

## Warunki hydrogeochemiczne i podatność na zanieczyszczenie wód podziemnych w zlewni górnej Raduni

Małgorzata Pruszkowska-Caceres<sup>1</sup>, Dawid Potrykus<sup>1</sup>

**Hydrochemical conditions and groundwater vulnerability in the upper Radunia river catchment area.** Prz. Geol., 65: 1350–1355.

*A b s t r a c t.* The paper presents results of long-term studies in the Kashubian Lake district that have been completed with data gathered over the last five years. The purpose of this research was to assess a temporal variability of groundwater chemical composition and to analyze risk of pollutant migration to subsurface water. Investigation indicates local, however, significant anthropogenic influence on a shallow aquifers. The assessment of shallow groundwater vulnerability to pollution has been performed with the use of DRASTIC method. The results revealed that about 60% of the catchment area is moderately high susceptible to pollution and 28% is potentially at high risk. The use of DRASTIC method has helped to explain the causes of a local contaminants in shallow aquifers.

**Keywords:** groundwater quality, groundwater vulnerability, young glacial area

Działalność człowieka wywiera znaczący wpływ na skład chemiczny wód podziemnych, prowadząc do obniżenia ich jakości. Ważnym elementem ochrony zasobów wodnych jest ocena podatności wód na zanieczyszczenie. W pracy przedstawiono tę problematykę na przykładzie typowego obszaru młodoglacjalnego, gdzie lokalnie stwierdzono zanieczyszczenie płytkich wód podziemnych. Badaniem objęto obszar zlewni górnej Raduni, który stanowi wydzieloną jednostkę hydrologiczną odgrywającą ważną rolę w kształtowaniu warunków hydrogeologicznych i hydrogeochemicznych o regionalnym znaczeniu. Występujące tu poziomy i piętra wodonośne są ze sobą powiązane systemem krążenia wód określanym mianem gdańskiego systemu wodonośnego. Przedmiotem badań stanu chemicznego i podatności na zanieczyszczenia były płytko występujące wody podziemne należące do lokalnego systemu krążenia oraz głębsze wody w osadach czwartorzędowych systemu przejściowego.

Celem badań była ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie w powiązaniu z analizą jakości wód przeprowadzoną na typowym obszarze wysoczyznowym.

### CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Zlewnia górnej Raduni obejmuje centralną, najwyżej wyniesioną część Pojezierza Kaszubskiego (ryc. 1). Obszar ten jest bardzo zróżnicowany morfologicznie. Powierzchnię terenu pokrywa pagórkowata wysoczyzna moreny dennej zbudowana z naprzemianległych glin zwałowych i piasków lodowcowych. Na jej powierzchni liczne są bezodpływowe zagłębienia wytopiskowe wypełnione torfami lub zarastającymi oczkami wodnymi. Występują również formy akumulacji szczelinowej, kemy oraz sandry zbudowane z osadów piaszczystych. Ukształtowanie terenu urozmaicają głębokie rynny subglacialne wypełnione wodami zespołu jezior Raduńsko-Ostrzyckich i wykorzystywane przez niewielkie strumienie (Pruszkowska, 2004, Jaworska-Szulc i in., 2016).

W rejonie objętym badaniami występują trzy piętra wodonośne: kredowe, paleogeńsko-neogeńskie i czwartorzędowe, powiązane ze sobą warunkami krążenia wód

i formujące system wodonośny o regionalnym zasięgu. Najpłytszy, lokalny system przepływu tworzą wody w piaszczysto-żwirowych osadach zlodowacenia wisły (Qp<sub>4</sub>) oraz lokalnie w piaskach holocenijskich. Występują tu dwie nieciągłe warstwy wodonośne na głębokości od 3 do 30 m i miąższości 10–40 m (ryc. 2) (Pruszkowska, 2004; Kozerski i in., 2007; Pruszkowska, Malina, 2008).

Międzymorenowe warstwy wodonośne, związane z głębszymi osadami zlodowacenia wisły (Qp<sub>4</sub>) oraz zlodowaceń środkowo- (Qp<sub>3</sub>) i południowopolskich (Qp<sub>2</sub>), a także z utworami neogenu i paleogenu (Trm), są zaliczane do przejściowego systemu krążenia. Warstwy Qp<sub>4</sub> i Qp<sub>3</sub> mają ciągłe rozprzestrzenienie, miąższość do 30 m, a ich strop jest położony na rzędnej 40–80 m n.p.m. Warstwy wodonośne w piaszczysto-żwirowych osadach Qp<sub>2</sub> występują lokalnie w obniżeniach dolin kopalnych. Miąższość osadów wynosi 20 m, a ich strop układa się najczęściej na rzędnej 20–40 m p.p.m. (ryc. 2) (Pruszkowska, 2004; Kozerski i in., 2007; Pruszkowska, Malina, 2008).

Wody występujące w utworach kredy (K<sub>2</sub>) spełniają podstawową rolę w regionalnym systemie przepływu (Kozerski, 1988; Pruszkowska, 2004; Kozerski i in., 2007).

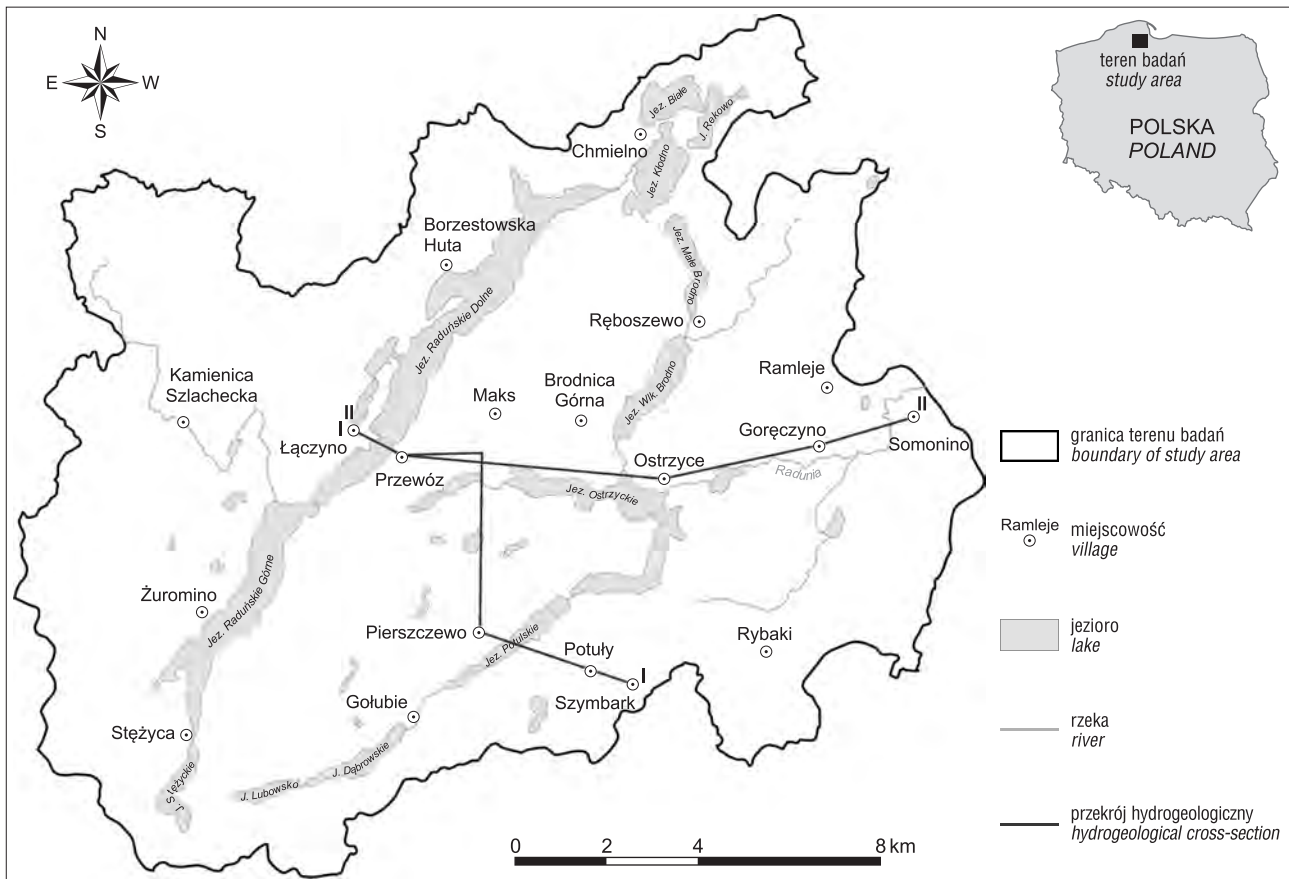
Gospodarka rejonu badań jest związana z rolnictwem, a szczególne walory krajobrazowe sprawiły, że znaczącą rolę odgrywa również turystyka i rekreacja, skupiona głównie wokół zespołu jezior Raduńsko-Ostrzyckich, który jest objęty obszarem chronionym Kaszubskiego Parku Krajobrazowego. Wydzielono ponadto Obszar Chronionego Krajobrazu Doliny Raduni oraz rezerwat przyrodnicze Szczyt Wieżyca i Ostrzycki Las.

Większa część terenu jest zwodociągowana i skanalizowana, ścieki są kierowane do oczyszczalni w Somoninie, Stężycy i Kożyczkowie. W wielu rejonach, głównie działek letniskowych, funkcjonują szamba, a sieć kanalizacyjna jest dopiero rozbudowywana.

### METODYKA BADAŃ

Wyniki prezentowane w artykule są efektem długoletnich prac prowadzonych na Pojezierzu Kaszubskim, które zostały uzupełnione i poszerzone w okresie ostatnich pięciu

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego, Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk; mpru@pg.gda.pl.



**Ryc. 1.** Lokalizacja obszaru zlewni górnej Raduni  
**Fig. 1.** Location of the upper Radunia river catchment area

lat. Celem tych badań była ocena zmienności czasowej składu chemicznego wód podziemnych i analiza ryzyka ich zanieczyszczenia. Rozpoznano charakter zagospodarowania terenu. Określono skład chemiczny wód w zakresie pH, TDS oraz jonów  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Fe}_{\text{og}}$ ,  $\text{Mn}_{\text{og}}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ . W trakcie comiesięcznych badań terenowych mierzono temperaturę wody, TDS, pH i Eh w studniach kopanych i wierconych.

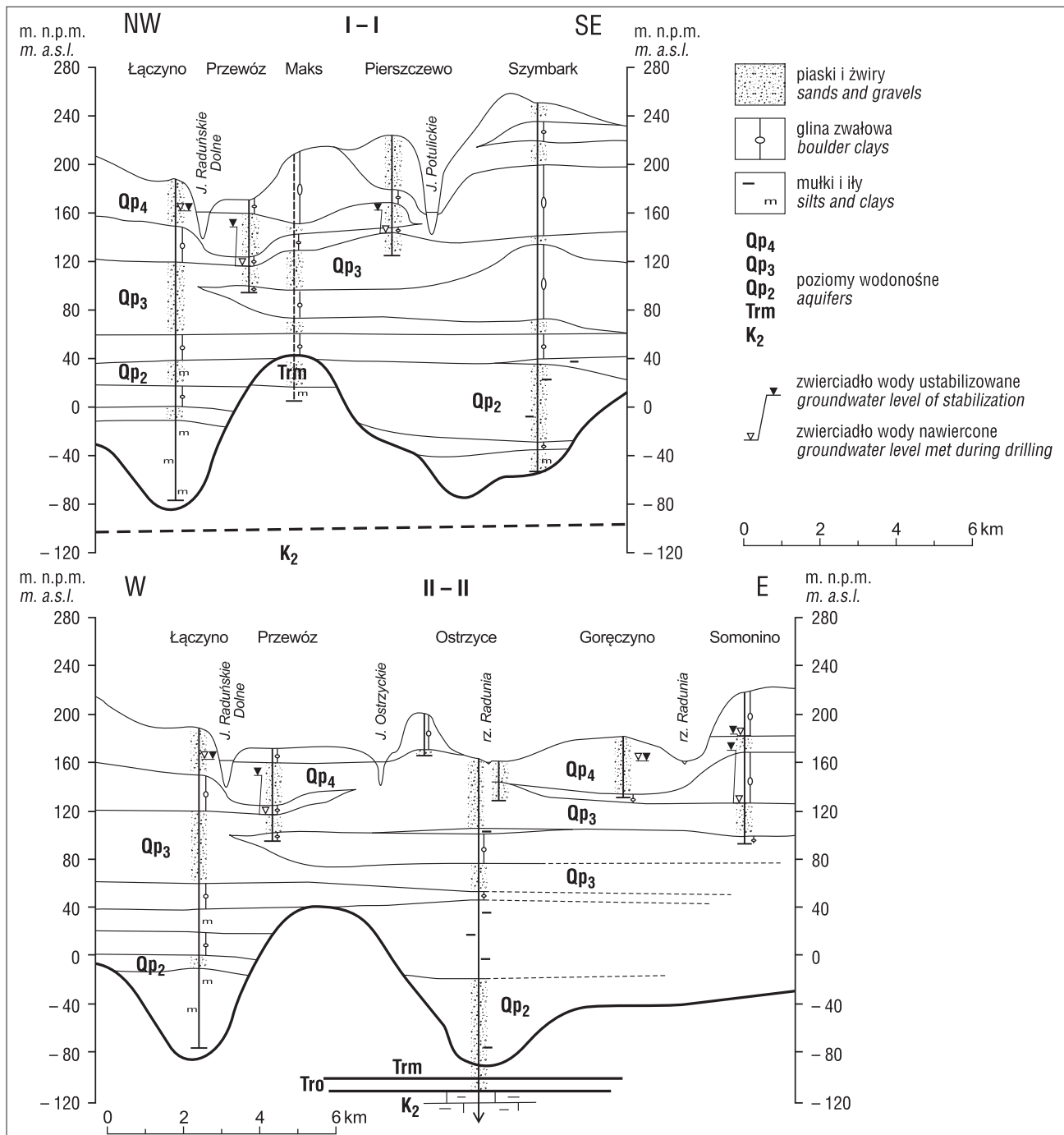
Dokonano również oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie przy wykorzystaniu metody rangowej DRASTIC, która jest zalecana przez amerykańską Agencję Ochrony Środowiska EPA (Aller i in., 1987). W ocenie uwzględniono siedem parametrów o największym wpływie na możliwość zanieczyszczenia wód podziemnych (tab. 1).

Ocena stopnia podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie jest oparta na wykorzystaniu prostego algorytmu obliczeniowego, pozwalającego na wyznaczenie indeksu podatności *IPZ*. Algorytm to suma iloczynów wag i rang poszczególnych kryteriów, których wartość jest uzależniona od roli jaką spełnia dany parametr podczas przenikania potencjalnych zanieczyszczeń. Dokładny opis metody DRASTIC i jej zastosowanie podali w swoich pracach Kajewski (2000) i Krogulec (2006).

Analizę podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie w zlewni górnej Raduni wykonano za pomocą oprogramowania ArcGIS w wersji 10.5. Duża powierzchnia badanego obszaru (246,9 km<sup>2</sup>) wymagała zastosowania zgeneralizowanych danych wejściowych do analizy, które

pozyskano na podstawie: informacji zawartych na mapach w skali 1 : 50 000 (Mapa Hydrogeologiczna Polski, Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski, Mapa Hydrogeologiczna Polski – pierwszy poziom wodonośny występowanie i hydrodynamika) arkuszy Kartuszy, Stężyca i Egiertowo, otworów hydrogeologicznych z banku Hydro, dostępną literaturę oraz wyniki prowadzonych na przestrzeni lat badań terenowych. Informacje związane z ukształtowaniem powierzchni terenu zebrano na podstawie udostępnionego przez CODGiK numerycznego modelu terenu (NMT100), który został uszczegółowiony przy wykorzystaniu funkcji resample (metoda obliczeniowa – nearest neighbor) i zweryfikowany na podstawie map topograficznych w skali 1 : 50 000 i 1 : 10 000. Na analizowanym obszarze, zgodnie z Jaworską-Szulc (2015), przyjęto roczną sumę opadów – 785,3 mm. Zebrane dane poddano digitalizacji (konwersja na postać cyfrową) oraz wektoryzacji.

Na podstawie zgromadzonych informacji sporządzono siedem map cząstkowych dla każdego z parametrów (tab. 1), spośród których wyodrębnione klasy miały odpowiednio przypisaną rangę w zakresie 1–10. Mapy cząstkowe w formie rastrowej zostały połączone w oparciu o przyjętą formułę obliczeniową (*IPZ*), przy wykorzystaniu narzędzia Raster calculator. W wyniku zastosowanej dyskretyzacji badanego obszaru (bez wód powierzchniowych) wygenerowano 89 391 bloków obliczeniowych o wymiarach  $\Delta x = \Delta y = 50$  m. Efektem końcowym była mapa podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie w zlewni górnej Raduni (ryc. 3).



Ryc. 2. Przekroje hydrogeologiczne obszaru zlewni górnej Raduni (lokalizacja na ryc. 1)

Fig. 2. Hydrogeological cross-sections through the upper Radunia river catchment area (location on Fig. 1)

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Na obszarze zlewni górnej Raduni wody podziemne lokalnego systemu krążenia są powszechnie wykorzystywane do picia i na potrzeby gospodarcze. Są to wody  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  o mineralizacji (TDS), wzrastającej lokalnie do  $637 \text{ mg/dm}^3$  (Goręczyno). Jony chlorkowe i siarczanowe występują w niewielkich stężeniach, najczęściej do  $35 \text{ mgCl/dm}^3$  i  $50 \text{ mgSO}_4/\text{dm}^3$ , wzrastających jedynie lokalnie maksymalnie do  $119 \text{ mgCl/dm}^3$  i  $125 \text{ mgSO}_4/\text{dm}^3$  w rejonie Goręczyna i Ostrzyc. Stężenia azotu amonowego oraz azotanów są również lokalnie podwyższone i w Ostrzycach dochodzą do  $0,91 \text{ mgN-NH}_4/\text{dm}^3$  i do  $49,6 \text{ mgNO}_3/\text{dm}^3$  (Jaworska-Szulc i in., 2014, 2016). Występują wysokie,

ponad dopuszczalne stężenia jonów manganu do  $0,27 \text{ mgMn/dm}^3$  i żelaza do  $1,8 \text{ mgFe/dm}^3$  (tab. 2).

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dn. 11.02.2004 r. (Rozporządzenie, 2004) wody podziemne lokalnego systemu krążenia należy zaliczyć do klasy III i IV jakości wód ze względu na ich przeznaczenie. Natomiast wg klasyfikacji zanieczyszczenia antropogenicznego wód podziemnych (Górski, 2001), wody te należą do klasy III – wody zanieczyszczone. Zaznacza się tu zmienność czasowa składu chemicznego wód podziemnych przejawiająca się wzrostem stężeń związków azotu, chlorków, siarczanów i TDS, w porównaniu z wcześniej analizowanymi okresami (tab. 2).

Wody podziemne systemu przejściowego są powszechnie eksploatowane na obszarze zlewni górnej Raduni. Na podstawie analiz z lat 2011–2015 stwierdzono, że mineralizacja wód (TDS) maksymalnie dochodzi do  $314 \text{ mg/dm}^3$ . Są to wody  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  o niewielkich stężeniach chlorków do  $25 \text{ mgCl/dm}^3$  i siarczanów do  $40 \text{ mgSO}_4\text{/dm}^3$  (tab. 2). Związki azotu występują w niskich stężeniach dochodzących do  $0,18 \text{ mgNH}_4\text{/dm}^3$  i  $0,7 \text{ mgNO}_3\text{/dm}^3$ . Wysokie są natomiast zawartości związków żelaza i manganu, które znacznie przekraczają dopuszczalne wartości dla wód przeznaczonych do picia ( $0,2 \text{ mgFe/dm}^3$  oraz  $0,05 \text{ mgMn/dm}^3$ ) (Rozporządzenie, 2015 r.). Najwyższe stężenia tych jonów, dochodzące do  $3,1 \text{ mgFe/dm}^3$  i  $0,49 \text{ mgMn/dm}^3$ , stwierdzono w wodach z ujęć w Rybakach, Szymbarku i Wieżycy, gdzie obniżają jakość wód podziemnych do klasy II (Rozporządzenie, 2004) (tab. 2).

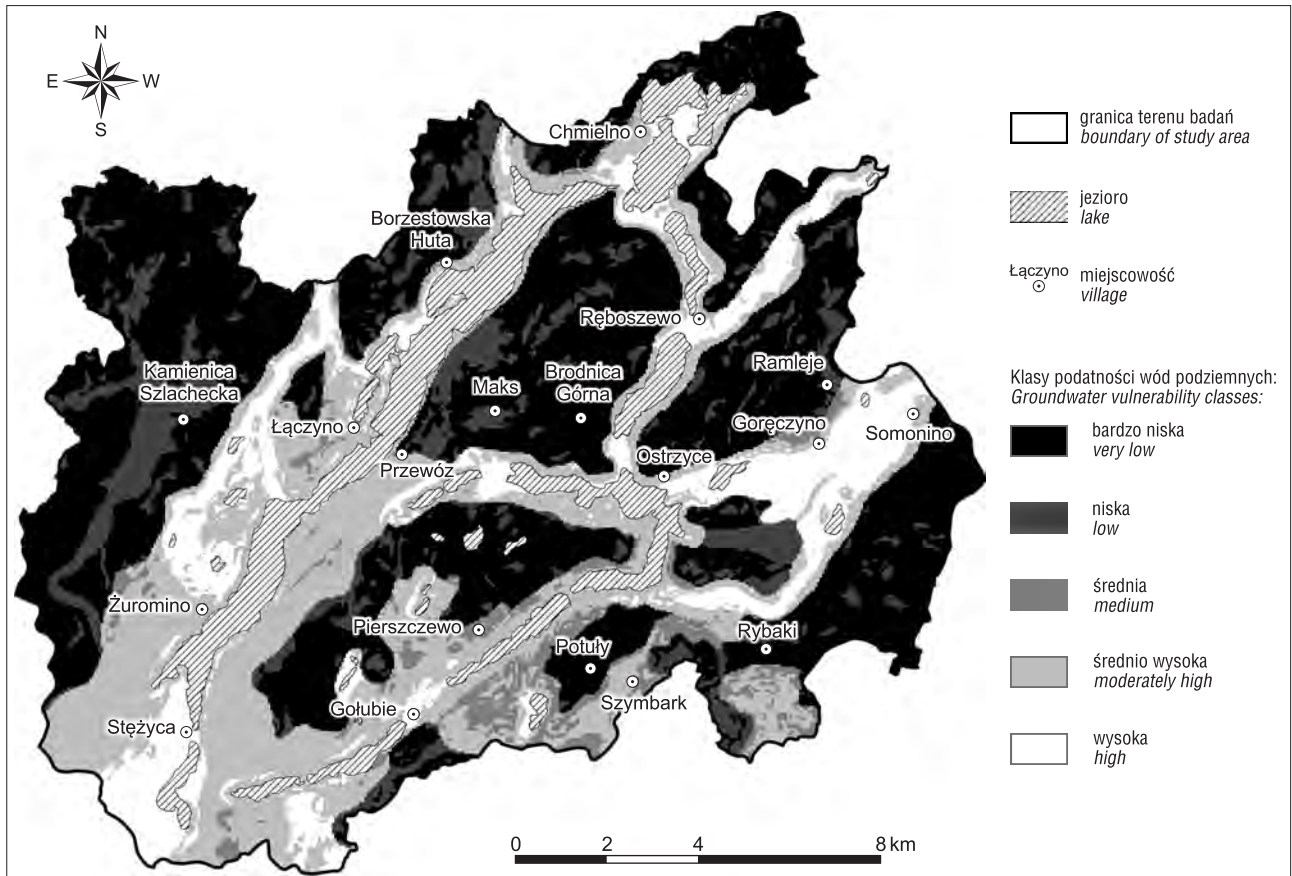
Według klasyfikacji zanieczyszczenia antropogenicznego wód podziemnych są to wody naturalne zaliczane do klasy I (Górski, 2001). Ich skład chemiczny jest stabilny w czasie. W porównaniu z innymi obszarami młodoglacjalnymi (Kachnic, Kachnic, 2006; Dragon, Górski, 2015) wykazują typowe cechy dla wód występujących w głębszych osadach czwartorzędowych.

Przeprowadzona analiza pozwoliła dokonać klasyfikacji badanego terenu względem przyjętych przez Krogulec (2006) klas podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. Na podstawie otrzymanego zakresu wartości wskaźnika *IPZ* w zakresie od 78 do 195 wyodrębniono pięć klas podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia (tab. 3, ryc. 3).

Dominującą jest klasa podatności bardzo niska, która obejmuje 45,2% powierzchni analizowanego obszaru, na 11,1% – niska, a na 4,5% średnia klasa podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. Szczególnie narażone na przenikanie potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu są wody podziemne w klasie średnio wysokiej i wysokiej, które zajmują odpowiednio 26,6 i 12,6% powierzchni zlewni górnej Raduni (ryc. 3). Charakterystyczny rozkład wartości wskaźnika podatności wskazuje na wyraźny podział stref podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. Wysoczyzny polodowcowe cechują się niskimi wartościami indeksu podatności, co pozwala sklasyfikować te obszary jako słabo podatne na zanieczyszczenia. Wynika to przede wszystkim z wystę-

**Tab. 1.** Składniki i współczynniki wagowe metody DRASTIC  
**Table 1.** DRASTIC components and weighting values

Składnik metody DRASTIC <i>DRASTIC component</i>	Wartość wagowa <i>Weighting value</i>
<i>D</i> – głębokość do zwierciadła wody / <i>depth to groundwater</i>	5
<i>R</i> – infiltracja efektywna / <i>recharge net</i>	4
<i>A</i> – litologia warstwy wodonośnej / <i>aquifer media</i>	3
<i>S</i> – rodzaj gleb / <i>soil media</i>	2
<i>T</i> – topografia / <i>topography</i>	1
<i>I</i> – wpływ strefy aeracji / <i>impact of vadose zone</i>	5
<i>C</i> – współczynnik filtracji warstwy wodonośnej / <i>conductivity of the aquifer</i>	3



**Ryc. 3.** Mapa podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie w zlewni górnej Raduni  
**Fig. 3.** Groundwater vulnerability map in the upper Radunia river catchment area

**Tab. 2.** Skład chemiczny wód podziemnych piętra czwartorzędowego w trzech przedziałach czasowych  
**Table 2.** Chemical composition of groundwater from Quaternary deposits in three time periods

Parametr hydrogeochemiczny <i>Hydrogeochem. parameter</i>		Zakres stężeń naturalnych <i>Natural concentr. range (1960-1980)</i> (Pruszkowska, 2004)		Zakres stężeń <i>Concentr. range (1990-2008)</i> (Pruszkowska, 2004)		Zakres stężeń <i>Concentr. range (2011-2015)</i>	
		system przejściowy <i>transitional flow system</i>	system lokalny <i>local flow system</i>	system przejściowy <i>transitional flow system</i>	system lokalny <i>local flow system</i>	system przejściowy <i>transitional flow system</i>	system lokalny <i>local flow system</i>
pH	[-]	6,9–7,8	6,8–7,8	6,6–8,2	6,8–8,2	6,6–7,9	6,7–7,8
TDS	[mg/dm <sup>3</sup> ]	103–328	120–482	92–340	90–625	94–314	90–637
Cl <sup>-</sup>		10–42	0–34	0,2–31,0	0,1–127,0	0,2–25,0	0,1–119,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		0–43	0–37	0,1–48,0	5–118	0,1–40,0	5–125
Ca <sup>2+</sup>		–	–	24,3–142,0	20,8–103,0	24,3–120,0	20,8–107,0
Mg <sup>2+</sup>		5–13	0–9	0,1–28,2	0,1–19,7	0,1–21,9	0,1–19,7
Na <sup>+</sup>		–	–	2,6–9,7	2,1–9,9	3,1–10,0	2,3–9,4
K <sup>+</sup>		–	–	0,5–6,3	0,7–4,1	0,8–6,0	0,9–3,7
Fe <sub>og</sub>		0,1–3,0	0,0–1,1	0,01–3,4	0,01–1,5	0,01–3,1	0,01–1,8
Mn <sup>2+</sup>		0,0–0,3	0,0–0,2	0,001–0,48	0,001–0,2	0,001–0,49	0,001–0,27
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		0,0–0,26	0,0–0,3	0,015–0,2	0,015–1,0	0,015–0,18	0,015–0,91
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0,0–0,7	0,0–1,8	0,001–0,6	0,001–5,35	0,001–0,7	0,001–49,6

**Tab. 3.** Powierzchnia obszarów w poszczególnych klasach podatności

**Table 3.** Areas in particular classes of vulnerability

Klasy podatności <i>Vulnerability classes</i>	Zakres indeksu podatności IPZ <i>Vulnerability index range</i>	Powierzchnia obszaru <i>Area [km<sup>2</sup>]</i>	Udział procentowy <i>Percentage [%]</i>
A – bardzo niska / <i>very low</i>	<100	101,2	45,2
B – niska / <i>low</i>	100–125	24,9	11,1
C – średnia / <i>medium</i>	126–150	10,1	4,5
D – średnio wysoka / <i>moderately high</i>	151–175	59,6	26,6
E – wysoka / <i>high</i>	176–200	28,2	12,6
F – bardzo wysoka / <i>very high</i>	>200	0,0	0,0

powodzenia zwierciadła wód podziemnych na dużych głębokościach, miejscami nawet powyżej 50 m p.p.t., a także dominującego wykształcenia strefy aeracji w postaci utworów gliniastych, które charakteryzują się słabą przepuszczalnością. W takich warunkach potencjalny dopływ zanieczyszczeń z powierzchni terenu do wód podziemnych jest w dużym stopniu utrudniony.

Wzrost naturalnej podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w obszarach wysoczyznowych wynika przede wszystkim z występowania lokalnych przewarstwień piaszczysto-żwirowych w kompleksie gliniastym, bądź też z obecności zwierciadła wód podziemnych na mniejszych głębokościach. Natomiast tereny nizinne charakteryzują się wysokimi wartościami wskaźnika podatności. W rynnach subglacialnych występują dogodnie warunki hydrogeologiczne, wskazujące na ułatwioną migrację zanieczyszczeń z powierzchni terenu, co wynika

przede wszystkim z niewielkiej miąższości strefy aeracji oraz jej wykształcenia w postaci piasków ze żwirami.

## WNIOSKI

Badania wykazały lokalny, lecz wyraźny wpływ czynnika antropogenicznego na płytkie wody podziemne w zlewni górnej Raduni. Zaobserwowane zanieczyszczenia wiążą się z zagospodarowaniem terenu, przede wszystkim występowaniem źródeł zanieczyszczeń o charakterze punktowym oraz nieprawidłową gospodarką wodno-ściekową i rolniczą (miejscami brak kanalizacji, nieszczelne szamba, zrzuty ścieków do wód powierzchniowych, intensywne nawożenie, stosowanie środków ochrony roślin). Czynniki te przejawiają się głównie w wyższych niż naturalne lub obserwowane w okresach wcześniejszych stężeniach związków azotu (przede wszystkim azotanów i jonów amonowych), chlorków i siarczanów, a także podwyższonej wartości TDS, które stwierdzono w rejonie Łączyna, Borzestowskiej Huty, Chmielna, Przewozu, Ręboszewa, Ramlei, Goręczyna, Somonina i Ostrzyc. Powyższe parametry fizykochemiczne są typowymi wskaźnikami zanieczyszczenia antropogenicznego, opisywanymi przez licznych autorów zajmujących się obszarami młodoglacjalnymi. Na zanieczyszczenie płytkich wód podziemnych wskazują m.in. Kachnic (2001), Kachnic i Kachnic (2006), Dragon i Górski (2015).

Opracowana mapa podatności wód podziemnych zlewni górnej Raduni na zanieczyszczenia pozwoliła wyodrębnić miejsca najbardziej zagrożone na ryzyko migracji substancji szkodliwych z powierzchni terenu do poziomu wodonośnego lokalnego systemu krążenia. Na badanym obszarze występują zróżnicowane warunki podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, przy czym ryzyko przenikania zanieczyszczeń jest uwarunkowane przede wszystkim wykształceniem strefy aeracji oraz występowaniem i hydrodynamiką pierwszego poziomu wodonośnego. Weryfikację wykonanej mapy i jej użyteczność w ocenie wrażliwości płytkich wód podziemnych na zanieczyszczenie umożliwiły wykonane badania fizykochemiczne.

Przeprowadzona ocena zagrożenia wód podziemnych może stanowić istotny element wspomagający podejmowanie decyzji w zakresie planowania lokalizacji sieci monitoringowej, bądź też na etapie projektowania inwestycji zagrażających środowisku na obszarze zlewni górnej Raduni.

Autorzy składają serdeczne podziękowania Recenzentom za cenne uwagi i sugestie. Praca została wykonana z funduszy projektu badawczego NCN nr N N307 404538 oraz środków Katedry GGiBM PG.

## LITERATURA

- ALLER L., BENNETT T., LEHR J.H., PETTY R.J., HACKETT G. 1987 – DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Ada, Oklahoma.
- DRAGON K., GÓRSKI J. 2015 – Identification of groundwater chemistry origins in a regional aquifer system (Wielkopolska region, Poland). *Environ. Earth Sci.*, 73: 2153–2167.
- GÓRSKI J. 2001 – Propozycja oceny antropogenicznego zanieczyszczenia wód podziemnych na podstawie wybranych wskaźników hydrochemicznych. [W:] *Współczesne problemy hydrogeologii*. Wyd. UWroc., 10 (1): 309–313.
- JAWORSKA-SZULC B., PRUSZKOWSKA-CACERES M., PRZEWŁÓCKA M. 2014 – Analiza kontaktu wód podziemnych i powierzchniowych na podstawie badań ich jakości na młodoglacjalnym obszarze Pojezierza Kaszubskiego. *Prz. Geol.*, 62 (4): 204–213.
- JAWORSKA-SZULC B., PRUSZKOWSKA-CACERES M., PRZEWŁÓCKA M. 2016 – Występowanie i skład chemiczny płytkich wód podziemnych w centralnej części Pojezierza Kaszubskiego. *Inż. Mor.*, 1: 3–7.
- KACHNIC J. 2001 – Zanieczyszczenia wód podziemnych w wybranym obszarze Borów Tucholskich. *Prz. Geol.*, 49 (2): 148–152.
- KACHNIC J., KACHNIC M. 2006 – Hydrodynamic and hydrochemical conditions in the Wda and Mątawa River catchments (NW Poland). *Geol. Quart.*, 50 (4): 447–456.
- KAJEWSKI I. 2000 – Metoda oceny zagrożenia jakości wód podziemnych przy pomocy systemu DRASTIC. *Zesz. Nauk. Akad. Rol. Wroc.*, 385.
- JAWORSKA-SZULC B. 2015 – Ocena zasilania wód podziemnych na Pojezierzu Kaszubskim z zastosowaniem różnych metod i różnej skali opracowania. *Prz. Geol.*, 63 (10/1): 762–768.
- KOZERSKI B. 1988 – Warunki występowania i eksploatacja wód podziemnych w gdańskim systemie wodonośnym. [W:] *Aktualne Problemy Hydrogeologii, IV Ogólnopolskie Sympozjum*, Gdańsk, 1: 1–20.
- KOZERSKI B., JAWORSKA-SZULC B., PIEKAREK-JANKOWSKA H., PRUSZKOWSKA M., PRZEWŁÓCKA M. 2007 – Gdański system wodonośny. Wyd. PGdań., Gdańsk, s. 111.
- KROGULEC E. 2004 – Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w dolinie rzecznej na podstawie przesłanek hydrodynamicznych. Wyd. UW, Warszawa.
- KROGULEC E. 2006 – Podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia – rozdział 18.4. [W:] *Macioszczyk A. (red.), Podstawy Hydrogeologii stosowanej*. Wyd. Nauk. PWN.
- PRUSZKOWSKA M. 2004 – Hydrogeochemia wód podziemnych z utworów czwartorzędu Pojezierza Kaszubskiego. *Monogr. PGdań.*, nr 51.
- PRUSZKOWSKA M., MALINA G. 2008 – Hydrogeochemistry and vulnerability of groundwater in the moraine upland aquifers of the Gdansk region (Northern Poland). *Geol. Quart.*, 52 (3): 291–300.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód. *Dz.U. z 2004 r. Nr 32 poz. 284*.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Dz.U. z 2015 r. poz. 1989*.