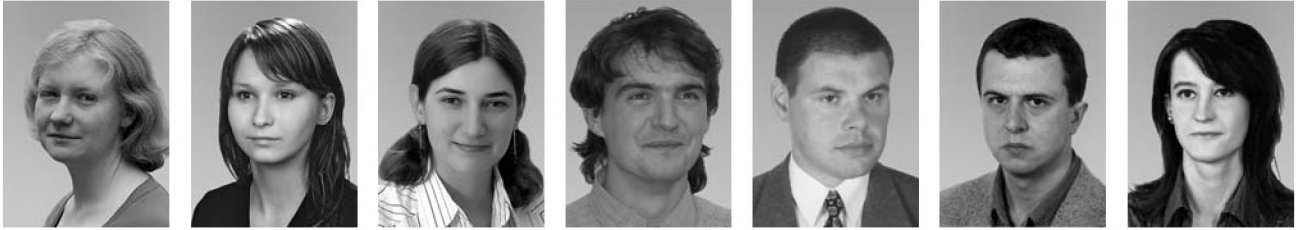


Podziemny odpływ jednostkowy w Bieszczadach Wysokich

Joanna Plenzler¹, Joanna Bajorek¹, Barbara Jaśkowiec¹, Adam Kołodziej¹,
Bartłomiej Rzonca¹, Janusz Siwek¹, Sabina Wójcik¹



J. Plenzler

J. Bajorek

B. Jaśkowiec

A. Kołodziej

B. Rzonca

J. Siwek

S. Wójcik

Specific base flow in the High Bieszczady Mountains. *Prz. Geol.*, 58: 1147–1151.

Abstract. The paper presents spatial distribution of base flow in the High Bieszczady Mts. (the Outer Carpathians). Discharges in 30 investigated catchments were measured in October 2009 during low flow period. Differences observed in unit base flow were varying from $0.9 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ in the Niedźwiedzi catchment to $6.8 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$ in the Hulski catchment. Occurrence of colluviums is conducive to high values of base flow. On the other hand, low values of base flow are common to catchments drained by short and shallow streams. Correlations between unit base flow and stream density, altitude or geological unit were not proved.

Keywords: specific base flow, High Bieszczady Mts.

Woda podziemna stanowi najbardziej trwale źródło zasilania cieków. Z tego względu przyjmuje się, że w okresach niskich stanów wód powierzchniowych, gdy brak jest zasilania powierzchniowego i podpowierzchniowego, woda płynąca ciekami pochodzi wyłącznie z zasilania podziemnego (Dębski, 1970; Pazdro & Kozerski, 1990; Ozga-Zielińska & Brzeziński, 1994; Chełmicki, 2003). Odpływ jednostkowy pozwala bezwzględnie porównać całkowitą ilość wody odpływającą ze zlewni o różnych powierzchniach. Analogicznie, dla składowej podziemnej odpływu całkowitego stosuje się podziemny odpływ jednostkowy. Jest on wykorzystywany m.in. w celu określenia zasobności wodnej obszaru.

Charakterystyki hydrologiczne Bieszczadów Wysokich były do tej pory przedmiotem nielicznych badań. Ogólne informacje dotyczące odpływu można znaleźć w opracowaniach o charakterze regionalnym, odnoszących się do obszaru Karpat, dorzecza Wisły lub całej Polski (Dynowska, 1972; Ziemońska, 1973; Dobija, 1981; Punzet, 1991; Stachy & Biernat, 1994–1997; Bartnik, 2005). Zamieszczone tam charakterystyki pochodzą z analizy danych z posterunków wodowskazowych zlokalizowanych na głównych rzekach regionu: Sanie i Solince. Istnieją także bardziej szczegółowe wyniki pomiarów wykonanych w zlewni górnej Wołosatki przez Siwka i in. (2009) oraz niepublikowane badania Łajczaka (1996) dotyczące wschodniej części Bieszczadów Wysokich.

Celem niniejszego opracowania jest prezentacja informacji o wielkości i przestrzennym zróżnicowaniu podziemnego odpływu jednostkowego w Bieszczadach Wysokich. Dodatkowo podjęto próbę ustalenia zależności pomiędzy modulem odpływu podziemnego a budową geolo-

giczną, gęstością sieci rzecznej oraz średnią wysokością zlewni nad poziomem morza.

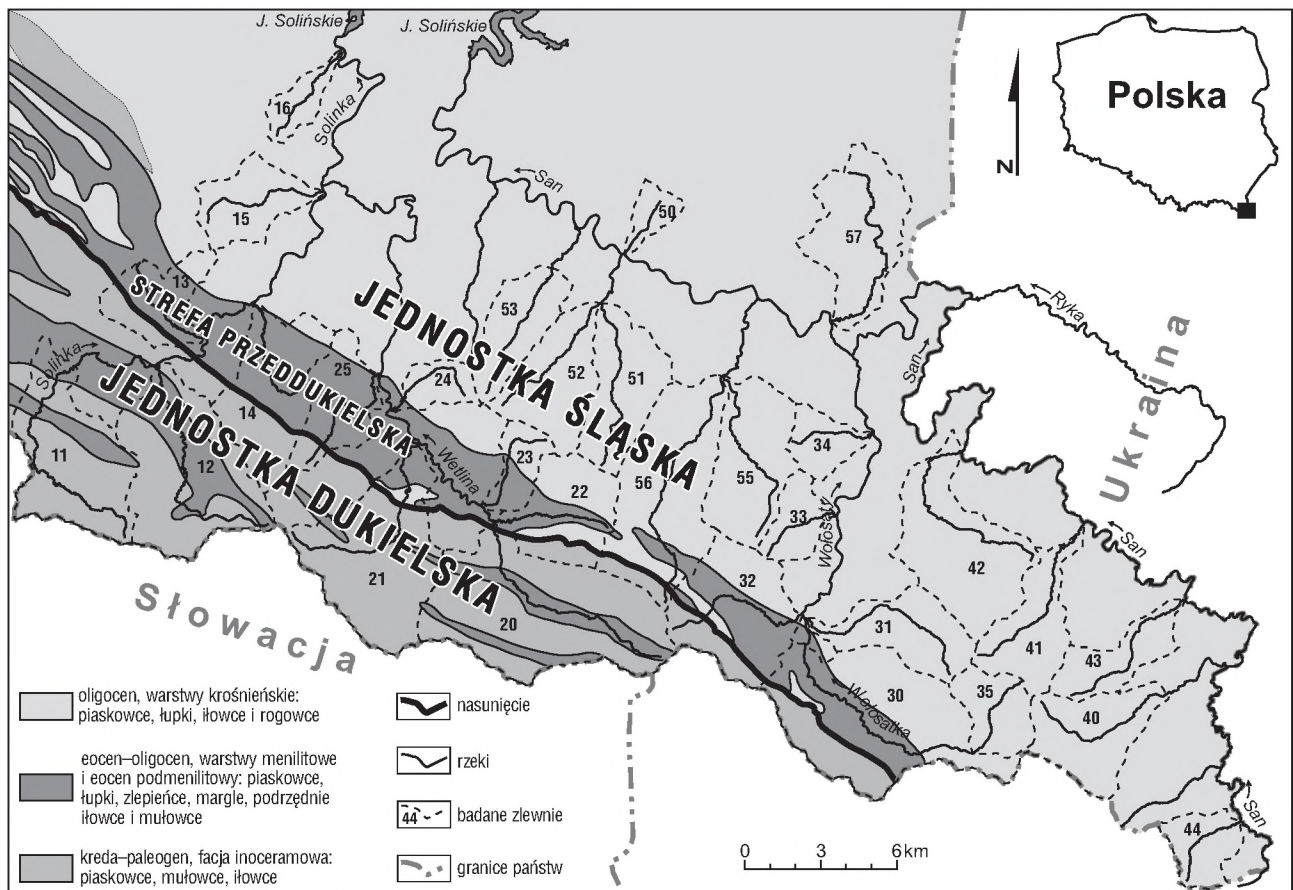
Obszar badań

Obszar badań obejmuje zlewnie Sanu i Solinki powyżej zbiornika Solińskiego (ryc. 1). Zgodnie z regionalizacją fizycznogeograficzną Karpat według Balona i in. (1995) jest położony w obrębie podprowincji Karpaty Wschodnie Zewnętrzne, makroregionu Bieszczady, mezoregionu Bieszczady Wysokie; jego znaczna część znajduje się w granicach Bieszczadzkiego Parku Narodowego.

Bieszczady Wysokie zbudowane są z dwóch jednostek tektoniczno-facjalnych fliszu Karpat Zewnętrznych: śląskiej i nasuniętej na nią od południa jednostki dukielskiej (ryc. 1). Południowo-zachodnia część jednostki śląskiej wyróżniana jest jako strefa przeddukielska. W skład obu jednostek wchodzi naprzemianległe warstwy łupków i piaskowców o biegu NW-SE (Haczewski & Bąk, 2007). Rzeźba Bieszczadów wyraźnie nawiązuje do budowy geologicznej, co widoczne jest między innymi w kratowym (w makroskali) układzie sieci rzecznej (Henkiel, 1982).

Górny San charakteryzuje się niewyrównanym reżimem przepływu z wezbraniem wiosenno-zimowym oraz deszczowo-gruntowo-śnieżnym zasilaniem (Dynowska, 1972). Średni wieloletni odpływ jednostkowy ze zlewni Sanu i Solinki wynosi ok. $25 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (Dynowska, 1972; Ziemońska, 1973; Dobija, 1981; Punzet, 1991; Stachy & Biernat, 1994–1997). Według informacji zawartej w dokumentacji hydrogeologicznej Bieszczadów średni wieloletni moduł odpływu podziemnego dla obszarów fliszowych wynosi $3,0 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, z kolei dla dolin rzecznych – $3,2 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (Kurdziel, 1978, zob. Chowaniec & Witek, 2002).

¹Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków; j.plenzler@uj.edu.pl, bjaskowiec@gis.geo.uj.edu.pl, b.rzonca@geo.uj.edu.pl, j.siwek@uj.edu.pl, sabina.wojcik@uj.edu.pl.



Ryc. 1. Położenie i budowa geologiczna obszaru badań na podstawie Świdzińskiego (1958) oraz Marksa i in. (2006). Numery zlewni jak w tab. 2 oraz na ryc. 4

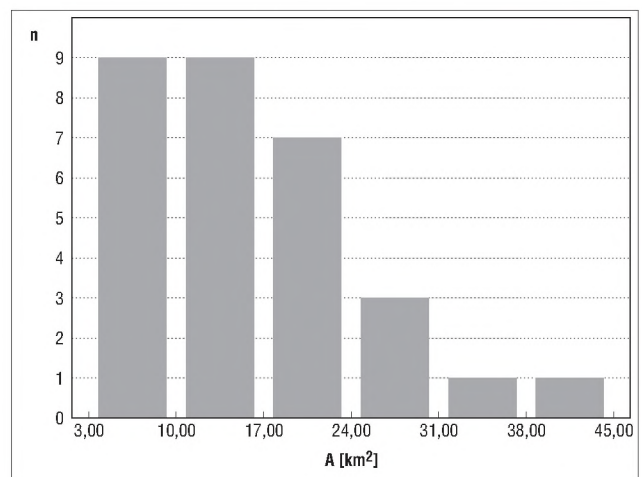
Metodyka

Badania terenowe przeprowadzono w dniach 3–6 października 2009 r. w warunkach głębokiej niżówki, poprzedzonej długotrwałym okresem bezdeszczowym. Podczas badań przepływ Sanu w Zatwarnicy (IMGW, 2009) wynosił $1,13 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (3.10.2009) oraz $1,02 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (4–6.10.2009) i był wyraźnie niższy od średniego z minimalnych przepływu ($\text{SNQ} = 1,19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) w wieloletniu 1973–1990 (*Atlas posterunków dla potrzeb Państwowego Monitoringu Środowiska*, 1995–1996). Sytuację taką określa się właśnie jako głęboką niżówkę (Bajkiewicz-Grabowska & Mikulski, 2006). Należy także zauważyć, że przepływ w okresie badań był dziesięciokrotnie niższy od średniego rocznego przepływu Sanu (SSQ) w tym profilu hydrologicznym (tab. 1).

Przepływy cieków zmierzono w punktach zamykających 30 wybranych zlewni o powierzchni $3,21\text{--}42,95 \text{ km}^2$ (ryc. 2; tab. 2). Wybrane zlewnie zajmują nieco ponad połowę powierzchni badanego dorzecza Sanu i Solinki. Wybrano je tak, aby były rozmieszczone możliwie równomiernie w całym obszarze badań oraz reprezentowały zarówno najniższe, jak i najwyższe części Bieszczadów Wysokich, a także wszystkie główne pasma i grupy górskie. Uwzględniono również orientację osi zlewni (lub kierunku koryta cieków) względem osi fałdów oraz to, czy w danej zlewni stoki są nachylone zgodnie czy przeciwnie do upadu warstw geologicznych. Wcześniejsze badania w zlewni górnej Wołosatki (Rzonca i in., 2008; Siwek i in., 2009) wykazały, że ma to duże znaczenie dla szeroko pojmowanych warunków hydrologicznych. Dostępność zdecydowała jedynie o nietypowym położeniu kilku profili

Tab. 1. Przepływy charakterystyczne i odpowiadające im odpływy jednostkowe Sanu w Zatwarnicy w wieloletniu 1973–1990 (wg *Atlasu posterunków wodowskazowych dla potrzeb Państwowego Monitoringu Środowiska*, 1995–1996)

	Przepływ [$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$]	Odpływ jednostkowy [$\text{dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$]
WWQ – najwyższy z maksymalnych	322,00	656,5
SWQ – średni z maksymalnych	162,00	330,3
SSQ – średni	11,50	23,4
SNQ – średni z minimalnych	1,19	2,4
NNQ – najniższy z minimalnych	0,72	1,5



Ryc. 2. Powierzchnia badanych zlewni (A); n – liczba zlewni

Tab. 2. Podziemny odpływ jednostkowy w badanych zlewniach – numery zlewni odpowiadają numeracji na ryc. 1 i 4

Nr	Zlewnia	Profil	Powierzchnia [km ²]*	Podziemny odpływ jednostkowy [dm ³ s ⁻¹ km ⁻²]	Data pomiaru
11	Górna Solinka-Żubracze	Żubracze	23,1	2,0	3.10.2009
12	Roztoczka	ujście do Solinki	28,2	2,4	3.10.2009
13	Ciśnianka	ujście do Solinki	10,3	1,9	3.10.2009
14	Dołżyczka	ujście do Solinki	19,0	3,3	3.10.2009
15	Łopienka	ujście do Solinki	10,3	1,9	3.10.2009
16	Bukowiec	ujście do Solinki	4,4	4,1	3.10.2009
20	Górna Solinka-Moczarne	przed połączeniem z potokiem Górna Wetlinka	38,0	4,2	3.10.2009
21	Smerek	ujście do Wetlinki	27,8	3,8	3.10.2009
22	Górna Wetlinka	przed połączeniem z potokiem Górna Solinka-Moczarne	14,3	2,4	3.10.2009
23	Spod Hnatowego Berda	ujście do Wetlinki	5,6	2,2	3.10.2009
24	Kindrat	ujście do Wetlinki	4,7	1,6	3.10.2009
25	Kalnica	ujście do Wetlinki	11,3	1,3	3.10.2009
30	Wołosatka	Ustrzyki Górne (most powyżej Ustrzyk Górnych)	43,0	2,7	4.10.2009
31	Terebowiec	ujście do Wołosatki	12,9	3,8	5.10.2009
32	Rzeczycza	ujście do Wołosatki	20,3	1,4	4.10.2009
33	Bystry	ujście do Wołosatego	6,1	3,1	5.10.2009
34	Spod Magury Stuposiańskiej	ujście do Wołosatego	5,7	1,7	5.10.2009
35	Górna Wołosatka	przed połączeniem z potokiem Zgniłym	8,3	4,8	6.10.2009
40	Halicz	Bukowiec (most)	14,3	1,2	5.10.2009
41	Roztoki	ujście do Sanu	12,8	2,3	5.10.2009
42	Muczny	ujście do Sanu	22,9	3,5	5.10.2009
43	Litmirz	ujście do Sanu	9,1	2,3	5.10.2009
44	Niedźwiedzi	ujście do Sanu	6,8	0,9	5.10.2009
50	Otryt	ujście do Sanu	3,2	2,1	4.10.2009
51	Hylaty	przed połączeniem z Rzeką	14,7	2,4	4.10.2009
52	Rzeka	przed połączeniem z potokiem Hylatym	14,3	3,2	4.10.2009
53	Hulski	most na asfaltowej drodze do Zatwarnicy	10,8	6,8	4.10.2009
55	Caryński	przed połączeniem z potokiem Nasiczniańskim	17,4	3,5	4.10.2009
56	Nasiczniański	przed połączeniem z potokiem Caryńskim	28,1	1,8	4.10.2009
57	Smolniczek	ujście do Sanu	18,4	2,1	5.10.2009

*Wg Czarneckiej (2005), z wyjątkiem zlewni nr: 30, 35, 40 i 53, których powierzchnia została obliczona na podstawie mapy topograficznej 1 : 10 000.

zamykających zlewnie i nie była kryterium wyboru zlewni badawczych. Ponieważ według *Atlasu podziału hydrograficznego Polski* (Czarnecka, 2005) dwa spośród wybranych cieków noszą nazwę Górna Solinka, w niniejszym artykule dla rozróżnienia przyjęto nazwy: Górna Solinka-Żubracze (dla źródłowego odcinka Soliniki) oraz Górna Solinka-Moczarne (dla lewego dopływu górnej Wetlinki).

Pomiary przepływu wykonano za pomocą młynka hydrometrycznego HEGA-1, przystosowanego do badania małych i bardzo małych cieków. Na podstawie pomierzonych wartości przepływu obliczono odpływ jednostkowy badanych zlewni. Ze względu na warunki hydrologiczne podczas prowadzenia badań (długotrwała, bardzo głęboka niżówka) uzyskane wyniki można utożsamiać z odpływem podziemnym bazowym, czyli najtrwalszą składową głębokiego zasilania cieków wodami podziemnymi (Dębski, 1970; Pazdro & Kozerski, 1990; Ozga-Zielińska & Brzeziński, 1994; Chełmicki, 2003).

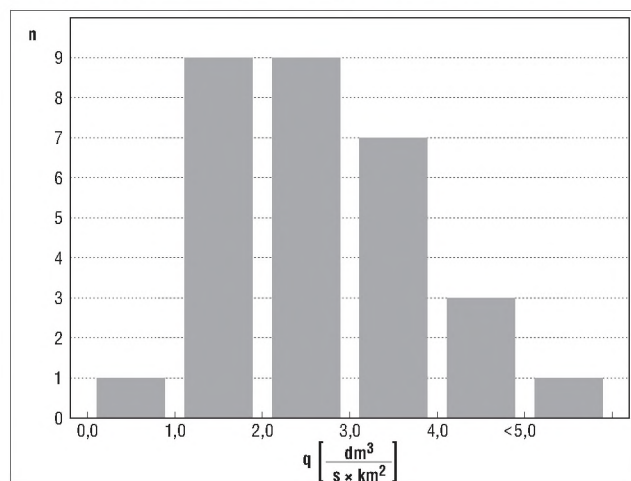
Wyniki

Badane ciek w październiku 2009 r. charakteryzowały się przepływami od kilku do ponad stu litrów na sekundę. Moduł odpływu podziemnego był zróżnicowany i przyjmował wartości od 0,9 dm³ s⁻¹ km⁻² w zlewni potoku Niedźwiedziego do 6,8 dm³ s⁻¹ km⁻² w zlewni potoku Hulskiego, przy czym aż w 60% przypadków kształtował się na poziomie 1–3 dm³ s⁻¹ km⁻² (ryc. 3).

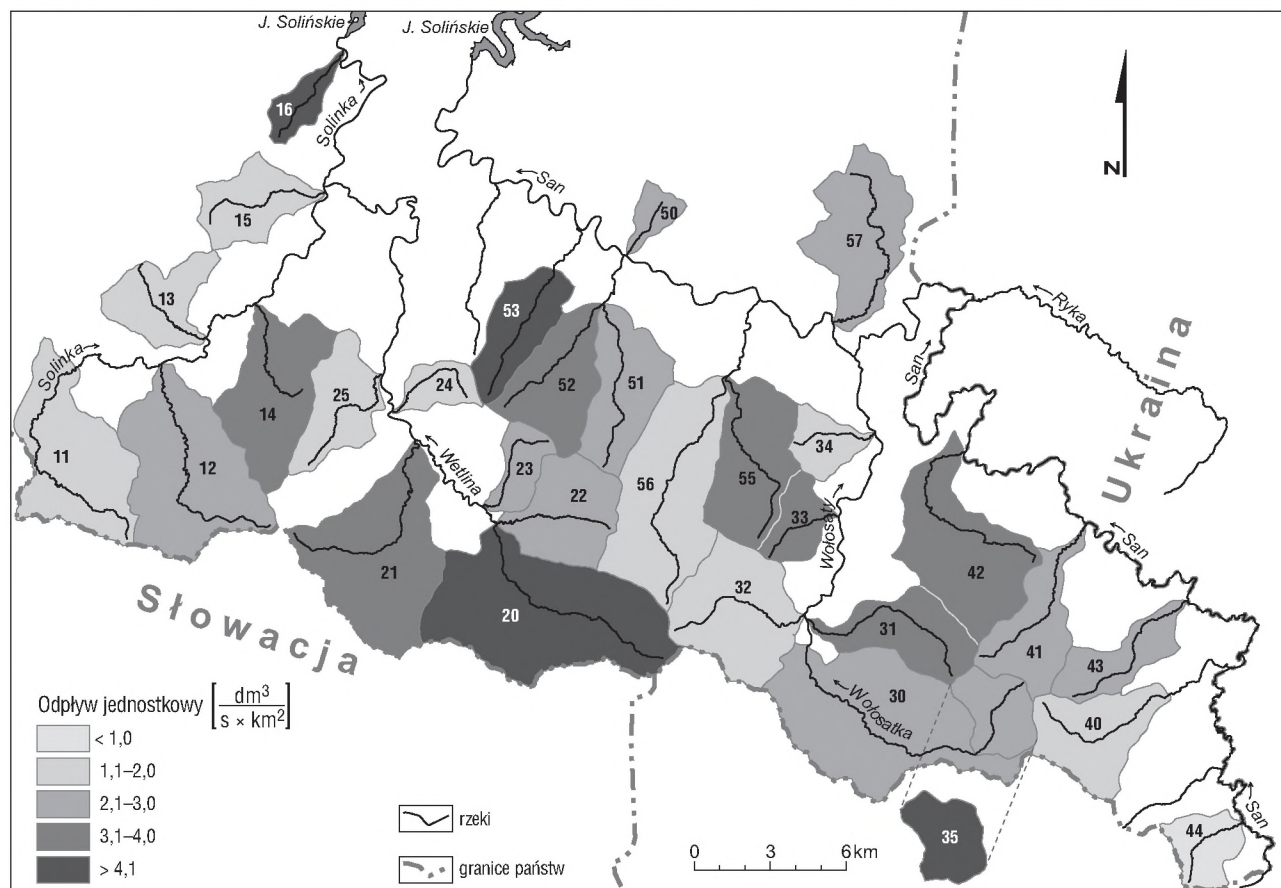
Najwyższe wartości modułu odpływu podziemnego odnotowano na północnych stokach Połonin Wetlińskiej i Caryńskiej, Pasma Granicznego oraz w zlewniach potoków odwadniających masyw Tarnicy (ryc. 4); najniższe natomiast – w zachodniej części obszaru badań (lewobrzeżne dopływy Solinki w paśmie Łopiennika i Durnej) oraz w zlewniach Kindratu, Kalnicy, Rzeczycy i potoku Nasiczniańskiego. Wartości podziemnego odpływu jednostkowego w tych zlewniach wnosyły poniżej 2 dm³ s⁻¹ km⁻² (ryc. 4).

Dyskusja

Badania wykazały znaczne przestrzenne zróżnicowanie modułu odpływu podziemnego na terenie Bieszczadów Wysokich. Najwyższe wartości występują w zlewniach charakteryzujących się głęboko wciętymi dolinami. Dodatkowo, zwiększeniu zasilania podziemnego sprzyja występowanie rozległych osuwisk i związanych z nimi źródeł osuwiskowych zasilanych wodami retencjonowanymi w materiale koluwalnym (Rzonca i in., 2008). Tego typu warunki panują w obrębie północnych stoków Pasma Połonin oraz Pasma Granicznego (ryc. 4; Haczewski i in., 2007). Z kolei stosunkowo niskimi wartościami modułu odpływu podziemnego cechują się zlewnie odwadniane



Ryc. 3. Podziemny odpływ jednostkowy (q); n – liczba zlewni



Ryc. 4. Podziemny odpływ jednostkowy w Bieszczadach Wysokich wg pomiarów z października 2009 r. Numery zlewni cząstkowych jak w tab. 2 oraz na ryc. 1

przez płytko wcięte, krótkie potoki, występujące na południowych stokach Połoniny Wetlińskiej i Caryńskiej.

Uzyskane wyniki są nieco wyższe od prezentowanych w literaturze. Dla zlewni górnej Wołosatki Siwek i in. (2009) stwierdzili moduł odpływu podziemnego na poziomie $3,6 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Natomiast podczas badań, których wyniki są prezentowane w niniejszym artykule, stwierdzono na podstawie pomiaru w tym samym profilu $4,8 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Z kolei Łajczak (1996) określił (w warunkach głębokiej niżówki) wielkość modułu odpływu podziemnego w zlewniach cząstkowych Wołosatki, Rzeczycy, Terebowca i górnej części potoku Nasiczniańskiego (o powierzchniach $0,8\text{--}3,8 \text{ km}^2$) na $0,1\text{--}4,0 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Odpływ jednostkowy wykazuje zazwyczaj związki korelacyjne z rozwinięciem sieci rzecznej i bezwzględną wysokością zlewni (Dynowska, 1976, 1978). Rozwinięcie sieci rzecznej jest bowiem silnie związane z warunkami drenażu wód podziemnych (a także wód spływających po powierzchni terenu) oraz z mechanizmem formowania się odpływu – zarówno w okresach wezbraniowych, jak i w czasie niżówek. Z kolei wysokość bezwzględna terenu ma bezpośrednie przełożenie na wielkość opadów, a przez to na zasilanie zbiorników wód podziemnych, wpływa więc tym samym na wielkość odpływu i, najczęściej, jednostkowego odpływu podziemnego (Dynowska, 1976, 1978). W badanych zlewniach nie stwierdzono jednak istotnych zależności pomiędzy modułem odpływu podziemnego a gęstością sieci rzecznej (reprezentującą jej rozwinięcie) ani pomiędzy modułem odpływu podziemnego a średnią wysokością zlewni nad poziomem morza (ryc. 5). Wskazuje to na złożoność czynników kształtujących odpływ podziemny w badanym terenie.

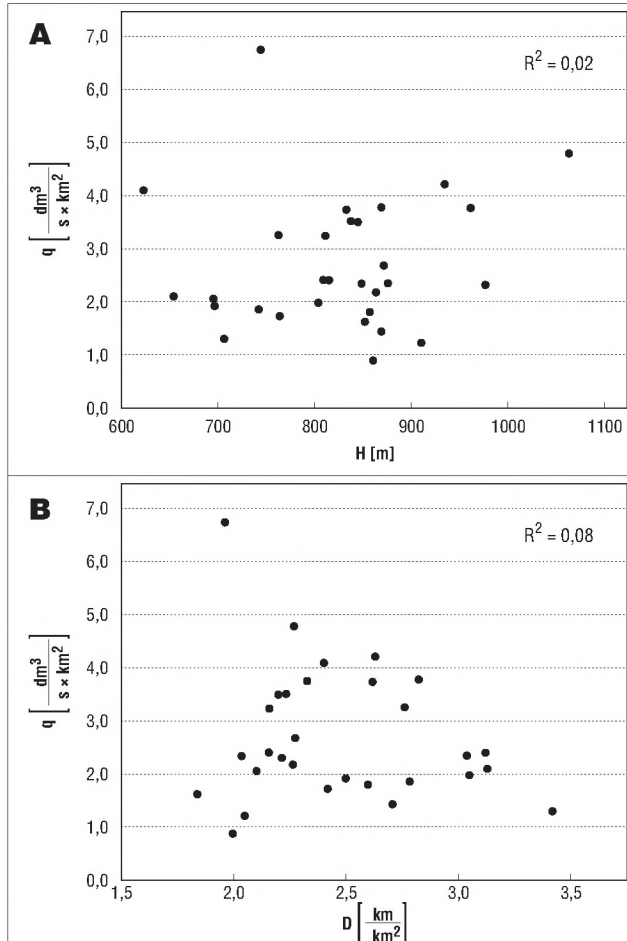
Sprawdzono także różnicę między wartościami modułu odpływu podziemnego ze zlewni położonych w obrębie jednostki śląskiej i jednostki dukielskiej (ryc. 6). W tym celu wykonano test statystyczny t Studenta. Nie stwierdzono jednak różnic istotnych statystycznie na przyjętym w teście poziomie istotności $p \leq 0,05$. Taka zależność, o ile istnieje, jest trudna do statystycznego wykazania na pod-

stawie wykonanych pomiarów, gdyż przeważająca liczba badanych zlewni położona jest w obszarze jednostki śląskiej.

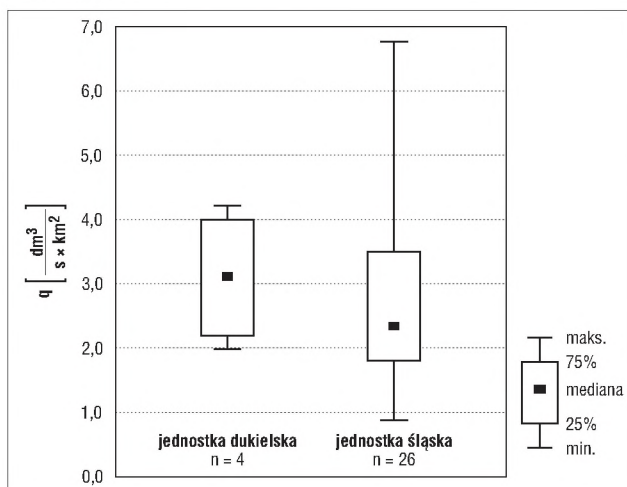
Dziękujemy dr. Sebastianowi Buczyńskiemu za znaczącą pomoc organizacyjną oraz Agnieszce Wójcik za udział w badaniach terenowych.

Literatura

- Atlas** posterunków wodowskazowych dla potrzeb Państwowego Monitoringu Środowiska, 1995–1996, Biblioteka Państwowego Monitoringu Środowiska, Warszawa-Katowice.
- BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E. & MIKULSKI Z. 2006 – Hydrologia ogólna. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- BALON J. 1995 – Regiony fizycznogeograficzne. [W:] Warszzyńska I. (red.) Karpaty polskie: przyroda, człowiek i jego działalność. Wyd. UJ, Kraków: 117–130.
- BARTNIK A. 2005 – Odpływ niski w Polsce. Acta Geogr. Lodz., 91: 1–95.
- CHELMICKI W. 2003 – Odpływ podziemny. [W:] Pociask-Karteczka J. (red.) Zlewnia, właściwości i procesy. Inst. Geogr. Gosp. Przestrz. UJ, Kraków: 207–214.
- CHOWANIEC J. & WITEK K. 2002 – Mapa hydrogeologiczna Polski wraz z objaśnieniami w skali 1 : 50 000. Arkusz 1068 – Ustrzyki Górne. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- CZARNECKA H. (red.) 2005 – Atlas podziału hydrograficznego Polski. Cz. 2 – Zestawienia zlewni. IMGW, Warszawa.
- DĘBSKI K. 1970 – Hydrologia. Arkady, Warszawa.
- DÓBIJA A. 1981 – Sezonowa zmienność odpływu w zlewni górnej Wisły (po Zawichost). Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., 53: 51–112.
- DYNOWSKA I. 1972 – Typy reżimów rzecznych w Polsce. Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., 28: 1–150.
- DYNOWSKA I. 1976 – Poglądy na wpływ elementów środowiska geograficznego na podziemne zasilanie rzek w Polsce. Folia Geogr., Ser. Geogr.-Phys., 10: 43–52.
- DYNOWSKA I. 1978 – Znaczenie środowiska geograficznego dla przestrzennego zróżnicowania odpływu. Folia Geogr., Ser. Geogr.-Phys., 11: 85–98.
- HACZEWSKI G. & BĄK K. 2007 – Budowa geologiczna Bieszczadów Wysokich. [W:] Terenowe warsztaty geomorfologiczne pt. Środowisko i człowiek w górach średnich. Muczne, 5–7.10.2007, Kraków: 8–9.
- HACZEWSKI G., KUKULAK J. & BĄK K. 2007 – Budowa geologiczna i rzeźba Bieszczadzkiego Parku Narodowego. Wyd. Nauk. Uniw. Pedagog., Kraków.
- HENKIEL A. 1982 – O pochodzeniu kratowej sieci rzecznej Beskidów Wschodnich. Czas. Geogr., 53: 19–27.
- IMGW 2009 – Codzienny biuletyn stanu wody (3–6.10.2009) [<http://www.pogodynka.pl/polska/hydro/wisla>].
- ŁAJCZAK A. 1996 – Hydrologia. [W:] Skiba S. (red.) Plan ochrony Bieszczadzkiego Parku Narodowego. Operat zasobów przyrody nieożywionej i gleb. T. 1. Kraków: 12–38.
- MARKS L., BER A., GOGOLEK W. & PIOTROWSKA K. (red.) 2006 – Mapa geologiczna Polski w skali 1 : 500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- OZGA-ZIELIŃSKA M. & BRZEZIŃSKI J. 1994 – Hydrologia stosowana. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- PAZDRO Z. & KOZERSKI B. 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- PUNZET J. 1991 – Przepływy charakterystyczne. [W:] Dynowska I. & Maciejowski M. (red.) Dorzecze górnej Wisły. Cz. 1. Państw. Wyd. Nauk., Warszawa-Kraków: 167–215.
- RZONCA B., KOŁODZIEJ A., LASZCZAK E., MOCIOR E., PLENZLER J., PŁACZKOWSKA E., ROZMUS M., SIWEK J., ŚCISŁOWICZ B., WÓJCIK S. & ZIÓŁKOWSKI L. 2008 – Źródła w zlewni górnej Wołosatki w Bieszczadach Wysokich. Prz. Geol., 56: 772–779.
- SIWEK J., KOŁODZIEJ A., LASZCZAK E., MOCIOR E., PLENZLER J., PŁACZKOWSKA E., ROZMUS M., RZONCA B., ŚCISŁOWICZ B., WÓJCIK S. & ZIÓŁKOWSKI L. 2009 – Geologiczne i geomorfologiczne uwarunkowania wykształcenia sieci hydrograficznej w zlewni górnej Wołosatki (Bieszczady Wysokie). Kwartalnik AGH, Geologia, 35: 249–261.
- STACHY J. & BIERNAT B. 1994–1997 – Średni odpływ jednostkowy. [W:] Atlas Rzeczypospolitej. Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- SWIDZIŃSKI H. 1958 – Mapa geologiczna Karpat Polskich, część wschodnia 1 : 200 000. Wyd. Geol.
- ZIEMOŃSKA K. 1973 – Stosunki wodne w polskich Karpatkach Zachodnich. Pr. Geogr. IG PAN, 103: 1–103.



Ryc. 5. Zależność pomiędzy: **A** – podziemnym odpływem jednostkowym (q) a średnią bezwzględną wysokością zlewni (H); **B** – podziemnym odpływem jednostkowym (q) a gęstością sieci rzecznej (D)



Ryc. 6. Charakterystyki statystyczne podziemnego odpływu jednostkowego w zlewniach położonych w obrębie jednostki śląskiej i dukielskiej; n – liczba zlewni

Praca wpłynęła do redakcji 17.02.2010 r.

Po recenzji akceptowano do druku 21.10.2010 r.