

Wpłynęło 07.09.2016 r.
Zrecenzowano 25.10.2016 r.
Zaakceptowano 28.11.2016 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

SPLYW POWIERZCHNIOWY WAPNIA, MAGNEZU, ŻELAZA, MANGANU ORAZ AZOTU I FOSFORU ZE ZLEWNI GÓRNEJ PASŁĘKI

Jolanta GROCHOWSKA ABCDEF

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk o Środowisku, Katedra Inżynierii Ochrony Wód

Streszczenie

Celem badań było ustalenie wartości jednostkowych współczynników splywu makropierwiastków z terenów o różnych formach zagospodarowania w zlewni górnej Pasłęki i jej prawobrzeżnego dopływu Gilwy. Stwierdzono, że największe wartości współczynników splywu manganu oraz azotu i fosforu do wód uzyskano z obszarów użytkowanych rolniczo ($110,8 \text{ kg Ca}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, $15,6 \text{ kg Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, $0,5 \text{ kg Mn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, $0,6 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, $14,3 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$). Badania wykazały też wpływ terenów użytkowanych rolniczo, zarówno gruntów ornych, jak i użytków zielonych (łąki i pastwiska), na zwiększenie ładunku obszarowego wapnia i magnezu, w odniesieniu do których uzyskano największe współczynniki splywu z tych form użytkowania ziemi. Największą wartość współczynników splywu żelaza uzyskano dla obszarów leśnych ($0,6 \text{ kg Fe}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$).

Słowa kluczowe: jednostkowe współczynniki splywu, makroelementy, zlewnia

WSTĘP

Zlewnie wszystkich obiektów wodnych są miejscem, gdzie formuje się ilość i jakość substancji dostarczanych z wodą [ACREMAN, DUNBAR 2004; KANOWNIK, RAJA 2008; SOMARATNE, FRIZENSCHAF 2013]. Ze zlewni do obiektów wodnych dopływają związki azotu i fosforu, związki organiczne oraz inne pierwiastki, takie jak wapń, magnez, żelazo czy mangan, które odgrywają istotną rolę w funkcjonowaniu ekosystemów [SIDORUK, SKWIERAWSKI 2006; SZCZYKOWSKA, SIEMIENIUK 2009]. Ilość związków przedostających się do wód ze zlewni jest zróżnicowana,

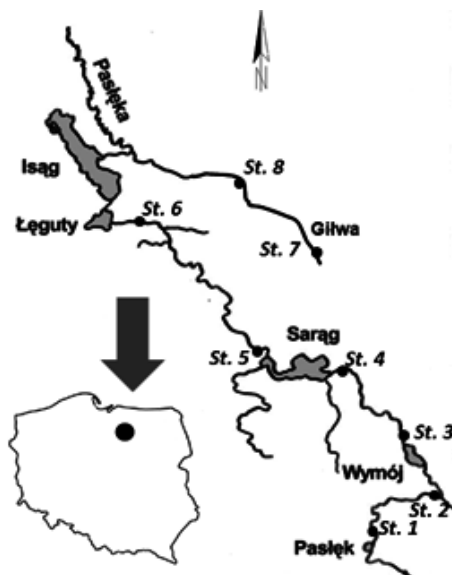
Do cytowania For citation: Grochowska J. 2016. Splyw powierzchniowy wapnia, magnezu, żelaza, manganu oraz azotu i fosforu ze zlewni górnej Pasłęki. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 16. Z. 4 (56) s. 33–42.

bowiem jest wypadkową geochemii krajobrazu, rodzaju roślinności, przepuszczalności utworów powierzchniowych i jakości gleb [FIEDLER i in. 2005; JUDOVÁ, JANSKÝ 2005]. Bardzo duży wpływ na wielkość ładunków makroelementów oraz fosforu i azotu ma zagospodarowanie ziemi oraz intensywność nawożenia użytków rolnych [GARCIA-ALIX i in. 2013; HUDON, CARIGNAN 2008; WECHMANN i in. 2005]. ŁOMOTOWSKI i in. [2001] podkreślają, że istotne znaczenie w dostawie materii do wód ma wzajemny stosunek powierzchni gruntów ornych, łąk, pastwisk i lasów w zlewni. Szczególnie duże ładunki zanieczyszczeń wprowadzane są do wód z terenów zurbanizowanych, użytkowanych rolniczo lub ze ściekami [POKŁADEK i in. 2011; PULIKOWSKI 2008]. Ilość związków odpływających z obszaru zlewni określana jest jednostkowym współczynnikiem spływu analizowanej substancji, wyrażonym w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, do wyznaczenia którego niezbędna jest znajomość rocznych ładunków tej substancji przekraczających profil zamykający zlewnię cząstkową oraz jej powierzchnię. Wartości podawanych w literaturze współczynników są znacznie zróżnicowane. Współczynniki rocznego odpływu azotu ogólnego z terenów leśnych mieszczą się w zakresie od 1,62 do 18,8 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ [TEODOROWICZ 1995], a fosforu zmieniają się w przedziale od 0,02 $\text{kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ do 0,45 $\text{kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ [LOSSOW, WIĘCŁAWSKI 1991]. KOC i SZYMCZYK [2003] oraz KOC i in. [2008] podają, że roczny odpływ wapnia z obszarów użytkowanych rolniczo wynosi 90 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Z kolei BOGDAŁ i OSTROWSKI [2009] stwierdzili, że roczny ładunek wapnia wymywany ze zlewni rolniczej przekracza 100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, magnezu i potasu nie przekracza 20 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, zaś manganu i żelaza prawdopodobnie jest mniejszy od 2 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$.

Celem pracy jest przedstawienie wartości jednostkowych współczynników spływu makropierwiastków oraz azotu i fosforu z różnych form zagospodarowania terenu na przykładzie zlewni górnej Pasłęki i jej prawobrzeżnego dopływu – Giłwy.

MATERIAŁ I METODY

Pasłęka to rzeka I rzędu zaliczana do makroregionu Pojezierze Mazurskie i mezoregionu Pojezierze Olsztyńskie. Źródła Pasłęki znajdują się około 20 km na południowy zachód od Olsztyna, na zabagnionych łąkach w pobliżu wsi Gryźliny, na wysokości 158,6 m n.p.m. Źródła rzeki podlegają bifurkacji punktowej – odpływ wody podziemnej odbywa się w dwóch kierunkach – na południowy wschód do Jeziora Plusznego i na północny zachód do jeziora Pasłęk. Rzeka przepływa przez jeziora Pasłęk, Wymój, Sarąg, Łęguty i Isąg (rys. 1). Długość górnego biegu Pasłęki od źródeł do ujścia z jeziora Isąg, wraz z odcinkami jeziornymi, przez które przepływa (8,87 km), wynosi 40,47 km. Spadek jednostkowy analizowanego fragmentu ciekłu nie jest jednakowy w poszczególnych odcinkach profilu podłużnego. Zawiera się on w granicach od 0,6‰ do 3,82‰, a jego średnia wartość wynosi 1,70‰. Pasłęka uchodzi do Zalewu Wiślanego w miejscowości Nowa Pasłęka po-



Rys. 1. Lokalizacja stanowisk pomiarowych; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Location of measurement points; source: own elaboration

niżej Braniewa. Całkowita długość rzeki wynosi 211 km. Główne dopływy prawobrzeżne Pasłęki to Drwęca Warmińska i Wałsza, natomiast lewobrzeżne – Miłakówka i Giłwa. Giłwa jest rzeką o długości 26,6 km, przepływającą przez Jezioro Wulpińskie i Jezioro Rentyńskie.

W celu ustalenia jednostkowych współczynników sphływu wybranych makropierwiastków z różnych form użytkowania terenu wyznaczono 8 punktów pomiarowych (rys. 1). Stanowiska pomiarowe znajdowały się na początku i na końcu zlewni cząstkowej pokrytej łąkami (stanowiska 1 i 2 – 590 ha), lasami (stanowiska 3 i 4 – 620 ha), gruntami ornymi (stanowisko 5 i 6 – 930 ha) oraz zabudową (miejscowość Gietrzwałd) – (stanowiska 7 i 8 – 610 ha). Powierzchnie podzlewni o jednolitym zagospodarowaniu terenu zawierały się w zakresie od 590 do 930 ha.

Pomiary przepływu wody oraz stężenia makropierwiastków wykonywano w okresie od listopada 2010 do października 2014 r., raz na miesiąc (liczba pomiarów i pobranych próbek 384).

Pomiary prędkości wody wykonano przy użyciu przepływomierza elektromagnetycznego VALEPORT (model 801). Standardowa niepewność pomiaru określona według wytycznych KACY [2013] wynosiła $\pm 0,006$. Natężenie przepływu wody w rzece obliczono, stosując metodę Harlachera [BAJKIEWICZ-GRABOWSKA, MAGNUSZEWSKI 2009]. Próbkę wody do pełnych analiz chemicznych pobierane były z rzeki do plastikowych pojemników o pojemności 3 dm³ za pomocą czepaka o pojemności 2 dm³. Analizy chemiczne wody z rzeki obejmowały następujące oznaczenia: azot całkowity (analyzer węgla i azotu typu: IL 550 TOC-TN, firmy HACH), fosfor całkowity (po mineralizacji z kwasem siarkowym i nadsiarczanem amonu, spektrofotometrycznie z molibdenianem amonu i chlorkiem cyny (II),

NANOCOLOR UV/VIS, firmy MACHEREY-NAGEL, $\alpha - 650$ nm), twardość ogólna (metoda miareczkowa z wersenianem disodowym wobec czerni eriochromowej), wapń (metoda miareczkowa z wersenianem disodowym wobec mureksydu), magnez (różnica twardości ogólnej i twardości wapniowej), żelazo i mangan (kolorymetrycznie, Merck SQ 118). Analizy wykonano według metodyki podanej przez HERMANOWICZA i in. [1999] oraz zgodnie z polskimi normami.

Powierzchnię zlewni i podzlewni rzek Pasłęki i Giłwy wyznaczono na mapie topograficznej w skali 1:10 000 za pomocą ortofotomapy dostępnej w serwisie geoportal.pl. Pomiary powierzchni zlewni wykonano planimetrami (KP-82N) i (KP-90N) japońskiej firmy SOKKIA. Wielkość rocznych ładunków makropierwiastków spływających z obszaru analizowanych zlewni cząstkowych o jednolitym sposobie zagospodarowania ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$) określono jako sumę iloczynów średnich rocznych wartości natężenia przepływu wody w ciekach i odpowiadających im średnich rocznych stężeń substancji. Uzyskane wyniki poddano obróbce statystycznej, obliczając ich podstawowe statystyki opisowe: wartość minimalną, wartość maksymalną, średnią arytmetyczną oraz odchylenie standardowe, ze szczególnym uwzględnieniem ich zmienności przestrzennej.

WYNIKI I DYSKUSJA

Badania wykazały, że natężenie przepływu wody w Pasłęce wahało się w bardzo szerokim zakresie – od $0,004 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ do $1,998 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ i rosło z biegiem rzeki. Natężenie przepływu zmierzone między analizowanymi stanowiskami na rzece Giłwie wahało się między $0,407$ a $0,630 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

Średnie stężenie wapnia w wodach Pasłęki i Giłwy różniło się na poszczególnych stanowiskach badawczych i mieściło się w zakresie od $58,6$ do $75,5 \text{ mg Ca}\cdot\text{dm}^{-3}$ (tab. 1). Średnie stężenie magnezu w wodzie obu rzek zawierało się między $8,8$ a $12,3 \text{ mg Mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Również zawartość żelaza i manganu znacznie wahała się w wodzie z poszczególnych odcinków rzek i wynosiła odpowiednio od $0,032$ do $0,442 \text{ mg Fe}\cdot\text{dm}^{-3}$ oraz od $0,113$ do $0,163 \text{ mg Mn}\cdot\text{dm}^{-3}$. Wody rzeczne w zależności od charakteru zlewni cząstkowych różniły się istotnie pod względem stężenia fosforu ogólnego i azotu ogólnego. Średnie stężenie fosforu ogólnego wahało się od $0,129$ do $0,280 \text{ mg P}\cdot\text{dm}^{-3}$, a azotu ogólnego od $1,773$ do $3,842 \text{ mg N}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Największe wartości współczynników spływu manganu oraz azotu i fosforu do wód ze zlewni górnej Pasłęki i Giłwy uzyskano z obszarów użytkowanych rolniczo (rys. 2, 3).

Duże wartości wymywania fosforu i azotu z terenów rolniczych stwierdzali również inni badacze: od $0,4$ do $0,65 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ oraz od $12,0$ do $16,7 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ [GIERCUSZKIEWICZ-BAJTLIK 1990; HEAL 2001; LOSSOW, GAWROŃSKA 1998]. Migracja substancji z terenów użytkowanych rolniczo następuje w wyniku złożonych procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych w glebie,

Tabela 1. Stężenie makroelementów oraz azotu i fosforu w wodzie Pasłęki i Giłwy**Table 1.** Concentrations of macroelements in water of Pasłęka and Giłwa

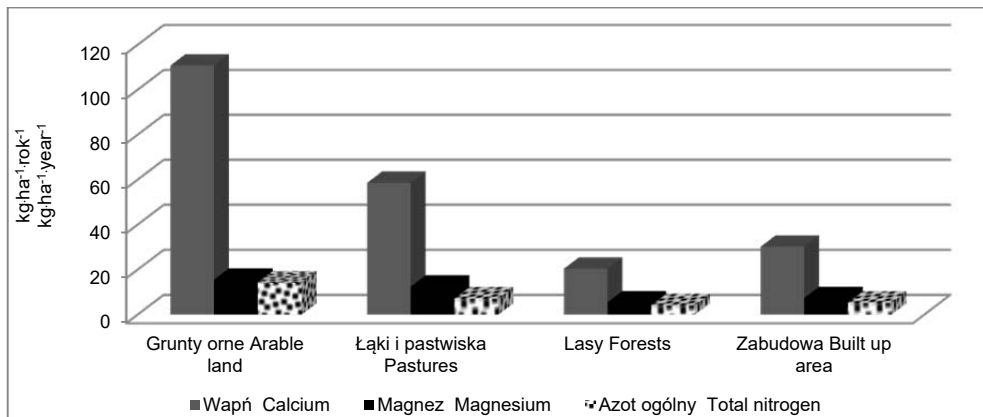
Statystyka opisowa Descriptive statistics	Stężenie na stanowisku pomiarowym, mg·dm ⁻³ Concentration in measurement point, mg·dm ⁻³							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Wapń Calcium								
Średnia Average	75,5	62,7	72,9	59,2	61,6	59,2	61,0	58,6
SD	±6,72	±8,60	±4,93	±6,01	±5,38	±7,06	±5,91	±6,29
Min.	64,3	41,4	65,0	44,3	50,7	42,1	46,4	38,2
Max.	102,1	79,2	85,7	68,5	76,4	78,5	74,3	71,4
Magnez Magnesium								
Średnia Average	12,3	12,0	8,8	10,2	10,9	9,8	11,4	10,8
SD	±4,11	±5,55	±2,78	±4,39	±3,66	±3,08	±6,03	±4,60
Min.	6,0	5,2	2,0	2,0	6,0	3,6	3,6	2,4
Max.	27,6	30,0	16,0	20,9	21,6	15,4	30,8	24,4
Żelazo Iron								
Średnia Average	0,140	0,032	0,442	0,077	0,206	0,102	0,120	0,080
SD	±0,103	±0,019	±0,42	±0,045	±0,124	±0,061	±0,052	±0,041
Min.	0,020	0,000	0,240	0,000	0,070	0,000	0,000	0,000
Max.	0,450	0,070	0,750	0,200	0,660	0,300	0,220	0,220
Mangan Manganese								
Średnia Average	0,113	0,130	0,142	0,135	0,117	0,123	0,123	0,163
SD	±0,089	±0,053	±0,066	±0,046	±0,061	±0,042	±0,040	±0,080
Min.	0,040	0,060	0,013	0,060	0,040	0,020	0,070	0,070
Max.	0,430	0,320	0,400	0,210	0,340	0,240	0,320	0,380
Fosfor ogólny Total phosphorus								
Średnia Average	0,140	0,129	0,187	0,163	0,187	0,280	0,258	0,202
SD	±0,049	±0,043	±0,056	±0,049	±0,055	±0,088	±0,064	±0,074
Min.	0,066	0,056	0,080	0,078	0,084	0,131	0,125	0,095
Max.	0,327	0,310	0,322	0,311	0,362	0,510	0,402	0,423
Azot ogólny Total nitrogen								
Średnia Average	3,842	2,348	2,208	2,294	1,773	2,525	2,663	2,194
SD	±1,235	±0,801	±1,159	±1,196	±0,810	±0,765	±1,357	±0,715
Min.	1,741	0,920	0,950	0,840	0,090	0,950	1,180	0,850
Max.	9,210	4,170	6,950	7,600	3,880	4,470	8,580	3,740

Objaśnienia: stanowiska pomiarowe jak na rys. 1, *SD* = błąd standardowy.

Explanations: measurement points as at Fig. 1, *SD* = standard deviation.

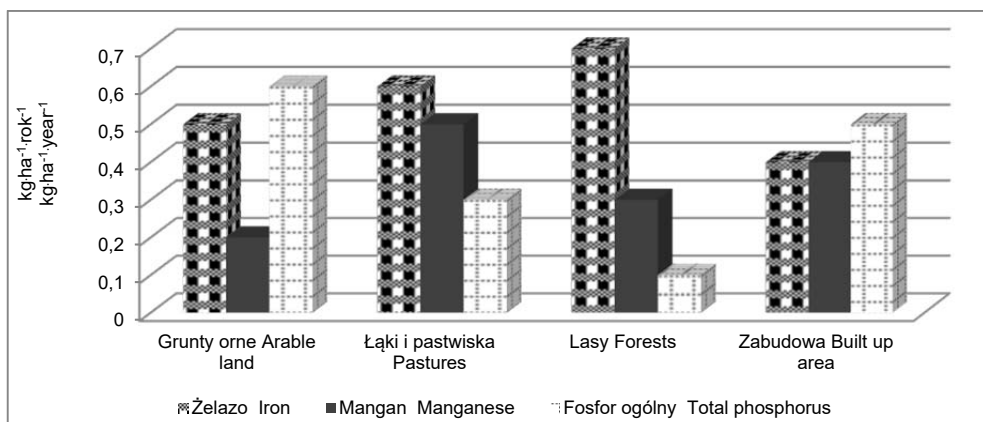
Źródło: wyniki własne. Source: own study.

które oprócz spływu powierzchniowego są spowodowane erozją wodną i wietrzną. Ładunek ze źródeł obszarowych trafia do wód drogą odpływu powierzchniowego i podpowierzchniowego w trakcie roztopów i opadów, głównie w formie zawiesiny organicznej i mineralnej.



Rys. 2. Jednostkowe współczynniki sływu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$) żelaza, manganu i fosforu całkowitego obliczone na podstawie badań w zlewni Pasłęki; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Unit run-off coefficients ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$) of iron, manganese and total phosphorus calculated on basis of research of upper Pasłęka catchment; source: own study



Rys. 3. Jednostkowe współczynniki sływu ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$) wapnia, manganu i azotu całkowitego obliczone na podstawie badań w zlewni Pasłęki; źródło: wyniki własne

Fig. 3. Unit run-off coefficients ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$) of calcium, manganese and total nitrogen calculated on basis of research of upper Pasłęka catchment; source: own study

Związki azotu są z gleb wymywane bezpośrednio, zaś fosforu migrują głównie poprzez erozję materiału glebowego, bowiem jest on pierwiastkiem mało mobilnym w glebie [JADCZYSZYN i in. 2014]. Fosfor pod wpływem opadów jest ługowany w głąb profilu glebowego oraz wymywany przez sływ powierzchniowy w formie rozpuszczonej i związanej z erodowanym materiałem glebowym. Stwierdzono, że na terenach o podobnych warunkach fizycznogeograficznych i sposobie zagospodarowania istnieje ścisły związek między obciążeniem zlewni substancja-

mi nawozowymi a ich jednostkowym odpływem [CYMES, SZYMCZYK 2005; GRABIŃSKA i in. 2005; SKORBIŁOWICZ, OFMAN 2015].

HEAL [2001] twierdzi, że wzmoczona migracja manganu z podłoża następuje w warunkach zakwaszenia gleby. Z kolei BARAN i in. [2011] podkreślają, że bardziej intensywne wymywanie żelaza i manganu zachodzi z gleb nawożonych organicznie niż z nawożonych mineralnie. Zanieczyszczenia obszarowe trafiają także do wód drogą zasilania podpowierzchniowego i podziemnego [KRASOWSKA, BANASZUK 2015]. Ta droga transportu wspomnianych zanieczyszczeń obszarowych uważana jest za podstawowe źródło azotu i rozpuszczonej materii organicznej, a w warunkach beztlenowych panujących w wodach gruntowych – także żelaza, manganu i fosforu. Niniejsze badania wskazują również na wpływ użytkowania rolniczego, zarówno na gruntach ornych, jak i użytkach zielonych (łąki i pastwiska), na wzrost ładunku ze źródeł obszarowych wapnia i magnezu, dla których obliczono najwyższe współczynniki spływu z tych form użytkowania ziemi.

KOC i SZYMCZYK [2003] stwierdzili, że w latach 1994–2002 na Pojezierzu Mazurskim roczny odpływ wapnia w warunkach średniej intensywności rolnictwa wynosił $90 \text{ kg Ca}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Wzmoczony spływ makropierwiastków następuje w sytuacji, gdy na obszarach przylegających do wód uprawiane są rośliny o płytkim systemie korzeniowym i słabo rozwiniętych korzeniach bocznych (np. rzepak), wymagające silnego nawożenia mineralnego i organicznego. Łąki i pastwiska wymagają wapnowania, które przyczynia się do lepszego rozwoju roślinności i zapobiega zakwaszeniu gleby, ale wpływa na zwiększenie wymywania wapnia.

CYMES i SZYMCZYK [2005], badając oddziaływanie użytkowania terenu na skład chemiczny oczek wodnych, stwierdzili największe stężenie wapnia w oczkach wodnych, których zlewnie w dużej mierze pokrywały użytki zielone. Największą wartość współczynników spływu żelaza uzyskano z kolei z obszarów leśnych. Stanowi to potwierdzenie wyników BOJARA [2003], który podaje, że żelazo może występować w dużych ilościach w potokach śródleśnych, na glebach podmokłych oraz na torfowiskach, bowiem tworzy ono wiązania z substancjami humusowymi.

WNIOSKI

1. Wartości jednostkowych współczynników spływu makropierwiastków oraz związków biogenych określone dla zlewni górnej Pasłęki i jej prawobrzeżnego dopływu – Giłwy różniły się od podawanych w literaturze w odniesieniu do innych zlewni.

2. Największy spływ wapnia ($110,8 \text{ kg Ca}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$), magnezu ($15,6 \text{ kg Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$), manganu ($0,5 \text{ kg Mn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$) oraz fosforu ($0,6 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$) i azotu ($14,3 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$) miał miejsce z obszarów użytkowanych rolniczo. Najwyższy współczynnik spływu żelaza ($0,6 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$) uzyskano z terenów leśnych.

3. Uzyskane wartości współczynników spływu mają ogromne znaczenie użytkowe. Mogą mieć zastosowanie w pracach związanych z prognozowaniem zmian jakości wody i projektowaniem rozwiązań ochronnych w zlewniach rzek i jezior, bowiem umożliwiają dokładne obliczenie obciążenia zewnętrznego ładunkiem makropierwiastków.

BIBLIOGRAFIA

- ACREMAN M., DUNBAR M.J. 2004. Defining environmental river flow requirements – a review. *Hydrology and Earth System Sciences*. Vol. 8. Iss. 5 s. 861–876.
- BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E., MAGNUSZEWSKI A. 2009. Przewodnik do ćwiczeń z hydrologii ogólnej [Guide to the exercise of the total hydrology]. Warszawa. PWN. ISBN 978-83-01-16015-9 ss. 195.
- BARAN A., KACPRZYK P., JASIEWICZ CZ., KASPERCZYK M. 2011. Wymywanie pierwiastków śladowych z gleby w zależności od rodzaju nawożenia łąki górskiej [The leaching of trace elements from soils in relations to different fertilisation of a mountain meadow]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 11. Z. 33 s. 11–20.
- BOGDAŁ A., OSTROWSKI K. 2009. Ładunki wybranych składników wnoszone z opadem i odpływające z dwóch małych zlewni o różnym użytkowaniu [Loads of selected components supplied with precipitation and flowing away from two small catchments with different use]. *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus*. Z. 8(1–2) s. 35–45.
- BOJAR W. 2003. Sezonowe zmiany zawartości metali ciężkich w wodach wybranych jezior Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego [Seasonal changes of heavy metals concentrations in water of lakes in Łęczyńsko-Włodawskie Lakeland]. *Acta Agrophysica*. Vol. 1. Nr 3 s. 377–384.
- CYMES I., SZYMCZYK S. 2005. Wpływ sposobu użytkowania terenu, melioracji i czynników naturalnych na stężenie sodu, wapnia i magnezu w wodach gruntowych i ich odpływ siecią drenarską z gleb ciężkich [Effect of land use, land reclamation and natural factors on the concentrations of sodium, calcium and magnesium in ground water and they outflows from heavy soils via drainage network]. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 13 s. 42–49.
- FIEDLER M., SZAFRAŃSKI CZ., BYCZKOWSKI J. 2005. Jakość wody gruntowej w mikrozwlewni rolniczej na Pojezierzu Gnieźnieńskim [The quality of the groundwater in agricultural microcatchment on Gniezno Lakeland]. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 505 s. 123–126.
- GARCÍA-ALIX A., JIMENEZ-ESPEJO F.J., LOZANO J.A., JIMÉNEZ-MORENO G., MARTINEZ-RUIZ F., GARCÍA SANJUÁN L., ARANDA JIMÉNEZ G., GARCÍA ALFONSO E., RUIZ-PUERTAS G., SCOTT ANDERSON R. 2013. Anthropogenic impact and lead pollution throughout the Holocene in Southern Iberia. *Science of the Total Environment*. Vol. 449 s. 451–460.
- GIERCUSZKIEWICZ-BAJTLIK M. 1990. Prognozowanie zmian jakości wód stojących [Forecasting changes in the quality of stagnant water]. Warszawa. IOŚ ss. 74.
- GRABIŃSKA B., KOC J., SKWIERAWSKI A., SOB CZYŃSKA-WÓJCIK K., RAFAŁOWSKA M. 2005. Stężenia i odpływ fosforu ogólnego z wodami rzecznyymi ze zlewni o zróżnicowanym użytkowaniu [Concentrations and river outflow of total phosphorus from a catchment of diversified use]. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 13 s. 87–92.
- HEAL K.V. 2001. Manganese and land-use in upland catchments in Scotland. *The Science of the total environment*. Vol. 265. Iss. 1–3 s. 169–179.
- HERMANOWICZ W., DOŻAŃSKA, W., DOJLIDO J., KOZIOROWSKI B., ZERBE J. 1999. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków [Physical-chemical study of water and wastewater]. Warszawa. Arkady. ISBN 832-134-0679 ss. 555.

- HUDON CH., CARIGNAN R. 2008. Cumulative impacts of Hydrology and human activities on water quality in the St. Lawrence River (Lake Saint-Pierre, Quebec, Canada). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 65 s. 1165–1180.
- JADCZYSZYN J., MROCZKOWSKI W., GOSEK S., 2014. Erozyjne straty fosforu w doświadczeniu modelowym [The phosphorus losses in erosion processes in modeling experiment]. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*. T. 17. Nr 1 s. 89–103.
- JUDOVA P., JANSKÝ B. 2005. Water quality in rural areas of the Czech Republic: Key study Slapanka River catchment. *Limnologica – Ecology and Management of Inland Waters*. Vol. 35. Iss. 3 s. 160–168.
- KACA E. 2013. Pomiary objętości przepływu wody i masy substancji w niej zawartej i jego niepewność na przykładzie stawów rybnych [Measurement of water flow and mass of substances contained therein and its uncertainty based on fishponds example]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 13. Z. I(41) s. 31–57.
- KANOWNIK W., RAJA W. 2008. Źródła zanieczyszczenia wód powierzchniowych w zlewni potoku Sudoł Dominikański [Sources of surface water pollution in Sudoł Dominikański Stream catchment]. *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus*. Z. 7(2) s. 3–14.
- KOC J., RAFAŁOWSKA M., SKWIERAWSKI A. 2008. Changes in magnesium concentrations and load in runoff water from nitrate vulnerable zones. *Journal of Elementology*. T. 13. Nr 4 s. 559–570.
- KOC J., SZYMCZYK S. 2003. Wpływ intensyfikacji rolnictwa na odpływ wapnia i magnezu z gleb [The impact of intensification of agriculture on the outflow of calcium and magnesium from the soil]. *Journal of Elementology*. T. 8. Nr 4 s. 231–238.
- KRASOWSKA M., BANASZUK P. 2015. Droga migracji biogenów w zlewni rolniczej [Hydrological flow paths of nutrients in a small agricultural catchment]. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 43 s. 35–41.
- LOSSOW K., GAWROŃSKA H. 1998. External input to Lake Wadąg – Effective and estimate loadings. *Polish Journal of Environmental Studies*. No 7(2) s. 95–98.
- LOSSOW K., WIĘCŁAWSKI F. 1991. Migracja podstawowych pierwiastków pożywkowych z gleb użytkowanych rolniczo do wód powierzchniowych [Migration of the basic nutrients from agricultural soils to surface waters]. *Biuletyn Informacyjny ART w Olsztynie*. Nr 31 s. 123–133.
- ŁOMOTOWSKI J., CZAMARA A., LEJCUŚ K. 2001. Analiza zmian wybranych wskaźników jakości wody w zbiorniku Dobromierz w latach 1992–2000 [Analysis of changes in selected indicators of water quality in the reservoir Dobromierz in the years 1992–2000]. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 475 s. 439–446.
- POKŁADEK R., KOWALCZYK T., ORZEPOWSKI W., PULIKOWSKI K. 2011. Na, K, Ca and Mg concentrations in effluent water drained from agricultural catchment basins in Lower Silesia. *Journal of Elementology*. T. 16. Z. 3 s. 467–479.
- PULIKOWSKI K. 2008. Stężenie azotanów w wodach drenarskich odpływających z wybranych obiektów na Dolnym Śląsku [Nitrate concentration in drainage waters from selected sites of Lower Silesia]. *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus*. Z. 7(2) s. 29–36.
- SIDORUK M., SKWIERAWSKI A. 2006. Wpływ użytkowania zlewni na ładunek wapnia, sodu, potasu i magnezu w wodach dopływających do jeziora Bukwałd [The impact of land use on the load of calcium, sodium, potassium and magnesium in the water flowing into the lake Bukwałd]. *Ecological Chemistry and Engineering*. T. 13. Nr 52 s. 337–343.
- SKORBIŁOWICZ M., OFMAN P. 2015. Changes In specific loads of mineral components outflowing from catchment area of river Supraśl in 2001–2009. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 16. Iss. 1 s. 135–140.
- SOMARATNE N., FRIZENSCHAF J. 2013. Geological control upon groundwater flow and major ion chemistry with influence on basin management in a coastal aquifer, South Australia. *Journal of Water Resource and Protection*. Vol. 5 s. 1170–1177.

- SZCZYKOWSKA J., SIEMIENIUK A. 2009. Analiza czynników determinujących jakość wód wybranych zbiorników małej retencji na Podlasiu [The analysis of factors determining quality of water in low-retention reservoirs in Podlasie]. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*. Nr 40 s. 483–490.
- TEODOROWICZ M. 1995. Czynniki wpływające na bilans biogenów i stan troficzny Jeziora Kortowskiego [Factors influencing balance of nutrients and trophic state of the Lake Kortowskie]. Praca doktorska. Maszynopis. Olsztyn. ART. Katedra Technologii Wody i Ścieków ss. 85.
- WECHMANN M.E., BERGE D., EGGESTAD H.O., VANDSEMB S.M. 2005. Phosphorus transfer from agricultural areas and its impact on the eutrophication of lakes – two long-term integrated studies from Norway. *Journal of Hydrology*. Vol. 304. Iss. 1–4 s. 238–250.

Jolanta GROCHOWSKA

**THE SURFACE RUNOFF OF CALCIUM, MAGNESIUM, IRON, MANGANESE,
NITROGEN AND PHOSPHORUS
FROM THE UPPER PASŁĘKA RIVER CATCHMENT**

Key words: *catchment, macroelements, unit runoff coefficients*

S u m m a r y

The aim of study was to determine values of unit coefficients of the surface runoff of macroelements from surfaces with different land management types, which was conducted in the catchment basin of the upper Pasłęka River and its right-bank tributary, the Giłwa River. The highest values of the coefficients describing the runoff of manganese as well as nitrogen and phosphorus to waters were obtained for a subcatchment comprising farmland ($110.8 \text{ kg Ca}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$, $15.6 \text{ kg Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$, $0.5 \text{ kg Mn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$, $0.6 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$, $14.3 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$). The study also pointed up the effect of agriculturally used areas, both arable land and grassland (meadows and pastures), consisting in increasing the non-point loads of calcium and magnesium, which scored the highest runoff coefficient values for the mentioned types of land use. The highest value of the iron runoff coefficient was calculated for forested areas ($0.6 \text{ kg Fe}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$).

Adres do korespondencji: dr hab. inż. Jolanta Grochowska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk o Środowisku, Katedra Inżynierii Ochrony Wód, ul. Prawocheńskiego 1, 10-720 Olsztyn; tel.: + 48 89 523-42-73, e-mail: jgroch@uwm.edu.pl