

OCENA WODONOŚNOŚCI UTWORÓW FLISZOWYCH W REJONIE MUSZYNY NA PODSTAWIE BADAŃ ŹRÓDEŁ

ASSESSMENT OF WATER-BEARING CAPACITY OF FLYSCH DEPOSITS IN THE MUSZYNA REGION BASED ON SPRING INVESTIGATION

IRENA JÓZEFKO¹, NESTOR OSZCZYPKO², MARCIN KUKUŁA¹

Abstrakt. W pracy zaprezentowano wyniki badań hydrogeologicznych prowadzonych w rejonie Muszyny. Na podstawie analizy wyników badań naturalnych wypływów wód podziemnych, po uwzględnieniu budowy geologicznej i wyników badań hydrologicznych, oceniono wodonośność utworów fliszowych, co umożliwiło dyskusję na temat zmienności wodonośności na obszarze współwystępowania wód zwykłych i mineralnych.

Słowa kluczowe: wodonośność, źródła, wody podziemne, flisz, Muszyna, Karpaty.

Abstract. This paper present the results of hydrogeological studies conducted in the Muszyna region. Based on the results of the analysis of natural groundwater discharges, and taking into account the geological structure and the results of hydrological studies, the water-bearing capacity of flysch rocks has been rated. This allowed discussing the water-bearing capacity in the area of drinking and mineral water co-occurrence.

Key words: water-bearing capacity, springs, groundwater, flysch, Muszyna, the Carpathians.

WSTĘP

Badania terenowe prowadzone w latach 2003–2005 w rejonie Muszyny były częścią studiów, które zakończono opracowaniem numerycznego modelu wód podziemnych tego obszaru (Kania i in., 2009). W ramach kartowania hydrogeologicznego przeprowadzonego w 2003 roku, na obszarze o powierzchni 87 km², zarejestrowano następujące przejawy wód podziemnych: źródła, w tym także źródła, które wypływają bezpośrednio w dnach potoków, wycieki

i wsięki, obszary podmokłe (młaki) oraz wszystkie, nawet najmniejsze naturalne przejawy wód mineralnych i dwutlenku węgla. Zarejestrowano 680 wystąpień wód podziemnych, w tym 78 wystąpień wód mineralnych. W terenie wykonano pomiary wydajności wypływów oraz cech fizykochemicznych wody – temperatury, przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW) i pH. W listopadzie 2003 roku wykonano także pomiary hydrometryczne (natężenia przepływu) w 43

¹ Przedsiębiorstwo Badań Geologicznych „Geoprofil” Sp. z o.o., ul. Friedleina 13, 30-009 Kraków; e-mail: i.jozefko@geoprofil.pl, m.kukula@geoprofil.pl

² Uniwersytet Jagielloński, Instytut Nauk Geologicznych, ul. Oleandry 2a, 30-063 Kraków; e-mail: nestor_oszczypko@yahoo.com

punktach (Józefko, 2010). Pomiary przypadły na okres suszy hydrologicznej. Lato i jesień 2003 roku odznaczały się wyjątkowo niskimi stanami wód gruntowych i powierzchniowych, co daje pewność, że w tym czasie wszystkie cieki prowadziły wodę z zasilania podziemnego, a spływ powierzchniowy był równy zeru. W roku hydrologicznym 2003 roczna suma opadów atmosferycznych, odnotowana

na posterunku opadowym IMGW w Muszynie, wynosiła 593 mm – jedna z najniższych rocznych sum opadów. Na tej podstawie 2003 rok zaliczono do bardzo suchych. Niższe sumy opadów odnotowano tylko w latach 1956–1957 (461–582 mm) oraz w 1961 (551 mm), 1969 (517 mm) i 1971 roku (548 mm).

POŁOŻENIE OBSZARU BADAŃ

Obszar objęty badaniami jest położony w obrębie Beskidu Sądeckiego, na południowy zachód od pasma górskiego Jaworzyny. Najwyższymi wzniesieniami obszaru badań są Runek (1082 m n.p.m.) i Jaworzyna (1114 m n.p.m.). Najniżej są położone tereny w dolinach Popradu i Muszynki (prawo-

brzeżny główny dopływ Popradu). Maksymalna różnica wzniesień w obrębie badanego terenu wynosi około 680 m.

Obszar badań należy do zlewni Popradu. Głównymi jej dopływami są w tym rejonie Smereczek, Muszynka i Szczawnik.

UWARUNKOWANIA GEOLOGICZNE WYSTĘPOWANIA ŹRÓDEŁ

Badania geologiczne w rejonie Muszyny liczą ponad 100 lat i są nadal kontynuowane (Oszczypko, Oszczypko-Clowes, 2010a, b). Obszar badań jest położony w południowo-wschodniej części płaszczowiny magurskiej, w obrębie krynickiej strefy facjalnej, zbudowanej z utworów fliszowych wieku późnokredowo-paleogeńskiego (tab. 1, fig. 1).

Najstarsze utwory należą do formacji z Malinowej (turon–kampan), są odsłonięte w Jastrzębiku i w Złockiem. Utwory młodsze (paleogeńskie) należą do formacji ze Szczawnicy, z Zarzecza i magurskiej. Formacje ze Szczawnicy i z Zarzecza są utworzone z cienko- i średnioławicowego fliszu, natomiast ogniwo krynickie (formacja z Zarzecza) oraz formacja magurska są zdominowane przez gruboławicowe piaskowce i zlepięce. Opisywany obszar ma budowę fałdowo-blokową. Jądra antyklin są zazwyczaj utworzone z silnie zdeformowanych tektonicznie utworów formacji ze Szczawnicy i z Zarzecza, które przykrywają płyty synklinalne formacji magurskiej. Obserwowane struktury fałdowe są pocięte licznymi uskokami poprzecznymi o ogólnym kierunku SW–NE.

Źródła wód zwykłych występują we wszystkich formacjach, zarówno w dolinach, jak i na ich zboczach oraz w lejach źródłowych. Zwiększoną liczbę źródeł stwierdzono

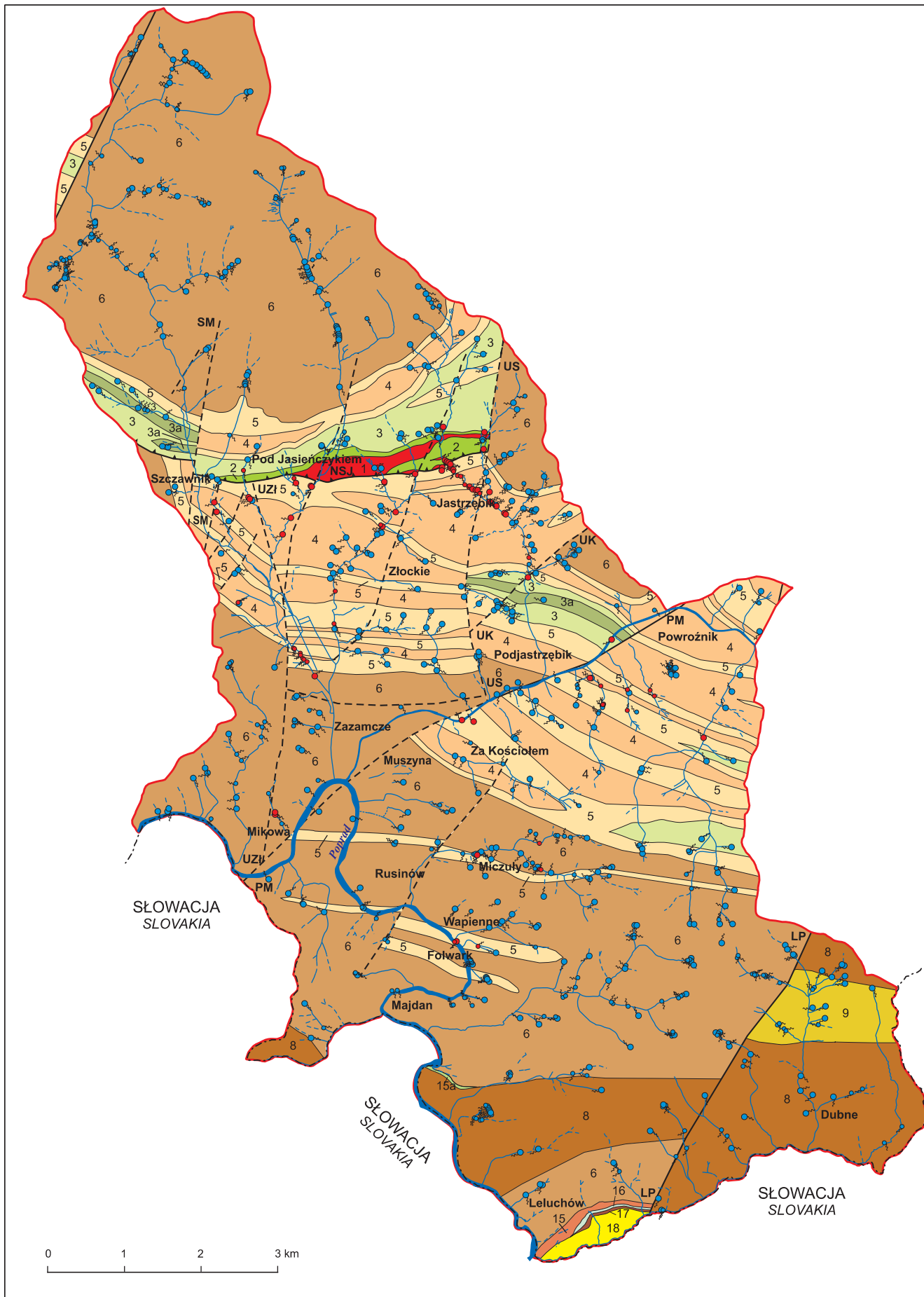
w strefach osuwiskowych, głównie w pobliżu podstawy czoła osuwiska, rzadziej w niszach osuwiskowych. Odwodnienie osuwisk odbywa się przez rozległe liniowe źródłiska, widoczne np. w dolinie Szczawniczka (fig. 2). Taki układ wypływających źródeł tworzy się również na kontakcie utworów wykształconych w facji piaskowcowej ze słabo przepuszczalnymi kompleksami lub przeławiczeniami łupkowymi (fig. 3).

Rozprzeźnienie źródeł wód mineralnych wskazuje na wyraźny związek z przebiegiem stref uskokowych oraz z tektoniką obszaru (fig. 1). Większość źródeł mineralnych występuje na wyniesieniach antyklinalnych Szczawnika, Złockiego, Jastrzębika i obrzeżających je uskockach poprzecznych. W strefach synklinalnych źródła mineralne zasadniczo nie występują. Wszystkie naturalne wystąpienia wód mineralnych grupują się w sąsiedztwie ważnych dyslokacji tektonicznych, nie tylko przy głównych liniach dyslokacyjnych, lecz także na poprzecznych do nich uskockach (fig. 1). Z porównania miejsc występowania naturalnych wypływów wód mineralnych z mapą geologiczną wynika, że największa ich liczba jest związana z utworami wykształconymi w facji fliszu łupkowego z wkładkami piaskowcowymi. Są to utwory formacji z Zarzecza, w obrębie których zarejestrowano 60 wypływów (77% ogólnej liczby).

Tabela 1

Stratygrafia, wykształcenie litologiczne i wodonośność utworów przedczwartorzędowych rejonu Muszyny
Stratigraphy, facies development and water-bearing capacity of the pre-Quaternary deposits of the Muszyna area

Startygrafia utworów				Wykształcenie litologiczne	Wodonośność		
Okres System	Epoka Seria	Oznaczenia wg figury 1	Wydzielenia		Liczba obserwacji	Wskaźnik krenologiczny $\frac{\text{min-max}}{\text{średni}}$	Wskaźnik krenologiczny źródła mineralne $\frac{\text{min-max}}{\text{średni}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
NEOGEN	miocen	9	formacja z Kremnej	ciemnoławicowy flisz, cienkoławicowe wapniste piaskowce z przeławiczeniami szarych łupków marglistych, podrzędnie występują średnio- i gruboławicowe, gruboziarniste piaskowce	12	$\frac{-}{8,82}$	-
		8	ogniwo piaskowców z Popradu formacji magurskiej	różnoziarniste piaskowce, niekiedy zlepieńcowate, gruboławicowe, sporadycznie przeławiczone ciemnoszarymi marglistymi mułowcami	45	$\frac{5,06 - 5,14}{5,11}$	-
PALEOGEN	oligocen	18	formacja malcowska	piaskowce muskowitzowe z przeławiczeniami szarych łupków marglistych, w spągowej części występują wkładki łupków menilitowych oraz łupki i margle pstre	0	-	-
		17	ogniwo łupków ze Smereczka formacji malcowskiej	łupki menilitowe, rogowce i tufity	0	-	-
		16	ogniwo margli z Leluchowa formacji malcowskiej	margle globigerinowe	0	-	-
		15	ogniwo łupków z Mniszka formacji magurskiej	łupki pstre, czerwone i zielonkawe łupki ilaste z przeławiczeniami cienkoławicowych piaskowców	0	-	-
	eocen	6	ogniwo piaskowców z Piwnicznej formacji magurskiej	piaskowce gruboławicowe, muskowitzowe, średnio- i gruboziarniste o spoiwie wapnistym, zawierające przeławiczenia cienkoławicowego fliszu litofacji zarzeckiej, pakiety zlepieńców i piaskowców zlepieńcowatych	353	$\frac{4,98 - 8,82}{7,67}$	$\frac{0,00 - 0,87}{0,15}$
		5	formacja z Zarzeczca	flisz cieko- lub średnioławicowy zdominowany przez zespoły piaskowców, mułowców i łupków marglistych o zabarwieniu szarym	115	$\frac{3,57 - 18,29}{9,72}$	$\frac{0,00 - 10,32}{2,87}$
		4	ogniwo piaskowców krynickich formacji z Zarzeczca	grubo- i bardzo gruboławicowe, różnoziarniste piaskowce i zlepieńce o spoiwie ilasto-wapnistym oraz żwirowce ilaste	107	$\frac{5,75 - 10,26}{8,41}$	$\frac{0,00 - 3,32}{2,20}$
		3a	ogniwo piaskowców z Życzanowa formacji ze Szczawnicy	piaskowce gruboławicowe i zlepieńce	6	$\frac{3,23 - 17,86}{10,17}$	-
		3	formacja ze Szczawnicy	cienkoławicowy wapnisty flisz, średnio- i cienkoławicowe piaskowce, niebieskoszare, wapniste, drobno- i średnioziarniste przekładane niebieskimi, słabo wapnistymi łupkami, rzadziej piaskowce gruboławicowe, gruboziarniste lub zlepieńcowate piaskowce cienkoławicowe i łupki ilaste	33	$\frac{5,26 - 11,94}{9,19}$	$\frac{0,00 - 2,99}{1,39}$
	KREDA	kreda górna (turon-mastrycht)	2	formacja ze Złockiego	zielonoszare, bezwapniste łupki ilaste z przeławiczeniami drobno- i bardzo drobnoziarnistych, cienko- i średnioławicowych, bezwapnistych piaskowców	7	$\frac{-}{13,21}$
1			formacja z Malinowej	bezwapniste łupki ilaste, głównie czerwone, podrzędnie łupki zielone oraz drobnoziarniste, bezwapniste piaskowce cienko- i średnioławicowe	2	$\frac{-}{4,65}$	-



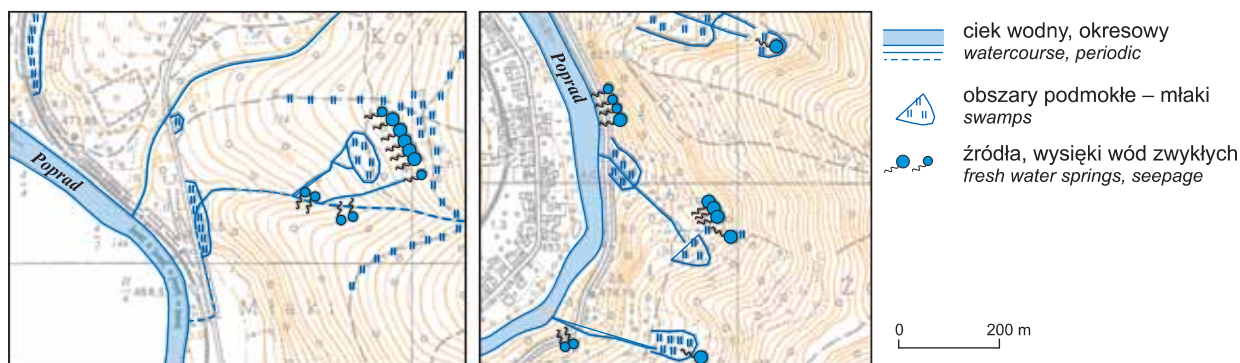


Fig. 3. Występowanie liniowych źródeł w dolinie Popradu (Józefko, 2010)

The presence of linear spring areas in the valley of the Poprad (Józefko, 2010)

WODONOŚĆ UTWORÓW FLISZOWYCH

W rejonie Muszyny najlepszą wodonośność wykazują utwory formacji z Zarzecza (tab. 1). Wypływają z nich liczne źródła o zróżnicowanej wydajności, o czym informuje wartość modułu odpływu źródłanego w zlewniach cząstkowych, w których utwory te mają największe rozprzestrzenienie. Wysoka jest wodonośność utworów formacji ze Szczawnicy i piaskowców z Piwnicznej formacji magurskiej. Niewiele źródeł odnotowano w obrębie pozostałych utworów.

Wskaźnik krenologiczny średni dla całego obszaru badań wynosi 7,82 i wskazuje na zróżnicowanie regionalne. Na północ od Muszyny, mającej swoje założenie na uskoku PM (Powroźnik–Muszyna), wynosi 8,57, zaś na południe od Muszyny, pomiędzy uskoki PM a LP (Leluchów–Po-

wroźnik) zmniejsza się do 7,46. Pomiedzy uskokiem LP a granicą opracowania wskaźnik ten wynosi 5,95. O zróżnicowaniu wskaźnika krenologicznego decyduje udział utworów wykształconych w facji fliszu łupkowego i normalnego, należących głównie do formacji z Zarzecza. Zróżnicowanie wskaźnika krenologicznego występuje także w obrębie obszaru położonego na północ od Muszyny. Jak wspomniano dla tego obszaru wskaźnik wynosi 8,57, ale na północ od nasunięcia NSJ (Jastrzębika) wynosi 7,68, zaś na południe od nasunięcia – 9,55. Należy to również tłumaczyć zwiększonym udziałem warstw formacji z Zarzecza w budowie geologicznej obszaru położonego na południe od nasunięcia NSJ (fig. 1). Podobne zależności dostrzeżono dla wskaźnika krenologicznego obliczonego dla naturalnych wypływów wód

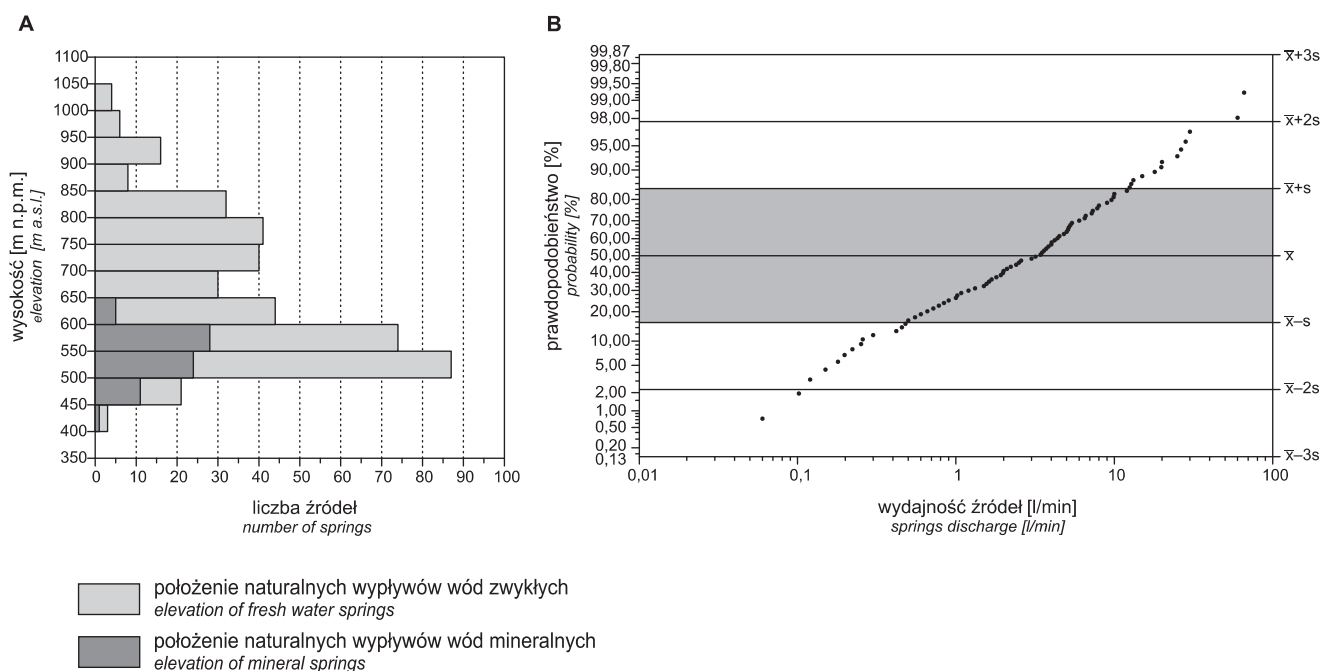
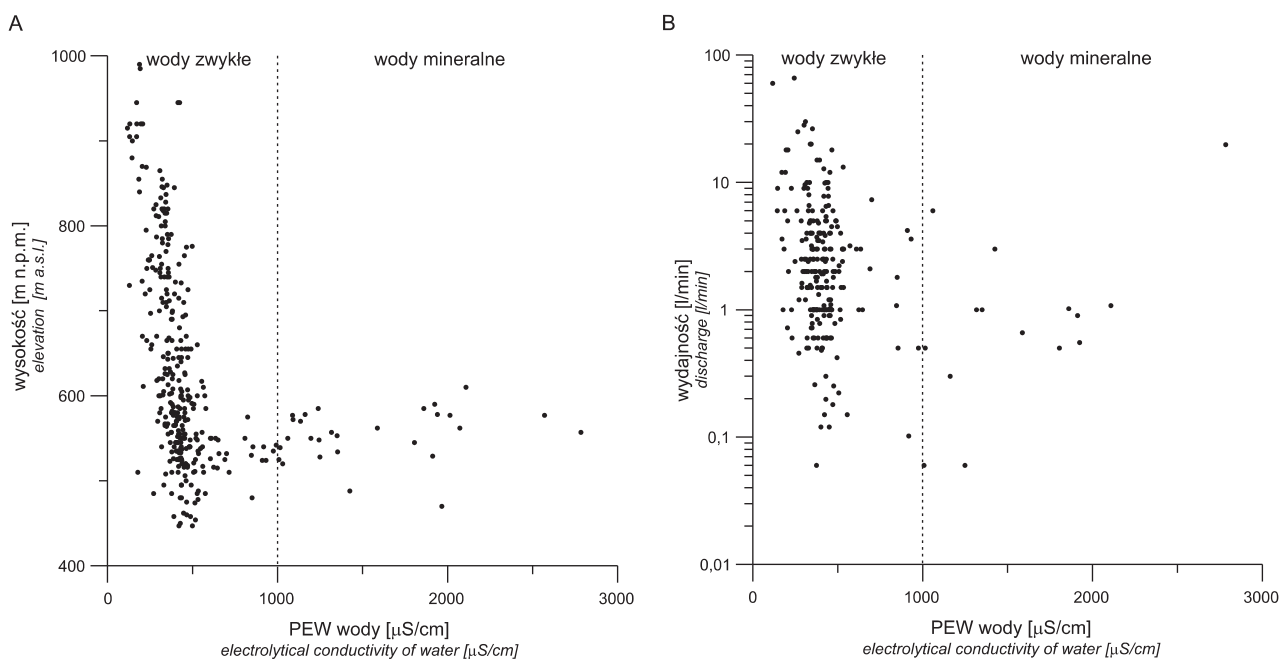


Fig. 4. A. Hipsometryczne położenie źródeł w rejonie Muszyny. B. Zmienność wydajności źródeł na wykresie prawdopodobieństwa

A. Hypsometric position of springs in the Muszyna region. B. Variability springs discharge on the graph probability



**Fig. 5. A. Zależność pomiędzy PEW wody w źródłach a hipsometrycznym położeniem źródeł.
B. Zależność pomiędzy PEW wody w źródłach a wydajnością źródeł**

A. Relationship between PEW of spring water and hypsometric position of springs.

B. Relationship between PEW of spring water and spring discharge

mineralnych. Na północ od nasunięcia NSJ wskaźnik wynosi 0,31 i zwiększa się do 2,53 na obszarze pomiędzy nasunięciem NSJ a uskokiem PM. Pomiedzy uskokiem PM a uskokiem LP wynosi 0,50. Na południe od uskoku LP nie stwierdzono wystąpienia wód mineralnych.

Hipsometryczne położenie zarejestrowanych wypływów wód podziemnych (fig. 4A) potwierdza, że strefa drenażu wód mineralnych znajduje się przeciętnie na wysokości ok. 550 m n.p.m., tj. w głównych, głęboko wciętych, tektonicznie uwarunkowanych dolinach rzek i potoków. Może to sugerować, że drogi krążenia wód mineralnych i zwykłych tylko częściowo pokrywają się. Wskazuje na to również zależność pomiędzy położeniem wypływów a przewodnictwem właściwym wody (PEW) (fig. 5A). Ocena zależności pomiędzy położeniem wypływów wód podziemnych a ich wydaj-

nością oraz temperaturą i pH wody wykazała, że korelacje są nieistotne.

Zmienność wydajności zarejestrowanych wypływów pokazana na wykresie prawdopodobieństwa (fig. 4B) wskazuje, że wydajności wypływów są niewielkie. Dominują wypływy o wydajności 0,5–10,0 l/min zawarte w przedziale reprezentatywnym ($\bar{x} - s, \bar{x} + s$), w którym znajduje się 68% ogólnej liczby zarejestrowanych wypływów. Zależność pomiędzy wydajnością źródeł a PEW wody (fig. 5B) wskazuje, że wydajność wypływów wód mineralnych nie przekracza 10 l/min, poza sporadycznymi przypadkami (np. ujęte źródło „Za Cerkwią” o wydajności 19,8 l/min). Nie stwierdzono korelacji pomiędzy wydajnością źródeł a pH wypływającej z nich wody.

BADANIA ODPLYWU PODZIEMNEGO

Badania wielkości odpływu podziemnego w rejonie Muszyny, w tym także w sąsiednich obszarach zlewni Kryniczanki i górnej Muszyny, realizowano w różnych latach i przy zastosowaniu różnych metod (m.in. Ciężkowski i in., 1999; Guty, 2003; Duńczyk, 2004; Buczyński i in., 2007). Uzyskane wartości zmieniały się od 0,5 do 13,09 l/s·km², dla terenu bezpośrednio objętego badaniami wahały się od 1,0 do 7,5 l/s·km². W 2003 roku moduł odpływu podziemnego w rejonie Muszyny zmieniał się od 1,51 do 5,07 l/s·km². Średnia wartość wynosiła 3,04 l/s·km². Należy wyjaśnić, że moduł odpływu podziemnego dla przyręczycy uzyskano po

uwzględnieniu powierzchni całej zlewni wyznaczonej przez położenie punktu pomiaru przepływu. Stwierdzono różnice między wartościami modułu odpływu podziemnego w poszczególnych zlewniach cząstkowych (fig. 6). Najwyższy moduł uzyskano dla zlewni potoku Złockiego (4,25 l/s·km²), najniższy zaś dla zlewni potoku Podgórnego (1,54 l/s·km²). Prawdopodobnie, przyczyny należy upatrywać w obecności dyslokacji tektonicznych oraz w wykształceniu utworów fliszowych, dominujących w danej zlewni. Dla badanego obszaru moduł odpływu źródłanego wynosi 0,25 l/s·km². Widoczne jest różnicowanie pomiędzy zlewniami cząstkowy-

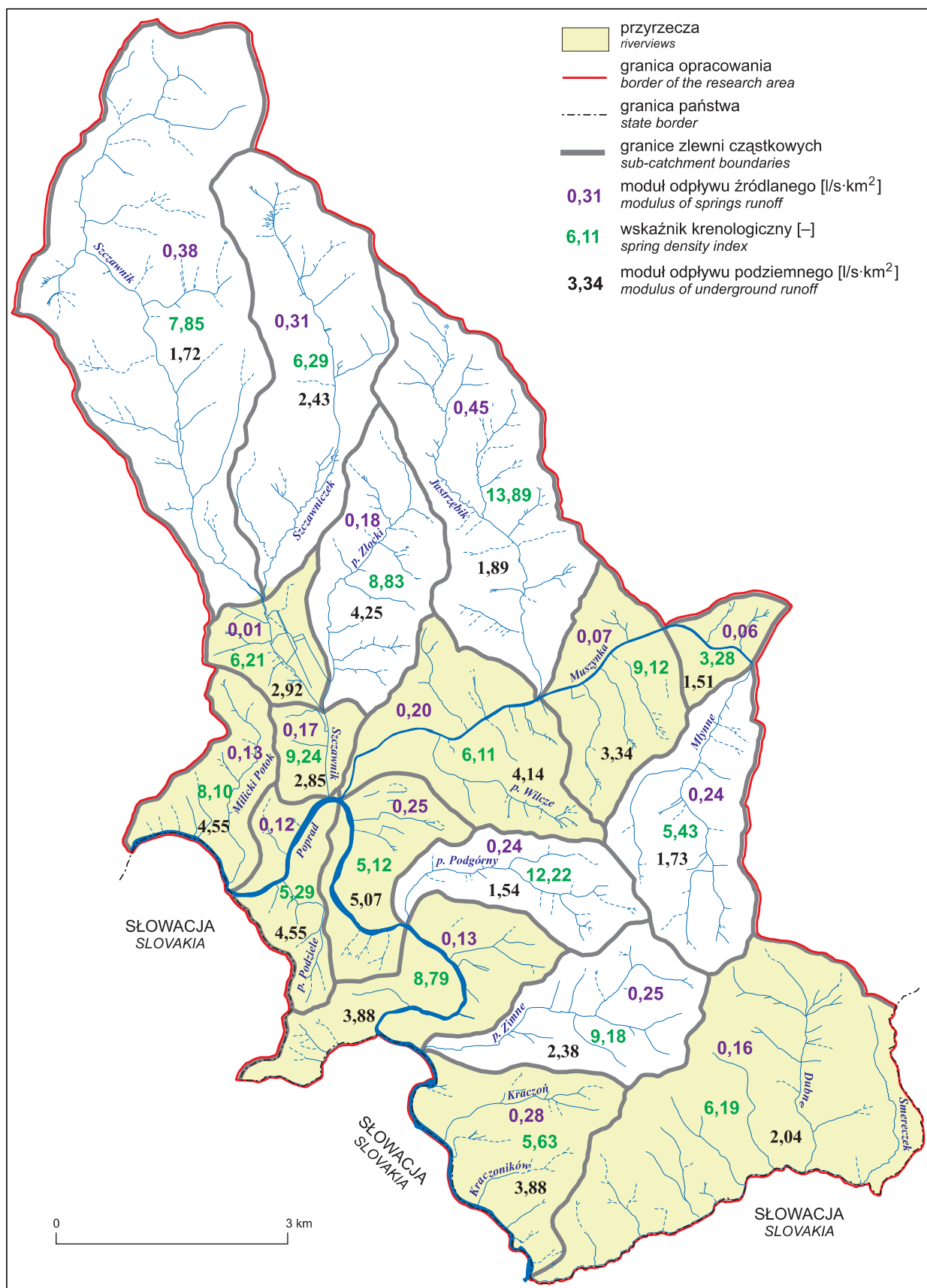


Fig. 6. Zmienność odpływu podziemnego, odpływu źródłanego i wskaźnika krenologicznego w rejonie Muszyny

Variability of underground drainage, drainage of springs and spring density index of the Muszyna area

mi – najwyższe wartości modułu zaobserwowano w zlewniach Szczawnika, Szczawniczka i Jastrzębika (fig. 6). Średnia wartość modułu jest znacznie niższa niż w sąsiedniej

zlewni górnej Muszyny, w rejonie Tylicza, gdzie wynosi aż 2,2 l/s/km² (Buczyński i in., 2007).

PODSUMOWANIE

W rejonie Muszyny najwyższą wodonośność wykazują utwory formacji z Zarzecza, w dalszej kolejności utwory formacji ze Szczawnicy i piaskowce formacji magurskiej. Średni wskaźnik krenologiczny obszaru badań wynosi 7,82 i wskazuje na zróżnicowanie regionalne. Wypływy wód podziemnych, zwykłych i mineralnych, mają najczęściej wydajność 0,5–10,0 l/min. Strefa drenażu wód mineralnych

znajduje się przeciętnie na wysokości ok. 550 m n.p.m., tj. w głównych, głęboko wciętych, tektonicznie uwarunkowanych dolinach rzek i potoków, co sugeruje, że drogi krążenia wód mineralnych i zwykłych tylko częściowo pokrywają się. Moduł odpływu podziemnego w rejonie Muszyny zmienia się od 1,51 do 5,07 l/s·km². Średnia wartość wynosi 3,04 l/s·km². Moduł odpływu źródłanego wynosi 0,25 l/s·km².

LITERATURA

- BUCZYŃSKI S., OLICHWERT T., TARKA R., STAŚKO S., 2007 — Zawodnienie formacji fliszowej Karpat w oparciu o wyniki badań źródeł Beskidu Krynickiego w rejonie Tylicza. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, T.13, cz. 2: 403–411. WGGiOŚ AGH, Kraków.
- CIEŻKOWSKI W., KOZŁOWSKI J., LIBER-MADZIARZ E., PRZYLIBSKI T.A., ŻAK S., 1999 — Zróżnicowanie modułu odpływu podziemnego w zlewni Kryniczanki w okresie niżówkowym. *Prz. Geol.*, **47**, 6: 564–566.
- DUŃCZYK L., 2004 — Modelowanie odpływu podziemnego w wybranych zlewniach Beskidu Sądeckiego i Gorców [pr. doktor.]. Arch. ING UJ, Kraków.
- GUTY Ł., 2003 — Zasoby odnawialne wód podziemnych wybranego obszaru zlewni potoku Złockiego [pr. magister.]. Arch. WG-GiOŚ AGH, Kraków.
- JÓZEFKO I., 2010 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych rejonu Muszyny. PBG Geoprofil Sp. z o.o., Kraków.
- KANIA J., OSZCZYPKO N., WITCZAK S., 2009 — Wielowarstwowy regionalny model Muszyny zintegrowany w systemie ArcGIS i GMS. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **436**: 215–222.
- OSZCZYPKO N., OSZCZYPKO-CLOWES M., 2010a — The Paleogene and Early Nogene stratigraphy of the Beskid Sądecki Range and Lubovnianska Vrchovina (Magura Nappe, Western Carpathians). *Acta Geol. Pol.*, **60**: 317–348.
- OSZCZYPKO N., OSZCZYPKO-CLOWES M., 2010b — Mapa geologiczna okolic Krynicy-Zdroju i Muszyny. *W: Budowa geologiczna okolic Krynicy-Zdroju i Muszyny (SE część Beskidu Sądeckiego, Zewnętrzne Karpaty Zachodnie)*. Wyd. PBG Geoprofil Sp. z o.o., Kraków.
- OSZCZYPKO N., OSZCZYPKO-CLOWES M., 2012 — Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000, gm. Muszyna, pow. nowosądecki, woj. małopolskie. <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO/aplikacja>.

SUMMARY

In the Muszyna region, the greatest water-bearing capacity of springs has been found in the Zarzecze Formation, Szczawnica Formation and Magura Formation. The average spring density index of the entire research area is 7.82. The regional difference of index depends on the content of shaly and normal flysch facies. Natural outflow of groundwater, drinking and mineral water is characterized by low discharges, dominantly 0.5–10.0 l/min. The mineral water

drainage area is located at an average elevation of about 550 m a.s.l., in the main, deeply incised, tectonically-controlled valley of rivers and streams. This may suggest that the paths for the mineral and drinking water only partially overlap each other. The module of underground drainage in the Muszyna region varies from 1.51 to 5.07 l/s·km². The average value is 3.04 l/s·km². The outflow module is 0.25 l/s·km².

