

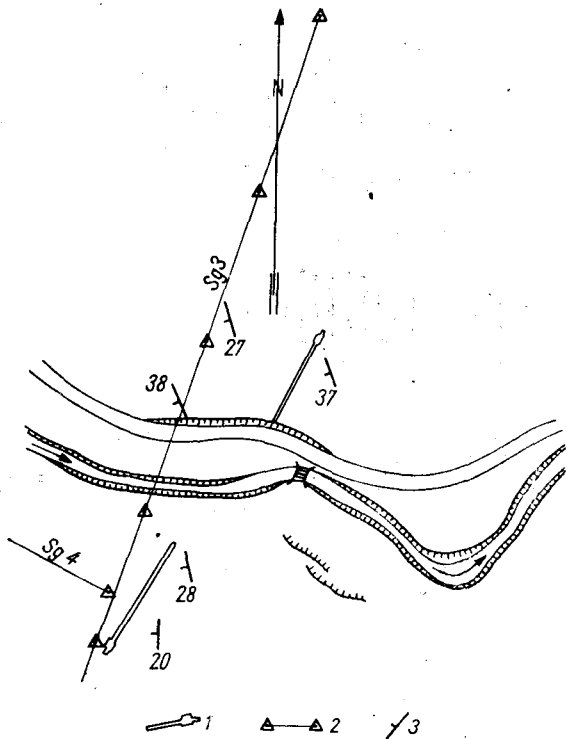
PARAMETRY INŻYNIERSKO-GEOLOGICZNE PODŁOŻA ZAPORY WODNEJ W MŁOTACH

UKD 624.131.25:552.4:624.131.438:550.834:627.822(438.26-18)

Obiekty elektroni szczytowo-pompowej Młoty po ich wybudowaniu będą pracowały w specjalnie trudnych warunkach zmiennego obciążenia. Dlatego też szczególnego znaczenia nabierają badania, które pozwalają na postawienie prognozy odnośnie do zachowania się górotworu po wybudowaniu obiektów elektrowni — w czasie eksploatacji. Badania takie zostały przeprowadzone w trakcie dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich przez Zakład Doświadczalny przy Przedsiębiorstwie Specjalistycznym Górnictwa Surowców Chemicznych „HYDRO-SKOP” w Krakowie. Badania geologiczne obejmowały obszar ok. 6 km², przy czym większość robót górniczych — wierceń, szybików, wykopów, sztolni — koncentrowała się w rejonach obiektów podstawowych elektrowni: osi zapory zbiornika dolnego, linii brzegowej tego zbiornika, trasy derywacji, podłoża zbiornika górnego i obiektów towarzyszących (osiedla, place budowy, rozdzielnia).

W trakcie badań ustalano charakter skał, odkształcanie górotworu przy zmiennych warunkach obciążenia, przeprowadzono badania statyczne „in situ” modułów odkształcenia i sprężystości oraz siły przyczepności i kąta tarcia na kontakcie beton—skała, jak również zrealizowano szeroki program badań laboratoryjnych określając wytrzymałość na ściskanie, ścinanie, rozciąganie i zginanie.

Badania statyczne modułów i sił przyczepności oraz kąta tarcia wykonano na specjalnych stanowiskach przygotowanych w sztolniach badawczych. Sztolnie zostały zgłębiane w rejonie osi zapory zbiornika dolnego, przy czym sztolnia 1 w lewobrzeżnym przyczółku miała długość 59,5 m, a sztolnia 2 w prawobrzeżnym przyczółku — 69,0 m. Przekrój sztolni wynosił 2,0 × 2,5 m. Komory do badań posiadały wymiary w rzucie 4,0 × 4,0 m. W sztolni 1 badania modułów przeprowadzono na dwóch stanowiskach, siły przyczepności w trzech, w sztolni 2 badania modułów



Ryc. 1. Lokalizacja sztolni badawczych: 1) sztolnia, 2) profil geofizyczno-sejsmiczny; 3) foliacja skał metamorficznych.

Fig. 1. Situation of exploratory drifts.

1 — exploratory drift, 2 — seismic profile, 3 — foliation of metamorphic rocks.

przeprowadzono na dwóch stanowiskach i siły przy-
czepności na dwóch.

Dla uzupełnienia badań statycznych i umożliwie-
nia określenia własności podłoża wzdłuż wybranych
profilów przeprowadzono badania geofizyczne — sejs-
miczne metodą refrakcyjną.

Młoty — miejscowość około 10 km na zachód od
Bystrzycy Kłodzkiej — położona jest w dolinie rzeki
Bystrzycy Lomnickiej. Zbocza doliny są nachylone
strome, a szerokość tej głęboko (250 m) wciętej do-
liny wynosi zaledwie 150 do 200 m. Rejon Młotów
obejmuje graniczną strefę między Górami Bystrzyc-
kimi i Orlickimi. W podłożu występują skały meta-
morficzne i skały osadowe — kredowe. Zgodnie z po-
glądami H. Teisseyre'a (10), J. Oberca (6), J. Fistka
i J. Gierwielanica (4), M. Dumicza (2) wiek serii
metamorficznej przyjęto za prekambryjski. Seria re-
prezentowana jest przez dwie sekwencje: suprakru-
stalną — wykształconą ogólnie jako łupki łyszczy-
kowe, oraz infrakrustalną — jako gnejsy oczkowe
i warstewkowo-oczkowe. Skały kredowe, które bu-
dują grzbietowe odcinki wzniesień, są osadami trans-
gredującego morza i reprezentowane są w rejonie
Młotów przez zlepienie podstawowe, piaskowce glau-
konitowe, gezy i piaskowce ciosowe. Utwory kredowe
wykazują łagody kąt upadu w kierunku zachodnim
i jedynie w strefach przyskokowych mają większe
kąty upadu oraz różne kierunki rozciągłości. Skały
metamorficzne wykazują foliację zachodnią lub po-
łudniowo-zachodnią, zgodną na całym badanym te-
renie. Kąty zapadania foliacji wahają się wprawdzie
w dużych granicach, ale średnio można określić je
na 20 do 35°.

Górotwór poprzecinany jest szeregiem uskoków
tworzących trzy systemy (2): przedgórnokredowy, po-
górnokredowy starszy i pogórnokredowy młodszy.
System przedgórnokredowy przecina skały metamor-
ficzne nie naruszając utworów kredowych i rozciąg-

łość uskoków jest zbliżona do równoleżnikowego. Do
systemu pogórnokredowego starszego należą uskoki
oddzielające utwory kredowe od skał metamorficz-
nych. Dyslokacje te oddzielają dwa regiony geolo-
giczne — Góry Bystrzyckie i Rów Górnej Nysy (1, 2).
Kierunki uskoków tego systemu są przeważnie po-
łudnikowe. Trzeci system — pogórnokredowy młod-
szy — przecina uskoki systemu drugiego i zaznacza
się zarówno w utworach kredowych, jak i metamor-
ficznych.

W celu określenia stopnia zniszczenia górotworu
wprowadzono wskaźnik szczelinowatości, określający
średnią ilość szczelin przypadającą na 1 m otworu.
Jest to więc odwrotność częstotliwości występowania
szczelin. Przyjęto następującą skalę spękania góro-
tworu:

bardzo słabo spękany	$W_{sz} \leq 1,0$
słabo spękany	$1,1 \leq W_{sz} \leq 3,0$
spękany	$3,1 \leq W_{sz} \leq 7,0$
silnie spękany	$7,1 \leq W_{sz} \leq 11,0$
intensywnie spękany	$11,1 \leq W_{sz}$

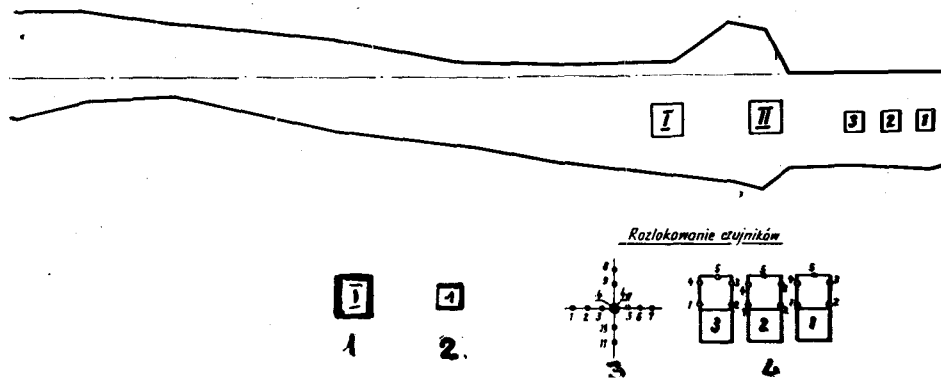
BADANIA SEJSMICZNE

W rejonie osi zapory obejmującym pas o szeroko-
ści ok. 200 m wykonano w pierwszej kolejności
badania sejsmiczne metodą refrakcyjną. Jeden profil
zbliżony do osi zapory o długości ok. 500 m miał
7 punktów strzałowych i podwójne pokrycie każdego
odcinka geofonami nieregularnie rozmieszczonymi (w
pobliżu punktów strzałowych w mniejszych odległo-
ściach, a większych w środku odcinka). Drugi profil,
równoległy do osi doliny o długości ok. 300 m i z
4 punktami strzałowymi, był zlokalizowany na praw-
ym przyczółku zapory. W ten sposób określono grubo-
ść nadkładu na 2 do 5 m (o prędkościach 600—830
m/sec) oraz grubość skał rozluźnionych (o prędko-
ściach 900—1000 m/sec) na 2 do 13 m na prawym
i ok. 7 do 17 m na lewym przyczółku. Skały podłoża
charakteryzują prędkości fali podłużnej 4000 do
4600 m/sec na lewym brzegu (łupki łyszczykowe) oraz
2400 do 2900 m/sec na prawym brzegu (łupki łyszc-
zykowe z przewagą muskowitu).

W sztolniach wydrążonych w obu brzegach do-
liny, w miejscu przyszłych przyczółków zapory, wy-
konano pomiary sejsmiczne prędkości rozchodzenia
się fal podłużnych i poprzecznych. Z pomiarów tych
wyliczono dynamiczne moduły sprężystości skał za-
legających w śpągu rozszerzonych odcinków sztolni,
w miejscach badań statycznych. Moduły te mają
następujące wartości:

Odległość punkt nadania — punkt odbioru m	Dynamiczny moduł sprężystości kG/cm ²	
	Sztolnia prawobrzeżna (2)	Sztolnia lewobrzeżna (1)
2,60	8 500	—
3,60	15 250	32 500
5,60	25 300	—
7,00	—	80 700
10,60	74 700	86 000
15,60	79 600	—
16,20	—	99 000
30,50	103 000	158 000

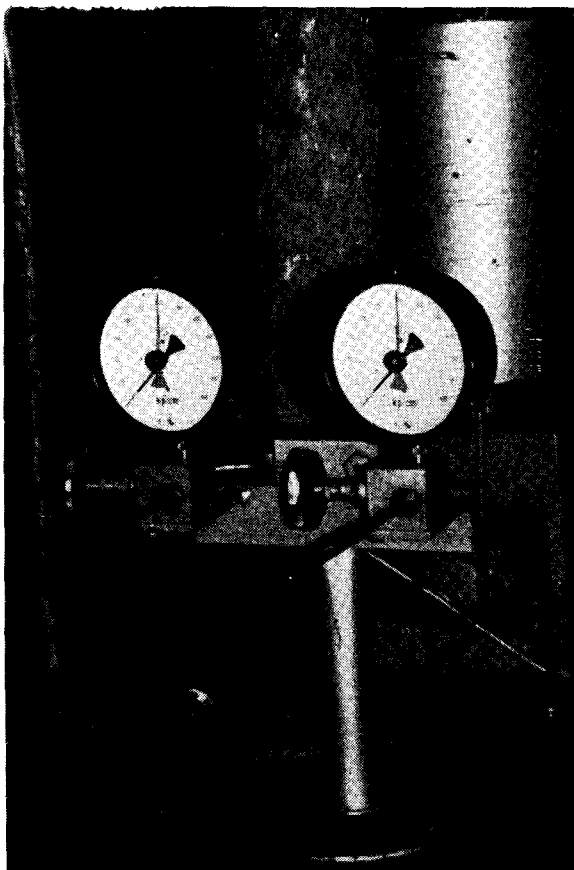
Jak z powyższego zestawienia wynika, moduł
sprężystości zależy od odległości punktu na-
dania i punktu odbioru drgań w zasięgu strefy skał
zniszczonych robotami górniczymi, jak też strefy spę-
kań wokół wyrobiska. Dla małych rozstawów — gdy
fale sprężyste rozprzestrzeniają się tylko w skałach
spękanych — wartości modułów są niższe, dla więk-



Ryc. 2. Stanowiska badawcze w sztolniach: 1) badania modułów, 2) badania kąta tarcia betonu po skałach podłoża, 3) rozmieszczenie czujników na stanowisku badania modułów, 4) rozmieszczenie czujników przy badaniu kąta tarcia.

Fig. 2. Research sites in exploratory drift.

1 — examinations of modulus, 2 — examinations of friction angle of concrete over basement rocks, 3 — distribution of strain gauges at the sites of modulus examination, 4 — distribution of strain gauges during friction angle examination.



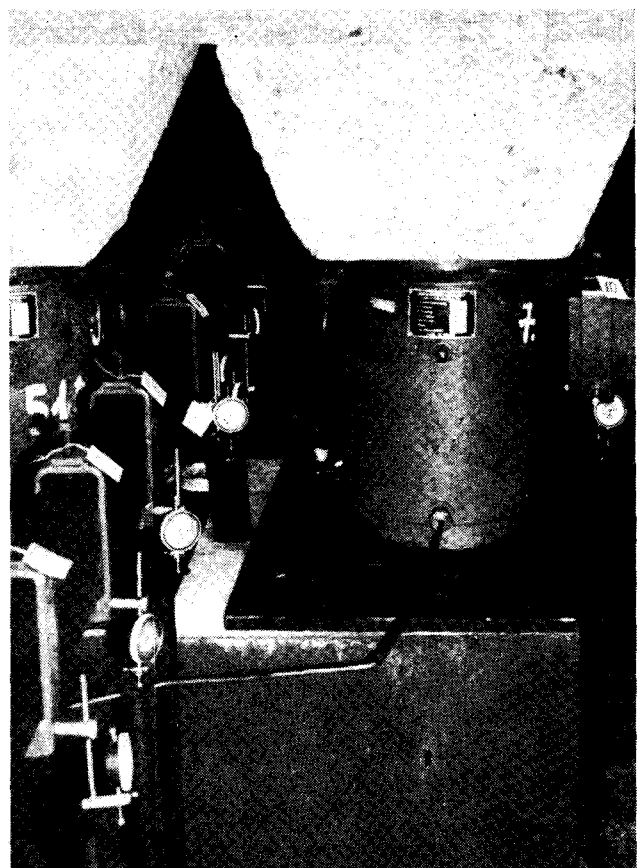
Ryc. 3. Pompa elektryczna tłocząca olej do podnośników hydraulicznych.

Fig. 3. Electric pump pressing oil to hydraulic elevators.

szych odległości — gdy fale sprężyste przechodzą w większości skałami mniej spękanymi i nieodprężonymi — dynamiczne moduły sprężystości mają większe wartości. Ponadto sztolnia lewobrzeżna wykazała wyższe wartości modułów dynamicznych niż sztolnia prawobrzeżna, wykonana w łupkach lyszczykowych z przewagą muskowitu.

BADANIA MODUŁÓW STATYCZNYCH

Badania modułów statycznych przeprowadzono w komorach wykutych w sztolniach, zlokalizowanych



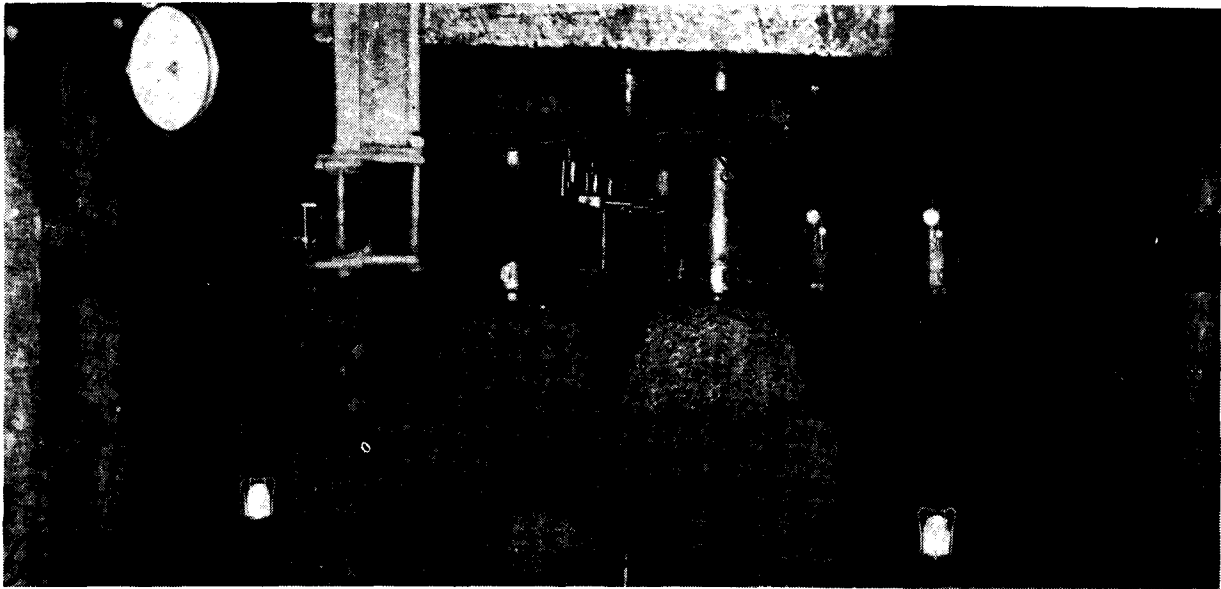
Ryc. 5. Baza pomiarowa w osi sztolni 2 wraz z czujnikami.

Fig. 5. Measurement base at the axis of drift with strain gauges.

w przyczółkach zapory. Górotwór obciążono tłoczni-kiem zupełnie sztywnym, którym był blok betonowy o $R_c = 198,6 \text{ kG/cm}^2$ i o wymiarach $110 \times 90 \times 50 \text{ cm}$, a więc o powierzchni 9900 cm^2 . Obciążenie pionowe wywierano dwiema prasami hydraulicznymi „Miś 200”, każda o maksymalnym nacisku pionowym 240 t.

W przeliczeniu na powierzchnię oddziaływania naciski wywierane przez prasę wynosiły:

przy ciśnieniu 60 t	—	5,28 kG/cm ²
120 t	—	10,60 „



Ryc. 4. Widok ogólny stanowiska badawczego modułów w sztolni 2.

Fig. 4. General view of a modulus test site in drift 2.

150 t	—	13,26	„
180 t	—	15,90	„
240 t	—	21,19	„

Prasy hydrauliczne były rozparte o strop komory wyrównany warstwą betonu za pomocą kostek granitowych i rusztu z bali dębowych. Obie prasy wywierające nacisk na blok betonowy napędzane były pompą elektryczną gwarantującą taki sam równoczesny dopływ oleju do obu pras, a więc takie same ciśnienie obu pras na powierzchnię skały.

Repery dla pomiaru osiadań skał podłoża w czasie wywierania nacisku pionowego rozmieszczono następująco: dwa w środku geometrycznym bloku betonowego — teleskopowo — jeden na głębokości 5 cm, a drugi 50 cm poniżej powierzchni obciążającej sztywnego bloku, pozostałe 10 w dwóch przekrojach prostokątnych, w odległościach 5 cm od krawędzi kostki, oraz następne w odległości 42 cm od krawędzi, a w przekroju osiowym sztolni dodatkowo w odległości 79 cm od krawędzi bloku betonowego. Obciążenie wywierane było w każdym stanowisku badawczym w dwóch seriach — w pierwszej w trzech cyklach, w drugiej w czterech cyklach:

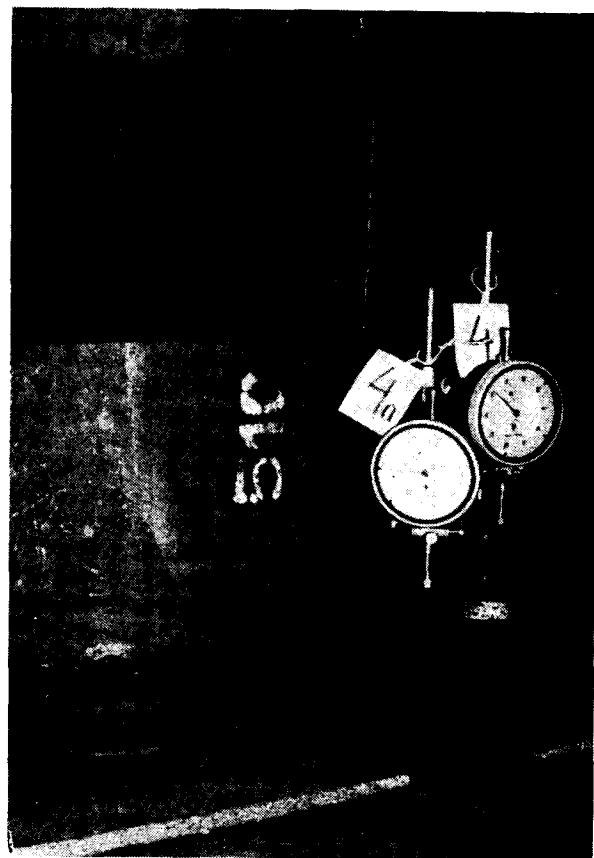
1 cykl charakteryzował się wolnym wzrostem obciążeń $0,3 \text{ kg/cm}^2/\text{min}$ z szybkim odciążeniem do ciśnienia 1 kg/cm^2 po kolejnym obciążeniu do $5,28$, $10,60$ i $15,90 \text{ kg/cm}^2$ oraz z odciążeniem do 0 po najwyższym obciążeniu do $21,19 \text{ kg/cm}^2$;

2 cykl podobny był do pierwszego z tym, że po obciążeniu $5,28 \text{ kg/cm}^2$ i odciążeniu do $0,9 \text{ kg/cm}^2$ w drugim stopniu obciążenia do $10,60 \text{ kg/cm}^2$ powtarzały się 10-krotne obciążenia i odciążenia między $10,60$ i $5,28 \text{ kg/cm}^2$, co miało dać dane dla zachowania się górotworu w trakcie szybkich wahań wody w zbiorniku;

3 cykl charakteryzował się wolnym obciążeniem i odciążeniem do $5,28 \text{ kg/cm}^2$, $10,60 \text{ kg/cm}^2$ i $15,90 \text{ kg/cm}^2$;

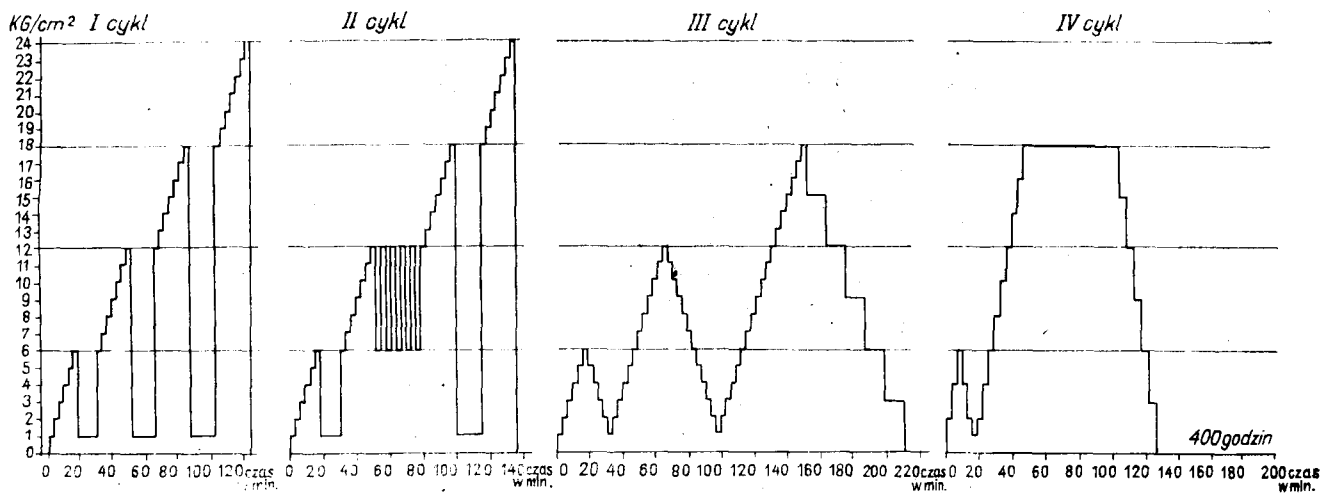
4 cykl w drugiej serii cechował wolny wzrost obciążenia do $15,90 \text{ kg/cm}^2$ i pozostawanie pod tym obciążeniem w czasie 58 godzin dla sprawdzenia pełzania badanych skał; pomiary reperów prowadzono do 14 dni po zdjęciu obciążenia.

Pomiarów osiadań dokonywano czujnikami mechanicznymi o dokładności odczytu 5 mikronów o zakresie 10 000 mikronów.



Ryc. 6. Teleskopowy reper środkowy na stanowisku badawczym w sztolni, reper 4a osadzony na głębokości 0,05 m nad powierzchnią płyty, reper 4 — 0,5 m pod podstawą płyty.

Fig. 6. Telescopic middle gauge at test site in drift; gauge 4a set at a depth of 0.05 m under the bearing plate; gauge 4 — 0.5 m under the bearing plate.



Ryc. 7. Schemat wywierania obciążeń.

Fig. 7. Scheme of loading.

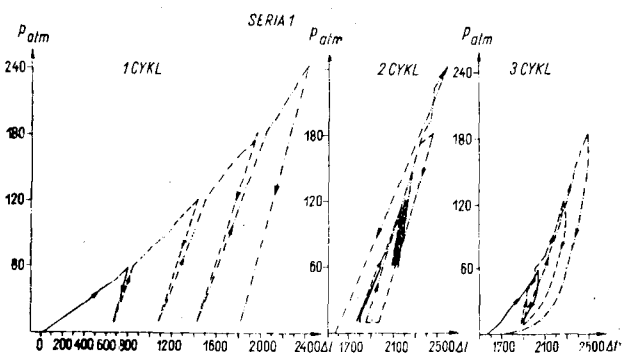
W wyniku zmieniających się obciążeń otrzymano dla każdego bloku i cyklu zmieniające się wielkości osiadań reperów, charakteryzujące sposób reagowania skał podłoża na zmienne obciążenia. Wyniki badań zestawiono w formie wykresów osiadań jako funkcji obciążenia normalnego oraz osiadań jako funkcji czasu działania przyłożonych obciążeń normalnych. Wykresy takie wykonano dla wszystkich reperów (12 sztuk) każdego punktu badawczego. Najbardziej charakterystyczne są zmiany wysokości reperów centralnych, umieszczonych na różnych głębokościach pod blokiem betonowym (reper 4a — 0,05 m i 4 — 0,5 m pod powierzchnią terenu). Repery te wykazują inny sposób osiadania górotworu jedynie w pierwszym cyklu pod najwyższym przyłożonym obciążeniem, następne cykle osiadań są do siebie podobne.

Wykresy osiadań dla obu sztolni mają ten sam charakter, różnią się jedynie wielkością odkształceń. W obu sztolniach odkształcenia trwale występują w pierwszym cyklu, a w następnych są to praktycznie odkształcenia sprężyste. Przebieg trwałego odkształcenia jest jeszcze bardziej wyraźny na wykresach w funkcji czasu. Wynika z nich, że pełne odkształcenie trwale zachodzi w miarę obciążenia w czasie 1-go cyklu pierwszej serii badań, a wszystkie następne zmiany wysokości reperów zachodzą w strefie odkształceń sprężystych niezależnie od sposobu odprężenia i czasu. Zdjęcie obciążenia po zakończeniu badań spowodowało szybkie odprężenie górotworu, ale tylko w granicach odkształceń sprężystych. Odkształcenia trwale pozostają w takiej wielkości, w jakiej wystąpiły w 1-szym cyklu.

Podstawowym celem badania osiadań skał pod wpływem obciążenia jest wyznaczenie modułów odkształceń i modułów sprężystych. Na podstawie osiadań reperów centralnych obliczono te moduły dwoma sposobami: 1) z graficznego przedstawienia osiadań w funkcji obciążeń (ϵ/σ) oraz 2) z liczbowych wartości odkształceń trwałych i sprężystych w poszczególnych cyklach badań. Moduły obliczono wzorem:

$$E = \frac{q \cdot b}{S} \cdot \omega (1 - \nu^2)$$

gdzie: E — wielkość modułu kg/cm^2 ;
 q — obciążenie jednostkowe w kg/cm^2 ;
 b — szerokość płyty obciążającej w cm ;
 S — odkształcenia podłoża skalnego w cm ;
 ω — współczynnik wpływu kształtu płyty obciążającej;
 ν — współczynnik Poissona;
 $\omega = 0,97$ (Z. Wilun, (12));
 $\nu = 0,2$ na podstawie prac sejsmicznych, stąd $(1 - \nu^2) = 0,996$, a czynnik $\omega(1 - \nu^2) = 0,966$.



Ryc. 8. Wykresy odkształceń pionowych w funkcji obciążeń, sztolnia 1, stanowisko 1.

Fig. 8. Diagrams of vertical deformations in function of load; drift 1, site 1.

Moduły odkształceń obliczono dla reperu 4a, przy przyjęciu pełnego obciążenia wywieranego przez prasę na blok betonowy, natomiast dla reperu 4 obliczono obciążenie wywierane przez blok na tej głębokości metodą punktów środkowych (12) wg wzoru:

$$\sigma_z = \eta_0 \cdot q$$

wartości współczynnika η_0 odczytano z nomogramu i stąd obciążenie na głębokości $z = 0,5$ m wynosi $0,7 \cdot \sigma$. Moduły odkształceń (E_{od}), sprężystości (E_{sp}) i styczne (E_{st}) obliczone na podstawie wykresów ϵ/σ podaje tabela I.

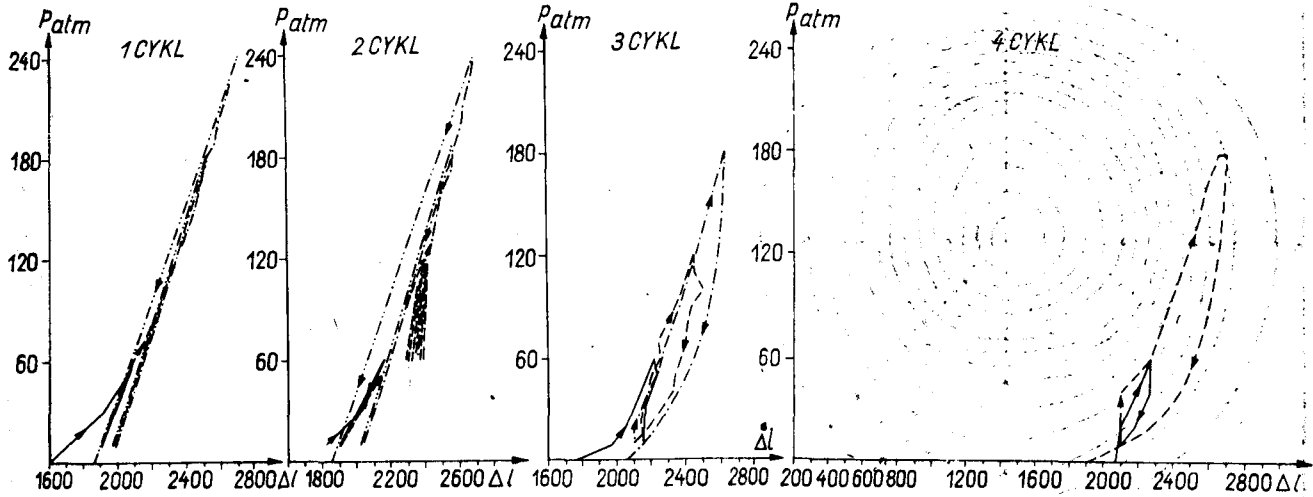
Z tabeli I wynika, że górotwór w lewym przyczółku wykazuje dwukrotnie wyższe wartości parametrów niż w prawym, co potwierdzałyby też wyniki uzyskane w czasie badań sejsmicznych. Moduły na głębokości 0,5 m p.p.t. w stosunku do 0,05 m p.p.t. wykazują też wartości prawie dwukrotnie wyższe.

Z analizy wykresu odkształceń podłoża w funkcji czasu wynika, że zmiany obciążenia wywołują niemal natychmiastowe odkształcenie skał. Trzyminutowe odstępy czasu między kolejnymi zmianami ciśnienia były we wszystkich przypadkach wystarczające na pełną reakcję górotworu.

Po odciążeniu od 15,90 kg/cm^2 do 0 w ciągu 8 minut osiągnięto praktycznie pełne odprężenie podłoża. Okres długotrwałego obciążenia podłoża w czwartym cyklu badań dowodzi, że skały podłoża zachowują się w obu sztolniach jak ośrodek doskonale sprężysty i nie wykazują tendencji peizania pod stałym obciążeniem. Pozwala to na wyciągnięcie z obecnie przeprowadzonych badań wniosku, że odkształcenia trwa-

SZTOLNIA 1-KOSTKA 1-REPER 4a

SERIA 2



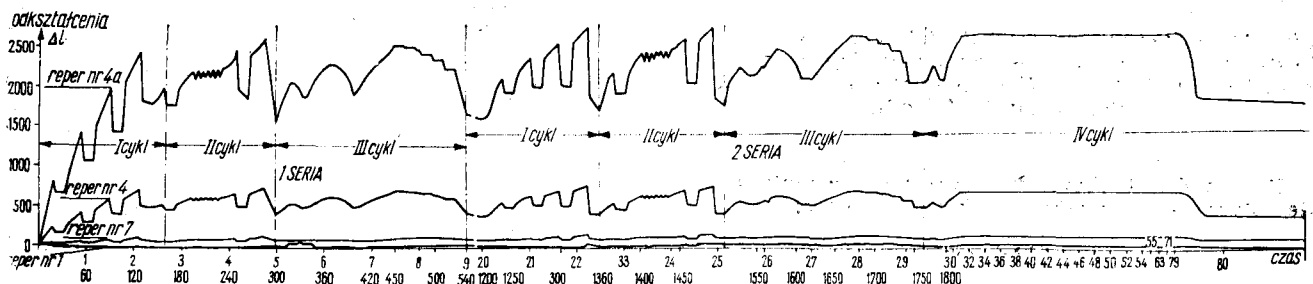
Ryc. 8.

Fig. 8.

MODUŁY ODKSZTAŁCEŃ, SPRĘŻYSTOŚCI I STYCZNE, OBLICZONE NA PODSTAWIE WYKRESÓW ϵ/σ

Tabela I

Sztolnia	Blok	Cykl/ seria	Reper 4a			Reper 4		
			moduły			moduły		
			odkształceń kG/cm ²	sprężystości kG/cm ²	styczne kG/cm ²	odkształceń kG/cm ²	sprężystości kG/cm ²	styczne kG/cm ²
1	1	I/1	7 850	20 800	29 000	19 100	48 500	63 000
		I/2	—	23 800	—	—	53 800	—
1	2	IV/2	17 700	22 700	—	43 100	53 800	—
		I/1	15 900	27 200	26 300	27 650	45 400	51 600
2	1	I/2	—	30 700	—	—	49 600	—
		IV/2	16 400	28 000	—	—	37 200	—
2	2	I/1	8 950	14 100	15 300	14 650	21 600	22 600
		I/2	—	17 300	—	—	21 100	—
		IV/2	13 000	—	—	21 200	—	—
2	2	I/1	5 200	9 000	9 300	8 120	11 800	11 000
		I/2	—	10 100	—	—	12 500	—
		IV/2	11 000	—	7 800	16 000	—	—



Ryc. 9. Wykresy osiadań reperów w funkcji czasu, sztolnia 1, stanowisko 1.

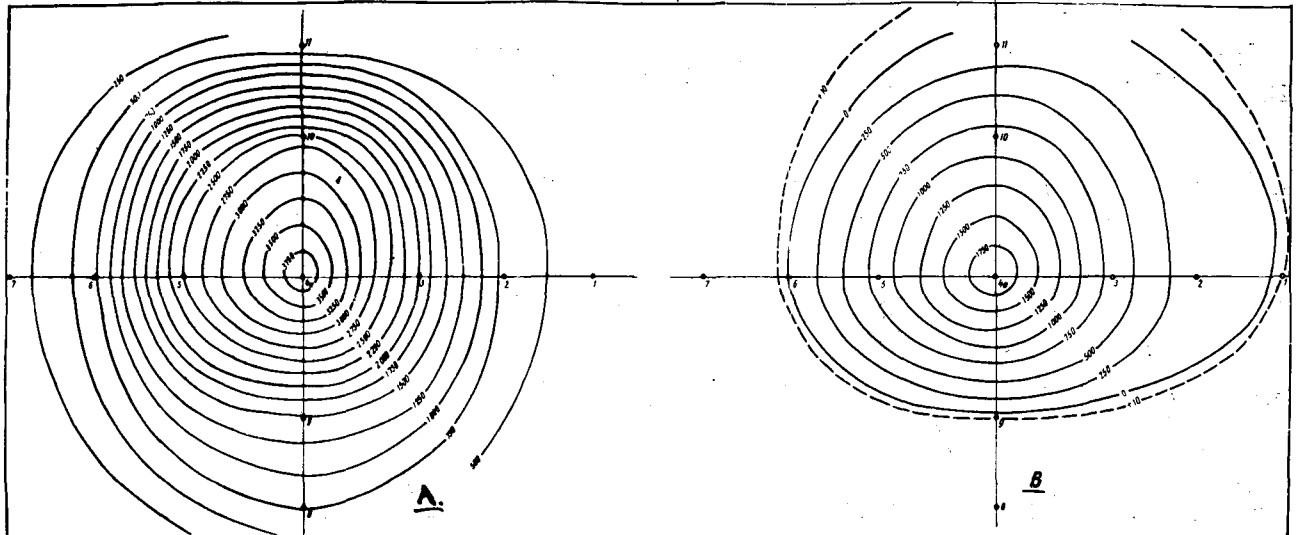
Fig. 9. Diagram of subsidence of gauges in function of time; drift 1, site 1.

le zostaną osiągnięte w czasie budowy zapory i w czasie pierwszego napełnienia zbiornika. Wszystkie następne wahania obciążeń, spowodowane różnym poziomem wody w zbiorniku, będą się odbijały jako sprężyste odkształcenia skał podłoża.

Badania sił tarcia betonu po skale prowadzono w końcowych odcinkach sztolni, zgodnie z zaleceniami K. Szechy (8) i H. Linka (5), przygotowując stanowisko przez wycięcie stopnia w skałach podłoża i umożliwienia poziomego ustawienia prasy bez konieczności nadawania jej skośnego ułożenia dla zlikwidowania składowej siły odrywającej beton od

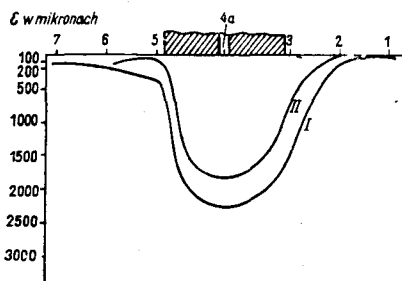
skali (9, 11). Pionową siłę wywierano na blok betonowy jedną prasą hydrauliczną („Miś 200”) i podobnie poziomą — prasą rozpartą o ościs sztolni wyrównany betonem. Wymiary bloków betonowych były następujące: 130 × 80 × 50 cm z tym, że część spójna ze skałą miała wymiar 70 × 80 cm — 5600 cm². W sztolni 1 bloki były ścinane pod naciskiem pionowym 2,70, 5,05 i 7,38 kG/cm², a w sztolni 2 pod naciskiem 2,70 i 5,05 kG/cm².

Dla wyznaczenia kąta tarcia i przyczepności posłużono się metodą wykresu σ_w/τ zastosowaną w badaniach dla Niedzicy (11).



Ryc. 10. Linie jednakowego odkształcenia podłoża w mikronach, sztolnia 2, stanowisko 2. A — przy maksymalnym obciążeniu w czasie I cyklu w I serii badań, B — po zupełnym odprężeniu górotworu po zakończeniu badań w IV cyklu w II serii badań.

Fig. 10. Lines of identical deformation of basement, in microns; drift 2, site 2. A — during maximum load, during I cycle, in the I series of tests; B — after a complete elastic recovery of rock massif after termination of tests in the IV cycle, in the II series of tests.



Ryc. 11. Wykres odkształceń pionowych pod wpływem obciążeń, sztolnia 1, stanowisko 1. I — największe odkształcenia przy obciążeniu 21,19 kG/cm², II — odkształcenia trwale po zdjęciu obciążeń.

Fig. 11. Diagram of vertical deformations due to loads; drift 1, site 1. I — maximum deformation at a load of 21.19 kG/cm², II — irreversible deformation after removal of loads.

Dla sztolni 1 (łupki łyszczykowe) równanie prostej stycznej do uzyskanych kół ma postać:

$$\tau = 3,52 + 2,14 \sigma_n$$

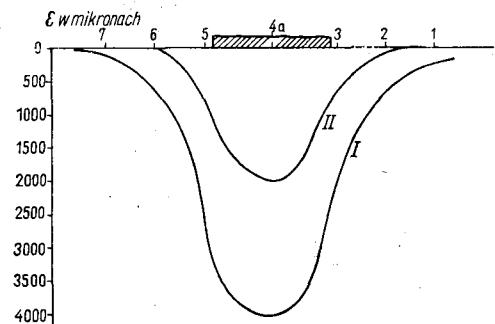
Kąt tarcia $\rho = 65^\circ$, a spójność wynosi $c = 3,52$ kG/cm².

W sztolni 2 (łupki łyszczykowe z przewagą muskowitu) prosta spełnia równanie:

$$\tau = 1,00 + 1,66 \sigma_n$$

przy czym $\rho = 59^\circ$, a $c = 1,00$ kG/cm² z tym, że ścinanie bloku nastąpiło po poziomej szczelinie w skałach podłoża.

Wartości te (zwłaszcza kąt wewnętrzny tarcia) są zawyżone, szczególnie wzięwszy pod uwagę wyniki uzyskane z badań laboratoryjnych, gdzie kąty te wynoszą: dla łupków łyszczykowych $51^\circ 30'$ (sztolnia 1), dla łupków łyszczykowych z przewagą muskowitu 43° (sztolnia 2). Badania laboratoryjne tarcia



Ryc. 12. Wykres odkształceń pionowych pod wpływem obciążeń, sztolnia 2, stanowisko 2. I — największe odkształcenia przy obciążeniu 21,19 kG/cm², II — odkształcenia trwale po zdjęciu obciążeń.

Fig. 12. Diagram of vertical deformations due to loads; drift 2, site 2. I — maximum deformation at a load of 21.19 kG/cm², II — irreversible deformation after removal of loads.

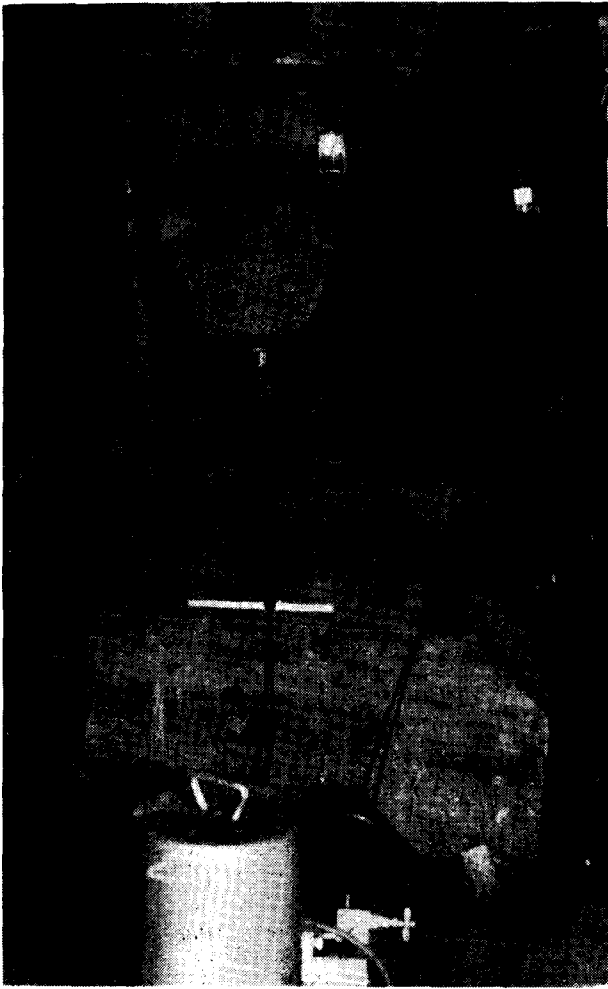
betonu po skale wykonane na aparacie do prostego ścinania dały kąt tarcia $\rho = 23^\circ 30'$. Dlatego do obliczeń stateczności zapory należy przyjąć kąt nie większy od 23° .

Badania laboratoryjne prowadzono na walcach uzyskanych przez obcięcie rdzeni na pile diamentowej z równoległością płaszczyzn 0,1 mm oraz na kostkach o bokach 6 lub 8 cm. Wykonano następujące badania:

— wytrzymałość na ściskanie z pełnym pomiarem odkształceń pionowych i poziomych w środku wysokości próbki jako wolne ściskanie;

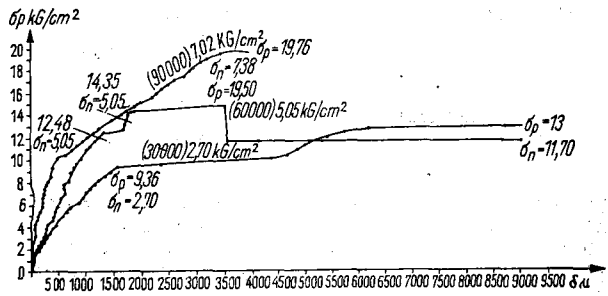
— wytrzymałość na rozrywanie — metodą ściskania walców po tworzącej (zalecanej przez Międzynarodową Normę badań mechaniki skał) oraz część prób przez bezpośrednie proste rozrywanie w maszynie wytrzymałościowej w specjalnych uchwytach;

— na podstawie otrzymanych średnich wartości wytrzymałości na ściskanie i rozrywanie graficznie wyznaczono kąt tarcia wewnętrznego i spójności, zgodnie z teorią Mohra;



Ryc. 13. Stanowisko badań kąta tarcia betonu po skałach podłoża.

Fig. 13. Site of examination of friction angle of concrete over basement rocks.



Ryc. 14. Wykres przemieszczenia reperu 5 w funkcji obciążenia siłą poziomą, sztolnia 1.

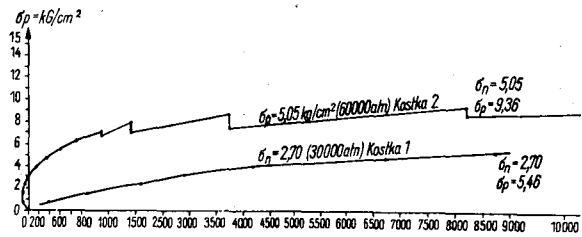
Fig. 14. Diagram of displacement of gauge 5 in function of loading with horizontal force; drift 1.

— wytrzymałość na ścinanie po foliacji w aparacie do prostego ścinania skał — dla łupków lyszczkowych z przewagą muskowitu;

— przyczepność betonu do skał przez rozrywanie rdzeni z otworów wiertniczych z dobetonowanym odcinkiem rdzenia z betonu;

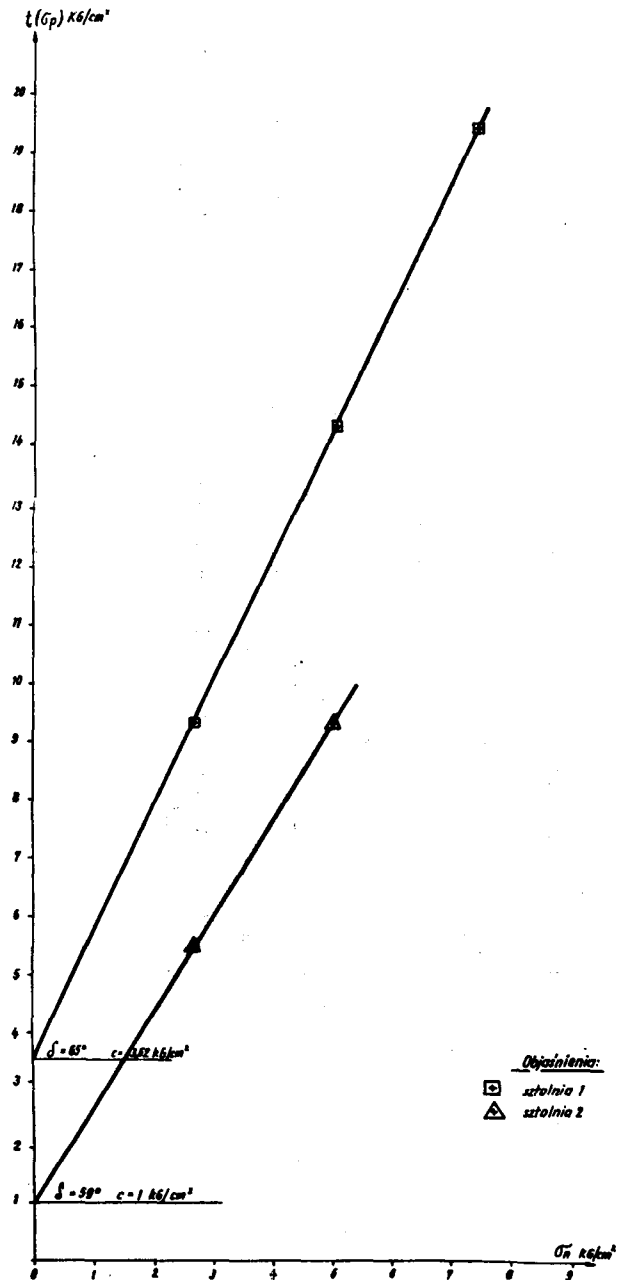
— ścinanie betonu po skał w aparacie do prostego ścinania;

— badania wytrzymałości na ściskanie i rozrywanie na walcach o wymiarach: $d = h = 50$ mm oraz



Ryc. 15. Wykres przemieszczenia reperu 5 w funkcji obciążenia siłą poziomą, sztolnia 2.

Fig. 15. Diagram of displacement of gauge 5 in function of loading with horizontal force; drift 2.



Ryc. 16. Wykresy ścinania kostek betonowych po skałach podłoża w układzie σ_n/σ_p .

Fig. 16. Diagram of shearing concrete cubes over basement rocks in the system σ_n/σ_p .

Tabela II

MAKSYMALNE, MINIMALNE I ŚREDNIE WŁASNOŚCI FIZYCZNO-MECHANICZNE SKAŁ REJONU ZAPORY MŁOTY

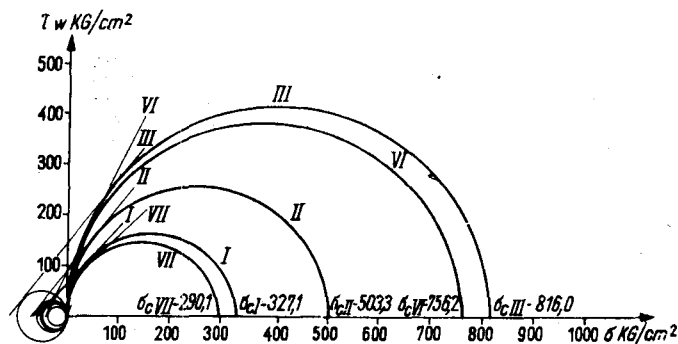
Z badań na zginanie

Typ skał	Liczba prób	Ciężar właściwy kG/cm ³	Ciężar objęty kG/cm ³	Porowatość %	R _c kG/cm ²	R _r kG/cm ²	E _{od} kG/cm ²	E _{sp} kG/cm ²	R _r kG/cm ²	E _{od} kG/cm ²	E _{sp} kG/cm ²
Łupki łyszczykowe w strefie intensywnego zwietrzenia	47	2,73—2,58	2,71—2,50	7,4—0,37	695,0—117,0	115,2—17,4	43100—5480	53300—2980	—	—	—
		2,70	2,65	2,25	327,0	49,6	15159	22165	—	197000—	435000—
Łupki łyszczykowe	61	2,74—2,59	2,72—2,56	5,84—0,0	1485—212,3	159,1—28,7	32900—3320	67000—1760	183,0—106,0	52000	174000
		2,69	2,65	1,69	503,3	61,9	15095	25840	131,0	110000	270000
Łupki łyszczykowe z przewagą muskowitu	33	2,77—2,62	2,72—2,58	4,50—0,33	649,3—114,1	107,6—31,7	28169—8820	83158—1000	—	—	—
		2,73	2,67	2,16	290,1	52,6	16220	25100	—	—	—

Tabela III

KĄTY TARCIA WEWNĘTRZNEGO I SPOJNOŚCI SKAŁ

Typ skał	ρ	c kG/cm ²	Równanie prostej τ
Łupki łyszczykowe w strefie intensywnego zwietrzenia	47°	63	63—1,07 σ _n
	51° 30'	87	87—1,26 σ _n
Łupki łyszczykowe z przewagą muskowitu	43°	61	61—0,93 σ _n



Ryc. 17. Charakterystyka średnich właściwości fizyczno-mechanicznych poszczególnych petrograficznych odmian skał. I — łupki łyszczykowe w strefie zwietrzenia, II — łupki łyszczykowe, III — gnejsy, VI — gazy, VII — łupki łyszczykowe z przewagą muskowitu.

Fig. 17. Characteristics of mean physical and mechanical properties of the individual petrographical varieties of rocks. I — mica schists in weathering zone, II — mica schists, III — gneisses, VI — gneisses, VII — mica schist with predominance of muscovite.

I $\rho = 47^\circ$
c = 63 kG/cm²

VII $\rho = 43^\circ$
c = 61 kG/cm²

II $\rho = 51^\circ 30'$
c = 87 kG/cm²

VI $\rho = 64^\circ$
c = 80 kG/cm²

III $\rho = 51^\circ$
c = 140 kG/cm²

$\sigma_{rIII} = 99,8$ „

$\sigma_{rI} = 49,6$ kG/cm²
 $\sigma_{rII} = 61,9$ „

$\sigma_{rVI} = 37,3$ „

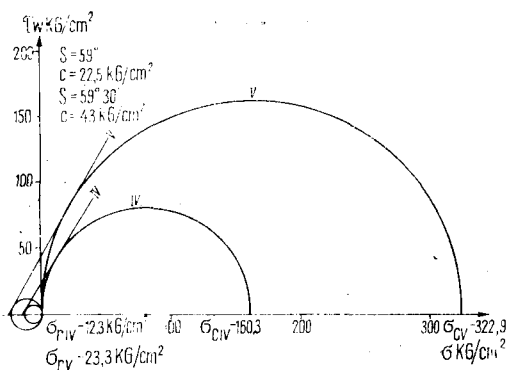
$\sigma_{rVII} = 52,6$ „

wytrzymałości na zginanie na beleczkach o wymiarach 20 × 50 mm i odległości między podporami l = 200 mm; próbki do badań wykonano z monolitów łupków łyszczykowych pobranych przy drażeniu sztolni lewobrzeżnej.

Uzyskane wyniki wytrzymałości na ściskanie i rozrywanie oraz moduły odkształceń i sprężystości zestawiono w tabelach II i III. Wynika z nich, że łupki łyszczykowe z przewagą muskowitu mają własności niższe od łupków łyszczykowych zalegających w podłożu lewego przyczółka zapory.

Dla 30 próbek łupków łyszczykowych z przewagą muskowitu wykonano badania wytrzymałości na ściskanie w aparacie do prostego ścinania. Otrzymano średnią wartość kąta wewnętrznego tarcia 42° i spójności 28,3 kG/cm². Wielkość kąta jest identyczna z uzyskaną z konstrukcji graficznej (tabela III), natomiast spójność jest niższa.

Dla 51 próbek wykonano badania przyczepności cementu (3) do skał łupkowych. 17 spośród nich wykazało średnią wartość wytrzymałości na rozrywanie



Ryc. 18. Charakterystyka średnich własności fizyczno-mechanicznych poszczególnych petrograficznych odmian skał. IV — piaskowce ciosowe w strefie zwietrzenia, V — piaskowce ciosowe.

Fig. 18. Characteristics of mean physical and mechanical properties of the individual petrographical varieties of rocks. IV — joint sandstones in weathering zone, V — joint sandstones.



Ryc. 20. Zniszczona beleczka.

Fig. 20. A destroyed bar.

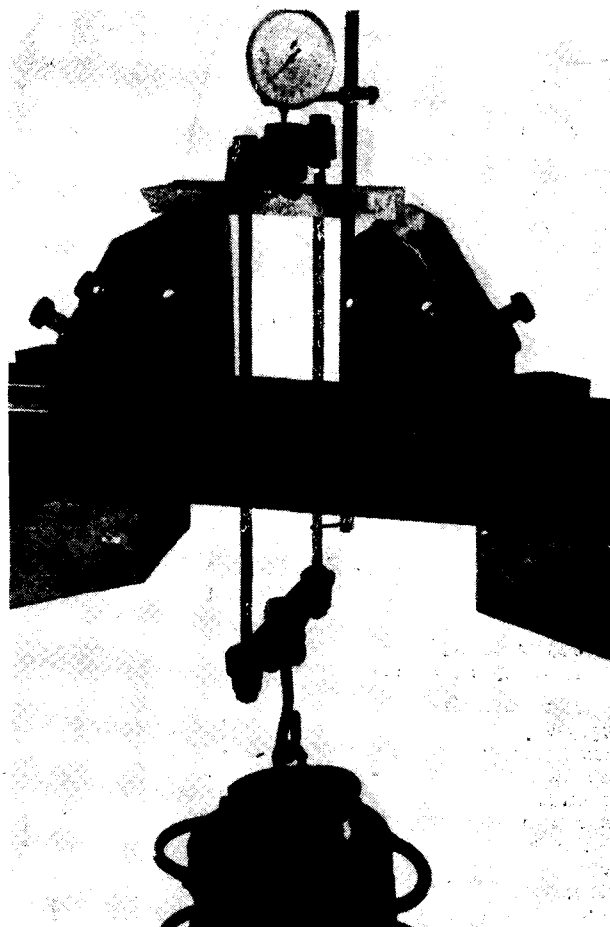
po kontakcie skała/cement 8,80 kG/cm². Pozostałe próbki (34 sztuki) zostały rozerwane po foliacji, a nie po kontakcie skała/cement i te wykazały średnią wytrzymałość na rozrywanie 6,30 kG/cm².

Dla sprawdzenia wielkości kąta tarcia betonu po skale wykonano serię badań ścinania prostego. Przygotowano próbki z rdzeni wiertniczych rozdzielonych po foliacji i zabetonowanych następnie w kostki betonowe o wymiarach 80 × 80 × 50 mm. Po 28 dniach dojrzewania betonu w wodzie ścięto je seriami pod różnymi kątami nachylenia płaszczyzny ścinania, a to: 75°, 60° i 45°. Z graficznego zestawienia uzyskanych wartości otrzymano krzywoliniową obwiednię punktów ścięcia. Styczna do obwiedni wyznacza kąt tarcia betonu po skale: $\varrho = 23^{\circ}30'$ oraz spójności 34 kG/cm². Wartość spójności wydaje się być zawyżona, prawdopodobnie ze względów technicznych — przygotowania próbek rdzeni w betonowych objemkach w kształcie kwadratu.

Wnioski wynikające z wykonanych badań wskazują na celowość prowadzenia kompleksowych prac, a więc dużej ilości badań laboratoryjnych dla określenia średniej wartości własności mechanicznych skał na drodze statystycznej oraz punktowych badań statycznych w wybranych miejscach terenu dla określenia własności górotworu. Taki sposób postępowania należy uznać za optymalny ze względu na ekonomikę prac badawczych, czas wykonywanych badań oraz optymalizację uzyskanych wyników badań.

LITERATURA

1. Donowie B. i J. — Geneza rowu Nysy na tle badań wykonanych w okolicach Idzikowa. Acta geol. pol., 1960, t. 10, nr 1.



Ryc. 19. Badanie na zginanie beleczek wyciętych z monolitu łupka łyszczykowego.

Fig. 19. Test for bending of bars cut out of a monolite of mica schist.

2. Dumicz M. — Budowa geologiczna krystaliniku Gór Bystrzyckich. Geol. sudet., 1960, t. 10, nr 1.

3. Dziewański J. — Próba cementacja przesyłony przeciwfiltracyjnej zapory Myczkowce na Sanie. Geotech. i Hydrogeol., 1962, nr 2a.

4. Fistek J., Gierwielanec J. — Objaśnienia do mapy geologicznej Sudetów, arkusz Nowa Bystrzyca. 1961.

5. Link H. — The sliding stability of dams. Water Power, Marz, April, May.

6. Oberc J. — Podział geologiczny Sudetów. Pr. Inst. Geol., 1960, t. 30, cz. 2.

7. Rosa S. A. — Soprotiwlenie skalnych parod osnowania gidrotiechnicznych sooruzenija sdwigajuszczemu usiliu, 1952. Moskwa.

8. Szechy K. — The art of tunneling, 1966. Akademiai Kiado — Budapest.

9. Talobre J. — La mecanique des roches. Ed. Dunod, 1967. Paris.

10. Teisseyre H. — Budowa geologiczna okolic Międzygórze. Przew. XXX Zjazdu PTG w Ziemi Kłodzkiej, 1957. Wrocław.

11. Thiel K. — Metodyka określenia własności fizyko-mechanicznych podłoża skalnego przy projektowaniu zapór wodnych. Prace IOMB, 1968. Warszawa.

12. Wiłun Z. — Mechanika gruntów i gruntoznawstwo drogowe. 1969.

13. Międzynarodowa Norma Badań Mechaniki Skał.