\epsilon/R_{c \parallel s}$ %
1	2	3	4	5	6
1.1	194	181	0,93	0,93	1,09
2.1	156	146	0,94	0,83	1,28
3.1	157	155	0,99	1,31	1,02
4.1	138	140	1,01	1,17	1,00
5.1	168	143	0,85	1,19	0,83
6.1	129	103	0,79	1,22	1,00
6.3	254	204	0,80	1,21	1,22
7.1	404	341	0,84	1,71	1,52
8.1	225	209	0,93	1,13	1,31
9.1	172	171	0,99	1,38	1,11
9.2	181	156	0,85	1,14	0,96
9.3	187	196	1,05	1,00	1,56
10.1	162	149	0,92	1,57	1,21
10.2	187	159	0,89	1,17	1,67
11.1	227	134	0,59	1,25	2,69
11.2	181	141	0,78	1,71	3,95
12.1	228	202	0,89	1,23	0,95

wej na zgniatanie może być zarówno mniejszy i równy jednocy, jak również od niej większy oraz zakładając teoretycznie, że skałami izotropowymi będą tylko te skały, których współczynnik anizotropowości równa się 1, ze względu na nieuniknione błędy pomiarowe przyjęto traktować również jako skały izotropowe te, których współczynnik anizotropowości waha się w granicach od 0,9 do 1,1. Skały o innej wartości tego współczynnika będą skałami pod wzglę-

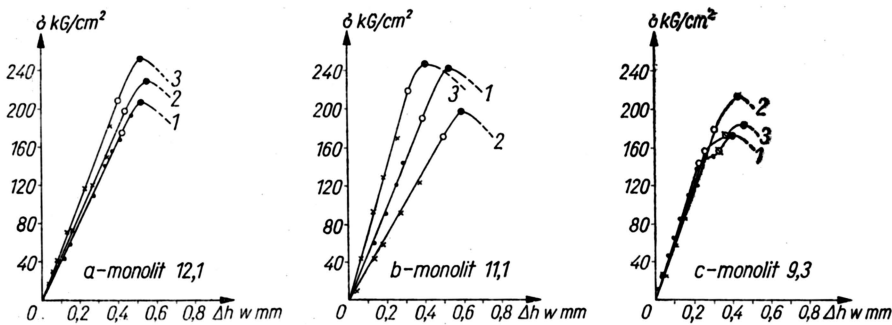
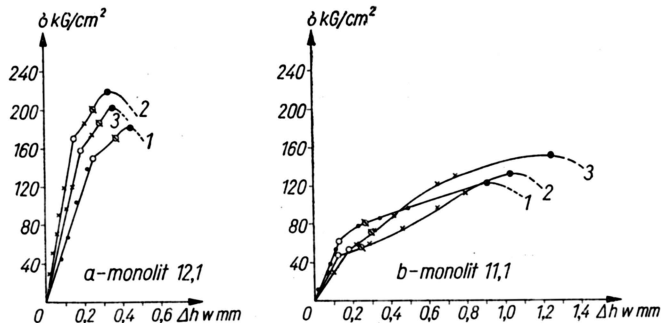


Fig. 4. Diagram of tensions and deformations of some monoliths of the rocks examined in air-dry state, when crushed in a direction perpendicular to stratification.

Ryc. 4. Wykresy naprężeń i odkształceń niektórych monolitów badanych skał w stanie powietrzno-suchym przy zgniataniu w kierunku prostopadłym do uwarstwienia.

• 1 pomiar, + 2 pomiar, X 3 pomiar, o — umowna granica proporcjonalności ($R_{ep\perp}$), ϕ umowna granica plastyczności ($R_{ep\perp,2}$), ● — granica wytrzymałości na zgniatanie ($R_{c\perp}$).

• 1 measurement, + 2 measurement, X 3 measurement, o — conventional boundary of proportionality ($R_{ep\perp}$), ϕ — conventional boundary of plasticity ($R_{ep\perp,2}$), ● — boundary of crushing resistance ($R_{c\perp}$).



Ryc. 5. Wykresy naprężeń i odkształceń niektórych monolitów badanych skał w stanie powietrzno-suchym przy zgniataniu w kierunku równoległym do uwarstwienia.

• 1 pomiar, + 2 pomiar, X 3 pomiar, o umowna granica proporcjonalności ($R_{ep\parallel}$), ϕ umowna granica plastyczności ($R_{ep\parallel,2}$), ● — granica wytrzymałości na zgniatanie ($R_{c\parallel}$).

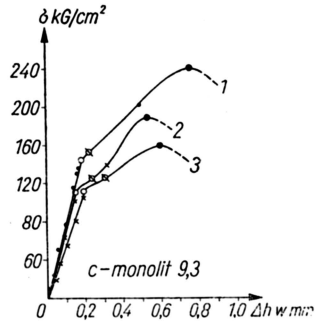
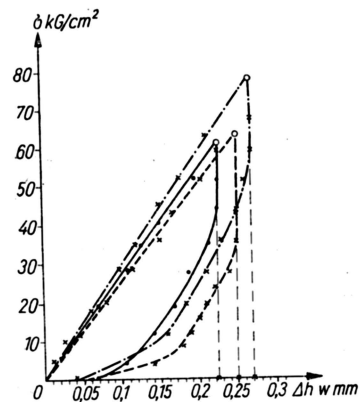


Fig. 5. Diagram of tensions and deformations of some monoliths of the rocks examined in air-dry state, when crushed in a direction parallel to stratification.

• 1 measurement, + 2 measurement, X 3 measurement, o — conventional boundary of proportionality ($R_{ep\parallel}$), ϕ — conventional boundary of plasticity ($R_{ep\parallel,2}$), ● — boundary of crushing resistance ($R_{c\parallel}$).



Ryc. 6. Wykresy odkształceń przy obciążaniu i odciążaniu. — próbka 1.1.a \parallel , — — — — — próbka 1.1.b \perp , - - - - - próbka 6.3 \perp , o — granica proporcjonalności ($R_{cpr\perp}$).

Fig. 6. Diagram of deformations during charging and discharging. — sample 1.1. a \parallel , — — — — — sample 1.1. b \perp , - - - - - sample 6.3 \perp , o — boundary of proportionality ($R_{cpr\perp}$).

dem wytrzymałości na zgniatanie anizotropowymi. Wobec tego dla skał praktycznie izotropowych bądź wykazujących minimalną anizotropowość: $A > 0,9$, jeżeli $0,7 < A < 0,9$ — słabo anizotropowe, $A < 0,7$ — silnie anizotropowe.

Większość badanych skał należało uznać za skały izotropowe, są to monolity nr 1.1; 2.1; 3.1; 4.1; 8.1; 9.1; 9.3; 10.1; do skał słabo anizotropowych zaliczono monolity nr 5.1; 6.1; 6.3; 7.1; 9.2; 10.2; 11.2; 12.1; jedynie skała z monolitu nr 11.1 została zaliczona do silnie anizotropowych.

Należy podkreślić, że przeprowadzone w laboratoriach, zgodnie z obowiązującą normą, badania wytrzymałości na zgniatanie materiałów kamiennych jako wytrzymałość kostkowa skał określają wartość maksymalnego nacisku jednostkowego na próbkę użytą w czasie badania, wobec czego jest to właściwie wartość określająca maksymalny, zarejestrowany nacisk na próbkę skały, przy której następuje już właściwie jej zniszczenie, czyli przekroczenie jej rzeczywistej, granicznej wartości wytrzymałości na zgniatanie. Pamiętać jednak należy, że sama metoda badania odbiegająca znacznie od warunków naturalnych, panujących w masywie skalnym, powoduje już znaczne różnice w uzyskiwanych wartościach wytrzymałości kostkowej skał. Główną przyczyną omawianego zagadnienia jest występowanie dużej siły tarcia na powierzchniach rozszerzającej się w czasie zgniatania próbki skalnej, na styku z płaszczyznami tłoków prasy. Tarcie to utrudnia równomierne rozszerzenie się próbki, w dużym stopniu zmienia stan naprężenia w próbce, wskutek czego nie jest on już jednoosiowy. Według A. Sałustowicza (6) określona laboratoryjnie wytrzymałość na zgniatanie jest przeciętnie dwa razy większa od rzeczywistej.

Problem ten jest niezmiernie ważny przy obliczeniach stateczności dużych budowli inżynierskich, w budownictwie wodnym i przede wszystkim w górnictwie, ponieważ wiąże się ściśle z wyznaczeniem dopuszczalnych obciążeń podłoża, gdzie za ważną jest znajomość wartości modułu sprężystości oraz przebiegu odkształceń skał występujących w podłożu.

Ponieważ jednak wyznaczenie modułu sprężystości w przyjętych warunkach badania oraz ze względu na charakter badanych skał, a zwłaszcza na ich zdol-

ność do odkształceń sprężysto plastycznych, już przy niewielkich naprężeniach, nie wydaje się uzasadnione uznać, że bardziej celowe jest określenie jedynie współczynnika proporcjonalności.

Współczynnik proporcjonalności badanych skał górnokredowych wyznaczono laboratoryjnie na próbkach zorientowanych przestrzennie, wyciętych ze skały w formie sześciątów o boku równym 5 cm. Obliczono go na podstawie wzoru, wynikającego z prawa Hooke'a.

W celu jednoczesnego pomiaru wielkości siły (P) wywieranej na próbkę oraz odkształcenia próbki (Δh), aby sporządzić wykresy zależności $\delta = f(\Delta h)$, zastosowano metodę fotograficzną. Pozwoliła ona na jednoczesną rejestrację manometrów wykazujących ciśnienie wywierane na badaną próbkę przez tłok prasy hydraulicznej oraz czujników wykazujących przesunięcia ruchomego tłoka prasy, a zatem rejestrujących zmiany wysokości próbki. Metoda ta była również stosowana w Przedsiębiorstwie Geologiczno-Inżynierskim Energetyki do wyznaczania modułów sprężystości piaskowców (2).

Aby maksymalnie zwiększyć dokładność pomiarów przy wycinaniu z monolitów sześciennych kostek przestrzeganą, aby powierzchnie przeciwległe kostek (górną i dolną) były do siebie równoległe. Zwracano szczególną uwagę, aby badane kostki przylegały ściśle do płaszczyzn tłoków prasy hydraulicznej oraz, aby znajdowały się zawsze w położeniu osiowym względem tłoka prasy hydraulicznej. Dwa czujniki umieszczone na dwu przeciwległych krańcach głowicy śruby dociskowej pozwoliły na kontrolowanie, czy powyższe warunki są spełnione oraz określały wielkość odkształceń badanych próbek.

Przyjęta metoda badania pozwoliła na pierwsze, przybliżone określenie granicy proporcjonalności (R_{cpp}) i granicy wytrzymałości na zgniatanie (R_c). Ponadto pozwoliła ona na określenie odkształceń badanych skał w zakresie naprężeń od 0 do granicy proporcjonalności i granicy wytrzymałości na zgniatanie, w wyniku czego można było określić zależność $\delta = f(\Delta h)$ oraz wartość współczynnika proporcjonalności (E) w zakresie naprężeń od 0 do granicy proporcjonalności.

Jak wiadomo, z danych literatury, wyznaczenie granicy sprężystości w badaniach laboratoryjnych jest bardzo trudne, a ponieważ jak podaje A. A. Iljuszyn i W. S. Lenski (1963) oraz Z. D. Jastrzębski (1) i inni, granica sprężystości położona jest bardzo blisko granicy proporcjonalności, wobec czego dla badanych skał górnokredowych określono jedynie granicę proporcjonalności wyznaczoną na podstawie uśrednienia uzyskanych punktów pomiarowych.

Po przeanalizowaniu uzyskanych na podstawie badań wykresów zależności $\delta = f(\Delta h)$ okazało się, że niektóre z badanych skał wykazują znaczne wartości odkształceń plastycznych w zakresie naprężeń od granicy proporcjonalności do ich granicy wytrzymałości na zgniatanie. Ponieważ jednak z uzyskanych wykresów nie można było określić dokładnie ich granicy plastyczności, zastosowano metodę graficzną, pozwalającą na wyznaczenie na wykresach umownej granicy plastyczności. Granicę tę wyznaczono prowadząc prostą równoległą do prostoliniowej części wykresu w odległości 0,2% pierwotnej wysokości pomiarowej próbki zakładając, że trwałe odkształcenie do granicy plastyczności nie przekroczy 0,2%. Przeprowadzona w ten sposób prosta równoległa, w punkcie przecięcia się z krzywą $\delta = f(\Delta h)$, wyznaczyła umowną granicę plastyczności (1).

Przyjęta fotograficzna metoda badania pozwoliła również na określenie wielkości odkształceń badanych skał przy zgniataniu ich próbek do granicy wytrzymałości. Zgodnie z Sałustowiczem odkształcenia te definiowane są jako odkształcenia właściwe. Uzyskane wyniki wielkości odkształceń właściwych na granicy wytrzymałości na zgniatanie zestawiono w tab. II w kolumnie 5 (próbek zgniatanych w kierunku prostym do uwarstwienia) i w kolumnie 6 (próbek zgniatanych równoległe do uwarstwienia).

Odształcenia właściwe badanych skał w kierunku prostym do uwarstwienia wahają się od 0,83 do 1,71%, a w kierunku równoległym do uwarstwienia wahają się w znacznie szerszych granicach, bo od 0,83 do 3,95%. Uzyskane wartości odkształceń właściwych badanych skał górnokredowych są duże, w porównaniu z danymi z literatury. Np. Sałustowicz podaje, że odkształcenia właściwe granitu wynoszą 3—7%, wapienia 0,5—2%. Według Kármana odkształcenia właściwe piaskowca o wytrzymałości 434 kG/cm² wynoszą 0,4%.

W tab. III zestawiono średnie arytmetyczne wartości granic proporcjonalności (R_{cpp}), odkształceń na granicy proporcjonalności (ϵ) oraz współczynniki proporcjonalności (E) uzyskane z trzech kolejnych pomiarów, dla każdego z badanych monolitów w kierunku prostym i równoległym do uwarstwienia skał znajdujących się w stanie powietrzno-suchym. Na ryc. 4 i 5 przedstawiono niektóre, typowe wykresy zależności $\delta = f(\Delta h)$ uzyskane w wyniku stosowania metody fotograficznej w procesie zgniatania badanych skał górnokredowych.

Z analizy uzyskanych wykresów wszystkich badanych monolitów wynika, że początkowe odcinki wykresów są w zasadzie linią prostą, a więc mamy tu do czynienia z naprężeniami, które są proporcjonalne do odkształceń. Zależność ta pozwoliła na wyznaczenie granic proporcjonalności.

Granica proporcjonalności w skałach badanych w kierunku prostym do uwarstwienia waha się od 59 do 267 kG/cm², natomiast wartość odkształceń do granicy proporcjonalności — od 0,37% do 1,36%. Granica proporcjonalności dla skał zgniatanych w kierunku równoległym do uwarstwienia waha się od 65 do 200 kG/cm² przy odkształceniach od 0,23% do 0,92%.

Znajomość wielkości naprężeń oraz odkształceń do granicy proporcjonalności pozwoliła na określenie współczynników proporcjonalności, wahających się od 8,10³ do 24,10³ kG/cm² dla skał badanych w kierunku prostym do uwarstwienia i od 12,10³ do 37,10³ kG/cm² dla skał badanych w kierunku równoległym do uwarstwienia. Uzyskanie przeważnie większych wartości współczynnika proporcjonalności przy zgniataniu w kierunku równoległym do uwarstwienia związane jest najprawdopodobniej z warstwowaniem badanych skał oraz ich większą zdolnością do rozwarstwiania się w kierunku równoległym do uwarstwienia niż w kierunku prostym.

Według badań Stöcke'a moduł sprężystości skał zależy od ich struktury: im jest ona bardziej drobnoziarnista, tym współczynnik sprężystości jest większy. Według niego również podobny wpływ wywiera uwarstwienie skały, co z kolei potwierdzałyby uzyskanie większych wartości współczynników proporcjonalności w skałach zgniatanych w kierunku równoległym do uwarstwienia. Zależność tę potwierdzają również wyniki cytowane przez Sałustowicza (6).

Analiza uzyskanych wykresów pozwala na stwierdzenie, że we wszelkiego rodzaju badaniach inżynierskich powinno określać się współczynnik proporcjonalności skał, który z jednej strony określa ich zdolność do stawiania oporu działającej na nie sile, z drugiej zaś wartość odkształceń sprężysto-plastycznych, jakie niewątpliwie obserwowano w badanych skałach na wykresach naprężeń przy zgniataniu jednoosiowym. Z uzyskanych wykresów ustalono, że dla pewnych monolitów wartości granicy proporcjonalności są bardzo bliskie ich granicy wytrzymałości na zgniatanie, dla innych zaś monolitów są znacznie mniejsze. Zależność tę określa stosunek naprężenia na granicy proporcjonalności do naprężenia na granicy wytrzymałości na zgniatanie, co przedstawiono w tab. III w kolumnie 8 (dla skał zgniatanych w kierunku prostym do uwarstwienia) i w kolumnie 9 (w kierunku równoległym do uwarstwienia).

Uzyskane wartości wahają się w szerokich granicach od 0,43 do 0,96. Oznacza to, że w badanych skałach wartość naprężenia na granicy proporcjonal-

SREDNIE ARYTMETYCZNE WARTOŚCI GRANICY PROPORCJONALNOŚCI (R_{cpr}), WSPÓŁCZYNNIKA PROPORCJONALNOŚCI (ϵ) I ODKSZTAŁCENIA NA GRANICY PROPORCJONALNOŚCI (ϵ) W KIERUNKU PROSTOPADŁYM (\perp) I RÓWNOLEŻNYM (\parallel) DO UWARSTWIENIA BADANYCH SKAŁ

Nr monolitu	$R_{cpr \perp}$ kG/cm ²	ϵ_{\perp} %	E_{\perp} kG/cm ²	$R_{cpr \parallel}$ kG/cm ²	ϵ_{\parallel} %	E_{\parallel} kG/cm ²	$\frac{R_{cpr \perp}}{R_{c \perp}}$	$\frac{R_{cpr \parallel}}{R_{c \parallel}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1	128	0,64	20.10 ³	137	0,69	20.10 ³	0,66	0,76
2.1	106	0,51	21.1. ³	125	0,93	13.10 ³	0,68	0,86
3.1	68	0,37	18.10 ³	114	0,72	16.10 ³	0,43	0,74
4.1	133	0,70	19.10 ³	129	0,70	18.10 ³	0,96	0,92
5.1	140	0,72	20.10 ³	65	0,30	23.10 ³	0,83	0,45
6.1	59	0,73	8.10 ³	78	0,65	12.10 ³	0,46	0,76
6.3	139	0,79	18.10 ³	123	0,67	18.10 ³	0,55	0,60
7.1	267	1,09	24.10 ³	200	0,92	22.10 ³	0,66	0,59
8.1	87	0,44	20.10 ³	122	0,70	17.10 ³	0,39	0,58
9.1	138	0,77	18.10 ³	87	0,23	37.10 ³	0,80	0,51
9.2	143	0,63	23.10 ³	120	0,38	32.10 ³	0,79	0,77
9.3	159	0,68	23.10 ³	133	0,44	30.10 ³	0,85	0,68
10.1	131	1,06	12.10 ³	108	0,42	26.10 ³	0,81	0,74
10.2	155	0,73	21.10 ³	103	0,43	24.10 ³	0,83	0,65
11.1	196	1,01	19.10 ³	58	0,37	16.10 ³	0,86	0,43
11.2	172	1,36	13.10 ³	71	0,59	12.10 ³	0,95	0,50
12.1	196	1,03	19.10 ³	160	0,51	32.10 ³	0,96	0,79

ności jest bardzo bliska naprężeniom, odpowiadającym granicy wytrzymałości na zgniatanie i wówczas stosunek ten zbliża się do jedności. W takim przypadku wykres jest bardzo stromy (ryc. 4, wykres a) i jak widać po minimalnym wzroście zarówno naprężenia oraz odkształceń próbki znajduje się już na granicy jej wytrzymałości na zgniatanie. W takim przypadku odkształcenia plastyczne są małe, a bezpośrednio po przekroczeniu granicy proporcjonalności przy niewielkim wzroście naprężenia następuje zniszczenie próbki. W przypadku, gdy stosunek ten wyrażony jest liczbą mniejszą, tzn. wartość naprężenia na granicy proporcjonalności stanowi np. 50% wartości wytrzymałości na zgniatanie, uzyskujemy wykresy naprężeń charakteryzujące się znacznymi odkształceniami, zachodzącymi od granicy proporcjonalności do granicy wytrzymałości na zgniatanie (przykładowo przedstawia to wykres b na ryc. 5).

Jak widać więc na podstawie przeprowadzonych badań, wartość granicy wytrzymałości na zgniatanie jest w dużej mierze umowną charakterystyką wytrzymałości badanych skał, przy czym należy pamiętać, że jest to właściwie pomierzona, największa wartość naprężenia na powierzchnię badanej próbki, przy której ulega już ona zniszczeniu, a ponieważ wartość granicy proporcjonalności, jak wykazały przeprowadzone badania może być albo bardzo bliska granicy wytrzymałości lub też stanowić np. połowę jej wartości, dlatego też bardziej celowe byłoby określenie laboratoryjne naprężenia odpowiadającego granicy proporcjonalności.

W celu przeprowadzenia analizy i charakteru odkształceń, występujących w zakresie naprężeń od 0 do granicy proporcjonalności oraz pomierzenia ich wielkości, niektóre próbki (stosując również metodę

fotograficzną), poddano naciskowi równemu naprężeniu odpowiadającemu granicy proporcjonalności, a następnie je odciążono. Charakter uzyskanych wykresów niektórych próbek przedstawiono na ryc. 6.

Z wykresów wynika, iż próbki obciążone do ich wartości bliskiej granicy proporcjonalności zachowywały się w zasadzie zgodnie z prawem Hooke'a, a więc odkształcenie było proporcjonalne do naprężenia, co obserwujemy w lewej części każdego wykresu, następnie po odciążeniu wartość naprężenia (δ) początkowo malała, a odkształcenie pozostawało bez zmian. W dalszym odciążaniu próbki rozprężyły się prawie proporcjonalnie do zmniejszenia naprężeń wobec tego na tym odcinku wykres przedstawia linię prostą, prawie równoległą do linii obciążenia, a dopiero w ostatniej fazie, już przy bardzo małych naprężeniach rzędu ok. 12 do 4 kG/cm² następowało szybkie rozprężanie się badanych próbek. W żadnym przypadku próbki nie powróciły do swej pierwotnej wysokości, a po całkowitym usunięciu działającego na nie nacisku i dokonaniu pomiaru po 1 minucie zachowały pewne odkształcenia plastyczne, których wartość waha się w granicach od 0,04% do 0,12%. Ponadto uzyskane wykresy pozwalają na określenie całkowitych odkształceń sprężysto-plastycznych występujących w badanych próbkach do ich granicy proporcjonalności, a próba na obciążenie i odciążenie pozwala na określenie wielkości odkształceń sprężystych (s) i trwałych (t), które są składowymi całkowitych odkształceń w badanych skałach. Ponieważ powyższe badania przeprowadzono w ciągu kilku sekund, a odczyt końcowy dokonany był po 1 minucie od zakończenia badania, wydaje się, iż wartości odkształceń trwałych są zawyżone z powodu nieuwzględnienia w badaniach parametru czasu, a ściśle możliwości rozprężania się skał w czasie.

Zagadnienie rozprężania się skał i zwiększania ich wytrzymałości na zgniatanie znane jest z literatury i szczegółowo opracowane m. in. przez Kischlingera oraz dla podobnego typu skał przez Fortunata (1962, 1965). Uzyskane za pomocą fotograficznej metody wykresy naprężeń pozwoliły na graficzne wyznaczenie umownej granicy plastyczności, tj. wielkości naprężeń, przy których wartość odkształceń trwałych nie przekroczy 0,2%.

Dla skał badanych w kierunku prostopadłym do uwarstwienia umowną granicę plastyczności wyznaczono jedynie dla trzech monolitów. W pozostałych monolitach można ją było wyznaczyć dla niektórych z 3 badanych próbek każdego monolitu, bądź też nie wyznaczono jej zupełnie, ponieważ próbki te przy niewielkim wzroście naprężeń, przekraczającym umowną granicę proporcjonalności, znalazły się już na granicy swej wytrzymałości na zgniatanie.

Dla skał zgniatanych w kierunku równoległym do uwarstwienia umowną granicę plastyczności wyznaczono dla większej ilości monolitów, co generalnie wskazywałoby na następującą zależność. Wartość odkształceń plastycznych, występujących w zakresie naprężeń od granicy plastyczności do ich wytrzymałości na zgniatanie, dla próbek zgniatanych prostopadłe do uwarstwienia jest bardzo mała i niewielki wzrost naprężenia powoduje już zniszczenie próbek. Może to również wskazywać na to, że w skałach zgniatanych w kierunku prostopadłym do uwarstwienia wartość odkształceń trwałych w zakresie naprężeń od 0 do granicy proporcjonalności jest większa od 0,2% i nie można stosować tu graficznej metody wyznaczania umownej granicy plastyczności, przyjmując jako miarę odkształceń trwałych 0,2%. Należałoby wobec tego drogą dokładnych pomiarów określić ile powinna wynosić ta wartość, wydaje się jednak, iż powinna być ona znacznie mniejsza.

Charakter odkształceń plastycznych w zakresie naprężeń od 0 do granicy wytrzymałości na zgniatanie w skałach zgniatanych równoległe do uwarstwienia jest nieco inny, na co wskazują uzyskane wykresy naprężeń. W tym przypadku można już było określić dla większości monolitów umowną granicę plastyczności, co z kolei wskazuje na to, iż skały zgniatane równoległe do uwarstwienia mają większą zdolność do odkształceń plastycznych w zakresie naprężeń od granicy proporcjonalności do ich wytrzymałości na zgniatanie.

Podsumowując powyższą część wyników, dotyczącą

SUMMARY

The Upper Cretaceous rocks, stratigraphically belonging to the Turonian and Maestrichtian, and represented mainly by opoka marls, clay limestones, opoka limestones and marly opoka, have been examined as to their crushing resistance. On the basis of resistance examinations an analysis of deformations of these rocks has been made using photographic method. This method allowed to determine boundary of proportionality, coefficient of proportionality, boundary of crushing resistance of the samples spatially oriented, and magnitude of deformations within the tensions from 0 to the boundary of proportionality of crushing resistance.

It has been stated on the examinations made that the rocks under study are anisotropic, and when charged and discharged show elastic-plastic deformations.

analizy odkształceń w badaniach wytrzymałościowych niektórych skał górnokredowych synklinorium lubelskiego można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Badane skały w zakresie naprężeń od 0 do granicy proporcjonalności charakteryzują się odkształceniami sprężysto-plastycznymi.

2. Bez uwzględnienia problematyki reologicznej nie sposób jest dokładnie odróżnić odkształceń sprężystych od trwałych (plastycznych).

3. W przypadku skał przyjmowanie umownej wartości równej 0,2% do wyznaczania granicy plastyczności jest dyskusyjne, ponieważ jak wykazały przeprowadzone badania, wartość ta powinna być chyba mniejsza i należałoby ją ustalić na podstawie badań statystycznych.

4. Dla określenia dopuszczalnych obciążeń należałoby laboratoryjnie wyznaczyć nie tylko wytrzymałość badanych skał, lecz również ich współczynnik proporcjonalności, którego znajomość pozwala z jednej strony na najbardziej ekonomiczne wykorzystanie podłoża w przypadku skał, dla których wartość granicy proporcjonalności jest bardzo bliska ich wytrzymałości na zgniatanie, z drugiej strony, jeżeli wartość granicy proporcjonalności stanowi tylko niewielką część wytrzymałości na zgniatanie, pozwala na uniknięcie nieprzewidywanych niebezpieczeństw.

LITERATURA

1. Jastrzębski Z. D. — Własności tworzyw konstrukcyjnych. Warszawa 1962.
2. Köhsling J. — Laboratoryjne wyznaczanie modułu sprężystości skał. Prz. geol. 1961, nr 9.
3. Kowalski W. C. — Wytrzymałość na ściskanie budowlanych skał senońskich przelomowego odcinka Wisły Środkowej na tle ich litologii. Biul. Geol. UW, t. 1, cz. 2, 1961.
4. Łozińska-Stępień H. — Minerale iłowe skał turońskich okolic Annopola nad Wisłą. Prz. geol. 1964, nr 9.
5. Łozińska-Stępień H. — Własności fizyczno-mechaniczne skał turońskich przelomowego odcinka doliny Wisły Środkowej (okolice Annopola) na tle ich litologii. Biul. Geol. UW, t. 6, 1965.
6. Sałustowicz A. — Mechanika górotworu, cz. 1. Górnictwo. T. III. Stalino 1955.
7. Thiébaud J. L. — Contribution à l'étude de sédiment argilocalcaire du bassin de Paris. Nancy 1925.

РЕЗЮМЕ

Исследованиям сопротивления на сжатие подвергались верхнемеловые породы Люблинского синклинория, стратиграфически относящиеся к турону и маастрихту, представленные, в основном, опокowymi мергелями, глинистыми известняками, опокowymi известняками и мергелистой опокой. На основании проведенных испытаний сопротивления с применением фотографического метода были изучены деформации испытываемых пород. Примененный метод дал возможность определения предела пропорциональности, коэффициента пропорциональности, предела сопротивления на сжатие, величины деформации в интервале напряжений от 0 до предела пропорциональности и полных деформаций в интервале напряжений от 0 до предела сопротивления на сжатие.

Проведенные исследования доказывают, что испытываемые породы анизотропны, а в исследованиях под нагрузкой и после разгрузки ведут себя как упруго-пластические породы.