

## ANALIZA POMIARÓW NAPRĘŻEŃ NATURALNYCH I MODUŁÓW SPRĘŻYSTOŚCI W PODŁOŻU PROJEKTOWANEJ ZAPORY W NIEDZICY

UKD 624.131.524+539.32+624.131.54:624.131.253+624.131.223:627.8(438.31-202 Niedzica)

Aby określić warunki posadowienia zapory niezbędna jest m.in. znajomość nośności (odkształcalności) podłoża, którą wyraża się w postaci modułu sprężystości i odkształcenia. Jeżeli zachodzi przypuszczenie, iż w masywie skalnym panują wysokie naprężenia naturalne (wskutek np. sprężenia tektonicznego) celowe jest również określenie tych wielkości. Mogą mieć one bowiem wpływ na zmianę wielkości modułów podłoża z powodu powstania dodatkowych spękań w masywie skalnym, po wykonaniu dołu fundamentowego.

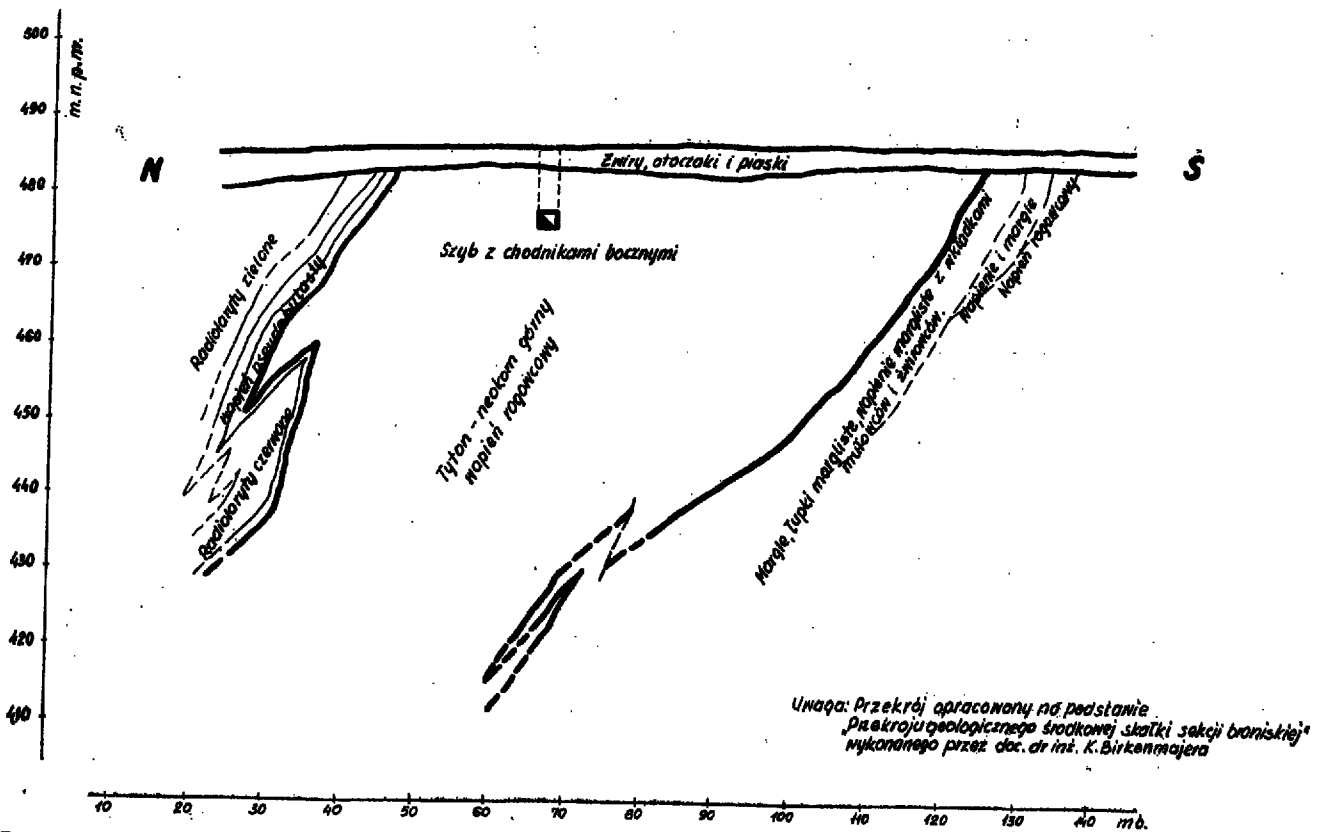
Obie te charakterystyki (moduły i naprężenia naturalne) mogą być określone stosunkowo szybko i tanio na próbkach w laboratorium. Różnice w wymiarach próbek i fundamentu zapory oraz odmienność warunków, w jakich się one znajdują w czasie badania (w porównaniu z naturalnymi warunkami masywu skalnego) powodują, że własności skał wynikające z badań laboratoryjnych odbiegają znacznie od rzeczywiście własności masywu, bezpośrednio interesujących projektanta zapory.

W związku z tym obserwuje się ostatnio wyraźną tendencję określania tych charakterystyk poprzez badania polowe tzw. *in situ* (2), z tym że badania laboratoryjne mają charakter uzupełniający. W szczególności służą one do określenia własności fizycznych skał (ciężar objętościowy i właściwy, porowatość itp.) oraz pewnych funkcyjnych zależności własności mechanicznych, np. wpływu stopnia nasycenia wodą skały na jej wytrzymałość, modułu itp.

Takie też założenia przyjęto w badaniach geologiczno-inżynierskich realizowanych dla projektowanej zapory w Niedzicy. Całość tych badań prowadzona była przez Przedsiębiorstwo Geologiczno-Inżynierskie Budownictwa Wodnego „HYDROGEO”, Oddział w Krakowie, początkowo pod kierunkiem mgr inż. W. Jawańskiego, a następnie mgr inż. R. Łukaszaka. Badania polowe dotyczące określenia naprężeń naturalnych oraz modułów podłoża wykonane zostały pod kierunkiem autora przez Instytut Organizacji i Mechanizacji Budownictwa w Warszawie, przy ścisłej współpracy i udziale pracowników „HYDROGEO”. Projekt aparatury dla tych badań opracował „METROPROJEKT” w Warszawie (gen. projektant mgr inż. J. Köhler).

### CHARAKTERYSTYKA BUDOWY GEOLOGICZNEJ REJONU ZAPORY

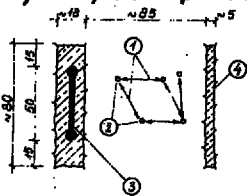
Zapora ma być posadowiona w zespole skał wapiennych tworzących ciągi o stosunkowo dużej szerokości masyw położony po przeciwnej stronie Dunajca. Od strony północnej przylegają do niego radio-laryty, a od południowej margle i łupki margliste (ryc. 1). Wapienie, często z rogowcami, zbudowane są z ławic, o średniej grubości 8 cm. Każda ławica oddzielona jest od drugiej cienką (około 1 mm) warstewką łupku. Wapienie tworzą pasmo o stromym upadzie 70–90° na stokach i 45–70° w dnie doliny, w obu przypadkach w kierunku północnym. Można w nich wyodrębnić kilka systemów podzielności skał:



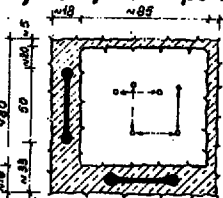
Ryc. 1. Przekrój geologiczny w dnie doliny Dunajca. Skala 1:1000.

Fig. 1. Geological section through the Dunajec River valley.

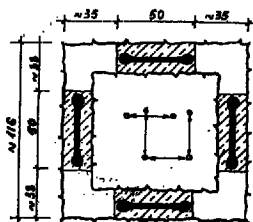
Przy użyciu 1 poduszki



Przy użyciu 2 poduszek



Przy użyciu 4 poduszek



Ryc. 2. Schematy przywracania naprężeń.

1 — kierunki pomiarów, 2 — repery pomiarowe, 3 — poduszka  $\phi$  500 mm, 4 — bruzda odprężająca.

Fig. 2. Schemes of stress restoring.

1 — directions of measurements, 2 — measurement datum points, 3 — cushion, 500 mm in diameter, 4 — elastic recovery furrow.

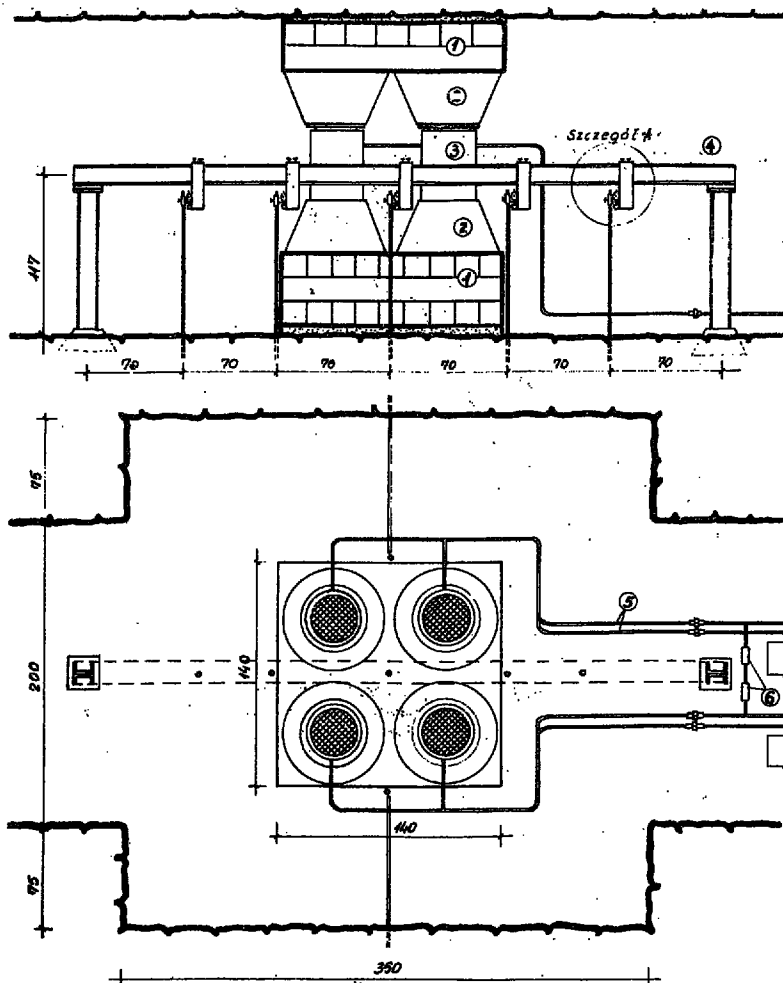
- płaszczyny uwarstwienia, oddzielność pierwotna spowodowana zmianami w osadzeniu sedymentu;
- płaszczyny kłwiważu, oddzielność pochodzenia tektonicznego spowodowana kompresją;
- uskoki i inne płaszczyny, spowodowane kompresją lub tensją.

W konsekwencji dzielą one masyw na kostki lub bloki, których wielkość uwarunkowana jest gęstością szczelin. Dla płaszczyn uwarunkowana jest gęstością szczelin związana jest z miąższością ławic i dla całego zespołu wynosi średnio 8 szczelin na metr, a dla płaszczyn kłwiważu 3—8. Powierzchniowy wskaźnik podzielnosci (kp) wynosi 3—12‰, średnio 7‰ z tym że 2‰ szczelin wypełnionych jest łupkiem, 4‰ kalcytem, a 1‰ pozostaje bez wypełnienia.

Rejon pienięskiego pasa skałkowego, w którym posadowiona ma być projektowana zapora, w swej historii, ulegał kilkakrotnym ruchom fałdowym (1). Główny kierunek nacisków górotwórczych przebiegał z południa na północ (przy ruchach wstecznych odwrotnie). W wyniku tych ruchów rejon Pieniń uległ pionowym elewacjom oraz silnemu sprężeniu. Istnieje pogląd, że naprężenia wewnętrzne powstałe skutkiem ruchów fałdowych nie zostały dotąd w pełni zrelaksowane.

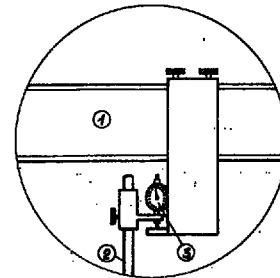
METODYKA BADAŃ

Badania prowadzone były w starych i nowych odcinkach sztolni lewo i prawobrzeżnej oraz w nowych chodnikach z szybu w dnie doliny Dunajca. Przy drażnieniu sztolni stosowano metryki strzałowe uwzględniające konieczność maksymalnego ograniczenia ujemnego wpływu tych robót na cechy fizyko-mechaniczne masywu skalnego (4). W tym celu zmniejszono głębokość zabierki do 0,8 m, stosowano dużą ilość otworów strzałowych (co najmniej 15 na przekroju 1,50 × 1,80 m) oraz małe ładunki materiałów wybuchowych (100—300 g), wreszcie prowadzono odstrzały w poszczególnych grupach otworów w odstępach milisekundowych. Po wydrażeniu sztolni, w miejscach przewidzianych dla przeprowadzenia ba-



- ① Ruszt drewniany 140 × 140 cm.
- ② Bloki granitowe  $\phi 70/40$ ,  $h = 35$  cm
- ③ Podnośniki hydrauliczne „MIS” 200 T.
- ④ Baza pomiarowa 2 C NP 160,  $L = 4,40$  m.
- ⑤ Przewody olejowe ciśnieniowe
- ⑥ Manometry hydrauliczne 600 atm.
- ⑦ Pompki hydrauliczne ręczne

Szczegół A



- ① Baza pomiarowa; ② Reper pomiarowy
- ③ Czujnik  $\frac{1}{1000}$  mm.

Ryc. 3. Schemat urządzenia dla badania modułu sprężystości podłoża.

Fig. 3. Scheme of a unit for examination of subsoil elasticity modulus.

dań, wykonywano odpowiednie poszerzenia przy użyciu małych ładunków materiałów wybuchowych oraz młotów pneumatycznych.

#### Naprężenia naturalne

Badanie polega na odprężeniu skały (pierwsza faza), a następnie przywróceniu panujących w niej naprężeń naturalnych (druga faza). W pierwszej fazie osadza się repery i dokonuje ścisłego pomiaru ich rozstawu (około 30 cm) przy użyciu mechanicznego tensometru przykładanego. Następnie wykonuje się dwie (w kierunku pionowym) lub cztery (po dwie w kierunku pionowym oraz poziomym) bruzdy odprężające i dokonuje się ponownego pomiaru rozstawu reperów. Różnica odczytów (przed i po wycięciu bruzd) daje wielkość odkształceń powstałych w wyniku odprężenia skały. Znając jej moduł sprężystości można wstępnie obliczyć wielkość naprężeń naturalnych ze wzoru  $\delta = E \cdot \epsilon$ .

W drugiej fazie badania w bruzdach odprężających osadza się poduszki ciśnieniowe typu Freyssinet (ryc. 2) i wywiera nimi nacisk na obcięty blok skalny tak długo, dopóki repery nie powrócą do swojego pierwotnego położenia. Wielkość tego nacisku stanowi podstawę do określenia naprężeń naturalnych w maszywie skalnym.

#### Moduł sprężystości i odkształcenia

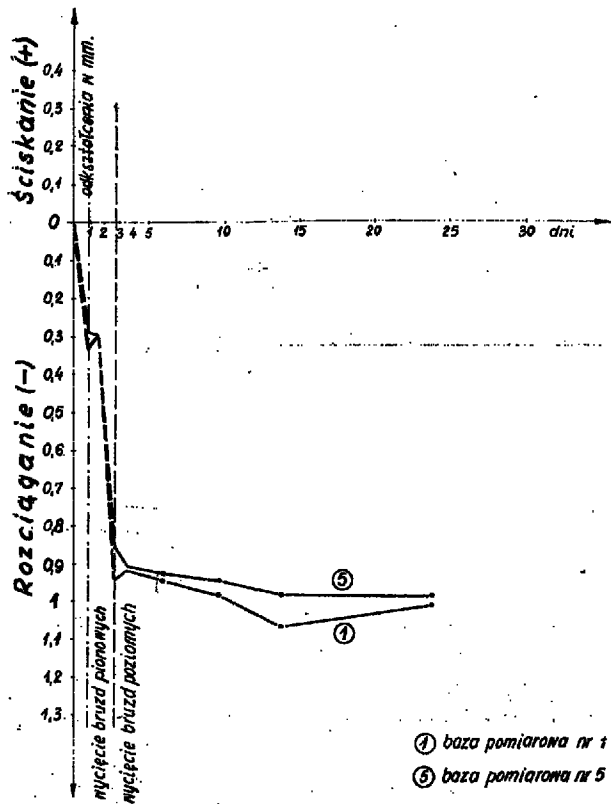
Badanie polega na obciążeniu masywu skalnego i pomiarze wielkości odkształceń w spągu sztolni

(ryc. 3). Powierzchnia obciążenia wynosi  $1,96$  m<sup>2</sup> ( $140 \times 140$  cm); na kilku stanowiskach przeprowadzono również dodatkowe badania na  $\frac{1}{4}$  ich powierzchni, tzn.  $0,49$  m<sup>2</sup> ( $70 \times 70$  cm). Na każdym stanowisku badawczym wykonywano szereg cykli obciążeń i odciążań — krótkotrwałych i długotrwałych (do 5 dni). Maksymalne obciążenie nie przekraczało na ogół  $25$  kG/cm<sup>2</sup>, czyli 2,5 raza założonego najwyższego ciśnienia ( $10$  kG/cm<sup>2</sup>) wywieranego przez korpus projektowanej zapory.

Wielkość modułów obliczano na podstawie wzoru Boussinesqua przyjmującego badany ośrodek na półprzestrzeń sprężystą, jednorodną. Moduł odkształcenia ( $E_0$ ) określano na podstawie odkształceń mierzonych przy wzroście obciążeń na skałę, natomiast moduł sprężystości ( $E_s$ ) na podstawie ich zmniejszania się (powrotu) przy odciążaniu skały (3).

#### ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Ogólna ilość stanowisk badawczych dla określenia naprężeń naturalnych wyniosła 15, a dla modułów 10. Przy lokalizacji stanowisk badawczych dla naprężeń naturalnych w szczególności kierowano się dążeniem do otrzymania przestrzennego rozkładu tych naprężeń w ramach badanego rejonu posadowienia zapory. Badania modułów były w ten sposób sytuowane, by mimo ich punktowego charakteru wyniki z nich otrzymane mogły być uogólnione na rejon zapory. W tym celu odcinki sztolni podzielone zostały na wyodrębniające się pod względem litologicznym strefy i w zasadzie w każdej z nich przeprowadzono jedno badanie (5).



① baza pomiarowa nr 1  
② baza pomiarowa nr 2

#### Naprężenia naturalne w masywie skalnym

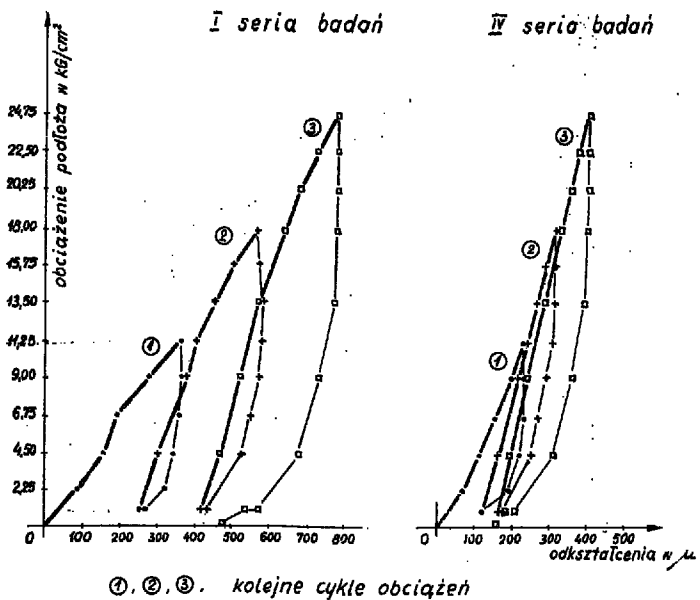
Badania związane z odprężeniem skały (pierwsza faza) wykazały, że w przypadku wykonania samych bruzd pionowych, odkształcenia rozciągające wahają się w granicach od 100–700 mikronów na 1 m, a ich stabilizacja następuje po upływie około 3 dni. Po wykonaniu bruzd poziomych odkształcenia te wzrastają 2–6 razy (średnio 3), a okres ich stabilizacji wynosi około 7 dni (ryc. 4). Ten znaczny przyrost odkształceń jak i dłuższy okres stabilizacji może wynikać z dwóch przyczyn.

Po pierwsze blok skalny, oddzielony od reszty masywu tylko na dwóch bokach, ma ograniczoną zdolność odprężenia się, gdyż przytrzymywany jest na dwóch pozostałych. Potwierdziły to zresztą badania wykonane na dwóch stanowiskach, gdzie wydłużono bruzdy odprężające i stwierdzono wzrost odkształceń o około 50%. Po drugie w bloku obciążonym z czterech stron mogą powstawać wewnętrzne przemieszczenia, np. poślizgi na kontakcie wapień — łupek, których wielkość może przewyższać odkształcenia związane z odprężeniem się skały.

Przy przywracaniu naprężeń naturalnych (druga faza) w większości przypadków uzyskano powrót reperów do ich pierwotnego położenia, a w niektórych tylko częściowo. Obliczone w wyniku przeprowadzonych pomiarów naprężenia naturalne są znacznie niższe od przewidywanych i wahają się w granicach 10–90 kG/cm<sup>2</sup>.

Należy zaznaczyć, że badania prowadzone były w odciosach sztolni, a więc w strefie częściowo już odprężonej wskutek robót strzałowych. Ponadto samo wykonanie sztolni powoduje wzrost naprężeń dokoła wyrobiska, które w pewnym stopniu mogą się równoważyć z odprężeniem powstałym wskutek prowadzenia robót strzałowych.

Mimo stosunkowo ograniczonej ilości stanowisk badawczych rozkład przestrzenny pomierzonych naprężeń wydaje się być logiczny i zgodny z morfologią terenu. Najwyższe naprężenia obserwuje się w sztolni lewobrzeżnej dolnej (wyższe wartości bliżej kontaktu wapieni z marglami), niższe w sztolni pra-



①, ②, ③. kolejne cykle obciążeń  
Ryc. 5. Wykres obciążenia — odkształcenia. Stanowisko M-2 (wapień).  
Fig. 5. Loading — strain diagram, Site M-2 (limestone).

Ryc. 4. Przebieg odkształceń odprężających (po wycięciu bruzd pionowych i poziomych). Stanowisko nr 5.  
Fig. 4. Course of stabilization strains (after cutting vertical and horizontal furrows). Site No 5.

wobrzeżnej i w chodnikach z szybu w dnie doliny oraz równe zeru w sztolni lewobrzeżnej górnej, gdzie niewątpliwie musiała nastąpić ich całkowita relaksacja. Potwierdziło się również założenie, iż główne sprężenie górotworu ma miejsce w kierunku N—S.

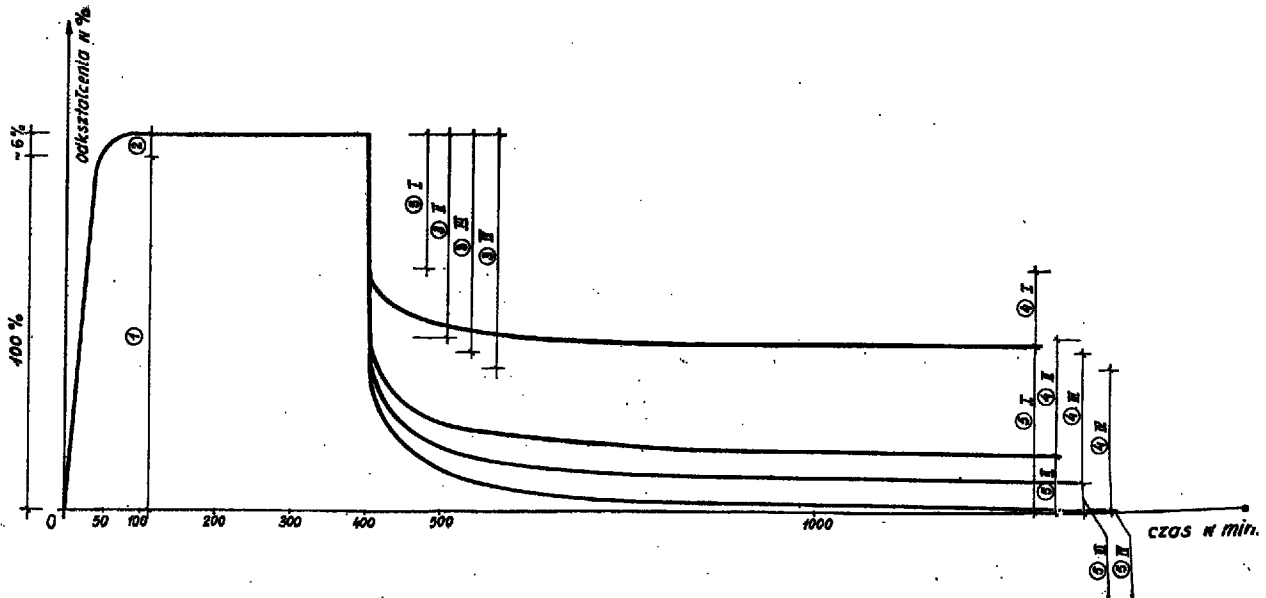
#### Moduły sprężystości i odkształcenia

Wyniki pomiarów dla każdego cyklu obciążenia i odciążenia masywu skalnego przedstawiono na wykresach  $\sigma-s$  (gdzie  $\sigma$  i  $s$  oznaczają odpowiednio wielkość obciążenia i odkształcenia masywu). Wykresy te pozwalają na określenie zachowania się masywu w różnych warunkach obciążenia, ponadto służą one do obliczenia modułu odkształcenia ( $E_0$ ) i sprężystości ( $E_s$ ).

Analiza wykresów wskazuje, że obciążenie skały wywołuje powstawanie odkształceń odwracalnych i nieodwracalnych. Odkształcenia odwracalne są dwójakie: natychmiastowe (sprężyste) i opóźnione (lepkosprężyste). Odkształcenia nieodwracalne związane są z wyrównywaniem się nierówności na powierzchni obciążenia oraz wzajemnym zaciskaniem się szczelin w masywie. Pierwsze z tych zjawisk wyraża się w znacznie większych odkształceniach podłoża obserwowanych przy niskich obciążeniach w każdym pierwszym cyklu, drugie natomiast w mniejszych odkształceniach (przy tych samych obciążeniach) w kolejno następujących seriach cykli obciążeń (por. IV i I serie badań ryc. 5).

Wydłużenie czasu obciążenia skały (do 5 dni) nie powoduje dużego przyrostu odkształceń (kilkanaście procent), a ich stabilizacja następuje już po około 24 godzinach. Należy jednak zaznaczyć, że badania prowadzone były przy kierunku działania obciążenia zbliżonym do równoległego w stosunku do upadu ławic, stąd rola łupków mogących być głównym źródłem tych odkształceń była ograniczona.

Odkształcenia nieodwracalne maleją w sposób zasadniczy w miarę kolejno wykonywanych cykli obciążeń (45, 16, 9 i 1% odpowiednio w I, II, III i IV serii badań; ryc. 6).



Ryc. 6. Przebieg odkształceń przy obciążeniu i odciążeniu skały.

1 — odkształcenia sprężyste natychmiastowe oraz częściowo nieodwracalne, 2 — odkształcenia sprężyste opóźnione, 3 — odkształcenia sprężyste natychmiastowe, 4 — odkształcenia sprężyste opóźnione, 5 — odkształcenia nieodwracalne.

Całość tych obserwacji pozwala stwierdzić, iż badany maszyn skalny zachowuje się jak ośrodek lepko-sprężysty.

Moduły sprężystości ( $E_s$ ) i odkształcenia ( $E_o$ ) zostały obliczone dla wszystkich cykli badań; za miarodajne przyjęto najniższe wartości modułów z II i IV serii badań. Spośród ośmiu modułów dla wapieni pięć posiada bardzo zbliżone wartości 38 600—45 500  $\text{kg/cm}^2$ , (średnio 41 600  $\text{kg/cm}^2$ ), pozostałe trzy są wyższe (67 000, 94 000 i 160 000  $\text{kg/cm}^2$ ). Zbliżone wartości do tych ostatnich posiadają również wapień zbrekcowany (89 000  $\text{kg/cm}^2$ ) i margle (82 000  $\text{kg/cm}^2$ ).

Na wielkość modułu wapieni w szczególności wpływają grubość ławic, ich kąt upadu oraz wskaźnik podzielnosci skały ( $k_p$ ). Stosunkowo ograniczona ilość stanowisk badawczych oraz wzajemna współzależność tych trzech parametrów nie pozwala na ścisłe funkcyjne określenie zależności każdego z nich. Tym niemniej otrzymane wyniki badań wskazują, iż moduł jest tym wyższy im grubsze są ławice wapieni (grubość łupku jest na ogół jednakowa), większy kąt upadu oraz niższy wskaźnik  $k_p$ .

Stosunek modułu sprężystości do odkształcenia ( $E_s/E_o$ ) wynosi w I, II i IV serii badań odpowiednio 3,18, 2,24 i 2,06. Zmniejszanie się wartości tego stosunku wiąże się niewątpliwie ze wzmiankowanym już uprzednio procesem zaciskania się szczelin w miarę kolejno wykonywanych cykli obciążenia i odciążenia (por. ryc. 5).

Warto wreszcie nadmienić, iż moduły przy małej powierzchni obciążenia ( $0,49 \text{ m}^2$ ) są o połowę mniejsze niż przy dużej powierzchni ( $1,96 \text{ m}^2$ ). Wiąże się to z okolicznością, że w pierwszym przypadku obciążenia przekazywane na skałę rozchodzą się na mniejszą głębokość i moduły te odpowiadają prawdopodobnie strefie skały silniej naruszonej robotami strzałowymi. Moduł określony przy większej powierzchni obciążenia dotyczy natomiast będzie zarówno tej strefy, jak i niżej położonych skał, pozostających już być może poza zasięgiem ujemnego wpływu robót strzałowych.

#### Porównanie modułu sprężystości, statycznych i dynamicznych

Badania modułów statycznych, mimo iż przeprowadzone zostały na stosunkowo dużych powierzch-

Fig. 6. Character of strains during loading and discharge of rock.

1 — instantaneous elastic, and partly irreversible strains, 2 — delayed elastic strains, 3 — instantaneous elastic strains, 4 — delayed elastic strains, 5 — irreversible strains.

niach ( $1,96 \text{ m}^2$ ), posiadają jednak charakter „punktowy”. W celu lepszego określenia rozkładu wielkości modułów w całym rejonie posadowienia zapory przeprowadzone zostały również badania sejsmiczno-inżynierskie, pozwalające na wyznaczenie modułów sprężystości dynamicznych na dużych obszarach, w sposób szybki i mało kosztowny. Na podstawie wyników tych badań można wykreślić mapę modułów dynamicznych (w postaci izolinii), a znając stosunek  $E_d/E_s$  (modułu dynamicznego do statycznego) może być ona zarazem obrazem przestrzennego rozkładu modułów statycznych danego obszaru.

Badania sejsmiczno-inżynierskie wykonane przez Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych w Warszawie (pod kierunkiem mgr H. Linowskiego) przeprowadzone zostały trzema następującymi metodami: powierzchniowe profilowanie refrakcyjne, profilowanie otworowe, pomiary w sztolniach za pomocą fal bezpośrednich (prostych). Wyniki tych ostatnich posłużyły do określenia wielkości stosunku  $E_d/E_s$ .

Stosunek  $E_d/E_s$  w sztolniach waha się od 3,78 do 8,25 (średnio 5,6); jest on tym wyższy im bardziej spękany jest maszyn. Wartość tego stosunku może więc jednocześnie służyć jako wskaźnik stopnia spękania maszyn skalnego.

#### UWAGI KOŃCOWE

W świetle przeprowadzonych badań wysunąć można wnioski zarówno w odniesieniu do samej metodyki badań, jak i uzyskanych charakterystyk maszyn skalnego.

#### W zakresie metodyki badań

1. Odczuwa się brak jednolitej metodyki wykonywania takich badań oraz sposobu interpretacji otrzymywanych wyników pomiarów, co utrudnia (czasami wręcz uniemożliwia) ich porównywanie z wynikami innych badań.

2. Prowadzenie badań w mienaruszonym maszynie skalnym jest bardzo ważnym zagadnieniem. Warunek ten może być na ogół dotrzymany jedynie w przypadku wykonywania takich badań w wywierconym uprzednio otworze o odpowiednich średnicach. Aparatura, jak i technika wyznaczania własności maszyn w tych warunkach nie jest jednak jeszcze właści-

ciwie opracowana. Jeśli badania wykonywane są w sztolniach, to technika robót strzałowych związanych z ich drażeniem musi być tak opracowana, by w jak najmniejszym stopniu wpływała na zmianę własności masywu dookoła wyrobiska.

3. Przy określaniu naprężeń naturalnych właściwsze wydaje się odprężanie skały za pomocą dwu bruzd (lub jednej, wówczas repery pomiarowe znajdują się po jej obu stronach) niż 4; w celu uniezależnienia się od wpływu robót strzałowych oraz „pierścienia ciśnienia” powstającego wskutek wykonania sztolni, właściwsze byłoby przeprowadzenie pomiarów naprężeń w otworach wierconych z powierzchni terenu bądź z wewnątrz sztolni.

4. Powierzchnia obciążenia (około 2,0 m<sup>2</sup>) przy badaniach modułów wydaje się zupełnie wystarczająca; jej zwiększenie (im większa tym lepsza) spowodowałoby jednocześnie konieczność ograniczenia ilości badań, co byłoby niekorzystne. Celowe byłoby przeprowadzenie badań również w kierunku prostopadym do ukławicenia. W tym przypadku jednak ze względu na duży ciężar podnośników hydraulicznych (ok. 300 kg) właściwsze byłoby wywieranie obciążeń na masyw płaskimi lekkimi poduszkami ciśnieniowymi.

#### W zakresie charakterystyk masywu skalnego

5. Stopień sprężenia masywu skalnego w obrębie badanego rejonu posadowienia zapory jest stosunkowo nieduży; naprężenia naturalne w nim panujące wahają się w granicach 10–90 kG/cm<sup>2</sup>, a ich główny kierunek jest N–S.

6. Masyw skalny zachowuje się jak ośrodek lepko-sprężysty. Mimo stosunkowo dużego jego zróżnicowania pod względem litologicznym moduły statyczne masywu skalnego są stosunkowo zbliżone. Średni moduł sprężystości kompleksu wapieni przy grubości ławic około 8 cm wynosi 41 000 kG/cm<sup>2</sup>, natomiast moduł odkształcenia jest 2,2 razy niższy. Przy grubszych ławicach wapieni moduł jest znacznie wyższy (do 100 000 kG/cm<sup>2</sup>, skrajnie 160 000 kG/cm<sup>2</sup>). Wapień zbrekczowany oraz margle charakteryzują się stosunkowo wysokimi modułami, wynoszącymi odpowiednio 80 000 i 82 000 kG/cm<sup>2</sup>.

#### SUMMARY

The article is a description of the methods of the researches made to examine the natural stresses that appear in the subsoil rocks of the dam projected at Niedzica, as well as to investigate their elasticity and deformation modulus, as well as the results obtained during the study.

The degree of rock massif stresses is relatively low; the natural stresses range from 10 to 90 kG/cm<sup>2</sup>; their main direction being N-S.

Despite the high lithological differentiation, the static modulus of the main limestone complex are fairly similar. The average modulus of elasticity in this complex amounts to 41,000 kG/cm<sup>2</sup>, whereas the deformation modulus is twofold lower. The brecciated limestones and marls (at the left bridge-head) are characterized by a relatively high modulus of elasticity that amount to 80,000 kG/cm<sup>2</sup>, the deformation modulus being also twofold lower. The relations between the elasticity modulus, i.e. dynamic and static modulus, amount, in power tunnel, to 3.78–8.25 (5.6 on the average). The more cracked the rock massif, the higher the relation here.

In addition, the author gives a criticized estimation of the research methods that have for the first time been applied in the country.

#### LITERATURA

1. Birkenmajer K. — Przewodnik geologiczny po pienińskim pasie skałkowym. Cz. I. Szkic geologiczny pasa skałkowego. Wyd. Geol., Warszawa, 1958.
2. Hüchel S. — Wymagania konstrukcji budownictwa wodnego w stosunku do środowiska geologicznego. IV Krajowy Zjazd Górniczy. Sekcja VII, Geologia inżynierska w gospodarce narodowej. Wrocław, 1965.
3. Mazenot P. — Interpretation de nombreuses mesures de déformations exécutées sur massifs rocheux par E.D.F. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux, (Publics nr 206, 1965.
4. Müller L. — Beeinflussung der Gebirgsfestigkeit durch Sprengarbeiten. XIV Kolloquium der Österreichischen Regionalgruppe der Internationalen Gesellschaft für Felsmechanik. Springer-Verlag Wien; New-York, 1964.
5. Thiel K. — Badania własności fizycznych i mechanicznych skał podłoża zapory Niedzica. Opracowanie Inst. Organ. i Mech. Bud. (na prawach rękopisu). Warszawa, 1966.

#### РЕЗЮМЕ

В статье приводятся описания методов определения естественных нагрузок в породах основания проектируемой плотины в Недзиче, их модулей упругости и деформации. Приводятся данные проведенных работ.

Степень упругости пород относительно небольшая. Естественные нагрузки колеблются в пределах 10–90 кГ/см<sup>2</sup>, основное направление нагрузок С–Ю.

Несмотря на большое литологическое разнообразие, статические модули основного известнякового комплекса сходны. Средний модуль упругости этого комплекса составляет 41 000 кГ/см<sup>2</sup>, а модуль деформации в два раза меньше. Брекчированные известняки и мергели (на левом берегу) характеризуются относительно высокими модулями упругости, порядка 80 000 кГ/см<sup>2</sup>, причем модули деформации также в два раза меньше. Отношения динамических и статических модулей упругости в штольнях составляют 3,78–8,25 (в среднем 5,6). Это отношение тем больше, чем более трещиноваты породы.

В заключении дана критическая оценка методов, применявшихся в нашей стране впервые в этом объеме.