

Prądnik. Prace Muz. Szafera	20	309–322	2010
-----------------------------	----	---------	------

SYLWESTER SADOWSKI, JACEK RÓŻKOWSKI

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi  
ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec  
jacek.rozkowski@us.edu.pl

**RELACJE MIĘDZY PIERWSZYM POZIOMEM WODONOŚNYM  
A WODAMI POWIERZCHNIOWYMI W WARUNKACH ANTROPOPRESJI  
W ŚWIETLE BADAŃ HYDROLOGICZNYCH I HYDROCHEMICZNYCH  
W DŁUBNIAŃSKIM PARKU KRAJOBRAZOWYM (WYŻYNA KRAKOWSKA)**

**Groundwater level and surface water interrelations under conditions  
of anthropopressure in the Dłubnia River Landscape Park (Kraków Upland)  
based on the results of the hydrological and hydrochemical investigations**

**Abstract.** The paper presents the results of the seasonal hydrological and hydrochemical investigations conducted in the hydrological year 2008/2009 in the upper Dłubnia river drainage basin – from the spring zone in Jangrot up to the closing cross-section in Imbramowice, nearby the Norbertines' monastery. The study area is situated in the fissure-karstic valley drainage zone of the Upper Jurassic aquifer horizon. Anthropopressure connected with the agricultural use of the area has led to a deterioration in the quality of the Dłubnia river surface waters. Within the Dłubnia River Landscape Park partial purification of the Dłubnia waters can be observed which is a result of the lessened influence of rural settlements and increased ground water recharge including transit waters from the Prądnik Valley.

**Key words:** ground and surface waters, anthropopressure, Dłubnia River Landscape Park

WSTĘP

Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW), obowiązująca w Unii Europejskiej, determinuje przyjęcie zasady zintegrowanego gospodarowania zasobami wodnymi w granicach obszarów hydrograficznych oraz koncepcji „water body” jako podstawowej, przestrzennej jednostki, do której ma być odnoszona charakterystyka stanu wód oraz dla której należy ustalać cele środowiskowe i programy działań. Zintegrowana i zrównoważona polityka wodna Unii Europejskiej jest ukierunkowana przede wszystkim na ochronę jakościową zasobów wodnych, zwłaszcza powierzchniowych. Konieczność ochrony wód podziemnych jest postrzegana w kontekście ich wpływu na stan wód powierzchniowych i ekosystemów wodnych lub lądowych bezpośrednio od nich zależnych oraz w kontekście ich znaczenia dla zaopatrzenia ludności w wodę do picia. Powinno się dążyć do osiągnięcia dobrego

stanu wód w każdym dorzeczu tak, aby działania w odniesieniu do wód powierzchniowych i wód podziemnych należących do tego samego systemu ekologicznego, hydrologicznego i hydrogeologicznego były skoordynowane (*Dyrektywa 2000*).

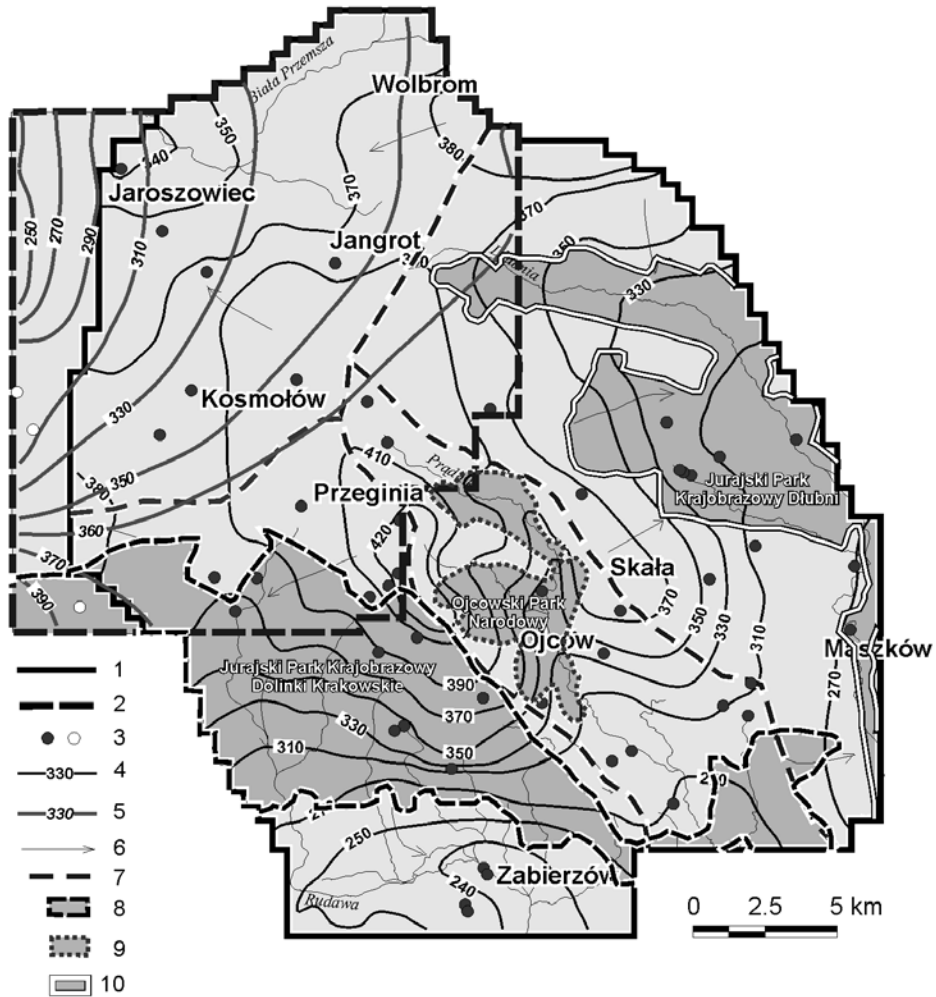
Tematyka artykułu wiąże się ściśle z problematyką ochrony środowiska oraz relacjami pomiędzy wodami powierzchniowymi i wodami podziemnymi w obszarze krasowym Wyżyny Krakowskiej (WK). Szczególną uwagę zwrócono na poprawę stanu jakości wód powierzchniowych wskutek intensywnego zasilania wodami podziemnymi w obszarze o ograniczonej legislacyjnie antropopresji, co nawiązuje bezpośrednio do wymogów zawartych w RDW. Rejonem badań jest górna część zlewni Dłubni objęta ochroną w ramach Dłubniańskiego Parku Krajobrazowego (DPK). Dolina rzeki Dłubni jest główną strefą drenażu wód podziemnych poziomu szczelinowo-krasowego jury górnej. Infiltracja wody z cieków jest z kolei lokalnie źródłem zasilania wód podziemnych, podlegając okresowym zmianom ilościowym i przestrzennym, warunkowanym sytuacją hydrometeorologiczną (Rózkowski 2006).

## WARUNKI HYDROLOGICZNE I ZAGROŻENIA ANTROPOGENICZNE W OBSZARZE BADAŃ

Dłubniański Park Krajobrazowy jest zlokalizowany w południowej części obszaru krasowego – Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Zajmuje powierzchnię 10 960 ha na terenie 6 gmin położonych wzdłuż rzeki Dłubni, będącej osią Parku. Dłubnia wypływa na wysokości 410 m n.p.m. w Jangrocie z górnourajskich skał węglanowych. Całkowita długość Dłubni wynosi 49,2 km, a powierzchnia zlewni 271,6 km<sup>2</sup>. Dłubnia wraz z prawobrzeżnym dopływem Minózką zasilane są wodami poziomu górnourajskiego i pozostającego z nim w łączności hydraulicznej poziomu górnokredowego. Dłubnia posiada reżim gruntowo-deszczowo-śnieżny o wyrównanych stanach i przepływach (Baścik, Partyka 2008). Według J. Myszkii i in. (1990) średni roczny przepływ (SSQ) w przekroju Iwanowice (zlewnia 102 km<sup>2</sup>) wynosił 0,73 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, co odpowiadało jednostkowemu odpływowi  $q = 7,10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ .

W obszarze DPK rolę głównego użytkowego poziomu wodonośnego pełni poziom górnourajski, o charakterze szczelinowo-krasowym (ryc. 1). Bilans wód podziemnych w zlewni cząstkowej górnej Dłubni o powierzchni 211 km<sup>2</sup>, uzyskany na podstawie modelowania numerycznego (Rózkowski i in. 2001), przedstawia się następująco: infiltracja opadów 4,44; drenaż wód do rzek 3,17; odpływ całkowity ze zlewni 4,85 (dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>·km<sup>-2</sup>).

Wody podziemne odgrywają ważną rolę w rozwoju gospodarczym takich obszarów krasowych, ze względu na względnie słabo rozwiniętą sieć rzeczną. W obszarze WK zasilają one lewobrzeżne dopływy Wisły. Ujęcia komunalne wód powierzchniowych cieków drenujących utwory Jury Krakowskiej, zlokalizowano na: Rudawie (Mydlniki), Dłubni (Raciborowice) i Sance (Bielany). Jest to ważne źródło zaopatrzenia Krakowa w wodę pitną. W latach 1998–2001 pobierano z ww. ujęć 30279–31043 dam<sup>3</sup>·24h<sup>-1</sup>, co stanowiło 44,8–46,1% ogólnego poboru wód pitnych dla Krakowa (WIOŚ 2002). Na rzekach: Wisła, Dłubnia, Białucha są zlokalizowane ponadto główne ujęcia wód powierzchniowych dla celów produkcyjnych, w tym w Raciborowicach-Zesławicach (Dłubnia) dla zaopatrzenia Huty im. T. Sendzimira. Wody powierzchniowe oraz żyjące w nich biocenozy a także inne biocenozy, zależne od stanu wód, pozostają w ścisłych związkach z poziomem wodonośnym górnourajskim.



Ryc. 1. Mapa hydroizohips poziomu wodonośnego jury górnej i kompleksu wodonośnego triasu dla stanu warunków w 1998 r. Wynik modelowania (J. Rózkowski i in. 2001): 1 – granice modelu warstwy I; 2 – granice modelu warstwy II; 3 – studnie ujmujące wody kompleksu wodonośnego triasu, poziomu jury górnej; 4 – hydroizohipsy poziomu wodonośnego górnourajskiego; 5 – hydroizohipsy kompleksu wodonośnego triasowego; 6 – kierunki przepływu wód podziemnych; 7 – granice zlewni podziemnych; 8 – Park Krajobrazowy Dolinki Krakowskie; 9 – Ojcowski Park Narodowy; 10 – Dłubniański Park Krajobrazowy

Fig. 1. Map of groundwater contours of the Upper Jurassic aquifer and the Triassic water-bearing complex in the year 1998. Result of modelling (J. Rózkowski et al. 2001): 1 – first layer model boundaries; 2 – second layer model boundaries; 3 – wells taking water from the Triassic and the Upper Jurassic aquifers; 4 – groundwater contours of the Upper Jurassic aquifer; 5 – groundwater contours of the Triassic carbonate water bearing complex; 6 – groundwater flow directions; 7 – boundaries of groundwater drainage basins; 8 – Dolinki Krakowskie (Kraków Small Valleys) Landscape Park; 9 – Ojców National Park; 10 – Dłubnia River Landscape Park

Obszar krasowy górnej części zlewni Dłubni jest zagospodarowany rolniczo. Strefa źródłiskowa znajduje się pod silną antropopresją ośrodków wiejskich (Jangrot, Trzyciąż), poniżej których znajduje się zachodnia granica DPK. Park obejmuje głównie dolinę Dłubni i jest silnie rozczłonkowany, stąd ochrona wód podziemnych i powierzchniowych w jego obrębie jest utrudniona. Ochronie i sanacji środowiska przyrodniczego nie sprzyja także małe zalesienie, przy dużym areale upraw oraz wiejskie osadnictwo w obszarach wododziałowych (Glanów, Imbramowice, Zagórowa). Struktura użytkowania ziemi w zlewni Dłubni przedstawiała się następująco (% powierzchni zlewni): grunty orne 78,9%, sady 3,2%, łąki i pastwiska 3,6%, lasy 8,3% (Guzik, Górka 1991). Okolice DPK stały się atrakcyjnym terenem rekreacyjnym, zwłaszcza dla mieszkańców aglomeracji Krakowa, co powoduje intensywny rozwój zabudowy letniskowej oraz całorocznej.

Najpoważniejsze stwierdzone i potencjalne zagrożenie dla wód podziemnych stanowią punktowe i mało powierzchniowe ogniska zanieczyszczeń, których oddziaływanie ma charakter lokalny. Na obszarze Wyżyny Krakowskiej zaliczono do nich: obszary zabudowane nieskanalizowane, gdzie występują doły chłonne, osadniki, szamba, do których 50–70% gospodarstw odprowadza ścieki (WIOŚ 1999), „dzikie” składowiska odpadów, oczyszczalnie ścieków, magazyny i stacje paliw, fermy hodowlane, magazyny nawozów mineralnych i środków ochrony roślin, miejsca zrzutu ścieków i ich wylewiska, obszary eksploatacji górniczej, w tym prowadzonej metodami odkrywkowymi. Liniowe ogniska zanieczyszczeń obejmują – oddziaływania transportu drogowego i kolejowego oraz zanieczyszczone ciekły powierzchniowe. Przestrzennymi ogniskami zanieczyszczeń są obszary oddziaływania zanieczyszczonego powietrza atmosferycznego oraz stosowania nawozów mineralnych, naturalnych i środków ochrony roślin. Zagrożenie dla czystości wód powierzchniowych stanowią głównie: spływy terenowe z powierzchni rolniczych, leśnych, nieużytków, odcieki hodowlane, nieuporządkowana gospodarka ściekowa a zwłaszcza w różnym stopniu oczyszczone ścieki odprowadzane ze skanalizowanych obszarów zurbanizowanych i zakładów przemysłowych (Siwek 2004; Rózkowski 2006).

Efektom wielokierunkowej antropopresji na obszar krasowy, wykazujący zróżnicowane związki między warunkami hydrologicznymi, geomorfologicznymi i ekologicznymi jest degradacja ekosystemu. Zależy ona zarówno od natężenia antropopresji, jak i naturalnej podatności środowiska krasowego na zanieczyszczenie. W obszarze realizowanych badań przeważa średnia i wysoka podatność na zanieczyszczenie (Żurek, Rózkowski 2008).

## PRZEPROWADZONE BADANIA

W pracy przedstawiono wyniki badań sezonowych hydrologicznych i hydrochemicznych w zlewni górnej Dłubni – od strefy źródłiskowej w Jangrotcie do profilu zamykającego w Imbramowicach, koło klasztoru Norbertanek, zrealizowanych w roku hydrologicznym 2009. Badania hydrochemiczne wykonano w Laboratorium Naukowo-Dydaktycznym Katedr Geograficznych Wydziału Nauk o Ziemi UŚ w Sosnowcu. Łącznie wykonano w 16 profilach 54 badania terenowe własności fizykochemicznych wód, 45 opróbowań wód i badań laboratoryjnych oraz 70 pomiarów przepływów. Badania roli cieków w drenażu i zasilaniu poziomu wodonośnego jury górnej w obszarze Wyżyny Krakowskiej kontynuowane są przez autorów od 1992 r. do chwili obecnej (Rózkowski, Sadowski 1994; Rózkowski 2006).

Przeprowadzono sezonowe pomiary terenowe w okresach: V 2008 r., III, IV, V, VIII, XI 2009 r. i V 2010 r. Badania objęły następujące przekroje hydrologiczne zlokalizowane na Dłubni: Jangrot, Trzyciąż lewa odnoga, Trzyciąż dopływ ze stawu, poniżej oczyszczalni ścieków, przed potokiem z Głanowa, potok z Głanowa, Parcele, przed Grodziskiem, poniżej Grodziska, powyżej źródła Bielny Młyn, źródło Bielny Młyn, Imbramowice – klasztor, otwór D-1 o wypływie artezyjskim (ryc. 2–5). Sporadycznie przeprowadzono badania w źródłach Kmity i Strusia oraz w odpowiadających przekrojach hydrometrycznych na Dłubni a także strefy źródeł przykorytowych w Imbramowicach (ryc. 6). Terenowe badania właściwości fizyko-chemicznych wód obejmowały pomiary: temperatury powietrza i wody, PEW, pH, Eh i O<sub>2</sub> w wodzie z użyciem oprzyrządowania firmy Elmetron i WTW.



Ryc. 2. Przekrój zamykający obszar źródliskowy Dłubni – Jangrot (na wysokości parceli Czapnika)

Fig. 2. Cross-section closing the spring zone of the Dłubnia river – Jangrot (nearby to Czapnik's plot)



Ryc. 3. Dłubnia poniżej oczyszczalni ścieków w Trzyciążu

Fig. 3. The Dłubnia river below a sewage treatment plant in Trzyciąż



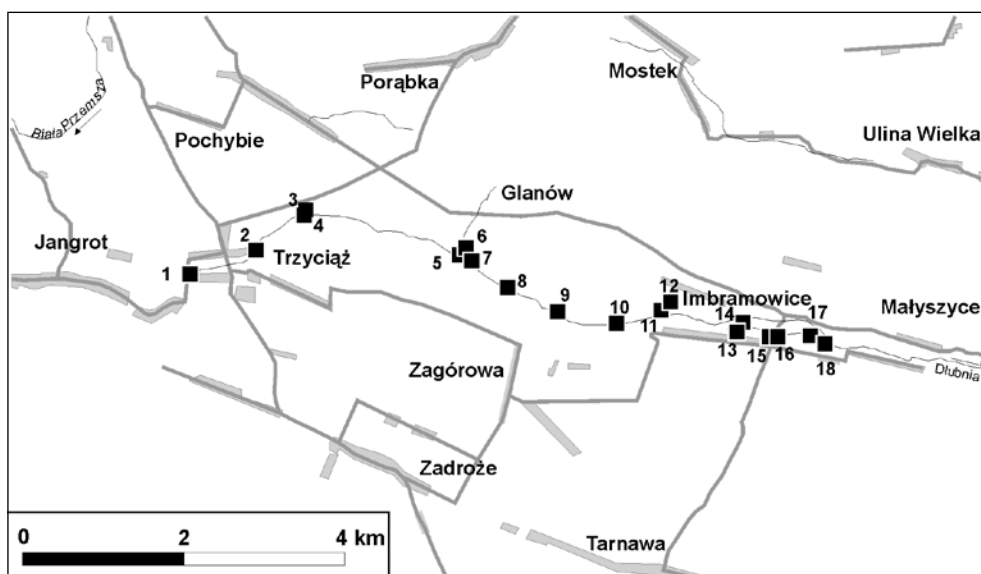
Ryc. 4. Źródło ascensyjne Bielny Młyn (Hydrografów)

Fig. 4. Ascending spring Bielny Młyn (Hydrographers')



Ryc. 5. Przekrój kluczowy zamykający dokumentowaną zlewnię Dłubni – Imbramowice Klasztor

Fig. 5. Key cross-section closing the documented drainage basin of the Dłubnia river – Imbramowice Monastery



Ryc. 6. Lokalizacja hydrologicznych punktów badawczych w zlewni Dłubni (2008–2010): 1 – Jangrot; 2 – Trzyciąż lewa odnoga; 3 – Trzyciąż dopływ ze stawów; 4 – poniżej oczyszczalni ścieków; 5 – przed ujściem potoku z Głanowa; 6 – ujście potoku z Głanowa; 7 – Parcele; 8 – punkt pośredni; 9 – przed Grodziskiem; 10 – poniżej Grodziska; 11 – źródło Kmity; 12 – poniżej źródła Kmity; 13 – powyżej źródła Strusi; 14 – źródło Strusi; 15 – powyżej źródła Bielny Młyn; 16 – źródło Bielny Młyn; 17 – Imbramowice klasztor; 18 – Imbramowice otwór D-1

Fig. 6. Location of hydrological measurements in the Dłubnia river drainage basin (2008–2010): 1 – Jangrot; 2 – Trzyciąż, left branch; 3 – Trzyciąż, inflow from ponds; 4 – below a sewage treatment plant; 5 – above the estuary of a tributary stream from Głanów; 6 – estuary of a tributary stream from Głanów; 7 – Parcele; 8 – intermediate point; 9 – above Grodzisko; 10 – below Grodzisko; 11 – Kmita's spring; 12 – below Kmita's spring; 13 – above Strusi spring; 14 – Strusi spring; 15 – above Bielny Młyn spring; 16 – Bielny Młyn spring; 17 – Imbramowice Monastery; 18 – Imbramowice, D-1 well

W badanych źródłach dokonano opróbowań wód do pojemników polietylenowych – do analiz chemicznych, które następnie wykonano w Laboratorium Naukowo-Dydaktycznym Katedr Geograficznych Wydziału Nauk o Ziemi UŚ. W opróbowanych wodach dokonano oznaczania stężeń makroskładników i składników podrzędnych: Ca, Mg, Na, K,  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{SiO}_2$ , z użyciem metod: miareczkowej, fotometrycznej, spektrofotometrycznej i potencjometrycznej.

Pomiary natężenia przepływu wykonano metodą pośrednią polegającą na pomiarze parametrów: prędkości przepływu wody ( $v$ ) oraz powierzchni przekroju poprzecznego koryta cieką ( $F$ ). Do pomiaru prędkości wody zastosowano młynek hydrometryczny miniaturowy – typ HEGA-1, zamocowany na rurze, wyposażony w wirnik o średnicy  $\varnothing 50$  mm. W trakcie pomiarów prędkości wody stosowano technikę pomiarów wielopunktowych łączoną z techniką pomiarów integracyjnych. Po zmierzeniu sondą głębokości w przekroju poprzecznym wyznaczano pionu hydrometryczne, w których, w zależności od głębokości wody w danym pionie ( $h$ ) wykonano pomiary prędkości w określonych punktach pionu (pomiar wielopunktowy – d, 0,2h, 0,4h 0,6h, p) lub na całej jego długości od dna (d) do powierzchni (p) – pomiar integracyjny. Całkowity przepływ wody w danym przekroju

cieku stanowił sumę cząstkowych przepływów w cząstkowych przekrojach poprzecznych ograniczonych poszczególnymi pionami, a w przekrojach skrajnych (brzegowych) pionami skrajnymi i linią brzegową. Uzyskane wyniki badań hydrometrycznych i hydrochemicznych zestawiono w tabelach 1–3.

Tabela 1. Przepływy chwilowe w zlewni górnej Dłubni (V 2008 – V 2010) [dm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>]

Table 1. Momentary flows in the upper Dłubnia river drainage basin (V 2008 – V 2010) [dm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>]

Punkt pomiarowy Measurement point	V 08	V 09	VIII 09	XI 09	V 10
	[dm <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]				
Jangrot	3	9	1	14	12
Trzciąż – lewa odnoga	2	2	1	39	32
Trzciąż – ze stawu	20	10	3	16	14
Poniżej oczyszczalni	12	17	6	48	40
Przed potokiem z Głanowa	17	15	13	86	76
Potok z Głanowa	10	23	6	51	38
Przed Grodziskami	36	32	18	76	98
Poniżej Grodziska	52	54	28	124	115
Poniżej źródła Struś	130	102	nb	nb	nb
Źródło Struś	25	33	nb	nb	nb
Powyżej źródła Bielny Młyn	188	201	153	226	230
Źródło Bielny Młyn	64	75	92	83	81
Imbramowice–Klasztor	270	237	232	296	290
Otwór D-1	4	3	3	2	4

## RELACJE MIĘDZY PIERWSZYM POZIOMEM WODONOŚNYM A WODAMI POWIERZCHNIOWYMI W ŚWIETLE BADAŃ HYDROLOGICZNYCH W DŁUBNIAŃSKIM PARKU KRAJOBRAZOWYM

Badania hydrometryczne przepływów chwilowych przeprowadzone przez autorów w latach 1992–2009 dokumentują w dolinie Dłubni, o założeniach tektonicznych, zarówno strefy wzmoczonego zasilania jak i strefy infiltracyjne z rzeki do skrasowiałego górotworu wapieni górnourajskich. Najbardziej spektakularnymi strefami wzmoczonego zasilania wodami podziemnymi są: rejon Grodziska (strefa źródeł o niewielkich wydajnościach) oraz przełom Imbramowicki (kilka dużych źródeł – Kmity, Strusie, Bielny Młyn oraz szereg mniejszych źródeł terasowych i przykorytowych), gdzie Dłubnia zwana jest także „Gorącą” (ryc. 6).

W górnej części zlewni Dłubni, gdzie autorzy prowadzili razem z K. Iwon (1996) w okresie od października 1995 do maja 1996 r. badania zmienności czasowej ucieczek wód z cieku do masywu wapiennego, minimalne ucieczki wód obserwowano w listopadzie (2,6 dm<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>), maksymalne w kwietniu (90,7 dm<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>). Ucieczki wody w podłoże w dolinie Dłubni wynikają z obecności drożnych uskoków, a także wg I. Dynowskiej (1963) położenia zwierciadła wody gruntowej poniżej koryta Dłubni (do 5,8 m), co uwarunkowane jest występowaniem słabo przepuszczalnych aluwów. Fala powodziowa przeszła Dłubnią 7.04.1996 r. W maju natężenie przepływu w stosunku do obserwowanego w kwietniu –

Tabela 2. Zmiany własności fizyko-chemicznych wód w zlewni Dłubni w obszarze Dłubniańskiego Parku Krajobrazowego (III – XI 2009); zakres zmienności, wartość średnia

Table 2. Changes in physico-chemical properties of water in the Dłubnia river drainage basin within the Dłubnia River Landscape Park (III – XI 2009); range of variability, mean value

Punkt pomiarowy Measurement point	PEW [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	tw [ $^{\circ}\text{C}$ ]	pH	O <sub>2</sub> [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ]	Eh [mV]
Jangrot	633–822 727	7,5–13,4 10,4	6,70–7,85 7,40	7,6–11,6 9,5	185–221 200
Trzciąż – lewa odnoga	746–876 797	7,7–16,5 11,9	7,07–7,83 7,56	7,2–10,8 8,5	112–135 126
Trzciąż – ze stawu	426–682 545	5,7–21,4 14,3	7,25–7,65 7,49	6,1–11,1 7,9	103–141 128
Poniżej oczyszczalni	646–807 734	7,1–18,5 13,6	7,35–7,53 7,45	6,0–13,8 8,8	148–168 156
Przed potokiem z Głanowa	567–733 645	7,1–15,1 11,9	7,49–7,87 7,64	8,0–13,3 9,8	118–208 157
Potok z Głanowa	642–697 676	8,1–17,3 12,7	7,62–7,91 7,72	7,5–14,3 10,0	108–139 119
Przed Grodziskami	567–708 632	7,3–17,0 12,3	7,71–8,01 7,84	7,6–13,0 9,7	132–161 151
Poniżej Grodziska	523–686 585	6,8–12,6 10,3	7,34–7,55 7,46	7,5–12,0 9,4	173–211 197
Powyżej źródła Bielny Młyn	460–592 525	7,8–11,5 10,2	6,92–7,90 7,48	9,0–11,0 10,1	147–210 186
Źródło Bielny Młyn	413–428 419	9,3–10,0 9,7	7,10–7,38 7,21	9,0–12,4 10,4	160–184 170
Imbramowice–Klasztor	433–528 482	8,6–11,3 10,3	7,32–7,78 7,60	8,6–12,3 10,0	164–226 193
Otwór D–1	447–466 460	8,8–10,1 9,5	7,03–7,37 7,23	5,9–10,0 7,9	138–174 157

w górnym odcinku Dłubni obniżyło się 2-krotnie, między Parcelami i Grodziskiem nawet 5-krotnie. W niższym biegu rzeki, w rejonie przełomu Imbramowickiego, odpowiadało 75% przepływu z kwietnia, co wynika z funkcjonowania dużego zbiornika alimentacyjnego wód krasowych z przepływem rozproszonym, wydłużającego okresu wzmoczonego zasilania. W okresie niżówki jesiennej infiltrację wód stwierdzono przed Grodziskiem, natomiast w okresie wiosennych roztopów – od dopływu z Głanowa do początku przełomu w Imbramowicach. Przy wyraźnym obniżeniu przepływu w maju, strefa infiltracyjna „cofała się” w górę potoku w stosunku do stwierdzonej jesienią, natomiast w rejonie przełomu Imbramowickiego wzmoczone zasilanie podziemne wyrównywało ewentualne ubytki wody. W odcinku przełomowym występują 3 źródła o dużej wydajności: Kmity, Strusie, Bielny Młyn, a także szereg źródeł przykorytowych spływowych (na terasie) i korytowych podpływowych (ryc. 2). Wydajności głównych źródeł w okresie jesienno-zimowym były wyrównane (Kmity 8–12  $\text{dm}^3/\text{s}$ , Strusie 30–33  $\text{dm}^3/\text{s}$ , Bielny Młyn 68–77  $\text{dm}^3/\text{s}$ ). W okresie roztopów źródło Bielny Młyn drenowało wody podpływowe w ilości 60–70  $\text{dm}^3/\text{s}$  oraz wody bliższego krążenia do 80  $\text{dm}^3/\text{s}$ , wydajność źródła Kmity wzrosła 2-krotnie, a źródła Strusie nie uległa zmianie. Udział ww. źródeł w przepływie Dłubni sięgał w okresie jesienno-zimowym aż 52–66%, a w okresie roztopowym spadł do 42% (Rózkowski 2006).



Tabela 3. Zmiany chemizmu wód zlewni Dłubni w obszarze Dłubniańskiego Parku Krajobrazowego (III –XI 2009) [mg dm<sup>-3</sup>]; zakres zmienności, wartość średnia

Table 3. Changes in water chemistry in the Dłubnia river drainage basin within the Dłubnia River Landscape Park (III – XI 2009) [mg dm<sup>-3</sup>]; range of variability, mean value

Punkt pomiarowy Measurement point	Ca	HCO <sub>3</sub>	Na	K	SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>
	[mg dm <sup>-3</sup> ]							
Jangrot	114–148 136	235–351 311	8,1–16,7 13,7	4,4–9,6 7,0	49–91 73	7–32 20	44–62 53	0,10–0,18 0,14
Trzyciąż lewa odnoga	146–154 151	281–424 356	13,1–23,0 18,6	4,1–6,3 5,1	29–148 84	20–44 31	34–40 37	0,07–0,19 0,10
Trzyciąż ze stawu	98–126 109	200–299 238	10,8–15,7 14,0	5,5–7,4 6,7	41–65 57	15–35 26	14–23 18	0,04–0,11 0,07
Poniżej oczyszczalni	96–146 114	262–284 272	21,0–35,2 20,3	7,2–8,8 8,2	52–156 94	22–42 36	30–50 40	0,70–2,17 1,61
Przed potokiem z Głanowa	96–130 113	238–302 264	16,1–24,0 19,5	5,0–5,9 5,3	50–58 55	10–38 25	28–30 29	0,36–1,37 0,93
Poniżej Grodziska	96–128 112	244–290 269	8,8–14,4 10,9	2,3–4,8 3,3	35–54 43	3–14 9	21–30 26	0,22–0,78 0,46
Powyżej źródła Bielny Młyn	88–106 97	256–275 268	4,7–7,9 6,2	1,5–2,2 1,9	16–31 23	2–8 5	19–21 20	0,10–0,34 0,19
Źródło Bielny Młyn	84–88 86	229–238 234	1,4–2,5 2,1	0,3–0,7 0,5	13–14 14	2–2 2	18–18 18	0,07–0,09 0,08
Imbramowice– Klasztor	86–100 97	244–306 271	4,1–6,0 4,9	1,2–2,0 1,6	14–29 21	2–13 8	18–25 22	0,08–0,36 0,18
Otwór D–1	84–100 94	259–262 261	2,4–2,6 2,5	0,5–0,8 0,6	15–16 16	2–5 4	13–16 14	0,06–0,07 0,07

Badania hydrometryczne przepływów chwilowych, przeprowadzone przez autorów w maju 2008, 2009 i 2010 r. w 14 przekrojach hydrometrycznych (ryc. 2, tab. 1) dokumentują wzrost natężenia przepływu wody w Dłubni, zwłaszcza w rejonie Grodziska i przełomu Imbramowickiego, co wynika ze wzmożonego zasilania ww. wywierzyskami krasowymi, zasilaniem przykorytowym i korytowym, wynikającymi m.in. z tranzytowych przepływów międzyzlewniowych wód podziemnych. Badania modelowe, wykonane z użyciem programu MODFLOW dla obszaru Wyżyny Olkuskiej, doliny Dłubni i rowu krzeszowickiego o powierzchni 703 km<sup>2</sup> (ryc. 1), wykazały, że około 11,8% odpływu całkowitego stanowi odpływ poza granice boczne, głównie w zlewni Rudawy i Prądnika w kierunku północno-wschodnim, przejawiający się m.in. wysoką wydajnością niektórych źródeł i studni wierconych w zlewni Dłubni (Rózkowski i in. 2001).

Średnie przepływy we wspomnianych okresach czasu wzdłuż biegu Dłubni wynosiły: w strefie źródłiskowej w Jangrocie 8, poniżej oczyszczalni ścieków w Trzyciążu 23, przed potokiem z Głanowa 36, poniżej Grodziska 74, powyżej źródła Struś >116, powyżej źródła Bielny Młyn 206 oraz koło klasztoru w Imbramowicach 266 (dm<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>). Średnie zasilanie ze strefy źródeł przykorytowych w Grodzisku sięgało 20, ze źródła Strusia 30, a ze źródła Bielny Młyn 73 dm<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Wzmożone zasilanie wodami podziemnymi rzutuje na wyraźne obniżenie wskaźnika zmienności natężenia przepływu w Dłubni w badanych

okresach czasu: od 3,3–4,0 w rejonie Jangrotu i Trzyciąża, 2,2 poniżej Grodziska do 1,2 w Imbramowicach – odpowiadającym zmianom wydajności w źródle Bielny Młyn (1, 3). Większą kontrastowość wskaźnika zmienności natężenia przepływu w Dłubni uzyskano uwzględniając także sezony hydrologiczne – letni (08.2009 r.) i jesienny (11.2009 r.): 8,0–14,0 w rejonie Jangrotu i Trzyciąża, 4,4 poniżej Grodziska, 1,3 w Imbramowicach (tab. 1). Ucieczki wód z rzeki do górotworu wapieni górnourajskich obserwowano pomiędzy Trzyciążem, a oczyszczalnią ścieków (trend do weryfikacji), od dopływu z Głanowa do Grodziska, między Bielnym Młynem i klasztorem. Wartości ubytków wody w Dłubni wynosiły w badanym okresie V 2008 – V 2010r. odpowiednio: 6–10, 1–21, 13–39 ( $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ).

## ZMIANY CHEMIZMU WÓD W ZLEWNI GÓRNEJ DŁUBNI

Wody Dłubni są najsilniej przeobrażone antropogenicznie w obszarze źródłiskowym oraz w obszarze zurbanizowanym Jangrotu i Trzyciąża, czyli obszarze drenażu dolinnego wód podziemnych, w tym gruntowych, a także spływu powierzchniowego zanieczyszczeń z użytków rolnych, jak i zanieczyszczeń komunalnych. Nie obserwuje się znaczącej poprawy jakości wód powierzchniowych także poniżej oczyszczalni ścieków w Trzyciążu. Biologiczna oczyszczalnia ścieków typu LEMNA, o wydajności  $200\text{ m}^3\cdot 24\text{h}^{-1}$ , została wykonana przez Przedsiębiorstwo Budownictwa Wodnego i Ochrony Środowiska „BUSKOPOL” w okresie IX 2000 – X 2001, na zamówienie UG w Trzyciążu. W rejonie Jangrotu – Trzyciąża średnie wartości PEW w wodach Dłubni mieściły się w zakresie  $727\text{--}797\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , przy średniej zawartości tlenu  $7,9\text{--}9,5\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  i Eh obniżającym się w Trzyciążu nawet do wartości  $126\text{--}128\ \text{mV}$  (tab. 2). W obszarze DPK następuje częściowe oczyszczenie wód Dłubni, co jest wynikiem zarówno zmniejszonej antropopresji (ryc. 7), jak i zasilania ze stref źródeł przykorytowych (np. Grodzisko) oraz dużych źródeł (np. Strusie, Bielny Młyn). Średnie wartości PEW obniżają się od  $645\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  przed Głanowem do  $482\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  w Imbramowicach, koło klasztoru. Trend wzrostowy dotyczy także zawartości tlenu w wodzie (do  $10\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) oraz przyjmowanych wartości Eh (od  $157$  do  $193\ \text{mV}$ ). Orientacyjne parametry charakteryzujące wody poziomu górnourajskiego reprezentują wody artezyjskie wypływające z otworu D-1 w Imbramowicach. W badanej populacji przyjmują one niskie wartości średnie: PEW  $460\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ,  $\text{O}_2$   $7,9\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , Eh  $157\ \text{mV}$ , pH  $7,23$ , temp. wody  $9,5^\circ\text{C}$  (tab. 2).

Niskie wartości odczynu wody odnoszą się do obszarów wzmożonej antropopresji w początkowym odcinku Dłubni ( $7,40\text{--}7,56$ ), a następnie wzrastają w obszarze DPK (do  $7,84$ ), modyfikowane dopływem wód źródłanych o odczynie od słabo kwaśnego do słabo zasadowego, co można zaobserwować w rejonie Grodziska i Bielnego Młyna. Temperatury wód źródłanych w stosunku do wód Dłubni są wyższe w zimie (rzeka „Gorąca”), niższe w lecie i także modyfikują temperaturę wód w Dłubni, zwłaszcza w rejonie przełomu w Imbramowicach (tab. 2).

Wartości stężeń składników pochodzących z rozpuszczania skał węglanowych w wodzie także są antropogenicznie podwyższone w rejonie Jangrot – Trzyciąż (Ca do  $151\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ,  $\text{HCO}_3$  do  $356\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), obniżając się stopniowo w obszarze DPK do wartości Ca  $97\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  i  $270\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . W wodach poziomu górnourajskiego wynoszą one: Ca  $86\text{--}94\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ,  $\text{HCO}_3$   $234\text{--}261\ \text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  (tab. 3). Podobny trend obserwujemy w odniesieniu do



Ryc. 7. Imbramowice. Dolina Dłubni. Fot. J. Partyka

Fig. 7. Imbramowice. Dłubnia Valley. Photo by J. Partyka

stężeń składników poligenetycznych i przypisanych rolnictwu. Średnie wartości stężeń alkaliów w wodzie obniżają się z biegiem Dłubni od Na 13,7–20,3 mg·dm<sup>-3</sup> i K 5,1–8,2 mg·dm<sup>-3</sup> do Na 4,9 mg·dm<sup>-3</sup> i K 1,6 mg·dm<sup>-3</sup>. W wodach źródła Bielny Młyn i w otworze D-1 są jeszcze nawet 2–3 krotnie niższe: Na 2,1–2,5 mg·dm<sup>-3</sup> i K 0,5–0,6 mg·dm<sup>-3</sup>. Wśród anionów dynamiczne zmiany przyjmowanych stężeń w wodzie odnoszą się do siarczanów i chlorków. W obszarze zurbanizowanym kształtują się one następująco: SO<sub>4</sub> 57–94 mg·dm<sup>-3</sup>, Cl 20–36 mg·dm<sup>-3</sup>. W obszarze DPK spadają one dynamicznie: SO<sub>4</sub> 55–21 mg·dm<sup>-3</sup>, Cl 25–8 mg·dm<sup>-3</sup>. Kontrastują z nimi stężenia składników obserwowane w wodach podziemnych: SO<sub>4</sub> 14–16 mg·dm<sup>-3</sup>, Cl 2–4 mg·dm<sup>-3</sup>. Niższą dynamikę zmian obserwujemy w przypadku związków biogenych. Stężenia azotanów w wodzie są 2-krotnie wyższe w obszarze zurbanizowanym (Jangrot – Trzyciąż 37–53 mg·dm<sup>-3</sup>; Imbramowice – klasztor 22 mg·dm<sup>-3</sup>), ale w przypadku fosforanów stężenia w strefie źródłiskowej są porównywalne z przyjmowanymi w przekroju zamykającym (0,14–0,18 mg·dm<sup>-3</sup>). „Efekt antropogeniczny” jest obserwowany dopiero poniżej oczyszczalni ścieków aż do przełomu w Imbramowicach (1,61–0,46 mg·dm<sup>-3</sup>). W wodach podziemnych średnie zawartości biogenów mieszczą się w zakresie: NO<sub>3</sub> 14–18 mg·dm<sup>-3</sup>, PO<sub>4</sub> 0,07–0,08 mg·dm<sup>-3</sup> (tab. 3).

## WNIOSKI

Wyniki badań modelowych wykonanych w zlewni cząstkowej górnej Dłubni w latach 1999–2000 oraz badania hydrometryczne przepływów chwilowych przeprowadzone przez autorów w latach 1992–2010 dowodzą, że dolina Dłubni, o założeniach tektonicznych, intensywnie drenuje wody podziemne z górotworu wapieni górnajurajskich. W bilansie wód podziemnych w zlewni cząstkowej górnej Dłubni moduł drenażu wód podziemnych do rzeki wynosi  $3,17 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ , co stanowi 65% odpływu całkowitego ze zlewni. Pozostałą część odpływu całkowitego ze zlewni stanowi odpływ boczny poza obszar, w małym stopniu drenaż wód poprzez studnie. Badania natężenia przepływu w Dłubni przeprowadzone przez autorów w latach 2008–2010 dokumentują strefy wzmożonego zasilania cieków w rejonie Grodziska (ok.  $40 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) oraz w przełomie Imbramowickim (około  $200 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) – w pierwszym przypadku przez strefę niewielkich źródeł korytowych i tarasowych, w drugim przypadku głównie dużych ascenzyjnych źródeł krasowych, zasilanych prawdopodobnie m.in. poprzez przepływy boczne wód podziemnych ze zlewni Prądnika. Przeważający udział wód podziemnych w zasilaniu Dłubni warunkuje obniżenie wskaźnika zmienności natężenia przepływu w rzece w rejonie przełomu Imbramowickiego oraz podwyższoną termikę wód w zimie (rzeka „Gorąca”). Lokalne strefy infiltracji wód Dłubni do podłoża sąsiadują ze strefami wzmożonego zasilania i ujawniają się zwłaszcza w okresie roztopowym – pomiędzy Głanowem i Imbramowicami. Udokumentowane w latach 2008–2010 wartości ubytków wody w Dłubni w rejonie Głanowa sięgały do  $20 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a powyżej klasztoru w Imbramowicach do  $40 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Wzmożony drenaż dolinny wód podziemnych, przy względnie ekstensywnym zagospodarowaniu terenu w rejonie DPK, przyczynia się do stopniowego poprawiania stanu jakości wód powierzchniowych, poniżej obszaru zurbanizowanego Jangrot – Trzyciąż, głównie w procesie rozcieńczania w wodzie transportowanych zanieczyszczeń. Wysokie wartości wskaźników fizyko-chemicznych zanieczyszczeń poniżej oczyszczalni biologicznej w Trzyciążu świadczą o niedostatecznej efektywności pracy oczyszczalni. Dopiero w strefie wzmożonego drenażu wód podziemnych w rejonie Grodziska i w niższym biegu rzeki obserwuje się wyraźny spadek wartości PEW (o 36%), stężeń w wodzie alkaliów (Na o 86%, K o 48%), jonów  $\text{SO}_4$  (o 119%), Cl (o 300%), związków biogenych ( $\text{NO}_3$  o 54%,  $\text{PO}_4$  o 250%). Wysoki udział wód podziemnych w przepływie Dłubni w rejonie przełomu Imbramowickiego odzwierciedla się jednocześnie spadkiem temperatury w okresie wiosenno-letnim, zahamowaniem trendu wzrostowego odczynu pH w wodzie, małą dynamiką wzrostu utlenialności i wartości redoks, stabilizacją stężeń składników pochodzących głównie z rozpuszczania skał węglanowych (Ca,  $\text{HCO}_3$ ) w wodach powierzchniowych na poziomie zbliżonym do obserwowanych w głębszych częściach zbiornika górnajurajskiego (otwór D-1). Poprawa stanu jakości wód powierzchniowych w obszarze chronionym DPK objawia się wyraźnym wzbogaceniem ekosystemów wodnych. Zamierzeniem autorów jest przeprowadzenie w następnej kolejności w interdyscyplinarnym zespole badań korelacji wskaźników fizyko-chemicznych i biologicznych stanu jakości wód podziemnych i powierzchniowych w obszarze DPK.

Badania zrealizowano w ramach Projektu Uniwersytetu Śląskiego BWR/2009 pt. „Ocena oddziaływania czynników przyrodniczych i antropogenicznych na środowisko wodne i jego biotyczne elementy w obszarze krasowym Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej”.

## PIŚMIENNICTWO

Baścik M., Partyka J. 2008. *Przewodnik Sesji Terenowych, Trasa C. [zlewnia Dłubni]*, [w:] *Wody na obszarach chronionych. Streszczenia referatów i przewodnik sesji terenowych, Materiały konferencji naukowej, Pieskowa Skała 12–14 czerwca 2008 r.*, red. M. Baścik, J. Partyka, wyd. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Ojcowski Park Narodowy, Polskie Towarzystwo Geograficzne. Ojców, s. 171–177.

Bonacci O. 1987. *Karst hydrology. With special reference to the Dinaric Karst*. “Springer Series in Physical Environment”, Springer Verlag, ss.184.

Dynowska I. 1963. *Stosunki hydrograficzne oraz zagadnienia ochrony wód zachodniej części Wyżyny Miechowskiej*. „Ochrona Przyrody”, 29: 89–120.

Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, ss. 98

Guzik C., Górka Z. 1991. *Użytkowanie ziemi i rolnictwo*, [w:] *Dorzecze górnej Wisły. Cz. I*, red. I. Dynowska, M. Maciejowski, Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa–Kraków, s. 119–127.

Iwon K. 1996. *Charakterystyka hydrologiczna i hydrochemiczna wybranego obszaru krasowego w zlewni Dłubni*, (praca magisterska, maszynopis), Wydział Nauk o Ziemi UŚ. Sosnowiec, ss. 110.

Myszka J., Kowalski J., Porwisz B., Sawicki J. 1990. *Koncepcja szczegółowa ochrony wód podziemnych dla wydzielonych regionów hydrogeologicznych. GZWP nr 409. Niecka Miechowska, część południowa – zlewnia Szreniawy i Dłubni*. CPBP 04.10.09, wyd. Przedsiębiorstwo Geologiczne. Kraków.

Różkowski J. 2006. *Wody podziemne utworów węglanowych południowej części Jury Krakowsko-Częstochowskiej i problemy ich ochrony*. „Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego”, nr 2430. Katowice, ss. 263.

Różkowski J., Sadowski S. 1994. *Reżim źródeł poziomu jury górnej w południowej części Wyżyny Krakowskiej*. „Sprawozdania z Posiedzeń Komisji Nauk PAN”, 37/1 01–06.1993r., wyd. Oddział PAN. Kraków, s. 185–187.

Różkowski J., Kowalczyk A., Rubin K., Wróbel J. 2001. *Odnawialność wód szczelinowo-krasowych poziomu górnourajskiego w obszarze Wyżyny Krakowskiej – na podstawie modelowania matematycznego*. „Współczesne Problemy Hydrogeologii”, X, wyd. Uniwersytet Wrocławski. Wrocław–Krzyżowa, s. 245–252.

Siwek J. 2004. *Źródła w zlewniach Prądnika, Dłubni i Szreniawy. Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania jakości wód*, wyd. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ. Kraków, ss. 98.

Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska (WIOŚ). 1999. *Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim w 1998 roku*, [w:] Biblioteka Monitoringu Środowiska. Kraków, ss. 140.

Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska (WIOŚ). 2002. *Raport o stanie środowiska w Krakowie w latach 1999–2001*. Kraków, [http://www.krakow.pl/ekologia/raport\\_01](http://www.krakow.pl/ekologia/raport_01)

Żurek A., Różkowski J. 2008. *Zagrożenie jakości wód podziemnych wybranych obszarów chronionych w zasięgu występowania zbiornika górnourajskiego w rejonie Krakowa*, [w:] *Wody na obszarach chronionych*, red. J. Partyka, J. Pociask-Karteczka, wyd. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ. Kraków, s. 273–283.

## SUMMARY

The paper discusses the problems concerning environmental protection and surface water and groundwater interrelations with reference to the 2000 Water Framework Directive. The investigations were conducted in the upper Dłubnia river drainage basin, situated in the Kraków Upland and legally protected as part of the Dłubnia River Landscape Park (DLP). The area's main functional water-bearing horizon is the Upper Jurassic aquifer of the fissure – karstic type (Fig. 1). The paper presents the results of seasonal hydrological and hydrochemical investigations conducted in the years 2008–2010 in the upper Dłubnia river drainage basin – from the spring zone in Jangrot up to the closing cross-section in Imbramowice (nearby the Norbertines' monastery) (Fig. 1, 2).

The karstic area of the upper Dłubnia river drainage basin is agriculturally used. The spring zone is under anthropopressure from rural settlements (Jangrot, Trzyciąż). The DLP covers mainly the Dłubnia valley and is strongly dissected, which impedes ground and surface water protection within its boundaries.

Mean momentary flows observed during consecutive Mays in the years 2008–2010 along the Dłubnia river course reached: in the spring zone (Jangrot) 8, below a sewage treatment plant in Trzyciąż 23, above a tributary stream from Głanów – 36, below Grodzisko – 74, above Struś spring > 116, above Bielny Młyn spring – 206, and nearby the monastery in Imbramowice – 266 ( $\text{dm}^3\text{s}^{-1}$ ) (Fig. 3–6). In the Dłubnia river valley, zones of increased recharge (Grodzisko, Imbramowice gorge) as well as infiltration zones from the river into the karstic massif of Upper Jurassic limestone (from Głanów to Imbramowice; Table 1) were found.

Farming-related anthropopressure has led to a deterioration in the quality of the upper Dłubnia river surface waters (despite building a sewage treatment plant in Trzyciąż). Observed downstream, within the DLP, partial purification of water is a result of the lessened influence of rural settlements and increased groundwater recharge (karstic ascending springs, by-channel springs) including transition waters from the Prądnik Valley (Tables 2, 3). Thus, it may be assumed that the purification of the Dłubnia river waters is mainly an effect of the process of pollutants dilution and is conditioned by groundwater circulation in the karstic and tectonically engaged limestone massif.