

ODPŁYW PODZIEMNY W ZLEWNI BYSTRZYCY (GÓRY BYSTRZYCKIE)

EVALUATION OF GROUNDWATER RUNOFF IN THE BYSTRZYCA RIVER CATCHMENT (BYSTRZYCKIE MTS.)

MICHAŁ RYSIUKIEWICZ¹

Abstrakt. W artykule przedstawiono ocenę odpływu podziemnego w zlewni Bystrzycy w Górach Bystrzyckich w Sudetach Środkowych. Bazując na danych dotyczących natężenia przepływu rzeki z trzech okresów: 1973–1982, 2000–2001 i 2006–2008, określono odpływ podziemny, stosując różne metody hydrologiczne. Uzyskane wartości odpływu podziemnego zawierają się w przedziale od 0,55 m³/s (8,67 l/s·km²) (obliczone metodą Natermanna) dla dziesięciolecia 1973–1982 do 0,65 m³/s (10,25 l/s·km²) (obliczone metodą Wundta) dla lat 2000–2001. Wyniki kartowania hydrogeologicznego źródeł oraz analiza budowy geologicznej zlewni były podstawą do wykonania mapy zmienności modułu odpływu podziemnego w zlewni i określenia ilości wody pochodzącej z drenażu skał kredowych i podłoża krystalicznego.

Słowa kluczowe: metody hydrologiczne, odpływ podziemny, skały krystaliczne, pokrywa osadowa, Góry Bystrzyckie.

Abstract. The paper presents the results of groundwater runoff evaluation in the Bystrzyca River catchment located in the Bystrzyckie Mts. (Middle Sudetes). Based on river discharge data collected during three periods of time (1973–1982, 2000–2001 and 2006–2008), groundwater runoff was estimated using different hydrological methods. The estimated values of groundwater runoff range from 0.55 m³/s (8.67 l/s·km²) for the period of 1973–1982 using Natermann's method to 0.65 m³/s (10.25 l/s·km²) for the period of 2000–2001 using Wundt's method. The results of hydrogeological mapping of springs and analysis of the geological structure of the catchment were taken into account to produce the map of spatial distribution of specific groundwater runoff and to estimate the amount of water discharged from the Cretaceous cover and crystalline basement.

Key words: hydrological methods, groundwater runoff, hard rocks, sedimentary cover, Bystrzyckie Mts.

WSTĘP

Celem artykułu była ocena odpływu podziemnego w zlewni Bystrzycy w północnej części Gór Bystrzyckich.

Zlewnia Bystrzycy reprezentuje typowo górski obszar zbudowany z proterozoiczno-paleozoicznych utworów krystalicznych, przykrytych częściowo utworami osadowymi kredy górnej. Podobnie jak w innych obszarach krystaliniku Sudetów, obszar ten cechuje się wysokimi wartościami zasobów odnawialnych. Na podstawie pomiarów natężenia przepływu rzeki, wykonanych w okresie 2006–2008, oraz

danych archiwalnych z lat 1973–1982 i 2000–2001, określono odpływ podziemny, stosując różne metody hydrologiczne (Wundta, Killego i Natermanna). Duże zróżnicowanie litologiczne w zlewni było podstawą do podzielenia jej na obszary cząstkowe oraz zbilansowania ilości wody pochodzącej z pokrywy osadowej oraz skał krystalicznych.

Problematyka zasobów wód podziemnych Ziemi Kłodzkiej była również przedmiotem zainteresowania Olichwera (2001, 2007, 2010) i Staški (2001).

¹ Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; e-mail: michal.rysiukiewicz@ing.uni.wroc.pl

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Pod względem fizyczno-geograficznym (Pawlak, red., 1997; Kondracki, 1998) obszar zlewni jest położony w północnej części Gór Bystrzyckich oraz na Wysoczyźnie Łomnicy i w Obniżeniu Bystrzycy Kłodzkiej. Część północna Gór Bystrzyckich tworzy szeroki, wypłaszczony grzbiet ze słabo wyróżniającymi się kopułami Łomnickiej Równi (899 m n.p.m.) i Smolnej (870 m n.p.m.). Dolina Bystrzycy i Przełęcz Spalona oddzielają część południową z wyniesionym masywem najwyższego szczytu Jagodnej (977 m n.p.m.) (fig. 1).

Badana zlewnia leży w kłodzkim regionie sudeckiej dzielnicy klimatycznej (Walczak, 1968), w którym w zależności od hipsometrii wydziela się pięć pięter klimatycznych, różniących się termiką; od najniższego (do 400 m n.p.m.) i najcieplejszego, ze średnią roczną temperaturą powietrza około 7°C, do piętra najwyższego (powyżej 1000 m n.p.m.),

ze średnią roczną temperaturą osiągającą nawet mniej niż 1°C. Opady atmosferyczne w Górach Bystrzyckich przekraczają 800 mm/r. Maksimum opadów przypada na lipiec (104 mm/r), a minimum na luty (29 mm/r). Pierwsze opady śniegu przypadają na trzecią dekadę października, ostatnie zdarzają się nawet w drugiej dekadzie maja, choć najczęściej kończą się na początku trzeciej dekady kwietnia. Liczba dni z pokrywą śnieżną wynosi 55. Średnia roczna temperatura powietrza dla Bystrzycy Kłodzkiej wynosi 7,4°C. Najcieplejszym miesiącem jest lipiec ze średnią temperaturą 17,2°C, a najzimniejszym styczeń, ze średnią temperaturą -2,3°C.

Rzeka Bystrzyca jest lewym dopływem Nysy Kłodzkiej. Do lewobrzeżnych dopływów Bystrzycy należą: Ptasznik, Wawelski Potok i Drwina. Prawobrzeżne dopływy to Hutni-

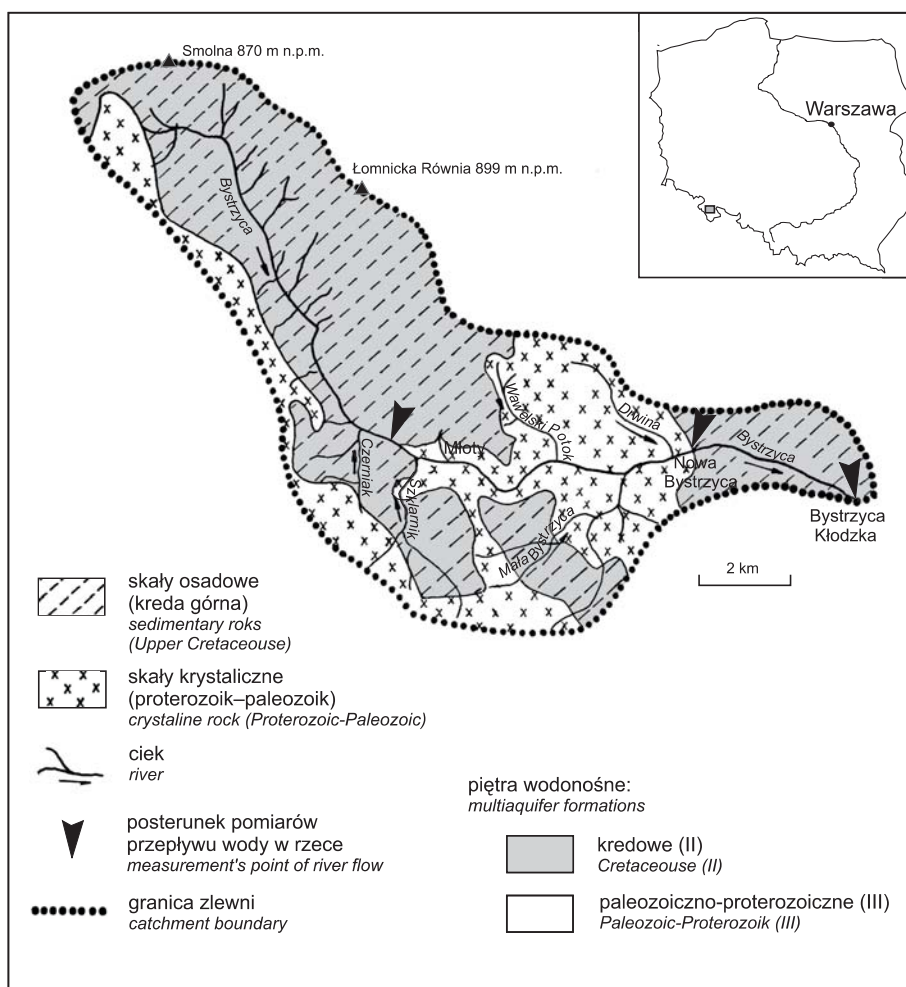


Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle budowy geologicznej (wg Dumicza, 1964, zmieniony)

Location of the study area against the geological structure (after Dumicz, 1964, modified)

czy Potok, Czerniak, Szklarnik i Mała Bystrzyca (fig. 1). Długość rzeki Bystrzycy wynosi około 25,5 km, a powierzchnia jej zlewni 63,4 km². Obszar źródliskowy rzeki znajduje się w północnej części wierzchołki Gór Bystrzyckich, na stokach Góry Smolnej i Zbójnickiej Góry. Rzeka Bystrzyca przepływa przez miejscowości: Młoty, Wójtowice, Nowa Bystrzyca, Stara Bystrzyca i uchodzi do rzeki Nysa Kłodzka w mieście Bystrzyca Kłodzka.

Geologia Gór Bystrzyckich była opisywana w wielu pracach, m.in. Dumicza (1964), Dona i in. (1990), Żelaźniewicza (2003). Obszar zlewni położony w północnej części Gór Bystrzyckich jest zbudowany z krystalicznych utworów paleozoiczno-proterozoicznych i osadów kredy górnej (fig. 1). Fragmentarycznie jest on przykryty osadami czar-

torzędowymi. Podłoże krystaliczne to kilka odmian łupków i gnejsów o różnym stopniu metamorfozy. Powyżej leżą osady kredy górnej, głównie piaskowce, margle i mułowce. Między skałami krystalicznymi a osadami kredy występują kontakty tektoniczne. Przykładem transgresyjnego kontaktu jest lewe zbocze doliny Bystrzycy, w rejonie którego osady kredy górnej leżą na najwyższych szczytach. W miejscach, w których brak jest skał osadowych odsłaniają się skały krystaliczne. Zarówno skały krystaliczne, jak i osadowe przykryte są warstwą zwietrzliny, która osiąga miejscami kilka metrów miąższości. Doliny głównych cieków, w tym Bystrzycy i jej większych dopływów (takich jak Potok Szklarnik czy Mała Bystrzyca), wypełnione są piaszczysto-żwirowymi osadami aluwialnymi.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Zgodnie z regionalizacją hydrogeologiczną Paczyńskiego (2007) zlewnia Bystrzycy leży w prowincji górskiej, regionie sudeckim, subregionie Sudetów wewnętrznych. Warunki hydrogeologiczne analizowanego obszaru należy określić jako skomplikowane z powodu: tektoniki, szczelinowo-porowego charakteru poziomów wodonośnych, zróżnicowanej morfologii terenu i zróżnicowanej sieci drenażu. W zlewni Bystrzycy zostały wyznaczone dwie jednostki hydrogeologiczne o charakterze użytkowym. Na zachodzie obszaru badań występuje górnokredowy użytkowy poziom wodonośny, a w części centralnej kredowo-paleozoiczno-proterozoiczny system wodonośny. W dużej części obszaru badanej zlewni brak jest poziomów użytkowych.

Na obszarze zlewni wyróżnia się trzy piętra wodonośne: czwartorzędowe, kredowe i paleozoiczno-proterozoiczne (w skałach krystalicznych).

Utwory wodonośne piętra czwartorzędowego (I) są pochodzenia rzecznego. Wypełniają one dno doliny rzeki Bystrzycy i jej dopływów. Lokalnie występują w pokrywach stokowych i płaskich stożkach przedgórskich. Zwierciadło wód czwartorzędowego poziomu wodonośnego jest swobodne i występuje na nieznacznym głębokościach (1–2 m). Mała miąższość aluwii i często słabe ich wykształcenie jest powodem niskiej wodonośności tego poziomu. Wydajności studni w tym rejonie są zazwyczaj niskie, a jakość wód średnia (Mroczkowska, 1997).

W strefie źródłowej rzeki Bystrzycy wodonośnymi utworami piętra kredowego (II) są piaskowce kwarcowo-skalenkowe środkowego turonu. Od poziomu czwartorzędowego piaskowce te mogą być oddzielone słaboprzepuszczalnymi marglami krzemionkowo-wapnistymi środkowego turonu, o miąższości do 110 m. Na dużym obszarze Gór

Bystrzyckich piaskowce środkowoturוניםkie występują bezpośrednio na powierzchni lub pod zwietrzeliną i wtedy ich zasilanie odbywa się bezpośrednio. W strefach, w których margle pokrywają piaskowce zasilanie jest utrudnione, ale możliwe ze względu na silny stopień spękania skał marglistych. Poziomy wodonośne piętra kredowego cechują się dużą zmiennością wodonośności. Krążenie wód w użytkowym piętrze górnokredowym zachodzi głównie w uszczelinionych oraz zaburzonych tektonicznie strefach. Na obszarach, gdzie występują warstwy ilasto-margliste infiltracja wgłębna jest znacznie ograniczona, co jest przyczyną słabego zasilania i niewielkiej w efekcie odnawialności. Odzwierciedleniem takich warunków są zupełnie różne wartości, m.in.: współczynnika filtracji, wydajności studni i wodoprzewodności w otworach leżących blisko siebie (Mroczkowska, 1997).

Piętro kredowe jest głównym źródłem zaopatrzenia w wodę. W zlewni Bystrzycy z kredowych ujęć drenażowych i głębinowych zaopatrywane jest w wodę miasto Bystrzyca Kłodzka i wsie – Nowa Bystrzyca i Stara Bystrzyca. Miejscami, w strefach rozluźnień tektonicznych poziom ten charakteryzuje się dużymi zasobami wody o dobrej jakości.

Piętro paleozoiczno-proterozoiczne (III) budują skały krystaliczne Gór Bystrzyckich. Występują w nich wody szczelinowe i porowo-szczelinowe, które krążą w płytkiej strefie intensywnie spękanych, a także zwietrzałych skał. Największa wodonośność cechuje strefy związane z przebiegiem uskoków. Świadczą o tym istniejące w zlewni źródła szczelinowe i dyslokacyjne (Mroczkowska, 1997), o wydajnościach niższych niż w przypadku piętra kredowego. Rozpoznanie w rejonie zlewni głębszych poziomów, występujących w skałach metamorficznych, jest bardzo słabe.

METODYKA BADAŃ

Prace terenowe przeprowadzono w okresie 2006–2008. Wykonano kartowanie hydrogeologiczne zlewni oraz serie pomiarów natężenia przepływu rzeki Bystrzycy w trzech posterunkach pomiarowych: przy ujściu do Nysy Kłodzkiej w mieście Bystrzyca Kłodzka, we wsi Nowa Bystrzyca i w górnym biegu rzeki, za miejscowością Młoty. Pomiarów były wykonywane młynkiem hydrometrycznym. Punkty pomiarowe zostały zlokalizowane na granicach wydzieleni litologicznych, między skałami osadowymi a krystalinikiem (fig. 1). Obszar zlewni podzielono na trzy części – w dwóch dominują skały kredowe, a w jednej skały krystaliczne. Taki podział obszaru pozwala na zbilansowanie ilości wody pochodzącej z drenażu dwóch podstawowych (II i III) zbiorników wód podziemnych (fig. 1).

Obliczenia bilansowe mogą być obarczone pewnym błędem, związanym z występowaniem źródeł na kontakcie skał kredowych z krystalinikiem.

Podczas kartowania hydrogeologicznego źródeł, oprócz pomiarów wydajności, przewodności elektrolitycznej właściwej, odczynu pH i temperatury wody, analizowano również rodzaj i typ wypływu, siłę motoryczną oraz geologiczno-strukturalne i geomorfologiczne uwarunkowania położenia źródła.

Do szczegółowych obliczeń odpływu podziemnego wykorzystano wyniki badań IMGW, prowadzącego serię stacjonarnych obserwacji w dziesięcioleciu 1973–1982 i dwuleciu 2000–2001 w przekroju hydrometrycznym zlokalizo-

wanym przy ujściu rzeki Bystrzycy do Nysy Kłodzkiej w mieście Bystrzyca Kłodzka.

Do przeprowadzenia obliczeń wartości modułu odpływu podziemnego wykorzystano trzy metody hydrologiczne: Wundta, Killego oraz Natermanna.

Metody Wundta i Killego bazują na minimalnych miesięcznych przepływach rzek. W metodzie Wundta odpływ podziemny liczony jest jako średnia arytmetyczna z minimalnych miesięcznych przepływów dla określonego wielolecia (Hölting, 1980). Metoda Killego jest metodą graficzną i polega na rysowaniu uporządkowanych rosnąco minimalnych przepływów miesięcznych w układ współrzędnych. Przepływ odpowiadający połowie sumy częstotliwości, odniesiony do prostej wyrównującej środkową część wykresu, odpowiada średniemu odpływowi z wielolecia. Użycie prostej ma na celu wyeliminowanie części dopływu do rzeki pochodzącego ze strefy przypowierzchniowej, zawierającego się w minimach miesięcznych z okresów o podwyższonych opadach, czy też w miesiącach roztopowych (Kille, 1970; Hölting, 1980). Jest to szczególnie istotne w przypadku potoków górskich. Metoda Natermanna polega na graficznym wydzieleniu z hydrogramu cieku odpływu podziemnego z odpływu całkowitego. Wydzielenie to prowadzi się na wykresie dobowych przepływów za pomocą tzw. linii Natermanna. Średni roczny odpływ uzyskuje się, całkując pole pod krzywą Natermanna (Hölting, 1980).

CHARAKTERYSTYKA WYPŁYWÓW WÓD PODZIEMNYCH

W celu scharakteryzowania warunków hydrogeologicznych zlewni Bystrzycy, w okresie jesiennym 2006 roku, przeprowadzono kartowanie hydrogeologiczne, w ramach którego zarejestrowano 68 naturalnych wypływów wód podziemnych i jeden wypływ ze sztolni w Młotach. Przeanalizowano także 18 wypływów w zlewni cząstkowej Małej Bystrzycy, które zostały opisane przez Olichwera (2007). Biorąc pod uwagę liczbę zarejestrowanych wypływów oraz powierzchnię zlewni, uzyskano wartość wskaźnika krenologicznego równą 1,35. Prawdopodobnie, wartość ta jest wyższa, ponieważ w tej liczbie nie są uwzględnione wszystkie źródła występujące w analizowanym obszarze, co wiąże się m.in. z trudnościami w dostępie do źródeł leżących na prywatnych posesjach.

Największa liczba źródeł drenuje obszar położony na wysokości 701–750 m n.p.m. Duża ilość wypływów zaznacza się też w przedziałach wysokości 601–651 oraz 751–800 m n.p.m. Nie stwierdzono występowania żadnych stref drenażowych na wysokości 550–600 m n.p.m. W zlewni Bystrzycy dominują typowe źródła o skoncentrowanym wypływie,

których zinventaryzowano 48. Resztę wypływów stanowiły młaki, występujące na spłaszczeniach grzbietowych i stokowych oraz wycieki. Ze względu na ich położenie morfologiczne dominowały descensyjne wypływy stokowe (78). Sporadycznie stwierdzono występowanie źródeł zboczowych i dolinnych. Wydajności źródeł wahały się w dużym przedziale wartości, od 0,05 do 10 l/s. Skrajne wydajności zarejestrowano dla wypływów drenujących pokryte zwietrzeliną spękane skały kredy górnej. Duże wydajności źródeł odnotowano w okresie nasilonych opadów atmosferycznych.

Temperatura wody oscylowała między 3,8 a 13,6°C, jej odczyn pH zawierał się w przedziale 3,2–8,5. Niskie wartości odczynu, około 3 pH miały wody wypływów drenujących pokrywy torfowe, występujące na lewym zboczu doliny Bystrzycy, a najwyższe, powyżej 8 pH miały wody przy wypływie ze sztolni w Młotach. Przewodność elektrolityczna właściwa wody wahało się od 38 do 229 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Najwyższą wartość zmierzono w źródle znajdującym się u podnóża Zamkowej Kopy, które jest ujściem wody pitnej.

OCENA ODPTYWU PODZIEMNEGO

Z serii kilku wykonanych w okresie 2006–2008 pomiarów natężenia przepływu rzeki Bystrzycy najniższe wartości zostały zarejestrowane w październiku 2006 roku, a najwyższe w kwietniu 2008 (tab. 1.) W profilu zamykającym zlewnię w Bystrzycy Kłodzkiej najniższy przepływ wyniósł 0,676 m³/s, co daje wartość modułu odptywu całkowitego, utożsamianego z odptywem podziemnym, równą 10,66 l/s·km². Okres ten cechował się bardzo niskim zasileniem opadowym. W celu porównania uzyskanych wyników odptywu z innymi okresami obliczeniowymi, przeprowadzono obliczenia odptywu podziemnego, stosując wybrane trzy metody hydrologiczne: Wundta, Killego i Natermanna dla okresu 1973–1982 oraz 2000–2001. Uzyskane wartości modułów odptywu podziemnego wahają się od 8,67 l/s·km² w metodzie Natermanna dla dziesięciolecia 1973–1982

(fig. 2) do 10,25 l/s·km² dla analizowanego dwulecia 2000–2001, przy zastosowaniu metody Wundta.

Wyniki uzyskane dla dziesięciolecia są niższe niż dla dwulecia. W metodzie Wundta dla dziesięciolecia moduł odptywu podziemnego wynosi 9,78 l/s·km (0,62 m³/s), a dla dwulecia 10,25 l/s·km (0,65 m³/s) i analogicznie w metodzie Killego – 8,99 l/s·km² (0,57 m³/s) (fig. 3) i 9,15 l/s·km² (0,58 m³/s) (fig. 4). Podobne wartości uzyskano stosując metodę Natermanna. Odptyw podziemny dla okresu 1973–1982 wynosi 8,67 l/s·km², (0,49 m³/s) (fig. 2), a dla dwulecia 9,62 l/s·km², (0,61 m³/s) (fig. 5). Obliczenia modułu odptywu podziemnego w zlewni Bystrzycy metodą ścicia fali wezbraniowej dla tego samego dziesięciolecia wykonał Olichwer (2001), który uzyskał wynik 8,49 l/s·km². Podobne obliczenia, przy wykorzystaniu minimalnych miesięcznych przepływów

Tabela 1

Minimalne i maksymalne wartości natężenia przepływu Bystrzycy w okresie wrzesień 2006–maj 2008

The highest and the lowest values of the Bystrzyca River flow measured in the period of September 2006–May 2008

Daty pomiarów	Natężenia przepływów [m ³ /s]		
	Bystrzyca Kłodzka	Nowa Bystrzyca	górnny bieg Bystrzycy
28.10.2006	0,676	0,615	0,434
18.04.2008	4,694	2,748	1,726

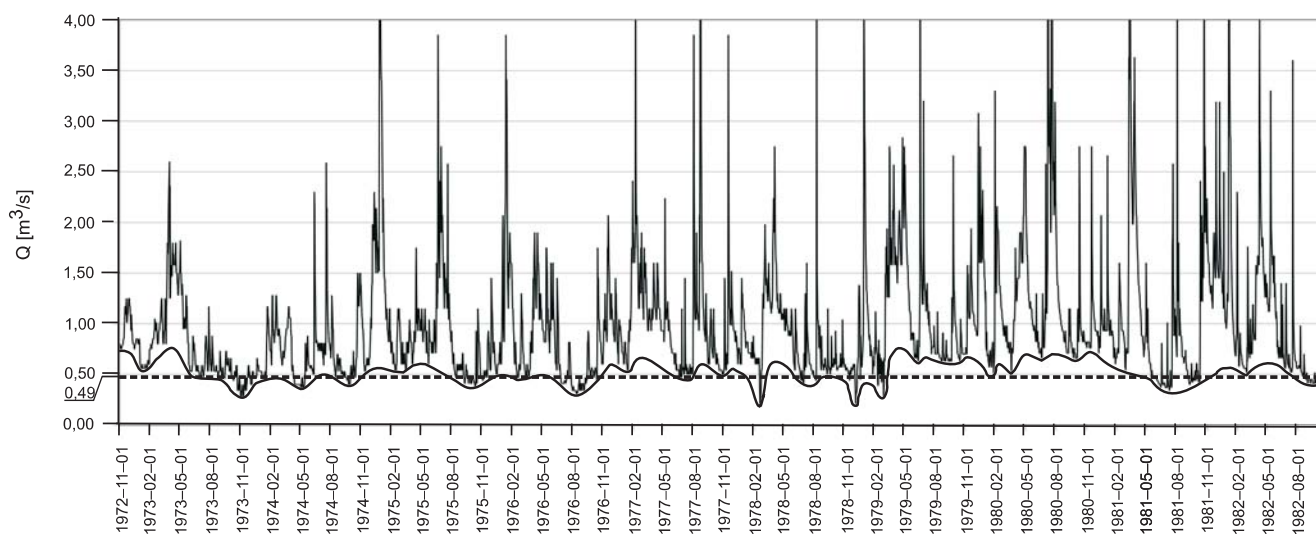


Fig. 2. Określenie wielkości odptywu podziemnego metodą Natermanna dla okresu 1973–1982

Determination of groundwater runoff by Natermann's method for the period 1973–1982

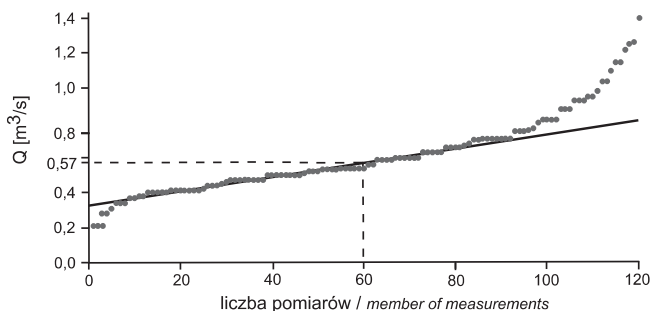


Fig. 3. Określenie wielkości odpływu podziemnego metodą Killiego dla okresu 1973–1982

Determination of groundwater runoff by Kill's method for the period 1973–1982

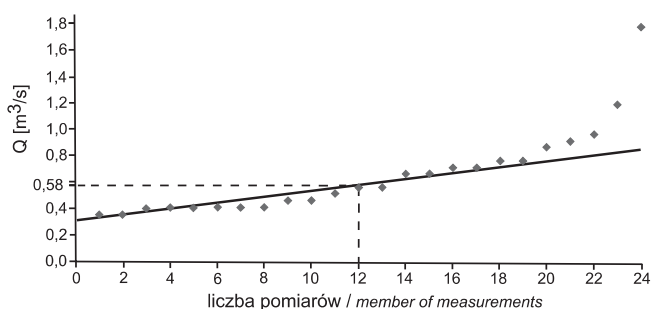


Fig. 4. Określenie wielkości odpływu podziemnego metodą Killiego dla okresu 2000–2001

Determination of groundwater runoff by Kill's method for the period 2000–2001

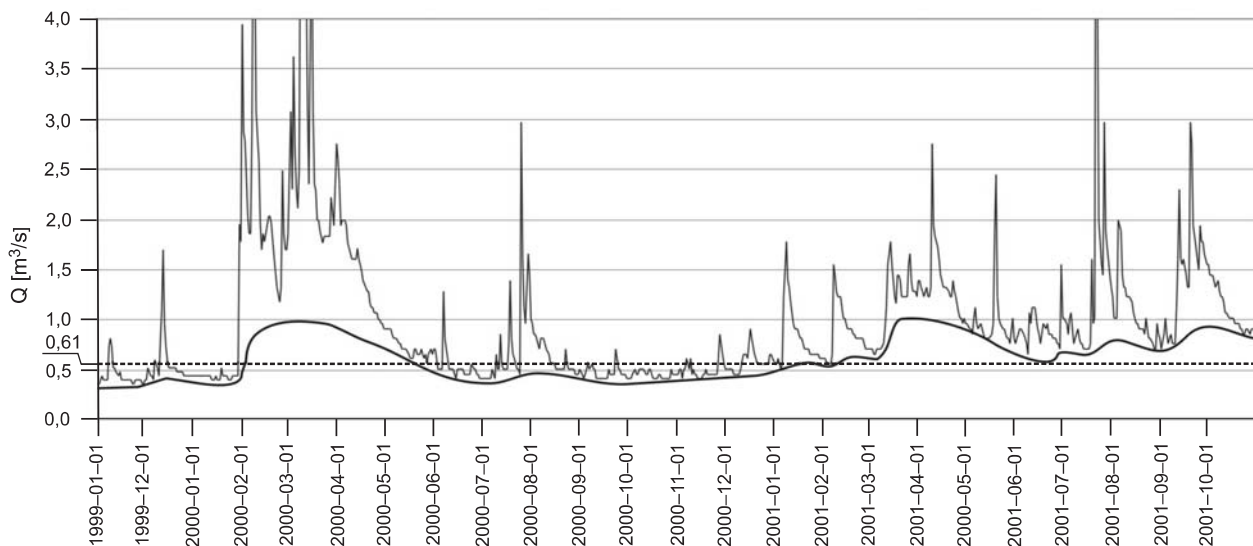


Fig. 5. Określenie wielkości odpływu podziemnego metodą Natermanna dla okresu 2000–2001

Determination of groundwater runoff by Natermann's method for the period 2000–2001

rzeki Bystrzycy w profilu Bystrzyca Kłodzka, wykonali Kryza i in. (1989), którzy uzyskali dla dziesięciolecia 1973–1982 wartość średniego odpływu podziemnego równą $9,61 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$. Autorzy ci podają również wartości minimalnego ($7,20 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$) i maksymalnego ($12,19 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$) odpływu podziemnego.

Wyniki uzyskane metodą Killiego, dla obydwu okresów obliczeniowych, są niższe od tych uzyskanych metodą Wundta. Różnica wynika z samego założenia metody, w której eliminuje się części dopływu do rzeki pochodzące ze spływu

powierzchniowego i odpływu podpowierzchniowego (Kille, 1970; Hölting, 1980).

Również w metodzie Natermanna uzyskany został niższy wynik dla analizowanego dziesięciolecia. Wartości odpływu podziemnego określone dla dłuższego okresu badań (1973–1982) uznaje się za bardziej wiarygodne.

Według klasyfikacji Krasnego (1982), przedstawione wartości odpływu podziemnego mieszczą się w zakresie odpływów wysokich i ekstremalnie wysokich.

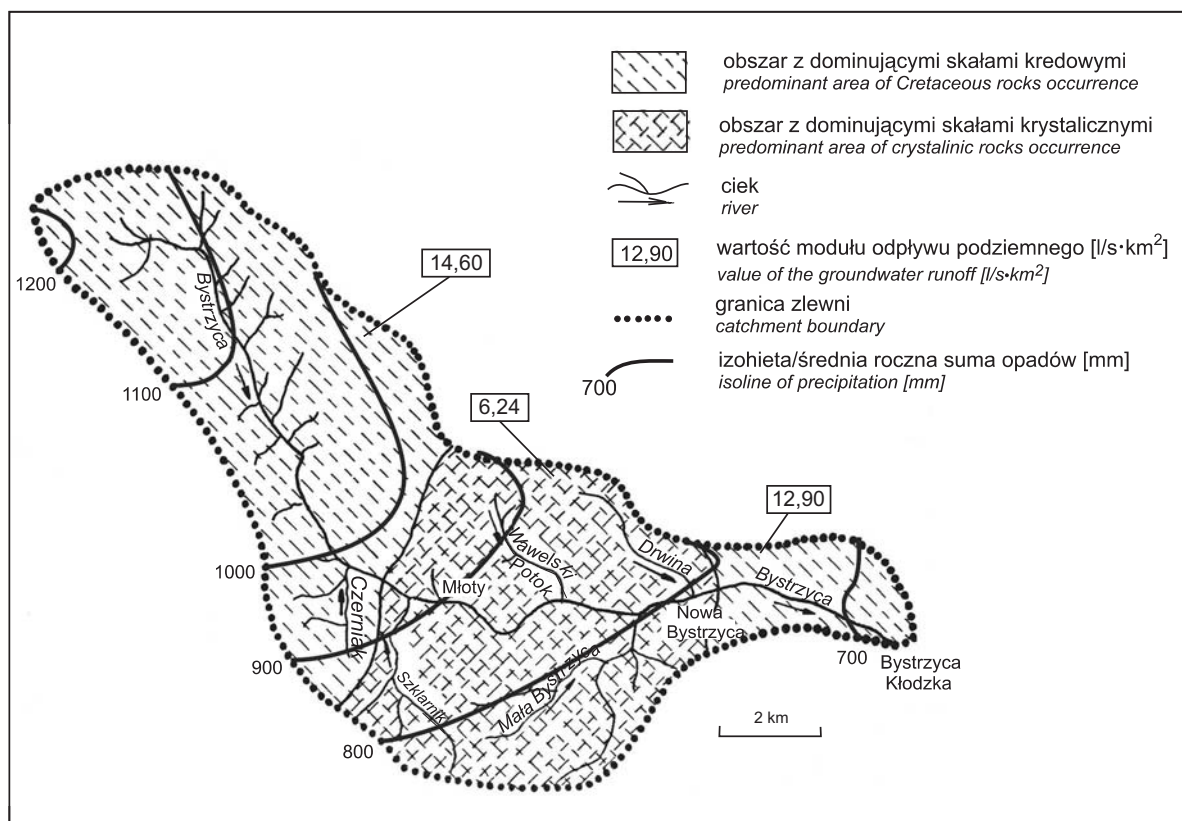


Fig. 6. Zmienność odpływu modułu podziemnego w zlewni Bystrzycy na tle opadów z okresu 1891–1930

Variability of the specific groundwater runoff in the Bystrzyca River catchment. Precipitation data from period of 1891–1930

Na obszarze zlewni Bystrzycy można zauważyć strefową zmianę modułu odpływu podziemnego, wynikającą ze zróżnicowanej litologii, ukształtowania powierzchni terenu, hipsometrii i związanego z nim zasilania opadowego (fig. 6). Obliczone wartości modułów, na podstawie wykonanych na cieku głównym pomiarów hydrometrycznych w okresie przepływów niżówkowych na granicach krystaliniku z kredą, wykazały znaczne zróżnicowanie wartości odpływu w poszczególnych fragmentach zlewni. W części centralnej zlewni, w której dominują skały krystaliczne, moduł odpływu podziemnego wyniósł 6,24 l/s·km², a w części zachodniej, z dominującymi skałami kredowymi, moduł był bardzo wysoki i dochodził do 14,60 l/s·km². We wschodniej części zlewni, w której występuje również pokrywa osado-

wych skał kredowych moduł odpływu podziemnego wynosi 12,90 l/s·km². Wyższe wartości modułów odpływu podziemnego zostały odnotowane w obszarach z dominującymi skałami kredowymi, które pokrywają większą część badanego terenu i świadczą o ich większej zasobności niż w strefach występowania skał krystalicznych. W całej zlewni udział odpływu ze skał kredowych wyniósł 73,3%, a ze skał krystalicznych 26,7%.

Nieporównywalnie niższe wartości odpływu podziemnego uzyskano na podstawie analizy źródeł. Moduł odpływu źródłanego, wynoszący 1,80 l/s·km², stanowi zaledwie 17% odpływu całkowitego. Świadczy to o dużej roli dopływu dokorytowego w drenażu poziomów wodonośnych w zlewni Bystrzycy.

PODSUMOWANIE

Obliczony metodami hydrologicznymi odpływ podziemny w zlewni Bystrzycy zawiera się w przedziale od 8,67 (0,49 m³/s) do 10,25 l/s·km² (0,65 m³/s). W klasyfikacji

Krasnego (1982) mieści się w zakresie odpływów wysokich i ekstremalnie wysokich. Moduł odpływu podziemnego w centralnej części zlewni (6,24 l/s·km²), zbudowanej głów-

nie ze skał krystalicznych, jest o wiele niższy od modułów określonych dla wschodniej ($14,6 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$) i zachodniej ($12,9 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$) części zlewni, w których dominują skały osadowe kredy górnej. Odpływ wody ze zlewni zbudowanej ze skał kredowych w stosunku do odpływu z całej zlewni wynosi 73,3%. Pozostała część (26,7%) pochodzi z drenażu skał krystalicznych. Duży udział w odpływie wody podziemnej

w zlewni Bystrzyca mają wypływy ze skał górnokredowych o warstwowo-szczelinowym systemie krążenia wody.

Obliczony dla analizowanej zlewni wskaźnik krenologiczny wynosi 1,35, a moduł odpływu źródłanego około $1,80 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$. Wartość ta stanowi zaledwie 17% odpływu całkowitego, co wskazuje na dużą rolę dopływu dokorytowego w drenażu zlewni Bystrzyca.

LITERATURA

- DON J., DUMICZ M., WOJCIECHOWSKA I., ŻELAŻNIEWICZ A., 1990 — Lithology and tectonic of the Orlica-Śnieżnik Dome, Sudetes: recent state of knowledge. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **179**, 2/3:159–188.
- DUMICZ M. 1964 — Budowa geologiczna krystaliniku Gór Bystrzyckich. *Geol. Sud.*, **1**: 169–208.
- HÖLTING B., 1980 — Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. Enke Verlag, Stuttgart.
- KILLE K., 1970 — Das Verfahren MoMNQ ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der Monatlichen Niedrigwasserabflüsse. *Z. Deutsch. Geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeoch.*, **6**: 89–95.
- KONDRACKI J., 1998 — Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- KRASNY J. i in., 1982 — Odtok podziemni vody na uzemi Ceskoslovenska. Cesky Hydrometeorologicky Ustav, Praga.
- KRYZA H., KRYZA J., LIMISIEWICZ P., 1989 — Zmienność odpływów niskich obszaru sudeckiego i jej przyczyny. *Pr. Nauk. Inst. Geot. PWroc.* **58**, Konferencje **29**.
- MROCKOWSKA B. 1997 — Objasnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski, ark. Bystrzyca Kłodzka (933). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- OLICHWER T., 2001 — Możliwości ujęcia wód powierzchniowych w Górach Bystrzyckich. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, **10**, 1: 219–225. Wyd. UWroc., Wrocław.
- OLICHWER T., 2007 — Zasoby wód podziemnych Ziemi Kłodzkiej. *Acta Universitatis Wratislaviensis*, Wyd. UWroc., Wrocław.
- OLICHWER T., 2010 — Zasoby odnawialne wód podziemnych różnych ośrodków hydrogeologicznych na przykładzie obszaru ziemi Kłodzkiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **440**: 111–126.
- PACZYŃSKI B., 2007 — Podstawy regionalizacji hydrogeologicznej. *W: Hydrogeologia regionalna Polski* (red. B. Paczyński, A. Sadurski), t. I: 56–69. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PAWLAK W. (red.), 1997 — Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego. Wyd. UWroc., Wrocław.
- STAŚKO S., 2001 — Warunki występowania i jakości wód podziemnych w Górach Bystrzyckich. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, **10**, 1: 89–95. Wyd. UWroc., Wrocław.
- WALCZAK W., 1968 — Sudety. PWN Warszawa.
- ŻELAŻNIEWICZ A., 2003 — Postęp wiedzy o geologii krystaliniku Sudetów w latach 1990–2003. *W: Sudety Zachodnie – od wendy do czwartorzędu* (red. W. Ciężkowski i in.). Wind, Wrocław.

SUMMARY

The paper presents the results of groundwater runoff in the Bystrzyca River catchment located in the Bystrzyckie Mts. The Bystrzyca River catchment represents a typical mountainous hydrogeological unit draining higher parts of the Middle Sudetes composed of crystalline basement (mainly metamorphic schists and gneisses) and Upper Cretaceous rocks. Based on field data of river flow measurements from the periods of 2006–2008, 2000–2001 and 1982–1973, groundwater runoff was calculated using Wundt's, Kille's and Natermann's methods. The high recharge from the precipitation (up to 800 mm/a), intense fissuring of crystalline rocks in the near-surface zone and good water-bearing capacity of the Cretaceous cover (mainly sandstones) determine the high amount of renewable groundwater resources. The estimated values of groundwater runoff for the three periods of time are in the range of $8.67\text{--}10.25 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$.

Comparing the values estimated for the two periods of 1973–1982 and 2000–2001, higher amount of groundwater resources was calculated for the shorter time: $10.25\text{--}9.78$, $9.15\text{--}8.99$ and $9.62\text{--}8.67 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ using Wundt's, Kille's and Natermann's methods, respectively. Thus, according to the Krasny classification (Krasny *et al.*, 1982), groundwater runoff is high and extremely high. Three areas composed of different rocks with various amount of groundwater resources have been distinguished in the Bystrzyca River catchment. In the central part, composed mainly of hard rocks, the value of groundwater runoff is $6.24 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$, while in the western part with Cretaceous cover the runoff was very high, above $14 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$. The share of drainage from Cretaceous rocks in the whole area of the catchment is 73.3%. Only 26.7% of renewable resources come from the crystalline basement.