

Zofia **Ćwiertniewska**, Magdalena **Nidental**, Elżbieta **Przytuła**, Małgorzata **Woźnicka**
Państwowy Instytut Geologiczny,
Zakład Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

OCENA STANU ZANIECZYSZCZENIA ZWIĄZKAMI AZOTU PŁYTKICH WÓD PODZIEMNYCH W OBSZARACH OSADNICTWA WIEJSKIEGO

1. WSTĘP

W latach 2006–2008 w Państwowym Instytucie Geologicznym realizowana jest transza pilotażowa warstw informacyjnych bazy danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 „pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”, która będzie podstawą dla ustalenia optymalnej metodyki badań terenowych jakości płytkich wód podziemnych oraz metodyki określenia i kartograficznej prezentacji stopnia naturalnej podatności na zanieczyszczenie pierwszego poziomu wodonośnego (Herbich i inni, 2004).

Na mapie zbiorczej „pierwszy poziom wodonośny – jakość wód” prezentowane są dwie warstwy informacyjne. Pierwsza z nich – *zawartość związków azotu w wodach pierwszego poziomu wodonośnego* – opracowywana jest dla obszarów gruntów rolnych i osadnictwa wiejskiego. Zadaniem tej warstwy jest wstępna identyfikacja obszarów, na których stwierdzono zanieczyszczenie wód azotanami ($\text{NO}_3 > 50 \text{ mg/dm}^3$) lub zagrożenie zanieczyszczeniem azotanami ($25 < \text{NO}_3 < 50 \text{ mg/dm}^3$). Jest ona opracowywana zarówno na podstawie badań terenowych jak i w oparciu o zgromadzone wyniki monitoringu jakości wód podziemnych – sieci krajowej (MONBADA), sieci regionalnych (WIOŚ, RZGW) i innych (SANEPID). Drugą warstwę informacyjną – *wybrane wskaźniki jakości wód pierwszego poziomu wodonośnego* – stanowi punktowe przedstawienie wartości wybranych wskaźników fizyko-chemicznych wód podziemnych, oznaczonych w trakcie przeglądu terenowego. W ten sposób baza danych GIS MhP będzie obejmowała charakterystykę płytkich i użytkowych poziomów wodonośnych w zakresie wymaganym przez zadania realizowane w ramach wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej i określone w obowiązującej Ustawie Prawo Wodne: opracowywanie, wdrażanie i monitorowanie programów działań dla ochrony wód podziemnych bezpośrednio związanych z ekosystemami wód powierzchniowych oraz ekosystemami lądowymi zależnymi od wód podziemnych, w tym specjalnych obszarów ochrony siedlisk NATURA 2000 (www.mos.gov.pl/natura2000), a także wód podziemnych, które są lub mogą być w przyszłości źródłem zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia.

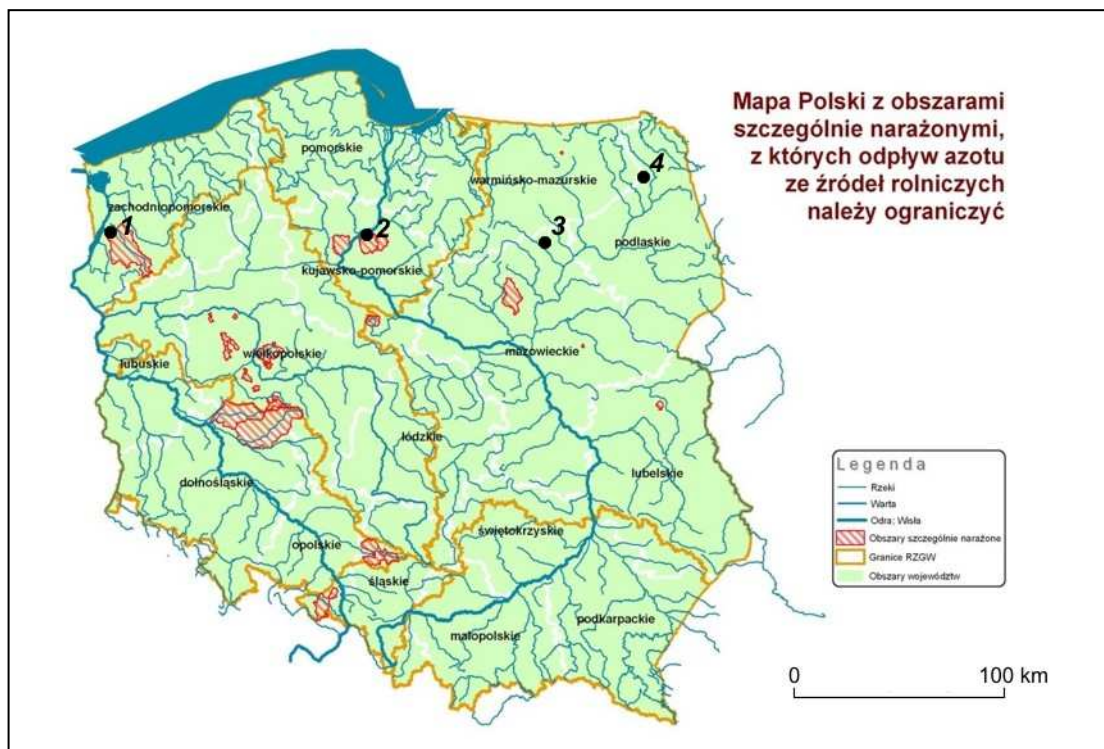
Zgromadzone w trakcie realizacji opisanego powyżej zadania wyniki opróbowania terenowego wykonanego w reprezentatywnych punktach dokumentacyjnych stwarzają możliwość oceny stanu zanieczyszczenia związkami azotu płytkich wód podziemnych w obszarach osadnictwa wiejskiego. Na potrzeby tej oceny wytypowano cztery obszary testowe, charakteryzujące się różnym typem i stopniem zagospodarowania i wykorzystania rolniczego terenu (rys. 1). Przy wyborze poligonów badawczych brano pod uwagę zagęszczenie osadnictwa, strukturę gospodarstw rolnych, typ dominujących upraw, a także stopień zagospodarowania gruntów (procentowy udział nieużytków). Rozpatrywane poligony badawcze zlokalizowane są w północnej Polsce i obejmują fragmenty następujących regionów (Kondracki, 2002):

Rejon 1. Równina Pyrzycka, Wzgórza Bukowe, Równina Weltyńska, Równina Goleniowska;

Rejon 2. Kotlina Grudziądzka, Pojezierze Chełmińskie, Wysoczyzna Świecka, Dolina Fordońska;

Rejon 3. Równina Kurpiowska, Równina Mazurska;

Rejon 4. Równina Augustowska, Pojezierze Ełckie.



Rys. 1. Lokalizacja poligonów badawczych na tle obszarów szczególnie narażonych na zanieczyszczenie związkami azotu pochodzenia rolniczego (www.mos.gov.pl/azotany/doc/mapa_osn.jpg):
1, 2, 3, 4 – numery poligonów badawczych.

Dwa rozpatrywane obszary (nr 1 i 2) położone są w zasięgu stref wyznaczonych przez RZGW jako obszary szczególnie narażone na zanieczyszczenia związkami azotu pochodzenia rolniczego (rys. 1).

Ogółem przeanalizowano wyniki opróbowania terenowego wykonane w 172 punktach dokumentacyjnych (tab. 1). Wszystkie oznaczenia wykonane zostały w okresie czerwiec – sierpień 2007 r., takim samym zestawem polowych mierników SLANDI, w którego skład wchodzi: fotometr LF300, konduktometr SC300 oraz pH-metr SP300. Opróbowano otwory ujmujące pierwszy poziom wodonośny (studnie kopane, studnie wiercone, płytkie sondy okrętne, źródła), eksploatowane w sposób ciągły, zlokalizowane na granicy zwartej zabudowy wiejskiej lub na terenie pojedynczych gospodarstw, poza zasięgiem oddziaływania lokalnych ognisk zanieczyszczeń takich jak szamba, obory, kompostowniki i inne.

Tab. 1. Data i liczba wykonanych pomiarów w poszczególnych obszarach testowych

Nr poligonu badawczego	1	2	3	4
Liczba punktów opróbowanych	37	57	27	51
Data pomiarów	21–30.08.2007	9–21.07.2007	2–6.07.2007	18–23.06.2007

2. STRUKTURA ZAGOSPODAROWANIA TERENU

Rejon 1. Analizowany teren ma głównie charakter rolniczy. Ponad 70% obszaru stanowią grunty orne i łąki. Na większości ziem uprawnych (około 75%) występują gleby chronione (klasy: IIIa, IIIb, IVa). Dominującymi kompleksami glebowymi są pszenne i żytnie związane z glebami brunatnymi. Lokalizacja użytków zielonych pokrywa się w głównej mierze z glebami mułowo-

torfowymi, torfami torfowisk niskich oraz czarnoziemami (Hoc, 2007). Obok uprawy pszenicy, rzepaku i innych roślin okopowych duże znaczenie w gospodarce rolniczej odgrywa produkcja warzywna i owocowa, a także rozwój hodowli trzody chlewnej. Lasy, z przewagą sosnowych, zajmują niewiele ponad 20% powierzchni.

Na omawianym terenie ośrodki przemysłu i działalności usługowo-handlowej skupiają się wokół większych miejscowości. Należy zaznaczyć, że analizowany rejon spełnia ważną funkcję rekreacyjno-wypoczynkową, której rozwój związany jest przede wszystkim z rozległym jeziorem Miedwie. Wzdłuż linii brzegowej jeziora położone są liczne ośrodki wypoczynkowe. Rozwojowi turystyki sprzyja także sieć szlaków turystycznych od granic miasta Szczecina przez Puszcze Bukową (Hoc, Fuszara, 2000).

Na omawianym obszarze występują liczne rezerваты, parki krajobrazowe oraz pomniki przyrody. Znajduje się tu między innymi fragment Szczecińskiego Parku Krajobrazowego Puszczy Bukowej, w obrębie którego wyznaczono specjalny obszar ochrony siedlisk Natura 2000 – Wzgórza Bukowe (PLH320020). Do obszaru specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 zaliczono Jezioro Miedwie i jego okolice (PLB 320005), oraz specjalny obszar ochrony siedlisk Doliny Płoni i jeziora Miedwie (PLH 320006) – (Jeziński, Fuszara, 2005; Schiewe, Bącik, Fuszara, 2005).

Przedstawiona powyżej charakterystyka świadczy o dużych zmianach antropogenicznych tego terenu. Ciągły rozwój rolnictwa oraz turystyki powoduje nieodwracalne zmiany w środowisku przyrodniczym.

Rejon 2. Wytypowany do badań obszar to położony na południe od Grudziądza rejon przełomowego odcinka Doliny Dolnej Wisły. Obejmuje swym zasięgiem dolinę Wisły na odcinku około 45 km, fragmenty dolin Wdy i Mątwy, wyraźnie zaznaczoną strefę zboczową o wysokości dochodzącej do 70 m oraz obszary przykrawędziowej, falistej wysoczyzny morenowej. Dno doliny Wisły o szerokości rzędu 3–8 km poprzecinane jest gęstą siecią kanałów melioracyjnych i oddzielone od koryta rzeki wałami przeciwpowodziowymi.

Zagospodarowanie obszaru jest znacznie zróżnicowane. Wyróżnia się tereny z przewagą rozproszonego osadnictwa wiejskiego oraz obszary zabudowy miejsko-przemysłowej (Unisław, Świecie, Chełmno i południowe peryferia Grudziądza). Obszar w znacznym stopniu jest zwodociągowany. Siecią kanalizacji sanitarnej objęte są głównie miasta, natomiast w rejonach rolniczych, pojedyncze obiekty posiadają lokalne oczyszczalnie ścieków. W obrębie terenu badań znajdują się czynne składowiska, wylewiska oraz stacje benzynowe, przecinają go drogi krajowe E75 Gdańsk–Łódź i E261 Gdańsk–Poznań.

Dominującą gałęzią gospodarki jest produkcja rolna i hodowlana. Rozwinięte jest rolnictwo indywidualne z przewagą gospodarstw do 10 ha. Obszary rolne zajmują około 60–70% powierzchni terenu, przy czym użytki rolne przeważają na wysoczyźnie, a użytki zielone (łąki, pastwiska) w obszarze silnie przekształconej antropogenicznie doliny.

Obszary leśne, usytuowane głównie w strefie zboczowej i częściowo w obrębie dna dolin, stanowią około 20% powierzchni całego obszaru, zajmując najmniej urodzajne i najmniej dostępne tereny.

W dolinie Wisły zachowały się niewielkie fragmenty ekosystemów typowych dla dolin dużych rzek środkowoeuropejskich: podmokłe lasy i łąki nadrzeczne, starorzecza, stale zmieniające się brzegi rzeki i wyspy. Ze względu na wartości przyrodnicze, historyczne i kulturowe utworzono, głównie w części dolinnej, szereg obszarów prawnie chronionych (parki krajobrazowe, obszary chronionego krajobrazu, rezerваты) a cały rejon obejmujący rzekę Wisłę wraz z przyległymi starorzeczami w obrębie wałów przeciwpowodziowych ustanowiony został jako obszar specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 – Dolina Dolnej Wisły (PLB040003).

Z przedstawionych informacji wynika, że wytypowany teren badań należy do obszarów o wysokim stopniu antropopresji.

Rejon 3. Rozpatrywany obszar położony jest na pograniczu dwóch równin ukształtowanych w czasie recesji lądolodu stadiału górnego zlodowacenia Wisły: Kurpiowskiej i Mazurskiej. Sposób zagospodarowania tego obszaru jest silnie związany z lokalnymi warunkami naturalnymi. Około 75% powierzchni stanowią lasy i zadrzewienia (przeważnie siedliska boru świeżego oraz mieszanego, a rzadziej siedliska łąkowe i olsowe). Użytki rolne stanowią około 20% powierzchni rozpatrywanego obszaru, w tym część to trwałe użytki zielone. Rozmieszczenie użytków zielonych w znacznej mierze pokrywa się z występowaniem gleb organicznych i aluwialnych, dlatego też największe kompleksy łąk i pastwisk znajdują się na północ i wschód od Wielbarka, w dolinach Wałpuszy i Czarki. Znikomy udział w ogólnej powierzchni gruntów mają wody powierzchniowe (ok. 1%) jak również nieużytki (1%). Tak zwane tereny zainwestowane zajmują łącznie ok. 4% omawianego obszaru, z czego 1,1% to działki zabudowane, a 2,4% – drogi (Mikuła, Nyk, 2005).

Warunki glebowe oraz klimatyczne (krótki okres wegetacji) powodują, że dominującym kierunkiem produkcyjnym na omawianym obszarze jest hodowla bydła, w tym zwłaszcza mlecznego.

Z powyższego opisu wynika, że omawiany obszar należy do terenów, na których antropopresja jest stosunkowo niska. Ponad połowę obszaru zajmują ekosystemy zbliżone do naturalnych (lasy), a znaczna część łąk i pastwisk podlega procesowi stopniowej renaturalizacji.

Na omawianym obszarze zlokalizowane są dwa rezerваты (Galica i Małga), a także obszary specjalnej ochrony ptaków Natura 2000: Puszcza Napiwodzko–Ramucka (PLB280007) oraz Dolina Omulwi i Płodownicy (PLB140005).

Rejon 4. Analizowany obszar jest słabo zurbanizowany i zaludniony. Blisko 70% powierzchni zajmują bory Puszczy Augustowskiej (sosna, świerk, olsa, grąd). W sposobie zagospodarowania części zachodniej przeważają pola uprawne, łąki i tereny zabudowy wiejskiej. Lasy występują szerokim pasem wzdłuż doliny Rospudy oraz w części wschodniej badanego obszaru. W obrębie Puszczy Augustowskiej do obszarów prawnie chronionych włączono Wigierski Park Narodowy, Obszary Chronionego Krajobrazu: Doliny Rospudy, Puszczy Augustowskiej i Jezior Augustowskich, Jezior Rajgrodzkich oraz rezerваты Jeziora Kalety i Stara Ruda. Na północ od jeziora Rospuda rozciąga się obszar specjalnej ochrony ptaków Natura 2000 – Puszcza Augustowska (PLB200002). Dolina Rospudy to jeden z najcenniejszych obszarów torfowiskowych w Polsce, tworzony m.in. przez torfowiska niskie i wysokie, przede wszystkim jednak przez przepływowe (soligeniczne) torfowiska przejściowe o naturalnych, niezaburzonych przez człowieka, stosunkach wodnych.

Na rozpatrywanym obszarze brak obiektów przemysłowej hodowli zwierząt i obszarów intensywnego użytkowania rolniczego. Większość gruntów ornych należy do rolników indywidualnych, przy czym przeważają gospodarstwa średniej wielkości. Zabudowa miejska z pełną infrastrukturą występuje jedynie w Augustowie i Raczkach. Siecią kanalizacji sanitarnej objęte są miejscowości: Augustów, Raczki, częściowo Dowspuda i Nowinka. Na pozostałych terenach ścieki sanitarne są bezpośrednio rozsączkowane w grunt lub gromadzone w zbiornikach, z których często przedostają się do gruntu i wód podziemnych (Bieleń, 2007; Hulboj, Dziewickiewicz, 2007).

Analizowany teren przecina bardzo uczęszczana droga krajowa nr 8 Białystok–Suwałki, droga krajowa nr 16 Olsztyn–Augustów, kilka mniejszych dróg o znaczeniu lokalnym oraz linia kolejowa Białystok–Suwałki.

Testowany obszar cechuje się niską antropopresją, przewagą naturalnych ekosystemów lądowych i wód powierzchniowych, silnie zależnych od wód podziemnych. To również jeden z ważniejszych ośrodków turystycznych Polski, przyciągający wielu turystów, z uwagi na wyjątkowe walory krajobrazowe, przyrodnicze i uzdrowiskowe, które umożliwiają uprawianie różnorodnych form turystyki.

3. CHARAKTERYSTYKA POZIOMÓW WODONOŚNYCH

Rejon 1. W geomorfologii omawianego terenu przeważa rozległa wysoczyzna morenowa zbudowana z glin zwałowych (Wysoczyzna Wełtyńska, Wzgórza Bukowe) oraz równina zastoiskowa zwana zastoiskiem pyrzyckim (zbudowana z iłłów i mułków warwowych). Przez obszar zastoiska przebiega równina jeziorna z jeziorami Miedwie i Będgoszcz oraz doliny rzeki Krzewna i Płona. Na analizowanym terenie pierwszy poziom wodonośny związany jest z czwartorzędowymi utworami piaszczysto-żwirowymi poziomów nadglinowego (gruntowy, przypowierzchniowy) i międzyglinowego.

Przypowierzchniowy poziom wodonośny (nie będący GUPW) występuje w dolinach, oraz lokalnie na równinie i wysoczyźnie. Na równinie i w dolinach poziom ten występuje na głębokości od <1 do 10 m p.p.t. Zwierciadło wód podziemnych ma charakter swobody, lokalnie napięty, w miejscach występowania torfów i namulów. W zachodniej części obszaru w obrębie Wysoczyzny Wełtyńskiej wyróżniono jednostkę równinną wokół jeziora Wełtyńskiego oraz doliny rzeki Tywa i Omulna (Wełtyńska Struga). Na większości obszaru równiny zastoiskowej (zastoisko pyrzyckie) i jeziornej w okolicy jeziora Miedwie i Bydgoszcz pierwszy poziom wodonośny pełni rolę głównego użytkowego poziomu wodonośnego (Jeziński, Fuszara, 2005).

Na obszarze wysoczyzny morenowej pierwszy poziom wodonośny występuje w piaszczystych przewarstwieniach i soczewach poziomu międzyglinowego. Poziom ten na większości obszaru nie ma charakteru głównego użytkowego poziomu wodonośnego. Strop warstwy wodonośnej występuje na głębokości od <5 do 20 m p.p.t. Zwierciadło wody ma charakter napięty, jedynie w strefach krawędziowych wysoczyzny może być swobodne (Hoc, Fuszara, 2000).

W północnej i zachodniej części analizowanego obszaru wyróżniono jednostki o zróżnicowanych warunkach występowania PPW. W północnej części wody PPW występują na głębokości 2–20 m, w piaszczystych przewarstwieniach w obrębie utworów słabo wodonośnych i praktycznie niewodonośnych Wzgórz Bukowych. Na zachodzie obszar o zróżnicowanych warunkach występowania PPW został wyróżniony w utworach tworzących urozmaicone formy geomorfologiczne (pagórki kemowe, równiny erozyjne i torfowe). Strop warstwy wodonośnej występuje tu na głębokości od <5 do 10 m p.p.t.

Rejon 2. Wody podziemne występują w obrębie piętra czwartorzędowego oraz w utworach neogenu. Charakterystykę poziomów wodonośnych przedstawiono w nawiązaniu do występujących w obrębie obszaru badań głównych jednostek geomorfologicznych jakimi są dolina Wisły i wysoczyzna:

– Poziom dolinny, przypowierzchniowy będący głównym użytkowym poziomem wodonośnym występuje w obrębie piaszczystych osadów tarasów zalewowych i nadzalewowych oraz podścielających je starszych utworów wodnolodowcowych (interglacjał eemski). Charakteryzuje się zwierciadłem swobodnym, występującym przeważnie na głębokości 1–5 m p.p.t. Lokalnie łączy się z wodami poziomu neogeńskiego (Zambrzycka, 2002a).

– Dwa poziomy w obrębie wysoczyzny. Pierwszy, o nieciągłym rozprzestrzenieniu, związany jest z międzyglinowymi piaszczystymi seriami interstadiału zlodowacenia Wisły. Charakteryzuje się zwierciadłem napiętym, lokalnie swobodnym, przeważnie występuje na głębokości 5-10 m. W tym samym przedziale głębokości występują liczne poziomy zawieszane. Z uwagi na silnie drenujący charakter doliny Wisły jego zasięg jest mocno ograniczony. W rejonach, gdzie nie występuje poziom międzyglinowy pierwszy poziom wodonośny związany jest z podglinową serią piaszczysto-żwirową interglacjał eemskiego występującą na głębokości poniżej 50 m. Zwierciadło wody może mieć charakter swobodny lub napięty. Poziom ten pozostaje w bezpośrednim kontakcie z poziomem wodonośnym w dolinie Wisły.

Lokalnie, w rejonach braku poziomów piętra czwartorzędowego główny użytkowy poziom wodonośny i jednocześnie pierwszy stanowi poziom neogeński.

Rejon 3. Wytypowany obszar badań obejmuje tereny płaskiego rozległego sandru kurpiowskiego z lokalnymi wzniesieniami utworzonymi przez ostańce glin zwałowych stadiału głównego zlodowacenia Wisły. Na piaszczystych utworach wodnolodowcowych lokalnie występują nagromadzenia utworów organicznych; są to przeważnie torfy, namuły oraz piaski humusowe. Rozmieszczone są one równomiernie na omawianym obszarze i osiągają na ogół niewielką powierzchnię (max. 2,5 km²) przy miąższości od 0,5 do 2,0 m.

Na rozpatrywanym terenie występują dwa użytkowe poziomy wodonośne:

- przypowierzchniowy poziom wodonośny w wodnolodowcowych utworach piaszczystych z okresu zlodowaceń północnopolskich, powszechnie występujący i stanowiący jednocześnie pierwszy i główny użytkowy poziom wodonośny na przeważającej części obszaru,
- międzyglinowy poziom wodonośny, nieciągły, związany z osadami piaszczystymi zlodowaceń najstarszych, południowopolskich, interglacjału wielkiego i lokalnie zlodowaceń środkowopolskich, który w rejonie spadku miąższości pierwszego poziomu przejmuje rolę głównego poziomu użytkowego.

Zwierciadło wody pierwszego poziomu ma charakter swobodny i znajduje się w bezpośrednim kontakcie hydraulicznym z wodami powierzchniowymi. Występuje przeważnie na głębokości od 2 do 5 m p.p.t. w rozległych obniżeniach, w dolinach rzecznych zmniejsza się do 1–2 m oraz do <1m. W strefach, gdzie procesy eoliczne powierzchnię piasków sandrowych uformowały w wydmy, głębokość wzrasta do 10 m. Najgłębiej zwierciadło wody zalega w rejonie żwirowo-gliniastych wzniesień czołowomorenowych – ponad 20 m (Herbich, Nidental, 2006).

Rejon 4. Można wyróżnić tu dwie główne jednostki geomorfologiczne: polodowcową wysoczyznę morenową oraz powierzchnie sandrowe: sandru suwalsko–augustowskiego i sandru Rospudy. Formy te rozcięte są dolinami rzek, w tym największej – Rospudy. Na przeważającej części testowanego terenu główny użytkowy poziom wodonośny jest jednocześnie pierwszym poziomem od powierzchni terenu (Hulboj, 2005, 2005a).

Na znacznej części analizowanego obszaru wody podziemne pierwszego poziomu wodonośnego charakteryzują się swobodnym zwierciadłem i pozbawione są izolacji od powierzchni terenu. W rejonach podmokłości oraz wzdłuż linii brzegowych Rospudy, pierwszy poziom wodonośny występuje na głębokości do 1 m p.p.t. Na terenie równiny sandrowej występuje na głębokościach: <5 m i 5–10 m p.p.t., lokalnie dochodzących do 20 m. PPW budują głównie piaski i żwiry wodnolodowcowe, piaski rzeczne oraz torfy i mułki. W rejonie dolnego biegu Rospudy występują podmokłości, związane z występowaniem torfów, stanowiących naturalny zbiornik retencyjny, niezależny od sezonowych wahań wysokości opadów.

Na niewielkim obszarze (w części północno–zachodniej), w obrębie wysoczyzny pierwszy poziom wodonośny jest izolowany od powierzchni utworami słabo przepuszczalnymi o zmiennej miąższości, od kilku do >20 m. Budują go wodnolodowcowe piaski i żwiry, zwierciadło wody ma charakter napięty.

W zachodniej części wydzielono jednostkę PPW o silnie zróżnicowanych warunkach występowania i własnościach warstw wodonośnych. Ujęte studniami kopanymi wody podziemne występują na głębokości poniżej 5 m, w lokalnych spłaszczeniach, rezyduach glin, w przewarstwieniach lub soczewach piaszczystych w obrębie glin zwałowych.

4. CHEMIZM WÓD PIERWSZEGO POZIOMU WODONOŚNEGO

Rejon 1. Na większości omawianego obszaru wody PPW charakteryzują się średnią jakością (woda wymagająca uzdatniania). Jest to spowodowane powszechnie występującymi przekroczeniami dopuszczalnych dla wód do spożycia wartości żelaza, manganu (Schiewe, Wiśniowski, 2004). Wysokie stężenia organicznych form azotu (NO₃, NH₄), które zostały

stwierdzone w rejonie jeziora Miedwie spowodowały, że wody w okolicach miejscowości Żabów, Chabowo, Orzyń, Koszewo, Skalin zostały zakwalifikowane do wód o złej jakości (woda wymaga skomplikowanego uzdatniania).

Rejon 2. Wody pierwszego poziomu wodonośnego należą do wód typu wodorowęglanowo-wapniowego o odczynie słabo alkalicznym. Charakteryzują się średnią i niską jakością spowodowaną przede wszystkim występowaniem ponadnormatywnych ilości związków żelaza i manganu, a także związków azotowych (Chmielewska, 1997; Zambrzycka, 2002,2002a). W rejonie zakładów celulozowo-papierniczych w Świeciu stwierdzono trwałe zanieczyszczenie wód podziemnych związkami ...

Rejon 3. W południowej części sandru kurpiowskiego wody pierwszego poziomu wodonośnego należą do wód zwykłych (temp. od 10 do 18,7°C) o przewodności elektrolitycznej właściwej mieszczącej się w granicach od 209 do 970 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Charakteryzują się na ogół średnią jakością, głównie ze względu na przekroczenia dopuszczalnych dla wód do spożycia wartości żelaza i manganu, co jest często spotykane w płytko występujących poziomach wodonośnych. Brak podwyższonych wartości chlorków i siarczanów wskazuje na niewielki wpływ przemysłowych zanieczyszczeń na jakość wód podziemnych (Ćwiertniewska, 2002).

Rejon 4. Wody pierwszego poziomu wodonośnego charakteryzują się średnią jakością (klasa IIb – woda wymagająca uzdatniania), podwyższoną zawartością żelaza i manganu. Są to wody typu wodorowęglano-wapniowego i $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, miękkie lub średnio twarde, słabo zasadowe (Krawczyk, 2004; Oficjalska, Krawczyńska, 2004).

5. ZAWARTOŚĆ ZWIĄZKÓW AZOTU W WODACH PIERWSZEGO POZIOMU WODONOŚNEGO

Rozpoznanie stanu zanieczyszczenia płytkich systemów wód podziemnych związkami azotu w Polsce jest niezbędne nie tylko z uwagi na formalno-prawne zobowiązania wynikające z akcesji Polski z Unią Europejską, ale przede wszystkim z uwagi na konieczność ochrony tych wód, będących często źródłem zaopatrzenia ludności wiejskiej w wodę do picia (Witczak, 2006). Biorąc pod uwagę brak obowiązku badania jakości wody pitnej w studniach gospodarskich, wyznaczenie obszarów zanieczyszczonych bądź zagrożonych zanieczyszczeniem związkami azotu wód pierwszego poziomu wodonośnego jest działalnością priorytetową. W tabeli 2 podano graniczne wartości stężeń związków azotu w świetle aktów prawnych.

Tab.2. Graniczne wartości stężeń dla związków azotu.

	NO_3	NO_2		NH_4	
Jednostka	mg/dm^3				
Dopuszczalne wartości	50	0,05	0,5	0,5	0,5
Podstawa prawna	Rozp. Ministra Środowiska z dn. 23.12.2002 (Dz. U. Nr 241, poz. 2093)	Rozp. Ministra Środowiska* z dn. 11.02.2004 (Dz. U. Nr 32/2004 poz. 284)	Rozp. Ministra Zdrowia z dn. 29.03.2007 (Dz. U. Nr 417 poz. 417)	Rozp. Ministra Środowiska* z dn. 11.02.2004 (Dz. U. Nr 32/2004 poz. 284)	Rozp. Ministra Zdrowia z dn. 29.03.2007 (Dz. U. Nr 417 poz. 417)

* Rozporządzenie utraciło ważność z dniem 1.01.2005 r.

Rejon 1. Analizowany teren prawie w całości znajduje się w obrębie, wyznaczonego przez Dyrektora RZGW w Szczecinie, obszaru szczególnie narażonego na zanieczyszczenia wód powierzchniowych i podziemnych związkami azotu pochodzenia rolniczego (Wiśniowski, 2007) –

rys. 1. Obecność wysokich stężeń związków azotu w wodach podziemnych i powierzchniowych spowodowana jest długotrwałym prowadzeniem na tych terenach intensywnej gospodarki rolnej, na którą składa się hodowla zwierząt, niewłaściwe przechowywanie nawozów naturalnych oraz nawożenie użytków rolnych.

Występowanie w płytkich wodach podziemnych wartości związków azotu (NO_2 , NO_3 , NH_4) powyżej dopuszczalnych granic potwierdziły wykonane między 21–30 sierpnia 2007 r. analizy fizyko–chemiczne w 37 punktach dokumentacyjnych (33 studnie kopane, 4 piezometry). Badania wykazały, że wysokie i bardzo wysokie zawartości azotanów – od $59,5 \text{ mg/dm}^3$ do 565 mg/dm^3 , w znacznym stopniu związane są z ogniskami zanieczyszczeń na terenie zagród wiejskich oraz z rejonami rolniczymi, na których przedsiębiorstwa rolne stosują intensywne nawożenie rolnicze – od 93 do $388,4 \text{ mg/dm}^3$ (Hoc, 2007; Wiśniowski, 2007). We wschodniej części analizowanego terenu (okolice jeziora Miedwie) zanieczyszczenie związkami azotu PPW na obszarach użytków rolnych potwierdziły analizy wykonane w piezometrach sieci obserwacji wód podziemnych prowadzone przez ZWiK ze Szczecina pomiędzy miejscowościami Koszewo i Koszewko oraz IMUZ w zlewni Gowienicy Miedwiańskiej pomiędzy Wierzbnem a Reńskiem (Durkowski, Pawlik–Dobrowolski, 2004).

Analizy fizyko–chemiczne płytkich wód podziemnych wykonane w punktach położonych poza infrastrukturą wiejską wykazały, że wody te odznaczają się znacznie niższymi stężeniami azotanów (od $<0,1$ do $17,6 \text{ mg/dm}^3$). Może to świadczyć o ograniczonym rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń związanych z obszarami gospodarstw wiejskich. Potwierdza to monitoring prowadzony przez IMUZ obejmujący obserwacje w punktach położonych na linii przepływu wód podziemnych z obszarów wsi o zanieczyszczonych wodach PPW w kierunku strefy drenażu do jeziora Miedwie (Wiśniowski, 2007). Badania te wykazały szybki spadek zawartości azotanów w PPW od kilkudziesięciu lub kilkuset mg/dm^3 do poziomu tła hydrochemicznego na odcinku kilkudziesięciu lub stukilkudziesięciu metrów od ogniska zanieczyszczeń, co może być związane z szybką wymianą wód w strefie płytkiego drenażu przy brzegu jeziora Miedwie (Wiśniowski, 2007). Wyniki te jednak nie pozwalają na wykluczenie zanieczyszczenia płytkich wód podziemnych azotanami na obszarach między rejonami wsi.

Na omawianym terenie zawartości azotanów w płytkich wodach podziemnych kształtują się w przedziale od poniżej granicy oznaczalności ($<0,05 \text{ mg/dm}^3$) do $0,54 \text{ mg/dm}^3$. Tylko w jednym punkcie dokumentacyjnym (Chwarstnica) odnotowano wartość $9,14 \text{ mg/dm}^3$.

Wartości amoniaku (NH_4) w wodach PPW na większości omawianego terenu wynoszą od $0,17$ do $3,6 \text{ mg/dm}^3$, przy czym największe stężenia amoniaku w płytkich wodach podziemnych odnotowano na obszarach rolnych ($9,8 \text{ mg/dm}^3$) (Hoc, 2007; Wiśniowski, 2007). Wyniki analiz chemicznych wykazały że często wysokim stężeniom azotanów w wodach PPW towarzyszyły wysokie stężenia azotanów oraz amoniaku.

Przedstawione powyżej wyniki badań terenowych pokazują, że rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń związkami azotu w płytkich wodach podziemnych zależy nie tylko od budowy geologicznej ale także od specyfiki warunków hydrodynamicznych. Zanieczyszczenia mają tu charakter lokalny i ograniczają się do zabudowy wiejskiej oraz terenów intensywnie nawożonych. Duży wpływ na jakość wód podziemnych, zwłaszcza w zachodniej części terenu, ma także nieuporządkowana infrastruktura kanalizacyjna.

Rejon 2. Rozpoznanie stanu zanieczyszczenia płytkich wód podziemnych związkami azotu dokonano w oparciu o wyniki przeprowadzonego w okresie 9–21.07.2007 r. opróbowania 55 studzien kopanych i 2 źródeł (Dobkowska, 2007; Krawczyński, 2007; Oficjalska, 2007). W rejonach głębokiego występowania pierwszego poziomu wodonośnego wytypowane zostały studnie ujmujące wody poziomów zawieszonych. Analiza poszczególnych wskaźników została przeprowadzona dla wszystkich próbek łącznie. Z uwagi na odmienne warunki występowania pierwszego poziomu wodonośnego w obrębie doliny i wysoczyzny, dokonano również analizy porównawczej tych obszarów.

Amoniak (NH_4) występuje w niewielkich ilościach od poniżej zakresu oznaczalności ($<0,05 \text{ mg/dm}^3$) do $1,711 \text{ mg/dm}^3$, w jednym punkcie osiąga wartość $4,046 \text{ mg/dm}^3$. Dopuszczalne zawartości amoniaku zostały przekroczone w 8 punktach opróbowania, co stanowi 14% wszystkich oznaczeń.

Azotyny (NO_2) występują w przedziale od poniżej zakresu oznaczalności ($<0,01 \text{ mg/dm}^3$) do $0,748 \text{ mg/dm}^3$, w jednym punkcie odnotowano wartość $1,692 \text{ mg/dm}^3$. Wartości graniczne stężeń azotynów zostały przekroczone w 10 punktach opróbowania, co stanowi 17,4% wszystkich analiz.

Azotany (NO_3) występują w przedziale od poniżej zakresu oznaczalności ($<0,1 \text{ mg/dm}^3$) do $148,5 \text{ mg/dm}^3$. Dopuszczalne wartości zostały przekroczone w 22 punktach co stanowi 38,6% wszystkich analiz.

Występowanie przekroczeń azotynów i amoniaku nie zaznacza się obszarowo. Podwyższone stężenia stanowią niewielki procent wszystkich wyników i łączyć je należy z wpływem lokalnych ognisk zanieczyszczeń w obszarach osadnictwa wiejskiego.

W obrębie obszaru wysoczyznowego procentowy udział analiz o zawartości azotanów powyżej 50 mg/dm^3 wynosi 53%, a dolinnego 35%. W obrębie wysoczyzny występuje więcej niż w dolinie punktów opróbowania z zawartością azotanów $>100 \text{ mg/dm}^3$, co może być spowodowane utrudnionym przepływem wód w obrębie płytko występujących poziomów o nieciągłym charakterze sprzyjającym koncentracji zanieczyszczeń.

Powszechnie występujące przekroczenia dopuszczalnych zawartości związków azotu należy łączyć nie tylko z lokalnymi ogniskami zanieczyszczeń ale również z nawożeniem upraw rolnych. W granicach omawianego terenu znajdują się dwa fragmenty wydzielonych Rozporządzeniem nr 2/2003 Dyrektora RZGW w Gdańsku obszarów szczególnie narażonych na zanieczyszczenie związkami azotu (Krawczyński, 2007, Oficjalska, 2007) – rys. 1. Potwierdziły to badania płytkich wód podziemnych we wschodniej części analizowanego terenu, gdzie na 9 opróbowanych studni w 5–ciu stwierdzono wartości azotanów powyżej 50 mg/dm^3 a w jednej wartość podwyższoną – powyżej 25 mg/dm^3 . Wysokie wartości azotanów w wymienionych punktach dokumentacyjnych pozwoliły na przestrzenną interpretację zanieczyszczenia wód podziemnych azotanami. W drugim obszarze nie dysponowano odpowiednią liczbą oznaczeń do przeprowadzenia analizy przestrzennej.

Analiza wyników wykazała, że azotyny i amoniak w ilościach ponadnormatywnych występują lokalnie. Przekroczenia azotanów są znaczne, najprawdopodobniej pochodzenia rolniczego, choć część mogą być związane z lokalnymi ogniskami zanieczyszczeń spowodowanymi nieuporządkowaną gospodarką wodno–ściekową w obrębie gospodarstw wiejskich oraz niewłaściwym przechowywaniem nawozów.

Rejon 3. Celem rozpoznania stanu zanieczyszczenia płytkich systemów wód podziemnych związkami azotu na omawianym obszarze w okresie od 2 do 6 lipca 2007 r. opróbowano pierwszy poziom wodonośny w 27 punktach dokumentacyjnych (25 studniach kopanych i 2 płytkich sondach penetracyjnych). Wyniki przeprowadzonych prac wykazują punktowe, nierównomiernie rozłożone miejsca przekroczeń dopuszczalnych wartości stężeń poszczególnych form azotu. Z uwagi na rolniczy charakter zagospodarowania terenu na obszarach nawożenia rolniczego należało się spodziewać stref o podwyższonych wartościach badanych wskaźników, co jednak nie znalazło odzwierciedlenia w wynikach badań.

Dopuszczalna zawartość azotynów (NO_2) w wodach podziemnych wynosi $0,05 \text{ mg/dm}^3$. Normy te, na omawianym terenie, zostały przekroczone w 10 punktach opróbowania, przy maksymalnej wartości $0,32 \text{ mg/dm}^3$. Średnia wartość dla całego obszaru wynosi $0,066 \text{ mg/dm}^3$, co nie odpowiada dopuszczalnym wartościom granicznym.

Amoniak (NH_4) w badanych wodach PPW występuje w niewielkich ilościach: od poniżej zakresu oznaczalności ($<0,05 \text{ mg/dm}^3$) do $1,18 \text{ mg/dm}^3$.

Wartości stężeń azotanów (NO_3) w wodach pierwszego poziomu wodonośnego na omawianym obszarze kształtują się w przedziale od $0,11$ do $110,5 \text{ mg/dm}^3$. W czterech punktach dokumentacyjnych zawartość azotanów przekracza dopuszczalną wartość graniczną, która wynosi

50 mg/dm³. Biorąc pod uwagę brak widocznych ognisk zanieczyszczeń w najbliższym otoczeniu punktów, w których stwierdzono ponadnormatywne wartości stężeń azotanów można przypuszczać, że źródłem skażenia są zanieczyszczenia bytowe lub odzwierzęce.

Brak izolacji od powierzchni terenu, słaba infrastruktura kanalizacyjna oraz nieuporządkowana gospodarka odpadami sprawiają, że płytkie systemy wód podziemnych narażone są na zanieczyszczenia, głównie o charakterze lokalnym. Słuszność tego wniosku podkreśla nierównomierne rozmieszczenie przekroczeń wskaźników jakości wód podziemnych. Punktowe zanieczyszczenia azotanami mogą być wynikiem źle przechowywanych nawozów naturalnych, nieszczelnych zbiorników do gromadzenia nieczystości i płynnych odchodów zwierzęcych.

Rejon 4. Gospodarskie studnie kopane wytypowane do badań jakości wód pierwszego poziomu wodonośnego, w tym związków azotu, zlokalizowane były przeważnie w pobliżu budynków mieszkalnych lub w obrębie siedlisk indywidualnych gospodarstw rolnych. Łącznie przebadano wody z 49 studni kopanych i 2 sond okrężnych (35 prób pobrano z poziomu występującego na obszarze doliny i równiny sandrowej, 16 – z poziomów wodonośnych występujących w obrębie polodowcowej wysoczyzny morenowej).

Azotany (NO₃) występują w przedziale od ilości śladowych (<0,1mg/dm³) do 136,6 mg/dm³, przy czym ponad 60% wyników oznaczeń azotanów występuje w przedziale od <0,1 do 50 mg/dm³. Średnia wartość stężenia azotanów dla całego obszaru wynosi 40,5 mg/dm³. Pomimo opróbowania studni, które znajdują się poza obszarami wpływu lokalnych, widocznych ognisk zanieczyszczeń (np. miejsc składowania obornika, chlewni lub obór, itp.), w połowie badanych otworów stwierdzono zawartość azotanów powyżej 25 mg/dm³, z czego w 39,2% przypadków wody pierwszego poziomu zanieczyszczone są azotanami (>50 mg/dm³), a w 11,8% – zagrożone zanieczyszczeniem azotanami (25<NO₃<50 mg/dm³). Procentowy udział analiz o zawartości azotanów >50 mg/dm³ wynosi: w obrębie wysoczyzny 68,8%, natomiast w dolinie i na obszarze równiny sandrowej – 25,7%.

Na testowanym obszarze brak obiektów hodowli zwierząt na skalę przemysłową oraz obszarów intensywnego użytkowania rolniczego, istniejące gospodarstwa rolne są średniej wielkości. Stan sanitarny badanych gospodarskich studni kopanych i ich najbliższego otoczenia był dobry – nie wskazywał na możliwość istnienia zanieczyszczeń azotanami (Hulboj, Dziewickiewicz, 2007). Większość przekroczeń zaobserwowano w części zachodniej testowanego obszaru, gdzie pola uprawne i tereny zabudowy wiejskiej, przeważają nad lasami i nieużytkami. Niską zawartością azotanów charakteryzują się natomiast wody pobrane z sondowań penetracyjnych, pobranych ze studni w opuszczonych gospodarstwach (Hulboj, Dziewickiewicz, 2007) oraz w studniach zlokalizowanych w obrębie Puszczy Augustowskiej (Bieleń, 2007). Może to świadczyć o tym, że zanieczyszczenie azotanami jest lokalne i związane z nieuregulowaną gospodarką ściekową w obrębie poszczególnych gospodarstw, może jednakże występować w najbliższym sąsiedztwie na terenach z zabudową wiejską.

Z azotanami współwystępują azotyny (NO₂) w ilościach kilkaset do kilku tysięcy razy mniejszej. W 33,3% badanych punktów, stężenia azotynów są większe od dopuszczalnych dla spożycia przez ludzi (0,05 mg/dm³), przy średniej wartości stężenia 0,071 mg/dm³. Ponad 40% wyników oznaczeń mieści się w przedziale 0–0,02 mg/dm³. Rozkład stwierdzonych zanieczyszczeń ma charakter mozaikowy, w części zachodniej często współwystępują z przekroczeniami azotanów. Procentowy udział analiz o zawartości azotynów >0,05 mg/dm³ na obszarze wysoczyzny, w dolinie i na równinie sandrowej kształtuje się podobnie i wynosi odpowiednio: 37,5% i 31,4%.

Amoniak (NH₄) występuje w ilościach od wartości progowych (<0,05 mg/dm³) do 1,581 mg/dm³ – średnie stężenie wynosi 0,18 mg/dm³. Zawartości NH₄ w stężeniach przewyższających dopuszczalne dla wód pitnych (0,5 mg/dm³) stwierdzono w zaledwie dwóch studniach, zlokalizowanych na obszarze równiny sandrowej – w obu przypadkach są to stężenia w wysokości ponad 1,5 mg/dm³ – wskazują na istnienie bliskich i świeżych ognisk zanieczyszczeń. Pozostałe oznaczenia nie przekraczają 0,25 mg/dm³.

Podczas prac terenowych (Bieleń, 2007, Hulboj, Dziewickiewicz, 2007) nie stwierdzono stosowania gnojowicy do nawożenia pól. Występowanie podwyższonych zawartości związków azotu w wodach pierwszego poziomu wodonośnego jest najprawdopodobniej związane z nieuregulowaną gospodarką ściekową, niewłaściwym postępowaniem z nieczystościami, czego efektem jest infiltracja do wód PPW zanieczyszczeń bytowo-gospodarczych z pobliskich gospodarstw. Zanieczyszczenia te mają charakter punktowy i ograniczają się do terenów o zabudowie typowo wiejskiej. Płytko występujący, pozbawiony izolacji (lokalnie izolowany słabo przepuszczalnymi glinami) pierwszy poziom wodonośny, zasilany jest głównie w wyniku bezpośredniej infiltracji z powierzchni terenu, co znacznie obniża odporność wód na zanieczyszczenia pochodzenia rolniczego.

PODSUMOWANIE

Podstawowymi potencjalnymi ogniskami zanieczyszczeń wód powierzchniowych i podziemnych na rozpatrywanych obszarach są nieuporządkowana gospodarka ściekowa i rolnictwo. Szczególne zagrożenie stanowią zanieczyszczenia organiczne, bakteriologiczne i biogeny z nieszczelnych szamb, ścieków bytowych wywożonych na pola, gnojowicy oraz innych nawozów organicznych i nieorganicznych, a także intensywne hodowla będąca źródłem zanieczyszczeń związkami azotu i fosforu. Intensywne nawożenie pól stanowi potencjalne obszarowe zagrożenie dla jakości płytkich wód podziemnych. Dlatego też niezwykle istotne jest przestrzeganie konkretnych zasad gwarantujących, że nie dojdzie do przenawożenia i w związku z tym do iniekcji dużych stężeń związków azotu i fosforu do wód podziemnych. Dokładne wskazania dotyczące dopuszczalnych dawek, stężeń oraz nawożonego arealu są zawarte w ustawie o nawozach i nawożeniu z dnia 26.07.2000 r. (Dz.U.Nr 89 z 2000 r., poz. 991) oraz w „Kodeksie Dobrej Praktyki Rolniczej”.

Wytypowane tereny badań w Polsce północno-zachodniej (poligony badawcze nr 1, 2), należą do obszarów o wysokim stopniu antropopresji. Dobre warunki klimatyczne, a przede wszystkim występowanie wysokiej jakości gleb spowodowały, że tereny te już od XV w. podlegały ciągłym zmianom antropogenicznym (wycinanie lasów pod uprawę rolną, odwadnianie terenów). Wynikiem tego są nieodwracalne zmiany w środowisku przyrodniczym, a przede wszystkim degradacja środowiska wodnego. Przeprowadzone analizy fizyko-chemiczne płytkich wód podziemnych wykazały, że wody na większości testowanych obszarów są zanieczyszczone bądź narażone na zanieczyszczenie organicznymi związkami azotu, co może być spowodowane prowadzeniem intensywnej gospodarki rolnej oraz w mniejszym stopniu nieuporządkowaną gospodarką wodno-ściekową. Stwierdzenie to nie jest jednoznaczne ze względu na małą liczbę oznaczeń, zwłaszcza na terenach poza zabudową wiejską. Zawartość związków azotu układa się w sposób zróżnicowany przestrzennie, co utrudnia ocenę stanu zanieczyszczeń.

Rozpatrywane obszary badań zlokalizowane w Polsce północno-wschodniej (poligony badawcze nr 3 i 4) cechuje niska presja antropogeniczna, ponad połowę powierzchni zajmują ekosystemy zbliżone do naturalnych. Na analizowanych terenach brak obszarów intensywnego użytkowania rolniczego, które mogłyby wpływać na zanieczyszczenie wód pierwszego poziomu wodonośnego związkami azotu pochodzenia rolniczego. Wpływ gospodarki rolnej prowadzonej na testowanych obszarach na zawartość związków azotu w wodach podziemnych PPW jest niewielki i ogranicza się do terenów o zabudowie typowo wiejskiej. Zanieczyszczenie różnymi formami azotu występuje lokalnie, związane jest z nieuregulowaną gospodarką ściekową w obrębie poszczególnych gospodarstw. Dotychczasowe badania nie dokumentują obszarowych zanieczyszczeń związkami azotu wód pierwszego poziomu wodonośnego rejonów Równiny Kurpiowskiej i Równiny Augustowskiej.

Wytypowane do analizy reprezentatywne obszary warunków występowania pierwszego poziomu wodonośnego na obszarach o różnym stopniu presji antropogenicznej pozwoliły

prześledzić stopień przekształcenia chemizmu wód podziemnych, a w szczególności zagrożenia odrolniczym zanieczyszczeniem związkami azotu. Rosnący zasięg sieci wodociągowej, któremu nie towarzyszy rozbudowa kanalizacji sanitarnej stanowi także istotne zagrożenie dla jakości wód pierwszego poziomu wodonośnego na obszarach osadnictwa wiejskiego.

LITERATURA:

1. Bieleń R., 2007 – *Baza danych GIS mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”*, arkusz Augustów Stacja (148). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
2. Chmielowska U., 2002 – *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Rudnik (244)*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
3. Ćwiertniewska Z., 2002 – *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Wielbark (253)*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
4. Dobkowska A., 2007 – *Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”*, arkusz Chełmno (243). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
5. Dyrektywa 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu.
6. Dyrektywa Rady z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego.
7. Herbich P. z Zespołem Koordynacyjnym MhP, 2004 – *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, udostępnianie, weryfikacja, aktualizacja i rozwój. Instrukcja*, MŚ-PIG, Warszawa.
8. Herbich P., Nidental M., 2006 – *Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika”*, arkusz Wielbark (253). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
9. Hulboj A., 2005 – *Baza danych GIS mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika”*, arkusz Augustów (147). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
10. Hulboj A., 2005a – *Baza danych GIS mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika”*, arkusz Augustów Stacja (148). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
11. Hulboj A., Dziewiczkiwicz E., 2007 – *Baza danych GIS mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”*, arkusz Augustów (147). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
12. Hoc R., Fuszara P., 2000 – *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Żeliszawiec (266)* Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
13. Hoc R., 2007 – *Baza danych GIS mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”*, arkusz Żeliszawiec (266). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
14. Jezierski P., Fuszara P., 2005 – *Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika”*, arkusz Żeliszawiec (266). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
15. Kondracki J., 2002 – *Geografia regionalna Polski*, PWN, Warszawa.
16. Krawczyk J., 2004 – *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Augustów Stacja (148)*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
17. Krawczyński J., 2005 – *Baza danych GIS mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika”*, arkusz Unistaw (281). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

18. Krawczyński J., 2007 – *Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”*, arkusz Unistaw (281). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
19. Mapa Polski z obszarami szczególnie narażonymi, z których odpływ azotu ze źródeł rolniczych należy ograniczyć (http://www.mos.gov.pl/azotany/doc/mapa_osn.jpg).
20. Mikołajków J., 2005 – *Baza danych GIS mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika”*, arkusz Chełmno (243). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
21. Mikoła J., Nyk U., 2005 – Program ochrony środowiska Gminy Wielbark. (niepublikowane).
22. Oficjalska H., Krawczyńska B., 2004 – *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Augustów (147)*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
23. Oficjalska H., 2005 – *Baza danych GIS mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika”*, arkusz Grudziądz – Rudnik (244). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
24. Oficjalska H., 2007 – *Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”*, arkusz Grudziądz – Rudnik (244). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
25. Ramowa Dyrektywa Wodna: *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnoty Europejskiej 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 roku w sprawie ustanowienia ram działalności Wspólnoty w zakresie polityki wodnej*.
26. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenia związkami azotu ze źródeł rolniczych (Dz. U. Nr 241, poz. 2093).
27. 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 i prezentacji stanu tych wód. (Dz. U. Nr 32/2004 poz. 284).
28. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29.03.2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 61, poz. 417).
29. Schiewe M., Wiśniowski Z., 2004 – *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Stare Czarnowo (267)* Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
30. Schiewe M., Bącik A., Fuszara P., 2005 – *Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika”*, arkusz Stare Czarnowo (267). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
31. Witczak S., 2006 – *Ochrona jakości wód podziemnych w świetle dyrektyw UE*. [in:] Problemy związane z wprowadzaniem Ramowej Dyrektywy Wodnej, Częstochowa, 25–26 kwietnia 2006 r.
32. Wiśniowski Z., 2007 – *Baza danych GIS mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”*, arkusz Stare Czarnowo (267). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
33. Woźnicka M., Nidental M., 2007 – *Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”*, arkusz Wielbark (253). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
34. Zambrzycka M., 2002 – *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Unistaw (281)*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
35. Zambrzycka M., 2002a – *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Chełmno (243)*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.