

Grażyna Michalska

Stacja Geoekologiczna
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
Storkowo 32, 78-450 Grzmiąca

Zróźnicowanie właściwości fizykochemicznych wód podziemnych w zlewni Chwalimskiego Potoku (górna Parsęta, Pomorze Zachodnie)

*Differentiation of physico-chemical properties of underground water in Chwalimski Potok
catchment (upper Parsęta, West Pomerania)*

Streszczenie

Obserwacje prowadzone w zlewni rolniczej (eksperymentalna zlewnia I. rzędu o powierzchni 4,8 ha na terenie zlewni górnej Parsęty) w jedenastu punktach pomiarowych (dziesięciu piezometrach i źródle) wskazują na przestrzenne i czasowe zróźnicowanie parametrów fizykochemicznych wód podziemnych na tym niewielkim obszarze. Na podstawie analizy podobieństwa wydzielono w obrębie zlewni trzy grupy hydrochemiczne wód podziemnych. Przedstawiono charakterystykę warunków krążenia wód i substancji rozpuszczonych.

Summary

Researches in an experimental agriculture catchment in West Pomerania which are realised on eleven study sites (ten tubes and spring) shows spatial and time differentiated physico-chemical properties of underground water on this little area (4,8 ha). The author was segregate three hydrochemical types of underground water in Chwalimski Potok catchment and was describe of water circulation and dissolved matter circulation.

Wstęp

Skład wód gruntowych zasilanych infiltrującymi opadami (I poziom wodonośny) uzależniony jest od wielu czynników środowiskowych, takich jak pokrywa glebowa, litologia, użytkowanie terenu, szata roślinna, miąższość warstwy aeracji, warunki biogeochemiczne. Przyrodniczo ukształtowany skład chemiczny wód może być modyfikowany przez wpływy antropogeniczne (nawożenie upraw, ścieki). W warunkach rzeźby i litologii młodoglacjalnej wymienione uwarunkowania prowadzą do kontrastowo różnych właściwości fizykochemicznych wód gruntowych nawet na niewielkich obszarach. Ma to szczególne znaczenie dla kształtowania chemizmu wód powierzchniowych w mikrozewniach źródłiskowych, dla których głównym źródłem zasilania są wody grunto-

we I. poziomie wodonośnego. Rola wód gruntowych jako składowej odpływu korytowego jest podkreślana w wielu opracowaniach z terenu zlewni górnej Parsęty, dotyczących transportu materiału rozpuszczonego (np. Kostrzewski i wsp., 1994, Kruszyk, 1999, Mazurek, 2000, Stach, 1994).

Szczegółowe badania nad rozpoznaniem zasobów i składu chemicznego wód gruntowych w eksperymentalnej zlewni Chwalimskiego Potoku (podsystem zlewni górnej Parsęty), prowadzone w roku hydrologicznym 2000, są elementem programu badawczego dotyczącego uwarunkowań denudacji chemicznej w zlewni młodoglacjalnej.

Teren badań, system pomiarowy

Eksperymentalna zlewnia Chwalimskiego Potoku jest zlewnią I. rzędu stanowiącą podsystem zlewni Młyńskiego Potoku (dopływ Parsęty). Zajmuje bezleśny obszar 4,8 ha położony w obrębie moreny dennej, w rejonie zaliczanym przez Karczewskiego (1989) do wysoczyzn morenowych północnego skłonu Pomorza. Zlewnia przez wiele lat była użytkowana rolniczo, obecnie tylko ok. 10% jej powierzchni podlega uprawie.

Kontrolę dynamiki poziomu i składu chemicznego wód gruntowych w zlewni Chwalimskiego Potoku umożliwia system zainstalowanych tu dziesięciu piezometrów (ryc.1). Sześć piezometrów umieszczonych jest równomiernie w transekcie wyznaczonym przez ciek, pomiędzy punktem zamykającym zlewnię (P1) a strefą wododziałową w części południowo-zachodniej (P6). Cztery piezometry (P7, P8, P2, P9) tworzą transekt o kierunku prostopadłym do cieku. Piezometr P10 znajduje się przy korycie małego dopływu. Taki rozkład punktów pomiarowych umożliwia charakterystykę przestrzennej zmienności parametrów fizykochemicznych wód, pozwala na rozpoznanie obiegu wody i substancji rozpuszczonych w obrębie całego terenu badawczego (Kazimierski, 2000).

Obserwacje poziomu i temperatury wody prowadzone są z częstotliwością 1 raz/tydzień z użyciem świstaka elektrycznego z elektronicznym czujnikiem temperatury. Poza tym, w obrębie profilu stokowego wyznaczonego przez piezometry P7-P8-P2, funkcjonują dodatkowe piezometry wyposażone w limnimetry elektroniczne, które notują stany wód z krokiem 1 raz/godzinę.

Próbki wód z 10. piezometrów i ze źródła cieku (ŻR) do badań właściwości fizykochemicznych pobierano co 4 tygodnie. Każdorazowo mierzono w próbkach przewodność elektrolityczną właściwą i pH, oznaczano krzemionkę zjonizowaną i wszystkie składniki podstawowe: zasadowość, jony siarczanowe i chlorkowe oraz wapń, magnez, sód i potas. Oprócz tego określano stężenia biogennów: fosforanów, azotanów i jonów amonowych.

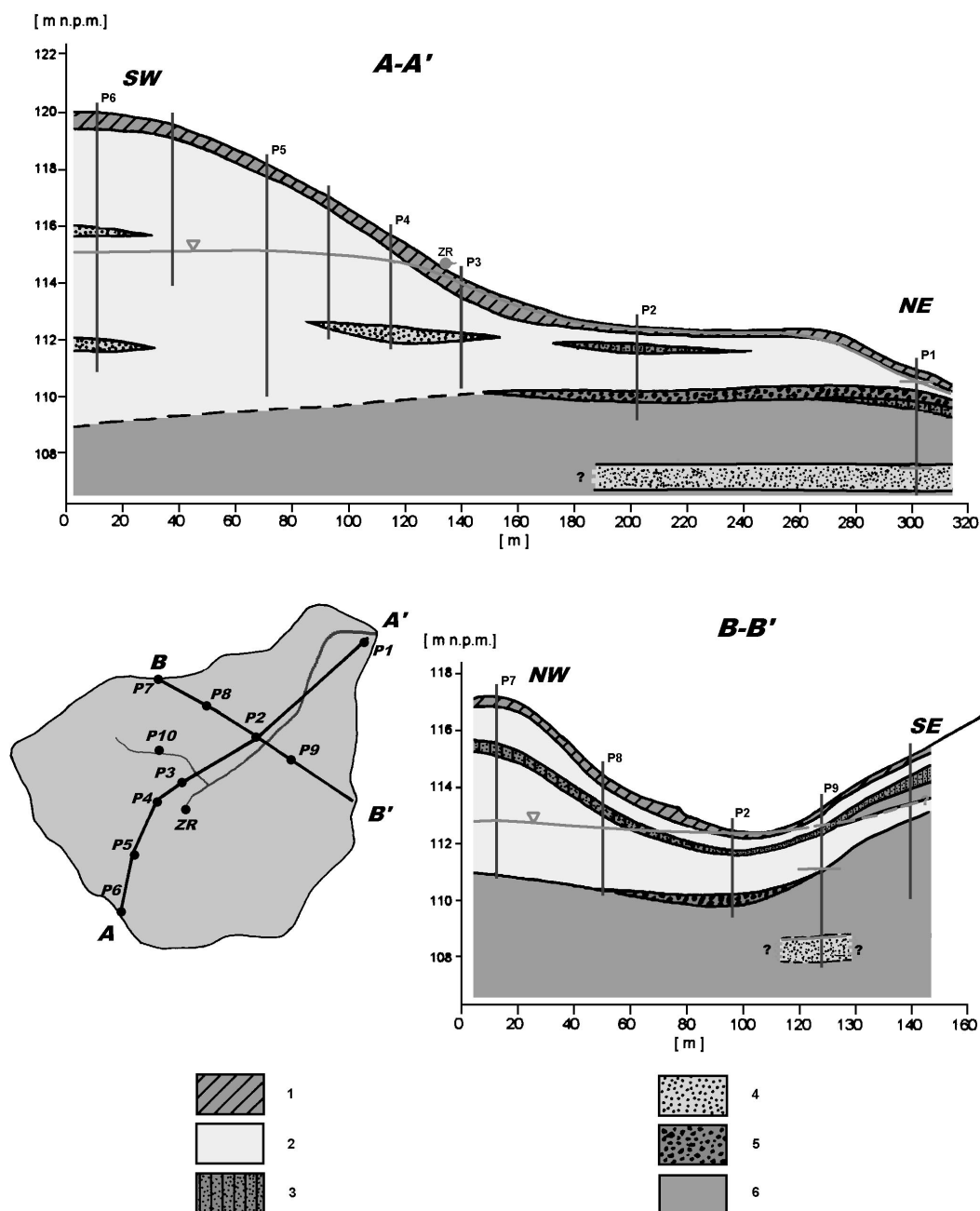
Wszystkie pomiary i oznaczenia składników wykonano w laboratorium hydrochemicznym Stacji Geoekologicznej UAM w Storkowie stosując metody zgodne z polskimi normami.

Dla weryfikacji wyników analiz każdorazowo obliczano bilans jonowy oraz porównywano przewodność elektrolityczną zmierzoną w próbce i przewodność obliczoną na podstawie stężeń poszczególnych jonów i współczynników przeliczeniowych według Dojlidy (1980). Różnica w bilansie jonowym wynosiła od 0 do 7,6% (średnio 2,2%). Z uwagi na stosunkowo niską mineralizację badanych prób (tylko w przypadku 12. na 143 próbki suma jonów przekroczyła 10 meq dm^{-3}), podaną różnicę sumy anionów i kationów można zaakceptować (Macioszczyk, 1987). Rozbieżność pomiędzy przewodnością zmierzoną i obliczoną, wynoszącą 0,7-18,6%, uznajemy za dopuszczalną.

Warunki hydrogeologiczne

Północna i środkowa część zlewni Młyńskiego Potoku, w obrębie której leży mikrozelewnia Chwalimskiego Potoku, położona w zasięgu wysoczyzny moreny dennej, charakteryzuje się dużą zmiennością litologiczną. Wskazuje to na znaczny udział wody płynącej w procesie deglacjacji obszaru i wykształcania pokrywy moren ablacyjnych. Z okresem postglacjalnym związane jest dalsze przeobrażanie litologii: wykształcenie pokryw osadów deluwialnych u podnóży stoków i w dnach płytkich zagłębień terenowych oraz osadów organicznych w zagłębieniach wytopiskowych o wysokim poziomie wody gruntowej.

Na podstawie prac wiertniczych prowadzonych w zlewni Chwalimskiego Potoku przez Stelmacha i Fica (1992), uzupełnionych przez dodatkowe sondowania, można stwierdzić, że zasadniczym podłożem obszaru są utwory bezpośredniej akumulacji lądolodu - gliny morenowe, zalegające na głębokości od 70 cm do 8,5 m poniżej poziomu terenu (ryc.1). W części centralnej zlewni (dolinka wód roztopowych i zagłębienie wytopiskowe) glina została do pewnej głębokości rozmyta przez odpływające wody roztopowe, w rezultacie czego powstał bruk o miąższości do 40 cm. Na glinie morenowej spoczywają warstwy różnoziarnistych piasków z soczewkami żwirowymi, o miąższości



Ryc. 1. Przekrój litologiczny zlewni Chwalimskiego Potoku (wg Szpikowski 2000)
1 – poziom akumulacyjno-próchniczny, 2 – piaski różnoziarniste, 3 – piasek gliniasty,
4 – żwir, 5 – bruk, 6 – glina

Fig. 1. The lithological section of Chwalimski Potok catchment (Szpikowski 2000)
1 - loam, 2 - sand, 3 - loamy sand, 4 - gravel, 5 - pavement, 6 - humus-accumulation horizon

maksymalnej około 8 m, a w części centralnej zlewni około 2 m. Na glinie, w poziomie piaszczysto-żwirowym, zalega podstawowa warstwa wód gruntowych, z powierzchnią na średniej głębokości od prawie 5 m w wododziałowej części zlewni na południowym zachodzie, do 4,5 m na pagórku w północnej części zlewni. Badania współczynnika filtracji, wykonane przez Marciniaka i Stelmacha (1992), świadczą o bardzo wysokiej wodoprzepuszczalności tego poziomu wodonośnego, ze średnim współczynnikiem filtracji $3,21 \text{ m h}^{-1}$ i przewodnością $8,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (tab.1). Bezpośrednim wyrazem wysokiej pojemności wodnej oraz dobrej przepuszczalności tej warstwy, jest powstanie źródła warstwowego descensyjnego u podnóża stoku w środkowej części zlewni, o wysokiej wydajności, w wyniku której średni odpływ jednostkowy w roku hydrologicznym może wynosić nawet ponad $30 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Charakterystycznym elementem litologii środkowej i północnej części zlewni jest warstwa piasków gliniastych o miąższości około 40 cm, zalegających na głębokościach od 0,6 m do 1,6 m. W prawobrzeżnej części zlewni na tej słabo przepuszczalnej warstwie utrzymuje się zwierciadło wód zaskórnych. Współczynnik filtracji dla osadów środkowego fragmentu zlewni, związanych z obniżeniem wytopiska i formą dolinną, wynosi średnio zaledwie $0,1 \text{ m h}^{-1}$ (30 razy mniej niż w południowo-zachodniej części dorzecza).

W południowo-wschodniej części zlewni (P9) oraz w okolicy punktu zamykającego zlewnię (P1) na głębokości prawie 5 m, pod 2-metrową warstwą gliny, występuje poziom piaszczysty, o miąższości 1 m, zalegający również na glinie glacialnej. Nie rozpoznano dotychczas horyzontalnej rozciągłości tej jednostki litologicznej. Stwierdzono tam występowanie napiętego zwierciadła wody gruntowej, które stabilizuje się na wysokości dla P1 2,7-4,0 m i dla P9 0,8-2,5 m powyżej stropu warstwy wodonośnej.

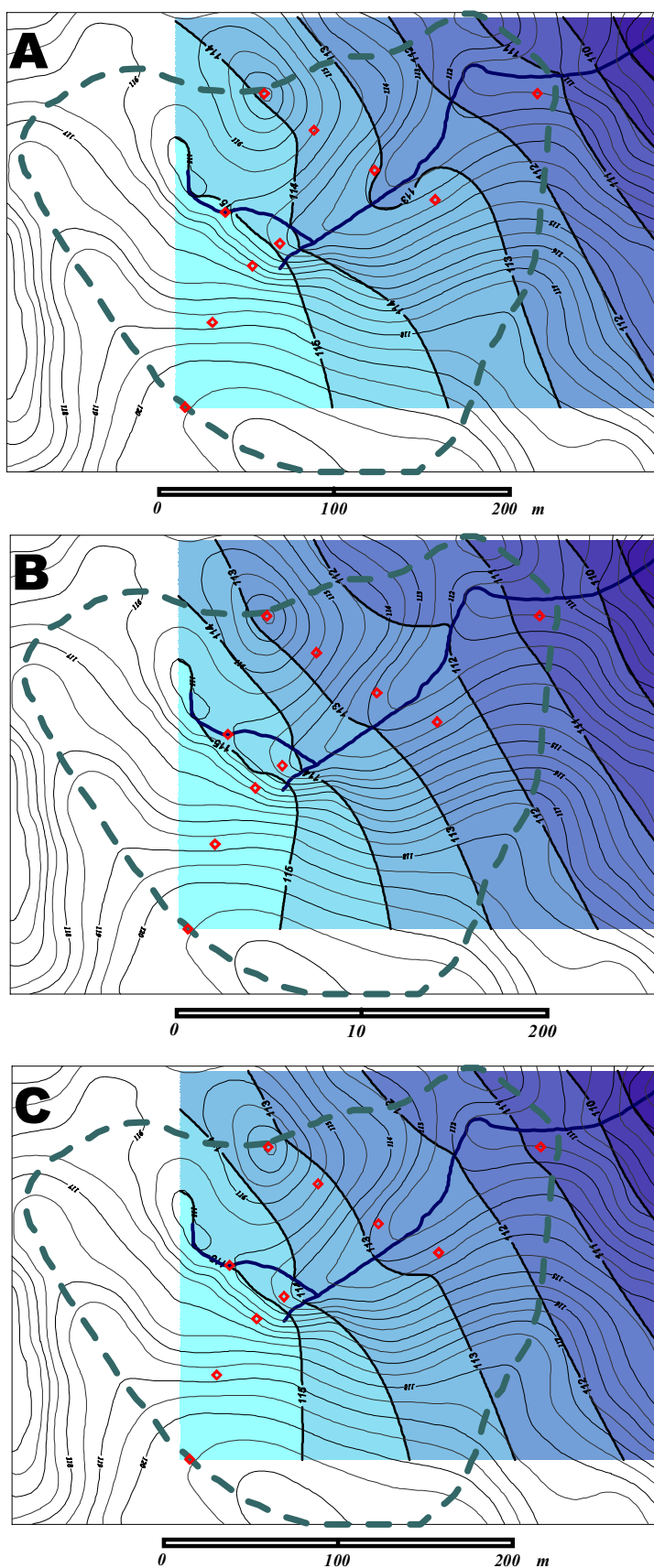
Piezometr Tube	Współczynnik filtracji k [m h ⁻¹] Filtration coefficient [m h ⁻¹]	Przewodność T *10 ⁻⁴ [m ² s ⁻¹] Conductance [m ² s ⁻¹]
1	0,07	0,17
2	0,08	0,21
3	1,57	4,36
4	3,62	10,05
5	2,05	5,70
6	3,96	11,00
7	1,95	3,31
8	0,10	0,17
10	0,05	0,13

Tab. 1. Współczynnik filtracji k i przewodność T dla piezometrów w zlewni Chwalimskiego Potoku (Marciniak, Stelmach 1992)

Tab. 1. Filtration coefficient k and conductance T for tubes in Chwalimski Potok catchment (Marciniak, Stelmach 1992)

Analiza wieloletnich wyników obserwacji w piezometrach nr 4, 5 i 6 wskazuje na wysoką stabilność stanów zalegania zwierciadła wody podziemnej. W tej części zlewni Chwalimskiego Potoku swobodne zwierciadło wody gruntowej zalega przeciętnie na głębokości od prawie 5 m na wododziale do 1 m u podnóża stoku.

Równocześnie jest to obszar o największej miąższości warstwy wodonośnej w całej zlewni Chwalimskiego Potoku, wynoszącej od ponad 6 do 5 m. Grubość warstwy wodonośnej, uwarunkowanej litologią i ukształtowaniem zarówno utworów nieprzepuszczalnych jak i powierzchni terenu, maleje prostopadłe do osi zlewni wyznaczonej przez Chwalimski Potok, od ponad 6 m w okolicach piezometru nr 6 do poniżej 1 m przy końcowym profilu hydrometrycznym.



Ryc. 2.
Mapy hydroizohips dla
zlewni Chwalimskiego
Potoku (na podstawie
minimalnych – A,
maksymalnych – B
i średnich – C - stanów
wód gruntowych w roku
hydrologicznym 2000)

Fig. 2.
Of water-table contour
maps for Chwalimski Potok
catchment (on the ground
minimal – A, maximal – B
and average – C - ground
water levels in hydrological
year 2000)

Spadek zwierciadła wód gruntowych pomiędzy górną częścią zlewni a punktem zamykającym wynosi ok. 5 m. Pozioma filtracja wód odbywa się w kierunku zgodnym ze spadkiem terenu. Poza tym układ hydroizohips (ryc.2) wskazuje, że począwszy od centralnej części zlewni, poza okresem utrzymywania się stanów minimalnych, może mieć miejsce odpływ wód ze zlewni w kierunku prostopadłym do cieku.

Stany wód podziemnych

Średnie stany wód podziemnych (tab.2) w roku hydrologicznym 2000 dla wszystkich punktów pomiarowych spadły poniżej wartości średnich z pięciolecia 1995-99. W piezometrach P1 i P9 (wody wgłębne), P2 (płytkie wody gruntowe strefy dolinnej) oraz P8 (ujęcie na zboczu w profilu poprzecznym zlewni) stany minimalne przekroczyły minima z ostatniego pięciolecia. Stan maksymalny został przekroczony tylko w przypadku P1.

Warunki meteorologiczne roku 2000 (rok pod względem opadów – normalny, pod względem termicznym – ciepły) doprowadziły w niektórych przypadkach do stanów minimalnych, jednocześnie w górnej części zlewni (P6, P5, P4) stabilne zwierciadło wód gruntowych zmieniło się nieznacznie i nie zanotowano w tym roku żadnych wartości ekstremalnych w stosunku do pięciolecia 1995-99.

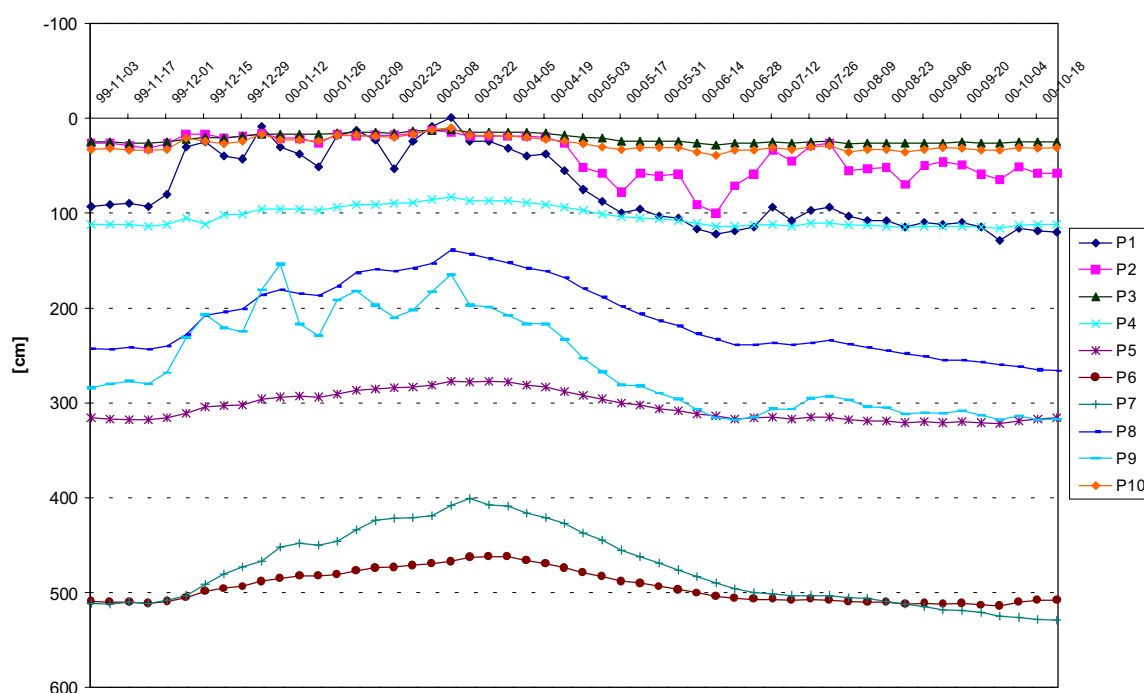
Tab. 2. Parametry statystyczne dla poziomu zalegania zwierciadła wód podziemnych [w cm p.p.t.]

Tab. 2. Statistic parameters for underground water level [in cm u.g.l.]

Piezometr Tube	1995-99				2000								
	Śred.	Min.	Maks.	STD	Śred.	Min.	Maks.	Moda	Mediana	Odstęp	Kwartył górny	Kwartył dolny	STD
1	52	105	1	27	74	129	-1	24	92	130	129	37	40
2	27	95	6	20	39	100	13	19	29	87	100	19	22
3	20	38	10	6	22	28	12	26	24	16	28	17	5
4	101	166	79	15	104	116	83	112	110	33	116	96	10
5	297	339	263	18	304	322	277	316	310	45	322	292	15
6	487	522	448	20	494	514	462	510	500	52	514	481	17
7	450	539	384	41	475	529	401	503	487	128	529	443	40
8	185	262	112	41	211	266	139	239	223	127	266	179	39
9	220	301	114	44	260	318	154	217	280	164	318	215	51
10	20	50	2	12	27	39	10	33	31	29	39	22	7

Podnoszenie się poziomu wody gruntowej notowano od początku grudnia przy jednostajnych opadach deszczu i śniegu (w grudniu - 22 doby z opadem do 10 mm). Maksymalne stany wystąpiły w marcu. Począwszy od trzeciej dekady marca stany malały systematycznie by w czerwcu osiągnąć lub przekroczyć jesienne minima (ryc.3). Dla piezometrów w górnej części zlewni (P4, P5, P6) do końca roku stany były stabilnie niskie, w przypadku punktów pomiarowych w przekroju poprzecznym zlewni (P7, P8) zwierciadło wody gruntowej wyraźnie nadal się obniżało, osiągając roczne minimum w końcu roku. Te dwa systemy stokowe objęte badaniami wód gruntowych różnią się też znacznie amplitudą stanów: dla transektu P6-P5-P4 odstęp wynosi od 33 do 52 cm, dla transektu P7-P8 – 127-128 cm przy dużo mniejszej miąższości warstwy wody gruntowej. Bezwzględna różnica poziomu wody w piezometrach P7 i P8 wskazuje na możliwość okresowego spływu wód w kierunku cieku i okresowej filtracji w kierunku przeciwnym.

Osobną grupę punktów pomiarowych stanowią piezometry w strefie dolinnej zlewni (P2, P3, P10), reprezentujące płytkie wody gruntowe szybko reagujące na opady atmosferyczne i zwiększoną ewapotranspirację w okresach ciepłych. Wśród nich największą amplitudą (87 cm) charakteryzuje się umieszczony w rozległym zagłębieniu wytopiskowym w centralnej części zlewni piezometr P2. W tym miejscu stany zmieniają się znacznie nawet w krótkich okresach czasu, np. po



Ryc. 3. Przebieg zmienności stanów wód podziemnych (p.p.t.)

Fig. 3. Levels of underground water (u.g.l.)

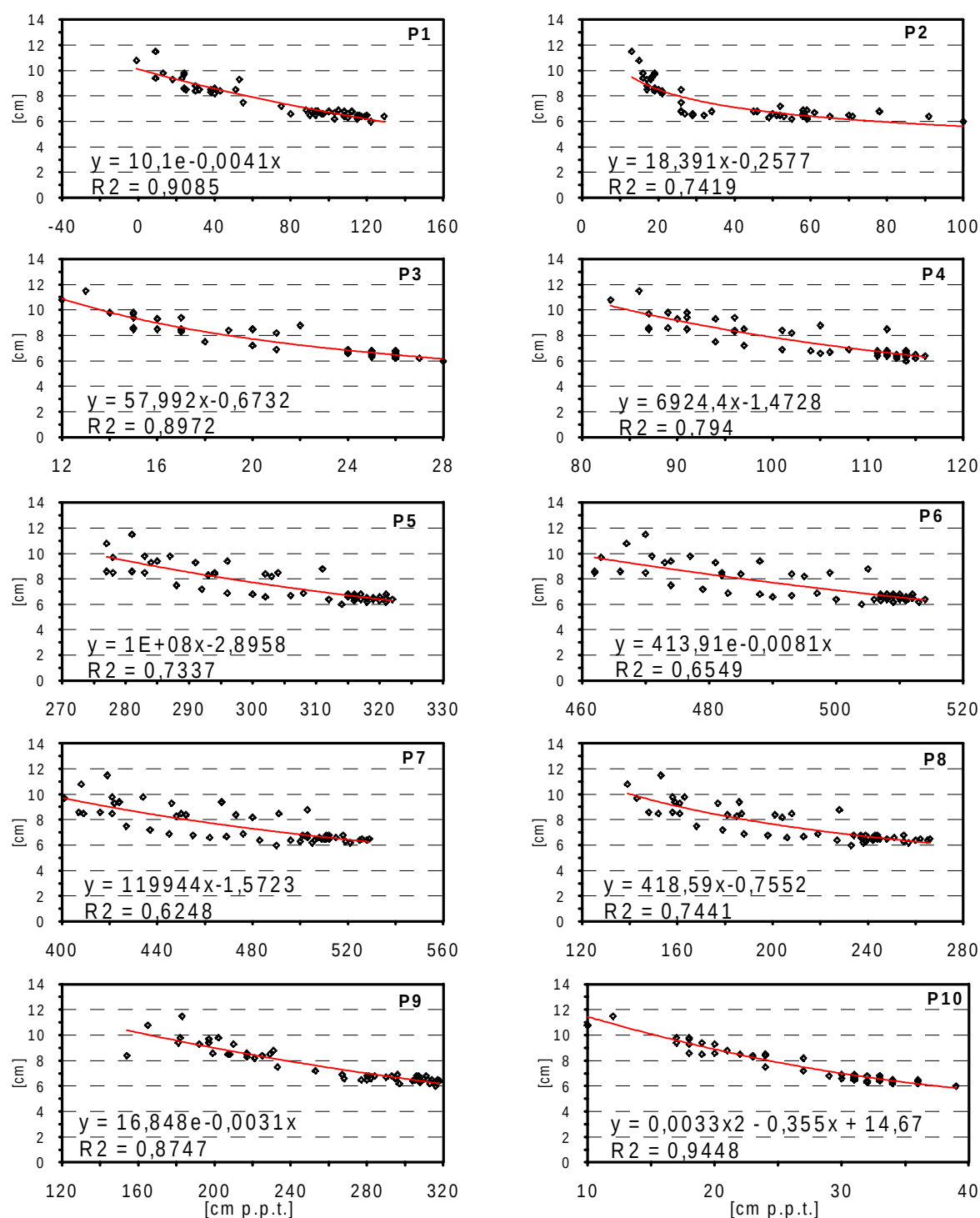
wysokim dwufazowym opadzie w lipcu (ok. 18 mm/3h) stan wody w piezometrze podniósł się o 40 cm. Obserwuje się tu również kilkucentymetrowe wahania poziomu wody w ciągu doby wywołane ewapotranspiracją.

Piezometry P1 i P9 są ujęciami wód wgłębnych, zamkniętych od góry ok. dwumetrową warstwą gliny. Zwierciadło wody ma tu charakter naporowy, co wywołuje krótkookresowe wysokie wahania poziomu. W przypadku P1 zanotowano jednorazowo wypiętrzenie wód ponad poziom terenu.

Dla wszystkich punktów pomiarowych sprawdzono stopień korelacji stanów wód ze stanami Chwalimskiego Potoku w punkcie zamykającym zlewnię, notowanymi w tych samych terminach pomiarowych co stany wód gruntowych. Uzyskano zależności (ryc.4) głównie potęgowe, w 3. przypadkach wykładnicze i w jednym – zależność wielomianową, ze współczynnikami determinacji R^2 od 0,62 dla P7 do 0,94 w przypadku P10. Graficzny obraz tych zależności pozwala wnioskować, że w większości przypadków w okresie stanów niskich przy kilku-kilkudziesięciocentymetrowych zmianach poziomu wód gruntowych notuje się bardzo nieznaczne wahania stanów w cieku. Mimo ciągłego obniżania się zwierciadła wód gruntowych w półroczu ciepłym, miał miejsce stabilny odpływ powierzchniowy ze zlewni, a wielkość przepływu nie spadała poniżej $1,16 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}$ (średni przepływ roczny – $1,57 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}$).

Właściwości fizykochemiczne

Na podstawie średnich rocznych stężeń składników określono typ hydrogeochemiczny wód gruntowych w zlewni zgodnie z klasyfikacją Altowskiego i Szwieca (Macioszczyk, 1987). Wszystkie punkty reprezentują wody proste, w czterech przypadkach wodorowęglanowo-wapniowe, w siedmiu – wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowe. Obecność jonów siarczanowych w wodach gruntowych i powierzchniowych w ilościach wymuszających ich uwzględnienie w typie hydrogeochemicznym wydaje się być cechą typową dla różnych wód w całej zlewni górnej Parsęty (Szpikowski i wsp., 1998, Mazurek, 2000). Również zawartość siarczanów w odpływie korytowym



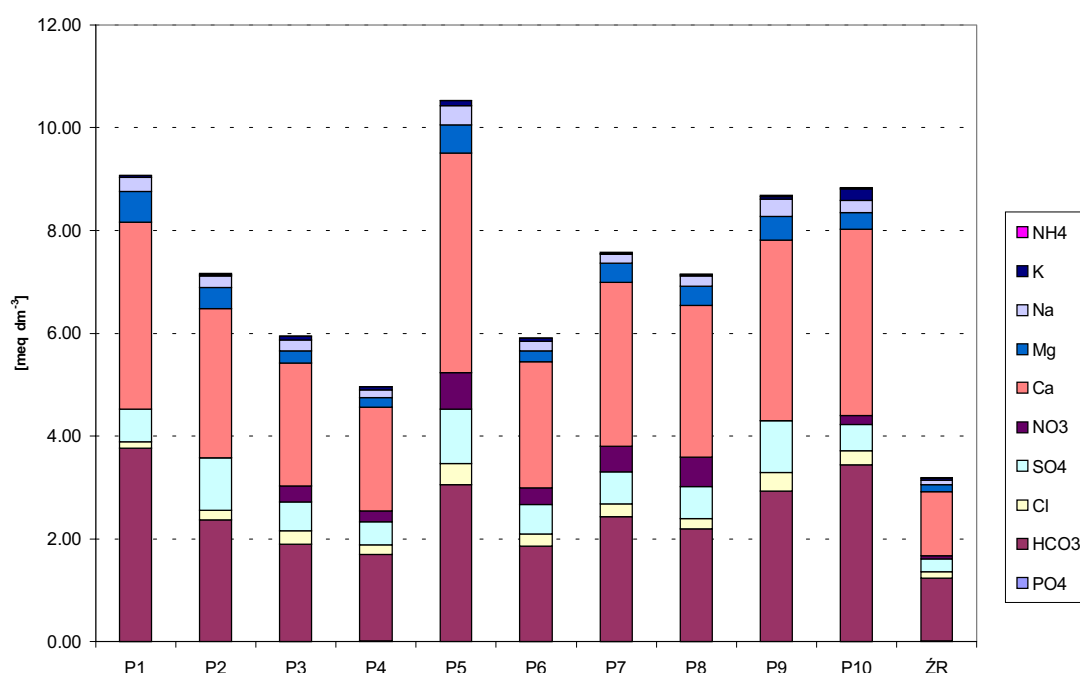
**Ryc. 4. Związek stanów poziomów wód Chwalimskiego Potoku i stanów wód podziemnych w roku hydrologicznym 2000
P1-P10 - piezometry**

**Fig. 4. Linking the Chwalimski Potok levels to groundwater levels in hydrological year 2000
P1-P10 - tubes**

z mikrozewni Chwalimskiego Potoku jest wysoka (23% anionów). Wskazuje się na dwa główne źródła dostawy tych jonów – depozycję atmosferyczną i ługowanie aktywnych biologicznie gleb. Ładunek SO_4^{2-} wnoszony z opadami na całą powierzchnię zlewni Chwalimskiego Potoku wynosił w tym roku 68,4 kg, zaś średnio 112,8 kg w latach hydrologicznych 1994-99 (Michalska, 2001). Dla spływów śródglebowych z głębokości do 40 cm na powierzchniach testowych w zlewni Chwalimskiego Potoku w roku hydrologicznym 2000 notowano stężenia siarczanów w zakresie 4,53-27,11 mg dm^{-3} , co oznacza 2 do 12,5-krotne wzbogacanie infiltrujących wód opadowych w ten składnik.

Wody gruntowe w zlewni Chwalimskiego Potoku różnią się zasadniczo pod względem stężeń składników (ryc. 5, tab. 3). Najwyższa mineralizacja utrzymuje się w wodach z piezometru P5 (średnio 411,6 mg dm^{-3}), najniższa dla wysięku w źródle (134,3 mg dm^{-3}) (ryc.6).

Stosunkowo wysokie mineralizacje (średnio powyżej 300 mg dm^{-3}) mają wody wgłębne (P1, P9), charakteryzujące się poza tym najwyższymi stężeniami zjonizowanej krzemionki, nieznacznymi zawartościami azotanów i bardzo wyrównanym przebiegiem zmienności stężeń w ciągu roku, oraz wody w piezometrze P10, umieszczonym przy samym korycie dopływu Chwalimskiego Potoku. Dopływ odprowadza wodę z zagłębienia wytopiskowego w północno-zachodniej części zlewni. Powyżej zagłębienia znajduje się pole uprawne, które w obrębie zlewni zajmuje ok. 10% powierzchni. Na skład wód filtrujących z tej okolicy mają wpływ stosowane nawozy mineralne. Dla wód z piezometru P10 notuje się niespotykane w pozostałej części zlewni stężenia potasu: od 6,21 do 13,51 mg dm^{-3} (jeszcze wyższe stężenia występują w samym dopływie: 15,28-17,09 mg dm^{-3}). Znajdujący się w pobliżu piezometr P3 (pomiędzy dopływem i strefą źródłiskową) wykazuje niższą mineralizację i niższe stężenia składników podstawowych, więcej jest tu natomiast jonów azotanowych, fosforanowych i siarczanów. Zawartość potasu jest ok. 2,5-krotnie niższa w porównaniu z P10, niemniej przekracza przeciętne wartości notowane w pozostałej części zlewni, można więc przypuszczać, że na skład wód w tym miejscu ma wpływ woda odprowadzana ze strefy uprawianej. Ostatni z punktów reprezentujący wody strefy nadrzecznej (P2) wyróżnia się znikomą



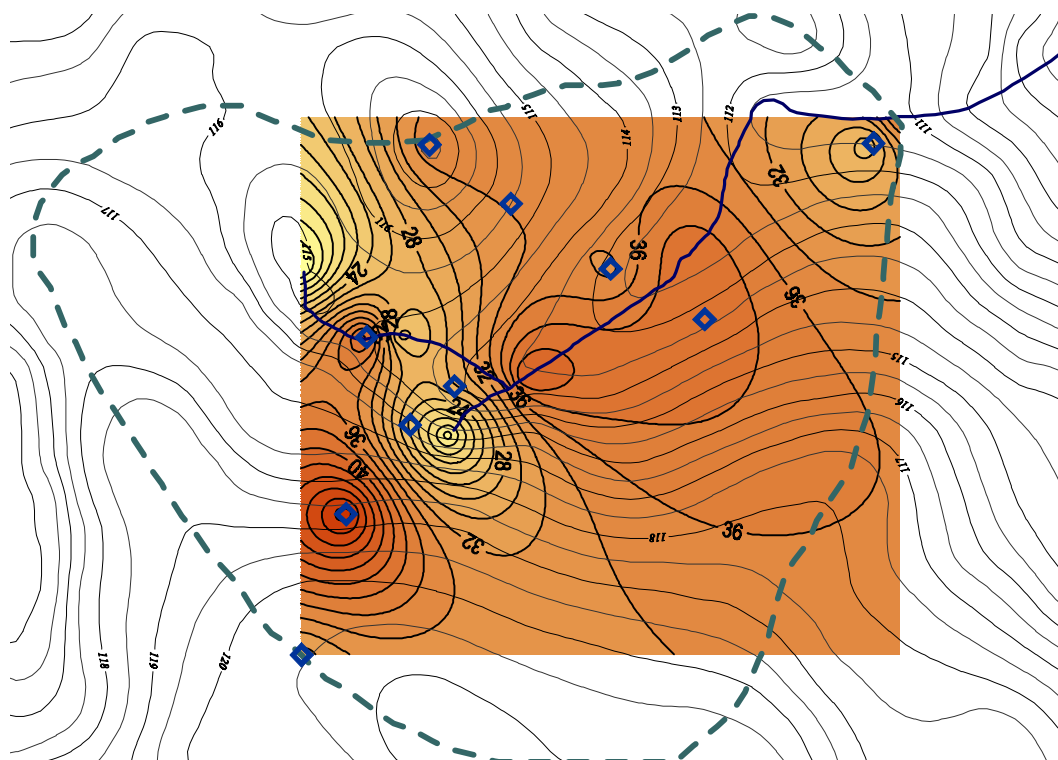
Ryc. 5. Skład jonowy wód podziemnych w zlewni Chwalimskiego Potoku
P1-P10 – piezometry, ŻR – źródło

Fig. 5. Ion composition of underground water in Chwalimski Potok catchment
P1-P10 – tubes, ŻR - spring

Tab. 3. Parametry fizykochemiczne wód podziemnych w roku hydrologicznym 2000 – wartości średnie
P1-P10 – piezometry, ŻR – źródło Chwalimskiego Potoku

Tab. 3. Physico-chemical parameters of underground water in hydrological year 2000 – averages
 P1-P10 – tubes, ŻR – spring of Chwaliński Potok

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	ŻR
SEC	mS m^{-1}	39,9	33,4	28,3	23,4	51,5	28,8	35,8	34,2	40,6	41,3	15,3
pH	-	7,72	7,76	7,92	7,80	7,68	7,76	7,74	7,86	7,66	7,73	7,23
SiO_2	mg dm^{-3}	17,47	6,51	9,69	9,60	11,24	9,89	9,59	10,38	14,53	8,39	8,86
PO_4^{3-}	mg dm^{-3}	0,14	0,09	0,32	0,39	0,08	0,22	0,28	0,18	0,08	0,13	0,73
HCO_3	mg dm^{-3}	229,4	144,0	115,4	102,6	186,2	112,9	147,9	133,4	178,3	209,6	74,2
Cl^-	mg dm^{-3}	4,56	6,97	9,05	6,79	14,47	8,39	8,96	7,25	12,92	9,86	4,22
SO_4^{2-}	mg dm^{-3}	30,48	48,66	26,91	21,25	51,04	27,27	29,91	29,93	48,54	24,80	12,21
NO_3^-	mg dm^{-3}	0,32	0,37	19,29	13,67	43,91	20,51	30,72	35,80	0,55	10,52	3,57
Ca	mg dm^{-3}	72,80	58,23	48,06	40,28	85,63	49,20	63,80	58,99	70,22	72,67	25,04
Mg	mg dm^{-3}	7,25	4,86	2,93	2,27	6,69	2,57	4,54	4,44	5,54	3,85	1,65
Na	mg dm^{-3}	6,32	5,42	4,53	3,56	8,72	4,31	3,98	4,82	7,82	5,39	1,95
K	mg dm^{-3}	1,06	0,91	2,98	2,19	3,43	2,10	0,80	0,60	2,03	8,87	1,52
NH_4^+	mg dm^{-3}	0,21	0,29	0,16	0,16	0,13	0,15	0,41	0,30	0,43	0,38	0,32



Ryc. 6. Rozkład wartości przewodności elektrolitycznej (w mS m^{-1}) w wodach gruntowych zlewni Chwalimskiego Potoku (na podstawie wartości średnich w roku hydrologicznym 2000)

Fig. 6. Spatial distribution of electrolytic conductivity (in mS m^{-1}) for ground water in Chwalimski Potok catchment (on the ground of averages in hydrological year 2000)

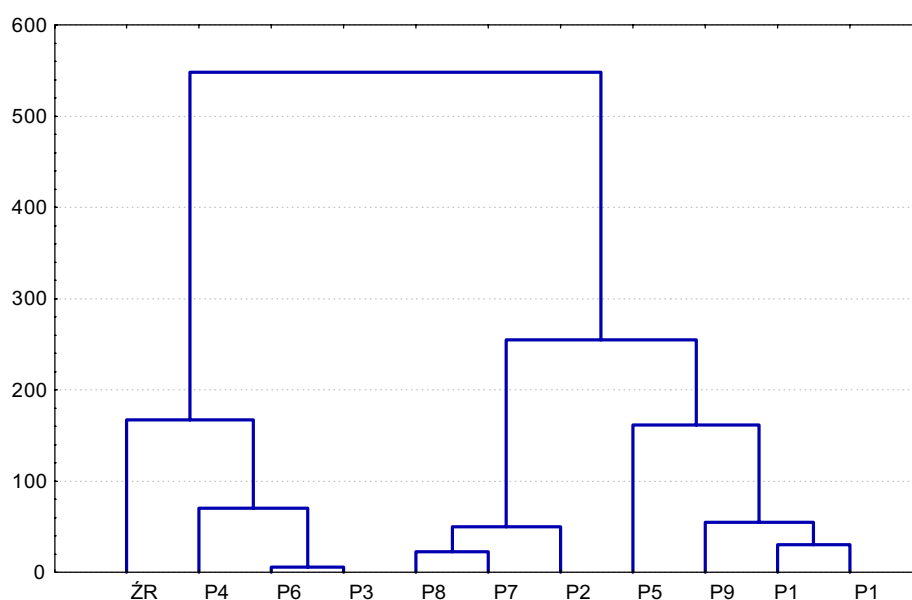
małymi stężeniami nutrientów, zwłaszcza azotanów, co zwraca uwagę w kontekście dużych zawartości w pozostałej części przekroju (piezometry P7 i P8) (tab. 3). Ilość jonów azotanowych w obrębie zagłębienia wytopiskowego jest redukowana ok. 90.krotnie w porównaniu z wodami systemu stokowego. Strefa nadrzeczna jest obszarem sprzyjającym naturalnym procesom retencji azotanów: dzięki aktywności mikroorganizmów w warunkach beztlenowych i przy dostępności materii organicznej, azot azotanowy jest redukowany do azotu wolnego i całkowicie usuwany z obiegu (Burt, Haycock, 1996), część nutrientów może być pobrana przez obfitą roślinność wilgociolubną porastającą strefę wytopiska.

Skład wód w strefie wododziałowej przekroju poprzecznego zlewni (P7) tylko nieznacznie różni się od wód ujmowanych z piezometru na zboczu (P8). W wodach tych występują jedne z najwyższych stężeń NO_3^- w zlewni (30-35 mg dm^{-3}). Ponieważ jest tu możliwa filtracja wód w kierunku od i do ciek, niewątpliwie na skład wody ma wpływ podziemna dostawa wód z obszaru uprawianego pola, znajdującego się w bezpośrednim sąsiedztwie zlewni.

W przypadku przekroju P6-P5-P4-ŻR najwyższe stężenia składników występują w rejonie piezometru P5, niższe w obszarze wododziałowym, jeszcze niższe dla podnóża stoku i minimalne w źródle rozcieńczanym niskozmineralizowanymi wodami śródpokrywowymi. W górnej części zlewni obserwujemy wysokie stężenia jonów azotanowych – najwyższe w punkcie P5 (do 55,51 mg dm^{-3}). Jednocześnie daje się zauważyć zależność pomiędzy stanami wód i zawartością azotanów. Ilość NO_3^- przy podnoszeniu zwierciadła dla P5 i P6 wzrosła maksymalnie odpowiednio: o 50% i o 260% w ciągu 16 tygodni.

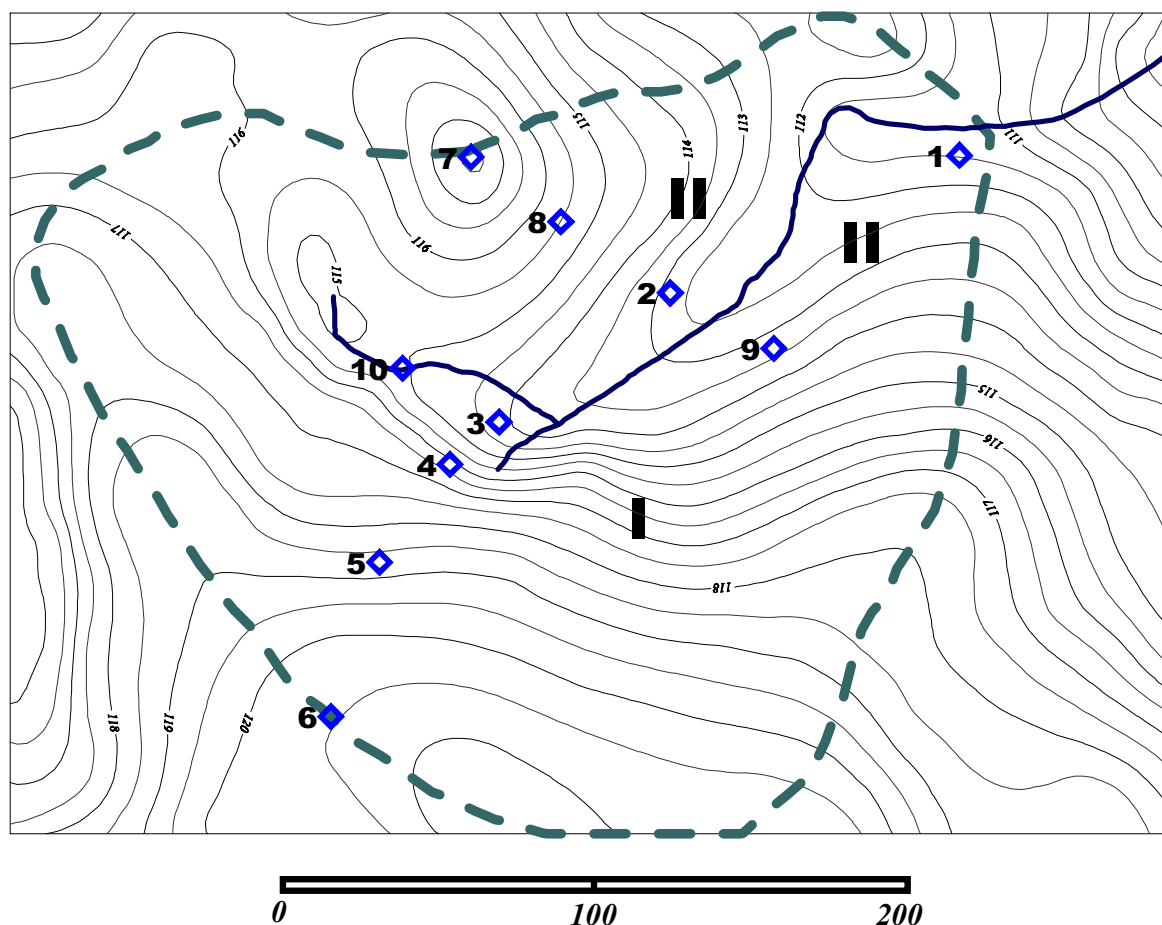
Analiza podobieństwa wg metody Warda, przeprowadzona na podstawie średnich rocznych stężeń składników, średnich wartości pH i przewodności elektrolitycznej właściwej, pozwoliła na wyróżnienie trzech głównych grup wód podziemnych w zlewni Chwalimskiego Potoku (ryc.7, ryc.8).

Pierwszą grupę (I) tworzą słabo zmineralizowane wody gruntowe z ujęć w górnej części zlewni (P6, P4, P3, ŻR), filtrujące zgodnie ze spadkiem terenu w utworach o bardzo dobrej wodoprzepuszczalności w kierunku bazy drenażu – źródła Chwalimskiego Potoku. Wody te charakteryzują najniż-



Ryc. 7. Wynik analizy podobieństwa (metoda Warda) dla wód podziemnych P1-P10 – piezometry, ŻR – źródło

Fig. 7. The result of likeness analysis (Wards method) for underground water P1-P10 - tubes, ŻR – spring



Ryc. 8. Wydzielone obszary występowania typów hydrochemicznych wód podziemnych w zlewni Chwalimskiego Potoku

Fig. 8. Regions with individual hydrochemical types of underground water in Chwalimski Potok catchment

sze stężenia oznaczanych składników, z wyjątkiem jonów fosforanowych, których ilość w tej części zlewni jest największa.

W grupie II znalazły się wody o cechach pośrednich w stosunku do grup I i III, reprezentowane przez piezometry w profilu poprzecznym zlewni (P7, P8, P2). Wody te wykazują podobieństwo mimo dużego kontrastu stężeń jonów azotanowych pomiędzy systemem stokowym (31-36 mg dm⁻³) a strefą nadrzeczną (0,37 mg dm⁻³).

Najwyższe stężenia składników dotyczą wód ujętych w grupę III. Mimo podobieństwa parametrów, obejmuje ona trzy typy wód o różnej genezie: wody wgłębne o zwierciadle napiętym (P1, P9), nie podlegające bezpośredniemu wpływowi infiltrujących opadów, płytkie wody ze strefy dolinnej, włączone w odpływ z zagłębienia wytopiskowego na terenie uprawianego pola (P10), których wysoka mineralizacja jest związana z odprowadzaniem składników nawozowych, oraz wody gruntowe reprezentowane przez piezometr na zboczu w górnej części zlewni Chwalimskiego Potoku (P5).

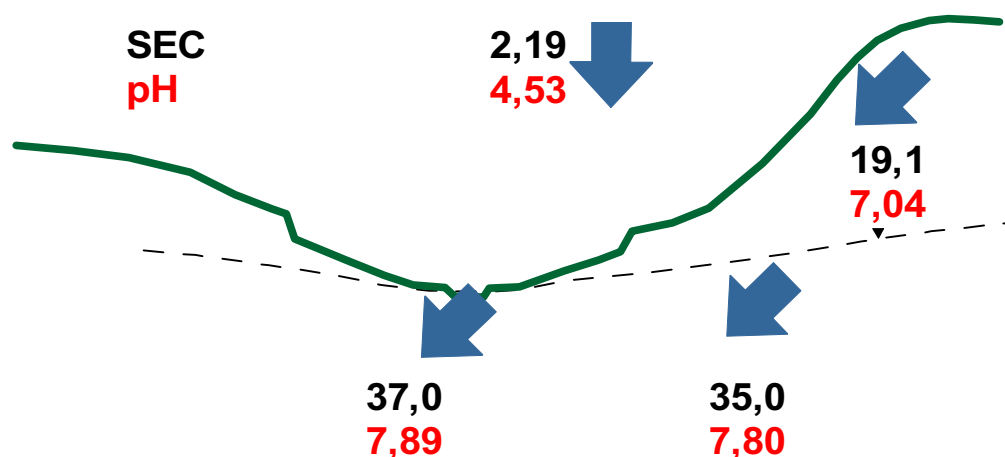
Dla określenia, na ile niezmiennie jest przypisanie wód gruntowych w zlewni do poszczególnych grup hydrochemicznych, przeprowadzono również, na podstawie tych samych parametrów fizykochemicznych, analizę podobieństwa dla całej populacji próbek zebranych w roku 2000 (143 próbki). Uzyskano diagram o budowie analogicznej do omówionego wyżej. W przypadku sześciu

stanowisk (ŻR – gr. I, P2, P8 – gr. II, P1, P9, P10 – gr. III) we wszystkich terminach pomiarowych wody gruntowe mieściły się w tej samej wyznaczonej wcześniej grupie hydrochemicznej, cztery ujęcia (P3, P4, P6 – z gr. I i P5 – z gr. III) miały reprezentację w dwóch sąsiednich grupach i w przypadku jednego punktu pomiarowego z grupy wód średnomineralizowanych (P7) po jednej próbie znalazło się w grupie wód o niskich i wysokich mineralizacjach.

Przeprowadzona analiza wskazuje na przestrzenne zróżnicowanie właściwości fizykochemicznych wód gruntowych na badanym obszarze. Jednocześnie możliwość zmiany wyznaczonej grupy hydrochemicznej w przypadku niektórych punktów pomiarowych dowodzi, że są to wody o niestabilnym składzie chemicznym, uzależnionym od aktualnych warunków meteorologicznych i stopnia antropopresji.

Charakterystyka warunków krążenia wód i substancji rozpuszczonych

Położenie zwierciadła wód gruntowych w przekroju podłużnym zlewni implikuje przepływ poziomy wód od piezometru P6 w kierunku bazy drenażu. Utwory piaszczysto-żwirowe w tej części zlewni stwarzają dobre warunki infiltracji i przepływu poziomego wód, niemniej strefa, w której znajduje się piezometr P5 charakteryzuje się niższą wodoprzepuszczalnością w stosunku do pozostałej części przekroju (współczynnik filtracji i przewodność warstwy wodonośnej są o 40-50% niższe – tab.1). Mineralizacja wód gruntowych, filtrujących od strefy wododziałowej (P6), w rejonie piezometru P5 rośnie o 80%, jednocześnie wody zachowują niezmienny procentowy skład jonowy. W następnym etapie filtracji (P4) mineralizacja wód spada o 55% i również w tym przypadku skład procentowy się nie zmienia. Dalszy spadek stężeń składników rozpuszczonych ma miejsce w strefie drenażu. Ujmowane z jednego z licznych wyśięków (ŻR) w niszy źródłiskowej wody mają niską mineralizację, co wskazuje na ich rozcieńczanie spływem śródpokrywowym. Jednocześnie kartowanie hydrochemiczne niszy źródłiskowej wykazało, że w centralnej i ujściowej części niszy ma miejsce wypływ właściwych wód gruntowych o wysokiej mineralizacji (por. Michalska: Dostawa atmosferyczna..., w tym tomie). Właśnie te wody w największym stopniu kształtują chemizm wód Chwalimskiego Potoku.



Ryc. 9. Przewodność elektrolityczna (w mS m⁻¹) i pH jako parametry opisujące transformację wody na różnych etapach krążenia w zlewni Chwalimskiego Potoku (rok hydrologiczny 2000)

Fig. 9. Electrolytic conductivity (in mS m⁻¹) and pH as parameters describing water transformation on different cycle stages in Chwalimski Potok catchment (hydrological year 2000)

W przypadku przekroju poprzecznego zlewni wyznaczonego przez punkty P7-P8-P2 możliwe jest zarówno zasilanie cieków jak i odpływ wód poza zlewnię. Generalnie bezwzględna różnica poziomu wody w piezometrach P7 i P8 jest bardzo mała. Dobre warunki filtracji występują w strefie wododziałowej (P7), znacznie gorsze na zboczu (P8) i w obrębie zagłębienia wytopiskowego (P2) (tab.1). Niezależnie od kierunku i warunków przepływu wody, ogólna mineralizacja i skład wód gruntowych w tej części zlewni jest podobny. Znaczącą różnicę obserwuje się tylko w zawartościach jonów azotanowych. W przypadku wód systemu stokowego azotany stanowią 7-8% całkowitego składu (w meq), w wodach strefy wytopiska – 0.1%.

W zależności od właściwości podłoża (zasobność w składniki rozpuszczalne, podatność na ługowanie) wody gruntowe mogą dziedziczyć hydrochemiczny charakter wód opadowych albo ich skład chemiczny może być kształtowany w głównej mierze przez wody o chemizmie zmodyfikowanym w trakcie infiltracji (Małecki, 1998).

Badania spływów śródpokrywowych prowadzone na powierzchniach testowych w zlewni Chwałimskiego Potoku wskazują, że znaczna transformacja wód opadowych dokonuje się już w wyniku penetracji wierzchnich poziomów glebowych (ryc.9). Ujmowane z głębokości 20 i 40 cm wody spływów śródgłębowych wykazują przewodności elektrolityczne 2 do 20 razy wyższe w porównaniu z opadami atmosferycznymi na terenie zlewni górnej Parsęty (średnio mineralizacja wzrasta 9-krotnie). W porównaniu ze spływem śródpokrywowym wody w strefie saturacji mają średnio 2 razy wyższą mineralizację.

W profilu glebowym zachodzi też szybka neutralizacja kwasowości opadów: na 89 zbadanych próbek spływu śródpokrywowego tylko w 14. przypadkach pH wynosiło poniżej 7. Średnia ważona wartość pH wynosząca dla spływów śródpokrywowych 7,03 oznacza 300-krotny spadek stężenia jonów wodorowych w stosunku do wód opadowych. W strefie saturacji następuje dalsza alkalizacja wód (średnie pH - 7,80).

Woda spływająca śródpokrywowo wzbogaca się w największym stopniu (kilkanaście-kilkadziesiąt razy) w jony wodorowęglanowe, wapń i potas oraz w zjonizowaną krzemionkę. Stężenia pozostałych składników w stosunku do ilości w wodach opadowych rosną kilkakrotnie, natomiast wskutek sorpcji obniża się zawartość jonów amonowych. W strefie saturacji wzrost stężeń składników jest na poziomie 2-10 razy. Z kolei w przypadku jonów łatwo ulegających sorpcji i włączanych w obieg biologiczny (jony amonowe, fosforany, potas) obserwuje się w wodach gruntowych stężenia niższe w stosunku do spływów śródgłębowych.

Poza depozycją atmosferyczną i dostawą składników ługowanych z profilu glebowego i osadów głębszego podłoża w obrębie zlewni Chwałimskiego Potoku, ma tu jeszcze miejsce dostawa materiału rozpuszczonego w wyniku zewnętrznego dopływu podziemnego. Odpływ wód powierzchniowych w roku 2000 przewyższał 1.6-krotnie sumę opadów w tym roku. Po uwzględnieniu ewapotranspiracji, oszacowano zewnętrzne zasilanie gruntowe na 775,9 mm rocznie.

Podsumowanie

- Zróżnicowane warunki glebowe, litologiczne, biogeochemiczne i wpływy antropogeniczne w zlewni Chwałimskiego Potoku sprzyjają różnicowaniu właściwości fizykochemicznych wód podziemnych. Ponieważ określenie typu hydrogeochemicznego wód wg Altowskiego i Szwieca czy Szczukariewa wskazuje jedynie na główne składniki wód i ich proporcje w ogólnym składzie, dodatkowo przeprowadzono analizę podobieństwa wód podziemnych z uwzględnieniem ogólnej mineralizacji i stężeń poszczególnych składników wód podziemnych. Dało to podstawę do wydzielenia obszarów występowania wód zaliczanych do poszczególnych grup hydrochemicznych. Dwie grupy (I i II) łączą wody genetycznie jednorodne, w grupie III znalazły się wody o różnej genezie,
- różna jest charakterystyka warunków krążenia wód i substancji rozpuszczonych w przypadku dwu wyznaczonych przez punkty obserwacyjne transektów. W przekroju wododział-baza drenażu skład chemiczny wód wyraźnie zależy od warunków przepływu poziomego wody

i zmienia się (wzrasta lub maleje) wzdłuż drogi filtracji o kilkadziesiąt procent. W transekcie prostopadłym do cieku chemizm wód nie zależy od warunków filtracji, natomiast różnice w składzie wynikają z uwarunkowań biochemicznych,

- badania właściwości fizykochemicznych opadów atmosferycznych, spływów śródpokrywowych i wód gruntowych w zlewni Chwalimskiego Potoku wskazują, że zasadnicza zmiana parametrów wód zachodzi w trakcie penetracji warstwy glebowej. W strefie saturacji stężenia zmieniają się w mniejszym stopniu,
- przy zróźnicowanych warunkach środowiskowych geosystemów zlewni źródłkowych na terenach młodoglacjalnych, szczegółowe rozpoznanie zasobów, dróg filtracji i właściwości fizykochemicznych wód podziemnych stanowi podstawę interpretacji warunków kształtowania chemizmu wód rzecznych.

Literatura

- Burt T.P., Haycock N.E.**, 1996: Linking Hillslopes to Floodplains. W: Floodplain Processes.
- Dojlido, J.**, 1980: Instrumentalne badania wody i ścieków. Arkady, Warszawa.
- Karczewski A.**, 1989: Morfogeneza strefy marginalnej fazy pomorskiej na obszarze lobu Parsęty w vistulianie. Geografia, 44.
- Kazimierski B.**, 2000: Wody podziemne w programie badań Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. W: G. Wójcik, K. Marciniak (red.) Funkcjonowanie i monitoring geosystemów z uwzględnieniem lokalnych problemów ekologicznych, VII Ogólnopolskie Sympozjum ZMŚP Toruń, Koniczynka 19-21 IX 1996. Ossolineum, Warszawa. Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, Z. Nauk., 25.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Zb.**, 1994: Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni. SGP, Poznań.
- Kruszyk R.**, 1999: Charakter i uwarunkowania przepływu materii w zlewni leśnej Zajączkowego Potoku. W: A. Kostrzewski (red.) Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych 2. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Małecki J.J.**, 1998: Rola strefy aeracji w kształtowaniu składu chemicznego płytkich wód podziemnych wybranych środowisk hydrogeochemicznych. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 381, Warszawa.
- Macioszczyk A.**, 1987: Hydrogeochemia, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Marciniak M., Stelmach M.**, 1992: Badanie współczynnika filtracji metodą paramex w rejonie Stacji Badawczej w Storkowie. Poznań. Materiały Stacji Geoekologicznej UAM w Storkowie.
- Mazurek M.**, 2000: Zmienność transportu materiału rozpuszczonego w zlewni Kłudy jako przejaw współczesnych procesów denudacji chemicznej (Pomorze Zachodnie), Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Michalska G.**, 2001: Chemizm opadów atmosferycznych. W: A. Kostrzewski (red.) Raport Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie za rok 2000. Materiały Stacji Geoekologicznej UAM w Storkowie.
- Stach A.**, 1994: Charakter krążenia a jakość wód w użytkowanej rolniczo mikrozelewni na obszarze młodoglacjalnym. W: A. Kostrzewski (red.) ZMŚP Stacja Bazowa Storkowo, Bibl. Monitoringu Środ., Warszawa.
- Stelmach M., Fic M.**, 1992: Sprawozdanie z terenowych prac wiertniczych i geologicznych w zlewni eksperymentalnej w Storkowie, Poznań. Materiały Stacji Geoekologicznej UAM w Storkowie.

- Szpikowski J.**, 2000: Zróżnicowanie erozji gleb na stokach użytkowanych rolniczo w zlewni młodoglacjalnej (Pomorze Zachodnie, Chwalimski Potok). Rozprawa doktorska pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Kostrzewskiego w Zakładzie Geoekologii i Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Instytutu Badań Czwartorzędu i Geoekologii UAM, Poznań.
- Szpikowski J., Michalska G., Kruszyk R.**, 1998: Raport Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Storkowie za lata hydrologiczne 1994-1997. W: A. Kostrzewski (red.) Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – Stan geoeosystemów Polski w latach 1994-1997. Bibl. Monitoringu Środ., Warszawa.