

Rafał Grulke¹ • Maciej Ziulkiewicz² ⁽¹⁾ Student geografii, Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych⁽²⁾ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geologii i GeomorfologiiE-mail: rafal.grulke@edu.uni.lodz.pl; maciej.ziulkiewicz@geo.uni.lodz.pl

Warunki tlenowe wód powierzchniowych w odcinku źródłiskowym Dzierżąznej (Maliny)

Oxygen conditions of surface waters in the spring section of Dzierżązna (Malina)

Zarys treści

Zlewnia Dzierżąznej położona jest w zachodniej części strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich. W pracy skupiono się na jej źródłiskowej części położonej na terenie miasta Zgierz, od jej źródeł położonych na Rudunkach po zamykający zlewnię cząstkową zbiornik Malinka. Badania dotyczyły trzech podstawowych parametrów: temperatury wody [°C], nasycenia wody tlenem [%] oraz stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie [mg/dm³]. Na terenie badań wyznaczono 15 punktów pomiarowych w różnych rodzajach obiektów hydrograficznych (wypływy wód podziemnych, wody płynące i wody stojące). Pomiary zrealizowano w dwóch sezonach: zimowym i wczesnowiosennym w okresie 5.12.2018–7.04.2019 r. Wyniki badań ukazują znaczące zróżnicowanie warunków tlenowych w poszczególnych typach obiektów: w źródłach, kontinuum rzecznych i zbiornikach retencyjnych różnej wielkości. Warunki termiczne oraz charakter ruchu wody w badanych obiektach wskazują, że w porze zimowej zasadniczym procesem dostawy tlenu do wód jest dyfuzja gazu z atmosfery. Wiosną, gdy rośnie temperatura wody, co utrudnia efektywną rozpuszczalność tlenu atmosferycznego, na znaczeniu zyskuje fotosynteza roślinności wodnej ze wskazaniem na fitoplankton zawieszony i denny. Badane wody płynące i zretencjonowane reprezentują zasadniczo dobrą jakość, choć problemem dla zwierząt wodnych mogą być wiosenne stany wysokiego przesylenia toni wodnej tlenem.

Słowa kluczowe

Natlenienie wód powierzchniowych, Dzierżązna (Malina), Wzniesienia Łódzkie.

Abstract

The catchment of Dzierżązna river is located in the western part of the Łódź Hills edge zone. The work focuses on its spring section located in the city of Zgierz, between springs in the Rudunki and the Malinka reservoir. The research concerned three basic parameters: water temperature [°C], water oxygen saturation [%] and concentration of dissolved oxygen in water [mg/dm³]. In the study area, 15 measurement points were established in various types of hydrographic objects (groundwater outflow, flowing water and stagnant water). Measurements were carried out in two seasons: winter and early spring, between 5th of December 2018 and 7th of April 2019. The results of the research show a significant diversification of oxygen conditions in individual types of objects. The thermal conditions and the kind of water movement in the studied objects indicate that in winter the basic process of water oxygen supply is gas diffusion from the atmosphere. In spring, when the water temperature rises, which impede the effective solubility of atmospheric oxygen, photosynthesis of aquatic vegetation becomes more important, with an indication of suspended and bottom phytoplankton. The tested waters are generally of good quality, although the high oxygen saturation in early spring may be a problem for aquatic animals.

Keywords

Oxygene conditions of waters, Dzierżązna (Malina) river, Łódź Hills.

1. Wprowadzenie

Tlen rozpuszczony w wodzie pełni bardzo ważną funkcję zapobiegając transportowi zanieczyszczeń na duże odległości. Przy obecnie utrzymującej się wysokiej presji antropogenicznej na środowisko wodne, dopływ zanieczyszczeń organicznych sprzyja wyczerpywaniu zasobu tlenu, który wykorzystywany jest do jej biochemicznej mineralizacji. Naturalne mechanizmy wprowadzające tlen do wody, jak fotosynteza czy aeracja, nie są w stanie zrównoważyć zwiększonego zapotrzebowania bakterii tlenowych wywołanego rosnącą masą materii organicznej, co prowadzi do istotnego pogorszenia dostępności tlenu dla zwierząt wodnych.

Szczególnie ważny jest stan natlenienia wód powierzchniowych na odcinkach źródłiskowych, gdzie z jednej strony mają swój początek cieki, a z drugiej z wodami podziemnymi poprzez źródła i strefę hyporeiczną wypływają zanieczyszczenia. Jest ich tym więcej, im płytszy i słabiej osłonięty przed dopływem nieczystości z powierzchni terenu jest zasilający źródła i rzekę wodonosiec. Na terenach silnie uźródłowionych, a jednocześnie intensywnie zagospodarowanych, zagrożenie uznaje się za bardzo realne. Wśród wielu takich stref, które zapewne można by wskazać, jest obszar Wzniesień Łódzkich, szczególnie te jego części, które znajdują się w zasięgu aglomeracji łódzkiej. Postępująca od ćwierćwiecza urbanizacja terenów wiejskich przyniosła skutek w degradacji jakości wód

źródłanych (m.in. Burchard, Mela 1995; Hereźniak-Cioto-wa, Ziulkiewicz 1997; Ziulkiewicz 2006; Żelazna-Wieczo-rek i in. 2010; Ziulkiewicz 2016). W ślad za tym także i cieki rozpoczynające tutaj swój bieg uległy zanieczyszczeniu. Wzniesienia Łódzkie to strefa wododziału głównego, więc drobnych cieków i zasilających je źródeł jest bardzo wiele (Maksymiuk 1979; Maksymiuk, Mela 1995).

W badaniach, których plon stanowi niniejsza praca, szczególną uwagę skupiono na Dzierżąznej (Malinie), należącej do dorzecza Bzury i odwadniającej północną część Zgierza. W jej głęboko wciętej dolinie, zwłaszcza na odcinku inicjalnym, występuje duża różnorodność obiektów hydrograficznych, stanowiących atrakcyjny przedmiot badań. Zlewnia Dzierżąznej to obszar silnej i szybko przebiegającej urbanizacji terenu podmiejskiego (Bojanowska 2006), przez co nakładają się tutaj na siebie naturalne i antropogeniczne procesy kształtowania oblicza fizykochemicznego wód podziemnych i powierzchniowych (Burchard i in. 2006; Ziulkiewicz i in. 2006; Ziulkiewicz i in. 2021).

W nowoczesnej ekologii wód, rzeki traktowane są jako zintegrowana funkcjonalnie całość, której właściwości określane są czasoprzestrzennym kontinuum, wzdłuż którego gradientowym zmianom ulegają warunki fizyczne i chemiczne (Starmach 2000). Budowa skądinąd potrzebnych zbiorników retencyjnych przerywa ten ciąg i sprawia, że w zależności od splotu okoliczności, wody rzeczne zyskują lub tracą walory jakościowe pokonując takie bariery. Na cechy fizykochemiczne zretencjonowanych wód szczególnie silnie wpływa głębokość i asymetria dna zbiornika, wzajemny stosunek wód głębinowych, pelagicznych i przybrzeżnych. Warunki fizykochemiczne, obok formy misy zbiornika, uzależnione są jeszcze od akumulacji substancji odżywczych dopływających z rzeką ze zlewni (Starmach 2000).

Na wybranym do badań odcinku Dzierżąznej (Maliny) ciągłość rzeki uległa wielokrotnemu przerwaniu poprzez budowę pięciu zbiorników małej retencji, co poza funkcjonowaniem tam naturalnych wypływów wód podziemnych, wprowadza dodatkowy czynnik determinujący zmiany jakości wód rzecznych. Przyjęto założenie, że tlen rozpuszczony w wodzie będzie dobrym tego odzwierciedleniem. Celem pracy jest wykazanie stanu natlenienia wód różnych typów obiektów hydrograficznych w górnej części zlewni Dzierżąznej, w porze zimowej i wczesnowiosennej – w warunkach intensywnej zabudowy hydrotechnicznej. Do badań wytypowano źródła, rzekę, zbiorniki retencyjne oraz torfowisko niskie. Wskazany odcinek cieku jest jednocześnie fragmentem Dzierżąznej, na którym w trakcie pierwszych badań hydrochemicznych stwierdzono największe jej obciążenie zanieczyszczeniami i największą dynamikę zmian parametrów jakości wód w stosunku do dalszego odcinka tej rzeki aż po ujście Ciosenki (Burchard i in. 2006). Należy przyjąć, że w takich okolicznościach warunki tlenowe, przy stałym dopływie zanieczyszczeń, mogą się wyraźnie pogarszać.

2. Obszar badań

Obszar badań obejmuje górny fragment zlewni Dzierżąznej o powierzchni 2,65 km², zamknięty jazem piętrzącym ostatniego z kompleksu zbiorników retencyjnych „Malinka”. Zlewnia Dzierżąznej położona jest w zachodniej części strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich, obejmując teren bezpośrednio przylegający od północy do Zgierza wraz z jego niewielkimi fragmentami zabudowy (rys. 1C).

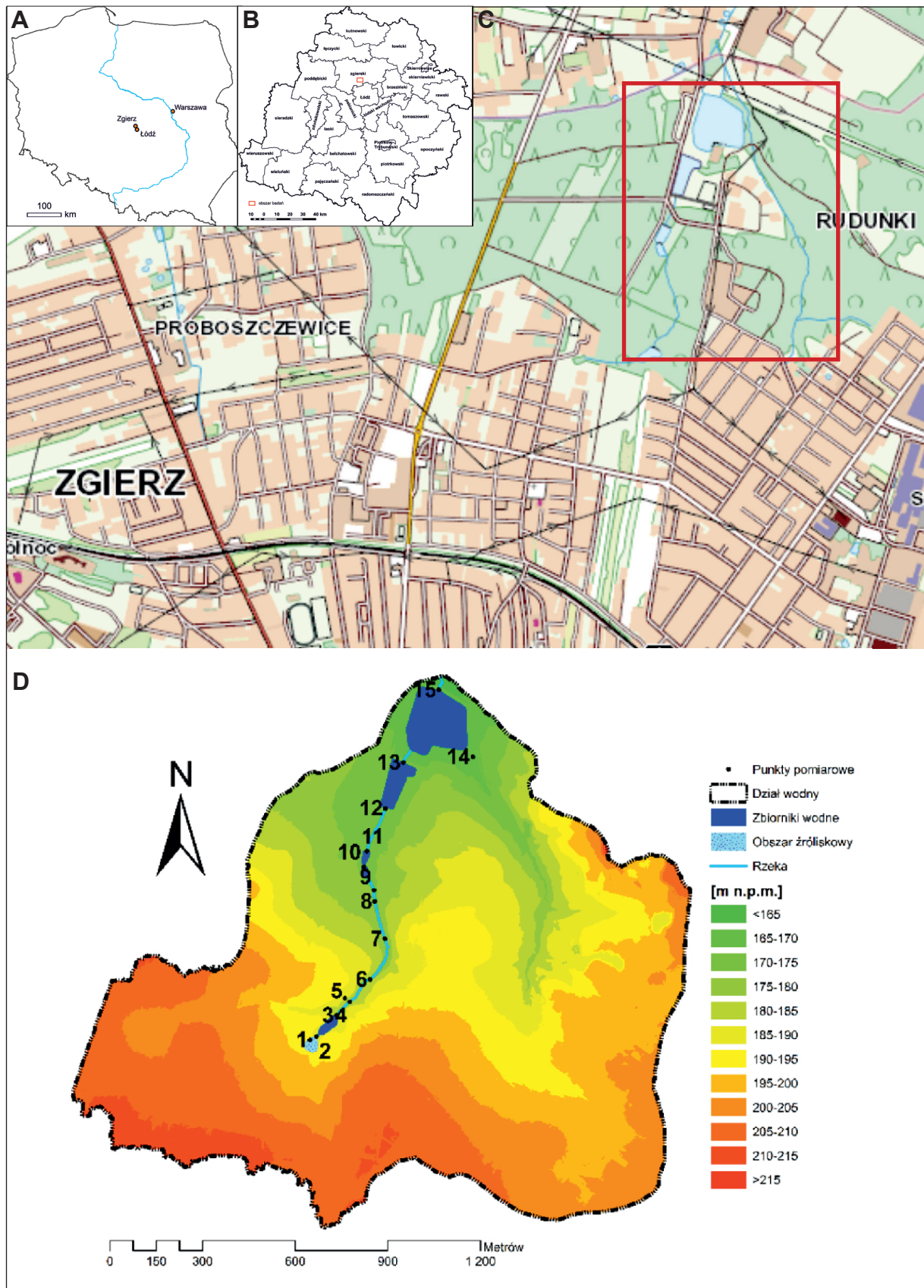
Dzierżązna (Malina)¹ należy do cieków V rzędu, uchodzi do Czarniawki, lewobrzeżnego dopływu Moszczenicy, a ta z kolei do Bzury (Bartnik, Tomaszewski 2000; Jokieli, Maksymiuk 2000). Średni przepływ w górnej części badanego odcinka Dzierżąznej wynosi 7,3 l/s (Moniewski 2004), a powyżej pierwszego z kaskady zbiorników retencyjnych „Malinka” kształtuje się on w granicach 5,4–10,5 l/s (Ziulkiewicz i in. 2021).

Rzecz dają początek najdalej na zachód położone źródła, które należą do jednej z najbardziej uźródłowionych stref centralnej Polski, tzw. obszaru krawędziowego Wzniesień Łódzkich (Maksymiuk, Mela 1995; Jokieli, Maksymiuk 2000). Źródło Rudunki I (184,4 m n.p.m.), dające początek Dzierżąznej, jest młaką (rys. 2), której wydajność określono na 2,5–6,3 l/s (Ziulkiewicz i in. 2021). Jej dno jest w najniższych partiach wypełnione materią organiczną do głębokości 75 cm. Nieco niżej na biegu cieku położone jest źródło Rudunki II (181,6 m n.p.m.). Jego nisza wykształciła się u podnóża zbocza doliny, które jednocześnie podcina. W dnieniu niszy, pokrytym detrytusem, biją drobne wypływy ascensyjne. W miejscach wypływów czytelny jest również rdzawy nalot związków żelaza (fot. 1). Wydajność tego zespołu wypływów można oszacować na 1,5 l/s.

W dolnej części badanego odcinka doliny, u zbiegu z dolinką prawobrzeżnego dopływu, znajduje się niewielkie torfowisko niskie z małym zbiornikiem wodnym (torfianką). Z tego obiektu okresowo odpływają niewielkie ilości wody, kierując się przekopanym rowkiem ku Dzierżąznej. Wykonane sondowania wskazują, że aktualna miąższość osadów organicznych nie przekracza tam 50 cm, natomiast dopływ wód podziemnych zachodzi z utworów piaszczystych, z głębokości około 1,5 m.

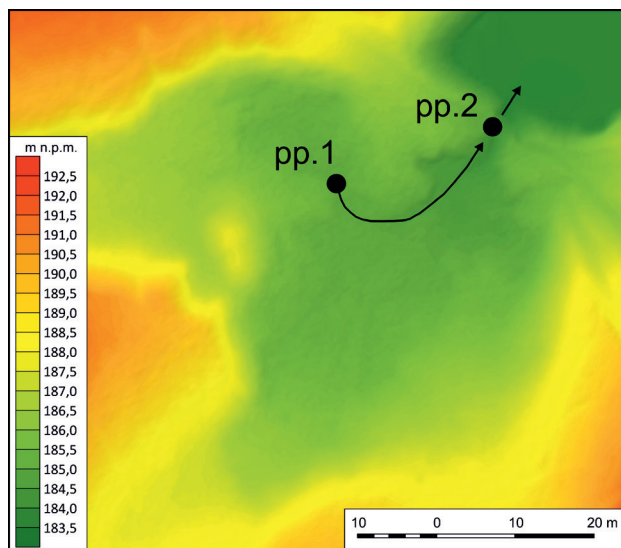
Na badanym odcinku biegu Dzierżąznej znajduje się pięć zbiorników retencyjnych (rys. 1D). Jeden bezpośrednio poniżej źródła inicjalnego (A = ok. 2400 m²) i cztery w dolnej części odcinka doliny, gdzie tworzą kompleks rekreacyjny „Malinka” (ΣA = ok. 40000 m²) (<https://sk.gis.gov.pl/index.php/kapielisko/316>). Dostępna w materiałach źródłowych charakterystykę budowli piętrzących przedstawiono w tab. 1. Zbiornik nr 4 – kąpielisko (tzw. staw górny) jest wydzielonym obiektem o umocnionym dnie i skarpach, o powierzchni około 6000 m² i średniej głębokości 1,0 m. Poziom wody w kąpielisku utrzymywany jest na poziomie 170.10 m n.p.m. za pomocą żelbetonowej zastawki (<https://sk.gis.gov.pl/index.php/kapielisko/316>). Wszystkie zbiorniki są płytkie, głębokość wody przy jazach w czasie pomiarów nie przekroczyła 3,5 m, należy więc przyjąć, że potencjalnie całe ich dno może znajdować się w zasięgu światła słonecznego.

¹ Według Hydroportalu (https://wody.isok.gov.pl/imap_kzgw/?gpmmap=gpSIGW) górny odcinek Dzierżąznej nosi nazwę Maliny.



Rys. 1. Położenie obszaru badań na tle mapy Polski (A) i woj. łódzkiego (B); C – położenie fragmentu doliny objętej badaniami (mapa w skali 1:25 000 zaczerpnięta z Geoportalu); D – położenie punktów pomiarowych w górnej części zlewni Dzierżąznej (Maliny) na tle mapy hipsometrycznej

Fig. 1. Location of study area on the background of the map of Poland (A) and the Łódź voivodeship (B); C – location of the part of the valley covered by the research (map in the scale 1:25 000 taken from Geoportal); D – location of the measurement points in the upper part of the Dzierżązna (Malina) catchment area against the background of the hypsometric map



Rys. 2. Numeryczny Model Terenu niszy źródłiskowej Rudunki I dla rzędnej 183,48 m n.p.m. Punktami oznaczono miejsca wykonywania pomiarów i wskazano kierunek spływu wód

Fig. 2. The Digital Elevation Model of spring niche Rudunki I, elevation 183,48 m a.s.l. Points marked the places where measurements were done and the direction of water outflow was indicated



Fot. 1. Nisza źródłiskowa Rudunki II z zaznaczonymi punktami opróbowania wód: wypływu spod ziemi i odpływu z niszy. W dnie widoczne są wytrącenia wodorotlenku żelaza świadczące o zużyciu rozpuszczonego w wodzie tlenu do przejścia rozpuszczalnych form żelaza [$\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, FeSO_4] w formę trudno rozpuszczalną [$\text{Fe}(\text{OH})_3$] (fot. R. Grulke)

Photo 1. The spring niche of Rudunki II with marked measuring points: water outflow from the ground and outflow from the niche. In the bottom precipitated iron hydroxide is visible, attesting to the consumption of oxygen dissolved in water to transform the soluble forms of iron [$\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, FeSO_4] into the sparingly soluble form [$\text{Fe}(\text{OH})_3$] (photo: R. Grulke)

Tabela. 1. Charakterystyka budowli piętrzących na badanym odcinku Dzierżąznej (Maliny) (Wojewódzki program..., 2005)

Table 1. Characteristics of the dams in the studied section of Dzierżązna (Malina)

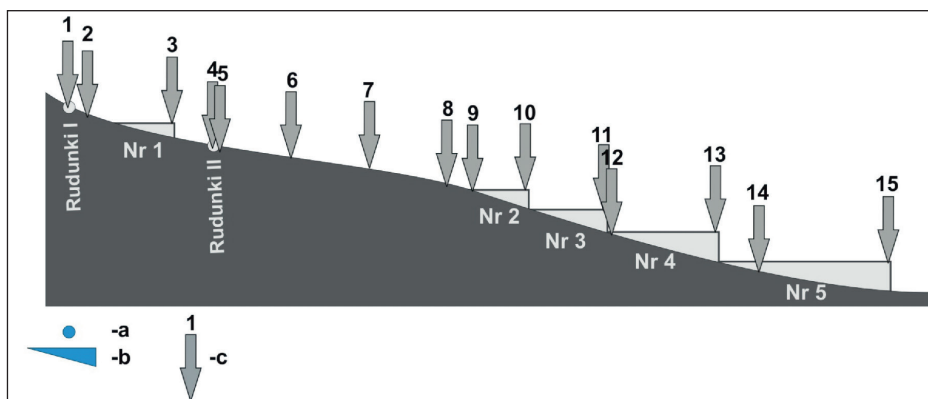
Nr badanego zbiornika	Rodzaj budowli	Położenie budowli [km]	Administrator budowli	Parametry budowli			Uwagi
				szerokość [m]	wysokość piętrzenia [m]	wysokość stopnia [m]	
1	stopień	0 ÷ 100	WZMiUW w Łodzi	–	–	0,5	–
4	most z zastawką	3 ÷ 250	UG Zgierz	1,6 ÷ 0,8 ÷ 0,8 ÷ 1,6	0,9	–	z piętrzeniem, tzw. górny staw – kąpielisko

Obszar badań znajduje się w obrębie regionalnej jednostki hydrogeologicznej, która charakteryzuje się występowaniem pierwszego poziomu wodonośnego w miąższych pokrywach piasków różnoziarnistych. Jego zwierciadło stabilizuje się w obrębie wysoczyzny na rzędnych 185–190 m n.p.m. Poziom ten zasadniczo nie jest izolowany od powierzchni, a zwierciadło swobodne występuje w przedziale głębokości 10–20 m p.p.t. (Pęczkowska, Figiel 2006). Moniewski (2004) wskazuje, że źródła Dzierżąznej zasilane są z fluwioglacjalnych utworów piaszczysto-żwirowych podścielonych glinami morenowymi zlodowacenia warty.

Układ warstw skalnych jest na tym obszarze jednak silnie przekształcony na skutek występowania zaburzeń gła-
ctektonicznych osadów kenozoicznych (Klatkova 1996).

3. Metodyka badań

Na obszarze badań wyznaczono 15 punktów pomiarowych (rys. 1D i rys. 3). Objęły one dwa źródła, gdzie badano miejsce wypływu wód podziemnych na powierzchnię oraz odpływ wody z niszy źródłiskowej (rys. 2, fot. 1). Poza tym: jedno torfowisko, wody płynące w korycie Dzierżąznej (pięć punktów) oraz wody retencjonowane w zbiornikach (cztery punkty) – tab. 2.



Rys. 3. Schematyczny profil badanego odcinka Dzierżąznej (Maliny) z lokalizacją punktów pomiarowych (pp.).

Objaśnienia znaków: a – źródło, b – zbiornik retencyjny, c – pp. z numeracją

Fig. 3. Schematic profile of the studied section of Dzierżązna (Malina) with the location of the measuring points (mp).

Explanations of signs: a – the spring, b – retention reservoir, c – mp. with the number

Tabela 2. Charakterystyka punktów pomiarowych

Table 2. Characteristics of measuring points

Punkt pomiarowy	Nazwa punktu pomiarowego	Typ wód	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna
1	Źródliko Rudunki I	wyptywy wód podziemnych	51°52'30"	19°25'14"
2	Odptyw ze źródliska Rudunki I	odptyw ze źródliska	51°52'30"	19°25'15"
3	Wyptyw ze zbiornika nr 1	wody stojące	51°52'31"	19°25'18"
4	Odptyw ze źródliska Rudunki II	odptyw ze źródliska	51°52'34"	19°25'20"
5	Źródliko Rudunki II	wyptywy wód podziemnych	51°52'33"	19°25'21"
6	Naturalne Podpiętrzenie – Dzierżązna (Malina)	wody płynące	51°52'35"	19°25'23"
7	Meander – Dzierżązna (Malina)	wody płynące	51°52'38"	19°25'22"
8	Koniec naturalnego koryta – Dzierżązna (Malina)	wody płynące	51°52'42"	19°25'21"
9	Wptyw do zbiornika nr 2	wody płynące	51°52'43"	19°25'20"
10	Wyptyw ze zbiornika nr 2	wody stojące	51°52'45"	19°25'19"
11	Wyptyw ze zbiornika nr 3	wody stojące	51°52'47"	19°25'20"
12	Wptyw do zbiornika nr 4	wody płynące	51°52'51"	19°25'22"
13	Wyptyw ze zbiornika nr 4	wody stojące	51°52'55"	19°25'26"
14	Torfowisko	wody stojące	51°52'56"	19°25'35"
15	Wyptyw ze zbiornika nr 5	wody stojące	51°53'03"	19°25'32"

W wyznaczonych punktach pomiarowych dokonywano pomiarów temperatury wody i powietrza oraz stężeń tlenu rozpuszczonego i stopnia nasycenia toni wodnej tlenem. Obserwacje realizowano w okresie 5.12.2018 – 7.04.2019 r. w odstępach tygodniowych. Pomiarzy podzielono na dwie serie:

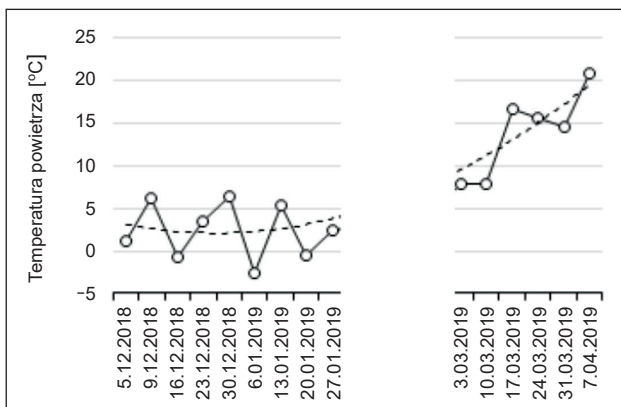
- zimową od 5.12.2018 r. do 27.01.2019 r. (9 terminów pomiarów),
- wiosenną od 3.03 do 7.04.2019 r. (6 terminów pomiarów).

W serii wiosennej przeprowadzono dodatkowo pomiar stężenia tlenu rozpuszczonego w warstwie naddennej we wszystkich pięciu zbiornikach retencyjnych. Pomiarów dokonywano z jazu piętrzącego przy upuście wody.

Pomiary wykonywano mikrokomputerowym tlenomierzem Elmetron CO-315. Poza czujnikiem temperatury ośrodka, stosowano dwie elektrony tlenowe: CTN-980R i CTN-920S podłączoną do kabla o długości 6 m. Tlenomierz każdorazowo przed pomiarami był kalibrowany w roztworach 0% i 100% nasycenia tlenem z uwzględnieniem poprawki na aktualne ciśnienie atmosferyczne.

4. Wyniki badań

Warunki termiczne powietrza atmosferycznego, w jakich prowadzono pomiary przedstawia rys. 4. Okres zimowy to czas stabilizacji temperatury wokół wartości przeciętnej i naprzemianległych wzrostów i spadków z kilkoma przypadkami temperatur poniżej zera, generalnie w zakresie -3°C do 6°C . Okres wiosenny to z kolei czas szybkiego wzrostu temperatur, aż o 14°C , z 8°C do 21°C . Generalnie, zakres zmian temperatury powietrza jaki nastąpił między początkiem grudnia a początkiem kwietnia, wyniósł blisko 25°C .



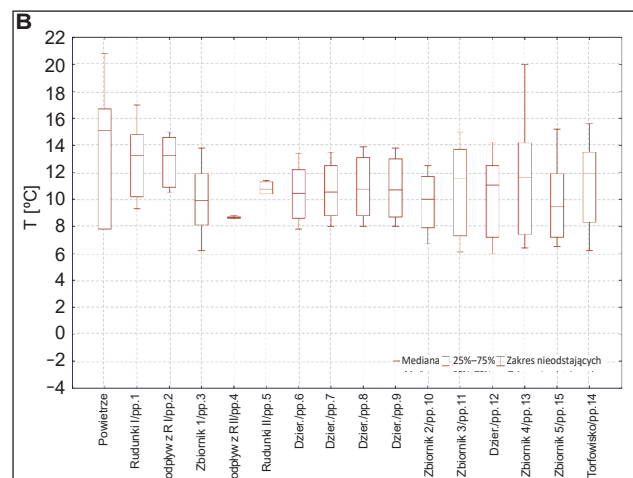
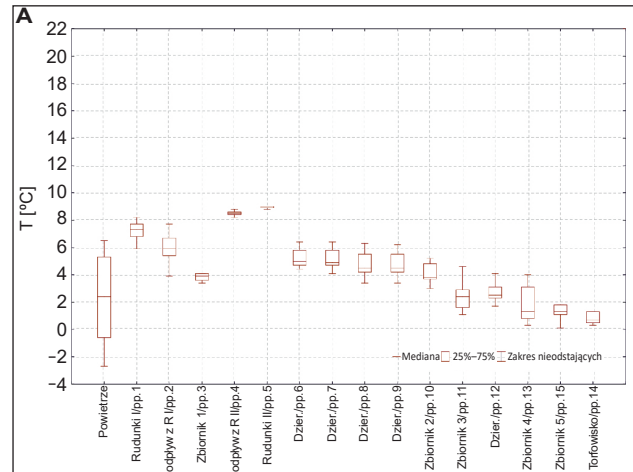
Rys. 4. Temperatura powietrza w obu seriach pomiarowych

Fig. 4. Air temperature in both measuring series

W porze zimowej najcieplejsze wody wypływały ze źródła Rudunki II, chłodniejsze wody zarejestrowano w niszy Rudunki I (rys. 5a). Zmiany temperatury wody na biegu Dzierżanej, od źródeł po ostatni badany zbiornik retencyjny (nr 5), dokumentują postępujące wychłodzenie, które następuje już w zbiorniku nr 1. Jednak z racji, że odpływ wody odbywa się z jego warstwy przypowierzchniowej, nie jest to pełna informacja o warunkach termicznych panujących w tym obiekcie. Zbiorniki nr 2 i nr 3 obniżają temperaturę wód rzecznych w największym stopniu. Woda odpływająca z torfowiska jest najchłodniejszą z badanych, o czym decyduje zapewne długi czas retencji wód podziemnych w jego obrębie.

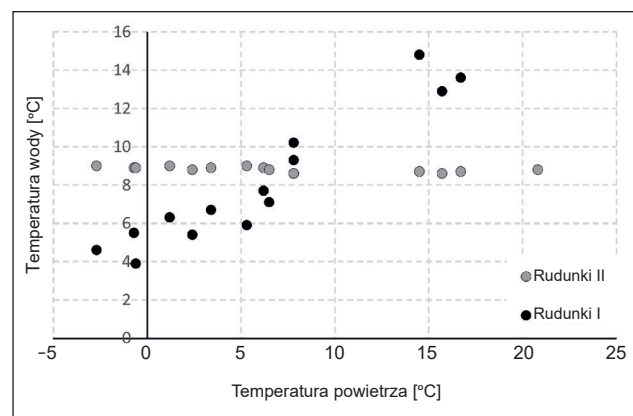
Wiosną, kiedy przeciętna temperatura powietrza podniosła się o 11°C , opisane powyżej zróżnicowanie zupełnie się zatarto (rys. 5b). Wody, poza źródłem Rudunki II, termicznie się zunifikowały. Najcieplejsze były wody z niszy Rudunki I. Wody w zbiornikach były chłodniejsze od wód rzecznych, maksimum temperatury wody wystąpiło w zbiorniku nr 4 – kąpielisku. Głębsze zbiorniki nr 1, nr 2 i nr 5 okazały się odporne na szybkie ogrzanie się wody. Najcieplejsze wody, pod względem przeciętnej wielkości temperatury wody, odpływały z torfowiska.

Relacja temperatury powietrza i temperatury wody wypływającej na powierzchnię w obu badanych źródłach daje wskazanie, jak forma wypływu może warunkować termikę wód od samego początku funkcjonowania cieku powierzchniowego – rys. 6.



Rys. 5. Zakres zmian temperatury powietrza i wody w punktach pomiarowych: A – w porze zimowej, B – w porze wiosennej

Fig. 5. The air and water temperature range of changes at measuring points: A – in winter, B – in spring

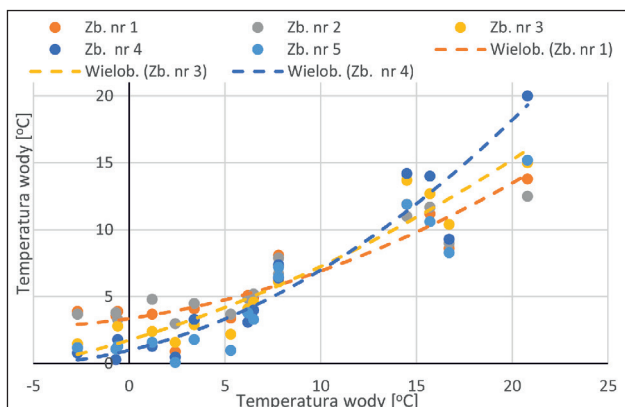


Rys. 6. Relacja temperatury powietrza i wody w źródłach inicjalnych Dzierżanej

Fig. 6. Changeability between air and water temperature in springs of Dzierżanej river

Relacja temperatury powietrza i temperatury wody wypływającej z poszczególnych zbiorników na biegu Dzierżanej pozwala wskazać interesujące różnice – rys. 7. Im niżej w dolinie położony jest zbiornik, tym silniej reaguje na

wiosenne ocieplenie, a są to zbiorniki różniące się istotnie powierzchnią i objętością. Najszybciej na wzrost temperatury powietrza reaguje zbiornik pełniący funkcję kąpieliska (nr 4), stosunkowo płytki, o dużej i nie zacienionej powierzchni lustra wody, pierwszy z kaskady kompleksu Malinka, zbiornik nr 2.



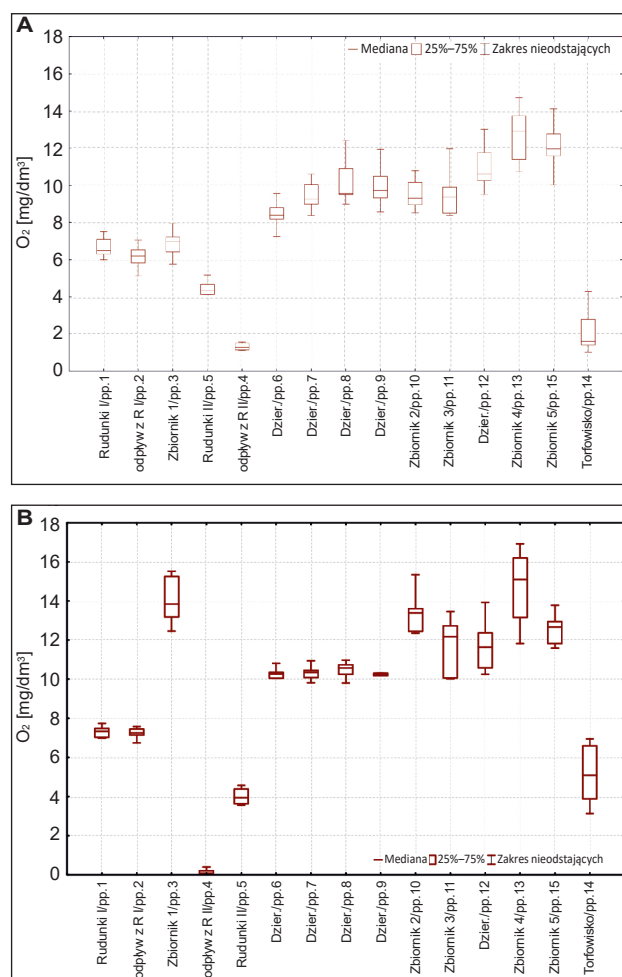
Rys. 7. Relacja temperatury powietrza i wody w zbiornikach położonych w górnej części doliny Dzierżanej

Fig. 7. Relationship between air and water temperature in reservoirs of upper section of Dzierżana

Zimą najniższe stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie stwierdzono w wypływie wody podziemnej w źródle Rudunki II i czterokrotnie wyższe w odpływie z tego źródła (rys. 8a). Podobne przeciętne stężenie tlenu, choć przy wyraźnie wyższym zakresie zmienności, zarejestrowano w torfowisku. Nieco wyższe stężenie, ale przy niskim zakresie zmienności stwierdzono w źródle Rudunki I. Uzyskany obraz zmienności stężeń tlenu w obrębie tej niszy jest bardzo podobny dla obu punktów pomiarowych, wypływu spod ziemi i odpływu z niszy. Wody powierzchniowe wyróżniają się *in plus* od obiektów zasilanych wodami podziemnymi. Stężenia tlenu sukcesywnie rosną w trakcie spływu wody korytem rzeczny, na co bardzo wyraźnie wskazują wartości przeciętne. W zbiorniku nr 2 i nr 3 stężenie tlenu nieco maleje, a dalej już rośnie, osiągając najwyższe stężenia w kąpielisku – zbiorniku nr 4. Pokonanie przez wody rzeczne zbiorników retencyjnych powoduje wzrost stężenia tlenu, w przypadku zbiornika nr 1 o 2 mg/dm³, a zbiorników nr 2 i nr 3 o 0,9 mg/dm³. Generalnie w porze zimowej udokumentowano postępujący proces natleniania wód, od źródła inicjalnego po ostatni zbiornik retencyjny „Malinki”.

W porze wiosennej stężenia tlenu rozpuszczonego bardzo wyraźnie różnicowały wody inicjalnego fragmentu doliny Dzierżanej (rys. 8b). Najniższe stężenia tlenu, bliskie zeru, zarejestrowano w źródle Rudunki II, a w odpływie z tej niszy, ok. 1,5 m dalej (fot. 1), stężenia tlenu kształtowały się na przeciętnym poziomie 4 mg/dm³. Niewiele wyższe stężenia rejestrowano w dopływie z torfowiska, których górny zakres odpowiadał zawartości tlenu rozpuszczonego w wodach źródła Rudunki I. Drugą grupę obiektów, o wyraźnie wyższych stężeniach tlenu, stanowią

wody powierzchniowe. W Dzierżanej przeciętne stężenia tlenu rozpuszczonego były niższe od jego zawartości w wodach zbiorników retencyjnych. Pod względem zakresu zmian oba typy akwenów również od siebie odbiegają, przy czym wyraźnie wyższe zmiany wystąpiły w zbiornikach retencyjnych. Wiosną stężenia tlenu rozpuszczonego w wodach sąsiadujących zbiorników zmieniały się *in plus* (zbiornik nr 3 i nr 4) i *in minus* (zbiornik nr 2 i nr 3 oraz nr 4 i nr 5). To samo zjawisko zaobserwowano zimą (rys. 8a), jednak w porze wiosennej wyraźnie przybrało ono na sile. Pomimo takich zmian, czytelne jest zjawisko natleniania wody rzecznej w zbiornikach retencyjnych. W przypadku wody odpływającej z niszy Rudunki I do zbiornika nr 1 jest to przeciętnie wzrost o 85% (z 7,3 mg/dm³ do 13,8 mg/dm³), a między pp. 9 i zbiornikiem nr 2 o 30%, podobnie, jak między pp. 12 i zbiornikiem nr 4. Po przepłynięciu Dzierżanej przez zbiornik nr 1 stężenie tlenu rozpuszczonego w rzeźce wzrasta przeciętnie o 3 mg/dm³, a zbiorników nr 2 i nr 3 o 1,5 mg/dm³, choć pomiędzy wartościami maksymalnymi różnica sięga 2 mg/dm³.

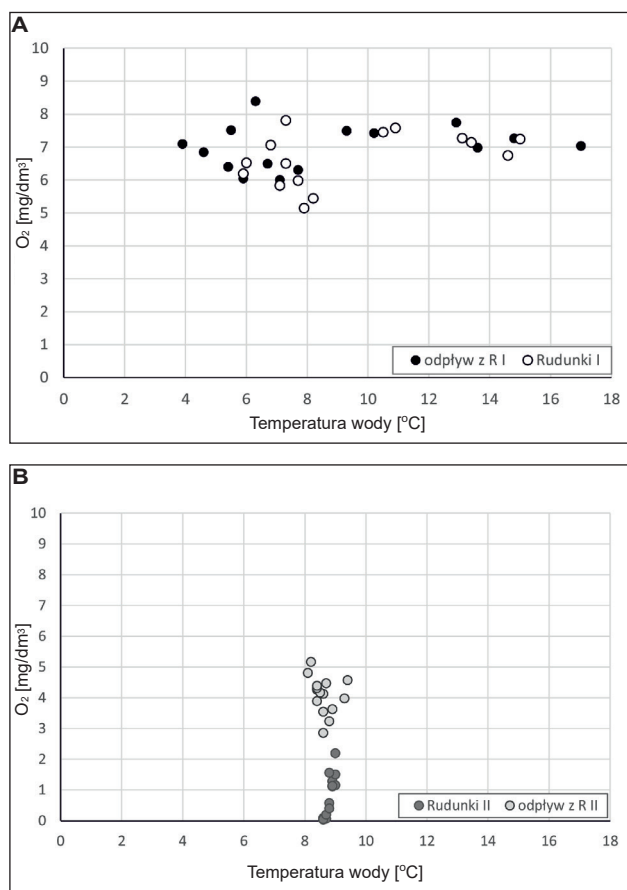


Rys. 8. Zakres zmian stężeń tlenu rozpuszczonego w wodzie zarejestrowanych w punktach pomiarowych: A – w porze zimowej, B – w porze wiosennej

Fig. 8. The range of changes the dissolved oxygen concentration in water recorded in measurement points: A – in winter, B – in spring

Odniesienie zarejestrowanego poziomu stężeń tlenu rozpuszczonego w różnych zbiornikach wodnych pozwala uchwycić ich osobliwość w tym względzie – rys. 9 i rys. 10. Obraz relacji uzyskany dla obu źródeł – rys. 9, wyraźnie je od siebie odróżnia. W Rudunkach I (rys. 9a) wiosną temperatura wody nie wydaje się oddziaływać na zawarty w wodzie tlen, natomiast zimą, kiedy woda jest chłodniejsza dyspersja punktów świadczy o kilku nakładających się okolicznościach sprzyjających natlenieniu bądź też odtlenieniu wód. Odniesienie stężenia tlenu do temperatury wody ukazuje, że dla obu sezonów relacja jest podobna, przy czym wody odpływające z niszy zimą są nieco chłodniejsze i bardziej zasobne w tlen.

Drugie z badanych źródeł (rys. 9b) charakteryzuje się tym, że stężenia rozpuszczonego tlenu kształtują się w bardzo szerokich granicach, przy bardzo ograniczonych zmianach temperatury wód. Na niewielkim dystansie dzielącym wypływ spod ziemi od odpływu z niszy (ok. 1,5 m) – fot. 1., następuje w tej niszy wyraźny wzrost stężenia rozpuszczonego tlenu, podczas gdy temperatura wody waha się w granicach 1,5°C.

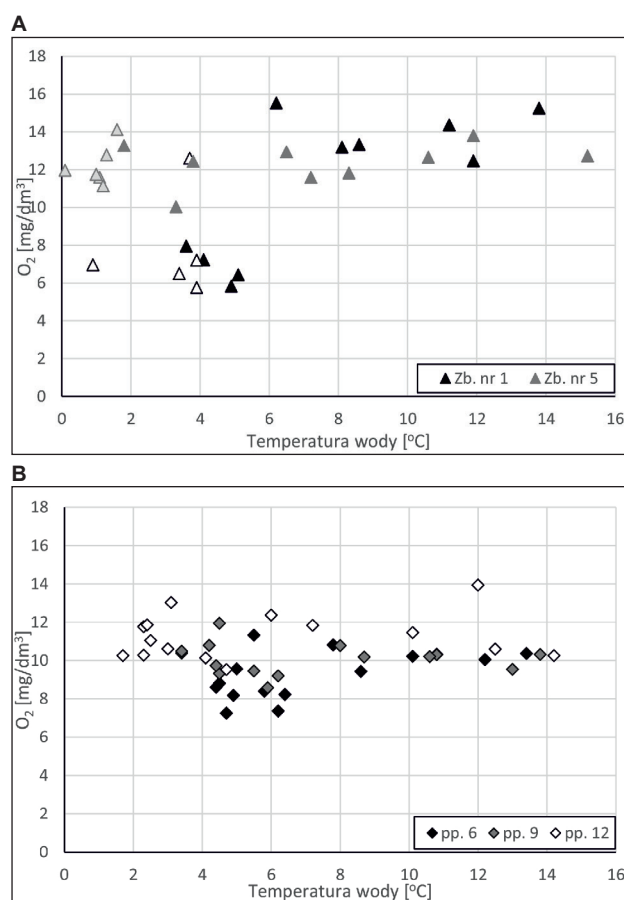


Rys. 9. Zmiany stężenia tlenu rozpuszczonego w wodach źródłanych w odniesieniu do ich temperatury: A – Rudunki I, B – Rudunki II

Fig. 9. Changes in the concentration of dissolved oxygen in spring waters in relation to their temperature: A – Rudunki I, B – Rudunki II

Zestawiono ze sobą stężenia tlenu do temperatury wody w dwóch skrajnych zbiornikach nr 1 i nr 5 – rys. 10a. Stężenia tlenu w chłodniejszych wodach były

wyraźnie niższe w zbiorniku górnym niż w tzw. stawie dolnym. Wiosną, gdy temperatura wody się podniosła, taka różnica już się nie zaznaczyła. Generalnie stężenie tlenu rozpuszczonego w toni wodnej zbiornika nr 5 wydaje się w bardzo ograniczonym stopniu korespondować z jej termiką. Nawet zlodzenie tego zbiornika nie wydaje się oddziaływać na stężenia tlenu, co z kolei można zauważyć w zbiorniku nr 1, kiedy cztery na siedem przypadków najniższych stężeń tlenu wystąpiło przy jego zlodzeniu. Rys. 10b ukazuje, jak Dzierżązna pomiędzy pp. 6 i pp. 9 traci świadectwo oddziaływania zbiornika nr 1. W pp. 12 rzeka reprezentuje warunki panujące w zbiornikach nr 2 i nr 3. Zimą w zbiorniku nr 5 woda rzeczna dodatkowo uległa niewielkiemu schłodzeniu i zasileniu w tlen rozpuszczony.

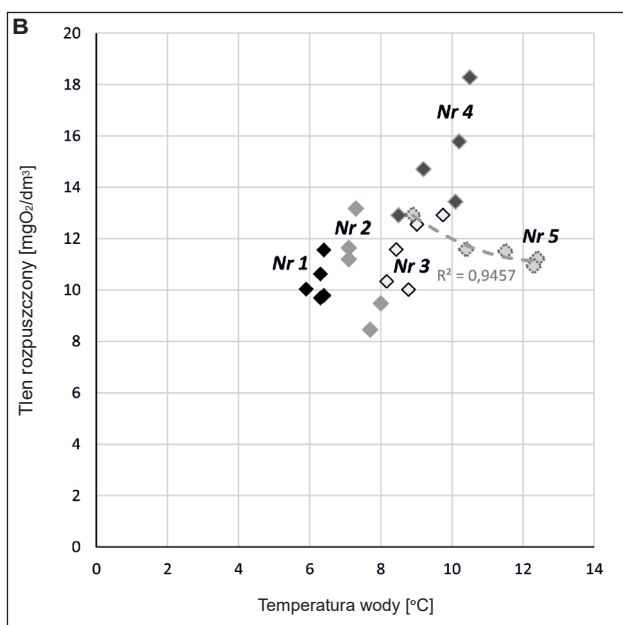
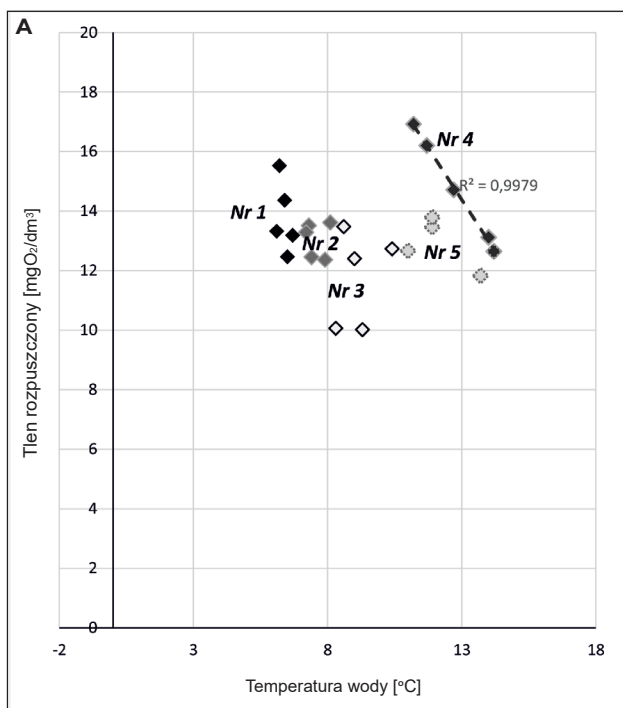


Rys. 10. Zmiany stężenia tlenu rozpuszczonego w wodach Dzierżąznej i zbiorników retencyjnych w relacji do ich temperatury: A – zbiorniki; uwaga: symbole z jaśniejszym wnętrzem oznaczają przypadki przy zlodzeniu zbiornika, B – rzeka

Fig. 10. Changes in dissolved oxygen concentration in the river waters of Dzierżązna and retention reservoirs in relation to their temperature: A – reservoirs; note: symbols with a lighter interior indicate cases of icing of the reservoir, B – river

Pomiary stężenia rozpuszczonego w warstwie podpowierzchniowej wody w zbiorniku i jego części naddennej wykazały, że istnieje poważna różnica w relacji temperatura wody i stężenie rozpuszczonego tlenu pomiędzy tymi dwiema warstwami (rys. 11).

W warstwie podpowierzchniowej temperatura wody nie wpływa na stężenie tlenu rozpuszczonego za wyjątkiem zbiornika nr 4, gdzie ilość tego gazu szybko maleje wraz z wygrzewaniem się toni wodnej (rys. 11a). W warstwie naddennej zbiorników wraz ze wzrostem temperatury wody stężenie tlenu rośnie, w zbiorniku nr 4 osiągając bardzo wysokie wartości (rys. 11b). Wyjątkiem jest zbiornik nr 5, w którym stężenie tlenu nad dnem maleje przy wzroście temperatury wody.



Rys. 11. Temperatura wody i stężenie tlenu rozpuszczonego w przy powierzchniowej (A) i naddennej (B) warstwie wody badanych zbiorników retencyjnych

Fig. 11. Water temperature and dissolved oxygen concentration in the under the surface (A) and above-bottom (B) parts in the tested retention reservoirs

5. Dyskusja

W świetle przeprowadzonych pomiarów zimowych i wiosennych zaznaczają się trzy ważne kwestie:

- wód wypływających spod ziemi w źródłach i odpływających z nisz źródłiskowych,
- wód Dzierżąznej (Maliny), jako kontinuum, poprzez które transportowany jest tlen i jak tę drogę modyfikują zbiorniki retencyjne,
- natlenienie wód samych zbiorników retencyjnych różniących się położeniem w profilu rzeki i wielkością.

Tlen w płytkich wodach podziemnych występuje, gdy są one zasilane szybko przemieszczającymi się poprzez strefę aeracji wodami infiltracyjnymi, nie napotykającymi na swojej drodze substancji redukujących, zwłaszcza węgla organicznego (Macioszczyk, Dobrzyński 2002). Warunki stwierdzone w źródłach wskazują, że w Rudunkach II wypływają wody o bardzo niskiej zawartości tlenu rozpuszczonego. Osady, które deponowane są w miejscach ich wypływu (fot. 1), świadczą o obecności w nich związków Fe^{2+} . Spływająca po powierzchni dna niszy woda natlenia się, jednak nie osiąga poziomu, jaki wykazują pobliskie wody rzeczne w pp. 8 – rys. 8. Źródło Rudunki I reprezentuje inne warunki tlenowe. Tutaj woda w wypływie zawiera tyle samo tlenu, co woda odpływająca z niszy – rys. 9a. W rozległej formie krenologicznej (rys. 2), wypełnionej w części obumarłą materią organiczną, nie ma możliwości utrzymania rozpuszczonego tlenu w penetrujących takie osady wodach podziemnych (Porowska 2004; Mazurek 2010). Wody wypływają w dzień niszy w sposób rozproszony i koncentrują stopniowo odpływ z jego powierzchni. Możliwy jest ich kontakt ze strefą korzeniową makrofitowej roślinności zimozielonej (Kucharski 2007), przez co następuje ich natlenienie. Dno jest przez tą roślinność zacienione, więc rozwój glonów bentosowych jest bardzo utrudniony. Dalsza koncentracja strug wody w niszy nie wywołuje wyraźnego dotlenienia – rys. 8. Taka właśnie woda trafia niemalże bezpośrednio do pierwszego zbiornika retencyjnego, gdzie w porze zimowej, przy silniejszym wychłodzeniu toni wodnej, nieznacznie wzrasta w niej stężenie tlenu rozpuszczonego (rys. 8a). Wiosną, wraz z rozpoczęciem aktywności wegetacyjnej glonów, ilość tlenu rozpuszczonego wzrasta już bardzo wyraźnie (rys. 8b).

Przeciętne parametry tlenowe wód źródłanych w Rudunkach I zimą kształtowały się następująco: stężenie tlenu $6,2 \text{ mg/dm}^3$ przy nasyceniu 51%, natomiast wiosną odpowiednio: $7,3 \text{ mg/dm}^3$ i 58% nasycenia. Na odpływie z tej niszy zimą stężenie tlenu wyniosło przeciętnie $6,5 \text{ mg/dm}^3$ i 54% nasycenia, a wiosną $7,3 \text{ mg/dm}^3$ i nasycenie 58,5%. Są to wielkości blisko sobie odpowiadające – stan natlenienia wód tego źródła konstrytuuje się więc w czasie koncentracji odpływu w rozległym dnie. Podobnie małą dyspersję warunków tlenowych w rozległej niszy źródłiskowej w Ciosnach-Sadach, gdzie woda spływa laminarnie wśród roślinności makrofitowej, stwierdził Ziulkiwicz (2016).

W Rudunkach II w porze zimowej przeciętne stężenie tlenu w wodach wyphywających spod ziemi wyniosło $1,3 \text{ mg/dm}^3$ i nasycenie 11%, wiosną wyraźnie mniej: $0,1 \text{ mg/dm}^3$ i 0,8%. Zimą w wodach odphywających z niższej wody w wodzie było $4,3 \text{ mg/dm}^3$, a nasycenie wyniosło 38%. Wiosną natlenienie było nieznacznie mniejsze: $3,9 \text{ mg/dm}^3$ i nasycenie 36%. Podobnie szybko nasycenie się wód podziemnych tlenem w czasie ich spływu po powierzchni dna niszy źródłkowej, jak w Rudunkach II, obserwowano w źródłach strefy młodoglacjalnej przy ich profilowaniu hydrochemicznym Mazurek (2010).

Obraz natlenienia Dzierżąznej (Maliny) w pierwszym punkcie pomiarowym poniżej zbiornika nr 1 jest inny zimą i inny wiosną. Kolejne punkty pomiarowe na biegu rzeki ukazują, jak wody płynące swobodnie korytem sukcesywnie się natleniają (rys. 8). Przy temperaturach wody w granicach $4\text{--}5^\circ\text{C}$ przebiega to dużo bardziej efektywnie (rys. 8a), niż w temperaturach $8\text{--}12^\circ\text{C}$ (rys. 8b). W odcinku, gdzie woda traci impet ruchu, tj. powyżej zbiornika nr 2, ilość rozpuszczonego tlenu obniża się nieznacznie. Pomiędzy pp. 6 i pp. 9 uzyskano obraz zmian fizykochemicznych, których reprezentantem są temperatura wody i stężenia rozpuszczonego tlenu, w kontinuum rzeczonym. W porze zimowej stopniowemu wychłodzeniu towarzyszy wyraźny wzrost stężenia rozpuszczonego tlenu (rys. 5a i 8a), natomiast wiosną, kiedy wody rzeczne stopniowo się ogrzewają (rys. 5b), stężenia rozpuszczonego tlenu nie spadają, lecz nieznacznie rosną (rys. 8b), co może wskazywać na oddziaływanie procesu biochemicznego natlenienia wody. Przeciętne poziomy stężenia tlenu zimą nie spadały na tym odcinku Dzierżąznej poniżej $8,4 \text{ mg/dm}^3$ i 70% nasycenia, natomiast wiosną, odpowiednio $10,3 \text{ mg/dm}^3$ i 73% nasycenia tlenem. Przesycenie toni wodnej tlenem występowało tylko w porze wiosennej i nie przekroczyło maksimum 107%. Podobny poziom natlenienia stwierdza się w innych ciekach płynących szybko, w korycie o dużym spadku (Kanownik i Kowalik 2008; Ostrowski i Bogdał 2008; Bogdał i in. 2014). Są to wyniki jednocześnie wyraźnie wyższe od uzyskanych w Dzierżąznej na dalszym jej biegu, gdzie spadek koryta i prędkość ruchu wody są niższe (Burchard i in. 2006; Moniewski 2015).

Poniżej pp. 9 Dzierżąznej (Malina) wpływa do dwóch małych zbiorników, nr 2 i nr 3. Pierwszy, mniejszy z nich, ma w strefie brzegowej więcej roślinności zanurzonej. Niewielka korekta stężenia tlenu rozpuszczonego wskazuje, że jego część jest zużywana na mineralizację obumarłej materii organicznej zdeponowanej na dnie. Poziomy stężenia tlenu jest jednak w obu zbiornikach wyraźnie wyższy, niż w zbiorniku nr 1 – rys. 8a. Wiosną dysproporcja pomiędzy tymi zbiornikami jeszcze się pogłębia. Stężenie tlenu w zbiornikach nr 2 i nr 3 wyraźnie wzrosło wraz z ogrzewaniem wody (rys. 5b i 8b), co może wskazywać na aktywizację biochemicznych źródeł dostawy tlenu w cieplejszych wodach, choć nie tak intensywną, jak w zbiorniku nr 1, który wykazał wyższe stężenia tlenu niż zbiorniki nr 2 i nr 3.

Generalnie w zbiornikach nr 1–3 stwierdzono spadek stężenia tlenu w wodach przypowierzchniowych wraz ze wzrostem temperatury wody (rys. 8a), czego nie da się jednoznacznie stwierdzić w przypadku wód naddennych tych zbiorników (rys. 8b).

Przeciętne nasycenie wód mniejszych zbiorników rencyjnych zimą kształtowało się na poziomie: nr 1: 53%, nr 2: 73% i nr 3: 71%. Wiosną te charakterystyki były wyraźnie wyższe, odpowiednio: 123%, 120% i 109%, natomiast w przypadku pomiarów przeprowadzonych nad dnem poszczególnych zbiorników, przeciętne nasycenie wód tlenem wyniosło odpowiednio: 94%, 102% i 109%. Są to wielkości, które nie wskazują na możliwość wystąpienia deficytów tlenowych spowodowanych intensyfikacją procesu mineralizacji dennej materii organicznej wraz ze wzrostem temperatury wody w zbiornikach w porze wiosennej.

Na krótkim odcinku pomiędzy zbiornikami nr 3 i nr 4, płynąc w umocnionym korycie, Dzierżązna zimą szybko pozyskuje tlen. Cienka warstwa zimnej wody i szybki, turbulentny przepływ sprzyjają aeracji. Wiosną ten proces nie jest już zauważalny. Dzierżązna dziedziczy po zbiornikach nr 2 i nr 3 ich temperaturę (wyższą niż w pp. 9) – rys. 5b oraz stężenie tlenu rozpuszczonego (wyższe niż w pp. 9) – rys. 8b, choć jego stężenia w efekcie przepływu korytem nie wzrastają. W zbiorniku nr 4, pozbawionym makrofitowej roślinności zanurzonej, zimą, przy stosunkowo chłodnej wodzie (rys. 5a) oraz częściowym opróżnieniu czaszy zbiornika z wody, następuje intensywne dotlenienie wody. Zarejestrowane stężenia tlenu są najwyższe ze wszystkich badanych obiektów – rys. 8a. W porze wiosennej przyrost stężenia tlenu nie jest już tak wysoki, bo o 2 mg/dm^3 , kiedy temperatura wody wzrosła o 11°C . Pomiar stężenia tlenu w wodzie naddennej i podpowierzchniowej wykazały odmienny przebieg reakcji na wiosenne wygrzewanie się wody (rys. 11). Nad dnem stężenie tlenu bardzo szybko rosło, podczas gdy w strefie przypowierzchniowej szybko malało wraz ze wzrostem temperatury wody. Jest to świadectwo efektywnej produkcji tlenu przez florę bentosową, natomiast przy powierzchni wody tlen jest zużywany i uwalniany do atmosfery przy nasyceniu sięgającym 140%.

Woda Dzierżąznej w największym i zarazem najgłębszym zbiorniku nr 5 wykazuje stężenia tlenu niższe, niż stwierdzono w położonym bezpośrednio powyżej zbiorniku nr 4. Zimą różnica sięga 1 mg/dm^3 (rys. 8a), a wiosną przekracza 2 mg/dm^3 (rys. 8b). Taką dysproporcję w natlenieniu przylegających do siebie akwenów płytszych i głębszych stwierdzili Jaguś i Rzętała (2008). Interesujący jest fakt obniżenia stężeń tlenu w warstwie naddennej zbiornika nr 5 wraz ze wzrostem temperatury wody (rys. 11b). Może to wskazywać na aktywizację biochemicznego rozkładu materii organicznej zdeponowanej na dnie zbiornika. Świadectwo tego, jednak w dużo większym wymiarze, zarejestrowano wiele lat wcześniej, w roku hydrologicznym 2002. Wtedy wody wyphywające z tego zbiornika kwalifikowały się pod względem tlenu rozpuszczonego do wód pozaklasowych (Burchard i in. 2006), a 15.04.2002 r. stwierdzono świadectwa zrzutu wód bez-

tlenowych. W korycie rzeki poniżej zbiornika nr 5 znaleziono wiele martwych ryb i raków. Pomiary wykazały stężenie tlenu $3,2 \text{ mg/dm}^3$ i nasycenie tlenem 34%, czyli powyżej granicy 10% przyjętej dla wód beztlenowych, pomimo iż przez cały pozostały okres badań wielkość ta utrzymywała się powyżej $62\%^2$ (materiały archiwalne Pracowni Ochrony Jakości Wód WNG UŁ).

Przeciętne nasycenie wód zretencjonowanych w obu stawach rekreacyjnych – górnym (zbiornik nr 4) i dolnym (nr 5) kształtowało się zimą na poziomie, odpowiednio: 99% i 86%, a wiosną: 136% i 114%. W warstwie naddennej obu zbiorników przeciętne nasycenie wody tlenem wyniosło: 137% i 103%. Są więc to wartości wyraźnie wyższe od stanu z roku 2002, nie grożące deficytem tlenowym zgubnym dla zwierząt, choć samo przesylenie wody tlenem też nie stanowi dla nich komfortu (Kajak 2001). Taki stan w swoich maksymalnych wielkościach sięga wiosną w badanych zbiornikach: nr 1: 152%, nr 2: 149%, nr 3: 123%, nr 4: 177% i nr 5: 137%. Są to wielkości charakterystyczne dla zbiorników o wysokiej produkcji pierwotnej (Gołdyn 2000; Sobczyńska-Wójcik i in. 2013). Bardzo wysoki poziom nasycenia wody tlenem w warstwie naddennej zbiornika nr 4: 197%, wskazuje na istotny udział również w tym procesie fitoplanktonu bentosowego.

Wody torfowiska niskiego odpowiadały, pod względem zawartości tlenu rozpuszczonego, wodom źródła Rudunki II (rys. 8). Ujście w spągu torfowiska ubogich w tlen wód podziemnych i penetracja przez nie kilkudziesięciocentymetrowej grubości pokładu osadów organicznych, nie sprzyjało natlenieniu wód odpływających z tego obiektu. Natlenienie odbywało się dopiero na niewielką skalę przy powierzchni tafli wody, pod warunkiem, że zimą nie występowało zlodzenie, wtedy stężenie tlenu spadało do $1,0\text{--}1,5 \text{ mg/dm}^3$. Wiosną, przy aktywizacji bujnie porastających torfowisko helofitów i zawieszonych w wodzie biosestonu, stężenia tlenu wzrosły dwu- trzykrotnie. W skali badanych obiektów były to jednak wielkości nadal bardzo wyraźnie odbiegające od wód rzecznych i zretencjonowanych (rys. 8b).

Przeciętne nasycenie tlenem wód badanego torfowiska zimą wyniosło 11%, wiosną 49%. Zimą, zwłaszcza przy zlodzeniu w takim akwenu panują warunki beztlenowe i toksyczne, ze względu na pojawienie się siarkowodoru, który był wyczuwalny po wykonaniu otworu w lodzie.

Spływ wód Dzierżąznej od źródeł poprzez kolejne zbiorniki retencyjne sprawia, że wody pozyskują coraz więcej tlenu rozpuszczonego. Pomiary wykonywane zimą ukazują inny scenariusz tych zmian niż wiosną, zwłaszcza dla wód swobodnie płynących korytem rzeczny między zbiornikiem nr 1 i nr 2. Same zbiorniki retencyjne przyczyniają wodom rzecznyemu tlenu rozpuszczonego w ilości $1,5\text{--}3,5 \text{ mg/dm}^3$. Należy zauważyć, że im większy jest to zbiornik, tym większą bezwładnością w generowanych zmianach się charakteryzuje – tab. 3, czyli jego wody wykazują bardziej stabilne warunki tlenowe pomiędzy porą zimową i wiosenną.

Tabela 3. Zmiana średniego stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie pomiędzy zimą i wiosną

Table 3. Change in the mean concentration of dissolved oxygen in water between winter and spring

Zbiornik	Zmiana
Nr 1	+6,64 mg/dm^3
Nr 2	+3,90 mg/dm^3
Nr 3	+2,28 mg/dm^3
Nr 4	+1,63 mg/dm^3
Nr 5	+0,47 mg/dm^3

Zestawiając ze sobą wyniki pomiarów zimowych z wiosennymi uzyskujemy bardzo podobny obraz wzrostu stężenia tlenu rozpuszczonego pomiędzy pierwszym (pp. 1) i ostatnim punktem pomiarowym (nr 15), tj. o ok. 6 mg/dm^3 . Zimą dominuje proces dyfuzji, czemu sprzyja niska temperatura wody, wiosną natomiast rozpoczyna się wegetacja fitoplanktonu dennego i zawieszonoego.

Przy efektywnym zagrożeniu dopływem zanieczyszczeń z urbanizującej się zlewni – co wykazały badania w roku 2002 (Burchard i in. 2006) i roku 2019 (Ziulkiewicz i in. 2021), należy się spodziewać postępującej eutrofizacji zbiorników retencyjnych i w efekcie tego zmian warunków tlenowych w górnym, źródłiskowym odcinku Dzierżąznej (Maliny). Depozycja na dnie dużej masy obumarłej materii organicznej może prowadzić do pojawienia się sytuacji, której ślady rozpoznano wiosną w roku 2002.

6. Podsumowanie i wnioski

W ramach zrealizowanych prac badawczych udokumentowano proces natleniania się wód Dzierżąznej (Maliny). Pomiary wykonywane zimą ukazują inny obraz tych zmian, niż wiosną. W porze zimowej jest on bardziej spójny dla wód płynących i zretencjonowanych, niż wiosną, kiedy zmiany natlenienia w zbiornikach retencyjnych mają wyraźnie większy zakres, niż w rzece. Pomimo tych rozbieżności przyrost stężenia tlenu rozpuszczonego w Dzierżąznej, pomiędzy pierwszym i ostatnim punktem badawczym jest w obu sezonach bardzo zbliżony i wynosi około 6 mg/dm^3 .

Stwierdzono, że im większy jest zbiornik retencyjny na biegu Dzierżąznej (Maliny), tym większą bezwładnością w generowanych zmianach natlenienia wód rzecznych się charakteryzuje – czyli jego wody wykazują bardziej stabilne warunki tlenowe pomiędzy porą zimową i wiosenną.

Udokumentowane wczesną wiosną wysokie poziomy nasycenia tlenem zretencjonowanych wód Dzierżąznej (Maliny) są charakterystyczne dla zbiorników o wysokiej produkcji pierwotnej. Na uwagę zasługuje silne nasycenie wody tlenem w warstwie naddennej zbiornika nr 4 – kąpieliska, taka okoliczność wskazuje na istotny udział w tym procesie fitoplanktonu bentosowego.

Warunki termiczne oraz charakter ruchu wody w badanych obiektach wskazują, że w porze zimowej zasadniczym procesem dostawy tlenu do wód jest dyfuzja gazu

² Stężenia tlenu wyniosły przy minimum $3,2 \text{ mg/dm}^3$, a dolną granicę obserwacji stanowiło $7,0 \text{ mg/dm}^3$.

z atmosfery. Wiosną, gdy rośnie temperatura wody, co utrudnia efektywną rozpuszczalność tlenu atmosferycznego, na znaczeniu zyskuje fotosynteza roślinności wodnej ze wskazaniem na fitoplankton zawieszony i denny. Z kolei za ubytek tlenu w wodzie, poza oddychaniem zwierząt wodnych, odpowiada utlenianie zredukowanych form żelaza, co stwierdzono w źródle Rudunki II oraz mineralizacja obumarłej materii organicznej zachodząca w zbiornikach retencyjnych i zasadniczo w torfowisku niskim.

Wiosną tylko wody źródlane i torfowe nie mieściły się w normie stężenia rozpuszczonego tlenu dla wód II klasy jakości wód powierzchniowych (9,1 mg/dm³) (Rozporządzenie... 2021), natomiast zimą do grupy tej zaliczono również zbiornik nr 1 i wody Dzierżąnej (Maliny) bezpośrednio poniżej jego obiektu. Tak więc badane wody płynące i zretencjonowane reprezentują zasadniczo dobrą jakość, choć problemem dla zwierząt wodnych są wiosenne stany wysokiego przesylenia toni wodnej tlenem.

7. Bibliografia

- Bartnik, A., Tomaszewski, E., 2000. Charakterystyka sieci rzecznej małej zlewni położonej w strefie krawędziowej Wyżyny Łódzkiej. *Acta Universitatis Lodzianis. Folia Geographica Physica* 5, 49–65, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Bogdał, A., Kanownik, W., Kowalik, T., Ostrowski, K., Rajda, W., 2014. Jakość i walory użytkowe wód odpływających ze zlewni wybranych zbiorników małej retencji planowanych na Pogórzu Ciężkowickim. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków.
- Bojanowska, P., 2006. Gospodarowanie wodą w zlewni Dzierżąnej, [w:] Burchard, J., Ziulkiewicz, M. (red.), Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, Tom IV: Stan jakości wód zlewni Dzierżąnej. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Burchard, J., Mela, S., 1995. Ilościowa i jakościowa charakterystyka wód źródłanych strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich. *Materiały VIII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej: Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych*, Łódź, IX.1995, 14–16.
- Burchard, J., Hereźniak-Radecka, U., Walisch, M., Ziulkiewicz, M., 2006. Hydrochemiczna charakterystyka wód rzecznych zlewni Dzierżąnej, [w:] Burchard, J., Ziulkiewicz, M. (red.), Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, Tom IV: Stan jakości wód zlewni Dzierżąnej. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Gołdyn, R., 2000. Zmiany biologicznych i fizykochemicznych cech jakości wody rzecznej pod wpływem jej piętrzenia we wstępnych, nizinnych zbiornikach zaporowych. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Adama Mickiewicza, Poznań.
- Hereźniak-Ciotowa, U., Ziulkiewicz, M., 1997. Chemizm wód źródłanych Strugi Dobieszkowskiej (Młynówki). *Acta Universitatis Lodzianis. Folia Geographica Physica* 2, 169–177, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Jaguś, A., Rzętała, M., 2008. Znaczenie zbiorników wodnych w kształtowaniu krajobrazu (na przykładzie kaskady jezior Pogorii). Akademia Techniczno-Humanistyczna, Uniwersytet Śląski, Bielsko-Biała–Sosnowiec.
- Jokiel, P., Maksymiuk, Z., 2000. Morfologiczne i geologiczne tło procesu obiegu wody w małej zlewni położonej w północnej części Wyżyny Łódzkiej. *Acta Universitatis Lodzianis. Folia Geographica Physica* 5, 9–28, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Kajak, Z., 2001. Hydrobiologia-limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kanownik, W., Kowalik, T., 2008. Walory użytkowe wody rzeki Wilgi w aspekcie jej magazynowania w małym zbiorniku retencyjnym. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus* 7 (3), 23–31.
- Klatkowa, H., 1996. Elementy glaciektoniczne w budowie geologicznej i rzeźbie podłódzkiej części środkowej Polski, [w:] *Przejawy glaciekttoniki w Polsce Środkowej. Acta Geographica Lodzianis* 72, 7–104, Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź.
- Kucharski, L., 2007. Flora źródeł – skład i gatunki wskaźnikowe, [w:] Jokiel, P. i in. (red.), *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne. Regia Poloniae*, Łódź.
- Macioszczyk, A., Dobrzyński, D., 2002. Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Maksymiuk, Z., 1979. Warunki występowania wód podziemnych i strefy ich kontaktu z wodami powierzchniowymi w regionie łódzkim. *Acta Universitatis Lodzianis. Nauki Matematyczno-Przyrodnicze* 21, 123–129.
- Maksymiuk, Z., Mela, S., 1995. Źródła Polski Środkowej. *Acta Universitatis Lodzianis. Folia Geographica* 20, 109–119, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Mazurek, M., 2010. Hydrogeomorfologia obszarów źródłowych (dorzecze Parsęty, Polska NW). Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Adama Mickiewicza, Poznań.
- Moniewski, P., 2004. Źródła regionu łódzkiego. *Acta Geographica Lodzianis* 87, 1–140. Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź.
- Moniewski, P., 2015. Cechy fizykochemiczne wód powierzchniowych i ich sezonowa zmienność na przykładzie Dzierżąnej. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus* 14 (3), 93–106.
- Ostrowski, K., Bogdał, A., 2008. Ocena jakości i walorów użytkowych wody odpływającej ze zlewni potoku Korzeń w aspekcie jej magazynowania w zbiorniku małej retencji. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus* 7 (3), 3–11.
- Pęczkowska, B., Figiel, Z., 2006. Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, Pierwszy Poziom Wodonośny, ark. Zgierz (590). PIG–PIB, Warszawa.
- Porowska, D., 2004. Zawartość rozpuszczonego tlenu i dwutlenku węgla w wodach podziemnych wybranych środowisk hydrogeochemicznych. *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN*, 24.
- Rozporządzenie z dnia 25 czerwca 2021 roku w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. *Dziennik Ustaw* z dnia 13.08.2021, poz. 1475.
- Sobczyńska-Wójcik, K., Koc, J., Rafałowska, M., 2013. Temperature and oxygen profiles of restored water bodies. *Ecological Chemistry and Engineering A* 20 (10), 1115–1125. [https://doi.org/10.2428/ceca.2013.20\(10\)101](https://doi.org/10.2428/ceca.2013.20(10)101)
- Starmach, J., 2000. Kierunki badań ekosystemów wodnych rzek i zbiorników zaporowych. *Kosmos* 49 (1), 279–286.
- Wojewódzki program małej retencji dla województwa łódzkiego, 2005. Wojewódzki Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Łodzi [materiały niepublikowane].
- Ziulkiewicz, M., 2006. Źródła w rezerwacie „Struga Dobieszkowska”, [w:] Moniewski, P. i in. (red.), *Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Źródła – środowiskowe aspekty badań”, Tom I. Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki*, Łódź, 80–84.
- Ziulkiewicz, M., 2016. Hydrogeochemia źródeł w strefie krawędziowej Wzniesień Łódzkich. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Ziulkiewicz, M., Burchard, J., Hereźniak-Radecka, U., 2006. Hydrochemiczna charakterystyka wód źródłanych zlewni Dzierżąnej, [w:] Burchard, J., Ziulkiewicz, M. (red.), Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, T. IV: Stan jakości wód zlewni Dzierżąnej. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 85–100.
- Ziulkiewicz, M., Grulke, R., Gajda, N., 2021. Identyfikacja dopływu substancji biogennej ze strefy hyporeicznej do koryta ciekłu źródłowego na obszarze podmiejskim, [w:] Czerniawski, R., Bilski, P. (red.), *Funkcjonowanie i ochrona wód płynących*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin, 264–281.

Żelazna-Wieczorek, J., Sochacka, A., Ziułkiewicz, M., 2010. Zróżnicowanie zbiorowisk okrzemek w źródłach rezerwatu Struga Dobieszowska, [w:] Ziułkiewicz, M. (red.), Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, T. VI. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 165–175.

Źródła internetowe

<https://sk.gis.gov.pl/index.php/kapielisko/316> [dostęp: 10.12.2021, ostatnia aktualizacja: 31.08.2021].

https://wody.isok.gov.pl/imap_kzgw/?gmap=gpSIGW