

RENATA GRAF

PODATNOŚĆ WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIE JAKO CZYNNIK DETERMINUJĄCY STOPIEŃ ICH ZAGROŻENIA – NA PRZYKŁADZIE ZLEWNI MOGILNICY

ZARYS TREŚCI

W opracowaniu przedstawiono etapy oceny podatności płytkich wód podziemnych na migrację zanieczyszczeń pochodzących z powierzchni terenu, którą przeprowadzono na przykładzie zlewni użytkowanej rolniczo (zlewnia Mogilnicy). Podatność naturalną wód podziemnych na wpływy antropogeniczne uznano za główny czynnik determinujący stopień ich zagrożenia. Uwzględniając hydrogeologiczne uwarunkowania procesu migracji zanieczyszczeń, obliczono potencjalny czas ich dopływu do poziomu wodonośnego, co stanowiło podstawę klasyfikacji skali i stopnia zagrożenia wód podziemnych. Przedstawiono obszarowy rozkład wskaźnika podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, który, zestawiony z informacjami o sposobie zagospodarowania i użytkowania zlewni, stanowić może podstawę do wnioskowania i prognozowania w zakresie kształtowania i ochrony zasobów wodnych ze szczególnym uwzględnieniem stref o wysokim stopniu zagrożenia.

WPROWADZENIE

Dla procesu kształtowania i ochrony środowiska przyrodniczego, jak też dla poszczególnych dziedzin gospodarki, istotne znaczenie mają informacje dotyczące stanu i stopnia przekształcenia środowiska wodnego. Dynamika i kierunek przeobrażeń systemów wód powierzchniowych i podziemnych uzależnione są m.in. od podatności wód na wpływ różnego rodzaju czynników naturalnych i antropogenicznych oraz natężenia i czasu oddziaływań. Czynniki antropogeniczne, związane z bezpośrednią lub pośrednią działalnością człowieka, prowadzą do zmian stanu ilościowego i jakościowego zasobów wodnych, co ogranicza ich przydatność dla określonych celów.

W przypadku wód podziemnych oddziaływania te obejmują również zanieczyszczenia przedostające się do warstw

wodonośnych z powierzchni terenu o różnym stopniu użytkowania i zagospodarowania oraz ich skutki, wiążące się głównie ze zmianą właściwości fizyczno-chemicznych wód. Problem ten dotyczy w dużym stopniu płytkich wód podziemnych, jednak ze względu na liczne kontakty i związki hydrauliczne zachodzące między poszczególnymi poziomami wodonośnymi może obejmować większą przestrzeń formowania się zasobów wodnych. Pod pojęciem degradacji (stwierdzonej lub potencjalnej) wód podziemnych rozumie się zarówno obniżenie ich jakości, jak też ich zanieczyszczenie czy skażenie (Słownik... 1997), wywołane przenikaniem substancji zanieczyszczających z powierzchni terenu, wód powierzchniowych lub innych warstw wodonośnych. Proces migracji zanieczyszczeń z powierzchni terenu do płytkich systemów wodonośnych determinowany jest przez szereg

cech zarówno systemu powierzchniowego i przypowierzchniowego zlewni, jak również przez hydrogeologiczne warunki występowania i krążenia wód podziemnych. Jednak znaczenie i rola poszczególnych elementów środowiskowych w przebiegu tego procesu są bardzo zróżnicowane i trudne w interpretacji. Stąd też ważnym elementem analizy skali i stopnia zagrożenia wód podziemnych są oceny podatności środowiska wodnego na wpływy antropogeniczne, w tym wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia, oraz prognozy związane z określeniem granic naturalnej ich odporności na degradację. Stosowane wskaźniki (miary, indeksy) podatności uwzględniają bardzo często sumaryczne i jednocześnie interakcyjne oddziaływanie najbardziej istotnych parametrów środowiskowych na stopień wrażliwości wód podziemnych na wpływy antropogeniczne. W przypadku oceny naturalnej podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia identyfikuje się najczęściej cechy strukturalne i funkcjonalne systemów, natomiast przy ocenie podatności specyficznej określa się dodatkowo rodzaj zanieczyszczeń migrujących przez strefę aeracji do badanych poziomów wodonośnych, co wymaga również rozpoznania ich ognisk (MACIOSZCZYK, DOBRZYŃSKI 2002; ŻUREK i in. 2002; KROGULEC 2004).

Rozkład przestrzenny wskaźnika podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, przy uwzględnieniu sposobu użytkowania obszaru, z możliwością lokalizacji terenów rolniczych, zurbanizowanych czy uprzemysłowionych, pozwala na wydzielenie np. w danej zlewni czy regionie stref zagrożeń środowiska wodnego ze strony istniejących i potencjalnych oddziaływań antropogenicznych. Zintegrowane zbiory danych dotyczące charakteru przestrzeni formowania się zasobów wód podziemnych

oraz czynników ją kształtujących mogą zostać wykorzystane w ocenie stanu i dynamiki zjawisk zachodzących w tym środowisku. W takim ujęciu ocena stopnia podatności wód podziemnych, określenie typu zagrożenia i jego zasięgu oraz identyfikacja obszarów o największym stopniu ryzyka wystąpienia zagrożenia, jak również stref, w których doszło już do przeobrażenia stosunków wodnych, należą do najważniejszych działań w zakresie zarządzania i ochrony zasobów wodnych.

OCENA PODATNOŚCI WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIE – ZAŁOŻENIA I METODY

Podatność wód podziemnych na różne przejawy ingerencji człowieka, również wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia pochodzące z powierzchni terenu, interpretowana jest jako cecha systemu wodnego, opisująca jego zdolność do przekształceń (GRAF 2004). Naturalna podatność systemu wodonośnego, nazywana podatnością właściwą, wewnętrzną lub hydrogeologiczną, rozumiana jest jako wyznacznik ryzyka migracji substancji zanieczyszczających z powierzchni terenu do wód podziemnych. Określa się ją najczęściej poprzez ocenę parametrów hydrogeologicznych struktur wodonośnych oraz układu krążenia wód, zwłaszcza warunków ich zasilania, przepływu i drenażu (KROGULEC 2004).

W wielu przypadkach ocena stopnia zagrożenia i odporności wód podziemnych na zanieczyszczenia wymaga nie tylko rozpoznania parametrów przestrzeni migracji zanieczyszczeń, ale także identyfikacji i lokalizacji ognisk zanieczyszczeń. Zróżnicowanie przestrzenne i dynamika procesów uczestniczących w przenikaniu zanieczyszczeń z powierzchni terenu zależą w dużej mierze od wa-

runków fizycznogeograficznych obszaru poddawanego analizie, wśród których elementy: geologiczne, morfologiczne, hydrologiczne i klimatyczne odgrywają ważną rolę w kształtowaniu stopnia i charakteru związków zachodzących między wodami podziemnymi i powierzchniowymi. Bardzo często jako zasadniczą przestrzeń formowania się zasobów płytkich wód podziemnych określa się zlewnię (JOKIEL 1994; GRAF 1999), w obrębie której dochodzi do wykształcenia się stref bezpośredniego i pośredniego zasilania poziomów wodonośnych. Charakter stref alimentacji wód podziemnych wpływa na proces odnawialności zasobów oraz stopień ich podatności na degradację. W warunkach naturalnych czynnikami determinującymi wielkość zasilania wód podziemnych, a tym samym migracji zanieczyszczeń, są według PACYŃSKIEGO (1993): klimat, głębokość wód podziemnych, stopień izolacji oraz typ struktur wodonośnych. Hydrogeologiczne warunki występowania wód podziemnych zaliczane są, obok własności zanieczyszczeń oraz warunków środowiska, w których zachodzi ich migracja (np. temperatura, ciśnienie), do zasadniczych grup czynników, od których zależy zagrożenie wód podziemnych zanieczyszczeniem (MACIOSZCZYK, DOBRZYŃSKI 2002).

Większość elementów związanych z określaniem stopnia podatności wód podziemnych na wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia dotyczy uwarunkowań hydrogeologicznych. W założeniach metod oceny podatności naturalnej wód podziemnych na zanieczyszczenia przyjmuje się jako zasadnicze kryterium: warunki zasilania, przepływu oraz właściwości utworów decydujących o stopniu izolacji wód podziemnych. W zależności od celu i przyjętych kryteriów wydzielić można kilka grup metod oceny podatności wód podziemnych na za-

nieczyszczenia (KROGULEC 2004, 2006) (tab. 1).

Jedną z grup metod wchodzących w skład systemu oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie są metody rangowe (indeksacji parametrów), w których dokonuje się wyboru zbioru parametrów mających największy wpływ na migrację potencjalnych zanieczyszczeń do wód podziemnych. Do metod indeksacji parametrów (tab. 1) zaliczamy m.in. metody: GOD, DRASIC, DIVERSITY, GPSRI czy Nomogram LeGranda, omówione przez CHELMICKIEGO (1997) oraz KROGULEC (2004, 2006), w których, stosując zmienną liczbę elementów wejściowych, analizuje się i ocenia naturalną podatność (odporność) zbiorników wód podziemnych na zanieczyszczenie pochodzące z powierzchni terenu. Kryterium hydrogeologiczne obejmuje zbiór cech diagnostycznych, wśród których dominują: głębokość do zwierciadła wód podziemnych, parametry filtracyjne struktur wodonośnych, stopień izolacji zbiornika wód podziemnych, przepuszczalność gruntów oraz charakter litologii utworów powierzchniowych. Informacje te często uzupełniane są przez kryteria czy uwarunkowania: klimatyczne, morfometryczne oraz użytkowanie gruntów lub stopień zagospodarowania obszaru. Wykorzystując powyższe metody, nie uwzględnia się natomiast rodzaju i właściwości substancji zanieczyszczającej, jak również procesów hydrogeochemicznych, które zachodzić mogą podczas migracji zanieczyszczeń.

Ocenę naturalnej odporności zbiorników wód podziemnych na zanieczyszczenia pochodzące z powierzchni terenu przeprowadza się w odniesieniu do różnych skal i jednostek przestrzennych, w tym zarówno struktur hydrogeologicznych, np. doliny rzecznej (MADRALA 2001, MAGNUSZEWSKI 2002), zbiorników wód podziemnych (WITKOWSKI i in. 1997;

Tabela 1. Metody oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie
Table 1. Methods of assessment of groundwater vulnerability to pollution

Grupy metod i ich charakterystyka	Parametry podlegające ocenie*	
Metody klasyfikacji warunków hydrogeologicznych – oparte na charakterystyce systemu wodonośnego i przyporządkowaniu poszczególnym obszarom określonej oceny podatności	GOD (Foster, 1987)	– głębokość do zwierciadła wód podziemnych – stopień izolacji zbiornika – typ warstwy wodonośnej (utworów przypowierzchniowych)
Metody hydrochemiczne – podatność wód podziemnych na zanieczyszczenie określa się na podstawie mineralizacji wód podziemnych Metody parametryczne (macierzowe, algebraiczne) – dotyczą wyboru najbardziej istotnych parametrów pod względem potencjalnego zagrożenia wód podziemnych, a następnie hierarchizacji tych parametrów	DRASTIC (Aller i in., 1985)	– głębokość do zwierciadła wód podziemnych – wskaźnik zasilania wód podziemnych – rodzaj utworów i gleb – nachylenie terenu – cechy strefy aeracji – przewodność hydrauliczna
Metody rangowe (indeksacji parametrów) – związane z wyborem zestawu parametrów mających największy wpływ na możliwość zanieczyszczenia wód podziemnych	GPSRI (Holman, 1985)	– czynniki ryzyka: istniejące ogniska potencjalnych zanieczyszczeń – czynniki ochrony: zdolność środowiska do unieszkodliwiania
Metody znacznikowe (terenowe metody wskaźnikowe) – umożliwiają określenie podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie na podstawie bezpośredniego pomiaru warunków przepływu zanieczyszczeń	DIVERSITY (Ray, O'dell, 1993)	– cechy warstwy wodonośnej – wielkość zasilania – prędkość przepływu – kierunek przepływu zanieczyszczeń
Metody obliczania czasu migracji – podatność wód podziemnych na zanieczyszczenie szacuje się na podstawie czasu przesączania i przesiąkania Numeryczne modele symulacyjne (metody modelowania matematycznego i hydrogeochemicznego) – prognozy zanieczyszczeń na modelach filtracji i transportu zanieczyszczeń Metody statystyczne i geostatystyczne – wybór zmiennych diagnostycznych	Nomogram LeGranda (1964)	– głębokość i spadek zwierciadła wód podziemnych – zdolność sorpcyjna utworów strefy aeracji – przepuszczalność utworów – kierunek przepływu wód – odległość zbiornika od źródła zanieczyszczeń

* Zmienne diagnostyczne wykorzystywane w metodach rangowych (wybrane przykłady) oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie. Opis cech przedstawiono za CHELMICKIM (1997).

* Diagnostic variables employed in the ranking methods (selected examples) of the assessment of groundwater vulnerability to pollution. The description of the variables after CHELMICKI (1997)

ŻUREK i in. 2002), jednostek hydrograficznych, np. zlewni (KAJEWSKI 2001; JOKIEL 2002; SUCHOŻEBRSKI 2002; GRAF 2004; GAWRON 2006) oraz obszarów chronionych (KROGULEC 2004). Szczegółowe analizy można prowadzić także w obrębie quasi-jednorodnych powierzchni (pól), np. o jednakowym sposobie użytkowa-

nia, wydzielonych w granicach większych układów przestrzennych, które według SOŁOWIEJ (1987) stanowią podstawowe pola oceny stanu środowiska przyrodniczego lub jego wybranych komponentów.

Utworzone, przy wykorzystaniu opisanych wyżej metod, bazy danych o wy-

branych elementach i cechach systemów wód podziemnych stanowią podstawę opracowania map ich podatności i zagrożenia ze strony oddziaływań antropogenicznych oraz różnego rodzaju modeli matematycznych (identyfikacyjnych i prognostycznych) filtracji wód podziemnych oraz migracji zanieczyszczeń w warstwach wodonośnych. Pełne analizy stopnia zagrożenia środowiska wód podziemnych wymagają uzupełnień o informacje dotyczące warunków zagospodarowania i użytkowania zasobów wodnych. Wyniki modelowania podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia należy jednak traktować jako przybliżone ze względu na niepełny stopień rozpoznania systemu wodonośnego, generalizację wykorzystywanych danych oraz ograniczenia skali (lokalna, regionalna) modelu (MAGNUSZEWSKI 2002; KROGULEC 2006).

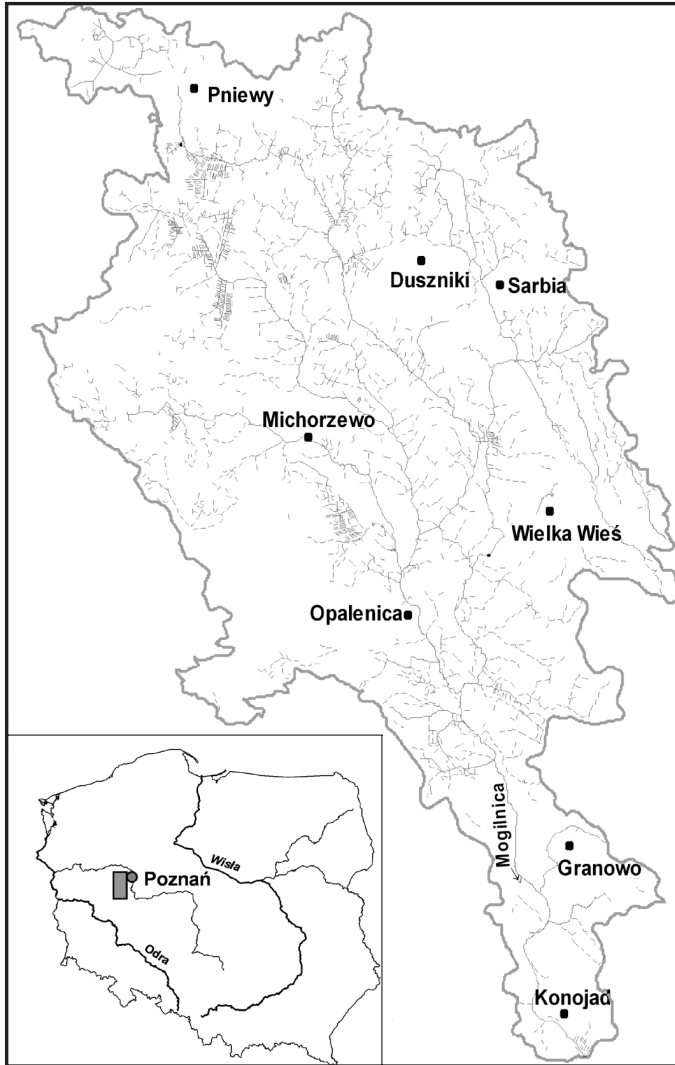
ZAKRES I METODY BADAŃ

Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego uzależnione jest od stanu i jakości poszczególnych jego elementów. Stąd rejestrowany obecnie proces degradacji, dotyczący w dużym stopniu zasobów płytkich wód podziemnych, wpływa znacząco na charakter i kształtowanie całego systemu przyrodniczego. Uwzględniając zasadnicze założenia metod rangowych oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, analizie poddano wydzieloną grupę cech fizycznych zlewni, w tym elementów hydrogeologicznych, które determinują reakcję i odporność płytkich systemów wodonośnych na działanie czynników antropogenicznych. Jako obiekt badań wytypowano użytkowaną rolniczo zlewnię Mogilnicy, wchodzącą w skład dorzecza Warty (rys. 1).

Podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia analizowano jako cechę

istotną z punktu widzenia procesu formowania ich zasobów oraz jako element prognozowania skali i stopnia ich zagrożeń, ważny dla ochrony wód podziemnych. W przypadku rozpatrywanej zlewni ocenę podatności wód podziemnych przeprowadzono przy zastosowaniu metody rangowej GOD Fostera oraz metody oceny czasu migracji potencjalnych zanieczyszczeń przez strefę aeracji według formuły empirycznej Bachmata i Collina. Stosując obie metody, wyznaczono wskaźnik podatności oraz klasy zagrożenia wód podziemnych wynikające z czasu dopływu potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu oraz dokonano interpretacji ich rozkładu przestrzennego w nawiązaniu do elementów warunkujących analizowane cechy systemu płytkich wód podziemnych. W kolejnych etapach analizy, uwzględniając stopień antropopresji w zlewni, wskazano na funkcjonowanie stref o najmniejszym i największym zagrożeniu wód podziemnych, które powinny być szczególnie uwzględniane przy planowaniu nowych inwestycji lub obszarów, w obrębie których działania gospodarcze powinny zostać ograniczone. Część procedur obliczeniowych, związanych głównie z indeksacją wybranych parametrów hydrogeologicznych i klimatycznych, które stanowiły podstawę dalszych wnioskowań w zakresie oceny podatności wód podziemnych na wpływy zewnętrzne, prowadzona była w ramach wcześniejszych badań realizowanych w zlewni Mogilnicy (GAWRON 2006; MAŃKOWSKA 2004).

Ze względu na skomplikowane warunki występowania i krążenia wód ocena stopnia ich wrażliwości na działanie czynników antropogenicznych wymagała pozyskania szeregu informacji. Duże znaczenie w tym zakresie miały zbiory danych zgromadzone w geograficznym systemie informacji przestrzennej, w tym



Rys. 1. Położenie zlewni Mogilnicy

Fig. 1. Location of the Mogilnica catchment

baza danych hydrograficznych i sozologicznych oraz sporządzone na ich podstawie mapy: hydrograficzna i sozologiczna Polski w skali 1:50 000. Materiał ten uzupełniały dane pozyskane z map: geologicznej, geomorfologicznej, glebowo-rolniczej i innych map tematycznych. Opracowane zbiory danych

wyjściowych do obliczeń wskaźników podatności wód podziemnych oraz uzyskane wyniki stanowią cenny zbiór informacji, który można wykorzystać do analizy przestrzennej wybranych charakterystyk wód podziemnych i ich waloryzacji. Adaptacja tego typu danych umożliwia prowadzenie analiz porów-

nawczych w odniesieniu do różnych jednostek funkcjonalno-przestrzennych (GRAF 2007).

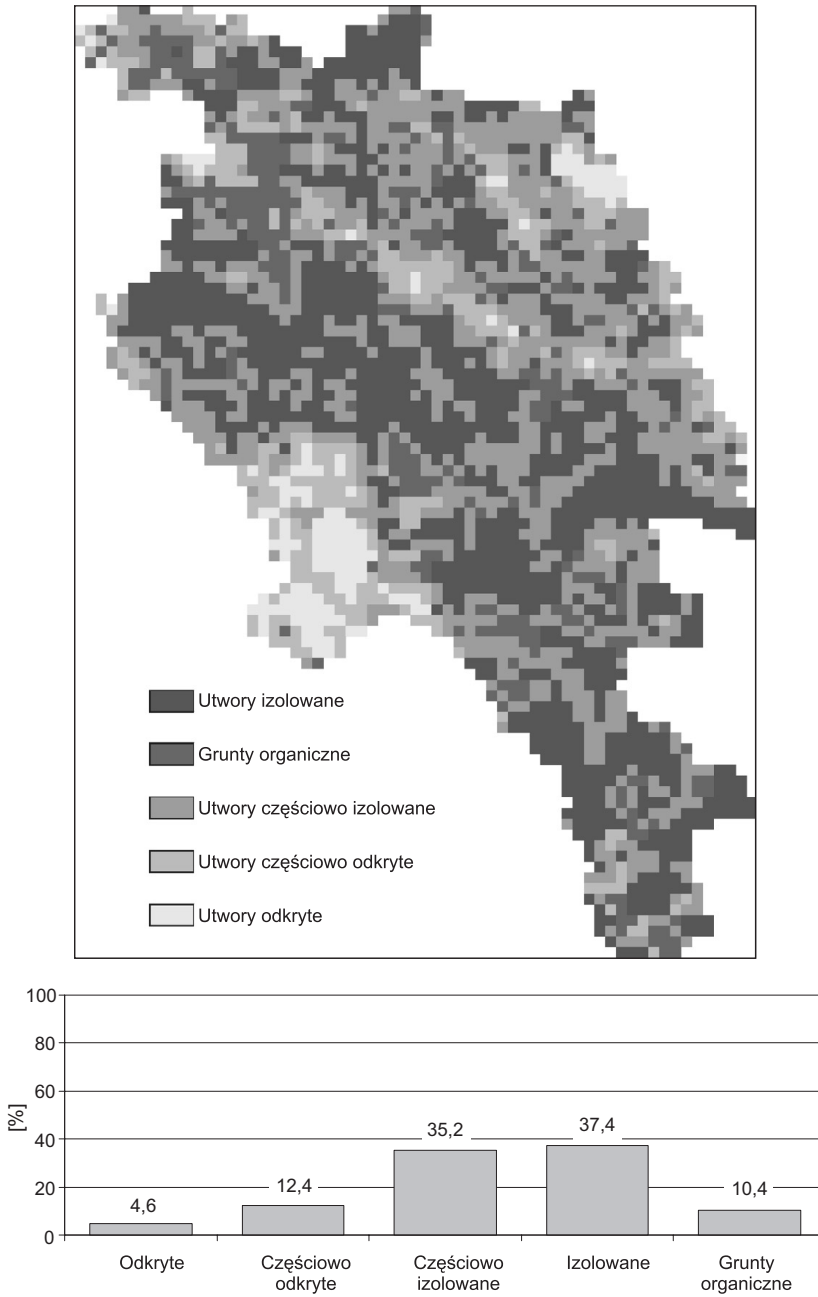
OBSZAR BADAŃ

Jako obszar badań wytypowano zlewnię Mogilnicy (dopływ Kanału Mosińskiego) o powierzchni 664,40 km², która w układzie hydrograficznym wchodzi w skład dorzecza Warty (rys. 1). Omawiana zlewnia położona jest na Nizinie Wielkopolskiej, w obrębie regionu Wyczołpiny Poznańskiej oraz częściowo regionu Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej, w tzw. Odcinku Obrzańskim (KRYGOWSKI 1961). Szczegółowa charakterystyka warunków fizycznogeograficznych zlewni Mogilnicy, w tym wybrane cechy systemu płytkich wód podziemnych, przedstawiona została przez MAŃKOWSKĄ (2004) i GAWRON (2006). Dla wytypowanej zlewni istnieje ponadto baza danych hydrograficznych i sozologicznych oraz pełne pokrycie przez obie mapy tematyczne – hydrograficzną i sozologiczną w skali 1: 50 000.

Ze względu na przedmiot badań, jakim były płytkie wody podziemne występujące w strefie potamicznej zlewni, istotne okazały się informacje dotyczące stanu ich systemu oraz wybranych cech struktury hydrogeologicznej zlewni. W zlewni Mogilnicy analizowany system wodonośny występuje w utworach czwartorzędowych, tworząc poziom gruntowy oraz poziom międzyglinowy górny o przeciętnej miąższości w granicach 1–5 metrów (GAWRON 2006). Poziom gruntowy wykształcony został w utworach piaszczysto-żwirowych teras pradolinnych w części południowej obszaru (Odcinek Obrzański Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej) oraz fragmentarycznie w strefie płatów sandrowych we wschodniej jej części. Natomiast

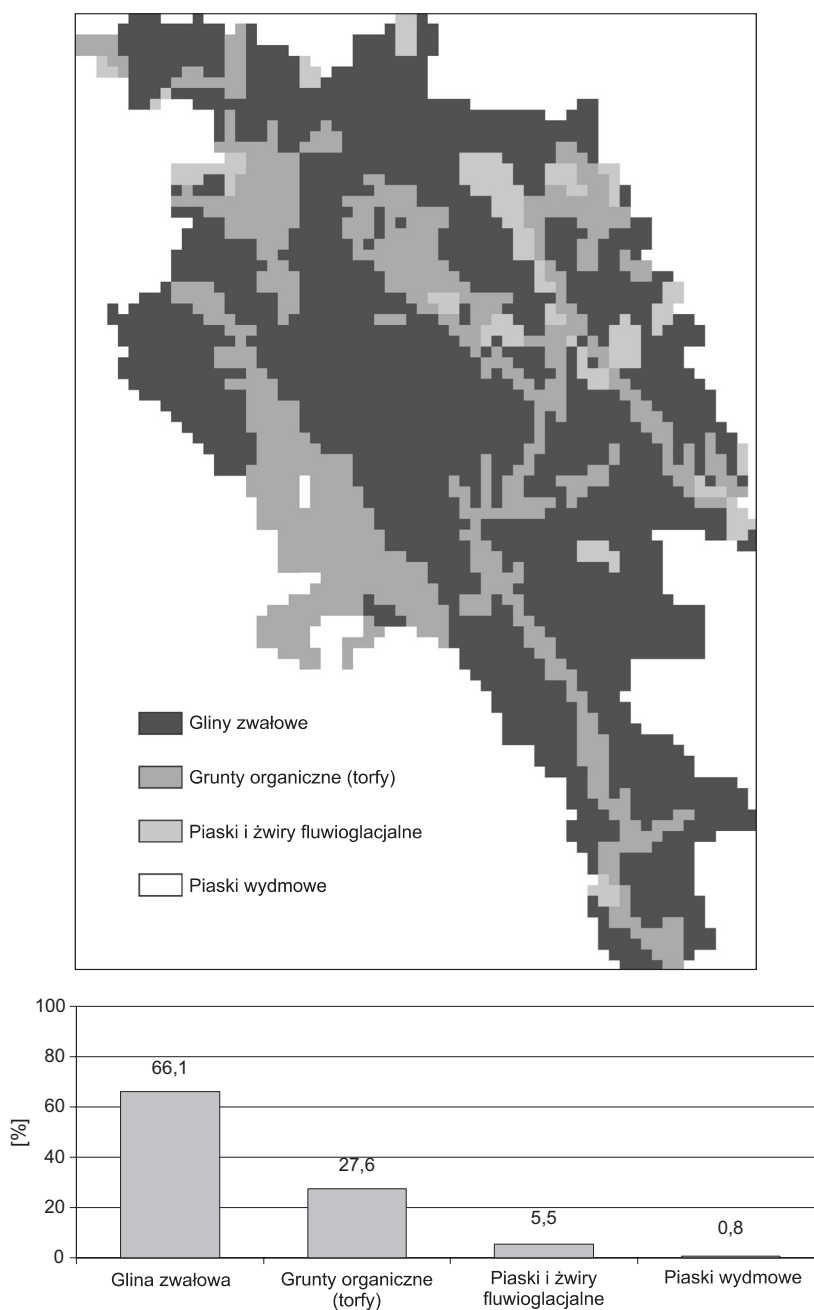
poziom międzyglinowy górny występuje w strefie wysoczyznowej (Równina Opalenicka), która stanowi jednostkę dominującą w zlewni, oraz w strefie pagórków moren czołowych (Pagórki Międzyrzecko-Pniewskie), jak również starszych struktur glacitektonicznych w zachodniej części obszaru (Wał Lwówecko-Rakoniewicki). Rzeźba rozpatrywanego obszaru jest efektem morfogenezy glacialnej zlodowacenia bałtyckiego fazy poznańskiej i leszczyńskiej oraz holoceńskiej.

W zakresie warunków występowania i krążenia płytkich wód podziemnych zlewnia Mogilnicy wykazuje pewną specyfikę, co wynika z dominacji na rozpatrywanym obszarze struktury wysoczyznowej zbudowanej w przewodzie z utworów gliniastych, które stanowią jednocześnie zasadniczy element w litologii utworów przypowierzchniowych. Utwory gliniaste wpływają niekorzystnie na alimentację poziomów wodonośnych, pełniąc tym samym funkcję izolującą je przed dopływem potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu, co jest istotne z punktu widzenia ochrony zasobów wodnych (rys. 2). W przypadku omawianej zlewni dotyczy to 66% obszaru odwadnianego przez Mogilnicę. Miąższość utworów gliniastych waha się przeciętnie od 3 do 5 m (MAŃKOWSKA 2004). Tylko niewielkie fragmenty w północnej części zlewni (okolice Pniew) oraz w części zachodniej (strefa wału) zbudowane są z utworów piaszczystych, stanowiąc strefę bardzo korzystną pod względem warunków infiltracji, a jednocześnie migracji potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni zlewni do wód podziemnych (rys. 3). Zlewnia w stosunku do rozpatrywanych wód podziemnych, które przeciętnie występują tu na głębokości 1–2 m (rys. 4), stanowi obszar intensywnego ich zasilania, głównie poprzez infiltrację opadów



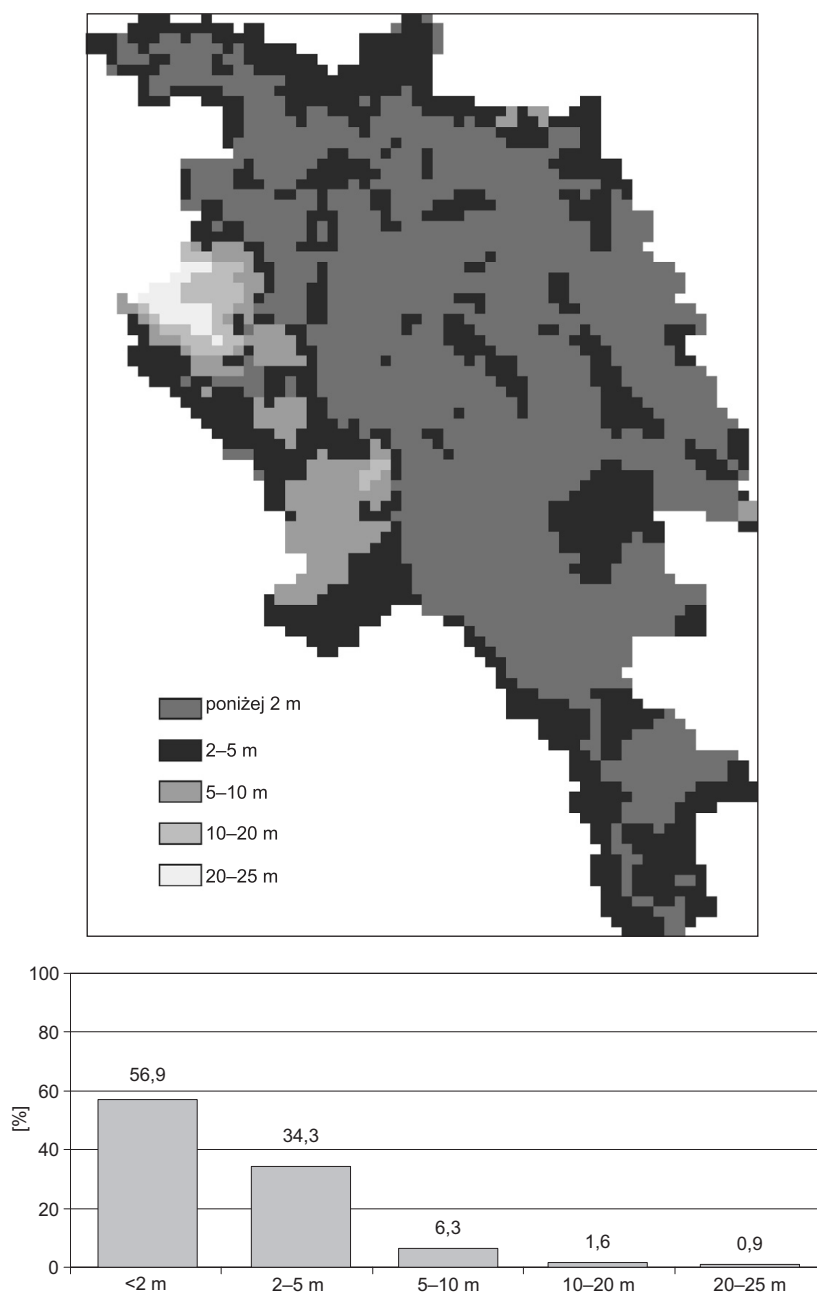
Rys. 2. Stopień izolacji warstw wodonośnych oraz udział stref o danym stopniu izolacji w całkowitej powierzchni zlewni – etap „Wejście I”

Fig. 2. Degree of screening of water-bearing horizons and proportion of zones with a given level of isolation in total catchment area – an Input I stage



Rys. 3. Litologia utworów przypowierzchniowych oraz ich udział w całkowitej powierzchni zlewni – etap „Wejście II”

Fig. 3. Lithology of subsurface deposits and of their proportion in total catchment area – an Input II stage



Rys. 4. Głębokość do zwierciadła wód podziemnych oraz udział stref o danej głębokości w całkowitej powierzchni zlewni – etap „Wejście III”

Fig. 4. Depth to the groundwater table and proportion of zones with a given depth in total catchment area – an Input III stage

atmosferycznych oraz drenażu przez system rzeczny. W zlewni Mogilnicy głębokość do zwierciadła płytkich wód podziemnych kształtuje się w przedziale od poniżej 1 m p.p.t. (doliny i strefy obniżień) do ponad 20 m p.p.t. (struktury glaciektoniczne). Strefy, w obrębie których wody podziemne występują na głębokości 1–5 m, zajmują ponad 75% powierzchni analizowanego obszaru.

Litologia utworów powierzchniowych wraz z głębokością do zwierciadła wód podziemnych decydują w dużej mierze o ich odporności na wpływy antropogeniczne. Zagrożenie omawianego poziomu wodonośnego wynika z możliwości przenikania zanieczyszczeń poprzez infiltracje wód powierzchniowych, jak również z dopływu wód podziemnych spoza obszaru badań. Stopień podatności wód podziemnych na degradację jest silnie związany z procesem odnawialności wód, co ma szczególne znaczenie dla obszarów o niskim potencjale zasilania, do których zaliczana jest także zlewnia Mogilnicy. Według regionalizacji klimatycznej WOSIA (1994) rozpatrywana zlewnia znajduje się prawie w całości w zasięgu Regionu Środkowopolskiego, zaliczanego do obszarów o najniższych opadach w Polsce. Strefy o opadzie 500–560 mm/rok (1955–1990) zajmują prawie 75% powierzchni zlewni (GAWRON 2006), natomiast o opadzie 580–600 mm/rok ok. 7%.

Ze względu na sposób użytkowania, wyrażający się przewagą gruntów ornych i użytków zielonych (ok. 80%), analizowana zlewnia należy do typowo rolniczych obszarów na Nizinie Wielkopolskiej, dla których istotne znaczenie zyskują odpowiednio opracowane strategie zagospodarowania i ochrony zasobów wodnych.

Uwzględniając powyższe założenia, przyjęto we wstępnym etapie analizy, że płytkie wody podziemne w zlewni Mo-

gilnicy (zlewnia gliniasta) cechuje względnie mała podatność na wpływy antropogeniczne. Podjęta próba oceny stopnia podatności wód podziemnych na migrację potencjalnych zanieczyszczeń dała podstawę do weryfikacji przyjętych założeń. Szczegółową charakterystykę wybranych cech systemu płytkich wód podziemnych zlewni Mogilnicy, stanowiących podstawę obliczeń ich naturalnej podatności na zanieczyszczenia i wydzielenie klas zagrożenia, przedstawiono w części opracowania dotyczącej realizacji poszczególnych etapów oceny.

METODY I ETAPY BADAŃ

Do oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w zlewni Mogilnicy wykorzystano metodę rangową GOD zaproponowaną przez Fostera (za CHELMICKIM 1997). Natomiast czas dopływu wody przez strefę aeracji, określony przy zastosowaniu formuły empirycznej Bachmata i Collina (MARCINIAK i in. 1999), posłużył do oceny skali i stopnia zagrożenia płytkich wód podziemnych migracją potencjalnych zanieczyszczeń pochodzących z powierzchni terenu. Obie procedury wiązały się z przyjęciem odpowiedniego zbioru danych wyjściowych, których liczba uzależniona była od przyjętych w metodach założeń.

Ocenę podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia prowadzono w kilku etapach, których szczegółowy opis przedstawiony został w pracach GRAF (2004, 2007) i GAWRON (2006). Etap przygotowawczy, w tym tzw. określenie „Wejść” (termin wprowadzony przez Fostera) do systemu oceny, obejmuje pozyskanie i opracowanie zbiorów danych dotyczących wytypowanych cech i ich schematyzację. Z kolei na tzw. etapie „Wyjścia” z systemu oceny dokonuje się

ich przetworzenia do formy wskaźnika (indeksu) podatności czy miary zagrożenia wód podziemnych. W efekcie opracowuje się, według ustalonych koncepcji, obszarowe rozkłady (w formie mapy rastrowej lub wektorowej) stopnia podatności i klas zagrożenia wód podziemnych ze strony zanieczyszczeń.

W procedurze GOD (Groundwater occurrence, Overlying lithology, Depth to water table) dokonuje się oceny trzech elementów: stopnia izolacji zbiornika (Wejście I), rodzaju utworów przypowierzchniowych lub charakteru warstwy wodonośnej (Wejście II) oraz głębokości do zwierciadła wód podziemnych (Wejście III). Następnie cechom tym przypisuje się odpowiednią wartość mnożnika, który różnicuje rangę danej cechy w procesie dopływu zanieczyszczeń z powierzchni. W końcowym etapie oceny wskaźnik podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie zostaje obliczony jako iloczyn trzech mnożników ($GOD = W_I \times W_{II} \times W_{III}$), przyjmując wartości od 0 do 1. Według schematu GOD podatność klasyfikuje się od bardzo niskiej (0–0,1), poprzez niską (0,1–0,3), umiarkowaną (0,3–0,5), wysoką (0,5–0,7) do bardzo wysokiej (0,7–1,0).

Z kolei obliczenie czasu przesączania wody przez strefę aeracji (t) według formuły Bachmata i Collina ($t = maWo/IE$) wymaga wykorzystania następujących parametrów: miąższości (głębokość do zwierciadła wód podziemnych) strefy aeracji (ma), przeciętnej wilgotności objętościowej utworów strefy aeracji (Wo) oraz wskaźnika infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych (IE). Następnie na podstawie oszacowanego czasu migracji klasyfikuje się, np. według założeń KLECZKOWSKIEGO (1990), stopień zagrożenia zbiorników wód podziemnych, od praktycznie niezagrażonych (czas powyżej 100 lat), poprzez słabo (czas 25–100 lat), średnio (czas 5–25 lat) silnie

(czas 2–5 lat) do bardzo silnie zagrożonych (czas poniżej 2 lat).

Niektóre z analizowanych cech systemu płytkich wód podziemnych określano bezpośrednio z baz danych i dokumentacji hydrogeologicznych, część natomiast z map tematycznych: hydrograficznej, geomorfologicznej, geologicznej, przy wykorzystaniu kartograficznej metody badań. Identyfikację określonych parametrów przeprowadzono przy wykorzystaniu bazy danych zgromadzonych w poziomach informacyjnych mapy hydrograficznej Polski w skali 1:50 000. Zbiór informacji wyjściowych stanowiły m.in. następujące warstwy: topograficzne działy wodne, wody powierzchniowe, wody podziemne pierwszego poziomu i przepuszczalność gruntu oraz punkty hydrometryczne pomiarów stacjonarnych. Informacje z zakresu charakterystyki stanu systemu wód podziemnych obejmowały: rozkład hydroizobat oraz dane IMGW z wielolecia o stanach wód podziemnych w wybranych studniach. Ponadto wykorzystano zbiór informacji z wcześniejszych badań prowadzonych w zlewni Mogilnicy.

Przyjęta w procedurze struktura danych rastrowych, określona w układzie lokalnej siatki dyskretyzacyjnej o liczbie pól (bloków obliczeniowych) 2870 i wymiarze $0,5 \times 0,5$ km ($0,25$ km²), miała zasadniczy wpływ na sposób oszacowania przestrzennej zmienności parametrów. W każdym z analizowanych pól oceny założono warunki izotropowe, nie wykluczając zmienności parametrów między poszczególnymi polami. Dla każdego bloku obliczeniowego (pola oceny) przypisano wartości parametrów wyjściowych, a następnie obliczono wskaźnik wyjściowy w formie stopnia podatności lub klas zagrożenia wód podziemnych ze strony zanieczyszczeń. Uzyskane w ten sposób wartości są wrazem synergicznego działania kilku pa-

rametrów na wybraną cechę systemu wód podziemnych, która określa jego sposób zachowania i reakcji na określone czynniki. Wydzielenie i charakter podstawowych pól oceny okazało się pomocne w przeprowadzeniu dalszych analiz i ocen stanu środowiska wód podziemnych.

Stopień izolacji warstw wodonośnych, jako element wejściowy w systemie GOD, określony został poprzez analizę cech litologicznych gruntów oraz ich przepuszczalność. Wykorzystując bazę danych hydrograficznych, wydzielono w zlewni, na etapie wstępnym, grunty o zróżnicowanym stopniu przepuszczalności, którym przypisano następnie odpowiedni stopień izolacji (rys. 2). W procedurze tej zastosowano klasyfikację utworów hydrogeologicznych według kryterium wodoprzepuszczalności (Słownik... 1997).

Określając rodzaj utworów przypowierzchniowych, wykorzystano informacje z mapy geomorfologicznej 1:100 000 (w wersji cyfrowej 1:300 000), mapy glebowo-rolniczej w skali 1:100 000, mapy litologii utworów powierzchniowych 1:200 000 oraz bazy danych hydrograficznych dotyczących stopnia przepuszczalności gruntów. Informacje te uzupełniały dane pozyskane z map geologicznej i hydrogeologicznej. Na podstawie dostępnych materiałów dokonano również charakterystyki rodzaju utworów (rys. 3) i miąższości strefy aeracji, która jest niezbędna do obliczenia czasu migracji potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu. Przy określaniu wilgotności objętościowej gruntów strefy aeracji przyjęto wartości proponowane przez WITCZAKA i ŻURKA (1994) za MARCINIAKIEM (1999). Natomiast wskaźnik infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych, który również uwzględnia się w formule empirycznej, został przyjęty według GAWRON (2006), która okreś-

liła dla zlewni Mogilnicy w ujęciu lokalnej siatki dyskretyzacyjnej (0,5 × 0,5 km) obszarowy rozkład opadów atmosferycznych oraz wielkości infiltracji efektywnej.

Głębokość do zwierciadła wód podziemnych oraz jej rozkład przestrzenny w analizowanej zlewni został odwzorowany z układu hydroizobat, który w przypadku bazy danych hydrograficznych odnosi się do konkretnego terminu wykonywania kartowania terenowego. Hydroizobaty wyznaczają zasięg stref, w których zwierciadło znajduje się w pewnym przedziale głębokości (rys. 4). W celu uzyskania porównywalnych danych oraz określenia wartości granicznych badanego systemu wód podziemnych informacje te zostały uzupełnione o charakterystykę cech reżimu, co pozwoliło na weryfikację rozkładu głębokości zwierciadła wód podziemnych, a tym samym miąższości strefy aeracji w odniesieniu do warunków przeciętnych i skrajnych. Procedurę taką zastosowano również przy indeksacji parametrów wejściowych do metody GOD, wykorzystanej przy ocenie podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w zlewni Szarki (GRAF 2004).

Stopień podatności (indeks GOD) oraz klasę zagrożenia wód podziemnych ze strony migracji potencjalnych zanieczyszczeń w zlewni Mogilnicy interpretowano jako wartość odnoszącą się do każdego bloku obliczeniowego oraz jako wartość informacyjną dla zlewni, obliczoną w formie średniej ważonej z miar określonych dla poszczególnych pól. Informacje te zestawiono z danymi dotyczącymi sposobu użytkowania terenu zlewni oraz rozkładem przestrzennym punktowych ognisk zanieczyszczeń w formie składowisk surowców i paliw oraz składowisk odpadów komunalnych. Ponadto, wykorzystując bazę danych sozologicznych,

zlokalizowano w omawianej zlewni te rodzaje przedsięwzięć, które mogą znacząco oddziaływać na środowisko, w tym również na stan ekologiczny systemu wód podziemnych, jak np. fermy drobiu czy hodowli trzody chlewnej.

OCENA PODATNOŚCI WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIE

Wykorzystując założenia przyjętych metod oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie, dokonano analizy rozkładu przestrzennego zasadniczych parametrów hydrogeologicznych, które z jednej strony określają warunki alimentacji rozpatrywanych systemów wodonośnych, z drugiej natomiast możliwość przenikania tą drogą zanieczyszczeń z powierzchni terenu. W grupie analizowanych elementów znajdują się parametry quasi-stacjonarne oraz parametry zmienne w czasie, jak np. głębokość do zwierciadła wód podziemnych, uzależnione od danej sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej, w tym od częstotliwości pojawiania się okresów wilgotnych i suchych, które decydują w dużej mierze o potencjale zasilania poziomów wodonośnych.

Istotnym elementem jest stopień izolacji zbiornika wód podziemnych od powierzchni, związany z charakterem utworów izolujących i stopniem ich przepuszczalności. Dokonując transformacji klas przepuszczalności gruntów w odpowiadający im typ powierzchni izolującej, wydzielono w zlewni Mogilnicy cztery grupy utworów o zróżnicowanym stopniu izolacji: utwory odkryte (rumosze, żwiry, piaski o różnym uziarnieniu), częściowo odkryte, częściowo izolowane i izolowane (grunty spoiste, gliny i pyły oraz grunty antropogeniczne) (rys. 2). Grunty organiczne, których przepuszczalność ze względu na

okresowe zmiany stopnia uwilgotnienia jest zróżnicowana, zaklasyfikowane zostały przez GAWRON (2006) do gruntów o zmiennym czasowo stopniu izolacji. Obszarowy rozkład gruntów o danym stopniu izolacji wykazał, że w omawianej zlewni dominują grunty częściowo izolowane i izolowane, zajmujące łącznie 72,6 km². Najmniejszą powierzchnię (ok. 5%) zajmują grunty odkryte, które występują głównie w strefach wododziałowych zlewni (rys. 2). Można zatem przyjąć, że wody podziemne występujące w strefach ograniczonego kontaktu z powierzchnią terenu poprzez pokrywę utworów izolujących są w mniejszym stopniu narażone na dopływ zanieczyszczeń. Jednak ze względu na długotrwałe oddziaływanie czynników egzogenicznych nie można wykluczyć funkcjonowania w obrębie utworów gliniastych stref o zwiększonej wartości współczynnika filtracji, co sprzyjać może migracji wody przez strefę aeracji, a tym samym wpływać na wzrost zagrożenia jakości wód podziemnych.

Analiza przeprowadzona w odniesieniu do charakteru utworów przypowierzchniowych wykazała, że ich rodzaj i właściwości oraz rozkład przestrzenny nawiązują bezpośrednio do rozkładu stopnia izolacji i klas przepuszczalności gruntów. Obszarowy rozkład utworów przypowierzchniowych (rys. 3) wskazuje, że na rozpatrywanym terenie dominują gliny zwałowe wysoczyzny morenowej, które łącznie z glinami strefy moren czołowych pokrywają przeważającą część powierzchni zlewni (66%). Najmniejszą powierzchnię zajmują piaski wydymowe, występujące w południowo-zachodniej części zlewni. Piaski i żwiry fluwioglacjalne (sandrów, ozów i kemów) rozprzestrzeniają się we wschodniej części zlewni, głównie z północnego zachodu na południowy wschód (GA-

WRON 2006). Natomiast grunty organiczne (torfy) występują przede wszystkim wzdłuż zasadniczych cieków oraz na większej przestrzeni w zachodniej części obszaru (rys. 3).

Głębokość do zwierciadła wód podziemnych jest elementem zmiennym, uzależnionym od warunków zasilania i szczypania zasobów wodnych. Zasięg rozprzestrzeniania się stref o danym rozkładzie głębokości wód podziemnych interpretowano przy wykorzystaniu danych dotyczących dynamiki ich zwierciadła. Analiza przeprowadzona dla warunków przeciętnych wykazała, że zwierciadło wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego występuje w zlewni Mogilnicy na głębokości od 0,5 do 25 m p.p.t., a dominują strefy (rys. 4), w obrębie których wody podziemne osiągają głębokość 1–2 m p.p.t. (48,2%). Obszary te łącznie ze strefą najpłytszego występowania wód podziemnych (0–1 m p.p.t.) zajmują ponad 50% całkowitej powierzchni zlewni. Największe głębokości do zwierciadła wód podziemnych (poniżej 20 m p.p.t) zostały zarejestrowane w zachodniej części zlewni, zajętej przez glaciektogenicznie spiętrzoną formę Wału Lwówecko-Rakoniewickiego (rys. 4).

Przewaga, w obrębie omawianej zlewni, powierzchni o płytkim występowaniu zwierciadła wód podziemnych stanowić może czynnik sprzyjający dostawie zanieczyszczeń z powierzchni terenu przy założeniu braku powierzchni izolującej. Jednak w przypadku zlewni Mogilnicy sytuacja taka może dotyczyć stref lokalnych, odniesionych do powierzchni glin zwałowych, które uległy licznym przekształceniom struktury przypowierzchniowej w formie np. spękań czy spiaszczeń. Strefy o zwiększonej wartości współczynnika filtracji, formujące się w pokrywach gliniastych, stanowią miejsca uprzywilejowane w zasi-

laniu wód podziemnych, na co zwraca uwagę m.in. KANIECKI (1982).

Uwzględniając określone przez GAWRON (2006) dla zlewni Mogilnicy wartości infiltracji efektywnej rocznej oraz jej przestrzenny rozkład, należy podkreślić, że dominują na omawianym obszarze powierzchni (67%), w granicach których infiltracja efektywna kształtuje się poniżej 50 mm w skali roku. Najwyższe obliczone wartości infiltracji efektywnej wynoszą ponad 150 mm i przypisane zostały do stref o korzystnym typie alimentacji wód podziemnych, dla których według PAZDRY (1983) przyjmuje się wskaźnik infiltracji efektywnej nawet w granicach 20–30% sumy rocznej opadów. W omawianej zlewni są to głównie niewielkich rozmiarów powierzchni zbudowane z piasków i żwirów sandrowych.

Identyfikacja uwarunkowań hydrogeologicznych pozwoliła na określenie czynników determinujących funkcjonowanie systemów płytkich wód podziemnych w zakresie oddziaływań antropogenicznych. Ze względu na dominujący w tym przypadku rodzaj utworów przypowierzchniowych (gliny zwałowe) oraz ich izolujący charakter założono w początkowym etapie analizy, że podatność płytkich wód podziemnych na zanieczyszczenia, głównie typu obszarowego, powinna być niska, a stopień ich zagrożenia ze strony oddziaływań zewnętrznych nieznaczny. Natomiast w strefach występowania utworów organicznych przyjęto, że stopień podatności wód podziemnych na dopływ zanieczyszczeń jest w dużej mierze uzależniony od stopnia uwilgotnienia gruntów. W okresach dużego uwilgotnienia grunty organiczne stanowią strefy ograniczające infiltrację wód opadowych, natomiast w okresach posusznych współczynnik filtracji dla torfów może dochodzić do 10^{-3} ms^{-1} . Podjęta próba

oceny potencjalnej podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, jako czynnika determinującego stopień ich zagrożenia, dała podstawę do weryfikacji przyjętych założeń.

WSKAŹNIK PODATNOŚCI GOD

Ocenę stopnia podatności oraz skali zagrożenia płytkich poziomów wodonośnych ze strony potencjalnych zanieczyszczeń przeprowadzono w odniesieniu do całej rozpatrywanej zlewni oraz dla każdego wydzielonego w jej granicach podstawowego pola oceny w ilości 2870 i powierzchni 0,25 km² każdy.

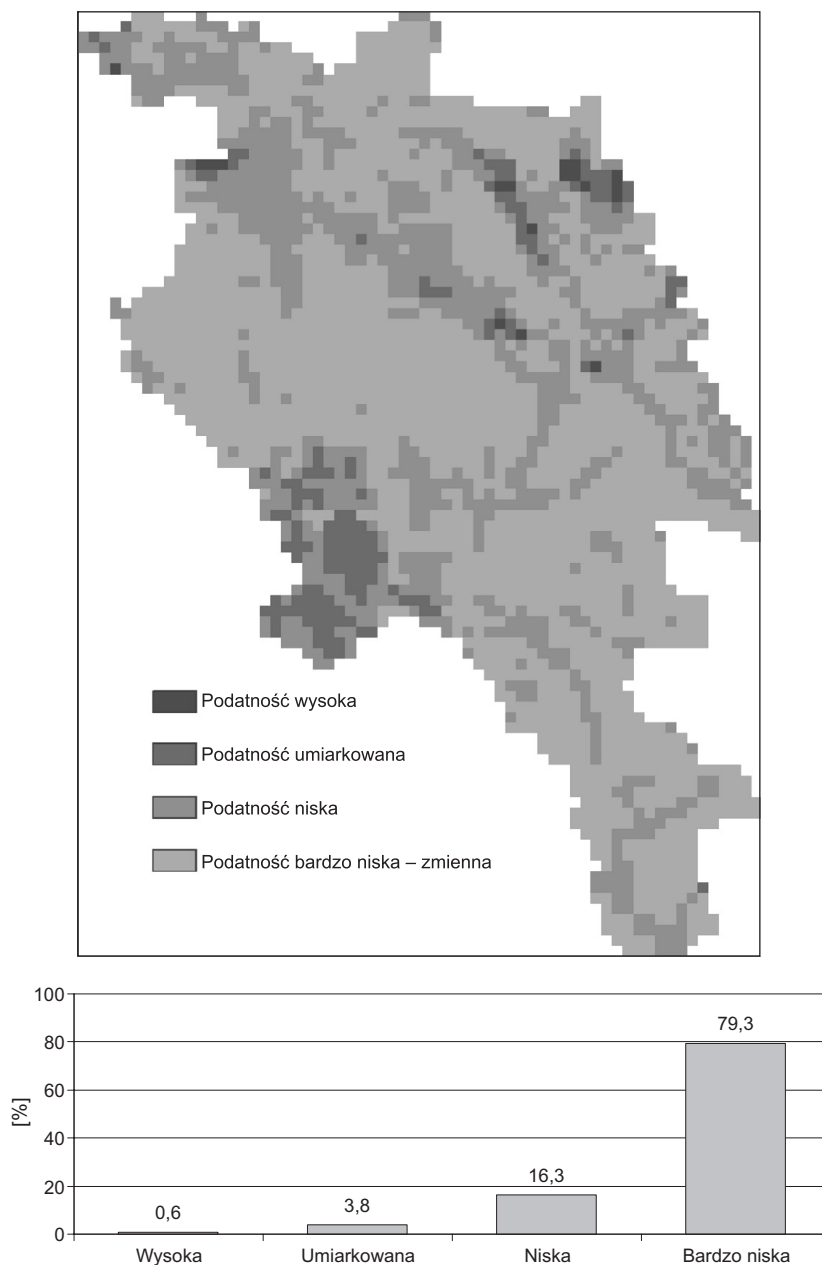
Analizując rozkład wskaźnika podatności GOD w odniesieniu do płytkich wód podziemnych funkcjonujących w zlewni Mogilnicy (rys. 5), zidentyfikowano tylko cztery, spośród pięciu, stopnie podatności wód na zanieczyszczenia pochodzące z powierzchni terenu. Stwierdzono, że wody podziemne w odniesieniu do całkowitej powierzchni omawianej zlewni charakteryzują się niskim stopniem podatności, kształtującym się na poziomie 0,1, przy stopniach skrajnych: bardzo niskim i wysokim. Nie uzyskano wartości wskaźnika określającego stopień podatności jako bardzo wysoki. Największą powierzchnię (80%) zajmują obszary o podatności bardzo niskiej (rys. 5), określanej również mianem zmiennej (CHELMICKI 1997), najmniejszą natomiast strefy, gdzie wody podziemne narażone są w wysokim stopniu na zanieczyszczenie (0,6%). Wynika to z faktu, iż większość obszaru pokrywają gliny zwałowe, które w stosunku do płytkich wód podziemnych pełnią funkcję izolującą dla dopływu zanieczyszczeń. Podatność wysoka została określona w północnej części zlewni, natomiast strefy, w obrębie których wody podziemne osiągają podatność umiarko-

waną, zostały zidentyfikowane głównie w południowo-zachodniej oraz częściowo w północno-wschodniej części zlewni.

Wyniki uzyskane metodą GOD są efektem przyjętych kryteriów i założeń, stąd obserwuje się silne powiązanie wartości wskaźnika podatności od rodzaju utworów przypowierzchniowych i głębokości do zwierciadła wód podziemnych, czyli elementów odnoszących się do struktury i stanu systemu wodonośnego. Badania prowadzone w zlewni Mogilnicy w zakresie dynamiki wód podziemnych płytkich poziomów wodonośnych (MAŃKOWSKA 2004) wykazały w niektórych strefach znaczące zmiany położenia zwierciadła wód podziemnych w danej fazie formowania się zasobów, co może wpływać na zróżnicowanie wartości indeksu podatności wód na zanieczyszczenia. Podatność płytkich wód podziemnych na wpływy antropogeniczne będzie wzrastała w warunkach uzupełniania zasobów wodnych, kiedy rejestrowane jest zazwyczaj wznoszenie się zwierciadła wód podziemnych, a więc zmniejszanie głębokości ich występowania. Natomiast w warunkach ograniczonego zasilania lub jego braku, a więc w sytuacji szczypty zasobów wodnych, obniżanie zwierciadła wód podziemnych wydłuża drogę migracji potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu. Sytuacja taka może szczególnie dotyczyć wód podziemnych, występujących najpłycej, tj. do głębokości 2 m.

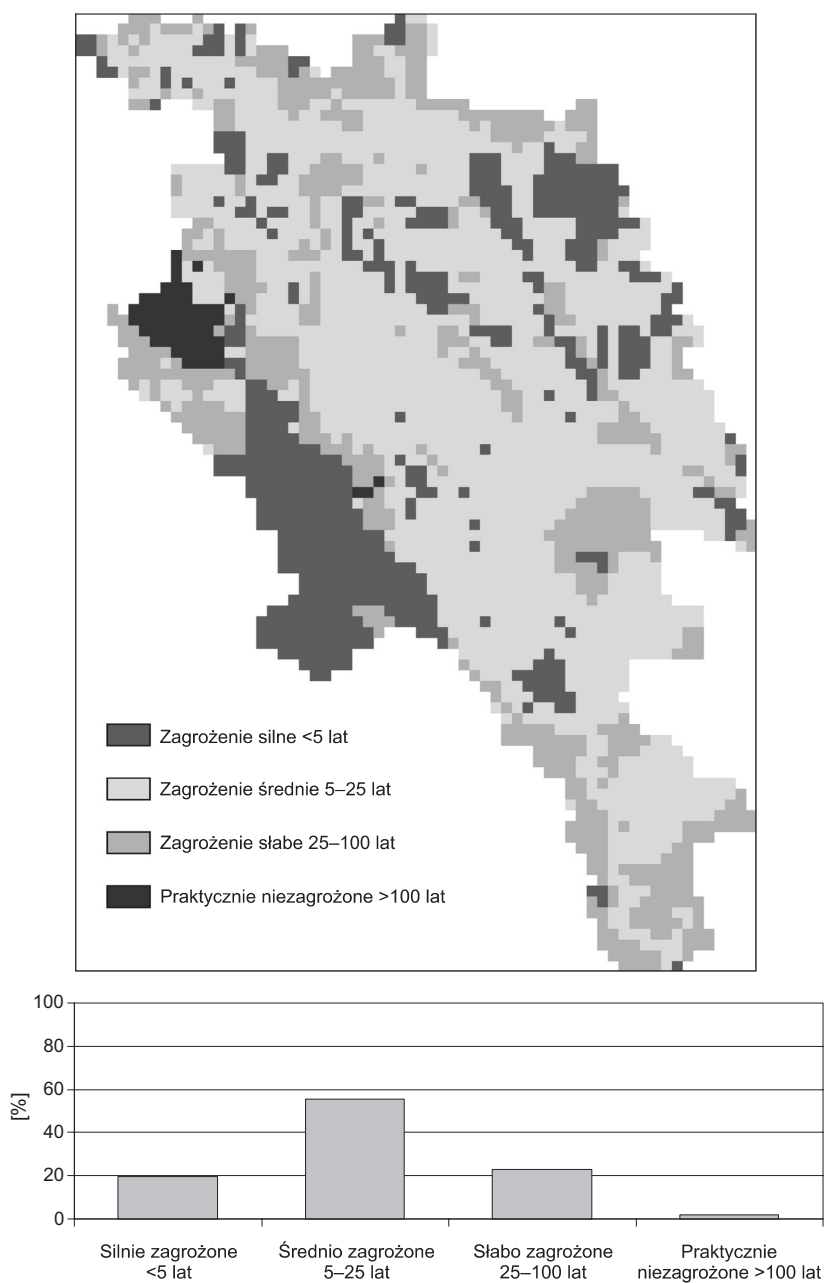
CZAS MIGRACJI ZANIECZYSZCZEŃ

Ocena stopnia zagrożenia wód podziemnych w zlewni Mogilnicy, wynikająca z czasu migracji wody przez strefę aeracji, wykazała, że ponad połowa omawianego obszaru (ok. 56%) charakteryzuje się średnim stopniem zagrożenia (rys. 6), a prawie 20% zagrożone jest



Rys. 5. Podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia pochodzące z powierzchni terenu oraz udział stref o danym stopniu podatności w całkowitej powierzchni zlewni (metoda GOD) – etap „Wyjście”

Fig. 5. Susceptibility of groundwater to pollution from the land surface (the GOD method) and proportion of zones with a given degree of vulnerability – an Output stage



Rys. 6. Zagrożenie wód podziemnych wynikające z czasu migracji zanieczyszczeń przez strefę aeracji oraz udział stref o danej klasie zagrożenia w całkowitej powierzchni zlewni – etap „Wyjście”

Fig. 6. Risk to groundwater resulting from the time of migration of water through the aeration zone and proportion of zones at a given class of risk – an Output stage

w stopniu silnym. Oznacza to, że migracja potencjalnych zanieczyszczeń może zachodzić w czasie od 5 do 25 lat oraz od 2 do 5 lat. Pozostała część wód podziemnych w rozpatrywanej zlewni wykazuje generalnie zagrożenie słabe (23%) oraz strefy praktycznie niezagrożone (2%). Powierzchnie silnie zagrożone zlokalizowane zostały głównie w południowo-zachodniej oraz fragmentarycznie w północno-wschodniej oraz centralnej części obszaru (rys. 6). Nie zostały natomiast zidentyfikowane strefy, w obrębie których wody podziemne narażone są w stopniu bardzo silnym na migrację potencjalnych zanieczyszczeń. Elementami determinującymi oraz modyfikującymi warunki dopływu zanieczyszczeń do wód podziemnych z powierzchni terenu są w tym przypadku droga (miąższość strefy aeracji) oraz prędkość migracji pionowej, które zaliczane są do grupy parametrów zmiennych w czasie.

W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono, że najbardziej podatne na zanieczyszczenie są wody podziemne występujące w zasięgu stref piaszczystych, pozbawionych nadkładu izolującego, a tym samym ochrony przed dopływem substancji zanieczyszczających. Obszary te pokrywają się w zasadzie ze strefami, dla których obliczony czas migracji zanieczyszczeń jest krótszy niż 5 lat. Są to jednak tereny zajęte w dużej części przez kompleksy leśne, o niewielkim stopniu przekształcenia i zagospodarowania, stąd też stopień oddziaływań antropogenicznych na środowisko wód podziemnych jest nieznaczny. Nie można jednak wykluczyć sytuacji, kiedy dopływ zanieczyszczeń do wód podziemnych będzie formował się poza strefą ich występowania. Lasy, zajmujące ponad 15% powierzchni zlewni Mogilnicy, zlokalizowane są w kilku zwarłych kompleksach w zachodniej i pół-

nocnej części analizowanego obszaru. Ze względu na rolnicze zagospodarowanie omawianej zlewni należy uwzględnić przede wszystkim możliwość obszarowego dopływu zanieczyszczeń, szczególnie do wód podziemnych, których zwierciadło kształtuje się płytko, do głębokości 2 m p.p.t. W zasięgu dolin rzecznych elementem decydującym o wysokiej podatności wód podziemnych na degradację jest mała miąższość strefy aeracji, kształtująca się w granicach 1 m, oraz często brak utworów izolujących od powierzchni. Poza tym doliny rzeczne, jako strefy koncentracji strumieni wód podziemnych, mogą stać się miejscem kumulowania zanieczyszczeń przenoszonych przez wody podziemne. Jak podaje GAWRON (2006), na rozpatrywanym obszarze zarejestrowano wzrost zawartości związków azotowych w wodach podziemnych, co spowodowało zaliczenie gmin Buk, Duszniki i Opalenica, położonych w granicach zlewni Mogilnicy, do stref szczególnie narażonych, z których odpływ azotu z terenów rolniczych należy ograniczyć. Stopień zagrożenia wód podziemnych zwiększa ponadto funkcjonowanie w zasięgu analizowanego obszaru punktowych ognisk zanieczyszczeń w formie składowisk surowców i paliw oraz odpadów komunalnych (ponad 100 obiektów), które zidentyfikowano, wykorzystując bazę danych sozologicznych. W zlewni Mogilnicy zlokalizowano także specyficzne rodzaje przedsięwzięć, które mogą znacząco oddziaływać na środowisko, w tym również na stan ekologiczny systemu wód podziemnych, jak np. ферmy drobiu czy hodowli trzody chlewnej (Sarbia, Michorzewo) (rys. 1). Problemem na rozpatrywanym obszarze jest także brak kanalizacji sanitarnej w rejonach wielu rozproszonych jednostek osadniczych, co zwiększa ryzyko zanieczyszczeń płytkich wód podziemnych ściekami bytowymi.

Analiza obu rozkładów przestrzennych – stopnia podatności i zagrożenia wód podziemnych (rys. 5 i 6) – wykazała kilka podobieństw, szczególnie w zakresie identyfikacji obszarów o najwyższym stopniu ryzyka zanieczyszczeń płytkich wód podziemnych. Należy jednak podkreślić fakt, iż otrzymany obraz jest wyłącznie efektem przyjętych kryteriów, wśród których dominuje grupa wybranych parametrów hydrogeologicznych. W zastosowanych metodach analizie poddaje się głównie przestrzenną zmienność parametrów, w małym stopniu rozpatruje się natomiast układ hydrodynamiczny zwierciadła wód podziemnych oraz powiązania między strefami ich zasilania i drenażu. W przypadku metody obliczania czasu migracji zanieczyszczeń uwzględnienie elementów związanych z wielkością zasilania infiltracyjnego zwiększa ilość i jakość informacji, co pozwala na bardziej szczegółową analizę uwarunkowań rozpatrywanego procesu. Określony na podstawie parametrów hydrogeologicznych (stopień izolacji, rodzaj utworów przypowierzchniowych, głębokość do zwierciadła wód podziemnych) stopień podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie stanowić może podstawę oceny skali i zasięgu istniejącego, jak i potencjalnego zagrożenia wód podziemnych. Istotne znaczenie dla ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniami mają strefy bezpośredniej ich alimentacji, tworzące jednocześnie obszary uprzywilejowane dla migracji potencjalnych zanieczyszczeń, a które identyfikować można przy analizie typów infiltracyjnych obszaru. Ponadto zaznaczyć należy, że strumień wód podziemnych, przemieszczający się do stref drenażu, może się tworzyć również z napływu wód podziemnych z rejonów, gdzie reżim wód podziemnych

uzależniony jest głównie od zasilania z obszarów sąsiednich.

W układzie krążenia płytkich wód podziemnych zlewni Mogilnicy stwierdzono możliwości zasilania tego poziomu przez zbiorniki wód wglębnych oraz możliwość zasilania struktury Wielkopolskiej Doliny Kopalnej przez wody poziomu gruntowego i międzyglinowego, zwłaszcza w strefach okien hydrogeologicznych (DĄBROWSKI 1990). W analizowanej zlewni nadkład poziomu wód wglębnych ma charakter słabo przepuszczalny, a tylko miejscami przepuszczalny. Stanowią go gliny morenowe z mułkami, lokalnie piaski i żwiry o miąższości 12–75 m. Czas potencjalnej migracji zanieczyszczeń w obrębie okien hydrogeologicznych może wynosić 2–5 lat, natomiast ok. 15–50 lat przy miąższości 30–40 m nadkładu i 50–100 lat przy miąższości utworów słabo przepuszczalnych w granicach 40–75 m (DĄBROWSKI 1990).

W ocenie stopnia zagrożenia płytkich wód podziemnych w zlewni Mogilnicy uwzględnione zostały głównie hydrogeologiczne uwarunkowania migracji potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu. Istnieje jednak szereg innych czynników naturalnych i antropogenicznych, które w istotny sposób wpływają na procesy przemieszczania i kumulacji związków zawartych w wodzie. Stąd też wyniki uzyskane przy wykorzystaniu opisanych metod, ze względu na szereg uproszczeń i schematyzację przyjętych danych, należy traktować jako orientacyjne i szacunkowe. Jak podaje MAGNUSZEWSKI (2002), wyniki modelowania potencjalnej podatności wód podziemnych przeprowadzane na podstawie metod rangowych i macierzowych interpretowane są w kategoriach tendencji lub prawdopodobieństwa, co wymaga ich weryfikacji przez wykonanie monitoringu stanu jakości wód podziemnych.

PODSUMOWANIE

Wykorzystanie w ocenie podatności płytkich wód podziemnych na zanieczyszczenie metody rangowej GOD oraz metody bazującej na czasie ich migracji pozwoliło na wydzielenie w zlewni Mogilnicy stref o zróżnicowany stopniu odporności na działanie czynników antropogenicznych. Uwzględniając uwarunkowania hydrogeologiczne migracji potencjalnych zanieczyszczeń, zidentyfikowano obszary najbardziej podatne oraz obszary o najmniejszym stopniu ryzyka. Analiza rozkładu przestrzennego wskaźnika GOD wykazała, że ponad połowę powierzchni rozpatrywanej zlewni zajmują strefy o niskim i bardzo niskim stopniu ich podatności na zanieczyszczenia pochodzące z powierzchni terenu. Natomiast czas migracji wody przez strefę aeracji kształtuje się w przewadze (ponad 50% powierzchni) od 5 do 25 lat, co pozwoliło zaklasyfikować wody podziemne do średnio zagrożonych. Uzyskane wyniki czasu migracji zanieczyszczeń pozwoliły zaliczyć ok. 20% powierzchni zlewni do stref, w obrębie których płytkie wody podziemne zagrożone są w stopniu silnym. Zwrócono również uwagę na liczne powiązania płytkich wód podziemnych z wodami powierzchniowymi i systemem wód głębszych Wielkopolskiej Doliny Kopalnej, stanowiącej na omawianym obszarze główny użytkowy poziom wodonośny.

Strefy o wysokim i umiarkowanym stopniu podatności wód podziemnych powinny zostać wykluczone z działań inwestycyjnych oraz powinny być objęte działaniami ochronnymi prowadzonymi w zlewni w zakresie realizacji planów zagospodarowania przestrzennego. Zintegrowane bazy danych zawierające informacje o stopniu podatności środowiska wodnego na zanieczyszczenia

oraz o lokalizacji ich ognisk stanowić mogą punkt wyjścia do analiz i wnioskowań w zakresie warunków formowania stanu i jakości zasobów wód podziemnych. Zwiększenie liczby analizowanych parametrów oraz ustalenie relacji między ich rozkładem przestrzennym pozwala na szerszą interpretację zagadnień związanych z odnawialnością wód podziemnych oraz rolą czynników ograniczających ten proces.

Ilościowe wyrażenie cech poszczególnych podsystemów zlewni, w tym systemu płytkich wód podziemnych, stanowi punkt wyjścia do prowadzenia analiz przestrzennych zmienności poszczególnych parametrów oraz prowadzenia analiz porównawczych między różnymi jednostkami, np. zlewniami czy zbiornikami wód podziemnych. Informacje te mogą również znaleźć zastosowanie w modelowaniu matematycznym – identyfikacyjnym i prognostycznym warunków krążenia wód podziemnych oraz migracji zanieczyszczeń w systemach wodonośnych zarówno o znaczeniu lokalnym, jak i regionalnym. W takim ujęciu wyniki analiz stopnia podatności i zagrożenia wód podziemnych ze strony zanieczyszczeń stanowić mogą istotny element w określeniu strategii zrównoważonego użytkowania zasobów wodnych w zlewni.

LITERATURA

- CHELMICKI W., 1997: Degradacja i ochrona wód. Cz. I – Jakość. Instytut Geografii UJ, Kraków, 158–161.
- DĄBROWSKI S., 1990: Hydrogeologia i warunki ochrony wód podziemnych Wielkopolskiej Doliny Kopalnej. Wyd. SGGW-AR, Warszawa.
- GAWRON E., 2006: Podatność płytkich wód podziemnych na migrację zanieczyszczeń w zlewni Mogilnicy. Archiwum Zakładu Hydro-

- logii i Gospodarki Wodnej IGFiKŚP, Poznań (mskr.).
- GRAF R., 1999: Warunki zasilania i szczyrpywania wód podziemnych pierwszego poziomu w wybranych zlewniach Niziny Wielkopolskiej. Pr. Kom. Geogr.-Geol., t. 24. Wyd. PTPN, Poznań.
- GRAF R., 2004: Zastosowanie Mapy hydrograficznej Polski w skali 1: 50 000 w systemie oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie. [W:] Kartografia tematyczna w kształtowaniu środowiska geograficznego. Materiały Ogólnopolskich Konferencji Kartograficznych, t. 25, IGFiKŚP UAM. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań, 219–228.
- GRAF R., 2007: Ocena podatności płytkich wód podziemnych na zanieczyszczenia jako podstawa działań ochronnych w zlewni. [W:] M. Kistowski, B. Korwel-Lejkowska (red.), Waloryzacja środowiska przyrodniczego w planowaniu przestrzennym. Gdańsk–Warszawa, 297–305.
- JOKIEL P., 1994: Zasoby, odnawialność i odpływ wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce. Acta Geogr. Lodz., 66–67.
- JOKIEL P., 2002: Woda na zapleczu wielkiego miasta. Możliwości wykorzystania i problemy ochrony zasobów i obiektów wodnych w małej zlewni strefy podmiejskiej Łodzi. Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej UŁ, Łódź, 55–60.
- KAJEWSKI I., 2001: Zastosowanie systemu DRASTIC do oceny zagrożenia wód podziemnych. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, t. X, cz. 2. Sudety Oficyna Wydawnicza, Wrocław, 63–68.
- KANIECKI A., 1982: Pojemność retencyjna i zmienność zasobów wodnych małej zlewni nizinnej, na przykładzie dorzecza Wrześnicy. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- KŁECKOWSKI A.S. (red.), 1990: Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) wymagających szczególnej ochrony. Wyd. AGH, Kraków.
- KROGULEC E., 2004: Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w dolinie rzecznej na podstawie przesłanek hydrodynamicznych. Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- KROGULEC E., 2006: Podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia. [W:] A. Macoszczyk (red.), Podstawy hydrogeologii stosowanej. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 477–485.
- KRYGOWSKI B., 1961: Geografia fizyczna Niziny Wielkopolskiej. Cz. I. Geomorfologia. PWN, Poznań.
- MACIOSZCZYK A., DOBRZYŃSKI D., 2002: Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 118–120.
- MAGNUSZEWSKI A., 2002: Systemy geoinformacyjne w badaniach ekohydrologicznych. Przykład doliny Wisły pod Płockiem. UW, Warszawa.
- MAŃKOWSKA K., 2004: Warunki obiegu wody w dorzeczu Mogilnicy. Archiwum Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej IGFiKŚP, Poznań (mskr.).
- MARCINIAK M., PRZYBYLEK J., HERZIG J., SZCZEPAŃSKA J., 1999: Badania współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych. UAM Poznań, AGH Kraków, Wyd. Sorus, Poznań–Kraków.
- MADRALA M., 2001: Waloryzacja hydrogeochemiczna dolin rzecznych dla potrzeb eksploatacji wód podziemnych. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, t. X, cz. 1. Wrocław, 357–364.
- PACZYŃSKI B., 1993: Wpływ czynników geogenicznych i antropogenicznych na wody podziemne. [W:] I. Dynowska (red), Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych. UJ, Kraków, 217–218.
- PAZDRO Z., 1983: Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geolog., Warszawa.
- Słownik hydrogeologiczny, 1997: Praca zbiorowa, A.S. Kleczkowski, A. Różkowski (red.). Min. Ochr. Środ. i Zas. Natur., Wyd. Trio, Warszawa.
- SOŁOWIEJ D., 1987: Podstawy metodyki oceny środowiska przyrodniczego człowieka. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- SUCHOŻEBRSKI J., 2002: Ocena warunków migracji zanieczyszczeń do wód podziemnych w zlewni Górnej Wilgi. Prace i Studia Geograficzne, t. 31. Warszawa, 153–163.
- WITKOWSKI A., MALIK P., FENDEK M., VRANA K., 1997: Koncepcja mapy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie dla obszarów krasowych na przykładzie płaskowyżu Murskiej Planiny. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, t. VIII. Wyd. WIND, Wrocław, 491–494.
- Woś A., 1994: Klimat Niziny Wielkopolskiej. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.

ŻUREK A., WITCZAK S., DUDA R., 2002: Ocena podatności szczelinowych zbiorników wód podziemnych na zanieczyszczenie. [W:] Jakość i podatność wód podziemnych na

zanieczyszczenie. Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, nr 22. Sosnowiec, 241–253.

Recenzent: prof. dr hab. Alfred Kaniński

Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej
Instytut Geografii Fizycznej
i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
w Poznaniu

VULNERABILITY OF GROUNDWATER TO POLLUTION AS A FACTOR DETERMINING THIS THREAT – THE CASE OF THE MOGILNICA CATCHMENT

Summary

The dynamics and tendency of change in surface- and groundwater systems depend, among other things, on their susceptibility to various kinds of natural and man-made factors as well as the intensity and duration of their impact. The study presents stages in the assessment of the vulnerability of shallow groundwater to the migration of pollutants coming from the land surface. It was carried out for a typical agricultural catchment situated in the Wielkopolska Lowland (the Mogilnica catchment). Following the basic assumptions of the ranking methods of assessment of groundwater vulnerability (the GOD index), an analysis was made of a selected group of physical parameters of the catchment, including hydrogeological elements which determine the response and resistance of shallow aquifer systems to the impact of man-made factors. Empirical formulae (Bachmat and Collin's) were employed to calculate the potential time taken by the pollutants to reach the water-bearing horizon, which provided a basis for a classification of the extent and degree of risk to groundwater. The areal distribution of the index of groundwater vulnerability to pollution was presented and analysed against information about the way of development and land-use pattern in the catchment. It was found that its groundwater displayed a low degree of vulnerability due to the

fact that most of the catchment area is covered with till which screens the shallow groundwater from the inflow of pollution. An assessment of risk to groundwater resulting from the time of migration of water through the aeration zone showed that more than half of the study area (about 56%) was at medium risk and nearly 20% was at high risk. This means that the migration of potential pollutants can take from 5 to 25 years and from 2 to 5 years, respectively. Attention was also paid to the numerous links of shallow groundwater with surface waters and the deep groundwater system of the Wielkopolska Buried Valley, which is the principal operable aquifer in the study area. Taking into consideration the level of human impact in the catchment, areas least and most exposed to risk were identified; they should be considered especially carefully when planning new investment. The quantification of parameters of the individual catchment subsystems, including the shallow groundwater system, is a starting point for analyses of spatial variability of the parameters and for comparative studies of various units, e.g. catchments, groundwater bodies, or areas with similar land-use patterns. An assessment of the degree of vulnerability of groundwater to pollution can be a crucial element in the preparation of a strategy of sustainable management of water resources in the catchment.