

Jan MALINOWSKI

## Hydrogeologiczne warunki odpływu podziemnego na Roztoczu Zachodnim

### WSTĘP

W ramach realizacji programu regionalnych badań hydrogeologicznych Instytutu Geologicznego autor wykonał w latach 1966—1970 zdjęcie hydrogeologiczne i przeprowadził obserwacje stacjonarne dotyczące dynamiki wód podziemnych Roztocza Zachodniego. Rezultaty tych prac przedstawione zostały w operacie wynikowym, znajdującym się w Archiwum Instytutu Geologicznego, w niniejszym artykule znajdują się natomiast dane dotyczące odpływu podziemnego w powiązaniu z warunkami zasilania i krążenia.

Główny poziom wód podziemnych występuje w utworach kredy oraz trzeciorzędu; sytuację geologiczną tych utworów przedstawia fig. 1. Między wodami wymienionych formacji istnieje związek hydrauliczny, wynikający z dużej ich szczelinowatości. W świetle dotychczasowych badań geologicznych można wyróżnić trzy główne systemy szczelinowatości:

1. System szczelin o kierunku NW—SE, związany z obecnością wiązki uskoku towarzyszących brzeżnej dyslokacji Roztocza Zachodniego, które przecinają zespoły skalne do 100 — 150 m głębokości.

2. System związany z kierunkiem tektonicznym NE—SW, najmłodszym na Roztoczu. Są to przeważnie szczeliny pionowe, ich obecność zaznacza się w przebiegu dolin rzecznych niektórych zlewni. Wzdłuż tych kierunków rozwinęły się formy dolinne w utworach sarmatu.

3. System szczelin międzywarstwowych w stropie lub spągu warstw zwięzłych. Miąższość tych stref wynosi przeważnie około 1 m. Występują one cyklicznie w górnych odcinkach profilu utworów kredowych i w całym profilu utworów trzeciorzędowych. System ten przecięty jest spękaniami pierwszego i drugiego systemu.

Te trzy typy szczelin stanowią główny układu drożności wód podziemnych, niezależny od naturalnych zdolności filtracyjnych skał. Szczeliny te przenikają się nawzajem w obu formacjach geologicznych i dlatego tworzą jeden krążeniowy system hydrauliczny.

Zasilanie utworów kredowych i trzeciorzędowych odbywa się na drodze infiltracji wód opadowych przez utwory czwartorzędowe, głównie lessowe. Częściowo są one zasilane przez infiltrację bezpośrednią, w miejscach ich wychodni. Zdolność filtracyjna pokrywy czwartorzędowej jest zmienna. Na podstawie określenia współczynnika filtracji utwory te sklasyfikowano jako średnioprzepuszczalne (piaski rzeczne i pokrywowe), słaboprzepuszczalne (lessy) i półprzepuszczalne (gliny zwałowe). Największy powierzchniowo obszar zajmują lessy, z czego wynika, że pokrywa utworów starszych jest w większości słaboprzepuszczalna.

Badania nad odpływem podziemnym Rztoczca nie były dotąd prowadzone w sposób systematyczny. W publikowanej literaturze spotyka się jedynie ogólne oceny dotyczące tego zagadnienia. T. Wilgat (1968) kwalifikuje Rztocze Zachodnie jako obszar posiadający nadwyżki wodne, gdyż występuje tu łatwe przenikanie wód opadowych do rezerw podziemnych, co wpływa na zmniejszenie strat powierzchniowych, a w konsekwencji większa odpływ jednostkowy. Podobną kwalifikację Rztoczca jako obszaru z nadwyżkami wodnymi podaje K. Wojciechowski (1966).

W miejscowości Nawóz istnieje wodowskaz PIHMU-u na rzece Por, który rejestruje przepływy z obszarów leżących poza Rztoczczem, w związku z czym w odniesieniu do Rztoczca mogą być wyciągane jedynie oceny pośrednie. PIHM prowadził też krótkotrwałe obserwacje wodowskazowe na Porze w Turobinie podczas drugiej wojny światowej. Nie obejmowały one jednak pełnych cykli hydrogeologicznych. Dlatego też obserwacje i pomiary autora pozwalają obecnie dokładniej ocenić zagadnienie odpływu podziemnego, bezpośrednio w obszarach źródłowych Rztoczca Zachodniego.

## WIELKOŚCI PRZEPIYU WÓD PODZIEMNYCH

Przepływ wód podziemnych badano w siedmiu zlewniach, których obszary źródłowe znajdują się w całości na Rztoczcu: Por, Gorajec, Łada, Branew, Biała, Sanna i Karasiówka.

Doliny tych zlewni są obszarami drenującymi, a ich położenie w stosunku do występowania wód podziemnych ilustruje fig. 2. Dla określenia wielkości odpływu tych wód zainstalowano osiem wodowskazów (fig. 3) z pomiarami codziennymi przeprowadzanymi przez pełne okresy hydrologiczne 1966—1967 i 1967—1968. Wodowskazy założono w miejscach, gdzie można było uchwycić wody wypływające bezpośrednio z Rztoczca, przy zredukowaniu do minimum dopływów z obszarów leżących poza Rztoczczem. W miejscach założonych wodowskazów przeprowadzono również pomiary młynkiem hydrometrycznym, co w połączeniu z pomiarami codziennymi pozwoliło na konstrukcję krzywych konsumpcyjnych w przekrojach wodowskazowych. Przy sporządzaniu tych krzywych zastosowano poprawki według K. Dębskiego (1970). Z uzyskanych tą drogą hydrografów wydzielono odpływ podziemny metodą ścinania fal wezbraniowych; wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Spśród badanych zlewni szerzej omówiono zlewnię Poru, gdyż można tu było śledzić zmiany wielkości odpływu, ponadto część jej leży poza Rztoczczem, co wymagało uwzględnienia w obliczeniach.

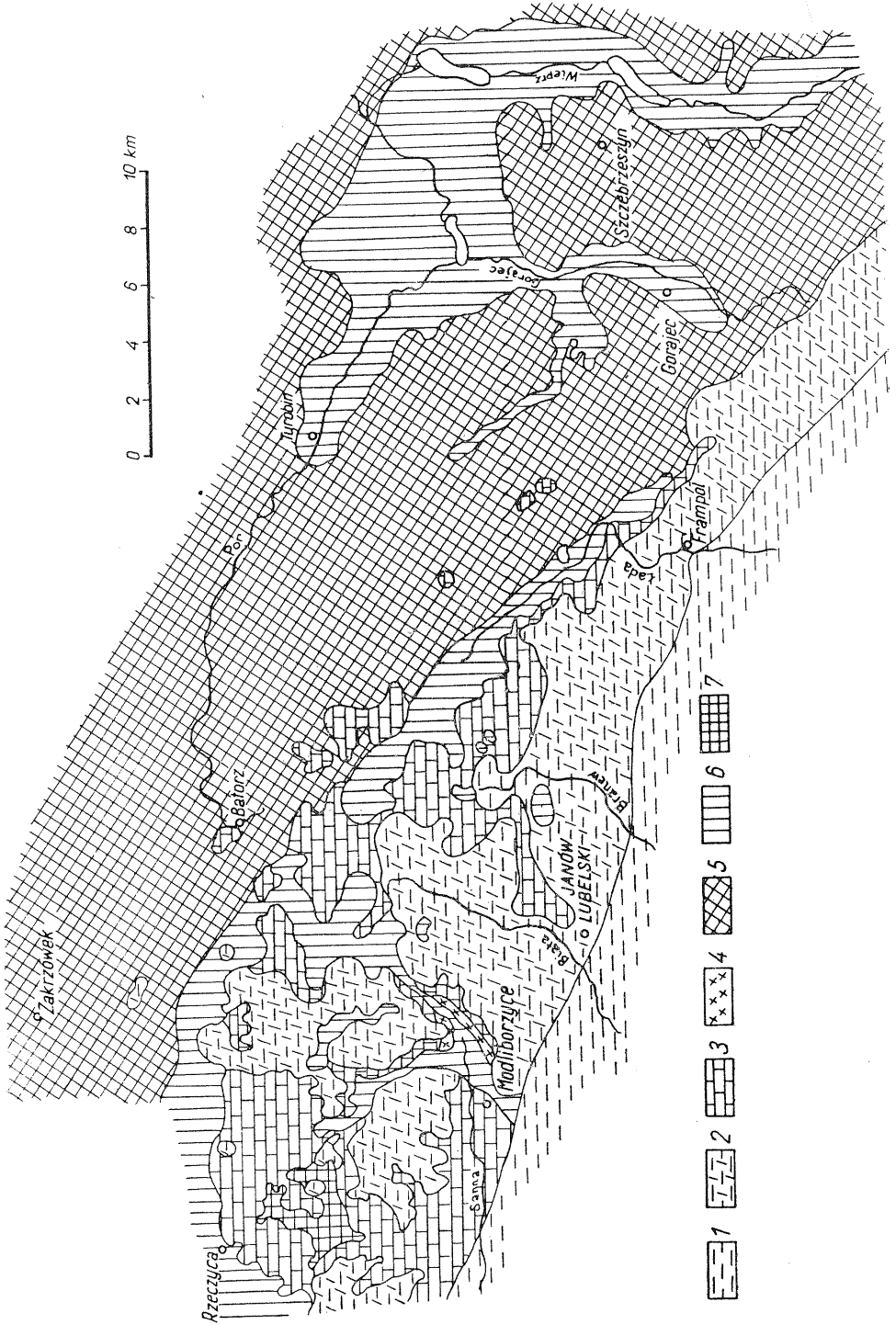


Fig. 1

## ZLEWNIA PORU

Zlewnia Poru zajmuje powierzchnię 364,9 km<sup>2</sup>, z czego na obszar Roztocza przypada 201,2 km<sup>2</sup>, reszta obejmuje część Wierzchowy Giełczewskiej. Zlewnia Poru znajduje się w obrębie utworów mastrychtu dolnego i jest drenowana do rzędnej w granicach 195—268 m n.p.m. Dolina ma początkowo przebieg konsekwentny aż do północnej krawędzi Roztocza, poza krawędzią zmienia kierunek na NW—SE, płynąc subsekwentnie aż do ujścia. Na obszarze zlewni założono dwa wodowskazy:

1. Wodowskaz w Tarnawie rejestrujący dopływy z Roztocza o pow. 124 km<sup>2</sup> i częściowo z Wierzchowy Giełczewskiej o pow. 96,3 km<sup>2</sup>; trzeba tu jednak zaznaczyć, że dopływy z tej części zlewni są minimalne, gdyż brak jest zupełnie źródeł, występuje jedynie zasilanie podziemne, związane z ogólnym spływem wód podziemnych w kierunku doliny.

2. Wodowskaz w Gruszcze Zaporskiej rejestrujący dopływy źródeł prawobrzeżnych, do których należą źródła w Turobinie, Zaporzu i Radeczniczy. Przyrost powierzchni drenowanej Roztocza wynosi 77,1 km<sup>2</sup>. Na lewym brzegu Poru nie stwierdzono źródeł, jednak i na tym odcinku występuje zasilanie podziemne. Wodowskaz ten odnotował więc przyrost odpływu na odcinku od Tarnawy.

## WODOWSKAZ TARNAWA

Por na długości około 15 km, tj. do wodowskazu w Tarnawie, drenuje utwory mastrychtu (powyżej 215 do 268 m n.p.m.), co odpowiada stropowi strefy nasycenia. Hydrograf wskazuje, że w początkowym okresie obserwacji (1966—1967) nastąpił dość szybki wzrost odpływu od stanów niskich (około 600 l/sek w lutym 1967), poprzez osiągnięcie maksimum (w lipcu) do 2100 l/sek, a następnie spadek do 1000 l/sek, utrzymujący się do końca obserwacji (31.X.1968 r.). Wahania dobowe i miesięczne nie są duże i są krótkotrwałe. Maksymalna różnica wezbrań dochodzi do 500 l/sek przy trwaniu 2—3 dni, a w pojedynczych tylko przypadkach do 7 dni. Wahania te są całkowicie związane z odpływem powierzchniowym, a ich wpływ na wielkość odpływu podziemnego zaznacza się minimalnie. Średni odpływ powierzchniowy i podziemny w latach 1966—1967 i 1967—1968 kształtował się następująco:

Fig. 1. Mapa geologiczna Roztocza Zachodniego według B. Arenia (1968)

Geologic map of the West Roztocze region, according to B. Aren (1968)

1 — ility łupkowe, iltowce z przewarstwieniami mułowców — sarmat dolny; 2 — wapienie rafowe, serpułowo-mszywiłowe, żwiry, piaski, piaskowce, wapienie muszlowe, detrytyczne, zlepione, piaskowce wapieniste krzyżowo warstwowane — sarmat dolny; 3 — wapienie detrytyczne z litotamniów oraz wapienie rafowe, częściowo piaski — torton górny; 4 — wapienie litotamniowe z nadległą warstwą erwiliową, żwiry, piaski, piaskowce — torton dolny; 5 — margle piaszczyste glaukonitowe i margle kruche — mastrycht dolny; 6 — opoki i margle — kampan; 7 — margle glaukonitowe i iltaste — santon

1 — shale clays, claystones with siltstone intercalations — Lower Sarmatian; 2 — serpula-bryozoan reef limestones, gravels, sands, sandstones, detrital shelly limestones, gravels, stands, sandstones, detrital shelly limestones, conglomerates, cross-bedded calcareous sandstones — Lower Sarmatian; 3 — detrital lithothamnium limestones, reef limestones, partly sands — Upper Tortonian; 4 — lithothamnium limestones with the overlying ervilla bed, gravels, sands, sandstones — Lower Tortonian; 5 — arenaceous glauconite marls and brittle marls — Lower Maestrichtian; 6 — opokas and marls — Campanian; 7 — glauconite and clay marls — Santonian

	1967	1968
Odływ całkowity	1667 l/sek	1081 l/sek
Odływ podziemny	1426 l/sek	912 l/sek
Odływ jednostkowy	6,5 l/sek/km <sup>2</sup>	4,5 l/sek/km <sup>2</sup>
Współczynnik podziemnego zasilania	0,85	0,83

Z uwagi na to, że drenowany obszar Roztocza do wodowskazu Tarnawa stanowi 56,4% powierzchni zlewni i przyjmując, że drenaż odbywa się proporcjonalnie ze wszystkich stron zlewni, odływ dla drenowanej części Roztocza (o pow. 124,1 km<sup>2</sup>) jest następujący:

	1967	1968
Odływ całkowity	938,1 l/sek	609,7 l/sek
Odływ podziemny	804,2 l/sek	514,4 l/sek
Odływ jednostkowy	6,6 l/sek/km <sup>2</sup>	4,2 l/sek/km <sup>2</sup>
Współczynnik podziemnego zasilania	0,85	0,84

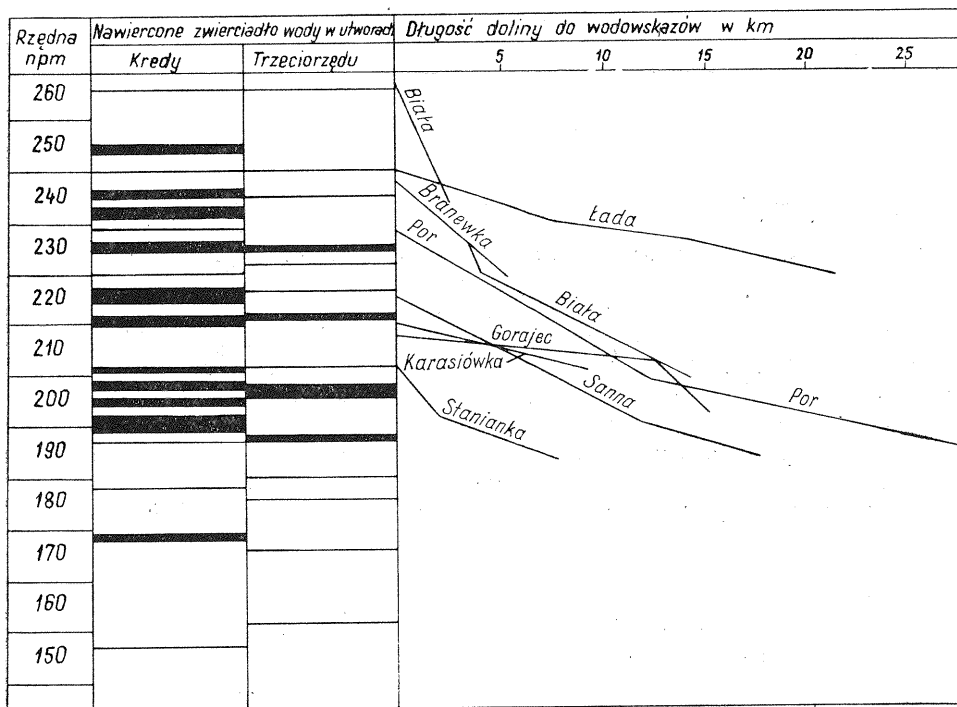


Fig. 2. Położenie hipsometryczne nawierconego zwierciadła wód podziemnych w utworach kredowych i trzeciorzędowych na tle głównych dolin drenujących

Hypsometric position of the drilled ground water table in the Cretaceous and Tertiary formations shown against the main drainage valleys

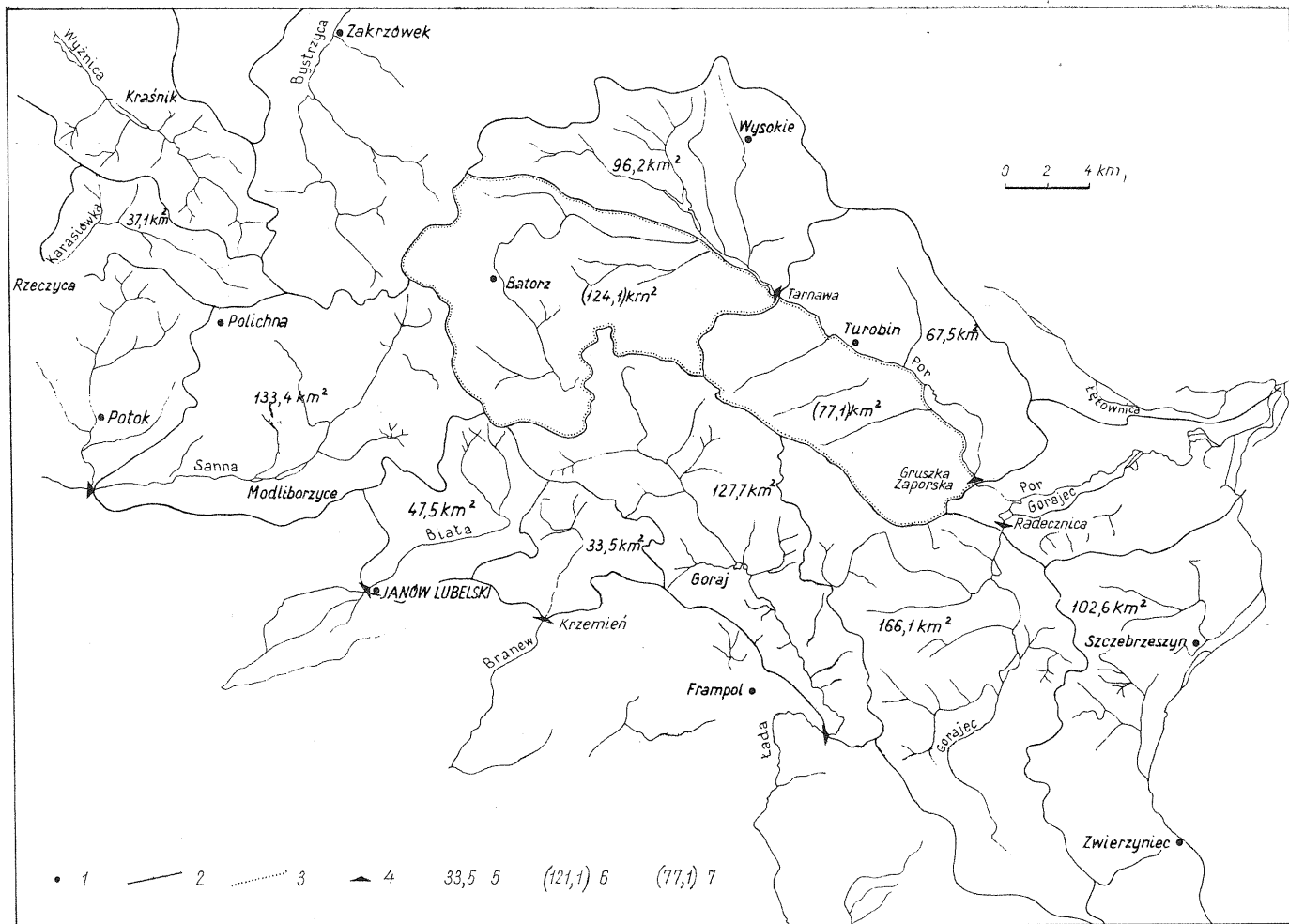
Zdaniem autora dopływ z Roztocza jest jednak nieco większy. Teza ta wynika z faktu, iż utwory mastrychtu zapadają ku północy, co jest okolicznością sprzyjającą dla przepływu wód szczelinami międzywarstw-

Tabela 1

## Odpływ wód podziemnych w zlewniach Roztocza Zachodniego w latach 1967—1968

Zlewnia	Powierzchnia	Miejsce założenia wodowskazu	Odpływ w l/sek				Moduł sływu podziemnego $\text{qm}^3/\text{sek}/\text{km}^2$	
			całkowity		podziemny		1967	1968
			1967	1968	1967	1968		
Por	124,1*	Tarnawa	1667,0	1081,0	1426,0	912,2	0,0065	0,0041
	220,3							
Gorajec	201,2*	Gruszka Zaporska	2982,0	2358,0	2509,6	2127,4	0,0069	0,0058
	364,9							
Gorajec	166,1	Radecznicza	1891,0	1560,0	1286,0	1162,9	0,0077	0,007
Łada	127,7	Rzeczycza	957,3	1004,0	752,1	821,6	0,0059	0,0074
Branew	33,5	Krzemień	256,0	214,0	161,7	150,0	0,0448	0,0041
Biała	47,5	Janów Lubelski	340,3	857,0	276,6	770,0	0,0059	0,013
Sanna	133,4	Brzeziny	1144,0	1261,0	897,7	1065,0	0,0067	0,008
Karasiówka	37,1	Rzeczycza Ziemiańska	304,3	266,9	287,3	252,5	0,0077	0,0067

\* Tylko obszar Roztocza, bez części Wierzychowiny Giełczewskiej.



wymi. Świadczy o tym zresztą zupełny brak źródeł na północ od doliny. Na podstawie oceny dużych współczynników filtracji i dużych wydajności studni, dopływ z Roztocza można by szacować na około 75% odpływu całkowitego tej części zlewni. Brak danych nie pozwala obecnie na udowodnienie tej tezy.

## WODOWSKAZ GRUSZKA ZAPORSKA

Do wodowskazu w Gruszcze Zaporskiej zlewnia Poru zwiększa się o dalsze 144,4 km<sup>2</sup>, z czego na Roztocze przypada 77,1 km<sup>2</sup>. Łączna więc powierzchnia Roztocza drenowana przez Por wynosi 201,2 km<sup>2</sup>. Odpływem objęta jest strefa powyżej 195 m n.p.m.

Odpływ powierzchniowy i podziemny na wodowskazie Gruszka Zaporska zaznaczył się następująco:

	1967	1968
Odpływ całkowity	2981 l/sek	2358 l/sek
Odpływ podziemny	2509,6 l/sek	2127,4 l/sek
Odpływ jednostkowy	6,9 l/sek/km <sup>2</sup>	5,8 l/sek/km <sup>2</sup>
Współczynnik podziemnego zasilania	0,84	0,09

Przyrost odpływu na omawianym odcinku wynosił:

	1967	1968
Odpływ całkowity	1315 l/sek	1277 l/sek
Odpływ podziemny	1083 l/sek	1215 l/sek

Z danych tych wynika, że na odcinku od Tarnawy do Gruszki Zaporskiej nastąpił znaczny przyrost odpływu, co uwidacznia się w wartościach odpływu jednostkowego. Jeżeli wziąć pod uwagę, że obszar Roztocza stanowi 53,4% powierzchni zlewni Poru między Tarnawą a Gruszką Zaporską, to odpływ powierzchniowy Roztocza w okresie obserwacji był następujący:

	1967	1968
Odpływ całkowity	711,2 l/sek	682 l/sek
Odpływ podziemny	578,2 l/sek	647 l/sek
Odpływ jednostkowy	7,5 l/sek/km <sup>2</sup>	8,4 l/sek/km <sup>2</sup>
Współczynnik podziemnego zasilania	0,81	0,95

Odpływ podziemny jednostkowy z tej części Roztocza jest największy. Należy zauważyć, że odpływ ten w 1968 r. wzrastał, mimo iż w całej

Fig. 3. Zlewnie Roztocza Zachodniego

West Roztocze cathment area

1 — stacje opadowe PIHM; 2 — granice zlewni; 3 — granica zlewni Poru w obrębie Roztocza; 4 — wodowskazy okresowe 1966—1968 r.; 5 — powierzchnia zlewni w km<sup>2</sup>; 6 — powierzchnia zlewni Poru w obrębie Roztocza; 7 — powierzchnia zlewni Poru od wodowskazu Tarnawa do wodowskazu Gruszka Zaporska

1 — stations of the State Hydrologic-Meteorological Institute; 2 — boundaries of the catchment area; 3 — boundaries of the Por catchment area within the Roztocze region; 4 — periodical water-gauges in 1966—1968; 5 — area of the catchment basin in km<sup>2</sup>; 6 — area of the Por catchment basin within the Roztocze region; 7 — area of the Por catchment basin from the water-gauge Tarnawa up to that of Gruszka Zaporska



zlewni obserwuje się w tym czasie spadek odpływu tak powierzchniowego, jak i podziemnego. Można powiedzieć, że ta część Roztocza jest niewątpliwie największą strefą przepływów wód podziemnych. Świadczą o tym liczne i wydajne źródła występujące u podstawy krawędzi Roztocza od Turobina do Radecznicy<sup>1</sup>. Jakkolwiek nie zaznacza się tu zmiana w litologii utworów mastrychtu, to bardzo wyraźnie uwidacznia się wpływ szczelinowatości różnokierunkowej, właściwej dla utworów mastrychtu na całym północnym stoku Roztocza. Szczególne znaczenie mają szczeliny międzywarstwowe i kierunek upadu warstw w stronę doliny. O dużych przepływach w tej strefie świadczą też znaczne wydajności w studniach wierconych w obrębie tej zlewni. Ocena przepływu podziemnego zlewni Poru w odniesieniu do Roztocza wskazuje więc, że drenaż wód podziemnych przebiega w tej zlewni niejednakowo i że czynnikiem dominującym w przebiegu tego procesu są korzystne własności kolektorowe skał wodonośnych mastrychtu dolnego.

#### ZLEWNIA GORAJCA

Zajmuje ona powierzchnię 166,1 km<sup>2</sup>. Wodowskaz założono tu na moście przed Radecznicą dla rejestrowania przepływów pochodzących całkowicie z Roztocza, zarówno z utworów kredowych, jak i trzeciorzędowych. Największe źródło tej zlewni występuje w formie dużego rozlewiska w Chłopkowie i stanowi około 50% przepływu tej rzeki. Gorajec drenażuje profil utworów kredowych i trzeciorzędowych powyżej 200 m n.p.m.

#### ZLEWNIA ŁADY

Jej powierzchnia wynosi 127,7 km<sup>2</sup>. Wodowskaz założony w Rzeczycy znajduje się na zewnątrz krawędzi Roztocza. Poniżej wodowskazu nie stwierdzono występowania źródeł, poza nielicznymi okresowymi wysiękami u podstawy krawędzi, a zatem wodowskaz w Rzeczycy zarejestrował przepływy pochodzące w całości z Roztocza.

Rzeka drenażuje utwory kampanu i mastrychtu oraz częściowo sarmatu w strefie krawędzi od 260 do 230 m n.p.m., a więc odcinek trzydziestometrowy. Największy dopływ wód pochodzi z utworów kredowych, o czym świadczą liczne i wydajne źródła.

#### ZLEWNIA BRANWI

Ma powierzchnię 33,5 km<sup>2</sup>. Ten niewielki ciek drenażuje wody z utworów tortonu i sarmatu, wyłącznie z obszaru Roztocza. Znaczna część zlewni pokryta jest łałami krakowieckimi, które w dużej mierze ograniczają zasilanie zlewni wodami opadowymi.

#### ZLEWNIA BIAŁEJ

Zajmuje ona powierzchnię 47,5 km<sup>2</sup>. Biała drenażuje całkowicie utwory tortonu i sarmatu. Wodowskaz założony w Janowie Lubelskim zarejestro-

<sup>1</sup> W strefie tej występuje źródło w Zaporzu, opisane przez E. Duszyńską w 1968 r.

wał przepływy tylko z dorzecza Roztocza; poniżej wodowskazu nie stwierdzono obecności źródeł. Drenowaniem objęty jest odcinek profilu w granicach 278—210 m n.p.m. na długości około 14 km. Dolina rozcina całkowicie utwory tortonu i sarmatu, odwadniając w ten sposób cały ich kompleks od 280 do 210 m n.p.m. W zlewni zaznacza się bardzo duża szczelinowatość i obecność form krasowych.

#### ZLEWNIA SANNY

Na badanym obszarze Roztocza zajmuje ona powierzchnię 133,4 km<sup>2</sup>. Wodowskaz, założony na moście w Brzezinach przed ujściem Stanianki, zarejestrował przepływy pochodzące całkowicie z Roztocza — z utworów tortonu i sarmatu oraz częściowo kredowych, które występują w dnieniu doliny w wyniku rozcięcia utworów trzeciorzędowych. Rzeka drenuje odcinek profilu geologicznego powyżej 190 m n.p.m. W obszarze zlewni widoczna jest duża szczelinowatość utworów trzeciorzędowych i obecność form krasowych.

#### ZLEWNIA KARASIÓWKI

Zlewnia ta, badana tylko w strefie źródłowej, zajmuje powierzchnię 37,1 km<sup>2</sup>. Wodowskaz założony w Rzeczycy Ziemiańskiej miał na celu uchwycenie przepływu z końca zachodniej części Roztocza. Przepływy te pochodzą w całości z utworów kampanu, drenowanego powyżej 210 m n.p.m.

#### WYNIKI BADAŃ

Wartości przepływów zestawione w tabeli 1 porównano z opadami dla ustalenia orientacyjnej relacji, jaka istnieje między tymi wielkościami. Zagadnienie to, wchodzące w sferę bilansów wodnych, jest złożone, stanowi zwykle temat odrębnego studium i w niniejszym artykule nie zamierzano przeprowadzać bilansów wodnych poszczególnych zlewni. Należy bowiem wyjaśnić, że dokonanie pełnego dokładnego rachunku bilansowego dla zlewni Poru jest utrudnione ze względu na brak danych dotyczących parowania oraz bardzo zmienne wielkości opadów i stosunkowo krótki okres pomiarów.

Stacje opadowe na obrzeżeniu Roztocza rejestrowały większe ilości opadów (tabela 2) niż stacje w jego centralnej części. Np. stacje w Batorzu i Turobinie (zlewnia Poru) wykazują różnicę około 30% w rejestrowaniu opadów. Stacje w strefach krawędziowych natomiast rejestrują z reguły większe opady. Z tego powodu trudno jest ustalić, jak dalece ten bardzo zróżnicowany opad oddziałuje na wielkość zasilania poszczególnych zlewni. Dla porównania wskaźników podanych w tabeli 1 przyjęto średni wskaźnik opadów z lat 1965—1968, gdyż wszystkie wartości obliczeniowe i wynikowe pozostają niewątpliwie pod wpływem opadów z tych lat.

W zestawieniu porównawczym uwzględniono też zapas zretencjonowany wód pod koniec okresu obserwacyjnego, tj. w końcu 1968 r. Zapas ten obliczono wg znanego wzoru R. Mailleta:

$$Qt = Q_0 e^{-at}$$

Wzorem tym posługiwał się w swoich pracach R. Rosłoński (1947), zaleca go również K. Dębski (1970). Z dobrymi rezultatami wzór ten zastosował także H. Niedzielski (1967).

Warunki przeprowadzonych pomiarów w poszczególnych zlewniach odpowiadają zakresowi stosowalności tego wzoru. Wodowskazy bowiem, jak już wyżej zaznaczono, założone w strefach źródłowych tych zlewni pozwoliły rozdzielić z dużą dokładnością odpływ powierzchniowy od podziemnego, którego udział w odpływie całkowitym — jak to wynika z tabeli 1 — jest przeważający.

Wychodząc z tego założenia obliczono współczynniki regresji Mailleta „ $\alpha$ ” dla poszczególnych zlewni na podstawie krzywych opadania w dniach, kiedy pomiary wskazywały tendencję spadkową odpływu, pod koniec lub na początku roku hydrologicznego, a więc w październiku lub listopadzie. Postępowanie takie pozwala ustalić pojemność zlewni w dniu, kiedy wydajność  $Q_t$  odpowiadała minimalnemu stanowi regresji odpływu podziemnego. Obliczona pojemność jest więc ilością zretencjonowanego zapasu wody pod koniec, bądź na początku rozpatrywanego roku hydrologicznego.

Obliczanie stanów retencji umożliwia więc przeprowadzenie porównania, w jakim wzajemnym stosunku pozostają poszczególne wielkości przepływu wód i jaki jest ich stosunek do opadów. Odpowiednie zestawienia porównawcze przedstawiono w tabeli 3, a wartości średnie z dwu lat obliczeniowych w tabeli 4.

Zestawienie to nie jest, jak już zaznaczono, rachunkiem bilansowym (może być traktowane jedynie jako bilans surowy), ponieważ autor nie dysponuje ścisłymi danymi dotyczącymi parowania. Według danych PIHM wielkość parowania w latach 1951—1960 wynosiła na północnych stokach Roztocza około 450 mm, a w części wierzchwinowej i na stokach południowych około 400 mm. Z tabeli 4 wynika, że szacunek strat jest bliski tym wartościom. W pojęciu straty mieszczą się też pewne ilości wód przenikające prawdopodobnie do innych zlewni, które nie były objęte tym rachunkiem (Wieprz, Stanianka, Wyżnica, Bystrzyca).

Wpływ opadów na wielkość odpływu podziemnego zaznacza się zdaniem autora po upływie trzech miesięcy<sup>2</sup>; wynika to z porównania średnich miesięcznych wielkości przepływu podziemnego i opadu. Trzeba jednak dodać, że następuje to tylko w warunkach podwyższonych opadów ciągłych, jak to miało miejsce w latach 1966—1968. Przy opadach jednorazowych nawet bardzo dużych, wpływ ten uwidacznia się w czasie bardziej wydłużonym albo w ogóle nie jest widoczny.

Warto zaznaczyć, że dużą rolę spełniają tu korzystne w większości zlewni warunki retencjonowania wód. Polegają one na dużej pojemności wynikającej z chłonnego systemu szczelin kapilarnych (obok szczelin rozwartych), które utrzymują większe ilości wody, co jest szczególną właściwością utworów kredowych. Należy też podkreślić, że dużą rolę spełniają przy tym utwory lessowe. Pojemność retencyjna lessów jest również znaczna dzięki obecności chłonnego systemu kapilarnego, związanego z ich budową teksturalną. W ten sposób lessy chłoną duże ilości wód opado-

<sup>2</sup> Zagadnienie to omówiono szerzej w operacie znajdującym się w Archiwum Instytutu Geologicznego oraz w publikacji autora z 1973 r.

wych, które przemieszczają się stopniowo w obręb strefy saturacji. Problem ten został podniesiony przez K. Wojciechowskiego (1971). Autor ten wyraża pogląd, że chłonność lessów stanowi korzystny czynnik bilansu wodnego w południowo-wschodnim obszarze występowania lessów na Wyzynie Lubelskiej. Z tych więc zapewne powodów zretencjonowany np. zapas w zlewni Poru pod koniec 1968 r. stanowi zasób odpowiadający odpływowi dynamicznemu tej zlewni w okresie 5—7 miesięcy.

Zestawienie porównawcze w tabeli 1 wskazuje, że odpływ jednostkowy w poszczególnych latach badawczych nie był zmienny, z wyjątkiem zlewni Białej. Różnice zaznaczają się natomiast między zlewniami. Udział odpływu podziemnego w odpływie całkowitym zmienia się w granicach 63—91% w roku 1967 i 70—90% w 1968 r. Najmniejszy odpływ występuje w Branwi (63% w 1967 r. i 70% w 1968 r.). Dolina tego cieku rozwinięta jest w utworach sarmatu i drenuje zwięzłe wapienie i margle pokryte częściowo ilami krakowieckimi. Warunki zasilania i przepływu są tu więc najmniej korzystne spośród zlewni Roztocza. Udział odpływu podziemnego w pozostałych zlewniach jest wyższy i dochodzi do 93%.

Na szczególną uwagę zasługuje duży wzrost odpływu w zlewni Białej w 1968 r. — prawie dwa i półkrotnie w stosunku do 1967 r. Zdaniem autora są dwie przyczyny tego zjawiska. Pierwszą jest bardzo duża pojemność zlewni dzięki wielkiej szczelinowatości, obecności form krasowych i rozwartych szczelin; powoduje to całkowite wypełnienie wodonośca i utrzymywania się wysokich stanów zwierciadła wody przez cały rok. Drugą przyczynę stanowią wzmożone opady w latach 1965—1968, o czym świadczą dane stacji opadowej w Janowie Lubelskim — tabela 2. Bezmroźne zimy w latach 1966—1967 i 1967—1968 były czynnikiem sprzyjającym w stałym zasilaniu zlewni.

Stosunek odpływu podziemnego do całkowitego, określony jako współczynnik podziemnego zasilania rzeki, wykazuje dość duże wartości świadczące o korzystnych warunkach zasilania, przepływu, a także retencjonowania wód podziemnych (choć nie we wszystkich zlewniach jednako). Różnice w opadach, jakie się zaznaczyły w dwóch rozpatrywanych latach, uwidaczniają się stosunkowo niewielkimi zmianami odpływu nie przekraczającymi 7%; w dolinie Karasiówki wynoszą tylko 1%. Dowodzi to, że malejące nawet okresowo opady nie zaznaczają się bezpośrednio w wielkości odpływu, który w okresach niższych opadów uzupełniony jest znacznym zretencjonowanym zapasem. Spadki te nie uwidaczniają się nawet na hydrografach przepływu, jeżeli okresy z obniżonymi opadami nie trwają zbyt długo (dłużej niż 3 miesiące). Stosunkowo duży udział odpływu podziemnego w odpływie całkowitym jest zjawiskiem charakterystycznym dla stref źródłowych przy szczelinowym systemie krążenia wód. W skałach szczelinowatych, jak wiadomo, udział ten maleje w miarę wydłużania się doliny i wzrostu powierzchni zlewni.

Otrzymane wyniki porównano z wynikami z obszarów o podobnym jak na Roztoczu systemie przepływu wód. Do obszarów takich należy np. część Wyzyny Krakowsko-Sląskiej zbudowana z utworów jurajskich i kredowych. Duże podobieństwo zaznacza się w charakterystyce hydrogeologicznej utworów kredowych okolic Miechowa. J. Dynowska (1964) — badając dorzecze Szreniawy — podaje, że udział odpływu podziemnego jest bardzo duży i według H. Niedzielskiego (1967) wynosi 82% (wodowskaz Kacice).

Tabela 2

## Sumy opadów rocznych według danych stacji opadowych PIHM w latach 1959—1968

Stacja opadowa	Sumy opadów w latach									
	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
Wysokie	424,8	755,1	515,6	743,4	506,4	550,0	600,3	736,1	668,8	648,3
Zakrzówek	403,3	772,2	479,8	663,1	536,7	514,1	617,9	693,4	619,7	711,8
Frampol	429,4	768,2	520,0	646,0	492,3	560,8	695,7	536,2	701,2	883,2
Janów Lubelski	566,9	869,0	535,7	606,8	493,7	476,2	896,8	982,1	935,5	831,5
Potok stacja założona w IX. 60 r.			634,0	643,5	541,1	502,6	749,9	895,7	805,1	866,8
Polichna	550,2	818,8	508,6	772,0	528,2	656,0	770,5	904,6	697,6	790,5
Zwierzyniec	593,2	653,4	569,0	703,6	552,2	673,6	714,0	968,4	868,4	858,9
Szczembrzeszyn	440,0	616,5	471,0	569,3	514,8	581,4	627,0	832,0	677,4	793,2
Batorz	388,1	524,5	383,7	474,8	357,8	504,0	589,9	649,9	554,3	619,5
Turobin	475,6	824,0	544,5	688,8	667,6	789,0	980,8	855,2	804,7	895,9

Tabela 3

Zestawienie porównawcze wskaźników odpływu i retencji w zlewniach  
Roztocza Zachodniego w latach 1967—1968

Zlewnia	1967				1968				Średnia za okres 1967—1968	
	Odpływ powierzchniowy w mm Hp	Odpływ podziemny w mm Hg	Retencja w końcu roku hydrologicznego w mm Hr	Razem	Odpływ powierzchniowy w mm Hp	Odpływ podziemny w mm Hg	Retencja w końcu roku hydrologicznego w mm Hr	Razem	Hp mm	Hg mm
Por	31,5	217,6	62,4	311,5	22,7	182,9	39,2	244,8	27,1	200,2
Gorajec	116,7	242,8	30,0	395,5	22,8	220,0	16,0	258,8	69,4	231,4
Łada	50,5	186,0	9,5	246,0	15,7	233,4	13,2	262,3	33,1	209,1
Branew	88,3	151,4	8,5	248,2	72,5	129,3	10,5	212,3	80,4	140,3
Biała	34,7	186,0	30,0	250,7	120,1	409,9	38,3	568,3	77,4	292,9
Sanna	59,9	211,3	6,0	276,2	44,1	252,3	12,0	308,4	52,0	264,2
Karasiówka	15,8	242,8	6,0	264,6	15,7	211,3	37,2	295,8	15,8	227,0

Tabela 4

Zestawienie porównawcze średnich wskaźników odpływu, retencji i opadu w zlewniach Roztocza Zachodniego  
za okres 1967—1968

Zlewnia	1965—1968	1966—1967 i 1967—1968		1968	Straty w mm S	Stosunek odpływu podziemnego do opadów %% $\frac{Hg}{H}$	Współczynnik podziemnego zasilania w %% $\frac{Hg}{Hp}$
	Średni wskaźnik opadu w mm H	Średni odpływ powierzchniowy w mm Hp	Średni odpływ podziemny w mm Hg	Retencja pod koniec roku hydrologicz. w mm Hr			
Por*							
(Gruszka Zaporska)	703,1	27,1	200,2	39,2	436,6	28	88
Gorajec	732,4	69,7	231,4	16,0	425,6	31	76
Łada	654,4	33,1	209,1	13,2	399,0	31	86
Branew	654,4	80,4	140,3	10,5	423,2	21	63
Biała	808,5	77,4	292,9	38,3	399,9	36	89
Sanna	767,4	52,0	264,2	12,0	439,7	33	83
Karasiówka	722,2	15,8	227,0	37,2	442,2	31	93

\* Uwzględniono całkowitą powierzchnię zlewni.

Z opracowania hydrologicznego dorzecza Rudawy (A. Tłałka, 1970) wynika, że średni odpływ podziemny w profilu wodowskazu Babice wynosił (w latach 1955—1964) 68<sup>0</sup>/<sub>0</sub> odpływu całkowitego. Maksymalny odpływ zarejestrowano tu w 1959 r. — 84<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, a minimalny w 1962 r. — 55<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Obszar dorzecza Rudawy jest pod względem stopnia szczelinowatości i tektonicznego zaangażowania najbardziej zbliżony do obszaru Rostocza.

J. Pawlik-Dobrowolski (1971) przedstawiając odpływ podziemny Czarnej Wody i Białej Wody w Małych Pieninach podaje, że średni odpływ gruntowy z okresu 1965—1968 wynosił dla Czarnej Wody 83,7, a dla Białej Wody 70,2<sup>0</sup>/<sub>0</sub> odpływu całkowitego. Różnice te autor wiąże z różnym stopniem pokrycia leśnego, korzystniejszego w zlewni Czarnej Wody. Powierzchnie obu zlewni nie przekraczają 5 km<sup>2</sup>.

Korzystna ocena warunków zasilania i wielkości przepływów dynamicznych na Rostoczach Zachodnim wynika również z porównania ich z opadami. W tabeli 4 podano, że współczynnik odpływu podziemnego w poszczególnych zlewniach jest dość duży i maksymalnie dochodzi do 36<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Jeżeli dane te porównać z wynikami otrzymanymi przez J. Dynowską dla dorzecza Szreniawy, to okazuje się, że odpływ podziemny wynosił tu w latach 1958 i 1960 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub> opadów. H. Niedzielski (1967) podaje, że odpływ ten w zlewni Szreniawy na wodowskaziu Kacice wynosi 17,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> opadów (średnia z lat 1956—1961 — 596 mm).

J. Rosłoński (1948) — analizując odpływ zlewni Sanu w przekroju Nisko oraz zlewni Wereszycy i Tyry — wyprowadza wniosek, że odpływ podziemny w stosunku do opadów — wynoszący 16<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — można uznać za bardzo dobry, a wynoszący 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — za wyjątkowy. Należy przy tym zauważyć, że wyniki te były oparte w większym stopniu na wyliczeniach punktowych, odnoszących się do dużych powierzchni zlewni i z tego powodu mogą być uważane za nieco niższe.

W zlewni Rudawy średni odpływ podziemny z dziesięciolecia 1955—1964 wynosi 24,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, a maksymalny w 1956 r. — 37<sup>0</sup>/<sub>0</sub> opadów (A. Tłałka, 1970). Dla zlewni Prądnika odpływ podziemny według danych E. Goc (1968) kształtował się w latach 1957—1958 w granicach 30<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, a w 1966 r. 17<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Odpływ podziemny na Rostoczach stanowi średnio 30<sup>0</sup>/<sub>0</sub> opadów (średnie opady z lat 1965—1968). Najniższy stosunek odpływu podziemnego do opadów występuje w zlewni Branwi — 21<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, a najwyższy w zlewni Białej — 36<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Przytoczone dane liczbowe z innych zlewni i obszarów geologicznych stanowią jedynie porównanie względne, mające na celu wykazanie rzędu wielkości wskaźników odpływu podziemnego i korzystnych na tym tle warunków hydrogeologicznych Rostocza. Mając na uwadze taki właśnie cel przeprowadzonego porównania autor uważa, że obliczone wskaźniki odpływu są porównywalne z wielkościami charakteryzującymi obszary o szczelinowym systemie krążenia wód podziemnych i w odniesieniu do okresów o podwyższonych opadach atmosferycznych można je uznać za miarodajne dla omawianego obszaru Rostocza.

## PIŚMIENNICTWO

- AREN B. (1959) — Miocen Roztocza Lubelskiego w okolicy Wierchowisk. Biul. Inst. Geol., **130**, p. 5—27. Warszawa.
- AREN B. (1962) — Miocen Roztocza Lubelskiego pomiędzy Sanną a Tanwią. Pr. Inst. Geol., **30**, cz. III, p. 5—55. Warszawa.
- AREN B. (1968) — Mapa geologiczna Roztocza Lubelskiego. Inst. Geol. Warszawa.
- DEBSKI K. (1970) — Hydrologia. Wyd. Arkady. Warszawa.
- DYNOWSKA I. (1964) — Obieg wody w obszarze wyżynnym zbudowanym z marglu kredowego na przykładzie dorzecza górnej Szreniawy. Zesz. nauk. UJ, nr 80, Pr. geogr., z. 8. Kraków.
- GOC E. (1968) — Metodyka określania bilansu hydrogeologicznego na przykładzie dorzecza Prądnika. II Naukowo-Techniczna Konferencja — Hydrogeologia i Geologia inżynierska. Gdańsk — Warszawa.
- MALINOWSKI J. (1973 a) — Zasilanie i drenaż wód podziemnych Roztocza Środkowego. Arch. Inst. Geol. Warszawa.
- MALINOWSKI J. (1973 b) — Hydrogeologiczna charakterystyka źródeł Roztocza Zachodniego. Biul. Inst. Geol., **277**, p. 87—103. Warszawa.
- NIEDZIELSKI H. (1967) — Hydrogeologia Wyżyny Miechowskiej. Maszynopis pracy doktorskiej.
- NIEDZIELSKI H. (1972) — Hydrochemizm strefy hipergenicznej na Wyżynie Miechowskiej. Roczn. Pol. Tow. Geol., **42**. Kraków.
- PAWLIK-DOBROWOLSKI J. (1971) — Odpływ gruntowy dwu małych zlewni górskich o różnym stopniu zalesienia. Wiad. Inst. Melior., **10**, nr 1. Warszawa.
- ROSŁOŃSKI R. (1947) — Bilans wodny dorzecza i metoda do jego obliczeń służąca. Wiad. Służby hydr.-meteorol., **1**, nr 2. Warszawa.
- ROSŁOŃSKI R. (1948) — Kurs hydrogeologii. AGH. Kraków.
- TLAŁKA A. (1970) — Obieg wody w zrębowym obszarze wyżynnym na przykładzie dorzecza Rudawy. Zesz. nauk. UJ, nr 215, Pr. geogr., z. **24**. Kraków.
- WILGAT T. (1968) — Przeglądowa mapa hydrogeograficzna województwa lubelskiego. Ann. UMCS, [B], **20**, p. 223—242. Lublin.
- WOJCIECHOWSKI K. (1966) — Niedobory i nadwyżki wodne w województwie lubelskim. Ann. UMCS, [B], **18**. Lublin.
- WOJCIECHOWSKI K. (1971) — Rola pokrywy lessowej w kształtowaniu się stosunków południowo-wschodniej części Wyżyny Lubelskiej. Zesz. nauk. UJ, nr 281, p. 59—64, Pr. geogr., z. 29. Kraków.



Ян МАЛИНОВСКИ

## ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПОДЗЕМНОГО СТОКА В ЗАПАДНОМ РОЗТОЧЬЕ

### Резюме

В статье представлены результаты изучения подземного стока на территории Западного Розточья. В 1966—1971 годах автор провел здесь гидрогеологические исследования, а изучением подземного стока занимался в 1966—1969 годах. Измерения производились в семи водосборных бассейнах, области алиментации которых расположены в Западном Розточье. Подземные воды здесь находятся в отложениях верхнего мела (сантон, кампан, маастрихт), а также в третичных отложениях, представленных нижним и верхним тортоном и нижним сарматом. Залегание этих пород показано на фиг. 1.

Главной системой циркуляции подземных вод являются трещины в породах обеих формаций. На основе проведенных до настоящего времени геологических исследований выделено три вида трещин:

- СЗ—ЮВ направления, являющимся главным тектоническим направлением Розточья;
- перпендикулярного направления СВ—ЮЗ;
- внутрипластовые трещины, параллельные простиранию и падению пластов.

Трещины первого и второго направления пересекают меловые и третичные породы и таким образом составляют общую гидравлическую систему циркуляции.

Границы дренажа отдельных водосборных бассейнов представлены на фиг. 2. В пределах бассейна (фиг. 3) поставлено семь водомерных реек, по которым ежедневно проводится отсчет расхода воды и периодические гидрометрические измерения, которые позволили составить кривые потребления. Деление стока на поверхностный и подземный произведено методом срезания паводковых волн. Величина удельных стоков показана в табл. 1, в таблице 3 представлены показатели поверхностного и подземного стока и регуляции, а средние сравнительные значения показателей осадков, стока, регуляции и потерь показаны в таблице 4.

Jan MALINOWSKI

## HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF GROUND-WATER DISCHARGE IN THE WEST ROZTOCZE REGION

### Summary

The article presents the results of the investigations made on ground-water discharge within the West Roztocze Region. In this area the author carried out his hydrogeological research in the years 1966—1971, and that on ground-water discharge in the years 1966—1969. The investigations were concentrated within seven catchment areas, whose source and alimentation regions are in the West Roztocze Region. Ground water occurs here in the Upper Cretaceous formations (Santonian, Campanian, Maestrichtian), and in the Tertiary formations represented by the Lower

and Upper Tortonian and the Lower Sarmatian deposits. The occurrence of these formations is shown in Fig. 1.

Fissures in the rocks of both formations are the main circulation system for ground water. The geological research allowed the following three kinds of fissures to be distinguished:

- fissures of a NW-SE direction which is the main tectonic direction in the Roztocze Region;
- fissures of a perpendicular NE-SW direction;
- interlayer fissures, parallel to the strike and dip of beds.

The fissures of the first and the second directions cut the rock complexes of Cretaceous and Tertiary age, thus making one circulation system connected hydraulically.

The drainage range of the individual catchment basins is presented in Fig. 2. Within the catchment basins (Fig. 3) seven water gauges have been installed, on which daily flows have been read off, and periodical hydrometric measurements executed to construct the appropriate consumption curves. The differentiation into the underground and surface discharges has been made according to the method of cutting inflow waves. The values of unit discharge are presented in Table 1. The comparison of the coefficients of surface runoff, ground-water discharge and retention is shown in Table 3, and the mean comparative values of the coefficients of precipitation, discharge, retention and losses — in Table 4.