

Piotr Klimaszuk\*, Piotr Rzymiski\*\*

**WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-CHEMICZNE SPŁYWU  
POWIERZCHNIOWEGO Z LEŚNEJ ZLEWNI – POTENCJALNA  
ROLA SPŁYWU W KSZTAŁTOWANIU JAKOŚCI WODY DROBNEGO  
ZBIORNIKA WODNEGO**

**PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SURFACE RUNOFF FROM  
WOODED CATCHMENT – POTENTIAL ROLE OF SURFACE RUNOFF  
IN AFFECTING THE WATER QUALITY OF SMALL LAKE**

**Słowa kluczowe:** spływ powierzchniowy, zlewnia, dystrofizacja.

**Key words:** surface runoff, catchment, dystrophication.

*Surface runoff is an important component of the water cycle and it contributes to energy and chemical substances circulation in the environment. Surface runoff can supply lakes with variety of chemical substances. Their concentrations depend on the catchment characteristics. Our studies investigated surface runoff role in affecting the water quality of small lake in Wielkopolski National Park. We analyzed physico-chemical properties of surface runoff taking place within the catchment grown by monoculture of *Pinus silvestris*. Surface runoff waters were collected in the period of VII 2006 – VIII 2007 from the channels installed on the slopes. Simultaneously, samples of surface water from the lake were analyzed. Our results indicate that surface runoff can provide significant loads of nitrogen and phosphorus increasing lake trophy. However, we observed high concentrations of dissolved organic carbon provided by surface runoff (a major component of humic acids) that can preserve dystrophic state of the lake.*

---

\* *Dr nauk biol. Piotr Klimaszuk – Zakład Ochrony Wód, Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Umultowska 89, 61-614 Poznań; tel.: +48 61 829-57-80; e-mail: pklim@amu.edu.pl*

\*\* *Mgr Piotr Rzymiski – Katedra Biologii i Ochrony Środowiska, Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, ul. Długa 1/2, 61-848 Poznań; tel.: +48 61 853-05-71; e-mail: rzymkipiotr@gmail.com*

## 1. WPROWADZENIE

Spływ powierzchniowy, w odróżnieniu od dopływu podziemnego, jest zjawiskiem krótkotrwałym, epizodycznym, ponieważ pojawia się tylko w czasie opadów i roztopów, a także bezpośrednio po nich. Jest on zaliczany do obszarowych źródeł eksportu pierwiastków i związków chemicznych do wód powierzchniowych [Kajak 1979]. Wraz ze spływającą wodą, ze zlewni do zbiorników wodnych mogą migrować znaczne ilości azotu [Brusch i Nilsson 1993], fosforu [Uusi-Kamppa i Ylaranta 1992] oraz materii organicznej [Cronan i Aiken 1985, Cronan 1990]. Ilość transportowanych pierwiastków zależy przede wszystkim od morfologii i sposobu użytkowania zlewni. Spływem zawierającym duże ilości biogenów charakteryzują się zwłaszcza obszary rolnicze [Correl i in. 1999, Hilbricht-Ilkowska 1994, Bartoszewicz i Ryszkowski 1996, Sharpley i in. 1999]. Wynika to z dużej podatności gleb na erozję wodną (zwłaszcza poza sezonem wegetacyjnym, gdy brak roślinności) oraz z nawożenia. Zlewnie leśne charakteryzują się mniejszym eksportem azotu i fosforu [Kufel 1990, Kajak 1998]. Ważnym elementem, regulującym wielkość ładunku odpływającego ze zlewni, jest nachylenie stoków. Im większy jest spadek zlewni, tym większy eksport materii [Bajkiewicz-Grabowska 1994]. Istotną rolę w kształtowaniu właściwości fizyczno-chemicznych spływu powierzchniowego odgrywa także typ fitocenozy porastającej zlewnię. Roślinność ma zdolność wychwytywania aerozoli gazowych i pyłowych, wydzielania bądź pobierania substancji chemicznych [Swank i Scott-Swank 1984, Swank 1986, Zimka i Stachurski 1996]. Zachodzące procesy powodują, że opad śródkoronowy i spływ po pniach istotnie różnią się pod względem właściwości chemicznych od opadu atmosferycznego. Jednocześnie stwierdzono, że poszczególne gatunki drzew czy fitocenozy leśne mogą odmiennie wpływać na właściwości fizyczno-chemiczne opadu [Kostrzewski i in. 1994]. Zmiany składu chemicznego spływu powierzchniowego zachodzą także podczas kontaktu wody z rozkładającym się detrytusem roślinnym i glebą.

W ostatnich latach, zmiany klimatu spowodowały wystąpienie niecodziennych warunków pogodowych w Europie [Jones i in. 2007]. W ostatnich dekadach na terenach Pomorza i Wielkopolski obserwuje się wzrost temperatury powietrza i zmniejszenie średnich opadów rocznych. Jednocześnie notuje się zwiększenie udziału silnych deszczy w bilansie opadowym [Woś 1994]. Zjawiska te mogą się przyczyniać do zwiększenia erozyjnej działalności spływu powierzchniowego również na terenach leśnych, przyczyniając się tym samym do procesu eutrofizacji lub dystrofizacji.

Celem pracy była ocena potencjalnego wpływu, jaki może mieć spływ powierzchniowy na kształtowanie właściwości fizyczno-chemicznych wody zbiornika Czarny Dół (Wielkopolski Park Narodowy).

## 2. MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono na obszarze zlewni zbiornika Czarny Dół. Jest ona w 100% porośnięta przez las, przy czym na znacznej powierzchni dominuje monokultura sosny (*Pinus silvestris*). Wodę spływu zbierano ze specjalnie zamontowanych na stokach rynien w okresie od lipca 2006 r. do sierpnia 2007 r. Odczyn i przewodnictwo elektrolityczne badano za pomocą miernika YSI 556. Analizę koncentracji azotu amonowego, azotynów, azotanów, azotu organicznego, fosforu całkowitego oraz ortofosforanów wykonano zgodnie ze „Standardowymi metodami badania wody i ścieków” [Standard... 2005]. Stężenie rozpuszczonego węgla organicznego (RWO) badano analizatorem SHIMAZU TOC-5000 A. Jednocześnie pobierano, i w taki sam sposób badano, wodę z warstwy powierzchniowej zbiornika. Analizę statystyczną wykonano z zastosowaniem pakietu STATISTICA v.8.0 (StatSoft, Poland).

## 3. WYNIKI

Właściwości fizyczno-chemiczne wód spływu były zmienne, zależnie od pory roku. Zdecydowanie większe wymywanie związków azotu, zarówno mineralnego, jak i organicznego, obserwowano w cieplejszym okresie. Większa była również ogólna zawartość jonów. Im intensywniejsze były opady atmosferyczne, tym większe były koncentracje badanych związków w wodach spływu powierzchniowego. W okresie jesieni i zimy obserwowano natomiast większy eksport RWO i minimalnie większy – mineralnego fosforu (tab.1). Wszystkie różnice, poza fosforem, były istotne statystycznie (U-Mann Whitney,  $p < 0,05$ ). Różne było również pH wód, które w okresie wiosny i lata wynosiło od 5 do 6,7, a jesienią i zimą od 5,2 do 5,9.

**Tabela 1.** Właściwości fizyczno-chemiczne spływu w zależności od pory roku

**Table 1.** Season-dependent physico-chemical properties of surface runoff

Parametr	Jednostka	Wiosna-Lato	Jesień-Zima
Przewodnictwo	$\mu\text{Sm} \cdot \text{cm}^{-1}$	128,2	119,2
$\text{NH}_4^+$	$\text{mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$	3,5	0,9
$\text{NO}_2^-$	$\text{mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$	0,06	0,02
$\text{NO}_3^-$	$\text{mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$	1,7	1,2
$\text{N}_{\text{org}}$	$\text{mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$	2,8	1,8
$\text{PO}_4$	$\text{mgP} \cdot \text{dm}^{-3}$	1,1	1,2
$\text{P}_{\text{ogólny}}$	$\text{mgP} \cdot \text{dm}^{-3}$	1,3	1,3
RWO	$\text{mgC} \cdot \text{dm}^{-3}$	39,2	50,8

Analiza wód jeziora Czarny Dół również wykazała fluktuacje badanych parametrów w ciągu roku. Większe stężenia  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  oraz azotu organicznego odnotowano wiosną i la-

tem. Różnice wynosiły odpowiednio: 1,1 mg·dm<sup>-3</sup>, 0,3 mg·dm<sup>-3</sup> i 0,4 mg·dm<sup>-3</sup>. Większe wartości przewodnictwa elektrolitycznego oraz stężenia RWO obserwowano w okresie jesieni i zimy. Różnice wynosiły odpowiednio: 9,4 μSm·cm<sup>-1</sup> i 5,9 mg·dm<sup>-3</sup>. Wszystkie różnice były istotne statystycznie (U-Mann Whitney, p<0,05). Różnic między stężeniem w różnych porach roku nie zaobserwowano natomiast w przypadku fosforu całkowitego i ortofosforanów oraz NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Najmniejszą wartość pH odnotowano w marcu (5,3), a największą w maju (6,3).

Większe wartości stężeń azotu, fosforu i RWO oraz pH i przewodnictwa elektrolitycznego odnotowano w wodach spływu powierzchniowego niż w wodach Czarnego Dołu (tab. 2). Zarówno w wodach Czarnego Dołu, jak i spływu powierzchniowego większy był udział amonowej formy azotu niż azotanowej. Najmniejsze stężenia obserwowano w przypadku formy azotynowej.

**Tabela 2.** Charakterystyka fizyczno-chemiczna wód spływu oraz zbiornika Czarny Dół w okresie badań

**Table 2.** Physico-chemical properties of surface runoff and Czarny Dół lake waters during researched period

Parametr	Jednostka	Średnia		Min-Maks		SD	
		Spływ	Jezioro	Spływ	Jezioro	Spływ	Jezioro
pH	-	-	-	5,0-6,7	5,3-6,3	-	-
Przewodnictwo	μSm·cm <sup>-1</sup>	123,7	76,2	69-189	53-101	37,6	17,2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mgN·dm <sup>-3</sup>	2,2	1,3	0-6,6	0,3-4,9	2,3	1,7
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mgN·dm <sup>-3</sup>	0,04	0,02	0-0,2	0,01-0,03	0,1	0,01
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mgN·dm <sup>-3</sup>	1,5	0,5	0,2-3,7	0-0,9	1	0,3
N <sub>org.</sub>	mgN·dm <sup>-3</sup>	2,3	2,1	1,1-5	0,7-4,1	1,3	1,3
PO <sub>4</sub>	mgP·dm <sup>-3</sup>	1,2	0,3	0,3-2	0,1-0,7	0,5	0,2
P <sub>ogólny</sub>	mgP·dm <sup>-3</sup>	1,3	0,3	0,5-2,1	0,2-0,8	0,5	0,2
RWO	mgC·dm <sup>-3</sup>	45	34,8	27,5-65	22,5-53	11,5	9,6

#### 4. Dyskusja

Spływ powierzchniowy po stoku powoduje wymycie oraz transport substancji chemicznych zawartych w ściółce i w wierzchniej warstwie gleby. Pomimo, że jest zjawiskiem epizodycznym, badania eksperymentalne wykazują, że w bardzo krótkim okresie dochodzi do wzbogacenia jego wód w związki azotu, fosforu i RWO [Zieliński i in. 1999, Klimaszek i Rzymiski 2011]. Jego wpływ na kształtowanie właściwości fizyczno-chemicznych, a co za tym idzie życia biologicznego, zwiększa się w przypadku drobnych zbiorników wodnych, o mniejszej objętości wody – takich jak Czarny Dół. W naszych badaniach odnotowaliśmy duży udział rozpuszczonego węgla organicznego w wodach spływu. Na siedliskach zajmowanych przez gatunki drzew iglastych obserwuje się wysoki jego udział [Hongve 1999, Strobel i in. 2001]. Prawdopodobną przyczyną jest rozkład detrytus, bogatego w kwasy humusowe i fulwowe, których podstawowym budulcem jest węgiel organiczny [McTiernan

i in. 2003]. Większy udział węgla organicznego w wodach spływu w okresie jesienno-zimowym może tłumaczyć fakt, że w warunkach niższej temperatury rozkład materii organicznej zachodzi zdecydowanie wolniej [Kirschbaum 1995]. Porze cieplejszej towarzyszą natomiast gwałtowne opady, które mogą wymywać i transportować spore ładunki związków biogennych (mineralnych form azotu i fosforu), warunkujących produkcję pierwotną w wodach powierzchniowych. Największe ładunki azotu i fosforu są wnoszone ze zlewni rolniczych [Sharpley i in. 1999, Vuorinenmaa i in.2002], jednak z naszych badań wynika, że leśne zlewnie również mogą zwiększać koncentracje tych związków w wodach powierzchniowych, przyczyniając się do powolnego procesu eutrofizacji.

Analiza fizyczno-chemiczna wód zbiornika Czarny Dół wskazuje, że pozostaje on pod wpływem spływu powierzchniowego z przybrzeżnych stoków. Wraz ze wzrostem stężenia azotu mineralnego i organicznego w wodach spływu rósł również jego udział w wodach Czarnego Dołu. W okresie jesienno-zimowym, podobnie jak w wodach spływu, obserwowano większe wartości stężenia RWO. Wzrost udziału kwasów humusowych w wodach powierzchniowych może przyczyniać się do postępowania procesu dystrofizacji w zbiorniku, co będzie miało konsekwencje biologiczne [Steinberg 2003]. Kwaśny odczyn, brunatny kolor wody i mniejsza dostępność związków biogennych (wiązane są w formy nieprzyswajalne) wpływa na zmniejszenie ogólnej liczby gatunków fauny i flory w wodach powierzchniowych.

## PIŚMIENNICTWO

- BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E. 1994. Waloryzacja zlewni Suwalskiego Parku Krajobrazowego i ich naturalnej podatności na degradację. W: Jeziora Suwalskiego Parku Krajobrazowego: związki z krajobrazem, stan eutrofizacji i kierunki ochrony. PAN, Warszawa.
- BARTOSZEWICZA A., RYSZKOWSKI L. 1996. Influence of shelterbelts and meadows on the chemistry of ground waters. W: Dynamics of an agricultural landscape. Państw. Wyd. Rol. i Leśne, Poznań.
- BRUSH W., NILSSON B. 1993. Nitrate transformation and water movement in wetland area. *Hydrobiol.* 251: 103–111.
- CORREL D.L., JORDAN T.I., WELLER D.E. 1999. Transport of nitrogen and phosphorus from Rhode River watersheds during storm events. *Water Resour. Res.* 35(8): 2513–2521.
- CRONAN C.R. 1990. Patterns of organic acid transport from forested watersheds to aquatic ecosystems. W: Organic acids in aquatic ecosystem: the Dalhem workshop. John Wiley & Sons, New York.
- CRONAN C.R., AIKEN G.R. 1985. Chemistry and transport of soluble humic substances in forested watersheds of Adirondack Park, New York. *Geochim. Cosmochim. Acta* 49: 1697–1705.

- HILLBRICHT-ILKOWSKA A. 1994. Waloryzacja zlewni Suwalskiego Parku Krajobrazowego i ich naturalnej podatności na degradację. W: Jeziora Suwalskiego Parku Krajobrazowego: związki z krajobrazem, stan eutrofizacji i kierunki ochrony. PAN, Warszawa.
- HONGVE D. 1999. Production of dissolved organic carbon in forested catchments. *J. Hydrol.* 224: 91–99.
- JONES R. G., MURPHY J. M., NOGUER M. 2007. Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. W: Q. J. Roy (ed.) Assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries. *Meteorol. Soc.* 121(526): 1413–1429.
- KAJAK Z. 1979. Eutrofizacja jezior. PWN, Warszawa.
- KAJAK Z. 1998. Hydrobiologia-Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych. PWN, Warszawa.
- KIRSCHBAUM M. U. F. 1995. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biol. Biochem.* 27: 753–760.
- KLIMASZYK P., RZYMSKI P. 2011. Surface runoff as a factor determining trophic state of midforest lake (Piaseczno Małe, North Poland). *Pol. J. Environ. Stud.* 20(3) – w druku.
- KOSTRZEWSKI A., DZBANUSZEK J., STACH A. 1994. Wpływ lasu na proces ługowania gleb na obszarze Wielkopolskiego Parku Narodowego. W: Kozacki L. (red.) Geoko-system Wielkopolskiego Parku Narodowego jako obszaru chronionego podlegającego antropopresji. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań: 55–88.
- KUFEL L. 1990. Watershed nutrient loading to lakes in the Krutynia (Masurian Lakeland, Poland). *Ekol. Pol.* 38(3–4): 323–336.
- McTIERNAN K.B., COUTEAUX M., BERG B. DE ANTA R.C., GALLARDO A., KRATZ W., PIUSSI P., REMACLE J., DE SANTO A. V. 2003. Changes in chemical composition of *Pinus sylvestris* needle litter during decomposition along a European coniferous forest climatic transect. *Soil Biol. Biochem.* (35): 801–812.
- SHARPLEY A.N., GBUREK W. J., FOLMAR G., PIONKE H.B. 1999. Sources of phosphorus exported from agricultural watershed in Pennsylvania. *Agric. Water Manage.* 41(2): 77-89.
- Standard methods for the examinations of water and wastewater 2005. American Water Works Association: 1368.
- STEINBERG C.E.W. 2003. Ecology of humic substances in freshwaters. Springer, Berlin.
- STROBEL B.W., HANSEN H.C.B., BORGGAARD O.K., ANDERSEN M.K., RAULUND-RASMUSSEN K. 2001. Composition and reactivity of DOC in forest floor soil solutions in relation to tree species and soil type. *Biogeochem.* 56: 1–26.
- SWANK W.T. 1986. Biological control of solute losses from forest ecosystems. John Wiley and Sons, Chichester.
- SWANK W.T., SCOTT-SWANK W.T. 1984. Dynamics of water chemistry in hardwood and pine ecosystems. W: Catchment experiments in fluvial geomorphology. Geo Books, Norwich.

- UUSI-KAMPPA J., YLARANTA T. 1992. Reduction of sediment, phosphorus and nitrogen transport on vegetated buffer strips. *J. Agr. Sci. Finland* 1: 569–575.
- VUORNENMAA J., REKOLAINEN S., LEPISTO A., KENTTAMIES K., KAUPILLA P. 2002. Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural and forest areas in Finland during the 1980s and 1990s. *Environ. Monit. Assess.* 76: 213–248.
- WOŚ A. 1994. The Wielkopolska Lowland climate. UAM, Poznań.
- ZIELIŃSKI P., GÓRNIAK A., CHOROSZEWSKA K. 1999. Changes in water quality induced by the decomposition of plant detritus. *Acta Hydrobiol.* 41: 119–126.
- ZIMKA J.R., STACHURSKI A. 1996. Kwaśne opady deszczu, a obumieranie lasów świerkowych w Karkonoszach. W: *Chemizm i oddziaływanie kwaśnych deszczy na środowisko przyrodnicze*. UAM, Poznań.