

BADANIA OPORNOŚCI WÓD ZACHODNIEGO PODHAŁA

NINIEJSZY ARTYKUŁ jest przyczynkiem do systematycznych badań hydrogeologicznych na podstawie oporności wód. Zamierzonym celem dotychczasowych badań było jedynie ustalenie metody oraz przystosowanie jej do warunków terenowych. W związku z tym były one prowadzone dorywczo na terenie całej Polski ze szczególnym uwzględnieniem Podhala. Otrzymane wyniki pozwalają przypuszczać, że metoda ta ułatwi hydrogeologiczne prace terenowe. Pozwoli ona bowiem na zróżnicowanie wód oraz na wydzielenie obszarów wód o podobnych własnościach elektrooporowych.

Zastosowanie badań oporności wód może mieć jeszcze szersze znaczenie dla hydrogeologii, gdyż np. mierzenie wypływu wód uprzednio zasolonych w porach pozwoli na dokładniejsze poznanie podziemnych dróg krążenia.

Należy jednak zaznaczyć, że badania te w Polsce dla celów hydrogeologicznych są badaniami pionierskimi, bowiem dotychczasowe opracowania dotyczyły jedynie badań nad zanieczyszczeniem wód ściekami lub nad badaniem dróg krążenia na podstawie zasolenia.

We Francji np. Leon Moret uzyskał bardzo pozytywne wyniki przy opracowywaniu wód mineralnych w zależności od oporności. Jego prace jak i prace rosyjskich uczonych, m.in. Doroszewskiego i Dworczan-

czika, pozwoliły na oznaczanie twardości węglanowej, określonej na podstawie znajomości oporności i przewodnictwa cieczy, oraz na określenie stopnia twardości ogólnej.

Podobne wyniki dotyczące mineralizacji uzyskano przy badaniach oporności na Węgrzech, gdzie w pracach hydrogeologicznych do zagadnienia oporności wód przywiązuje się bardzo dużą wagę.

Na terenie Polski zagadnieniem oporności wód zajął się w roku 1946 prof. dr J. Gołąb, a następnie prace te były kontynuowane pod jego kierunkiem w Katedrze i Zakładzie Hydrogeologii Uniwersytetu Warszawskiego. Lokalne badania prowadzone w celu ustalenia parametrów regionalnych zostały rozpoczęte w 1955 r. i są kontynuowane do dnia dzisiejszego.

Wyniki badań regionalnych pozwoliły m. in. na rozdzielenie na terenie Łęczycy stref wód zasolonych (o różnej koncentracji) od wód słodkich. Na terenie masywu Śnieżnika można było oddzielić wody pochodzące z poszczególnych elementów metamorficznych, a w Tatrach można było wykazać związek wód podziemnych z poszczególnymi jednostkami geologicznymi.

Nie tylko jednak na obszarach o dużej zmienności litologicznej wyniki badań oporności wód są pozytywne. Tak np. na terenie Podhala, gdzie występują stosunkowo małe zróżnicowania litologiczne, wyniki pracy zasługują na bliższe rozpatrzenie.

METODYKA PRACY

W wodach podziemnych sole mineralne z powodu wielkiego ich rozcieńczenia zwykle są całkowicie zdysocjowane, więc wartość przewodnictwa elektrycznego proporcjonalna jest do stężenia jonów, a jednocześnie do stężenia rozpuszczonej soli. Nawet minimalne różnice zawartości elektrolitu w roztworze wywołują wyraźne zmiany w przewodnictwie. Ogólne przewodnictwo wód naturalnych wahają się

w granicach $\frac{1}{100}$ do $\frac{1}{16\,000}$ omów, z tym że dla wód

pitnych wynosi ono od 0,00166 do 0,000166 oma.

Pomiary przewodnictwa elektrycznego oparte są na pomiarach oporności bezwzględnej, która jest ich odwrotnością. Normalnie do pomiarów oporu właściwego cieczy używa się przyrządu z mostkiem Wheatstona przy zastosowaniu prądu zmiennego. Oporność obliczamy ze wzoru:

$$R = \frac{l}{s \cdot r_1}$$

gdzie: r_1 — oporność właściwa,
 l — długość przewodnika,
 s — przekrój przewodnika,
 R — oporność w omach.

Stosunek 1:s jest wartością stałą charakterystyczną dla danego przewodnika. Ponieważ pomiary oporności wykonujemy w różnych naczyniach, a każde z nich ma charakterystyczny dla siebie stały opór, oznaczając go przez $C = 1:s$ wprowadzamy do wzoru podstawowego stałą oporności dla danego naczynia, mianowicie:

$$C = r_1 \cdot R \quad \text{stad} \quad r_1 = \frac{C}{R}$$

Przy użyciu elektrod zanurzalnych współczynnik C będzie miał wartość stałą charakterystyczną dla każdej elektrody. Elektrody zanurzalne zbudowane są zwykle z dwóch blaszek platynowych o pow. 1 cm², umieszczonych w odległości 1 cm od siebie, tak aby objętość cieczy zawartej pomiędzy blaszkami elektrod odpowiadała 1 cm³.

W miarę wzrostu zjonizowania wody jej opór właściwy maleje. Praktycznie wody silnie zdysocjowane posiadają opór ok. 100 omów, natomiast oporność wód deszczowych zbliżonych swym składem chemicznym do wód destylowanych, teoretycznie dąży do nieskończoności; w praktyce nie przekracza 16 000 omów. Według Moreta oporność właściwa wody destylowanej o najwyższej czystości przy 10°C wynosi 3,5 × 10⁷ om/cm.

Ponieważ oporność roztworu zależna jest od temperatury i to nie proporcjonalnie, pomiary oporności właściwej powinny odbywać się w stałej temperaturze albo pomiary należy wykonywać w dwóch temperaturach w celu uzyskania poprawki przeliczeniowej.

Wykres zależności oporu od temperatury na podstawie przykładowego pomiaru wykazuje duże zmiany (ryc. 1). Wykonane pomiary oporności wód mają za zadanie wykazanie jedynie różnic oporności różnych wód związanych z litologią danego obszaru. Badania te polegają na porównywaniu oporności wód na różnych obszarach. W związku z tym w badaniach opierano się na wartościach względnych oporu elektrycznego.

Opracowanie laboratoryjne zagadnienia pozwoliło wykorzystać badania bezpośrednie w terenie. Zamiast stosowania aparatu na prąd zmienny, co praktycznie zmuszałoby do pobierania wielkiej ilości próbek wody i badania ich w bazie terenowej lub stosowania ciężkiego aparatu Kohlrauscha, użyty został aparat (opornicz) na prąd stały zasilany ze zwykłej baterii o napięciu 4,2 V. Ze względu na małe napięcie prądu

polaryzacja, której ulegają elektrody, mieści się w granicach specjalnej dokładności odczytu i nie odgrywa specjalnej roli przy określaniu wielkości porównawczego oporu względnego, tym bardziej że polaryzacja okazała się wielkością mniej więcej stałą w jednostce czasu, co pozwala na obliczenie stałego współczynnika polaryzacji.

Tak np. przy załączeniu prądu stałego na okres 2 godzin polaryzacja powodowała różnicę oporności wynoszącą 400 omów.

Ponieważ pomiar trwa praktycznie maksimum 1 minutę, wobec tego polaryzacja przypadająca na 1 pomiar wynosi zaledwie ok. 3,3 oma, co przy ogólnych pomiarach rzędu tysięcy omów nie odgrywa żadnej roli. W praktyce wpływ polaryzacji ustala się po paru sekundach i przy zmianie biegunów nie wpływa zbyt na dokładność pomiaru.

Niewielką rolę odgrywa także spadek napięcia związany z wyczerpywaniem się baterii — wynosi on 10 omów na jeden pomiar. Dodajmy jeszcze 50% napięcia zużytego na pierwszy impuls przepływu prądu, otrzymujemy 15 omów na jeden pomiar. Ponieważ do całkowitego wyczerpania baterii można wykonać 480 pomiarów, w celu uzyskania jak najmniejszych błędów wykonywano przy użyciu jednej baterii od 100 do 120 pomiarów. W związku z tym błąd pomiarowy zmniejsza się do 4 omów, które jak i w poprzednim przypadku nie odgrywają głównej roli.

Nie uwzględniając tych minimalnych poprawek, łącznie ze stałą poprawką na aparat, którym wykonywane są pomiary, otrzymujemy wartości oporności względnej, zupełnie wystarczające do wydzielenia różnych wód.

W celu uzyskania wyraźnego obrazu pomiarów oporności względnej określono w procentach oporu. Za 100 przyjęto opór maksymalny porównywanych wód wynoszący 35 000 omów oporności względnej, a pozostałe opory przeliczono w procentach.

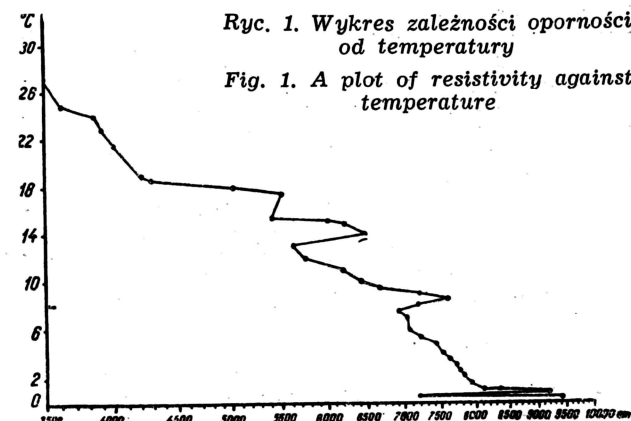
WYNIKI BADAŃ NA PODHAŁU

Dotychczasowe wyniki badań prowadzonych lokalnie wykazały przydatność metody opornościowej w pracach hydrogeologicznych. Wyniki te w wielu przypadkach można uzależnić od geologii poszczególnych obszarów, dlatego też na załączonych mapach zostało uwzględnione wykształcenie litologiczne warstw.

Jako podkładu użyłam mapy geologicznej zachodniego Podhala w skali 1:25 000 (z pominięciem tektoniki) wykonanej przez prof. J. Gołąba.

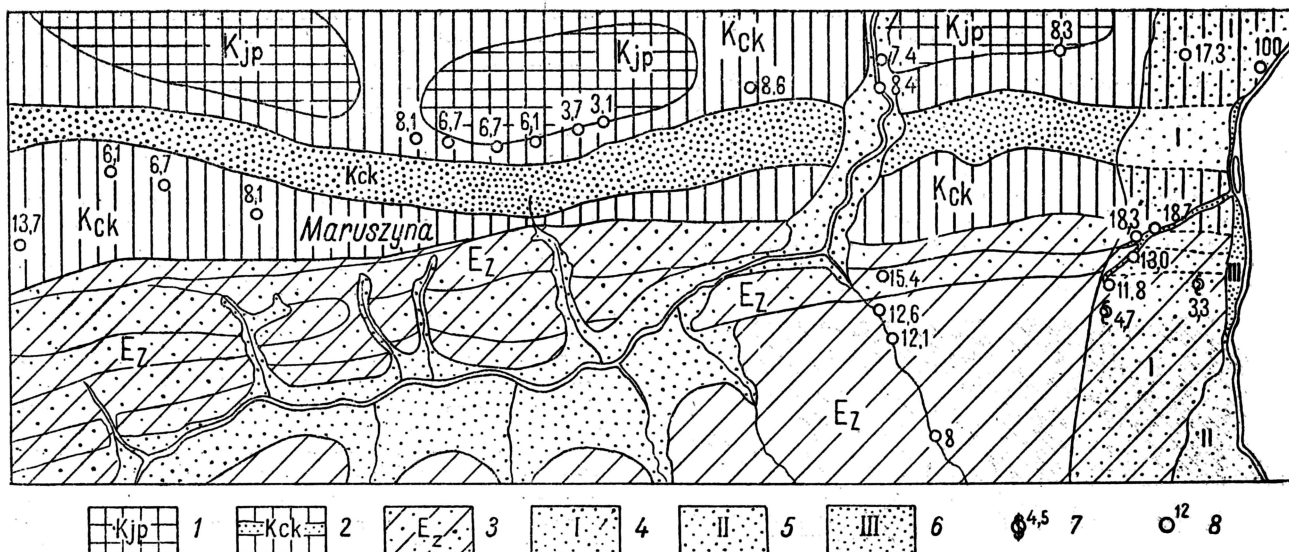
Do opracowania wykorzystałam obszary pokryte większą ilością punktów pomiarowych. Na terenie Podhala mogłam wydzielić cztery takie obszary, które przez porównanie wyników pozwalają na próbę scharakteryzowania wód.

Omawiane obszary to: 1. Okolice Maruszyny i Szafar, 2. Okolice Ostrysza, 3. Okolice Jaszczurówki, 4. Obszar położony na N od regli i kontaktujący się z nim od potoku Bystrego na wschodzie do Skibówek na zachodzie.



Ryc. 1. Wykres zależności oporności od temperatury

Fig. 1. A plot of resistivity against temperature



Ryc. 2. Procentowe oporności wód okolic Maruszyny
1 — skałki wapienne, 2 — margle i piaskowce utworów skałkowych, 3 — łupki i piaskowce serii zakopiańskiej — szaflarsko-maruszynskiej, 4 — tarasy wysokie, 5 — tarasy średnie, 6 — tarasy niskie, 7 — punkty pomiarowe zanieczyszczone, 8 — punkty pomiarowe z zaznaczonym procentem oporności.

Fig. 2. Percent resistivities of waters in the vicinity of Maruszyna

1 — calcareous klippen, 2 — marls and sandstones of the series of Pieniny Klippen Belt, 3 — shales and sandstones of the Zakopane-Szaflary-Maruszyna series, 4 — high terraces, 5 — middle terraces, 6 — low terraces, 7 — admixed controlling points, 8 — controlling points with marked percent of resistivity

Charakterystyka wód pod względem oporności z okolic Maruszyny i Szaflar. Na wymienionym obszarze możemy wydzielić: wody związane bezpośrednio ze skałkami; wody związane z marglami przejściowymi bądź osłonowymi; wody związane z fliiszem podhalańskim; wody zanieczyszczone lub zmineralizowane.

Najmniejszy procent oporności, bo od 3 do 4%, wykazują wody wypływające bezpośrednio ze skałek. Już strefa kontaktowa skałek z marglami przejściowymi wpływa na podniesienie oporności, która na obszarach marglistych dochodzi do 9%.

Wody fliiszowe charakteryzują oporności wyższe; od 11 do 15%. Oporność ta wzrasta z biegiem cieku, co można wytłumaczyć wzrostem oporności wód wypływających z utworów piaszczystych przy przepływie przez utwory łupkowe.

Wody w tarasach Dunajca wykazują duże rozbieżności w granicach od 12 do 18,7%, przy czym niższe procenty związane są z wodami fliiszowymi, a wyższe wartości wykazują domieszkę wód powierzchniowych.

W północno-wschodniej części terenu znajduje się charakterystyczny punkt, w stosunku do którego były przeliczone opory wszystkich pozostałych punktów pomiarowych (przyjęto, że jeden procent odpowiada 350 omom). Pomiar został wykonany w małym cieku, zanieczyszczonym. Najwyższa na tym terenie oporność wskazuje na bardzo małą mineralizację, co praktycznie odpowiada wodom opadowym.

Dwa punkty pomiarowe występujące na tarasie Dunajca, a charakteryzujące się niskimi oporami, związane są z zanieczyszczeniami studzienek ściekami.

Ryc. 3. Procentowe oporności wód okolic Ostrysza

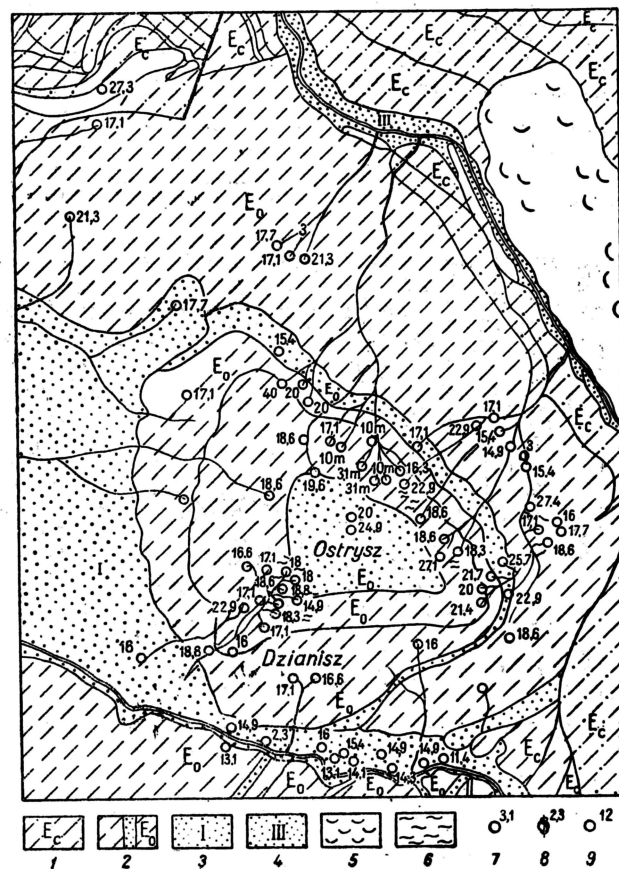
1 — piaskowce, łupki i warstwy z egzotykami serii chochołowskiej, 2 — piaskowce, zlepnie i łupki serii ostryskiej, 3 — tarasy wysokie, 4 — tarasy niskie, 5 — osuwiska, 6 — podmokłości, 7 — punkty pomiarowe z martwicą wapienną, 8 — punkty pomiarowe zanieczyszczone, 9 — punkty pomiarowe z uwzględnieniem procentu oporności.

Fig. 3. Percent resistivities of waters of the vicinity of Ostrysz

1 — sandstones, shales and layers with egzotics of Chochołów series, 2 — sandstones, conglomerates and shales of the Ostrysz series, 3 — high terraces, 4 — low terraces, 5 — landslides, 6 — marishes, 7 — controlling points with travertine, 8 — admixed controlling points, 9 — controlling points with marked percentage of resistivity

Charakterystyka oporności wód okolic Ostrysza (ryc. 3). Na podstawie badań oporności wód Ostrysza można je ogólnie podzielić na trzy grupy różniące się od siebie niewielkimi wartościami oporności procentowej, ale jednak wystarczającymi do przeprowadzenia rozdziału.

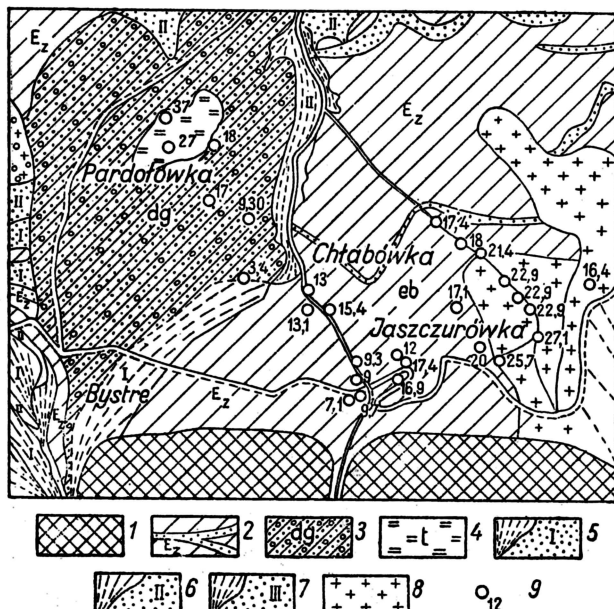
Pierwsza grupa to wody związane z podłożem zbudowanym z piaskowców i zlepniów, następna — to wody, które przepływają po nieprzepuszczalnym teore-



tycznie podłożu łupków, i wreszcie ostatnia związana jest z lokalnym zmineralizowaniem lub zanieczyszczeniem.

Wysoka procentowość oporności wód źródeł na Ostryszu, położonych w najwyższej partii, związana jest ze słabym zmineralizowaniem, które z kolei zależy od drogi krążenia. W tym przypadku droga ta jest bardzo krótka, wody więc opadowe w krótkim czasie wypływają w postaci źródła.

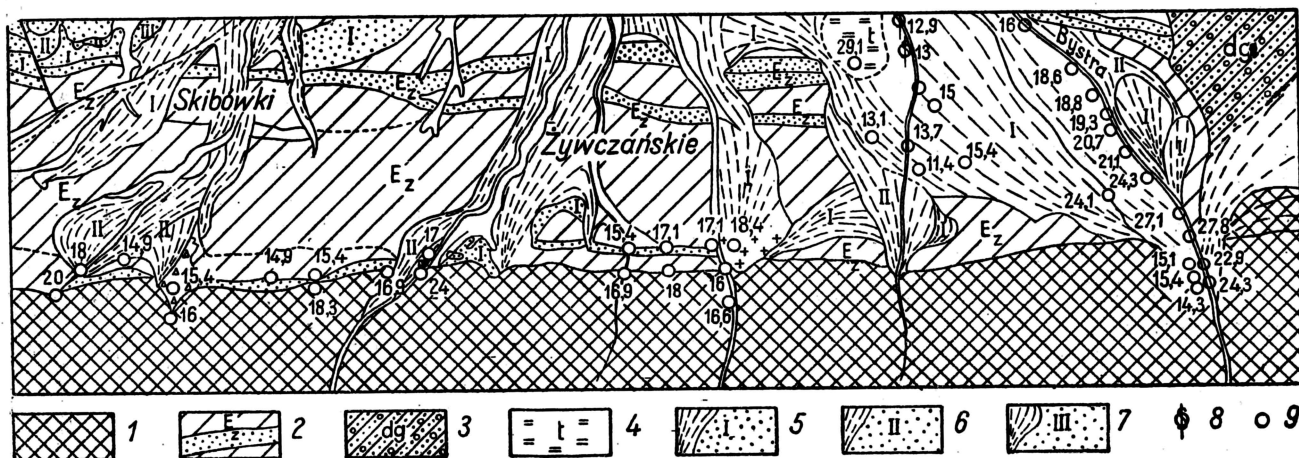
Wody związane z utworami łupkowymi wykazują porównawczo dość duże wartości procentowe oporności, bo w granicach od 16 do 27%. Różnica 11% prawdopodobnie uzależniona jest od szybkości prze-



Ryc. 4. Procentowe oporności wód okolic Jaszczurówki
1 — utwory reglowe, 2 — zlepienie, piaskowce, łupki i dolomity — seria zakopiańska, 3 — morena denną, 4 — torfy, 5 — stożki i tarasy wysokie, 6 — stożki i tarasy średnie, 7 — stożki i tarasy niskie, 8 — głazowiska krystaliczne, 9 — punkty pomiarowe z uwzględnieniem procentu oporności.

Fig. 4. Percent resistivities of waters of the vicinity of Jaszczurówka

1 — subglacial deposits, 2 — conglomerates, sandstones, shales and dolomites — Zakopane series, 3 — ground moraine, 4 — peats, 5 — alluvial cones and high terraces, 6 — alluvial cones and middle terraces, 7 — alluvial cones and low terraces, 8 — rubble, 9 — controlling points with percentage of resistivity



Ryc. 5. Procentowe oporności wód obszaru przyreglowego na SW od Zakopanego

1 — utwory reglowe, 2 — zlepienie, piaskowce, łupki i dolomity — seria zakopiańska, 3 — morena denną, 4 — torfy, 5 — stożki i tarasy wysokie, 6 — stożki i tarasy średnie, 7 — stożki i tarasy niskie, 8 — punkty pomiarowe zanieczyszczone, 9 — punkty pomiarowe z uwzględnieniem procentu oporności

plywu, co z kolei w danym przypadku związane jest z geomorfologią i strefą zwietrzelinową.

Zaznaczone na mapce wychodnie poszczególnych warstw nie zawsze charakteryzują bezpośrednio wody źródeł wypływających na nich. Pokrycie zwietrzeliną i glebą wielokrotnie powoduje przesunięcie, w tym przypadku w dół, wypływu charakterystycznego źródła.

Wody związane z piaskowcami i zlepieniami warstw ostryskich posiadają oporności ok. 16%. Zbliżone do nich są wody utworów tarasowych, których oporności mieszczą się w granicach od 13 do 16%. Szczególnie wyraźnie widać to w Dzianiszu, gdzie oporności mierzone w studniach nie przekraczają 16%, a dolna ich granica wynosi 13,1% oporności.

Jedyny odbiegający swą wartością oporności pomiar (wynoszący 2,3%) związany jest z trzecią wydzieloną grupą wód, mianowicie z wodami zanieczyszczonymi ściekami.

Zastanawiające są jeszcze małe oporności wód znajdujących się w górnej partii północnej części Ostrysza (znaczone dodatkowo m). Zjawisko to można wytłumaczyć charakterem dyslokacyjnym źródeł, których woda osadziła trzy generacje martwic wapiennych (informacja prof. J. Gołąba). Należy zaznaczyć, że w innych źródłach na Ostryszu martwic nie znaleziono.

Najwyższą wartość oporności na terenie Ostrysza zaobserwowano w północno-zachodniej części, gdzie występująca oporność 40% odpowiada stosunkowo dużej wartości 14 000 omów, a wywołana jest prawdopodobnie wpływami wód o krótkiej i płytkiej drodze krążenia.

Charakterystyka oporności wód okolic Jaszczurówki. Wody okolic Jaszczurówki pod względem oporności możemy podzielić na pięć grup.

Największe oporności, bo 37%, spotykamy na torfowiskach Pardołówki.

Wody związane z utworami polodowcowymi Pardołówki i Bystrego wykazują stosunkowo silne zdysocjowanie, które zanika w miarę oddalania się od stożka fluwioglacjalnego Bystrego, a zbliżania się do podmokłości torfowiska. Różnica oporności wynosi tu od 4% na samym stożku do 18% w pobliżu torfowiska.

Drugim ciekawym obszarem są okolice Chłabówki, gdzie wody związane z głazowiskami krystalicznymi charakteryzują stosunkowo wysokie oporności, malejące w miarę oddalania się od regli.

Wyraźna granica w opornościach wód mierzzonego potoczku zaznacza się przy przejściu obszaru głazowiska krystalicznego w warstwy zakopiańskie fliszowe. Wody pochodzące z głazowiska wykazują oporności 27%, na przejściu maleją do 20%, aby na fliszu osiągnąć wartość 17% z tendencją malejącą. Zupełnie odręb-

Fig. 5. Percent resistivities of waters in the bysubtrac area southwest of Zakopane

1 — subglacial deposits, 2 — conglomerates, sandstones, shales and dolomites — Zakopane series, 3 — ground moraine, 4 — peats, 5 — alluvial cones and high terraces, 6 — alluvial cones and middle terraces, 7 — alluvial cones and low terraces, 8 — admixture controlling points, 9 — controlling points with percentage of resistivity

ne wartości wykazują oporności wód związane z termą w Jaszczurówce, Niskie, bo od 7 do 9% wartości te związane są głównie z różnicą temperatury, tym bardziej że wykonane ostatnio przez dr A. Jarocką analizy chemiczne tych wód nie wykazały specjalnego zmineralizowania. Zamieszczony wykres zależności oporności od temperatury wód wykazuje, jak silny wpływ wywiera ta wysoka temperatura na oporność.

Wylew na południe od kapliczki Wątkiewicza (przebieg w grocie) również z wapieni eocenskich ma wyraźnie wyższy opór, co świadczy zarówno o dopływie wód powierzchniowych (z fluwioglacjalnych żwirów), jak i o wpływie niskiej temperatury, która tu wynosi średnio 5,6°.

Charakterystyka oporności wód obszaru przyreglowego na SE od Zakopanego. Wody pochodzące z utworów reglowych ogólnie wykazują wyższe oporności, a różnica między nimi jest związana z szybkością przepływu potoku. Im potok jest bardziej bystry, tym dalszy jest zasięg wód o większych opornościach na obszarach fliszowych.

Odchylenia od procentowych wartości oporności rzędu 16 do 27% wykazują w dolinie Bystrej źródelka w wapieniach numulitowych, których wartości wahają się w granicach od 14,3 do 15%.

Ciekawe również są wyniki oporności mierzone na stożku Bystrego. Wyraźnie zaznacza się wpływ stożka granitowego (15—24%) w odróżnieniu od stożka wapiennego, charakteryzującego się oporami w granicach od 11 do 14%. Można tu ustalić wzajemny wpływ i mieszanie się wód o różnych opornościach.

Również i wody na torfowisku, analogicznie jak i na Pandołówce, odbiegają swoimi oporami od pozostałych.

Wody związane z kontaktem fliszu z wapieniami reglowymi kształtują swoje oporności głównie ok. 15%, z tym że wypływy ze stożków lub bezpośrednie wypływy z regli podwyższają oporności od 16 do 18%. Wyjątek stanowią wyższe opory w Dolinie Strążyskiej związane z utworami retykolasu i wypływ potoku Skibówki pochodzący z dolomitów triasowych.

WNIOSKI

Poza lokalnymi, stosunkowo niewielkimi zróżnicowaniami wód na omawianych obszarach, możemy przez porównanie tych obszarów wykazać różnicę oporności wód na terenie całego Podhala, przyjmując tu jako czynnik porównawczy wielkość procentowej oporności.

Najbardziej na południu wody przepływające lub wypływające z regli wykazują wyższe oporności w granicach od 27 do 16%. Następnie wody związane z utworami łupkowymi fliszowymi, czy to warstw

zaskopiańskich, czy ostryskich charakteryzują się wielkościami od 14 do 16%, przy czym warstwy ostryskie mają wyraźnie wyższe opory.

Na północy w okolicach Maruszyńskich mamy wody związane z utworami marglistymi osłony skałek, których oporności wynoszą od 6 do 8%. I wreszcie same skałki, gdzie wody są silnie zmineralizowane, wartości oporności wahają się od 3 do 4%.

Pozostałe punkty pomiarowe to wody związane bądź z zanieczyszczeniami, bądź zmineralizowane, ewentualnie wody wymienione już poprzednio, które mieszają się ze sobą.

Obraz ten można uzupełnić stwierdzeniem, że wody dyslokacyjne o dalekich drogach krążenia są silniej zmineralizowane i w związku z tym wykazują niskie procenty oporności, natomiast wody z górnych partii wyniesień lub zagłębień bezodpływowych wykazują oporności wysokie, co z jednej strony jest związane z odwapnieniem utworów fliszowych, a z drugiej — z nagnomadzeniem wód opadowych.

Należy zaznaczyć, że wszystkie pomiary oporności wykonywano jednocześnie z pomiarem temperatury, twardości pH, uwzględniając lokalne ciśnienie barometryczne.

Zależności poszczególnych elementów zostaną przedstawione w obszerniejszej pracy.

SUMMARY

This article is a contribution to the systematic hydrogeological investigations carried out at the basis of water resistivities. The aim of up to date research work was to establish the method and to adapt it to field conditions. According to this, they were conducted occasionally in many regions of Poland and particularly in Podhale. The results obtained allow to suppose that this method will ease hydrogeological field investigations.

РЕЗЮМЕ

Настоящая статья является дополнением к систематическим гидрогеологическим исследованиям опираясь на сопротивляемости вод. Намеренной целью существовавших до сих пор исследований было исключительно определение метода и применимость его к полевым условиям. В связи с этим были ведены временно на территории целой Польши с особым учетом Подгалья.

Полученные результаты позволяют предполагать, что этот метод облегчит гидрогеологические полевые работы. Разрешит он классификацию вод и выделение регионов вод со сходными электросопротивительными свойствами.