

Grażyna Michalska

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

Dostawa atmosferyczna, krążenie i odpływ nutrientów ze zlewni rolniczej (Chwalimski Potok, górna Parsęta)

Nutrient wet deposition, cycle and runoff from the agricultural catchment (Chwalimski Potok, upper Parsęta)

Streszczenie

Badania właściwości fizykochemicznych wód na różnych etapach obiegu prowadzone w eksperymentalnej zlewni Chwalimskiego Potoku pozwalają na wskazanie źródeł dostawy i mechanizmów retencji nieorganicznych form azotu i fosforu w geoekosystemach zlewni rzecznych. Za potencjalne źródła nutrientów uznano: mokrą depozycję atmosferyczną, spływy śródpokrywowe, wody drenarskie, wody gruntowe. Ustalono, że duże ładunki nutrientów w odpływie rzeczonym są związane z zasilaniem wodami gruntowymi trwale zanieczyszczonymi związkami pochodzenia nawozowego. Wielkość udziału nieorganicznych form azotu i fosforu w denudacji chemicznej określono na 6,4%.

Summary

The part of researches in the little agricultural catchment (Chwalimski Potok channel, upper Parsęta catchment) is connected with nitrogen and phosphorus cycle. Wet NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} deposition is often one of the most important sources of the nutrient supply in a catchment. In Chwalimski Potok catchment the ratio of wet deposition/load in river water is the only 8-23% in the NO_3^- and PO_4^{3-} case and 296% in the NH_4^+ case. Drainage water from the hillslope with the fallow has low nutrient concentrations. The subsurface runoff from the agricultural hillslope, has high concentrations but the very low effectiveness. The mean source of N and P in Chwalimski Potok channel is ground water polluted by fertiliser compounds. The riparian buffer strip in Chwalimski Potok catchment has the high effectiveness in controlling the flux of agrochemicals. Nutrient concentrations were reduced there 1,2.times in the NH_4^+ case, 2,5.times in the PO_4^{3-} case and 89.times in the NO_3^- case.

Bilansowanie ilości materii deponowanej w podłożu wskutek mokrej dostawy atmosferycznej i materii odprowadzanej korytami rzecznyimi pozwala zauważyć, że w przypadku niektórych składników ładunek wnoszony do zlewni tą tylko drogą przewyższa ładunek odprowadzany wodami cieków (Borowiec, Pieńkowski, 1993, Koc i wsp., 2000, Michalska, Szpikowski, 2000, Rajda i wsp., 1994, Szpikowski i wsp., 1998, Domagała, Pawlik-Dobrowolski, 1993). W regionach nie zanieczyszczonych, występujące w opadach atmosferycznych substancje chemiczne rzadko osiągają stężenia porównywalne ze stężeniami w wodach powierzchniowych i w konsekwencji odpływ substancji chemicznych wodą rzeczną wielokrotnie przewyższa dostawę atmosferyczną. Z drugiej strony, zawartość w opadzie składników takich jak jony amonowe, azotany, fosforany, metale ciężkie, często jest porównywalna, a nawet przekracza stężenia w wodach powierzchniowych, co oznacza, że - w zależności od ilościowych relacji dostawy i odpływu wody mokra depozycja tych składników może przewyższać ładunki odprowadzane ze zlewni. W zlewni górnej Parsęty w latach 1996-97 ładunek jonów NO_3^- , NH_4^+ i PO_4^{3-} wnoszony z opadami stanowił odpowiednio: 57, 400, 74% ładunku wyprowadzanego wodami Parsęty, zaś w przypadku zlewni Młyńskiego Potoku (zlewnia cząstkowa zlewni górnej Parsęty) odpowiednio: 139, 1177, 301% ładunku wynoszonego (Szpikowski i wsp., 1998). Wymienione składniki są wprowadzane do podłoża również z innych źródeł: sucha depozycja atmosferyczna, dostawa nawozów mineralnych i organicznych, dopływ ścieków. Przewaga dostawy nad odpływem wskazuje na retencjonowanie składników w zlewni rzecznej. Możliwość zatrzymywania związków azotu i fosforu w zlewni ma szczególne znaczenie z ekologicznego punktu widzenia. Migracja nutrientów do zbiorników wodnych może prowadzić do zakwitów fitoplanktonu i pogorszenia jakości wody.

Program badawczy realizowany w eksperymentalnej zlewni Chwalimskiego Potoku, obejmujący obserwacje hydrometeorologiczne oraz badania chemizmu wód opadowych, spływu śródpokrywowego, wód powierzchniowych i gruntowych ma na celu poznanie relacji dostawy i odpływu oraz dróg krążenia wody i materii rozpuszczonej w geosystemie zlewni rzecznej. Prowadzone obserwacje stanowią studium uszczegóławiające w badaniach nad funkcjonowaniem geosystemów zlewni na obszarach młodoglacjalnych (Kostrzewski, 1993). Wyniki badań prowadzonych w roku hydrologicznym 2000 umożliwiły m.in.:

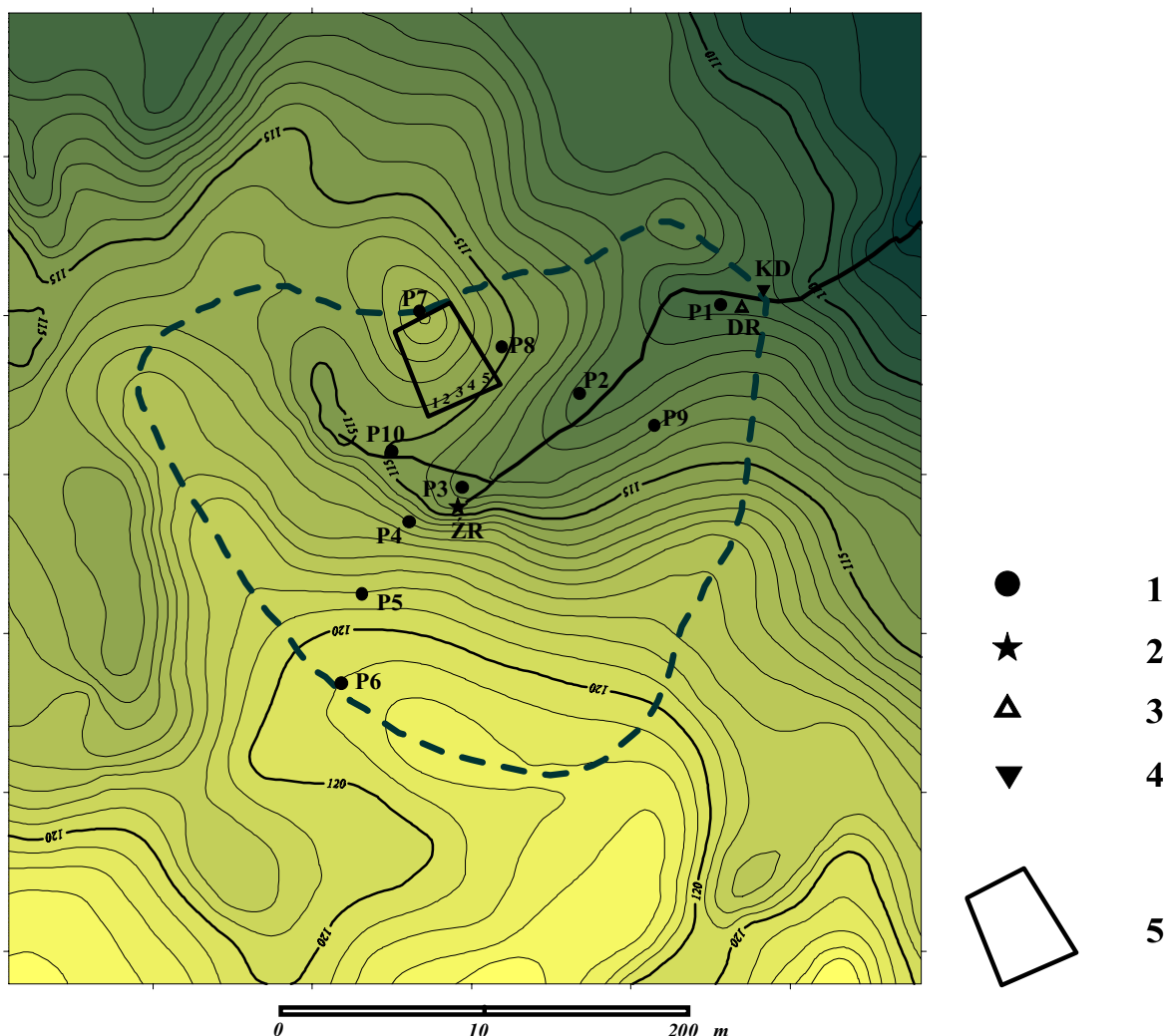
- porównanie ładunków nutrientów deponowanych z opadem atmosferycznym i odprowadzanych wodami Chwalimskiego Potoku,
- obliczenie udziału związków azotu i fosforu w denudacji chemicznej,
- poznanie wpływu wód drenarskich ze stoku ugorowanego na odpływ nutrientów ze zlewni,
- określenie roli spływu śródpokrywowego ze stoku o użytkowaniu rolniczym w dostawie azotu i fosforu do koryta cieków,
- określenie roli wód gruntowych jako źródła dostawy nutrientów do wód Chwalimskiego Potoku,
- poznanie efektywności strefy nadrzecznej w retencji nutrientów.

Teren badań

Zlewnia Chwalimskiego Potoku jest najmniejszą w ramach podziału hydrograficznego zlewnią I rzędu, stanowiącą podsystem zlewni cząstkowej Młyńskiego Potoku i w dalszej kolejności górnej Parsęty. Zlewnia zajmuje obszar 4,8 ha położony w obrębie moreny dennej, w rejonie zaliczanym przez Karczewskiego (1989) do wysoczyzn morenowych północnego skłonu Pomorza.

Obszar zlewni odwadnia ciek o długości wynoszącej od źródła do przelewu zamykającego 215 m. Zlewnia do roku 1994 była użytkowana rolniczo, następnie, z wyjątkiem powierzchni testowych do badania erozji gleb (Szpikowski, 2000) i skrawka gruntu ornego w części północno-zachodniej (0,47 ha), została wyłączona z uprawy. Charakterystycznym elementem zlewni są strefy obniżenia wytopiskowych przy korycie cieków, z wysokim poziomem wód gruntowych, porośnięte roślinnością wilgociolubną, odgrywające zasadniczą rolę w transformacji wód spływających powierzchniowo, śródpokrywowo i w strefie nasyconej z obszaru zlewni do koryta. Tak ukształtowana strefa

nadrzeczna przyczynia się do obniżania stężeń nutrientów w wodach zasilających potok i następnie odprowadzanych ze zlewni.



Ryc. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych w zlewni Chwalimskiego Potoku
1 - piezometry, 2 - wysięk w niszy źródłkowej, 3 - wypływ z drenu, 4 - koryto hydrometryczne, 5 - powierzchnie testowe do badania spływów śródpokrywowych

Fig. 1. Location of study sites in Chwalimski Potok catchment
1 - tubes, 2 - spring, 3 - drainage outflow, 4 – hydrometric flume, 5- experimental plots

Metody badawcze

Zaplecze do prowadzenia badań w zlewni Chwalimskiego Potoku stanowi Stacja Geoekologiczna UAM w Storkowie. Dane dotyczące wysokości opadów pochodzą z posterunku meteorologicznego Stacji. Chwytnice opadu atmosferycznego (zimą – plastikowe leje bez odpływu, w okresach ciepłych – z odpływem do plastikowego naczynia zabezpieczającego opad przed parowaniem i wpływem promieniowania słonecznego) były eksponowane całodobowo w obrębie posterunku meteorologicznego. Aby wyeliminować wpływ opadu suchego chwytnice były wymieniane codziennie (również po dobie bezopadowej). Próbkę opadów atmosferycznych zlewno do zbiorczego naczynia po każdym dniu z opadem do uzyskania objętości wystarczającej do wykonania szere-

gu pomiarów fizykochemicznych i przechowywano w lodówce. Wielkości przepływów dla Chwalimskiego Potoku obliczono na podstawie obserwacji stanów wody w punkcie zamykającym zlewnię i krzywej konsumpcyjnej wyznaczonej w oparciu o przepływy mierzone metodą podstawionego naczynia. Poziom wody w piezometrach mierzono świszakiem elektronicznym. Do badań spływów śródglebowych wykorzystano instalacje wzorowane na urządzeniach Kosturkiewicza i Szafrąńskiego (Kosturkiewicz, Szafrąński, 1993). Wody spływu śródpokrywowego z poletek testowych były kierowane do naczyń z obojętnego chemicznie materiału. Przed poborem prób każdorazowo mierzono objętość spływu. Próbkę wód powierzchniowych, gruntowych oraz spływu podpowierzchniowego i wód drenarskich były poddawane analizom w laboratorium, w krótkim terminie po poborze w terenie. Analizy chemiczne wykonano w laboratorium hydrochemicznym Stacji Geoekologicznej UAM w Storkowie. Oznaczano wyłącznie nieorganiczne formy fosforu i azotu (PO_4^{3-} , NO_3^- , NH_4^+). Stężenia jonów fosforanowych oznaczono metodą spektrofotometryczną molibdenianową z chlorkiem cynawym, jony azotanowe – metodą spektrofotometryczną z salicylanem sodowym oraz jony amonowe – metodą spektrofotometryczną z odczynnikiem Nesslerera. Oznaczenia wykonano z użyciem SPEKOLA 1100 firmy Zeiss Jena.

Depozycja atmosferyczna i odpływ nutrientów korytem cieków

Suma opadów atmosferycznych w roku hydrologicznym 2000 wyniosła 655,3 mm przy liczbie dni z opadem - 179. W ciągu roku zebrano do analiz chemicznych 33 próbki opadu. Średnie ważone stężenia nutrientów wyniosły: w przypadku PO_4^{3-} - 0,06 mg dm⁻³, NO_3^- - 2,44 mg dm⁻³ i NH_4^+ - 0,93 mg dm⁻³. Prowadzony od roku 1994 w Stacji Geoekologicznej w Storkowie monitoring opadów atmosferycznych wskazuje, że jony amonowe i azotanowe należą do głównych składników wód opadowych w zlewni górnej Parsęty (Michalska 2001). W roku hydrologicznym 2000, zgodnie z klasyfikacją wód naturalnych Szczukariewa (Macioszczyk, 1987), opady w zlewni górnej Parsęty należały do typu wód sześćjonyowych: SO_4^{2-} - NO_3^- - Cl^- - NH_4^+ - Na^+ - H^+ . Średnioroczne stężenia nutrientów w opadach zmieniają się nieznacznie, zaś depozycja w dużej mierze uzależniona jest od wysokości opadów. Zauważalny jest systematyczny wzrost stężeń jonów azotanowych w opadach atmosferycznych wywołany rosnącą emisją tlenków azotu związaną głównie z rozwojem motoryzacji i nasileniem transportu. W omawianym roku opady atmosferyczne wprowadziły do podłoża 38,6 kg km⁻² fosforanów, 1597,2 kg km⁻² azotanów i 607,9 kg km⁻² jonów amonowych.

W roku hydrologicznym 2000 przepływy w punkcie zamykającym zlewnię Chwalimskiego Potoku wahały się od 1,16 do 3,60 dm³ s⁻¹, przy wartości średniej 1,57 dm³ s⁻¹, co oznacza średni spływ jednostkowy równy 32,7 dm³ s⁻¹ km⁻². Odpływ dla całego roku wyniósł 1035,2 mm. 1,6-krotna przewaga odpływu nad dostawą wody opadowej wskazuje, że ciek odwadnia obszar znacznie większy od wytyczonego granicą topograficzną zlewni.

Próbki wody z cieków do badań fizykochemicznych pobierano raz na cztery tygodnie. Średnie ważone stężenie fosforanów wyniosło 0,16 mg dm⁻³, zaś średnie ważone stężenia badanych form azotu - odpowiednio: NO_3^- - 19,06 mg dm⁻³, NH_4^+ - 0,20 mg dm⁻³.

Bardzo duży odpływ dla zlewni Chwalimskiego Potoku determinuje wielkość ładunku wymienionych jonów. W omawianym roku odpłynęło ciekami 165,1 kg km⁻² jonów PO_4^{3-} , 19733,0 kg km⁻² jonów NO_3^- i 205,4 kg km⁻² jonów NH_4^+ . Dla porównania średnie roczne ładunki tych jonów obliczone dla punktu zamykającego całą zlewnię górnej Parsęty w latach 1996-97 (Szpikowski i wsp., 1998) wyniosły odpowiednio: 48,3, 2558,3, 199,4 kg km⁻².

O bilansie depozycja-odpływ nutrientów w zlewni Chwalimskiego Potoku decydują zarówno dysproporcje stężeń w wodzie opadowej i rzecznej jak i duża przewaga odpływu powierzchniowego nad dostawą wody opadowej. Z wyjątkiem ładunku jonów amonowych odpływ nutrientów znacząco przewyższa depozycję atmosferyczną, w przypadku fosforanów – 4 razy, w przypadku azotanów – 12 razy. Ładunek jonów amonowych wnoszony z opadem, z uwagi na wyższe stężenia w opadach w porównaniu z potokiem, jest 3 razy większy od ładunku w odpływie (tab. 1). Duża retencja jonów amonowych jest związana z różnymi procesami: sorpcją w gruncie, wbudowywaniem w masę roślinną, utlenianiem do azotanów.

Tab. 1. Ładunek nutrientów wnoszony z opadem atmosferycznym i odprowadzany ze zlewni Chwalimskiego Potoku w roku hydrologicznym 2000

Tab. 1. Load of nutrient in rain water and in outflow from Chwalimski Potok catchment in hydrological year 2000

	Ładunek w opadzie [kg km ⁻²] (2000) Load in rain water (2000)	Ładunek w odpływie [kg km ⁻²] (2000) Load in outflow (2000)	Stosunek ładunków opad/odpływ [%] Wet deposition/outflow ratio [%]		
			Chwalimski Potok (2000)	Młyński Potok (96-97)	górna Parsęta (96-97)
PO₄³⁻	38,	165,1	23,	300,6	74,
NO₃⁻	1597,2	19733,	8,1	139,7	57,
NH₄⁺	607,9	205,4	296,0	1176,5	400,0

Dla porównania stosunek ładunków opad/odpływ w zlewni Chwalimskiego Potoku w roku 2000 zestawiono z odpowiednimi danymi dla zlewni Młyńskiego Potoku i zlewni górnej Parsęty z lat hydrologicznych 1996-97

Oznaczone w wodach Chwalimskiego Potoku nutrieny stanowią 6,4% materiału rozpuszczonego odprowadzanego ze zlewni w ciągu roku. W zlewniach wyższego rzędu, (Młyński Potok, górna Parsęta) udział nieorganicznych związków azotu i fosforu w denudacji chemicznej wynosi ok. 2%. Różnica wynika z dwu powodów: w odpływie z większych zlewni zaznacza się udział wód odprowadzanych z obszarów leśnych, w dużo mniejszym stopniu obciążonych nutrientami, oraz: dłuższy czas obiegu wody sprzyja retencji azotu i fosforu.

Wpływ wód drenarskich ze stoku ugorowanego na odpływ nutrientów ze zlewni

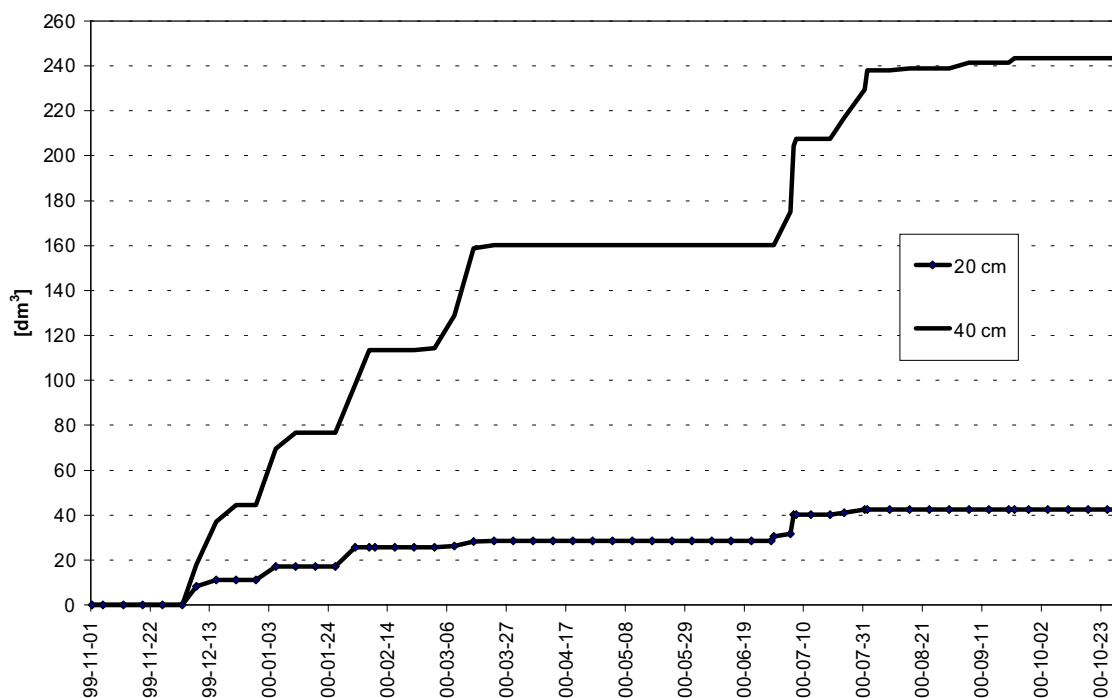
Warunki litologiczne łagodnego stoku w prawobrzeżnej części zlewni Chwalimskiego Potoku sprzyjają tworzeniu się zwierciadła wód zaskórnych. Na głębokości 40-80 cm na glinie zalegają piaski gliniaste (Marcinek, Komisarek, 1998). Poziom wód gruntowych okresowo może tu osiągać powierzchnię gruntu. W tej części zlewni funkcjonują fragmenty starej sieci drenarskiej. W omawianym okresie pobrano kilka prób z odpływu drenarskiego odwadniającego stok. Odpływ wody drenem w okolicy punktu zamykającego zlewnię miał miejsce w okresie podwyższonych stanów wód gruntowych w styczniu, lutym i marcu. Wody drenarskie były słabo zmineralizowane i zawierały stosunkowo niewielkie ilości jonów fosforanowych (średnio 0,06 mg dm⁻³), azotanowych (2,27 mg dm⁻³) i amonowych (0,26 mg dm⁻³). Są to stężenia porównywalne z poziomem stężeń w opadach atmosferycznych i niższe od obserwowanych w wodach Chwalimskiego Potoku (ryc. 6). Na skład chemiczny wód drenarskich ma wpływ krótki czas migracji w profilu glebowym, niewielka głębokość penetracji i wyłączenie odwadnianej części zlewni z uprawy rolnej (łąki i nieużytki od roku 1994). W niektórych przypadkach wody drenarskie są skierowane bezpośrednio do cieku, w innych – osiagają strefę wytopiska, gdzie może zachodzić ich dalsza transformacja.

Rola spływu śródpokrywowego ze stoku o użytkowaniu rolniczym w dostawie azotu i fosforu do koryta cieku

Prowadzone przez Szpikowskiego (2000) w latach 1994-96 badania spływu śródpokrywowego na stoku użytkowanym rolniczo w zlewni Chwalimskiego Potoku rozszerzono o szczegółowe bada-

nia chemizmu. Ujęcia spływu funkcjonują na pięciu poletkach testowych (ryc. 1) o wymiarach 42: 2 m i odbierają wodę z dwóch poziomów: 20 i 40 cm. Trzy poletka testowe (2, 3, 4) są uprawiane w zaplanowanym płodozmianie, jedno jest utrzymywane w postaci łąki (1) i jedno – w postaci czarnego ugoru (5).

W roku hydrologicznym 2000 z pięciu poletek testowych odpłynęło podpowierzchniowo 285,7 dm³ wody, z czego 243,2 dm³ z głębokości 40 cm i 42,5 dm³ z poziomu 20 cm (ryc. 2). Łączna objętość spływu stanowi zaledwie 0,1% opadu atmosferycznego w omawianym okresie. Niska wydajność spływu śródglebowego wiąże się z niewielkim spadkiem stoku i litologią umożliwiającą stosunkowo szybką infiltrację w głąb gruntu.



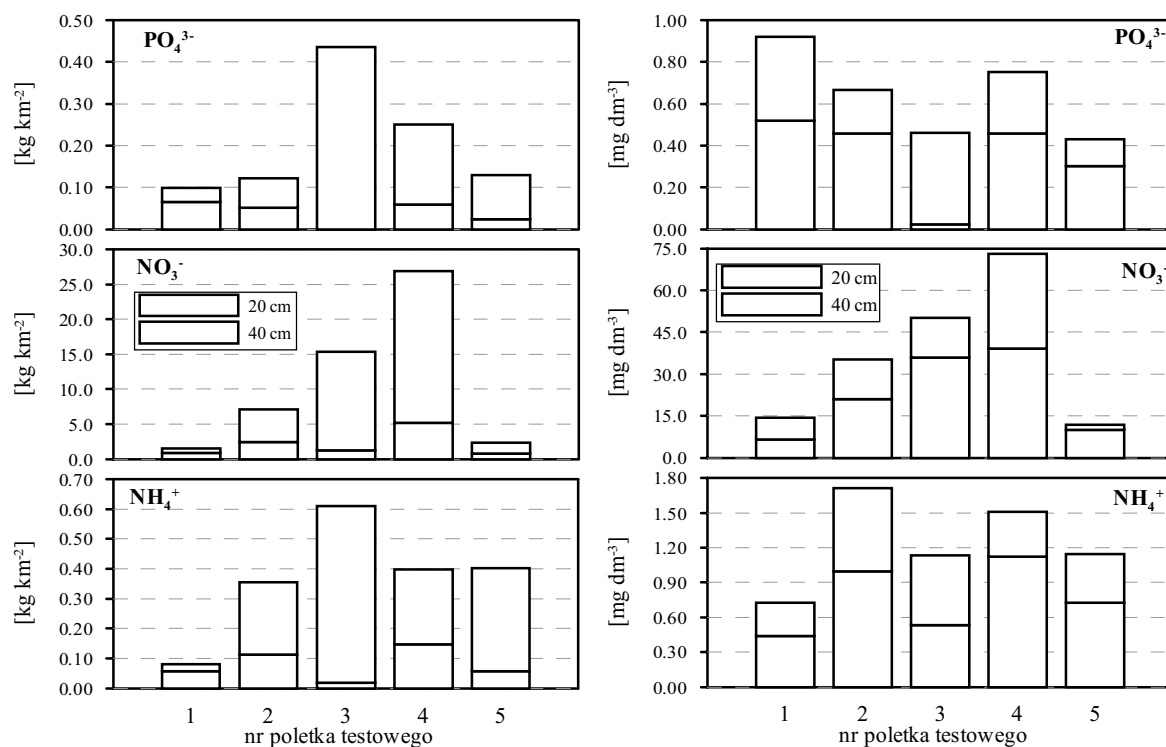
Ryc. 2. Skumulowany spływ śródpokrywowy z poletek testowych z głębokości 20 i 40 cm

Fig. 2. Cumulative subsurface flow from experimental plots from 20 and 40 cm depth

W całym roku hydrologicznym pobrano do analiz chemicznych 76 próbek wód spływu śródpokrywowego, w których oznaczono m.in. stężenia jonów fosforanowych, azotanowych i amonowych. Zawartości wymienionych jonów wahały się w szerokim zakresie, odpowiednio: dla PO₄³⁻ od 0,01 do 2,34 mg dm⁻³, dla NO₃⁻ od 0,04 do 110,80 mg dm⁻³ i w przypadku NH₄⁺ od 0,15 do 2,85 mg dm⁻³. Woda odprowadzana z głębokości 40 cm wykazuje cechy spływu makroporami, charakteryzującego się szybszą migracją i niższą mineralizacją w porównaniu ze spływem w warunkach utrudnionej filtracji (Stach, 1993 za: Burt, Butcher, 1986, Jones, 1987). Niemal we wszystkich przypadkach upraw stężenia były wyższe w odpływie z głębokości 20 cm (ryc. 3).

Jakkolwiek stężenia nutrientów, zwłaszcza azotanów, w spływie śródpokrywowym są wysokie, ładunek jonów odprowadzanych ze stoku tą drogą nie jest znaczący z uwagi na bardzo małe wartości spływu (0,68 mm). Całkowity ładunek jonów fosforanowych dla wszystkich powierzchni badawczych wyniósł 0,21 kg km⁻², jonów azotanowych – 10,65 kg km⁻², jonów amonowych - 0,37 kg km⁻². Obserwuje się wyraźne różnice w wielkościach ładunków nutrientów pomiędzy poletkami na stałe wyłączonymi z uprawy (łąka, czarny ugor) a poletkami z płodozmianem (ryc. 3). Większy spływ związków azotu i fosforu wystąpił na powierzchniach uprawianych, co jest spowodowane zarówno obecnością pozostałości nawozów mineralnych jak i dekompozycją resztek roślinnych po uprawach.

W przypadku zlewni Chwalimskiego Potoku stok uprawiany rolniczo nie ma bezpośredniego kontaktu z korytem cieku. U podnóża stoku uformowała się terasa rolna, poniżej której rozciąga się strefa wytopiska przecinanego przez koryto Chwalimskiego Potoku. Wody spływu podpowierzchniowego infiltrują głębiej i dalszy spływ jonowy odbywa się w strefie saturacji.



Ryc. 3. Ładunki i stężenia jonów fosforanowych, azotanowych i amonowych w spływie podpowierzchniowym na dwóch głębokościach – 20 i 40 cm
1 – łąka, 2, 3, 4 – poletka z płodozmianem, 5 – czarny ugór

Fig. 3. Loads and concentrations of phosphates, nitrates and ammonium ions in subsurface flow from 20 and 40 cm depth
1 – meadow, 2, 3, 4 – crop rotation plots, 5 – bare fallow

Dostawa nutrientów z wodami gruntowymi

W dziesięciu piezometrach raz w tygodniu mierzono poziom zwierciadła wody, a co cztery tygodnie z piezometrów i ze źródła pobierano próbki wody do analiz. Piezometry rozmieszczone są w dwóch transektach: biegnącym wzdłuż osi cieku (P1, P2, P3, P4, P5, P6) i prostopadłym do cieku (P7, P8, P2, P9) (ryc. 1). Piezometr 10 umieszczony jest przy korycie niewielkiego dopływu Chwalimskiego Potoku. Za źródło przyjęto jeden z licznych wysięków w obrębie niszy źródłiskowej.

Główny poziom wodonośny w zlewni stanowią piaski i utwory żwirowe zalegające na glinie. Zwierciadło wody w obrębie stoku w południowo-zachodniej części zlewni (piezometr 6) zalegało przeciętnie na głębokości 4,9 m przy wahaniami poziomu około 0,5 m. Obserwacje poziomu wody dla kolejnych punktów w transekcje (P5, P4) wskazują na przepływ poziomy wód gruntowych zgodny ze spadkiem terenu od punktu na wododziale (P6) w kierunku bazy drenażu, jaką jest źródło Chwalimskiego Potoku. W tej części zlewni warstwa wodonośna ma miąższość ok. 6 m. Poziom wód gruntowych na wododziale w północnej części zlewni (P7) wahał się od 4 do 5,3 m p.p.t. Dla leżącego w środkowej części stoku piezometru 8 zakres zmienności poziomu wody wynosił 1,4 – 2,7 m p.p.t. Pomiar poziomu zalegania zwierciadła wody w obrębie tego stoku wskazują na moż-

liwość filtracji wód gruntowych w dwóch kierunkach: od wododziału w kierunku cieku lub w kierunku przeciwnym. W okresie od listopada do połowy marca przeważał spływ poziomy od cieku do wododziału, w późniejszym okresie nachylenie zwierciadła wskazywało na ruch poziomy wody w kierunku potoku. Piezometry 2, 3, 10, umieszczone w strefie dolinnej, ujmują wody o wysokim poziomie zalegania. Piezometry 1 i 9 reprezentują wody wgłębne zalegające na głębokości 4-5 m w warstwie żwirowej o miąższości 1 m zamkniętej od góry dwumetrową warstwą gliny. Zwierciadło wody ma tu charakter naporowy i stabilizuje się na wysokości dla P1 2,7-4,0 m i dla P9 0,8-2,5 m powyżej stropu warstwy wodonośnej.

W poszczególnych punktach pomiarowych średnie stężenia nutrientów z okresu badawczego wykazują znaczne różnice (tab. 2, ryc. 4), uwarunkowane położeniem, litologią, typem użytkowania terenu, szatą roślinną, warunkami biogeochemicznymi.

Tab. 2. Średnie stężenia nutrientów w wodach podziemnych zlewni Chwalimskiego Potoku. P1-P10 – piezometry, ŻR – źródło

Tab. 2. Average concentrations of nutrient in ground water in Chwalimski Potok catchment. P1-P10 – tubes, ŻR - spring

Punkt pomiarowy Study site	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
	mg dm ⁻³		
P1	0,14	0,32	0,21
P2	0,09	0,37	0,29
P3	0,32	19,	0,16
P4	0,39	13,	0,16
P5	0,08	43,	0,13
P6	0,22	20,	0,15
P7	0,28	30,	0,41
P8	0,18	35,	0,30
P9	0,08	0,55	0,43
P10	0,13	10,	0,38
ŻR	0,73	3,57	0,32

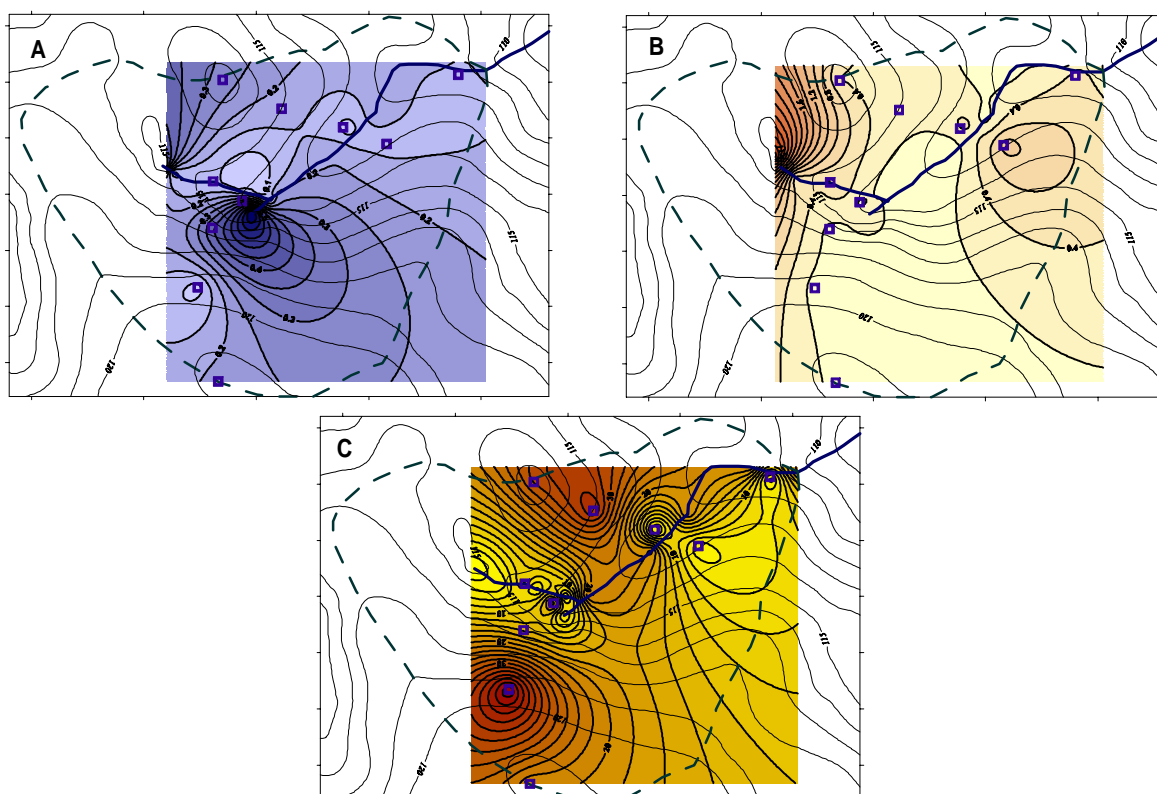
Analiza skupień według metody Warda przeprowadzona na podstawie średnich stężeń jonów fosforanowych, azotanowych i amonowych pozwoliła na wydzielenie trzech głównych grup wód gruntowych w zlewni Chwalimskiego Potoku.

1. Niskie stężenia nutrientów obserwuje się w grupie reprezentowanej przez piezometry P1, P2, P9 i źródło, związanej z utworami o niskiej wodoprzepuszczalności (współczynnik filtracji k w zakresie 0,07-0,18 m h⁻¹). Należy tu jednak wydzielić jako typy odrębne:

- wody wgłębne (P1, P9), których skład jest modyfikowany (fizyczna sorpcja fosforanów i jonów amonowych) w wyniku pionowej filtracji wód przez trudno przepuszczalną warstwę gliny,
- wody gruntowe w punkcie P2 (zagłębienie wytopiskowe z roślinnością higrofilną) z chemizmem uwarunkowanym procesami biogeochemicznymi zachodzącymi w strefie nadrzecznej (nityfikacja, denityfikacja, wytrącanie fosforanów),
- wody źródła, których niewielka mineralizacja, niskie stężenia zjonizowanej krzemionki wskazują na rozcieńczenie wodami spływów podpowierzchniowych; duża ilość jonów fosforanowych w tym miejscu pochodzi z procesów dekompozycji materii organicznej; warunki redukcyjne w tej strefie sprzyjają denityfikacji.

2. Wody gruntowe o średniej zawartości jonów azotanowych i podwyższonych stężeniach fosforanów, w tym:

- wody włączone w system odpływu podziemnego od zagłębienia wytopiskowego w północno-zachodniej części zlewni otoczonego polem uprawnym w kierunku cieku (P10, P3),



Ryc. 4. Rozkład przestrzenny stężeń (w mg dm^{-3}) jonów fosforanowych (A), amonowych (B) i azotanowych (C) w wodach gruntowych i powierzchniowych zlewni Chwalimskiego Potoku

Fig. 4. Spatial distribution of phosphates (A), ammonium ions (B) and nitrates (C) concentrations (in mg dm^{-3}) in Chwalimski Potok catchment

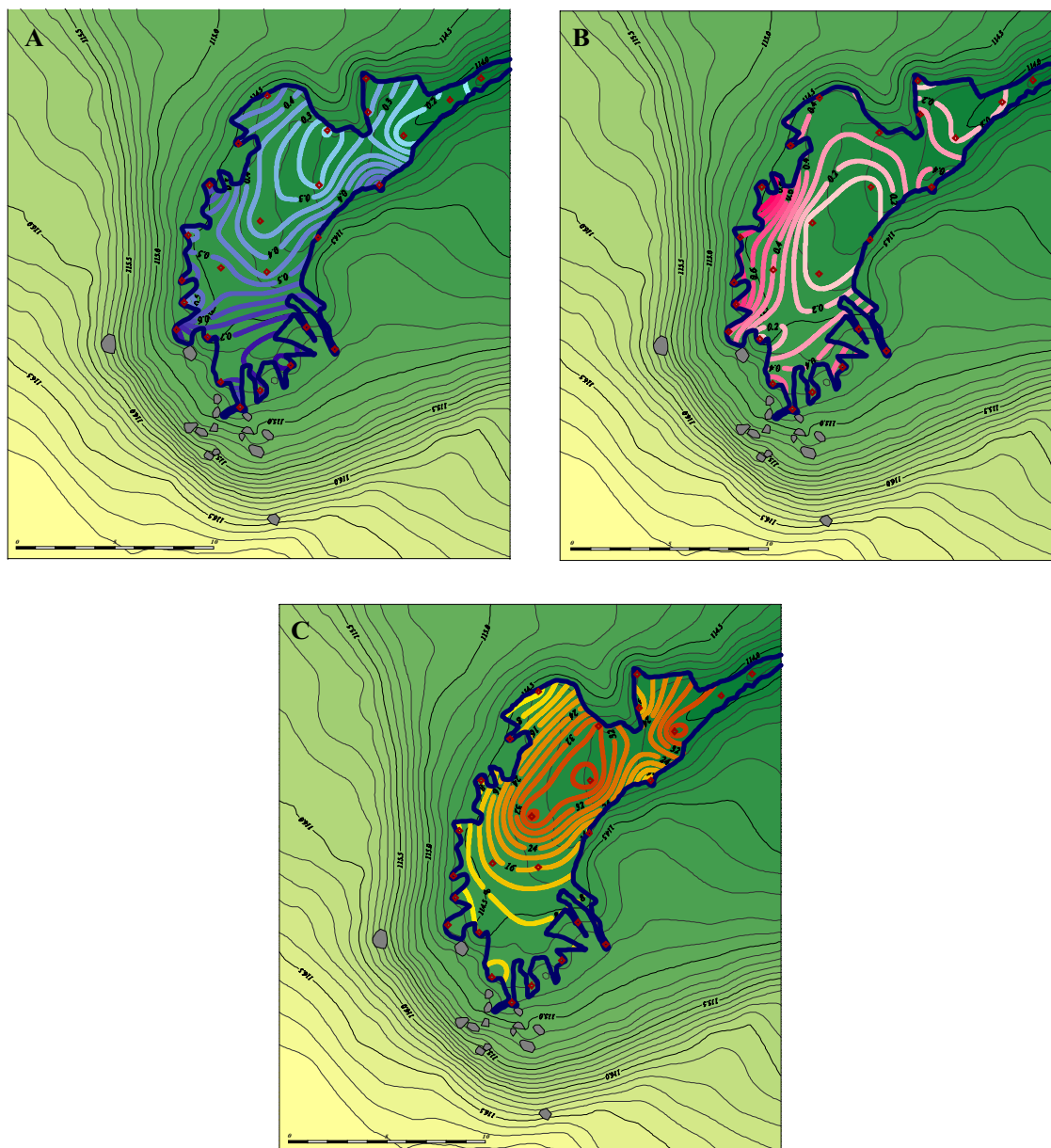
o wysokim poziomie zalegania, filtrujące w utworach o słabej przepuszczalności wodnej (k 0,05-1,57 m h^{-1});

- wody gruntowe w górnej części zlewni (P4, P6) związane z piaszczysto-żwirową warstwą wodonośną o bardzo dobrych warunkach filtracji (k 3,62-4,33 m h^{-1}), których chemizm kształtowany jest przez zanieczyszczenia antropogeniczne (nawozy) i łatwość infiltracji słabo zmineralizowanych wód opadowych.

3. Wody o wysokich stężeniach jonów azotanowych pochodzenia antropogenicznego (nawożenie) zalegające w utworach piaszczysto-żwirowych o umiarkowanie dobrych warunkach drenażu (k 1,95-2,05 m h^{-1}) w przypadku punktów P5 i P7 oraz w warstwie o znacznie gorszej wodoprzepuszczalności (k 0,10 m h^{-1}) w przypadku P8.

W zlewni Chwalimskiego Potoku wody gruntowe pełnią zasadniczą rolę w kształtowaniu chemizmu wód powierzchniowych. Największe znaczenie w dostawie nutrientów mają trwale zanieczyszczone wody gruntowe filtrujące z południowego-zachodu, które dają początek ciekowi. Wody pobierane do analiz w obrębie źródła (ZR) zaliczone są do grupy 1 o najniższych stężeniach azotanów, pochodzą jednak z jednego z licznych, mało wydajnych wyięków w niszy źródłiskowej oraz mogą być rozcieńczane spływami śródpokrywowymi. Dla wskazania stref wypływu właściwych wód gruntowych w kwietniu 2001 roku przeprowadzono kartowanie hydrochemiczne niszy źródli-

skowej. Analiza wód pobranych w 26. wytypowanych punktach wykazała, że z brzegowych części źródła sączą się wody słabozmineralizowane jednak zawierające największe ilości fosforanów i jonów amonowych (ryc. 5). Są to wody glebowe spływające grawitacyjnie w kierunku źródła, wzbogacone w rozpuszczalne produkty zachodzącej w warunkach redukcyjnych dekompozycji materii organicznej. W centralnej i ujściowej części niszy ma miejsce wypływ właściwych wód gruntowych, charakteryzujących się wysoką mineralizacją, dużym stężeniem jonów azotanowych (powyżej 40 mg dm^{-3}) oraz najniższymi stężeniami fosforanów i jonów amonowych. Powyższe



Ryc. 5. Rozkład stężeń (w mg dm^{-3}) jonów fosforanowych (A), amonowych (B) i azotanowych (C) w wodach w obrębie niszy źródliskowej

Fig. 5. Distribution of phosphates (A), ammonium ions (B) and nitrates (C) concentrations (in mg dm^{-3}) in spring niche

spostrzeżenia oraz wyniki obserwacji prowadzonych w latach 1994-96 (Szpikowski 2000), wykazujących, że podstawą zasilania potoku jest wydajny wypływ ze źródła, dający (wraz z dopływem) w skali roku ok. 70% odpływającej ze zlewni wody, wskazują, że wody ciekłu już opuszczając niszę źródłiskową są obciążone dużym ładunkiem nutrientów.

Efektywność strefy nadrzecznej w retencji nutrientów

W warunkach zlewni Chwalimskiego Potoku system stokowy od systemu koryta oddziela strefa nadrzeczna, którą stanowi obszar zagłębienia wytopiskowego o permanentnie wysokim poziomie wód gruntowych (w omawianym okresie: 13-100 cm p.p.t.), sprzyjającym rozwojowi bogatej roślinności typowej dla obszarów podmokłych. Wody spływów powierzchniowych, śródglebowych, odpływów drenarskich i wody gruntowe systemu stokowego, zanim osiągną koryto ciekłu, w obrębie strefy nadrzecznej ulegają transformacji, polegającej na obniżeniu stężeń nutrientów (ryc. 6). Część nutrientów jest wbudowywana w masę roślinną, jednak większość (do 75% ładunku) zostaje zatrzymana w glebie w wyniku procesów mikrobiologicznych (Puchalski, 1999). Za główny mechanizm usuwania azotu uważa się zachodzącą w warunkach deficytów tlenowych i dostępności materii organicznej denitryfikację - proces mikrobiologicznej redukcji azotanów do wolnego azotu. Ewentualna dostępność tlenu (np. w wyniku wydzielania z korzeni do gleby przez niektóre rośliny hydrofilne) stwarza warunki do utleniania jonów amonowych (nityfikacja) i retencji fosforanów (strącanie z utlenionymi formami żelaza i manganu).

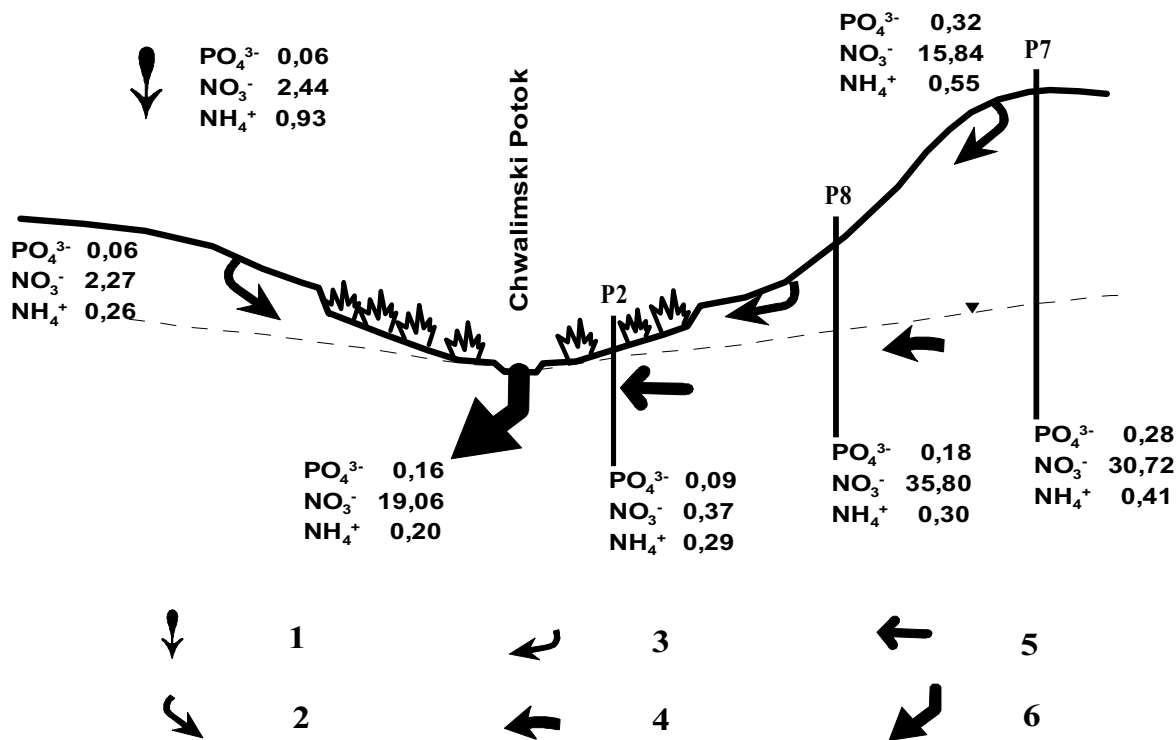
Celem prześledzenia skuteczności strefy nadrzecznej w redukcji stężeń nutrientów wybrano przekrój poprzeczny zlewni Chwalimskiego Potoku (ryc. 1.) wyznaczony przez piezometry P7 (wierzchołkowa stoku w części północnej), P8 (na zboczu), P2 (strefa zagłębienia wytopiskowego). Zasięg strefy nadrzecznej w tym miejscu (do krawędzi koryta) wynosi 21,5 m.

Porównanie średnich stężeń nutrientów w wodach gruntowych systemu stokowego i wodach gruntowych strefy nadrzecznej wskazuje na znaczną transformację wód w obrębie pasa buforowego. Stężenie jonów fosforanowych w wodach gruntowych strefy wytopiska w porównaniu z wodami gruntowymi systemu stokowego średnio obniża się 2,5-krotnie, jonów amonowych – 1,2-krotnie, a zawartość azotanów jest 89 razy niższa (ryc. 6). Strefa nadrzeczna w tej części zlewni jest efektywna w retencji wszystkich nieorganicznych form nutrientów.

Podsumowanie

Porównanie udziału mokrej depozycji atmosferycznej nutrientów w ładunku wynoszonym ze zlewni pozwala zauważyć, że o ile dla dorzeczy Młyńskiego Potoku i górnej Parsęty opady stanowią bardzo ważne źródło dostawy, to w przypadku zlewni Chwalimskiego Potoku, z wyjątkiem ładunku jonów amonowych, dostawa nutrientów z wodą opadową jest źródłem o mniejszym znaczeniu (tab. 1). Podstawą odpływu jonów azotanowych i fosforanowych jest zasilanie gruntowe z pierwszego poziomu wodonośnego, którego wody są niewątpliwie przeobrażone wskutek nawożenia. Kartowanie hydrochemiczne niszy źródłiskowej wykazuje, że wody już opuszczając strefę źródłiskową są obciążone znacznym ładunkiem nutrientów (ryc. 5). W dalszej części biegu rzeki chemizm wód może być modyfikowany wskutek interakcji z wodami gruntowymi strefy nadrzecznej (ryc. 6), w której zachodzi efektywna redukcja stężeń nutrientów w stosunku do wód gruntowych migrujących w kierunku prostopadłym do ciekłu (Burt, Haycock, 1996, Gutry-Korycka, 1999). Z drugiej strony, istnieje możliwość omijania strefy nadrzecznej (bypassing) przez bogate w nutrienty wody gruntowe systemu stokowego, które znajdują dostęp do koryta przemieszczając się w utworach o lepszych warunkach drenażu (Burt, Haycock, 1996). Ważną rolę w usuwaniu z obiegu nutrientów pełni wymiana wód powierzchniowych z wodami strefy hyporeicznej (strefa kontaktu wód powierzchniowych i właściwych wód gruntowych), której warunki biogeochemiczne umożliwiają zarówno nityfikację jonów amonowych do azotanów jak i eliminowanie azotu azotanowego wskutek denitryfikacji oraz, przy obecności zredukowanych form żelaza i manganu, po ich utlenieniu - wytrącanie fosforanów już obecnych w wodzie rzecznej (Puchalski, 1999, Puchalski i wsp.,

1997). Skutecznym filtrem nutrientów dla wody płynącej korytem cieku mogą być rośliny typowe dla środowisk wodnych, które porastają dno koryta Chwalimskiego Potoku niemal na całej długości oraz osady denne aktywne w pochłanianiu fosforu (wytrącanie z niektórymi metalami, tworzenie kompleksów organicznych, pochłanianie przez mikroorganizmy).



Ryc. 6. Stężenia nutrientów (w mg dm⁻³) na poszczególnych etapach obiegu wody w zlewni Chwalimskiego Potoku
 1- opad atmosferyczny, 2- wody drenarskie, 3- spływ śródpokrywowy, 4- wody gruntowe systemu stokowego, 5- wody gruntowe strefy nadrzecznej, 6- odpływ korytowy

Fig. 6. Nutrient concentrations (in mg dm⁻³) on several water cycle stages in Chwalimski Potok catchment
 1 – precipitation, 2 – drainage water, 3 – subsurface flow, 4 – of hillslope system ground water, 5 – of riparian zone ground water, 6 – outflow

Wnioski

- Ze względu na dysproporcje stężeń nutrientów w wodach opadowych i wodach Chwalimskiego Potoku oraz dużą przewagę odpływu wody w porównaniu z dostawą wód opadowych, odpływ nutrientów ze zlewni Chwalimskiego Potoku, z wyjątkiem ładunku jonów amonowych, znacząco przewyższa depozycję atmosferyczną, w przypadku fosforanów – 4 razy, w przypadku azotanów – 12 razy. Ładunek jonów amonowych wnoszony z opadem, z uwagi na wyższe stężenia w opadach w porównaniu z potokiem, jest 3-krotnie wyższy od ładunku w odpływie.
- Udział nieorganicznych form azotu i fosforu w całkowitym odpływie substancji rozpuszczonych z mikrozwlewni wynosi 6,4%.
- W warunkach zlewni Chwalimskiego Potoku odpływy drenarskie, ze względu na niskie stężenia nutrientów i okresowe występowanie, zaś spływy śródpokrywowe, mimo wyso-

kich stężeń nieorganicznych związków azotu i fosforu, przy bardzo małych wydajnościach, mają niewielkie znaczenie dla dostawy nutrientów do cieku.

- Strefa nadrzeczna jest miejscem skutecznej retencji nutrientów. W obrębie pasa buforowego stężenia jonów amonowych są 1,2-krotnie, jonów fosforanowych 2,5-krotnie i jonów azotanowych 89 razy niższe w porównaniu z wodami gruntowymi systemu stokowego.
- Podstawą odpływu nutrientów ze zlewni Chwalimskiego Potoku jest zasilanie gruntowe z pierwszego poziomu wodonośnego, którego wody są przeobrażone wskutek nawożenia.
- Naturalne mechanizmy wykształcone w zlewni Chwalimskiego Potoku sprzyjają retencji nieorganicznych form azotu i fosforu, jednak spływ jonów azotanowych, fosforanowych i amonowych w dół rzeki i tak pozostaje wysoki ze względu na duże wartości odpływu jak również z powodu znacznych ilości tych składników w wodach gruntowych pierwszego poziomu wodonośnego, stanowiących główne źródło zasilania cieku.

Literatura

- Borowiec S., Pieńkowski P.**, 1993: Oddziaływanie geochemiczne i antropogeniczne na chemizm wód obszarów rolniczo-leśnych Pomorza Zachodniego. W: A. Kostrzewski (red.) Geoekosystem obszarów nizinnych. Ossolineum, Wrocław. Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, Z. Nauk., 6.
- Burt T.P., Butcher D.P.**, 1986: Development of topographic indices for use in semi-distributed hillslope runoff models. Z. Geomorph. Suppl., 58.
- Burt T.P., Haycock N.E.**, 1996: Linking Hillslopes to Floodplains. W: Floodplain Processes.
- Domagała R., Pawlik-Dobrowolski J.**, 1993: Znaczenie badań mokrego opadu zanieczyszczeń atmosferycznych w bilansie substancji chemicznych obiektu ZMŚP. Materiały Sympozjum ZMŚP – Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów, Szczecinek – Storkowo 23-24 września 1993.
- Gutry-Korycka M.**, 1999: Zlewnia jako geoekosystem dynamiczny. W: A. Kostrzewski (red.) Funkcjonowanie geoekosystemów zlewni rzecznych 2. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Jones J.A.A.**, 1987: The initiation of natural drainage networks. Progress in Physical Geography.
- Karczewski A.**, 1989: Morfogeneza strefy marginalnej fazy pomorskiej na obszarze lobu Parsęty w wistulianie. Geografia, 44.
- Koc J., Nowicki Z., Glińska K., Łachacz A.**, 2000: Kształtowanie się jakości wód w warunkach małej antropopresji na przykładzie zlewni strugi Ardung. W: G. Wójcik, K. Marciniak (red.) Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów 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.**, 1993: Geoekosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna. W: A. Kostrzewski (red.) Geoekosystem obszarów nizinnych. Ossolineum, Wrocław. Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, Z. Nauk., 6.
- Kosturkiewicz A., Szafranski Cz.**, 1993: Spływy powierzchniowe i podpowierzchniowe z bogato rzeźbionych terenów. W: A. Kostrzewski (red.) Geoekosystem obszarów nizinnych. Ossolineum, Wrocław. Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, Z. Nauk., 6.
- Macioszczyk A.**, 1987: Hydrogeochemia, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Marcinek J., Komisarek J.**, 1998: Badania gleboznawcze nad zróżnicowaniem pokrywy glebowej w obrębie powierzchni testowej ZMŚP w Storkowie. W: A. Kostrzewski (red.) Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Materiały z IX Sympozjum ZMŚP Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geoekosystemów Polski, Storkowo, 2-4 września 1998. Bibli. Monitoringu Środ., Warszawa.

- Michalska G.**, 2001: Chemizm opadów atmosferycznych. W: A. Kostrzewski (red.) Raport Stacji Bazowej ZMŚP w Storkowie za rok hydrologiczny 2000. Materiały własne Stacji Geoekologicznej UAM w Storkowie.
- Michalska G., Szpikowski J.**, 2000: Obieg wody w geosystemie zlewni górnej Parsęty w roku hydrologicznym 1995. 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.
- Puchalski W.**, 1999: Funkcjonowanie dolin rzecznych jako złożonych systemów ekologicznych. W: A. Kostrzewski (red.) Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych 2. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Puchalski W., Bis B., Zalewski M.**, 1997: Procesy retencji nutrientów w ekotonach rzek zasilających zbiorniki zaporowe. W: Procesy biologiczne w ochronie i rekultywacji nizinnych zbiorników zaporowych. Bibl. Monitoringu Środ., Łódź.
- Rajda W., Ostrowski K., Kowalik T., Marzec J.**, 1994: Zawartość niektórych składników chemicznych w wodzie opadowej i odpływającej z mikrozwlewni rolniczych. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu – CCLXVIII.
- Stach A.**, 1993: Uwarunkowania i funkcjonowanie procesów denudacji chemicznej i ich wpływ na morfodynamikę stoków mikrozwlewni na obszarze młodoglacjalnym (zlewnia górnej Parsęty, Pomorze Zachodnie). Praca doktorska pod kierunkiem prof. dr. hab. A. Kostrzewskiego w Zakładzie Geomorfologii Dynamicznej Instytutu Badań Czwartorzędu UAM, Poznań.
- 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 geosystemów Polski w latach 1994-1997. Bibl. Monitoringu Środ., Warszawa.