

## ***Odptyw podziemny w wybranych zlewniach Pienińskiego Parku Narodowego***

Baseflow runoff in selected catchments of the Pieniny National Park

WŁODZIMIERZ HUMNICKI

*Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa*

**Abstract.** On the basis of four-year stationary observations in two selected catchments in the Pieniny National Park, the ground runoff modules characterizing the deposits of Pieniny Klippen Belt were calculated. The calculation has been performed by means of three methods, namely, the Wundt's method, Kille's method and the method of graphic hydrograph separation. The obtained results of specific ground runoff within 1.8 and 4.5 l/s\*km<sup>2</sup> indicate comparable although more favourable circulation and drainage conditions for groundwaters of the Pieniny Klippen Belt in comparison to those of the Podhale flysch, where results varied between 0.8 and 2.5 l/s\*km<sup>2</sup>.

### WSTĘP

Badania hydrogeologiczne na obszarze Podhala, rozpoczęte jeszcze przed II Wojną Światową przez Gołąba (1947) kontynuowane były po wojnie w ramach prac Katedry Hydrogeologii przy Wydziale Geologii UW a następnie w Instytucie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej. Podsumowanie zebranych w tym czasie materiałów stanowi opracowanie monograficzne „Hydrogeologia Podhala” (Małecka 1981), którego uzupełnieniem są dwie mapy: geologiczna i hydrogeologiczna w skali 1:100 000 wydane w 1982 r. (Małecka 1982 a, b). Praca ta zawiera charakterystykę przyrodniczych warunków górnej części zlewni Dunajca nie zniekształconych jeszcze budową zespołu zbiorników Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne.

W pierwszej połowie lat 80-tych zapoczątkowany został okres antropogenicznych przemian

doliny Dunajca wywołanych budową Zbiornika Czorsztyńskiego. W związku z powyższym ważnym zagadnieniem badawczym stało się określenie wpływu tej inwestycji na środowisko wodne obszarów przyległych. Dotychczasowe opracowania dotyczące tego zagadnienia prowadzą do wniosku, że wymaga to uwzględnienia analizy warunków przyrodniczych całej górnej części zlewni Dunajca oraz wykorzystania informacji zarówno monitoringu regionalnego jak i lokalnego w świetle charakterystyki klimatycznej terenu (Małecka 1996).

Analiza wyników badań stacjonarnych oparta na długoletnich ciągach obserwacyjnych pozwoliła na stwierdzenie, że antropogeniczne przekształcenie doliny Dunajca najsilniej zaznaczyło się w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej, zwłaszcza w najbliższym sąsiedztwie czaszy zbiornika, gdzie zaobserwowano istotne zmiany w układzie zwierciadła wód podziemnych.

W reżimie hydrologicznym Dunajca wyróżnić można trzy okresy:

- pierwszy, poprzedzający budowę zapory
- drugi, w którym na skutek prac inwestycyjnych dolina Dunajca podlegała stopniowemu przekształceniu powodującemu obniżenie regionalnej bazy drenażowej
- trzeci, w czasie napełniania i pracy zbiornika.

W tym świetle, przedstawiona w niniejszym artykule, charakterystyka odpływu podziemnego wybranych zlewni dotyczy wyłącznie okresu, w którym reżim hydrologiczny Dunajca, który stanowi bazę drenażową analizowanych dopływów uwarunkowany jest sposobem eksploatacji zespołu zbiorników.

Do badań eksperymentalnych wytypowano dwie zlewnie położone na obszarze Pienińskiego Parku Narodowego: zlewnię Głębokiego Potoku uchodzącego bezpośrednio do Zbiornika Sromowieckiego, którego baza drenażowa uległa zmianie na skutek budowy zapory w Sromowcach Wyżnych oraz zlewnię Macelowego Potoku uchodzącego do Dunajca w Sromowcach Niżnych (Ryc. 1).

Wybór został spowodowany faktem, że wszystkie dotychczasowe opracowania dotyczące odpływu podziemnego dotyczyły układu zlewniowego, który w przypadku Podhala obejmuje szereg różnych jednostek geologiczno-strukturalnych. W danym przypadku autor postawił sobie jako cel określenie odpływu podziemnego w obszarze reprezentującym wyłącznie utwory pienińskiego pasa skałkowego. Poza tym, przy wyborze zlewni wzięto pod uwagę fakt, iż są one położone w obrębie obszaru chronionego przez Pieniński Park Narodowy – nie podlegają więc bezpośrednim wpływom antropogenicznym.

Reżim hydrologiczny i hydrogeologiczny obu zlewni, ze względu na znaczne wyniesienie masywu Pienin nad dolinę Dunajca, meteoryczne zasilanie i szybki obieg wód drenowanych przez potoki i źródła sprawia, że mamy tu do czynienia z obszarem charakteryzującym się dużą indywidualnością przyrodniczą (Małecka, Humnicki 2001, 2002). Stąd też bezpośrednie przenoszenie wyników badań monitoringowych z innych obszarów na teren Pienińskiego Parku Narodowego może prowadzić do błędnych wniosków.

Ze względu na brak penetracji terenu otworami wiertniczymi określenie odpływu podziemnego z konieczności oparte być musi na wynikach badań stacjonarnych w wytypowanych przekrojach hydrometrycznych. W związku z powyższym, w listopadzie 1997 r. w ujściowych odcinkach obu potoków, ale jeszcze przed właściwą doliną Dunajca, założono łąty wodowskazowe i rozpoczęto codzienne obserwacje stanów wód powierzchniowych.

Okresowe pomiary objętości przepływu umożliwiły sporządzenie krzywych konsumpcyjnych i przeliczenie stanów wodowskazowych na objętości przepływów Głębokiego i Macelowego Potoku. Dzięki temu stała się możliwa prezentowana poniżej próba wyznaczenia modułu odpływu podziemnego dla obu zlewni oraz analiza jego zmienności w czasie.

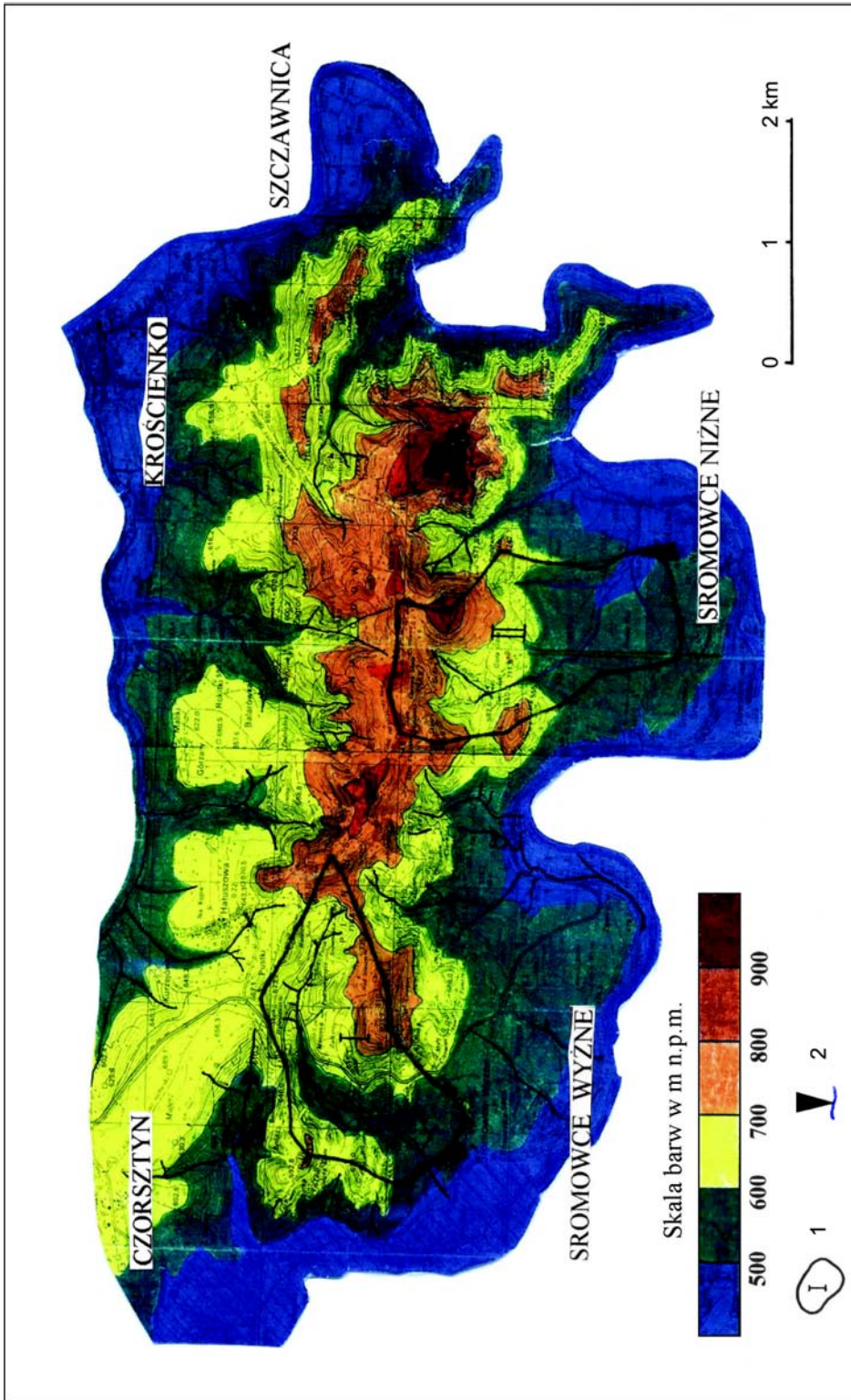
## PRZYRODNICZA CHARAKTERYSTYKA ZLEWNI

### *Zlewnia Głębokiego Potoku*

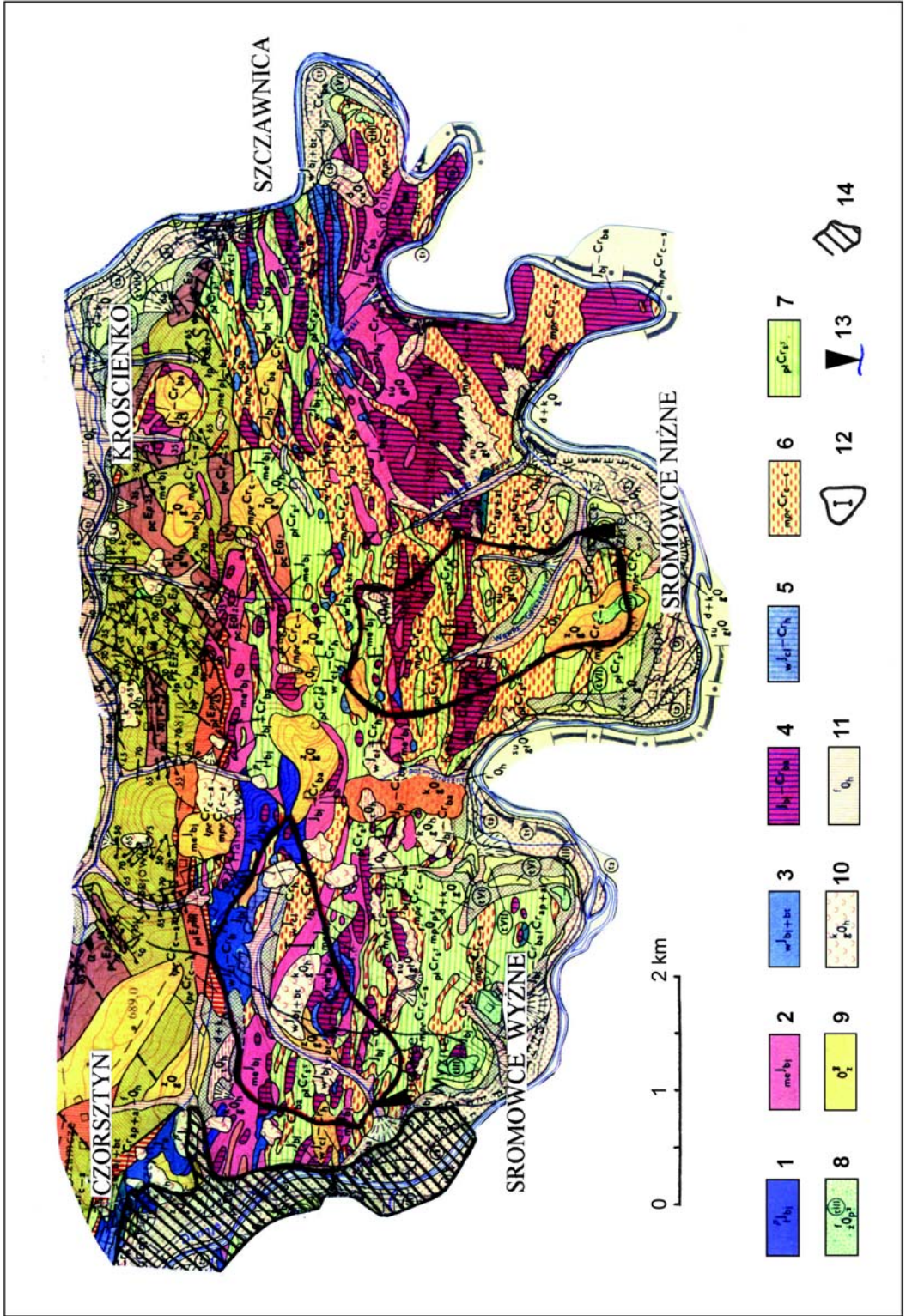
Zlewnia położona w zachodniej części Pienin Czorsztyńskich charakteryzuje się urozmaiconą rzeźbą i znacznymi spadkami terenu, co wynika z niezwykle skomplikowanej budowy geologicznej (Ryc. 2). Najwyższym punktem zlewni jest góra Flaki (810 m n.p.m.), ujściowy odcinek doliny przy wodowskazie położony jest na wysokości 490 m n.p.m., całkowita deniwelacja wynosi więc 320 m.

Głębokiego Potok rozpoczyna swój bieg na wysokości ok. 700 m n.p.m., ma długość 3,1 km, średni spadek ok. 6,8% i uchodzi do Zbiornika Sromowieckiego.

Dolina potoku kilkakrotnie zmienia kierunek. Obszar źródłowy, wykształcony w postaci głębokich nisz o zboczach stromych ale nie skalistych, znajduje się w obrębie piaskowców i miękkich margli osłony skałkowej. W dalszym biegu dolina ma wygląd skalistego wąwozu, gdyż przełamuje się przez grube ławice wapienia rogowcowego ( $J_{bj}$ - $Cr_{ba}$ ). Jej dno jest wąskie i nierówne, z progami i załomami a zbocza strome o nachyleniu do 30°. Dolny odcinek przybiera kształt doliny płaskodennej o stromych, następnie łagodniejszych w ujściowych partiach zboczach. U wylotu do doliny Dunajca, obecnie Zbiornika Sromowieckiego,



**Ryc. 1.** Morfologiczna sytuacja zlewni: I – granice analizowanych zlewni: I – Głębokiego Potoku, II – Macelowego Potoku; 2 – wodowskazy.  
 Catchment morphological situation: 1 – borders of analysed catchments: I – Głęboki Stream Catchment, II Macelowy Stream Catchment; 2 – water-gauges station.



usypany jest stożek napływowy. Na tym odcinku podłoże stanowią ponownie mało odporne warstwy osłony skałkowej.

Wodowskaz usytuowany jest ok. 300 m powyżej ujścia potoku (powyżej stożka napływowego) i zamyka zlewnię o powierzchni 2,34 km<sup>2</sup>. Generalnie na obszarze zlewni przeważają jurajskodolnokredowe utwory wapienne wśród których największą rolę odgrywają warstwy nadposidoniowe ( ${}_{me}J_{bj}$ ) i wapienie rogowcowe ( $J_{bj}-Cr_{ba}$ ).

Gęstość źródeł na obszarze zlewni jest wysoka i wynosi 11,5 źr/km<sup>2</sup>. Źródła w przeważającej mierze zaliczyć należy do szczelinowych ekranowanych zwietrzeliną. Wydajności większości źródeł są niewielkie, sporadycznie osiągają wydajność 0,6 l/s przy zdecydowanej przewodzie przedziału 0,01–0,05 l/s. Największą liczbę źródeł zarejestrowano w piętrze hipsometrycznym 550–600 m n.p.m., z czego można wnioskować, iż jest to strefa odznaczająca się najintensywniejszym drenażem wód podziemnych.

### *Zlewnia Macelowego Potoku*

Również w zlewni Macelowego Potoku wpływ skomplikowanej budowy geologicznej uwidoczni się wyraźnie w rzeźbie terenu.

Najwyższym punktem w otoczeniu jest Nowa Góra (901 m n.p.m.), ujściowy odcinek doliny położony jest na rzędnej 470 m n.p.m., co daje całkowitą deniwelację 431 m. Macelowy Potok wypływa ze źródła położonego na wysokości 770 m n.p.m. pod głównym grzbieciem Pienin. Jego długość wynosi 3,8 km a średni spadek 8,3%.

Na obszarze zbudowanym z wapieni rogowcowych ( $J_{bj}-Cr_{ba}$ ) oraz wapieni i margli warstw nadposidoniowych ( ${}_{me}J_{bj}$ ) potok tworzy głęboką i wąską dolinę z licznymi progami a bieg doliny zbliżony jest do południkowego. Po ok. 1,2 km biegu potok wpływa na obszar plioceńskiej powierzchni zrównania (Klimaszewski 1972) zbudowanej z górnokredowego kompleksu skał marglisto-fliszowych, następuje zdecydowana zmiana charakteru doliny, a potok Macelowy prowadzi swe wody krętym korytem w obrębie szerokiej doliny zmieniając bieg na równoleżnikowy. Ujściowy odcinek położony jest już w obrębie aluwialnych tarasów doliny Dunajca.

Wodowskaz usytuowany jest ok. 700 m od koryta Dunajca (powyżej aluwiów doliny) i zamyka zlewnię o powierzchni 2,64 km<sup>2</sup>.

Wskaźnik uźródlenia jest niższy w porównaniu ze zlewnią Głębokiego Potoku i wynosi

**Ryc. 2.** Wycinek mapy geologicznej w skali 1 : 50 000 (Kulka i in. 1985) z lokalizacją zlewni. 1–11 Objaśnienia barw i symboli (w obrębie badanych zlewni)

Serie pienińskiego pasa skałkowego: – Jura środkowa: 1 – łupki posidoniowe (bajos), 2 – margle plamiste i wapienie (warstwy nadposidoniowe – bajos), 3 – wapienie krynowide (bajos + baton); – Jura środkowa-kreda dolna: 4 – radiolaryty, wapienie pseudobulaste, wapienie rogowcowe (bajos + barrem), 5 – wapienie bulaste, radiolaryty, wapienie kalpionellowe, brachiopodowe, krynowide i okrucowe (kelowej-hoteryw). Osłona serii pienińskiego pasa skałkowego: – Kreda górna: 6 – margle pstre (senon-cenoman), 7 – piaskowce i łupki z wkładkami zlepieńców (warstwy sromowieckie – senon). Czwartorzęd: – Plejstocen: 8 – żwiry, gliny i piaski tarasów erozyjno-akumulacyjnych; – Holocen: 9 – gliny, gliny piaszczyste i gliny z rumoszem skalnym, zwietrzelinowe lub innej genezy, 10 – gliny, gliny z rumoszem skalnym i gruz skalny, koluwalne, 11 – żwiry, piaski i gliny rzeczne tarasów zalewowych; 12 – granice analizowanych zlewni: I – Zlewnia Głębokiego Potoku, II – Zlewnia Macelowego Potoku; 13 – wodowskazy; 14 – zespół zbiorników Czorsztyń-Niedzica-Sromowce Wyżne.

Sector of geological map 1:50 000 (Kulka et al. 1985) with catchment localization. 1–11 Explanation of colours and symbols (within analysed catchments).

Series of Pieniny Klippen Belt: – Middle Jurassic: 1 – postsidion shales (bajocian), 2 – stained marl and limestone (overpostsidion layers – bajocian), 3 – crinoid limestone (bajocian + baton); – Middle Jura – Lower Cretaceous: 4 – radiolarites, pseudo-bulb limestone, cherty limestone (bajocian + barremian), 5 – bulb limestone, radiolarites, calpionella, brachiopod, crinoid and brittle limestone (kelowej – hoteryv). Guard of series of Pieniny Klippen Belt: – Upper Cretaceous: 6 – many-coloured marl (senonian-cenomanian), 7 – sandstone, shales with conglomerate insertions (layers of Sromowce – senonian). Quaternary: Pleistocene: 8 – gravel, clays and sand of erosion and accumulation terraces; – Holocene: 9 – clays, clays with rock waste and stone debris, colluvium, 11 – gravel, sand and fluvial clays of flood terraces; 12 – borders of analysed catchments: I – Głębokii Stream Catchment, II Macelowy Stream Catchment; 13 – water-gauges station; 14 – reservoirs Czorsztyń-Niedzica Sromowce Wyżne

8,9  $\text{żr}/\text{km}^2$ , przy czym zaledwie 5% źródeł wpływa ze skał wapiennych a 95% z utworów marglisto-fliszowych (Gruszczynski 1999). Źródła w zdecydowanej przewadze można zaliczyć do szczelinowych ekranowanych zwietrzeliną. Podobnie jak na terenie całego Pienińskiego Parku Narodowego dominują źródła o wydajnościach poniżej 0,05 l/s przy czym zaobserwowano prawidłowość, iż najniższymi wydajnościami charakteryzują się źródła ze strefy podgrzbietowej, a w miarę posuwania się w dół stoków wydajności systematycznie rosną (Małecka, Humnicki 2001, 2002).

### UZYSKANE WYNIKI BADAŃ

Dysponując wynikami obserwacji stacjonarnych w wyznaczonych przekrojach hydrometrycznych przeprowadzono obliczenia wartości modułu odptywu podziemnego trzema metodami: Wundta, Killego oraz graficznego rozdziału hydrogramu.

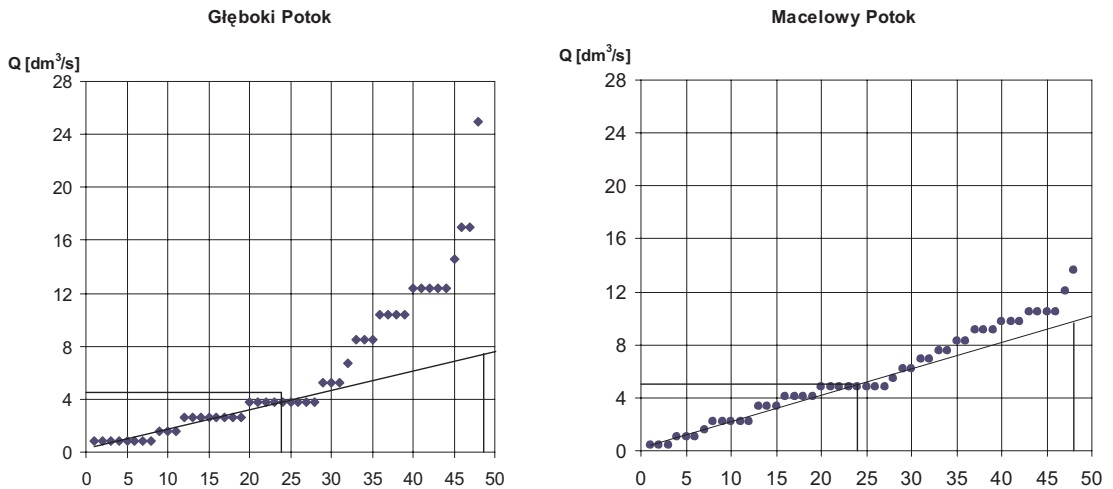
Pierwsza z metod – Wundta (1958) utożsamia średni odptyw podziemny na obszarze zlewni ze średnim minimalnym odptywem miesięcznym w przekroju hydrometrycznym zamykającym zlewnię.

Druga z zastosowanych metod – Killego (1970) polega na wrysowaniu w układ współrzędnych rosnąco uporządkowanych wartości minimalnych przepływów miesięcznych. Średni odptyw podziemny odpowiada wtedy rzędnej zlinearyzowanego odcinka wykresu dla połowy osi odciętych (Ryc. 3).

Zdaniem Dynowskiej (1983) metoda Killego daje z reguły wartości niższe od metody Wundta, co jest podstawą przypuszczenia, że wyeliminowany jest udział odptywu podpowierzchniowego oraz podziemnego o charakterze krótkokresowym. Podobne zależności uzyskano stosując obie metody w tatrzańskiej części zlewni Białki, gdzie metoda Killego dawała wartości niższe od 7 do 35% w porównaniu z metodą Wundta (Humnicki 1997).

Zależność tę potwierdzają również obliczenia dla obu analizowanych zlewni położonych w obrębie pienińskiego pasa skałkowego. W przypadku Głębokiego Potoku różnica modułu odptywu podziemnego wynosi 0,8  $\text{l/s}\cdot\text{km}^2$  co stanowi ok. 31 %, natomiast w przypadku Macelowego Potoku 0,1  $\text{l/s}\cdot\text{km}^2$  tj. ok. 5% (Tab. I).

Zilustrowany na rycinie 3 odmienny rozkład minimalnych przepływów miesięcznych świad-



**Ryc. 3.** Metoda wyznaczania średniego odptywu podziemnego wg Killego – minimalne przepływy miesięczne z lat 1998–2001 uporządkowane w rosnący szereg rozdzielczy.

Kille's method of establishing average baseflow runoff – monthly minimal flows between 1998 and 2001 ordered in the ascending distributive series.

**Tabela I.** Moduły odptywu podziemnego [ $l/s \cdot km^2$ ].  
Baseflow modules [ $l/s \cdot km^2$ ].

Metoda – Method	Okres – Period	Zlewnia – Catchment	
		Głębokiego Potoku Głęboki Stream	Macelowego Potoku Macelowy Stream
Wundta	1998–2001	2,6	2,1
Killego		1,8	2,0
ścięcia fali wave shearing	2000	3,1	2,5
	2001	4,5	3,2
	2000–2001	3,8	2,8
na podstawie pomiaru niżówkowego on the basis of low water measurement	IX.1998 September 1998	3,0	2,0

czy o zróżnicowanym drenażu wód podziemnych w obu zlewniach.

Ponieważ metody Wundta i Killego umożliwiają jedynie uzyskanie średniej wartości odptywu podziemnego w określonym interwale czasowym, a nie pozwalają prześledzić rozkładu tego parametru w poszczególnych miesiącach roku, autor dokonał również analizy zmienności odptywu podziemnego w czasie na podstawie genetycznego rozdziału hydrogramu dla dwóch lat hydrologicznych 2000 i 2001 (Ryc. 4).

Analizowane hydrogramy wskazują na dużą wrażliwość przepływu obu potoków na czynniki klimatyczne. Najwyższe wezbrania związane są z letnimi intensywnymi opadami atmosferycznymi. Zanotowano je na przełomie lipca i sierpnia 2000 r. oraz w lipcu 2001 r.

Reakcja przepływu na opady atmosferyczne jest niemal natychmiastowa. Świadczy to o dużej roli jaką w obu zlewniach odgrywa spływ powierzchniowy. Wywołane jest to znacznymi spadkami terenu oraz izolacją podłoża przez nadkład glin zwietrzelinowych utrudniającej infiltrację.

Drugim istotnym czynnikiem wpływającym na wzrost objętości przepływu potoków jest wiosenne topnienie pokrywy śnieżnej, które w latach 2000 i 2001 rozpoczęło się już na początku lutego i trwało z przerwaniem wywołanymi nawrotami ujemnych temperatur powietrza do końca kwietnia.

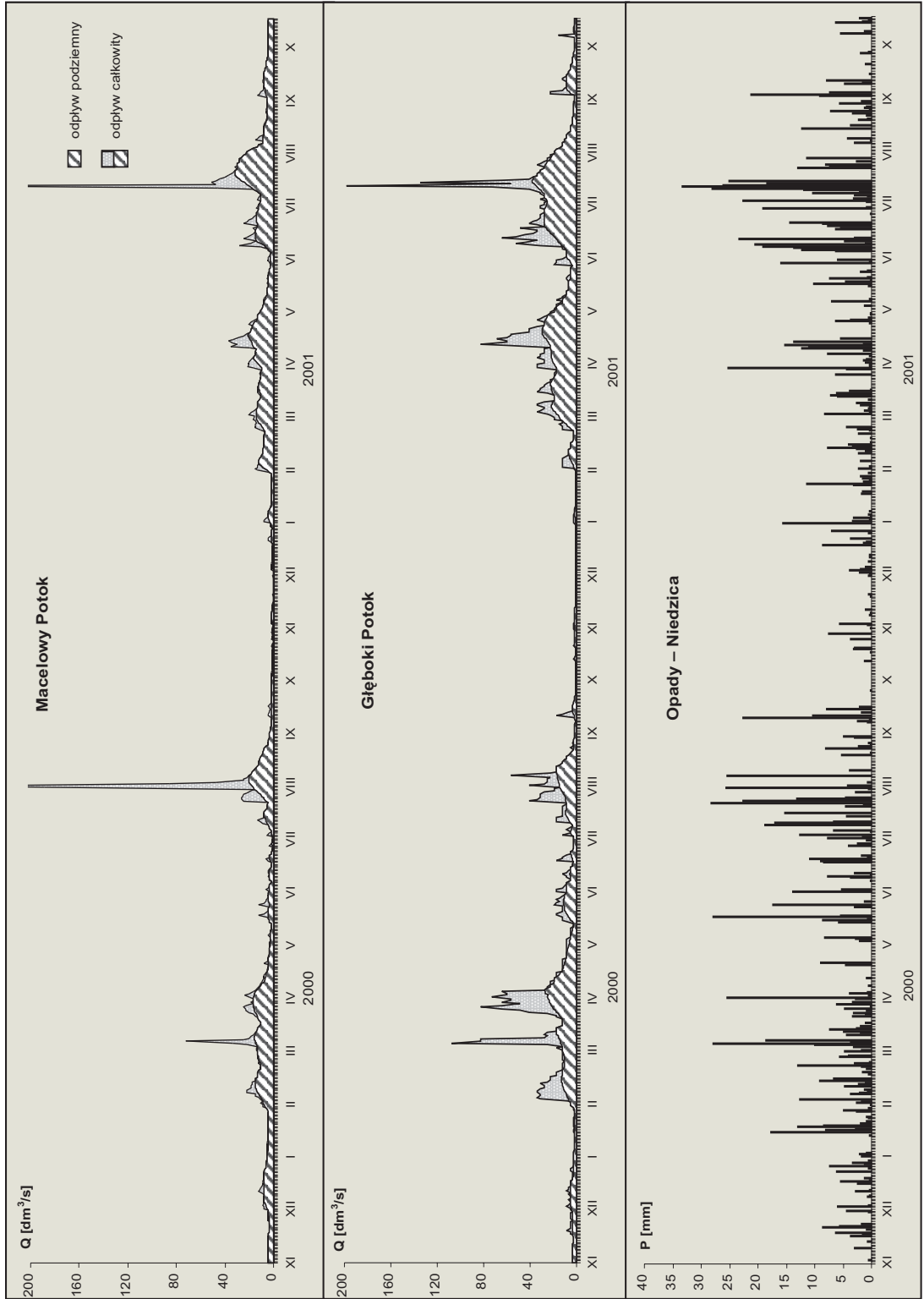
Przełom maja i czerwca to okres niżówek poprzedzających letnie wezbrania. Drugi, znacznie

dłuższy okres niżówek, to miesiące jesienno-zimowe, od września do lutego, kiedy to przepływ potoków pochodzi niemal wyłącznie z drenażu wód podziemnych.

Rozdziału hydrogramu na składowe odptywy podziemnego i spływu powierzchniowego dokonano metodą ścięcia fali przy założeniu, że najwyższe wartości odptywu podziemnego występują pod koniec przejścia fali wezbraniowej. Warto przy tym zaznaczyć, iż dotychczas nie ma jednoznacznych metod określania różnych składowych odptywu. Sposób ustalania linii podziału, mający wiele wariantów, jest w znacznym stopniu subiektywny, zwłaszcza w przypadku często po sobie następujących fal wezbraniowych jak to ma miejsce w obszarach górskich (Kiciński 1960; Boduch, Chełmicki 1977; Gutry-Korycka 1978; Tallaksen 1995).

Obliczone na podstawie rozdziału hydrogramu moduły odptywu podziemnego są zdecydowanie wyższe od wartości uzyskanych metodą Wundta i Killego. Generalnie, bez względu na stosowaną metodę obliczeń, zlewnia Głębokiego Potoku charakteryzuje się nieco wyższym odptywem podziemnym w stosunku do zlewni Macelowego Potoku. Potwierdzają to również obliczenia wykonane na podstawie bezpośrednich pomiarów przepływów z okresu niżówkowego we wrześniu 1998 r.

Przyczyn zróżnicowania wielkości modułu odptywu podziemnego w obu zlewniach należy upatrywać w różnicach w warunkach krążenia





i drenażu wód podziemnych. Na plan pierwszy wysuwa się tu większe wcięcie doliny Głębokiego Potoku w masyw a także różnica w budowie geologicznej obu zlewni, przejawiająca się głównie w ilościowych proporcjach między poszczególnymi typami litologicznymi skał.

Występowanie wód szczelinowych w pienińskim pasie skałkowym związane jest głównie ze strefą przypowierzchniową – silnie zwietrzała i spękaną (Małecka 1981). Istnieje zróżnicowanie między wodonościami rozwiniętymi w jurajskich i dolnokredowych skałach wapiennych, jakie przeważają na obszarze zlewni Głębokiego Potoku, a marglisto-fliszowym wodonościami kredowym liczniej występującym na terenie zlewni Macelowego Potoku. Skały wapienne jako bardziej podatne na odkształcenia kruche charakteryzują się wyższym stopniem spękania niż warstwy margliste i piaskowcowo-łupkowe, które mogły być odkształcane plastycznie i w związku z tym posiadają słabsze parametry hydrogeologiczne. Dodatkowo skały wapienne są obecnie silnie eksponowane, przez co bardziej odprężone, a to zgodnie z teorią Price'a (Dadlez, Jaroszewski 1994) decyduje o wyższym stopniu ich spękania. W związku z tym na obszarze zlewni Głębokiego Potoku istnieje możliwość głębszej migracji wód podziemnych w utworach wapiennych, co przejawia się w wyższych wartościach modułu.

Do podobnych wniosków doszli Łukaszek i Niedzielski (1976), którzy prowadzili rozpoznanie hydrogeologiczne utworów pienińskiego pasa skałkowego w rejonie zbiornika czorsztyńskiego. Autorzy ci ustalili na podstawie wierceń, że skały węglanowe charakteryzują się dużą wodoprzepuszczalnością w części stropowej, zaś ich praktyczna przepuszczalność występuje do głębokości od 15 do 110 m. Zdecydowanie niższą przepuszczalnością charakteryzują się natomiast skały ilaste i margliste, w których wody gruntowe występują zazwyczaj znacznie płycej.

## PODSUMOWANIE

Z porównania rytmiki wahań przepływów w skali roku wynika, że potoki drenujące analizowane zlewnie charakteryzują się analogicznym jak dla całego Podhala reżimem opadowo-roztopowym.

Przedstawiony w artykule zakres wartości modułów odpływu podziemnego od  $1,8 \text{ l/s*km}^2$  do  $4,5 \text{ l/s*km}^2$  wydaje się być reprezentatywny dla południowego skłonu Pienin, gdzie przy zróżnicowanym odpływie podziemnym w poszczególnych zlewniach, wyraźnie zaznacza się drenująca rola doliny Dunajca. W zlewniach po stronie północnej, od strony doliny Krośnicy należy spodziewać się wartości wyższych.

Uzyskane wyniki badań prowadzą do wniosku, że w przypadkach kiedy nie dysponujemy wynikami obserwacji stacjonarnych w konkretnych przekrojach hydrometrycznych, pomiary przepływu przy stanach niżówkowych dają zbliżone wartości modułu odpływu, pod warunkiem dobrania reprezentatywnego okresu badań.

Odpływ podziemny określony przez Małecką (1981) przy niżówkowych stanach rzek wykazuje, że zlewnie fliszowe Podhala charakteryzują się modułem odpływu podziemnego w granicach od  $0,8 \text{ l/s*km}^2$  do  $2,5 \text{ l/s*km}^2$ . W świetle tym uzyskane wyniki dla obu analizowanych zlewni wskazują na zbliżone, ale nieco korzystniejsze warunki krążenia i drenażu wód podziemnych na obszarze pienińskiego pasa skałkowego. W sposób pośredni potwierdza to istniejącą więź hydrauliczną pomiędzy wodami podziemnymi wszystkich jednostek geologiczno-strukturalnych Podhala, gdzie średni odpływ jednostkowy z lat 1966–75 w przekroju hydrometrycznym Czorsztyna wyniósł  $2,7 \text{ l/s*km}^2$ . Utwory pienińskiego pasa skałkowego w żadnym przypadku nie powinny być traktowane jako bezwodne, jak to miało miejsce w dotychczasowych opracowaniach kartograficznych.

## PIŚMIENNICTWO

- Boduch M., Chelmiecki W. 1977 – Przestrzenne zróżnicowanie i sezonowa zmienność odpływu podziemnego na obszarze Karpat Zachodnich. — *Czasopismo geograficzne*, **48**(4): 385–395.
- Dadlez R., Jaroszewski W. 1994. *Tektonika*. — PWN. Warszawa.
- Dynowska I. 1983. Odptyw podziemny w dorzeczu górnej Wisły. — *Czasopismo geograficzne*, **54**(4): 459–477.
- Gołąb J. 1947. Hydrogeologia zachodniego pasma Gubałowskiego. — *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **32**: 39–46.
- Gruszczyński T. 1999. Warunki hydrogeologiczne zlewni Macelowego Potoku (Pieniński Pas Skałkowy). — Praca magisterska wykonana pod opieką naukową Wł. Humnickiego. Arch. IHiGI UW.
- Gutry-Korycka M. 1978. Zasilanie podziemne rzek polskich. — *Przegl. Geof.*, **23**(2): 79–98.
- Humnicki Wł. 1997. Analiza czasowo-przestrzennej zmienności odpływu podziemnego w tatrzańskiej części zlewni Białki. *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, **8**: 67–72.
- Kiciński T. 1960. Odptyw gruntowy w rzekach oraz jego określenie. — *Gosp. Wodna*, **10**: 436–441.
- Kille K. 1970. Das Verfahren MoMNOQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabfluss. — *Zeitschr. Deutsch.geol.Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem.*
- Klimaszewski M. 1972. *Karpaty Polskie. Geomorfologia Polski*, **2**. — PWN. Warszawa.
- Kulka A., Rączkowski W., Żyto K., Gucik S., Paul Z. 1985. *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000. Arkusz Szczawnica–Krościenko*. — Wyd. Geol. Warszawa.
- Łukaszek R., Niedzielski H. 1976. *Problemy geologiczno-inżynierskie zapory betonowej zbiornika Czorsztyn-Niedzica*. — Zesz. Naukowe Politechniki Krakowskiej **2**, Budownictwo Wodne i Inżynieria Sanitarna 25. Kraków.
- Małecka D. 1981. *Hydrogeologia Podhala*. — *Prace Hydrogeologiczne – seria specjalna*, **14**: 5–187.
- Małecka D. 1982 a. *Mapa głównych jednostek geologicznych Podhala i obszarów przyległych w skali 1:100 000*. — Wyd. Geol. Warszawa.
- Małecka D. 1982 b. *Mapa hydrogeologiczna Podhala i obszarów przyległych w skali 1:100 000*. — Wyd. Geol. Warszawa.
- Małecka D. 1996. *Wpływ zbiornika czorsztynskiego na środowisko wodne obszarów przyległych. Konferencja Komitetu Gospodarki Wodnej PAN: 25–44, Jachranka 3–5.06*. — Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Małecka D., Humnicki Wł. 2001. Stan rozpoznania hydrogeologicznego Pienińskiego Parku Narodowego. *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, **10**(1): 45–54. Wrocław.
- Małecka D., Humnicki Wł. 2002. *Problemy hydrogeologii i ochrony wód Pienińskiego Parku Narodowego*. — *Pieniny – Przyroda i Człowiek* **7**: 49–70.
- Tallaksen L.M. 1995. A review of baseflow recession analysis. — *Journal of Hydrology*, **165**: 349–370.
- Wundt W. 1958. *Die mittleren Abflusshohen und Abflusspenden des Winters, des Sommers und des Jahres in der Bundesrepublik Deutschland*. — *Forch. Zur deutsch. Landeskunde*. Bd. **105**.

## SUMMARY

In the first half of the 1980s, Dunajec valley underwent anthropogenic transformations resulting from the construction of Czorsztyn reservoir. Consequently, the influence of such investment on the water environment of adjacent areas has been considered to be a significant issue.

The analysis of results of stationary research based on long observation series demonstrates that the anthropogenic transformation of Dunajec valley can be seen in the most visible way in Orawsko-Nowotarska Basin, especially in the most immediate neighbourhood of reservoir bowl, where significant changes in the ground water table system can be easily noticed.

The analysis of stationary research results has demonstrated that Dunajec hydrologic regime can be divided into three following periods:

- the first one, before the dam construction;
- the second one, when the reservoir construction gradually transformed Dunajec valley and lowered the regional drainage base;
- the third one, when the reservoir was filled in and became operative.

In the light of the above, the characteristics of baseflow runoff of selected catchments discussed in this paper refer only to the period of reservoirs' influence exerted on Dunajec hydrologic regime constituting the drainage base of analysed inflows.

The experimental research focused on two catchments situated in the Pieniny National Park: Głębokki Stream catchment with its mouth in Sromowce reservoir and Macelowy Stream catchment with its mouth in Dunajec in Sromowce Niżne (Fig. 1).

Głębokki Stream Catchment and Macelowy Stream Catchment characterised by varied relief

and significant falls of the ground, which results from exceptionally complicated geological structure (Fig. 2).

In November 1997, in the mouths of both streams before Dunajec valley, the water gauges were installed and daily surface water levels were observed. On the basis of periodical measurement of flow volume, the rating curves were prepared and it was possible to translate water-gauge levels into flow volumes of Głębokki Stream and Macelowy Stream by means of calculations. As a result, one could establish the baseflow runoff module for both catchments and analyse its variability in time.

The baseflow runoff module has been calculated on the basis of results of stationary observation research in selected hydrometric sections. The calculation has been conducted by means of Wundt's method, Kille's method and finally, the method of graphic hydrograph separation (Table I).

According to Wundt's method the average baseflow runoff on the catchment is the same as average monthly minimal runoff in hydrometric section closing the catchment.

According to Kille's method the monthly flows in an ascending order are drawn in the coordinate system. The average ground runoff can be seen on the linear ordinate of diagram section of x-axis. (Fig. 3).

Fig. 5 demonstrates a disparity in distribution of minimal monthly flows which shows the differences in the ground water drainage in both catchments.

Wundt's method and Kille's method produce only the average baseflow runoff in a specified time interval. However, they do not provide the

means to analyse the distribution of such a parameter during individual months. Therefore, the author has analysed variability in time of base flow runoff on the basis of genetic hydrograph separation for two hydrological years 2000 and 2001 (Fig. 4).

Generally, irrespective of the method, Głębokki Stream catchment is characterised by slightly higher und base flow runoff than Macelowy Stream catchment. This is also confirmed by the calculations based on the direct measurement of flows during the low water period in September 1998.

The differences in ground water runoff modules of the two catchments result from the different conditions of ground water circulation and drainage. The most significant factor is the dent of Głębokki Stream valley into the massif which is more sizeable than the dent of Macelowy Stream. Furthermore, the streams differ with respect to geological structure of both catchments, which can be mainly seen in quantity proportions between individual lithologic types of rocks.

Baseflow runoff specified by Małecka (1981) during river low water demonstrates that base flow runoff module of flysch catchments in Podhale amounts from 0.8 l/s\* sq. km to 2.5 l/s\*sq. km. In the light of the above, the results for both analysed catchments are similar. However, conditions of underground water circulation and drainage in Pieniny Klippen Belt are slightly more advantageous. This indirectly confirms the hydraulic relation between ground water of all geological and structural units of Podhale, where average unitary runoff during the period between 1966 and 1975 in the hydrometric section of Czorsztyn amounted to 2.7 l/s\*sq.km.