

Zakład Hydrografii
UMCS w Lublinie

STANISŁAW CHMIEL, ZDZISŁAW MICHALCZYK,
MAREK TURCZYŃSKI

*Aktualny stan jakości wód podziemnych i powierzchniowych
Roztocza*

Current state of underground and surface Waters' qualities in Rostocze

WPROWADZENIE

Roztocze, położone między Wyżyną Lubelską i Kotliną Sandomierską, stanowi wąskie pasmo wzniesień, wyraźnie wyodrębniających się w hipsometrii międzyrzecza Wisły i Bugu. Obejmuje unikatowy w skali Europy teren wzgórz zbudowanych z utworów węglanowych, z charakterystycznymi zrównaniami wierzchowinowymi i ostańcami oraz krawędziami i głębokimi dolinami. Wzniesienie to, zajmujące w granicach Polski około 2100 km², ciągnie się łagodnym łukiem o długości 180 km w kierunku NW–SE, od okolic Kraśnika za Lwów na Ukrainie; rozdziela systemy wodne Wieprza i Bugu od północnego wschodu oraz Sanu i Dniestru od południowego zachodu. Jego szerokość zmienia się od 14 do 28 km. Położenie wododziałowe było podstawą słowotwórczą do nazwy regionu, bowiem gwarowe słowo „roztocz” oznacza rozlewisko czy dział wodny (Maruszczak, Wilgat 1956).

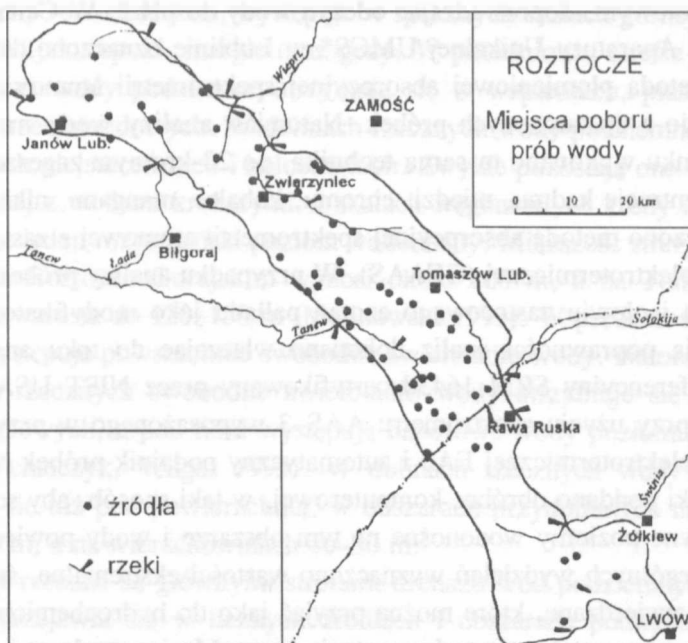
Pod względem hipsometrycznym Roztocze wyraźnie góruje nad sąsiednimi krainami, oddzielone jest od nich kilkudziesięciometrowymi krawędziami o założeniach tektonicznych. Jego wysokości maksymalne wznoszą się od 290 m w części zachodniej, przez 330–385 m w środkowej, do 390 m w polskiej części południowo-wschodniej, a w ukraińskiej do 414 m n.p.m. W podziałach fizjograficznych i geomorfologicznych wyróżnia się w obrębie polskiej części Roz-

tocza trzy subregiony: Roztocze Gorajskie (Zachodnie), Roztocze Tomaszowskie (Środkowe) i Rawskie (Południowe). W części zachodniej, pokrytej osadami lessu, charakter rzeźbie nadaje gęsta sieć dolin, w tym również młodych rozcięć erozyjnych – wąwozów. Wzniesienia Roztocza stanowią dział wodny II rzędu rozdzielający strumienie biorące początek z wydajnych źródeł drenujących zasobny roztoczański poziom wodonośny, które uchodzą do Wieprza, Bugu, Sanu i Sanny. Natomiast przez południowy skrawek Roztocza Lwowskiego przebiega europejski dział wodny (I rzędu), rozdzielający zlewiska Morza Bałtyckiego – dorzecze Wisły i Morza Czarnego – dorzecze Dniestru. Wspomniane cechy środowiska, przy stosunkowo słabej infrastrukturze przemysłowej, decydują o dużych walorach rekreacyjno-wypoczynkowych Roztocza. Wysokie walory środowiska przyrodniczego podkreślone zostały przez utworzenie Roztoczańskiego Parku Narodowego w polskiej części Roztocza i Rezerwatu Przyrodniczego Roztocze w części ukraińskiej. Ponadto na tym terenie istnieje kilka parków krajobrazowych i obszarów chronionego krajobrazu.

METODY BADAŃ

Materiały do opracowania cech fizyczno-chemicznych wód były zebrane w czasie badań prowadzonych w ramach międzynarodowego tematu „Program Roztocze”. W jego realizacji uczestniczyli ze strony polskiej Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, zaś z ukraińskiej Uniwersytet Leśno-Techniczny we Lwowie we współpracy z Uniwersytetem Iwana Franko. Głównym zadaniem programu było określenie stanu środowiska przyrodniczego, stopnia jego przekształcenia, ewidencji zagrożeń oraz wypracowania kierunków działań zmierzających do jego ochrony. Badania obejmowały trzy grupy tematyczne: inwentaryzacja obiektów przyrodniczych w celu utworzenia międzynarodowego rezerwatu biosfery, monitoringowe badania stanu przyrody oraz współczesne procesy przyrodnicze.

Monitoringowe badania środowiska Roztocza obejmowały (między innymi) ocenę cech jakościowych wód podziemnych i powierzchniowych. Materiały do analiz pobierano w sieci kwadratów o boku 8 km, nawiązującej do standardów międzynarodowego monitoringu środowiska. Z uwagi na niezwykle rzadką sieć rzeczną nie zawsze w wyznaczonych miejscach woda była dostępna. W takiej sytuacji próbki wody pobierano w miejscu jej najbliższego występowania. Badania jakości wód podziemnych i powierzchniowych, zarówno w części pol-



Ryc. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych
Situation of measurement points

skiej, jak i ukraińskiej, prowadzono w okresach letnich 1995 i 1996 roku. Cechy fizyczno-chemiczne wód podziemnych oceniono na podstawie 64 próbek pobranych ze źródeł, zaś wody powierzchniowe scharakteryzowano na podstawie 17 punktów zlokalizowanych na głównych rzekach (ryc. 1). Starano się ponadto, aby okresy poboru wody do analiz chemicznych miały zbliżone warunki hydrometeorologiczne (brak opadów, wysokie temperatury powietrza, zasilanie rzek wyłącznie z zasobów podziemnych). Taka sytuacja gwarantuje porównywalność wyników i ich reprezentatywność dla całego obszaru.

W miejscu pobrania próbki mierzono temperaturę wody, jej odczyn i przewodność elektrolityczną właściwą – miernikami firmy HACH. W laboratorium, zaraz po pobraniu wody, oznaczano spektrofotometrem HACH DR/2000 następujące parametry: azot amonowy, azotynowy i azotanowy, fosforany, siarczany. Fotometrycznie określano koncentracje chlorków, metodą proponowaną przez firmę Riedel-de Haen. Twardość ogólną wody oraz wapń oznaczano metodą wersenianową, zaś wodorowęglany kwasem solnym. Uzyskane wyniki pozwoliły na wyliczenie twardości węglanowej, która przy otrzymanych wartościach pH odpowiada zawartości wodorowęglanów, twardości niewęglanowej oraz koncentracji magnezu. Wodę do oznaczeń metali zakwaszono stężonym

kwasem azotowym, doprowadzając odczyn wody do pH 2. W Centralnym Laboratorium Aparatury Unikalnej UMCS* w Lublinie oznaczono: sód, potas i stront – metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej (FAAS), bezpośrednio z dostarczonych próbek. Natomiast analizy wody na zawartość żelaza i cynku wykonano tą samą techniką, po 20-krotnym zagęszczeniu próbek. Koncentracje kadmu, miedzi, chromu, kobaltu, manganu, niklu, ołowiu i glinu oznaczono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z zastosowaniem atomizacji elektrotermicznej (GFAAS). W przypadku analizy próbek na zawartość kadmu i ołowiu zastosowano azotan palladu jako modyfikator matrycy. Sprawdzenia poprawności analiz dokonano włączając do toku analitycznego materiał referencyjny SRM 1643d certyfikowany przez NIST USA. Pomiary wykonano przy użyciu spektrometru AAS-3 wyposażonego w przystawkę do atomizacji elektrotermicznej EA3 i automatyczny podajnik próbek MPE. Uzyskane wyniki poddano obróbce komputerowej, w taki sposób, aby scharakteryzować główne poziomy wodonośne na tym obszarze i wody powierzchniowe. Dla poszczególnych wydzieleni wyznaczono wartości ekstremalne, średnie oraz najczęściej stwierdzane, które można przyjąć jako tła hydrochemiczne. Zakres ten wyznaczony został przy wykorzystaniu uwag Macioszczykowej (1976) dotyczących określenia tła hydrochemicznego, specyfiki danego parametru oraz dokładności stosowanej metody oznaczenia. Wykorzystano także wskaźniki tła hydrochemicznego wyznaczonego dla Roztocza Rawskiego (Chodorowska-Kwiecień, Kawalec 1976) oraz dla całego Roztocza (Janiec 1994). Kartograficzny obraz zmienności przestrzennej badanych parametrów przedstawiono metodą interpolacji krigingowej programu SURFER. Wykorzystano przy tym znajomość warunków geochemicznych strefy aeracji oraz kierunków przepływu wód podziemnych. Dobór przedziałów interpolacyjnych nawiązywał do wartości tła hydrochemicznego poszczególnych poziomów wodonośnych.

ZARYS STOSUNKÓW WODNYCH I CZYNNIKÓW DECYDUJĄCYCH O JAKOŚCI WODY

Kształtowanie cech jakościowych wód podziemnych i rzecznych jest konsekwencją warunków naturalnych i antropogenicznych istniejących na drodze obiegu wody. Wody podziemne na obszarze Roztocza występują w skałach pochodzących z okresu kredy, trzeciorzędu i czwartorzędu. Główny poziom wodo-

* Oznaczenia wykonali dr R. Dobrowolski i dr L. Lata.

nośny, zwany roztoczańskim, występuje w spękanych skałach górnej kredy wykształconych jako opoki, margle oraz gezy. W południowej strefie krawędziowej Rostocza wody podziemne utrzymują się w wapieniach, piaskach i piaskowcach trzeciorzędowych. W dolinach rzecznych wody podziemne spotykane są w osadach plejstoceniowych i holoceniowych. Zwykle pozostają one w łączności hydraulicznej z wodami krążącymi w skałach węglanowych kredy i trzeciorzędu, tworząc jeden roztoczański poziom wodonośny. Miąższość strefy zawodnienia skał na Rostoczku Gorajskim wynosi około 100 m, a na Tomaszowskim i Rawskim wzrasta do 120–150 m (Malinowski 1993). W partiach wierzchwinowych występuje powszechnie swobodne zwierciadło wody. Natomiast w strefach dolin rzecznych swobodne zwierciadło wody utrzymuje się w osadach czwartorzędowych, a pod nimi występują naporowe wody poziomu roztoczańskiego (Michalczyk, Wilgat 1995). W dolinach rzecznych wody podziemne utrzymują się tuż pod powierzchnią, w obszarach przydolinnych na głębokościach 4–10 m, a na wierzchowinach 40–80 m.

Doliny rzeczne są głównymi strefami drenażu wód podziemnych, których obecność przejawia się w licznych źródłach i obszarach podmokłych. Są to również strefy największych przepływów wód podziemnych. Warunki te determinowane są dyslokacjami tektonicznymi, na których rozwinęły się doliny. Współczynniki filtracji w strefach dolin wynoszą kilkadziesiąt m/d, a w obszarach wierzchwinowych nie osiągają 1 m/d. Wydajności całkowite studni wierconych w dolinach rzecznych przekraczają 100 m³/h, podczas gdy na wierzchowinach zmniejszają się do kilku lub kilkunastu m³/h.

Lokalnie stwierdza się na wierzchowinach Rostocza płytkie występowanie wód w utworach czwartorzędowych. Na Rostoczku Gorajskim i Tomaszowskim są wody typu wierzchówek. Na Rostoczku Rawskim mogą to być również górne poziomy utrzymujące się w skałach kredy lub trzeciorzędu, których obecność podkreślają źródła o niewielkiej wydajności. Wody te wykorzystywane są na potrzeby gospodarstw rolnych (Wilgat, Michalczyk 1987).

Wody podziemne drenowane są przez źródła o różnej wydajności. Największe z nich drenują roztoczański poziom wodonośny. Ich wydajność przekracza 100 l/s: Zaporze w dorzeczu Poru – ok. 300 l/s, Stokowa Góra i Hutki w dorzeczu Wieprza – po ok. 150 l/s, Malinie i Abramów w dorzeczu Łady – 175 i 120 l/s, Lute i Wierzchowiska w dorzeczu Sanny – 150 i 125 l/s, Sołokije w dorzeczu Sołokiji – ok. 120 l/s oraz Świdry dorzecze Potoku Łosinieckiego – ok. 120 l/s. Wiele jest źródeł o wydajnościach kilkunastu i kilkadziesiąciu litrów na sekundę (l/s). Udział wody źródlanej w odpływie całkowitym kształtuje się na poziomie 40–50%, a w małych zlewniach wzrasta do 80–90%. Zwykle

źródła dają początek rzekom Roztocza, a strugi odprowadzające wody źródlane są jedynymi dopływami roztoczańskich rzek (Michalczyk 1986, 1996).

Na Roztoczu Środkowym i Południowym powierzchniowe formy występowania wody są niemal wyłącznie związane z dolinami rzecznyymi. Północny skłon Roztocza jest odwadniany przez Wieprz i Sołokiję płynące na kierunku NW–SE oraz WNW–ESE. Na sklonie południowym rzeki mają kierunek niemal prostopadły do głównej osi Roztocza. Na lessowym Roztoczu górne części dolin mają kilkudziesięciokilometrowe zlewnie bezwodne. Jedynie w strefach działów wodnych spotykane są naturalne i sztuczne zbiorniki typu sadzawek. Z tej części wody powierzchniowe zbierają rzeki: Biała Łada dopływ Tanwi, Biała dopływ Bukowej oraz Sanna uchodząca do Wisły. Położenie wododziałowe Roztocza sprawia, że rzeki i ich zlewnie są małe, w części południowej nie przekraczają 150 km². Zdecydowanie większe roztoczańskie zlewnie mają rzeki Por i górny Wieprz (do Szczepieszyna – 536 km²). Cechą charakterystyczną, obok małej liczby cieków, są niewielkie przepływy rzek, płynących zwykle w głęboko wciętych dolinach, na wielu odcinkach mających charakter przełomowy. W okresach bezopadowych jedynymi dopływami są krótkie strumienie odprowadzające wodę z podboczowych źródeł. Głównymi rzekami Roztocza są: Wieprz, który prowadzi w Zwierzyńcu 2,1 m³/s oraz Tanew z przepływem średnim w Osuchach 6,0 m³/s, zbierająca wody również z części Kotliny Sandomierskiej. Z dopływów tych rzek najwięcej wody prowadzi Por (uchodzący do Wieprza), zasilany po części z Roztocza, ze średnim przepływem w dolnym biegu 2,9 m³/s. Średni przepływ pozostałych roztoczańskich cieków nie osiąga 2 m³/s.

W ujęciu sezonowym i rocznym rzeki wykazują dużą stabilność odprowadzanej wody. Jest to efekt wysokiego zasilania wodami zasobnego poziomu kredowo-trzeciorzędowego, których udział przekracza 75% objętości odpływu, a w małych zlewniach nawet 85%. Podziemny odpływ jednostkowy na obszarze Roztocza wynosi około 4,5 l/s · km². Średni okres odnawialności wód podziemnych dostępnych dla drenażu rzeczno określono na 4,6 lat (Malinowski 1993). Całkowity odpływ jednostkowy utrzymuje się w granicach 5–7 l/s · km², przy średniej jego wartości 5,8 l/s · km². W tej wielkości z zasilania przez źródła pochodzi około 43% odpływu całkowitego rzek Roztocza, a z bezpośredniego drenażu korytowego około 36% odpływu (Michalczyk 1996). Zatem zasilanie podziemne pochodzące z zasilania źródłanego i bezpośredniego drenażu korytowego dostarcza prawie 80% średniego odpływu rzeczno. Pozostałe 20% dociera do rzek z bezpośredniego spływu powierzchniowego. Tak duży udział zasilania podziemnego decyduje o wyrównanym reżimie odpływu rzek

roztoczańskich. W ujęciu regionalnym wielkość odpływu jest zróżnicowana. Zlewnie na północnym skłonie Roztocza mają średni odpływ jednostkowy około $5 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$, natomiast na skłonie południowym ponad $6 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. Zróżnicowanie to wynika przede wszystkim z wielkości zasilania. Południowy skłon Roztocza ma zdecydowanie wyższe opady atmosferyczne niż część północna. Najwyższe odpływy występują w okresie splotu wód roztopowych, a najniższe na przełomie lata i jesieni. Na skłonie północnym Roztocza odpływ jednostkowy wynosi $5\text{--}6 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$, natomiast na skłonie południowym wzrasta do $6\text{--}8 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$.

Średnia roczna suma opadów na obszarze Roztocza wynosi 671 mm. Z tej wielkości, w procesie ewapotranspiracji wraca do atmosfery 470 mm. Natomiast rzeki roztoczańskie odprowadzają 182 mm wody, z tego 147 mm dopływa do nich z zasobów podziemnych, a 35 mm pochodzi ze splotu powierzchniowego (Michalczyk 1996). Ponadto około 19 mm wody odpływa drogą podziemną w sposób niekontrolowany. Jest to woda przemieszczająca się prawdopodobnie wzdłuż stref tektonicznych wyznaczających północną i południową granicę Roztocza.

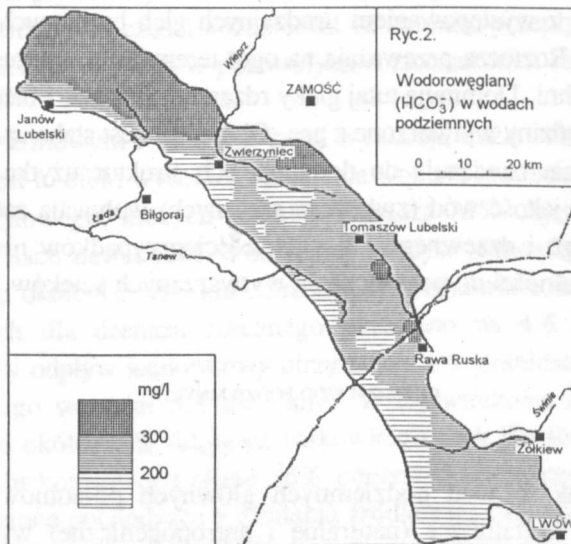
Istotne znaczenie dla przebiegu procesów kształtujących jakość wód ma użytkowanie gruntów, gdyż wpływa ono na charakter, ilość i formę dostarczanych zanieczyszczeń. Na obszarze Roztocza mamy dość wyraźnie zróżnicowaną strukturę użytkowania gruntów. Na Roztoczu Gorajskim grunty orne stanowią ponad $3/4$ ogólnej powierzchni. Intensywne rolnicze wykorzystanie tego terenu związane jest z występowaniem urodzajnych gleb brunatnych i płowych. Na pozostałej części Roztocza przeważają na ogół tereny leśne zajmujące ponad 50% ogólnej powierzchni. Dominują tutaj gleby rdzawe, bielcowe i bielice wytworzone z piasków oraz rędziny wytworzone z gez. Obszar ten jest słabo uprzemysłowiony, a istniejące gałęzie nawiązują do dominujących struktur użytkowania gruntów. Niekorzystnie na jakość wód (zwłaszcza rzecznych) wpływają zakłady przetwórstwa spożywczego i drzewnego. W większości przypadków nie posiadają one odpowiedniej zdolności do oczyszczania wytwarzanych ścieków.

CHEMIZM WÓD PODZIEMNYCH

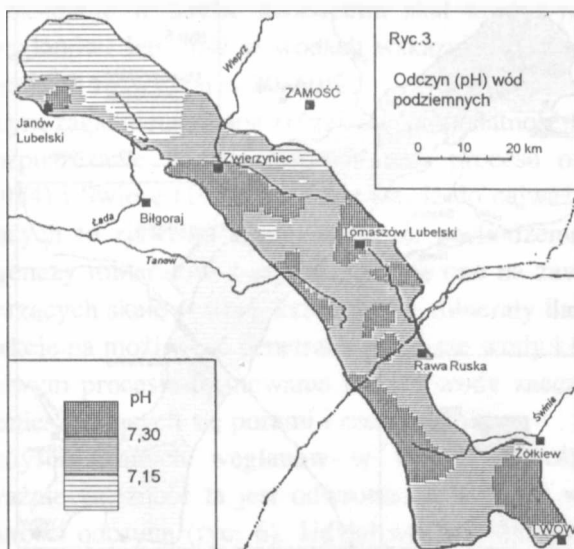
Oceniając jakość wód podziemnych głównych poziomów wodonośnych oraz procesy je kształtujące (naturalne i antropogeniczne) wyodrębniono na Roztoczu cztery układy o podobnych warunkach hydrodynamiczno-hydrochemicznych. Za podstawę przyjęto charakter strefy aeracji, określony przez jej

właściwości geochemiczne, zdolność do zahamowania przemieszczających się zanieczyszczeń do wód podziemnych oraz warunki infiltracji do strefy saturacji.

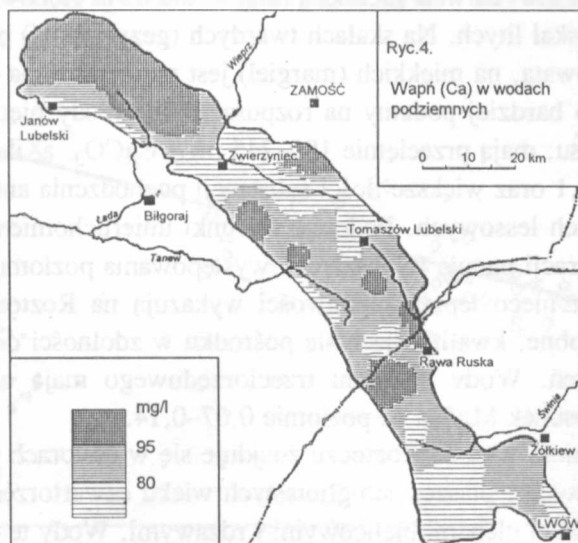
Wody podziemne na obszarze Roztocza cechuje prosty skład chemiczny wyznaczony przez zdysocjowane minerały węglanowe (ryc. 2, 3, 4, 5). W głównej mierze o ich ilości decyduje wykształcenie litologiczne utworów strefy aeracji. Na obszarze Roztocza Gorajskiego i częściowo na Roztoczu Środkowym zbliżone warunki kształtowania cech jakościowych wód głównego poziomu wodonośnego warunkuje pokrywa lessowa o miąższości do kilkunastu metrów, z glebami brunatnymi i płowymi. Ilość węglanów zawartych w wodzie mieści się w przedziale 245–330 mg/l CaCO_3 , przy stosunku równoważnikowym Mg/Ca przekraczającym 0,15. Dominującą rolę lessów na Roztoczu w procesach kształtowania naturalnych i antropogenicznych cech jakościowych wód podkreśla Janiec (1988, 1995, 1996). Autor ten wskazuje na podwyższone zdolności do dysocjacji minerałów węglanowych z utworów lessowych, sugeruje całkowite nasycenie nimi wód infiltrujących przez lessy oraz podkreśla możliwość unieruchamiania przez nie zanieczyszczeń. Dużą rolę w procesie zatrzymywania antropogenów należy przypisać także zdolnościom sorpcyjnym gleb. Strefę aeracji wód kredowych poza obszarem występowania lessów – najbardziej aktywną w procesie formowania jakości wód – stanowią utwory piaszczyste z glebami rdzawymi, biellicowymi i biellicami, węglanowe utwory gruzowe



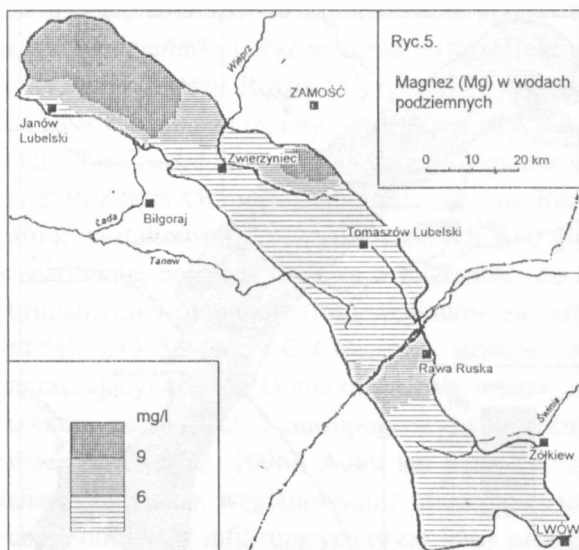
Ryc. 2. Wodorowęglany w wodach podziemnych
Hydrocarbonates content in underground waters (HCO_3^-).



Ryc. 3. Odczyn wód podziemnych
Reaction of underground waters (pH)



Ryc. 4. Wapń w wodach podziemnych
Calcium content in underground waters (Ca)



Ryc. 5. Magnez w wodach podziemnych
Magnesium content in underground waters (Mg)

z glebami typu rędzin oraz zwiertzelina skał litych. Wydaje się, iż główne procesy zmian jakościowych wód zachodzą tutaj w warstwie glebowej oraz w strefie zwiertzałych skał litych. Na skałach twardych (gezy, opoki) przeważa zwiertzelina gruzłkowata, na miękkich (margiel) jest scementowana i ma charakter ilasty – przez co bardziej podatny na rozpuszczanie. Wody piętra kredowego, bez nadkładu lessu, mają przeciętnie 180–245 mg/l CaCO_3 , a iloraz Mg/Ca na poziomie 0,05–0,1 oraz większe ilości substancji pochodzenia antropogenicznego niż w utworach lessowych. Podobne warunki unieruchomienia zanieczyszczeń w strefie aeracji panują w obszarach występowania poziomu trzeciorzędowego. Natomiast nieco lepsze możliwości wykazują na Roztoczu Gorajskim utwory lessopodobne, kwalifikujące się pośrednio w zdolności do zatrzymywania zanieczyszczeń. Wody poziomu trzeciorzędowego mają około 145–200 mg/l CaCO_3 i stosunek Mg/Ca na poziomie 0,07–0,14.

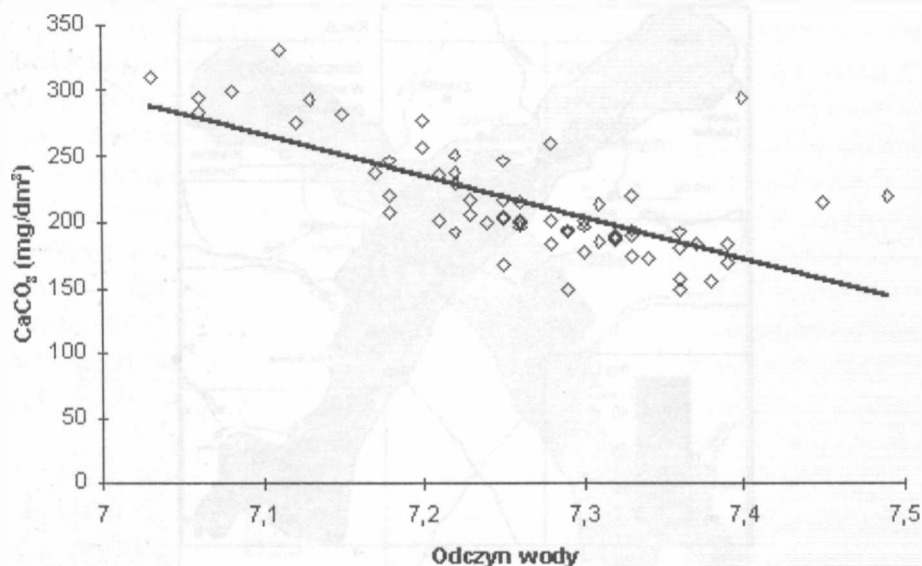
Odrębny poziom wód na Roztoczu znajduje się w utworach piaszczystych, piaszczysto-pylastych i piaszczysto-gliniastych wieku czwartorzędowego z wykształconymi na nich glebami bielcowymi i rdzawymi. Wody te odznaczają się najmniejszą ilością węglanów (poniżej 145 mg/l CaCO_3 i Mg/Ca poniżej 0,05) i zróżnicowaną zawartością substancji pochodzenia antropogenicznego. Występują poza obszarem lessowym, tworząc lokalnie mało zasobny poziom zawieszony. Przy dalszym przemieszczaniu się wód infiltracyjnych do poziomu roz-

toczańskiego, następuje w strefie zwietrzelin skał kredowych podwyższenie koncentracji węglanów. Ich ilość w wodach wskazuje, że docierając do litych skał nasycone są nimi zazwyczaj w 20–60%.

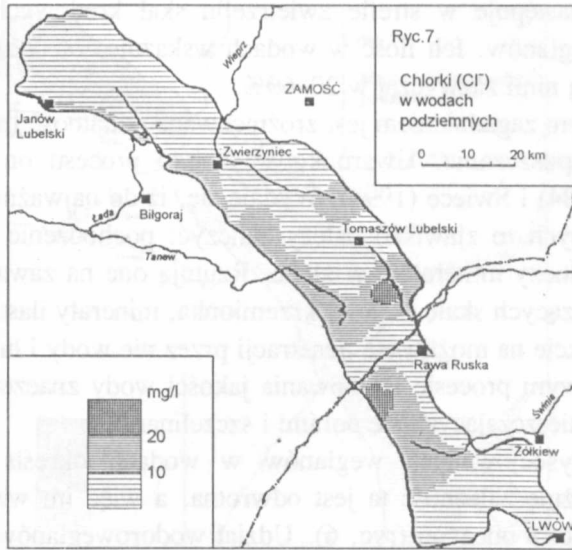
Interesującym zagadnieniem jest zróżnicowana podatność litych skał węglanowych na rozpuszczanie. Uwarunkowania tego procesu omówione zostały przez Jańca (1984) i Świecę (1994). Wydaje się, iż do najważniejszych czynników wywołujących to zjawisko należy zaliczyć: pochodzenie, warunki sedymentacji i diagenetyzacji minerałów w złożu. Rzutują one na zawartość głównych minerałów tworzących skałę (kalcyt, krzemionka, minerały ilaste) i ich scementowanie. W efekcie na możliwość penetracji przez nie wody i ługowania węglanów. W końcowym procesie formowania jakości wody znaczenie ma również ilość wód przemieszczających się porami i szczelinami.

Poziom zdysocjowanych węglanów w wodach określa odczyn wody (tab.1). Przeważnie zależność ta jest odwrotna, a więc im więcej węglanów, tym niższe wartości odczynu (ryc. 6). Udział wodorowęglanów wapnia i magnezu w mineralizacji całkowitej, wyliczonej z sumy jonów wynosi zazwyczaj w obszarze lessowym 90–95%, kredowym 80–90%, trzeciorzędowym 75–85% i czwartorzędowym poniżej 70%.

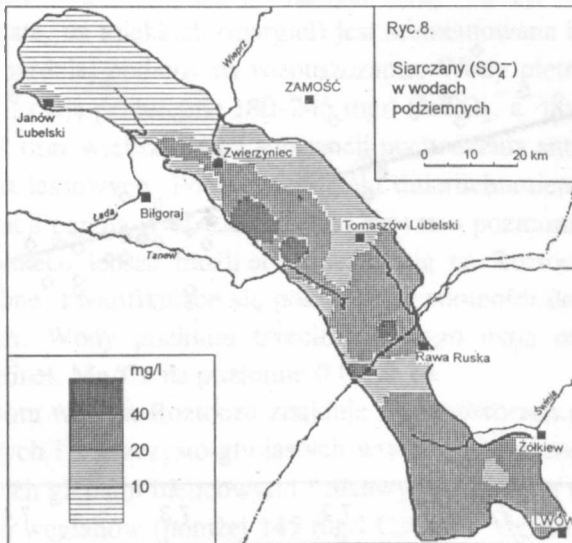
W wartościach bezwzględnych ilość niewęglanów, które określają poziom zanieczyszczenia wód, w obszarze lessowym wynosi przeważnie 10–30 mg/l, a



Ryc. 6. Związek między zawartością węglanu wapnia i odczynem wody
Relation between calcium carbonate content and the water reaction



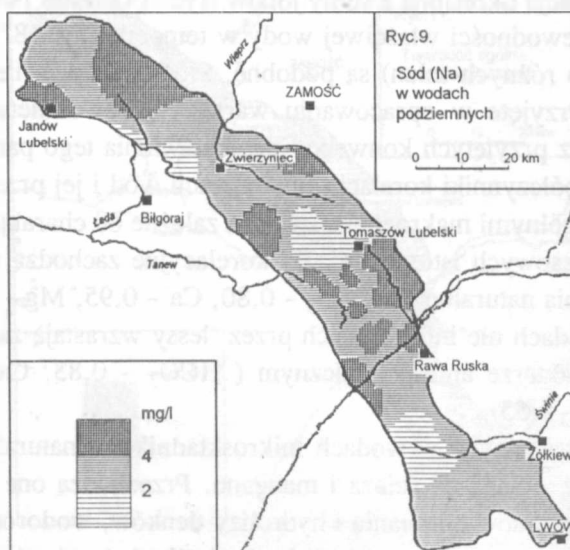
Ryc. 7. Chlorki w wodach podziemnych
Chlorides content in underground waters (Cl^-)



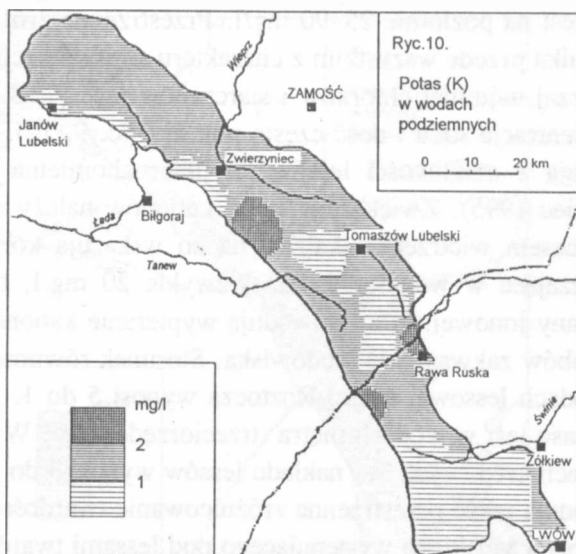
Ryc. 8. Siarczany w wodach podziemnych
Sulphates content in underground waters (SO_4^{2-})

na pozostałych jest na poziomie 25–90 mg/l. Przestrzenne zróżnicowanie tych parametrów wynika przede wszystkim z charakteru strefy aeracji. Tereny lessowe mają zazwyczaj najmniej chlorków i siarczanów (ryc. 7, 8), natomiast podwyższone koncentracje sodu i dość często potasu (ryc. 9, 10). Niskie stężenia anionów wynikają z możliwości lessów do unieruchomienia zanieczyszczeń (Bury 1991; Janiec 1995). Zwiększone ilości kationów należy wiązać prawdopodobnie z procesem wietrzenia skałeni, na co wskazują koncentracje krzemionki przekraczające w wodzie źródlanej zwykle 20 mg/l, bądź w wyniku procesów wymiany jonowej, które powodują wypieranie kationów zasadowych – jeden ze sposobów zakwaszenia środowiska. Stosunek równoważnikowy sodu do potasu w wodach lessowej części Roztocza wynosi 5 do 1. Podobny stosunek sodu do potasu jest w wodach piętra trzeciorzędowego. W wodach występujących w skałach kredowych bez nakładu lessów wynosi 3 do 1.

Lessy powodują także przestrzenne zróżnicowanie twardości wody. W wodach poziomu roztoczańskiego występującego pod lessami twardość węglanowa osiąga najwyższe wartości, a niewęglanowa najniższe (ryc. 11, 12). W obszarach, gdzie nie występują lessy, wzrasta udział twardości niewęglanowej. Cecha ta wywołana jest głównie jonami wapniowymi i siarczanowymi, udział chlorków jest zdecydowanie mniejszy (ryc. 13). Chlorki równoważone są głównie przez sól i potas, zaś magnez przez wodorowęglany. O ilości rozpuszczonych antropogenów decyduje także czas krążenia wód w podziemiu. W wodach



Ryc. 9. Sód w wodach podziemnych
Sodium content in underground waters (Na)



Ryc. 10. Potas w wodach podziemnych
Potassium content in underground waters (K)

głębszych najczęściej stwierdza się niższe wartości parametrów charakteryzujących zanieczyszczenia.

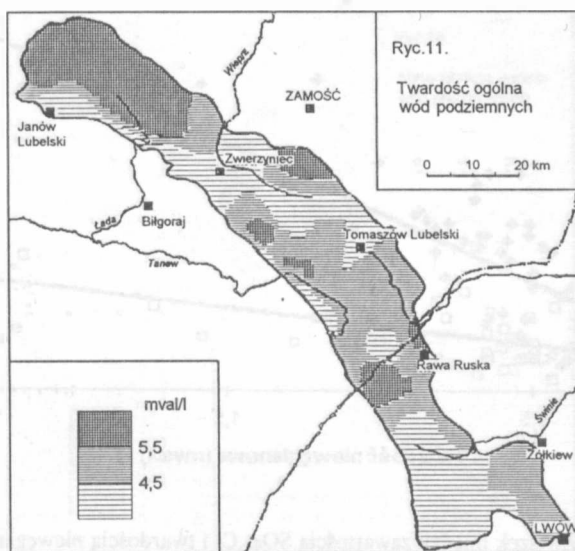
Ogólną miarą ilości zdysocjowanych substancji w wodach jest jej przewodność i mineralizacja określona z sumy jonów (ryc. 14). Przy porównywaniu sumy jonów i przewodności właściwej wody w temperaturze 18°C obie wartości liczbowe (mimo różnych mian) są podobne, zróżnicowanie nie przekracza zazwyczaj 3%. Przyjęte w opracowaniu wartości przewodnictwa wyrażone w 20°C wynikają z przyjętych konwencji przedstawiania tego parametru w opracowaniach. Współczynniki korelacji mineralizacji wód i jej przewodności właściwej z poszczególnymi makroelementami są zależne od charakteru środowiska. W obszarach lessowych istotne związki korelacyjne zachodzą tylko z parametrami pochodzenia naturalnego (HCO_3^- – 0,80, Ca – 0,95, Mg – 0,68, pozostałe < 0,32). W wodach nie infiltrujących przez lessy wzrastają zależności z parametrami o charakterze antropogenicznym (HCO_3^- – 0,83, Ca – 0,95, Mg – 0,56, Cl i SO_4 ~0,55).

Spośród oznaczanych w wodach mikrośladników, naturalne pochodzenie należy przypisać związkom żelaza i manganu. Przechodzą one do wody głównie w wyniku procesów utleniania i hydrolizy tlenków, wodorotlenków, węglanów, siarczków oraz wietrzenia krzemianów i glinokrzemianów. Lokalnie znaczną rolę mogą odgrywać procesy rozkładu substancji organicznej (Macioszczy-

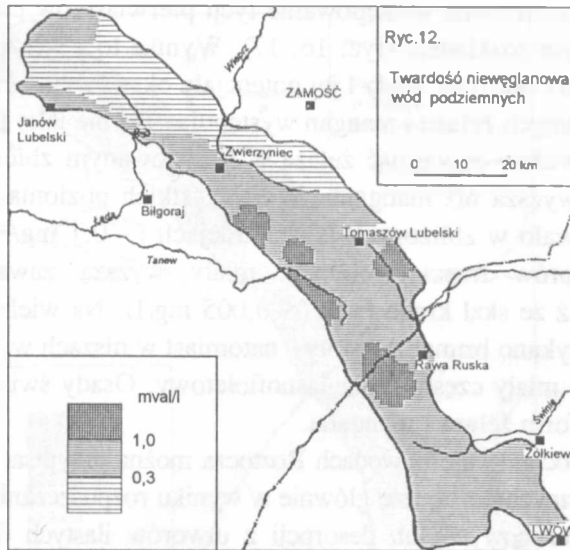
kowa 1987). Przestrzenne występowanie tych pierwiastków charakteryzuje się dość mozaikowym rozkładem (ryc. 16, 17). Wynika to z wrażliwości nawet na niewielkie zmiany odczynu wody i jej potencjału oksydacyjno-redukcyjnego. W wodach podziemnych żelazo i mangan występują głównie jako kationy dwuwartościowe. Przeważnie zawartość żelaza w analizowanym zbiorze danych była około 10 razy wyższa niż manganu. We wszystkich poziomach wodonośnych żelazo występowało w zbliżonych koncentracjach ($\sim 0,1$ mg/l). Wody wypływające z utworów trzeciorzędowych miały wyższą zawartość manganu ($\sim 0,01$ mg/l) niż ze skał kredowych ($\sim 0,005$ mg/l). Na wielu wypływach ascenzyjnych spotykano brunatne naloty, natomiast w niszach wypływów descenzyjnych namuły miały często kolor jasnofioletowy. Osady świadczą o wytrącaniu się z wody form żelaza i manganu.

Naturalne pochodzenie w wodach Roztocza można przypisać także strontowi. Do wód podziemnych dostaje się głównie w wyniku rozpuszczania minerałów węglanowych, siarczanowych lub desorpcji z utworów ilastych (Macioszczykowa 1987). W wodach migruje przede wszystkim jako kation dwuwartościowy. Stwierdzony został w wodach wypływających z utworów kredowych najczęściej na poziomie $0,25\text{--}0,5$ mg/l, zaś z trzeciorzędowych $0,15\text{--}0,2$ mg/l (ryc. 18).

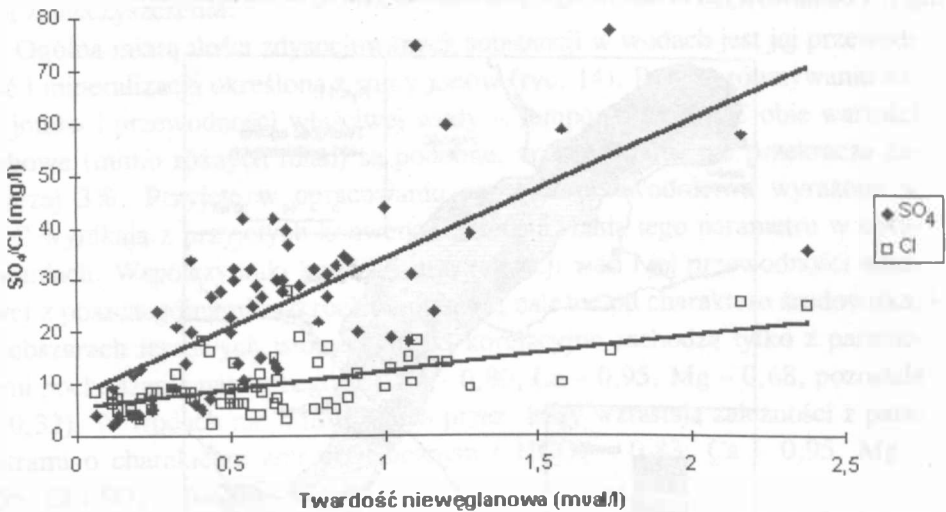
W wodach podziemnych Roztocza glin występuje na poziomie $0,03\text{--}0,7$ mg/l. Podstawowym źródłem tego pierwiastka jest hydroliza minerałów.



Ryc. 11. Twardość ogólna wód podziemnych
Total hardness of underground waters



Ryc. 12. Twardość niewęglanowa wód podziemnych
Non-carbonate hardness of underground waters

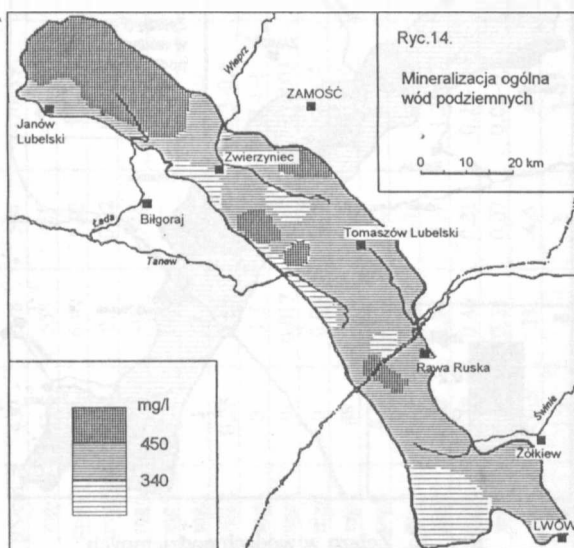


Ryc. 13. Związek między zawartością SO₄, Cl i twardością niewęglanową wód
Relation between sulphates and chlorides content and non-carbonate hardness of underground waters

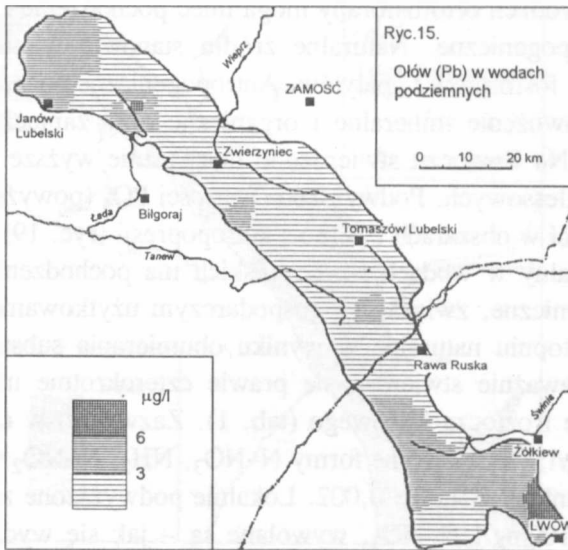
Obecne w wodach ortofosforany mogą mieć pochodzenie zarówno naturalne, jak i antropogeniczne. Naturalne źródło stanowią wietrzejące minerały głównie z grupy fosforytów i apatytów. Antropogeniczne pochodzenie wywołuje zazwyczaj nawożenie mineralne i organiczne oraz zanieczyszczone opady atmosferyczne. Na Roztoczu stwierdzono nieznacznie wyższe zawartości jonu w obszarach bezlessowych. Podwyższone wartości PO_4 (powyżej 0,5 mg/l) występowały na ogół w obszarach nasilonej antropopresji (ryc. 19).

Azot mineralny w wodach roztoczańskich ma pochodzenie przede wszystkim antropogeniczne, związane z gospodarczym użytkowaniem terenu, oraz w niewielkim stopniu naturalne w wyniku obumierania substancji roślinnej i zwierzęcej. Przeważnie stwierdza się prawie czterokrotnie niższe zawartości azotu w wodach Roztocza lessowego (tab. 1). Zazwyczaj w czystych wodach nie osiągał 2 mg/l. Poszczególne formy $N-NO_3$, NH_2 , $N-NO_2$ występują odpowiednio w stosunku 1 : 0,02 : 0,002. Lokalnie podwyższone zawartości azotów nawet do 10 mg/l $N-NO_3$, wywołane są – jak się wydaje – rolniczym użytkowaniem terenu.

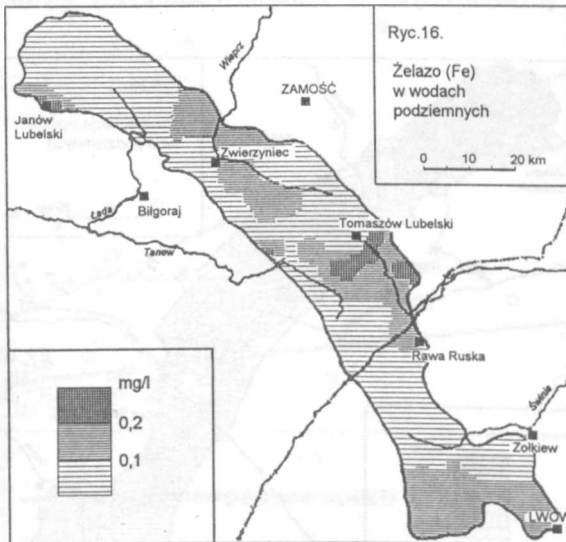
Występujące w wodach podziemnych metale ciężkie mogą mieć pochodzenie zarówno naturalne, jak i antropogeniczne. Rozdział genetyczny źródeł ich pochodzenia jest zadaniem trudnym i wymagającym dużych nakładów finansowych. Z badań prowadzonych w Europie Zachodniej wynika, iż ponad 3/4



Ryc. 14. Mineralizacja ogólna wód podziemnych
Total mineralisation of underground waters



Ryc. 15. Ołów w wodach podziemnych
Lead content in underground waters (Pb)



Ryc. 16. Żelazo w wodach podziemnych
Iron content in underground waters (Fe)

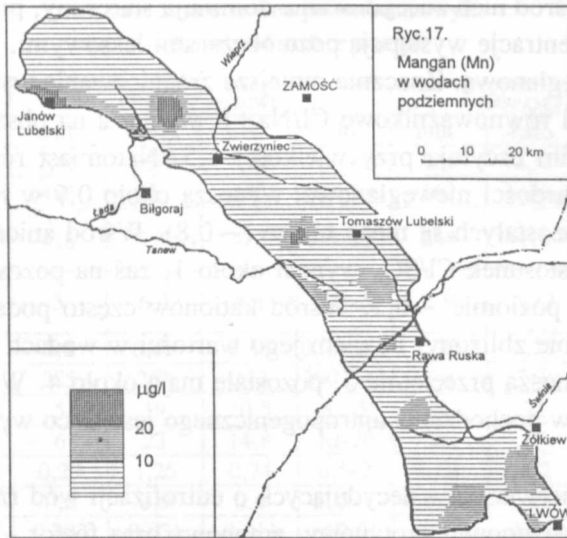
Tab. 1. Jakość wód podziemnych
Quality of underground waters

	Miano	Wody pietra kredowego z lessem w strefie aeracji					Wody pietra kredowego bezlesowego					Wody pietra trzeciorzędowego					
		min.	maks.	śred.	ilo	tl	min.	maks.	śred.	tl	tl	min.	maks.	śred.	tl	tl	
Temp.	°C	8,7	9,9	9,1	8,8-9,4	8,7	10,2	9,2	8,9-9,5	9	10,3	9,5	8,9-9,5	9	10,3	9,5	9,2-10
Odczyn		7	7,25	7,11	7-7,15	7,08	7,49	7,25	7,15-7,4	7,26	7,48	7,32	7,3-7,45	7,26	7,48	7,32	7,3-7,45
Przewod.	μS/cm	430	578	504	470-550	331	591	419	350-470	287	430	347	300-400	287	430	347	300-400
Mineral.	mg/l	414	558	487	450-530	319	570	403	340-460	293	440	334	290-390	293	440	334	290-390
Tw. ogół.	mval/l	5,08	6,99	5,93	5,5-6,5	3,87	6,88	4,98	4,2-5,5	3,46	6,08	4,21	3,5-4,5	3,46	6,08	4,21	3,5-4,5
Tw. tw.	mval/l	0,06	0,4	0,22	0,1-0,3	0,11	2,18	0,67	0,3-1	0,26	2,38	0,65	0,4-1,1	0,26	2,38	0,65	0,4-1,1
HCO ₃	mg/l	290	404	348	300-400	204	318	255	220-280	173	247	217	180-240	173	247	217	180-240
Cl	mg/l	3,2	18,4	7,7	5-10	3,4	28	10,3	5-20	2	25	12,2	10-20	2	25	12,2	10-20
SO ₄	mg/l	3	13,4	6,1	4-10	11	78	31	10-40	7	36	20	10-30	7	36	20	10-30
PO ₄	mg/l	0,25	0,68	0,38	0,3-0,5	0,16	0,82	0,42	0,25-0,6	0,12	1,26	0,38	0,25-0,5	0,12	1,26	0,38	0,25-0,5
N-NO ₃	mg/l	0	1,1	0,6	0,4-1	0,2	9,6	1,9	0,5-3	0,5	5,3	1,74	0,5-2	0,5	5,3	1,74	0,5-2
N-NO ₂	mg/l	0	0,017	0,002	<0,003	0	0,03	0,003	<0,01	0	0,022	<0,05		0	0,022	<0,05	
N-NH ₃	mg/l	0	0,06	0,02	<0,04	0	0,36	0,04	<0,1	0	0,07	0,02	<0,05	0	0,07	0,02	<0,05
Ca	mg/l	88	112	103	90-110	71	119	92	75-100	61	109	77	65-85	61	109	77	65-85
Mg	mg/l	8,3	14,2	10,1	8-14	2	9	4,6	3-6	3	8	4,4	3-5	3	8	4,4	3-5
Na	mg/l	3	5,32	4,13	3,5-4,5	1	11,6	3,24	1,5-5	1,6	5,07	3,33	2-4	1,6	5,07	3,33	2-4
K	mg/l	1,12	1,94	1,3	1,2-1,7	0,68	6,41	1,63	1-2,5	0,32	2,54	1,06	0,5-1,5	0,32	2,54	1,06	0,5-1,5
Sr	mg/l	0,18	0,46	0,31	0,25-0,4	0,15	0,62	0,33	0,2-0,5	0,11	0,24	0,19	0,15-0,2	0,11	0,24	0,19	0,15-0,2
Fe-og.	mg/l	0,01	0,23	0,07	0,02-0,1	0,02	0,56	0,11	0,05-0,2	0,02	0,28	0,09	0,02-0,15	0,02	0,28	0,09	0,02-0,15
Mn	μg/l	<0,3	33	4,6	<10	<0,3	94,2	5,7	<10	2,3	41,7	12,8	4-20	2,3	41,7	12,8	4-20
Pb	μg/l	1,2	8	3	1-5	0,4	7,5	2,2	1-3	0,4	5,3	2,3	1-3	0,4	5,3	2,3	1-3
Ni	μg/l	1,8	4,6	2,8	2-4	1,4	7,8	3,3	2-5	1,2	8,9	2,8	1-5	1,2	8,9	2,8	1-5
Zn	μg/l	<0,3	12	4,1	<5	<0,3	25	6,2	<10	<0,3	21	9,2	<15	<0,3	21	9,2	<15
Co	μg/l	<0,05	0,8	0,3	<0,5	<0,05	0,9	0,41	0,5	0,05	0,5	0,37	0,4	0,05	0,5	0,37	0,4
Cu	μg/l	<0,3	1,8	0,7	<1	<0,3	4,6	2,2	<3	<0,3	4	1,73	<2	<0,3	4	1,73	<2
Cr	μg/l	0,37	0,9	0,7	0,5-1	0,24	0,9	0,6	0,4-1	0,25	1,73	0,7	0,35-1	0,25	1,73	0,7	0,35-1
Cd	μg/l	<0,04	0,71	0,14	<0,3	<0,04	0,6	0,17	<0,3	<0,04	0,62	0,21	<0,4	<0,04	0,62	0,21	<0,4

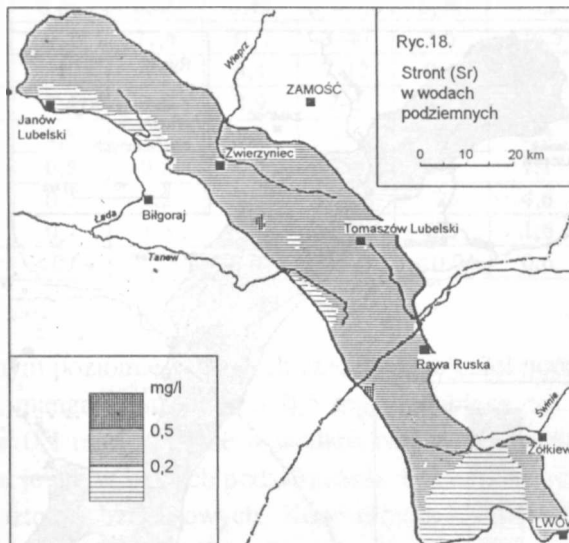
koncentracji metali ciężkich występujących w osadach rzecznych ma pochodzenie antropogeniczne (Świdarska-Bróż 1978). Natomiast ich naturalną obecność należy wiązać ze skłonnością, jaką wykazują niektóre metale ciężkie (Zn, Pb, Co, Ni, Cd, Sr) do osadzania się w skałach węglanowych (Smulikowski 1952). W występowaniu metali ciężkich w wodach roztoczańskich rysuje się pewna obszarowa prawidłowość. Prawie we wszystkich przypadkach nieco wyższe zawartości metali stwierdzano w wodach podziemnych nie izolowanych utworami lessu. Wyjątek stanowi ołów, którego jest najwięcej w wodach podlessowych. Zawartość niklu nie wykazuje związków z obecnością lessów. Ołów i nikiel mają zazwyczaj stężenia poniżej 0,005 mg/l. Pozostałe badane metale ciężkie nie osiągają z reguły 0,001 mg/l.

JAKOŚĆ WÓD POWIERZCHNIOWYCH

Ilość rozpuszczonych substancji w wodach rzecznych warunkowana jest czynnikami naturalnymi i antropogenicznymi. Najwyższa mineralizacja utrzymuje się w okresie wyłącznie zasilania gruntowego. Przeprowadzone badania charakteryzują właśnie taką sytuację hydrologiczną. Przestrzenny obraz zmienności cech fizyczno-chemicznych wód jest głównie efektem zróżnicowanej ilości rozpuszczonych węglanów w wodzie. Nawiązuje zatem do warunków naturalnych panujących w zlewniach. Na podstawie 17 punktów pomiarowych na 14 rzekach wyodrębniono dwa podstawowe zbiory o podobnych cechach jakościowych wód rzecznych (tab. 2). Pierwszy z nich związany jest z występowaniem w zlewni danej rzeki utworów lessu. Wody płynące pochodzą głównie ze zbiornika kredowego bądź kredowo-trzeciorzędowego (Roztocze Gorajskie). Drugi zbiór obejmuje rzeki zasilane przede wszystkim z utworów kredowych lub kredowo-trzeciorzędowych pozbawionych pokryw lessowych. Koncentracja rozpuszczonych węglanów w wodach rzecznych obszarów lessowych zawiera się najczęściej w przedziale 230–300 mg/l CaCO_3 , przy stosunku równoważnikowym Mg/Ca wynoszącym około 0,15. Wody obszarów bez pokrywy lessowej mają znacznie mniej węglanów (150–220 mg/l CaCO_3), a stosunek Mg/Ca wynosi przeciętnie 0,1. Odczyn wód rzecznych w zlewniach lessowych nie przekracza wartości 8,1, zaś na pozostałym obszarze 7,9. Udział produktów dysocjacji węglanów w mineralizacji całkowitej wód rzecznych obszarów lessowych kształtuje się na poziomie około 90%, natomiast w obszarach bezlessowych około 80%. Ilość substancji pochodzenia głównie antropogenicznego wynosi przeciętnie 50 mg/l w rzekach Roztocza Gorajskiego i 75 mg/l na pozosta-



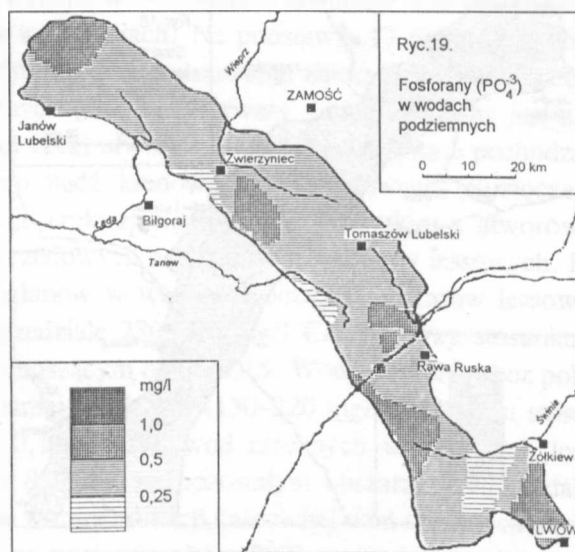
Ryc. 17. Mangan w wodach podziemnych
Manganese content in underground waters (mn)



Ryc. 18. Stront w wodach podziemnych
Stront content in underground waters (Sr)

łym obszarze. Wśród nich zdecydowanie dominują siarczany, przy czym znacznie wyższe koncentracje występują poza obszarami lessowymi. Podobnie jest z twardością niewęglanową. Znacznie mniejsze zróżnicowanie wykazują pozostałe jony. Stosunki równoważnikowe $Cl/Na+K$ wynoszą na obszarze lessowym około 1, poza nim oscylują przy wielkości 1,5. Natomiast równoważnikowe ilorazy SO_4 i twardości niewęglanowej wynoszą około 0,9 w rzekach obszaru lessowego, w pozostałych są nieco niższe ($\sim 0,8$). Wśród anionów, tam gdzie dominują lessy, stosunek Cl/SO_4 wynosi około 1, zaś na pozostałym obszarze kształtuje się na poziomie $\sim 0,5$. Wśród kationów często podawany stosunek Na/K jest do siebie zbliżony, bowiem jego wartości w wodach kontaktujących się z lessami wynoszą przeciętnie 5, pozostałe mają około 4. W wodach rzecznych udział jonów pochodzenia antropogenicznego jest nieco wyższy niż w wodach źródłanych.

Zawartość pierwiastków decydujących o eutrofizacji wód rzecznych określona przez azot azotanowy, azotynowy, amonowy oraz fosfor – występujący w formie ortofosforanów (PO_4) – wykazuje nieznacznie niższe wartości w obszarach lessowych niż w obszarach bezlessowych. Zauważa się ich wyższe koncentracje w rzekach, nad którymi istnieje zwarta zabudowa oraz są zlokalizowane zakłady przemysłowe.



Ryc. 19. Fosforany w wodach podziemnych
Phosphorides content in underground waters (PO_4^{3-})

Tab. 2. Jakość wód powierzchniowych
Quality of surface waters

Wskaźnik	Miano	Obszary lessowe				Obszary bezlessowe			
		min.	maks.	śred.	tło	min.	maks.	śred.	tło
Odczyn		7,65	8,09	7,93	7,8–8,1	7,59	8,32	7,78	7,6–7,9
Przewod.	μS/cm	433	555	490	460–540	262	430	376	330–400
Suma jonów	mg/l	418	539	472	440–520	248	418	361	300–380
Tw. ogół.	mval/l	5	6,2	5,5	5,2–6	2,9	5,12	4,43	3,7–4,7
Tw. nw.	mval/l	0,2	0,69	0,33	0,25–0,5	0,39	1,27	0,87	0,5–1
HCO ₃	mg/l	285	363	320	290–340	145	259	238	200–260
Cl	mg/l	5	19	10,5	8–15	4	21	14,1	10–20
SO ₄	mg/l	6	23	14,8	10–20	23	46	35	20–40
PO ₄	mg/l	0,29	1,26	0,74	0,5–2	0,07	5,2	0,84	0,4–1
N–NO ₃	mg/l	0,2	0,9	0,6	0,5–1	0,3	2	0,9	0,5–1,5
N–NO ₂	mg/l	0,003	0,031	0,011	<0,01	0,005	0,059	0,019	<0,02
N–NH ₃	mg/l	0,02	0,21	0,1	<0,15	0,03	0,9	0,24	<0,3
Ca	mg/l	83	113	96	85–110	50	94	80	65–85
Mg	mg/l	6	13	9,2	8–12	2	7	4,3	3–5
Na	mg/l	3,6	8,5	5,5	4–7	2	8,2	4,8	3–6
K	mg/l	0,65	3,26	1,81	1–2	0,93	3,8	1,97	1–3
Sr	mg/l	0,3	0,5	0,39	0,3–0,5	0,18	0,42	0,31	0,2–0,4
Fe–og.	mg/l	0,05	0,66	0,43	0,3–0,6	0,08	1,12	0,6	0,3–0,9
Mn	μg/l	0,6	71,4	31,7	3–40	3,6	126,5	42,9	10–100
Pb	μg/l	5	14	9,4	7–12	0,4	10,1	3,3	2–7
Ni	μg/l	2,4	7,8	3,9	2–5	2,1	10,5	6,1	3–9
Zn	μg/l	2,5	9	5,1	3–6	1	0,3	5,9	2–8
Co	μg/l	0,5	0,8	0,7	0,5–0,8	0,3	1,1	0,5	0,3–0,6
Cu	μg/l	0,2	1,2	0,9	0,5–1	2	4,6	3,2	2–4
Cr	μg/l	0,7	1,5	0,9	0,7–1	0,5	1,6	1	0,5–1,6
Cd	μg/l	<0,04	0,15	0,08	0,05–0,1	<0,04	0,6	0,15	<0,1

Na zbliżonym poziomie w wodach rzecznych w całej populacji danych występuje żelazo, mangan i stront (0,3–0,5 mg/l), mangan zaś osiąga zazwyczaj stężenia poniżej 0,1 mg/l. Obecne w wodach rzecznych metale ciężkie wykazują podobne relacje jak w wodach podziemnych. Oprócz ołowiu mają wyższe zawartości na Roztoczu bezlessowych. Koncentracje w wodach rzecznych są na ogół wyższe niż w wodach źródłanych.

PODSUMOWANIE

Wody podziemne i powierzchniowe na Roztoczu charakteryzują się prostym składem chemicznym określonym przez parę jonów $\text{HCO}_3\text{-Ca}$. Wody trzyjonowe stwierdza się sporadycznie – zwykle w obszarach nasilonej antropopresji, zazwyczaj mają one charakter $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$. Dominującą rolę węglanów podkreśla ich udział w mineralizacji ogólnej wynoszący przeciętnie 85%. Decydują one także o przestrzennym zróżnicowaniu takich parametrów, jak twardość, odczyn, przewodność. Powszechnie znany jest ich znaczny wpływ na ograniczenie migracji metali ciężkich. Zróżnicowanie rozpuszczania minerałów węglanowych wynika przede wszystkim z charakteru litologicznego skał, w których występują. Najwięcej węglanów zawierają wody kontaktujące się z lessami i utworami marglistymi, znacznie mniej z opokami, gezami, wapieniami. Wyształcenie litologiczne strefy aeracji rzutuje także na ilość przenikających do wód zanieczyszczeń. Tam gdzie występują utwory słabo przepuszczalne znacznie mniej jest substancji pochodzenia antropogenicznego. Na Roztoczu są to głównie lessy, które wraz z glebami wytworzonymi na nich stanowią dość skuteczną barierę ochronną – mimo iż stopień antropogenizacji środowiska jest znacznie wyższy niż na pozostałym obszarze. W wodach rzecznych stwierdza się powszechnie zmniejszanie zawartości węglanów (pochodzących z zasilania podziemnego) wraz z oddalaniem się od źródeł. Wynika to głównie z mieszania się wód różnych poziomów (czwartorzędowych, trzeciorzędowych i kredowych). Dobrą metodą oceny jakości wód rzecznych jest porównanie ich ze średnimi ważonymi cechami jakościowymi wód z odpływu źródłanego. Zawartość węglanów wapnia i magnezu była w wodach rzecznych i źródłanych bardzo zbliżona, podobnie strontu i azotanów. W przypadku pozostałych parametrów na ogół stężenia były wyższe w wodach rzecznych niż źródłanych.

Wody roztoczańskie kredowego i trzeciorzędowego poziomu wodonośnego oraz wody powierzchniowe cechują się wysokimi walorami cech fizyczno-chemicznych. Parametry hydrochemiczne wskazują na początkowe stadium przekształcenia naturalnego składu tych wód. Koncentracje badanych parametrów mieszczą się w polskich i międzynarodowych normach wód przeznaczonych do konsumpcji. Ochrona badanych wód jest sprawą bardzo istotną, zwłaszcza że lokalnie stwierdza się wzmożoną ingerencję człowieka w środowisko, naruszającą jego zdolności ochronne. Wysoka jakość wód roztoczańskich, ich stosunkowo mało zmieniony charakter w stosunku do naturalnego składu, jest jednym z istotnych argumentów przemawiających za utworzeniem na tym obszarze Światowego Rezerwatu Biosfery.

LITERATURA

- Bury M. 1991; Badania szybkości migracji znacznika przez lessy jako typowe utwory półprzepuszczalne strefy aeracji. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii. V. Ogóln. Symp. Warszawa-Jachranka: 223–228.
- Chodorowska-Kwiecień M., Kawalec B. 1977; Składniki chemiczne wód podziemnych Roztocza Rawskiego i ich tło. Biuletyn Geol. UW, t. 21, Warszawa: 242–262.
- Janiec B. 1982; Badania denudacji chemicznej metodą konduktometryczną. Ann. UMCS, sec. B, Vol. XXXVII, Lublin: 119–140.
- Janiec B. 1984; Wody podziemne w strefie południowo-zachodniej krawędzi Wyżyny Lubelskiej. Wyd. Geol., Warszawa.
- Janiec B. 1988; The role of precipitation waters in decalcification of loeses in Western Roztocze. Geographica Polonica, No 53, PWN, Warszawa: 101–114.
- Janiec B. 1995; Zróżnicowanie warunków przenikania zanieczyszczeń do wód podziemnych na Roztoczu. Przegląd Geologiczny, vol. 43, nr 5, Warszawa: 393–398.
- Janiec B. 1996; Procesy odwapnienia lessów na Roztoczu Zachodnim. [W:] Procesy kształtujące strefę przelomowej doliny Wisły i krawędź Roztocza w schyłkowej fazie trzeciorzędu i w czwartorzędzie. Terenowa konferencja naukowa. ZG INoZ UMCS, PTGeol., Lublin: 44–48.
- Macioszczyk A. 1976; Wyznaczanie tła i anomalii hydrochemicznych w badaniach hydrogeologicznych. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW, t. 21, Warszawa: 67–84.
- Macioszczyk A. 1987; Hydrogeochemia. Wyd. Geol., Warszawa.
- Malinowski J. 1993; Warunki hydrogeologiczne Roztocza w świetle tektoniki. [W:] Tektonika Roztocza i jej aspekty sedimentologiczne, hydrogeologiczne i geomorfologiczno-krajobrazowe. Wyd. Zakład Geologii UMCS, TWWP, Lublin: 109–117.
- Maruszczak H., Wilgat T. 1956; Rzeźba strefy krawędzowej Roztocza Środkowego. Ann. UMCS, sec. B, vol. X, Lublin: 1–107.
- Michalczyk Z. 1986; Warunki występowania i krążenia wód na obszarze Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. Wyd. UMCS, Lublin: 1–195.
- Michalczyk Z. (red.) 1996; Źródła Roztocza – monografia hydrograficzna. Wyd. UMCS Lublin.
- Michalczyk Z., Wilgat T. 1994; Wody w rejonie Roztoczańskiego Parku Narodowego. Roztoczański Park Narodowy. Pr. zbior. red. prof. T. Wilgata, Kraków: 68–81.
- Smulikowski K. 1952; Geochemia. Wyd. PIG, Warszawa.
- Świdorska-Bróż M. 1978; Występowanie, toksyczność i usuwanie metali ciężkich z wód naturalnych. Prace Naukowe IIOŚ Pol. Wr., nr 38, Wrocław.
- Świeca A. 1994; Wpływ budowy geologicznej na rozmieszczenie i chemizm wód źródłanych w zlewni górnego Wieprza. Ann. UMCS, s. B, v. XLIX, Lublin: 147–162.
- Wilgat T., Michalczyk Z. 1987; Stosunki wodne w rejonie Roztoczańskiego Parku Narodowego. Ochrona Przyrody, R. 45, Kraków: 295–324.

SUMMARY

Roztocze is a narrow range of upland stretching on the boundary line between Poland and Ukraine. It is built of Cretaceous carbonate forms and in its southern part also of Tertiary ones. The underground and surface waters are of the simple chemical composition with a predominant pair of $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ions. The three-ion waters, mostly $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$ type, occur occasionally only in the areas of strong anthropopression. The predominant role of carbonates is evident as their share in the general mineralization is on the average 85%. Lithological formations of the aeration zone is responsible for the amount of pollutants getting into waters. In the loess areas the extent of anthropogeneous changes of the aqueous environment is greater than in the other areas. The physico-chemical changes of underground waters are presented in Table 1 and in Figures 2+17, and the qualities of underground waters in Table 2.

Underground waters of the Cretaceous and Tertiary levels as well as surface waters of Roztocze are characterized by high quality physico-chemical features. The hydrochemical parameters indicate the initial stage of natural composition transformation of these waters. Concentrations of the studied parameters are within the norms for the consumption waters. Protection of waters is an essential problem because an intensive interference of man into the environment disturbing its protective power is observed. High quality of Roztocze waters, their almost natural chemical composition is one of the essential arguments for creating the World Biosphere Reserve in the whole Roztocze area.