

ANALIZA POMIARÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH NA ŚCINANIE W PODŁOŻU PROJEKTOWANEJ ZAPORY W NIEDZICY

UKD 624.131.439.5:624.131.2:552.541/.542+552.511+552.503+691.32+627.80(436.312 Niedzica)

Wytrzymałość na ścinanie podłoża projektowanej zapory jest drugą podstawową charakterystyką obok odkształcalności (6), której znajomość jest niezbędna przy określaniu warunków posadowienia tego rodzaju budowli wodnej. Zapobieganie w celu uniknięcia niebezpieczeństwa poślizgu zapory stanowi jedno z głównych zadań projektanta, stąd musi on posiadać możliwie najdokładniejsze dane co do wytrzymałości na ścinanie na tych płaszczyznach, które mogą ku temu wykazywać szczególne predyspozycje. Przebiegać one mogą na kontakcie beton—skała, w samej skale lub po płaszczyznach uskoków.

Wytrzymałość na ścinanie zależna jest przede wszystkim od spójności skały, a także wielkości współczynnika tarcia występującego w powierzchni nieciągłości (2, 3). Na spójność wpływa szczególnie (poza budową mineralogiczną) stopień podzielności (spękania) masywu. Współczynnik tarcia natomiast uzależniony jest m. in. od stopnia nasycenia wodą masywu (1).

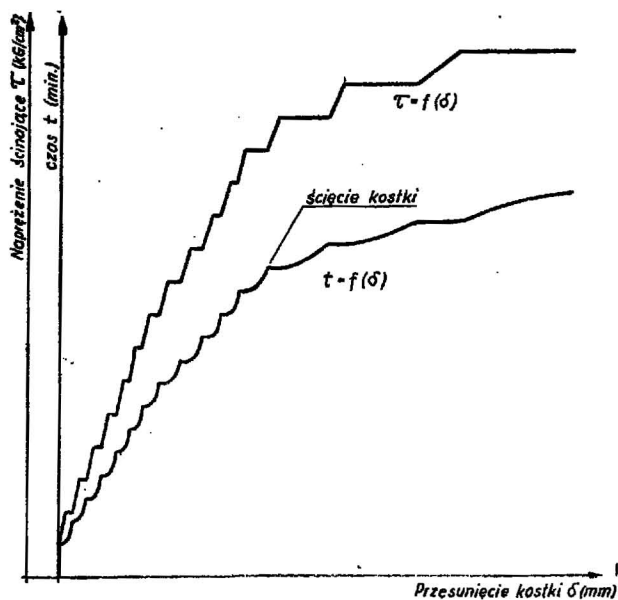
Określenie wytrzymałości na ścinanie powinno się odbywać za pomocą badań polowych. Postulat ten musi być spełniony zwłaszcza, gdy podłożę zapory stanowi masyw złożony ze skał niejednorodnych, uławiconych i silnie spękanych. W tym przypadku bowiem pobranie próbek do badań laboratoryjnych, które by właściwie reprezentowały masyw skalny jest praktycznie rzecz biorąc niemożliwe. Próbkę taką mogą jedynie służyć do określenia wytrzymałości na ścinanie litej substancji skalnej, która na ogół może być wysoka, lecz w żadnym stopniu nie odzwierciedla rzeczywistej wytrzymałości masywu jako całości.

Artykuł niniejszy podaje analizę przeprowadzonych pomiarów wytrzymałości na ścinanie w podłożu projektowanej zapory w Niedzicy. Pomiary te wykonane zostały w wapieniach, brekcji wapiennej oraz na kontakcie beton—wapień. Badania zrealizowano pod kierunkiem autora przez Instytut Organizacji i Mechanizacji Budownictwa przy ścisłej współpracy i udziale pracowników HYDROGEO. Projekt aparatury dla tych badań opracował „METROPROJEKT” w Warszawie (gen. projektant mgr inż. J. Köhler). Wchodzi one w skład badań geologiczno-inżynierskich do projektu wstępnego zapory w Niedzicy Przedsiębiorstwa Geologiczno-Inżynierskiego Budownictwa Wodnego „HYDROGEO”, Oddział w Krakowie, wykonywanych początkowo pod kierunkiem mgr inż. W. Jawańskiego, a następnie mgr inż. R. Łukaszka.

CHARAKTERYSTYKA BUDOWY GEOLOGICZNEJ REJONU ZAPORY

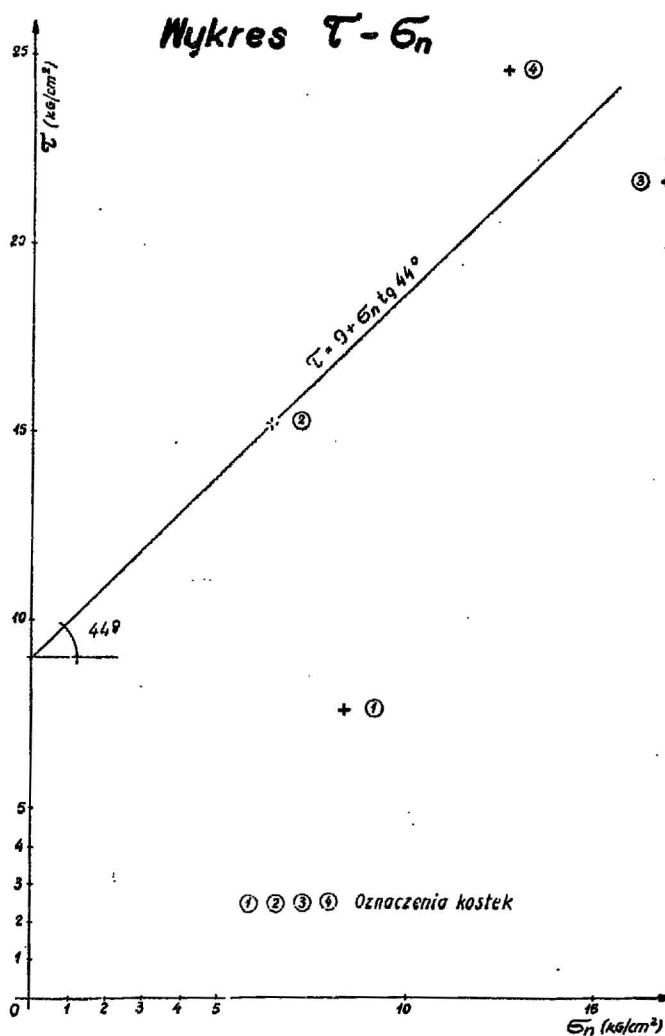
Zapora ma być posadowiona w zespole skał wapiennych tworzących ciągi, o stosunkowo dużej szerokości (zmniejszającej się znacznie na prawym przyczółku) masyw położony poprzecznie do biegu Dunajca. Od strony północnej przylegają do niego radiolaryty, a od południa margle i łupki margliste (ryc. 1).

Wapienie, często z rogowcami, zbudowane są z ławic, których grubość wynosi średnio 8 cm. Każda ławica wapieni oddzielona jest od drugiej cienką,



Ryc. 3. Schematyczny przebieg procesu ścinania kostki.

Fig. 3. Scheme of shearing process of a block.



Ryc. 4. Wykres $\tau-\sigma_n$.
Fig. 4. Diagram $\tau-\sigma_n$.

grubości ok. 1 mm, warstwą łupku. Wapienie tworzą pasmo o stromym upadzie 70–90° na stokach i 45–70° w dnie doliny, w obu przypadkach w kierunku na północ.

Można w nich wyodrębnić 3 główne systemy podzielnosci skał: płaszczyzny uwarstwienia, płaszczyzny kłiważu oraz uskoki. Powierzchniowy wskaźnik podzielnosci (kp) wynosi 3–12‰, średnio 7‰, z tym że: 2‰ szczelin wypełnionych jest łupkiem, 4‰ — kalcylem, a 1‰ szczelin pozostaje niewypełnionych.

W ramach kompleksu wapieni, a szczególnie w strefach kontaktowych z marglami i łupkami marglistymi oraz radiolarytami, obserwuje się utwory o odmiennych cechach litologicznych, powstałych wskutek silnego naruszenia tektonicznego, zwane brekcjami. Utwory te charakteryzują się bardzo zmiennymi upadami i grubościami ławic, wysokim stopniem spękania oraz obecnością licznych uskoków, ścięć i innych płaszczyzn (diaklaz).

METODYKA BADAŃ

Badania wytrzymałości na ścinanie wapieni oraz na kontakcie beton—wapień przeprowadzono odpowiednio w lewym i prawym chodniku z szybu, w dnie doliny Dunajca. Chodniki te znajdują się poniżej dna rzeki (stąd masyw skalny jest maksymalnie nasycony wodą) oraz na rzędnej przyszłego posadzenia zapory. Wytrzymałość na ścinanie brekcji wapiennej określona została w sztolni prawobrzeżnej w strefie kontaktowej wapieni z marglami i łupkami marglistymi. Jest ona położona kilka metrów powyżej dna rzeki, stopień nasycenia wodą masywu w tym rejonie był jednak stosunkowo wysoki.

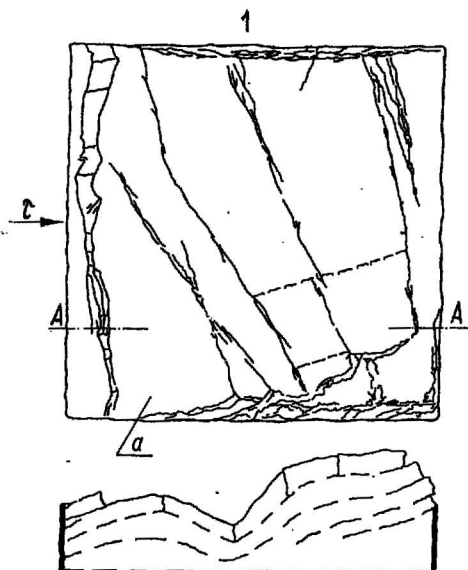
Roboty górnicze związane z przygotowaniem poszczególnych stanowisk badawczych wykonywane były w dwóch etapach. W pierwszym drażono sztolnie o zwykłych wymiarach (ok. 1,50 × 1,80 m) przy zastosowaniu metryki strzałowej uwzględniającej konieczność maksymalnego ograniczenia ujemnego wpływu tych robót na cechy fizyko-mechaniczne masywu (5, 6). W drugim etapie wykonywano odpowiednie pogłębienia i poszerzenia przy użyciu młotów pneumatycznych (w celu nienaruszenia masywu skalnego).

Wytrzymałość na ścinanie określana była na kostkach o wymiarach w rzucie 100 × 100 cm i wysokości 50 cm. Kostki te poddawano najpierw obciążeniu pionowemu aż do uzyskania założonego σ_n , a potem stopniowemu naciskowi bocznemu aż do jej ścięcia. Następnie kostki podnoszono w celu sprofilowania płaszczyzny, a ściślej mówiąc strefy ścięcia. W wapieniach i brekcji wapiennej ścinane kostki otoczone były opaską żelbetową (4); przy ścinaniu na kontakcie beton—wapień kostki (o identycznych wymiarach) wykonano z betonu o składzie projektowanym dla przyszłej zapory i ułożono na dobrze oczyszczonej skale w spągu.

Naciski pionowe wywierane były za pomocą jednego podnośnika hydraulicznego (typ Miś 200 T), poziome zaś dwoma (w niektórych przypadkach jednym) podnośnikami tego samego typu (ryc. 2). Przesunięcia poziome kostki mierzono dwoma czujnikami umieszczonymi po przeciwnej stronie przyłożenia siły ścinającej.

Schematyczny przebieg procesu ścinania kostki przedstawiony jest na ryc. 3. Przy założonym nacisku pionowym (σ_n) zwiększano stopniowo wielkość siły ścinającej. Po każdym jej zwiększeniu czekali na stabilizację przesunięcia się kostki (ok. 15 min.) i dopiero wówczas znów ją podnoszono. Ponieważ okresy tej stabilizacji nie były identyczne, wykres $\tau = f(\delta)$ nie pozwalał na określenie w sposób możliwie ścisły momentu ścięcia kostki. Znacznie właściwiej można to było uczynić z wykresu $t = f(\delta)$.

Na każdym stanowisku badawczym ścinano cztery kostki przy różnych naciskach pionowych (σ_n), tak by móc otrzymać wykres $\tau-\sigma_n$ pozwalający na określenie wielkości spójności i kąta tarcia wewnętrzznego.



Ryc. 5. Profile geologiczne kostek po ścięciu (widok płaszczyzn ścięcia).

Kostka 1: a — na powierzchni występuje powłoka łupków marglistych o grubości 1–3 mm. Kostka 2: a — na powierzchni występuje powłoka łupków marglistych rozłazowanych. Pod kostkami oba przekroje A–A.

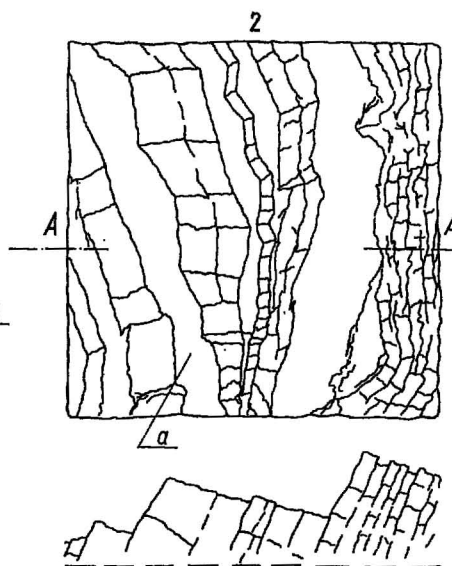


Fig. 5. Geological cross section of blocks after shearing process (view of shearing plane).

Block 1: a — on the surface is seen a cover of marly shales, 1–3 mm in thickness. Block 2: a — on the surface is seen a cover of marly shales in slackened state. Under the blocks are two cross sections A–A.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki badań w wapieniach ilustruje ryc. 4. Na uwagę zasługuje znacznie niższa wytrzymałość na ścinanie kostki nr 1 w stosunku do trzech pozostałych. Wiąże się to z okolicznością, że kostka ta znalazła się w zespole wapieni o małym kącie upadu wynoszącym ok. 30° (dla pozostałych kąt ten wynosił ok. 70°) i ścięta została po warstwie łupków (ryc. 5, kostka 1).

Wyniki ścinania na kontakcie beton—wapień wskazują, że przyczepność betonu do skały jest dobra. Uzyskane wytrzymałości na ścinanie są stosunkowo wysokie, rosną one ze zwiększaniem się nacisku pionowego (σ_n). Przy najniższym σ_n (6,65 kG/cm²) ścięcie kostki nastąpiło w betonie, przy wartościach pośrednich (ok. 11–12 kG/cm²) na kontakcie betonu ze skałą, a przy najwyższym (17 kG/cm²) w samych wapieniach.

Wytrzymałość na ścinanie w brekcji wapiennej jest znacznie niższa. Ilustruje to wymownie zestawienie, w którym uwidoczniono dla porównania również wyniki badań w wapieniach i na kontakcie beton—wapień.

Rodzaj ścinania	Spójność kG/cm ²	Kąt tarcia wewnętrznego stopień	Napężenie ścinające w kG/cm ² przy $\sigma_n = 10$ kG/cm ²
w brekcji wapiennej	4,8	36	11,5
w wapieniach	9,0	44	19,0
na kontakcie beton-wapień	12,0	36	19,0

Trzeba zaznaczyć, że jedna z kostek w brekcji wapiennej została ścięta przy znacznie niższym napężeniu ($\tau = 4,0$ kG/cm² przy $\sigma_n = 7,2$ kG/cm²) niż trzy pozostałe. Po jej podniesieniu okazało się, że

przez kostkę tę przebiegał kontakt (pionowo w stosunku do płaszczyzny ścinającej) i złożona ona była w 60% z margli i łupków marglistych oraz w 40% z brekcji wapiennej.

UWAGI KOŃCOWE

W świetle przeprowadzonych badań można stwierdzić, że wytrzymałość na ścinanie w wapieniach przy ich stromym upadzie ławic ($\geq 70^\circ$) jest stosunkowo dobra (19 kG/cm² przy $\sigma_n = 10$ kG/cm²). Przy bardziej poziomym nachyleniu ławic (ok. 30°), a więc, gdy płaszczyzna ścięcia przebiega po warstwie łupków jest ona co najmniej dwukrotnie niższa. Warto jednakże zaznaczyć, że w kompleksie wapieni przeważa stromy upad ławic, a skupienia o małym upadzie są nieliczne i powierzchniowo nieduże.

Przyczepność betonu do wapieni jest również stosunkowo dobra. Wytrzymałość na ścinanie kształtuje się podobnie jak w wapieniach.

Znacznie niższe (2–3-krotne) i bardziej zróżnicowane wytrzymałości obserwuje się w brekcji wapiennej. Zależą one zwłaszcza od wykształcenia litologicznego tego ośrodka, głównie grubości i kąta upadu ławic wapieni. Warto nadmienić, że w wyniku niskich wytrzymałości na ścinanie (stwierdzonych w brekcji wapiennej), podjęto decyzję odsunięcia projektowanej osi zapory na prawym przycożku od strefy kontaktowej z marglami w stronę kontaktu z radiolarytami.

LITERATURA

- Balcerski W. — Mechanika skał w obradach VIII. Kongresu Wielkich Zapór w Edynburgu. Gosp. Wodna 1965, nr 3.
- Borowicka H. — Cechy wytrzymałości skał i gruntów. Arch. Hydrotechniki 1964, tom XI, z. 2.
- Hückel S. — Wymagania konstrukcji budownictwa wodnego w stosunku do środowiska geologicznego. IV Krajowy Zjazd Górniczy. Sekcja VII. Geologia inżynierska w gospodarce narodowej. Wrocław 1965.

4. Rocha M. — Mechanical behaviour of rock foundations in concrete dams. Huitième Congrès International des Grands Barrages. Edinburgh 1964, vol. I. Q 28 R 44.
5. Thiel K. — Badania własności fizycznych i mechanicznych skał podłoża zapory Niedzica. Opra-

- cowanie Instytutu Organizacji i Mechanizacji Budownictwa (na prawach rękopisu). Warszawa 1966.
6. Thiel K. — Analiza pomiarów naprężeń naturalnych i modułów sprężystości w podłożu projektowanej zapory w Niedzicy. Prz. geol. 1968, nr 10.

SUMMARY

The article gives the results of the shearing strength measurements made in the basement of a projected dam at Niedzica. The measurements were made on limestones, limestone breccia and at the contact of concrete and limestone.

It may be ascertained in the light of the examinations considered that the shearing strength of the limestones, considering their steep dip amounting to $\geq 70^\circ$, is relatively good, whereas at places, where the dip amounts to about 30° , the strength is two-fold lower, at least. Adherence of concrete to limestone is also relatively well. Considerably lower (2—3 times) and more diversified shearing strength may be observed in the limestone breccia. As a result of the low values of shearing strength in the limestone breccia, a decision has been made to shift the projected axis of the dam from the contact zone with marls as far as the contact with radiolarites.

РЕЗЮМЕ

В статье проводится анализ определений устойчивости на сдвиг, выполненных на породах основания проектируемой плотины в Недзице. Замерам подвергались известняки, известковая брекчия и контакт бетон-известняк.

Исследования показали, что известняки характеризуются высокой устойчивостью на сдвиг при падении слоев под углом более 70° . При падении под углом около 30° устойчивость по крайней мере в два раза меньше. Связь бетона с известняком также сравнительно хорошая. Значительно ниже (в 2—3 раза) устойчивостью характеризуется известковая брекчия, в связи с чем было принято решение о перемещении оси проектируемой плотины от зоны контакта с мергелями в сторону контакта с радиоларитами.