

## PODATNOŚĆ WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIE W OBSZARZE GÓRNEJ ODRY (JCWPd NR 128) WRAZ Z OCENĄ ZAWARTOŚCI AZOTANÓW W WODACH PIERWSZEGO POZIOMU WODONOŚNEGO

### THE GROUNDWATER NATURAL VULNERABILITY TO CONTAMINATION IN THE UPPER Odra REGION (GWB 128) INCLUDING THE EVALUATION OF NITRATE CONTENT IN THE FIRST AQUIFER

MARTYNA GUZIK<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Obszar badań leży w regionie Górnej Odry, w strefie granicznej z Republiką Czeską. Celem prowadzonych badań była ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w obrębie JCWPd nr 128. Powierzchnia badanego obszaru wynosi 833,39 km<sup>2</sup>. Na bazie materiałów archiwalnych oraz danych pozyskanych podczas kartowania sozologicznego i hydrogeologicznego opracowano warstwy tematyczne zintegrowane w środowisku GIS. Kompilacja poszczególnych parametrów umożliwiła obliczenie dla wyznaczonych obszarów sumarycznego czasu wymiany połowej pojemności wodnej gleb i utworów strefy aeracji (MRT). Na tej podstawie określono stopień podatności wód pierwszego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenie. Na badanym obszarze wyznaczono 5 klas podatności, różniących się czasem dopływu zanieczyszczeń z powierzchni terenu do wód pierwszego poziomu wodonośnego. W celu oceny zanieczyszczenia wód podziemnych azotanami wykonano badania polowe oraz pobrano próbki wód do badań laboratoryjnych. Relacje zachodzące pomiędzy podatnością naturalną a zanieczyszczeniem wód azotanami przedstawiono na mapie zawartości azotanów w wodach pierwszego poziomu wodonośnego.

**Słowa kluczowe:** jakość wód, azotany, podatność, MRT.

**Abstract.** The research area is located in the Upper Odra region, on the border-line of Poland and Czech Republic. The aim of the study was the evaluation of natural groundwater vulnerability to contamination within GWB 128. The study area is 833,39 km<sup>2</sup>. The evaluation of groundwater contamination vulnerability within the research area was performed with the use of MRT parametric method, based on filtration and infiltration time. On the basis of archival materials and data obtained during sozological and hydrogeological mapping the integrated thematic layers in GIS environment were developed. The compilation of individual parameters allowed the calculation of the total time of field water capacity of soils and vadose zone formations (MRT) for designated areas. On the basis of MRT values the degree of contamination vulnerability of the first aquifer was defined. In the area of research five vulnerability classes were defined, conditioned by travel time of contaminants from the surface to first aquifer. In order to evaluate nitrate contamination of groundwater the field work was performed and water samples were collected for laboratory analyses. The relations between natural vulnerability and nitrate groundwater contamination was presented on the map of nitrate content of the first aquifer.

**Key words:** water quality, nitrates, vulnerability, mean residence time.

---

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Górnośląski, 41-200 Sosnowiec, ul. Królowej Jadwigi 1;  
e-mail: martyna.guzik@pgi.gov.pl

## WSTĘP

Podatność naturalna, rozumiana jako właściwość systemu wodonośnego, określa ryzyko migracji zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego z powierzchni terenu do wód podziemnych. Jest ona związana z parametrami hydrogeologicznymi ośrodka wodonośnego, warunkami jego zasilania oraz warunkami przepływu wód. Zmienność warunków zasilania oraz przepływu wpływa na złożoności procesu oceny podatności oraz decyduje o wyborze metody oceny podatności. Podstawą oceny podatności płytkich wód podziemnych

w badanym terenie był całkowity czas wymiany połowej pojemności wodnej gleb i skał strefy aeracji przez infiltrującą wodę opadową (MRT), który określa jednocześnie czas migracji zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni terenu do pierwszej warstwy wodonośnej. Zastosowanie metody opartej na ocenie czasu przesączania i przesiąkania było pomocne przy ocenie zagrożenia wód podziemnych azotanami, którą to ocenę przeprowadzono na podstawie wyników badań polowych i laboratoryjnych próbek wody.

## CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Według podziału Polski na jednostki fizycznogeograficzne Kondrackiego (2001), znaczna część obszaru JCWPd nr 128 należy do Płaskowyżu Głubczyckiego, który wchodzi w skład makroregionu Nizina Śląska. Niewielki fragment w zachodniej części obszaru badań stanowią Góry Opawskie wchodzące w skład makroregionu Sudety Wschodnie. Południowo-zachodnia część omawianego obszaru przylega do granicznej rzeki Opawy. Od wschodu mezoregion Płaskowyżu Głubczyckiego graniczy z Kotliną Raciborską a od południa z doliną Opawy i Kotliną Ostrawską. Według „Atlasu hydrogeologicznego Polski”, badany obszar leży w obrębie subregionów: wschodniosudeckiego – XVI<sub>4</sub> oraz rybnicko-oświęcimskiego – XIII<sub>2</sub> (Paczyński, 1995).

Użytkowe piętra i poziomy wodonośny występują w utworach czwartorzędu, neogenu, kredy oraz karbonu. Najbardziej wodonośne są piętra czwartorzędowe i neogeńskie. Utworami wodonośnymi są piaski różnoziarniste, żwiry wodnolodowcowe oraz pospółki leżące na nierównym podłożu neogeńskim pod przykryciem glin zwałowych. Na powierzchni, utwory te występują w dolinach rzek i potoków.

Strefami drenażu są rzeki: Opawa w zachodniej części oraz Osobłoga, Stradunia, Troja, Psina i Odra we wschodniej części rejonu badań. Wody poziomu czwartorzędowego mają najczęściej charakter napięty. Neogeński poziom wodonośny występuje we wschodniej części obszaru badań i jest związany z wodonośnymi utworami miocenu lądowego (sarmatu). Zasilanie poziomu wodonośnego sarmatu odbywa się przez bezpośrednią lub pośrednią infiltrację opadów atmosferycznych i wód powierzchniowych, a także z wód głębokiego czwartorzędowego poziomu wodonośnego rynn erozyjnej Raciborza. Drenaż piętra neogeńskiego zachodzi w strefie doliny Odry (Bielec, Operacz, 2002). W południowej części omawianego obszaru poziom neogeński tworzą utwory miocenu, trudne do rozpoznania na skutek dużej zmienności facjalnej. Występujące w obrębie Sudetów Wschodnich poziomy wodonośny w utworach karbonu dolnego oraz kredy są słabo wodonośne, ale ze względu na brak innego źródła zaopatrzenia w wodę są traktowane jako poziomy użytkowe.

## METODY I ZAKRES BADAŃ TERENOWYCH

W ramach prac prowadzonych nad opracowaniem mapy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia wykonano: kartowanie sozologiczne, kartowanie hydrogeologiczne (pomiar głębokości studzien, pomiar głębokości zwierciadła wód oraz pomiar współrzędnych punktów przy użyciu GPS) oraz polowe badania chemizmu wód, w których ramach po-

brano próbki wód podziemnych do badań laboratoryjnych. Zakres badań laboratoryjnych dotyczył pomiarów PEW, pH, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub> i Cl. Ponadto wykonano analizy polowe fotometrem SLANDI w zakresie: pH, PEW, temperatury, zawartość jonów NO<sub>2</sub> i NO<sub>3</sub>. Badania terenowe przeprowadzono latem 2009 r. oraz drugi raz wiosną 2010 r.

## METODYKA REALIZACJI MAPY PODATNOŚCI

Pojęcie wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie (Dowgiało i in., 2002) zdefiniowano jako umowne określenie potencjalnego stopnia zagrożenia zbiornika wód podziemnych wynikające z budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych i istnienia rzeczywistego lub potencjal-

nego ogniska zanieczyszczeń. Ocena wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie jest dokonywana w związku z koniecznością oceny stanu jakościowego wód podziemnych. Mapa podatności w obszarze JCWPd 128, została opracowana przy wykorzystaniu metod zastosowanych przy

realizacji *Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 (Mapa Hydrogeologiczna Polski, Pierwszy Poziom Wodonośny, Wrażliwość – Jakość)*, zawartej we „Wskazaniach metodycznych...” (Herbich i in., 2008). Oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie dokonano za pomocą metody parametrycznej MRT, opartej na ocenie czasu przesączania i przesiąkania. Ogólny wzór na określenie MRT jest sumą czasów polowej pojemności wodnej w poszczególnych skałach występujących w profilu warstwy wodonośnej i przyjmuje postać:

$$MRT = MRT_S + MRT_1 + MRT_2$$

gdzie:  $MRT_S$  – czas wymiany polowej pojemności wodnej profilu glebowego, [lata];

$MRT_1$  – czas wymiany polowej pojemności wodnej skał przepuszczalnych strefy aeracji, [lata];

$MRT_2$  – czas wymiany polowej pojemności wodnej skał słabo przepuszczalnych i izolujących w profilu strefy aeracji, [lata];

R – infiltracja efektywna [mm/rok] oceniona w skali 1:500 000 przez PIG (Herbich i in., 2004);

$m_A$  – miąższość strefy aeracji pierwszej od powierzchni warstwy wodonośnej, [m], odpowiada głębokości do pierwszego poziomu wodonośnego;

$Sp$  – procentowy udział skał słabo przepuszczalnych i izolujących w profilu strefy aeracji.

Do obliczeń, wartości polowej pojemności wodnej przyjęto parametry wg Witczaka i in. (2005). Definicję polowej pojemności wodnej profilu glebowego przyjęto za Rozporządzeniem ministra środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. (DzU Nr 241, poz. 2093). W celu określenia pozostałych parametrów niezbędnych do obliczenia podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia przeanalizowano dostępne materiały mapowe, literaturę oraz atlasy tematyczne i dane z Banku danych hydrogeologicznych. Materiałem podstawowym były *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski* i *Mapa Hydrogeologiczna Polski* w skali 1:50 000. Badany obszar obejmuje następujące arkusze w całości lub we fragmentach: Prudnik, Głubczyce, Polska Cerekiew, Pietrowice Wielkie, Baborów, Racibórz, Baborów, Owsiszcze oraz Gorzyce. Pozyskane dane zostały zweryfikowane w terenie w ramach kartowania hydrogeologicznego i sozologicznego.

## OCENA PODATNOŚCI WÓD PODZIEMNYCH W OBSZARZE JCWPd NR 128

Podatność wód podziemnych na zanieczyszczenie na obszarze badań, została oceniona w obrębie pierwszego poziomu wodonośnego, który stanowi pierwsza od powierzchni terenu warstwa wodonośna lub zespół warstw wodonośnych wykazujących wzajemną łączność hydrauliczną (Herbich i in., 2004). Na obszarze badań pierwszy poziom wodonośny występuje najczęściej na obszarach dolinnych, wysoczyznach oraz wyniesieniach starszego podłoża. Wymienione typy jednostek, które wydzielono na *Mapie Hydrogeologicznej Polski, Pierwszy Poziom Wodonośny, Występowanie i Hydrodynamika* w skali 1:50 000, różnią się zasadniczo wykształceniem litologicznym i morfologią.

Na bazie zweryfikowanych materiałów archiwalnych i danych pozyskanych podczas prac terenowych opracowano warstwy tematyczne zintegrowane w środowisku GIS. Są to: mapa głębokości do zwierciadła pierwszego poziomu wodonośnego, mapa miąższości strefy aeracji, mapa współczynnika polowej pojemności wodnej profilu glebowego, mapa pojemności wodnej utworów izolujących, mapa pojemności wodnej utworów przepuszczalnych, mapa udziału warstw izolujących oraz mapa względnego współczynnika infiltracji efektywnej opadów. W wyniku kompilacji tych map opracowano syntetyczną mapę podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w obszarze JCWPd 128. Zadaniem mapy podatności jest wskazanie na ochronną rolę profilu glebowego oraz nadkładu warstw wodonośnych, a także pokazanie opóźnienia związanego z migracją zanieczyszczeń z powierzchni do warstwy wodonośnej. Ponadto mapa pokazuje opóźnienie wynikające z lateralnej migracji zanieczyszczeń w obrę-

bie warstwy wodonośnej do stref drenażu i do wód powierzchniowych (Witczak i in., 2005).

W badanym obszarze JCWPd nr 128 wyznaczono 5 klas podatności, różniących się czasem dopływu zanieczyszczeń z powierzchni terenu do wód pierwszego poziomu wodonośnego. Są to obszary o podatności: bardzo wysokiej (czas dopływu zanieczyszczeń z powierzchni terenu do pierwszego poziomu wodonośnego wynosi <5 lat), wysokiej (5–25 lat), średniej (25–50 lat), niskiej (50–100 lat) oraz bardzo niskiej (powyżej 100 lat). Jednym z najistotniejszych czynników decydujących o podatności na zanieczyszczenie jest głębokość do pierwszego poziomu wodonośnego oraz ściśle związana z tym parametrem miąższość strefy aeracji. Mniejsza głębokość występowania poziomu wodonośnego implikuje większe ryzyko migracji zanieczyszczeń w głąb warstwy wodonośnej. Istotny wpływ na stopień podatności ma również udział warstw izolujących w profilu glebowym strefy aeracji. Przestrzenny rozkład stopnia podatności koreluje się z wydzielonymi typami jednostek hydrogeologicznych pierwszego poziomu wodonośnego. Na obszarach dolinnych rzek: Odry, Troi, Psiny, Opawy, Osobłogi, Straduni i innych mniejszych cieków powierzchniowych, w których wydzielono czwartorzędowy poziom wodonośnym, występuje bardzo wysoka podatność na zanieczyszczenie, a tylko lokalnie – wysoka i średnia. Na wysoczyznach dominuje średni i wysoki stopień podatności. W części północno-wschodniej omawianego obszaru przeważają tereny o podatności niskiej i średniej oraz lokalnie bardzo niskiej (Guzik i in., 2012). Mapę podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia przedstawia [figura 1](#).

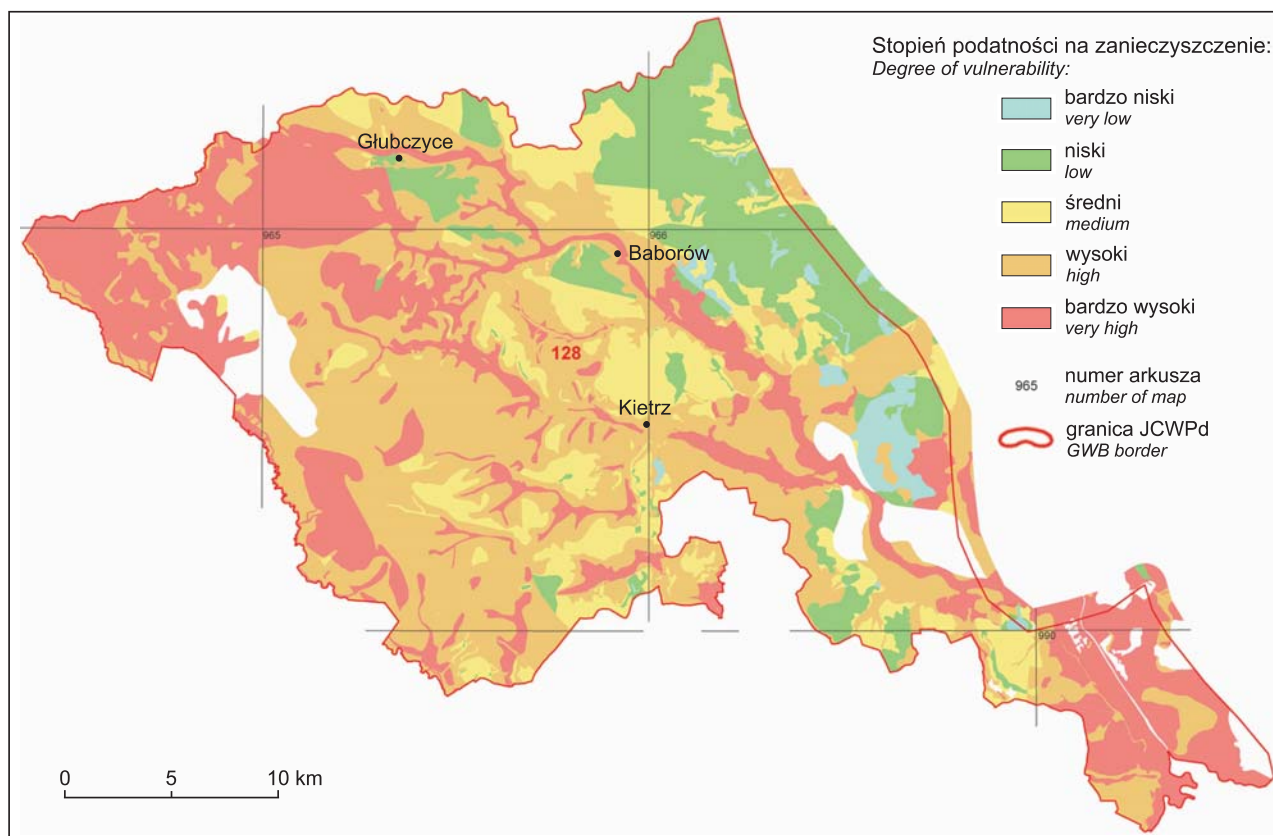


Fig. 1. Mapa podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w obszarze JCWPd 128

The map of groundwater natural vulnerability to contamination within GWB 128

## OCENA JAKOŚCI WÓD PODZIEMNYCH

Na podstawie wyników badań polowych oraz laboratoryjnych oznaczono wybrane wskaźniki fizykochemiczne wód. Wyniki statystyczne wybranych parametrów z lat 2009 i 2010 zestawiono w tabeli 1.

Badania polowe wykonane w latach 2009–2010, również wykazały znaczne przekroczenia azotanów w stosunku do obowiązującej zawartości 50 mg/l. Maksymalne stężenia tego jonu sięgały 137,9 mg/l. Przyczyną podwyższonej zawartości stężeń azotanów w wodach jest wysoka podatność wód na zanieczyszczenia oraz rolniczy sposób zagospodarowanie terenu. Mapę stężeń azotanów dla obszaru badań, sporządzoną na podstawie wyników badań polowych, przedstawiono na figurze 2.

Mapę stężeń azotanów sporządzono na podstawie oceny punktowej. Wcześniejsze badania prowadzone w zakresie stężeń azotanów w wodach podziemnych, w tym także badania prowadzone przez autorkę (Guzik, 2007), nakazują ostrożność przy interpretacji wyników oraz unikanie interpolacji wartości stężeń  $\text{NO}_3$  na pozostały obszar badań. Przyrównanie mapy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia oraz mapy zawartości stężeń azotanów na obszarze badań wskazuje na bardzo ścisły związek podatności z zawartością azotanów w badanych wodach (Guzik i in., 2012).

Tabela 1

### Zestawienie podstawowych wielkości statystycznych wybranych składników chemicznych w obszarze badań – wyniki badań laboratoryjnych

Basic statistic parametres of selected chemical components in the study area the results of laboratory analyses

	Rok	PEW [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	$\text{NO}_2$ [mg/l]	$\text{NO}_3$ [mg/l]	$\text{SO}_4$ [mg/l]	Cl [mg/l]
Liczebność	2009	22	15	21	20	21
	2010	19	16	16	16	17
Minimum	2009	472	0,01	0,17	21,80	7,40
	2010	618	0,01	3,10	33,80	13,10
Maksimum	2009	2250	0,39	129,00	198,0	218,00
	2010	3633	1,23	129,00	283,00	247,00
Średnia arytmetyczna	2009	1041	0,08	44,30	92,40	67,00
	2010	1245	0,11	59,73	109,50	68,40
Mediana	2009	914	0,04	31,70	79,30	49,60
	2010	995	0,01	55,15	96,00	53,20

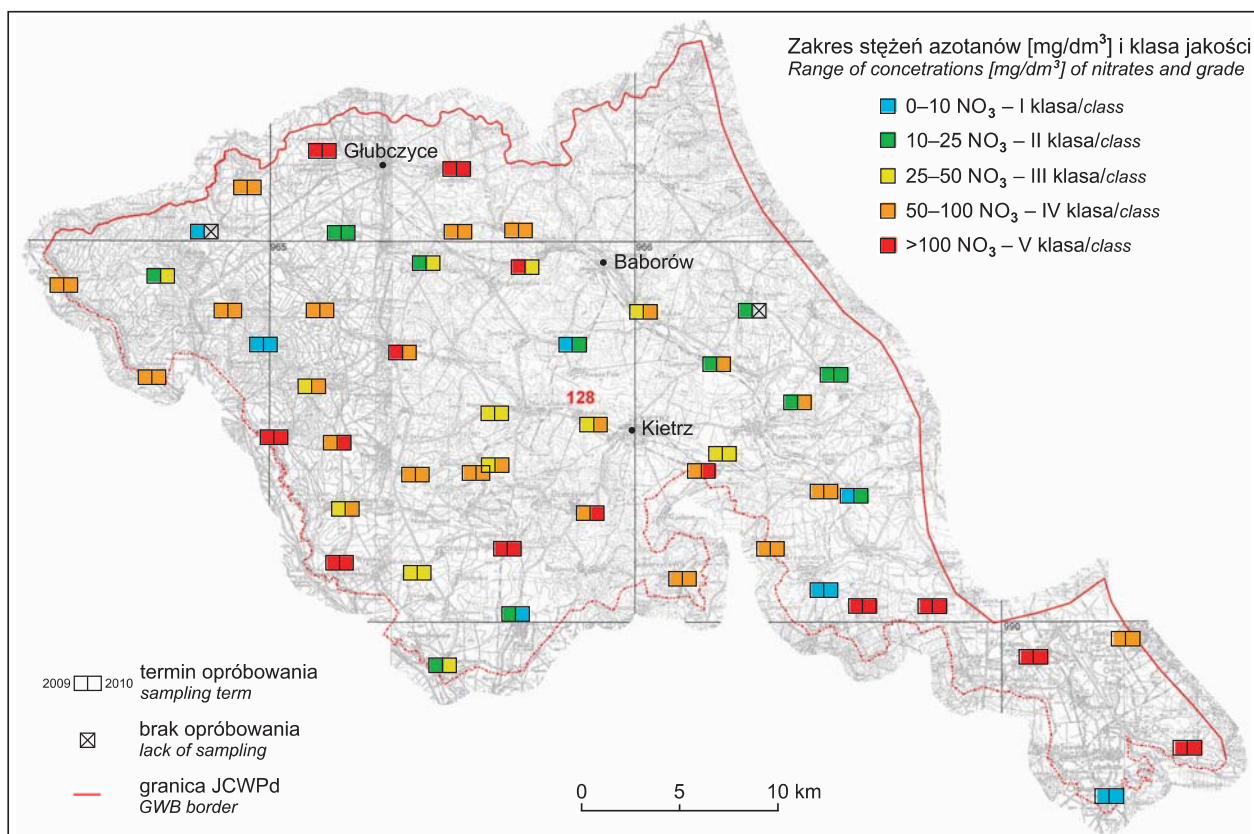


Fig. 2. Mapa stężeń azotanów w obszarze badań

The map of nitrate concentration within the study area

## PODSUMOWANIE

Oszacowanie stopnia wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenia zwłaszcza związkami azotu pochodzenia rolniczego stanowi podstawowe zadanie wynikające z implementacji Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW, 2000), Dyrektywy Azotanowej 91/676/EWG, zapisów Prawa Wodnego, Prawa Ochrony Środowiska i in. Na terenie badań pierwszy poziom wodonośny występuje najczęściej w dolinach rzecznych, wysoczyznach, wyniesieniach starszego podłoża oraz w obszarach o zróżnicowanych warunkach hydrogeologicznych. Stopień podatności w poszczególnych obszarach występowania pierwszego poziomu wodonośnego jest uzależniony od naturalnych czynników i stopnia ich zróżnicowania. Można jednak stwierdzić, że jednym z najistot-

niejszych czynników decydującym o wielkości podatności pierwszego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenie jest głębokość jego położenia pierwszego poziomu wodonośnego oraz nieodłącznie związana z nim miąższość strefy aeracji. Istotny wpływ na stopień podatności ma również udział warstw izolujących w profilu strefy aeracji.

Bardzo wysoka podatność na zanieczyszczenie występuje w dolinach rzek: Odry, Troi, Psiny, Opawy i innych mniejszych cieków. Na wysoczyznach dominuje średni i wysoki stopień podatności. W części północno-wschodniej terenu badań przeważają obszary o podatności niskiej i średniej oraz lokalnie bardzo niskiej. Stężenia azotanów w wodach pierwszego poziomu sięgały maksymalnie 137,9 mg/l.

## LITERATURA

- BIELEC B., OPERACZ T., 2002 — Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Racibórz wraz z Objasnieniami. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- DOWGIAŁŁO J. i in. (red.), 2002 — Słownik hydrogeologiczny. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GUZIK M., 2007 — Geneza i stan zanieczyszczenia wód podziemnych azotanami w zlewni górnej Liswarty. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- GUZIK M. i in., 2012 — Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie w obrębie JCWPd nr 128 w regionie Górnej Odry. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.

- HERBICH i in., 2004 — Instrukcja udostępniania, aktualizacji, weryfikacji i rozwoju Mapy Hydrogeologicznej Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- HERBICH P. i in., 2008 — Wskazania metodyczne do opracowania warstw informacyjnych bazy danych GIS Mapy Hydrogeologicznej Polski 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KONDRACKI J., 2001 — Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- PACZYŃSKI B. (red.), 1995 — Atlas hydrogeologiczny Polski, 1:500 000, cz. II. Zasoby, jakość i ochrona wód podziemnych. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. (DzU Nr 241, poz. 2093).
- WITCZAK S. i in., 2005 — Mapa wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie w skali 1:500 000, Arcadis Ekokonrem Sp. z o.o. Warszawa.

## SUMMARY

The estimation of groundwater vulnerability to contamination, especially nitrogen compounds from agricultural sources, is a fundamental task resulting from the implementation of EU directives and guidelines as well as several Polish laws. Useful aquifer in the area of research appears in Quaternary and Neogene. The first aquifer occurs most often in: Quaternary valley areas, altitudes, old ground elevations and areas with diverse hydrogeological conditions. In order to determine the contamination of shallow groundwater with nitrates field tests were performed and samples of water for laboratory tests were taken. The base of the vulnerability of shallow groundwater evaluation was the overall exchange of field water capacity of soils and rocks of the vadose zone by infiltrating rainwater (MRT). The degree of vulnerability in different areas of the first aquifer is dependent on natural

factors and the degree of differentiation. It is defined that one of the most important factors in determining the size of the first aquifer vulnerability to contamination is the thickness of the vadose zone. The insulating layers in the vadose zone profile have significant impact on the degree of vulnerability. In the valley areas of the rivers: Odra, Troja, Psina, Opava, Osobłoga and Stradunia and other smaller surface streams where the Quaternary aquifer level was formed globally a very high contamination vulnerability degree is observed, and only locally high and moderate. Very high vulnerability to contamination occurs in areas of valley rivers Oder, Troy, Psina, Opava and other smaller streams. On the areas of high elevation moderate and high degree of vulnerability is dominating. In the northeastern area of research the areas of very low and low vulnerability degree predominate.