

Wpłynęło 03.10.2012 r.  
Zrecenzowano 25.01.2013 r.  
Zaakceptowano 10.04.2013 r.

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

# CHEMIZM POŁOWEGO SPŁYWU POWIERZCHNIOWEGO NA TLE UWARUNKOWAŃ AGROTECHNICZNYCH, W WYBRANYM GOSPODARSTWIE WOJEWÓDZTWA ZACHODNIOPOMORSKIEGO

**Stefan PIETRZAK<sup>1)</sup> ABCDEF, Piotr WESOŁOWSKI<sup>2)</sup> AF,  
Adam BRYSEWICZ<sup>2)</sup> BF, Mariya DUBIL<sup>3)</sup> BEF**

<sup>1)</sup> Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Ochrony Jakości Wody

<sup>2)</sup> Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, Zachodniopomorski Ośrodek Badawczy w Szczecinie

<sup>3)</sup> Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Laboratorium Badawcze Chemii Środowiska

## Streszczenie

W pracy przeprowadzono ocenę składu chemicznego wody spływającej z gruntu ornego, a w szczególności stężenia zawartego w niej fosforu, w aspekcie różnych czynników kształtujących ten skład. Ocenę przygotowano głównie na podstawie wyników analiz laboratoryjnych próbek spływu powierzchniowego, pobranych w latach 2011–2012 z pola uprawnego wybranego gospodarstwa w województwie zachodniopomorskim, wyników oznaczeń równoległe pobranych z nimi próbek gleby, oraz na podstawie rejestru przebiegu czynności agrotechnicznych wykonywanych na polu, również w okresie poprzedzającym pobór próbek.

Stwierdzono, że: a) stężenia wszystkich analizowanych składników w spływie powierzchniowym przekraczały ich przeciętne wartości stwierdzone w opadach atmosferycznych w okresie 2009–2011 – w wielu przypadkach z bardzo dużą wielokrotnością, przy czym największe różnice występowały w odniesieniu do potasu i fosforu, najmniejsze zaś dotyczyły azotu azotanowego i cynku; b) zawartość fosforu przyswajalnego w wierzchniej, pięciocentymetrowej warstwie gleby była dodatnio skorelowana ze stężeniem tego składnika w spływie powierzchniowym, natomiast tego rodzaju zależność nie występowała w odniesieniu do mineralnych form azotu; c) spływająca z pola woda stanowiła potencjalne źródło eutrofizacji wód powierzchniowych (zawierała bardzo dużo składników biogennych, zwłaszcza fosforu).

---

**Do cytowania For citation:** Pietrzak S., Wesołowski P., Brysiewicz A., Dubil M. 2013. Chemizm połowego spływu powierzchniowego na tle uwarunkowań agrotechnicznych, w wybranym gospodarstwie województwa zachodniopomorskiego. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 13. Z. 3(43) s. 115–129.

**Słowa kluczowe:** fosfor przyswajalny, składniki mineralne, spływ powierzchniowy, użytki rolne, zabiegi agrotechniczne

## WSTĘP

Spływ powierzchniowy jest definiowany jako epizodyczne, grawitacyjne przemieszczanie się wody atmosferycznej po powierzchni terenu ku korytom cieków i zagłębieniom na powierzchni zlewni [BOCHEŃSKA i in. 2002.]. Powstaje on w wyniku opadów deszczu o dużym natężeniu lub szybkiego topnienia pokrywy śnieżnej, w warunkach wystąpienia na danym obszarze opadu efektywnego (część opadu całkowitego, która nie została zatrzymana w glebie).

Spływ powierzchniowy z użytków rolnych unosi ze sobą składniki nawozowe (pochodzące z roztworu glebowego oraz zawarte w osadach – związane z cząstkami mineralnymi gleby lub jej materią organiczną), zmniejszając w glebie ich ilość dostępną dla roślin uprawnych. Wynoszone z użytków rolnych wraz ze spływem składniki nawozowe stwarzają zarazem ryzyko eutrofizacji wód powierzchniowych. Stwierdzono, że warstwa gleby, z której przenikają składniki nawozowe do spływu powierzchniowego, w zależności od intensywności opadów i spadku terenu, wynosi od 0,13 do 3,74 cm [SHARPLEY 1985]. Wraz ze zwiększaniem się ilości składników nawozowych w glebie, zwiększa się niebezpieczeństwo ich strat razem ze spływającą wodą z pól i zanieczyszczenia nimi wód powierzchniowych [CARPENTER i in. 1998; DALY, CASEY 2003; FROSSARD i in. 2000]. Do dużego nagromadzenia składników nawozowych w glebie może dochodzić w wyniku stosowania nawozów naturalnych. Im większe są dawki tych nawozów, tym większe mogą być straty zawartych w nich składników odżywczych roślin za pośrednictwem spływu powierzchniowego [SMITH i in. 2001; THAYER 2011]. Straty te zwiększają się w warunkach stosowania nawozów naturalnych na polach nawadnianych oraz o zamarzniętej glebie [KOMISKEY i in. 2011; LENTZ, LEHRSCHE 2010].

W Polsce, w wielu lokalnie prowadzonych badaniach odnotowano, że spływy powierzchniowe z terenów użytkowanych rolniczych, jako obszarowe źródło eksportu substancji biogenych stanowią poważne zagrożenie wód powierzchniowych zjawiskiem eutrofizacji [KIRYLUK, RAUBA 2011; KOSZELNIK, TOMASZEK 2011; SMOROŃ 2012]. O skali problemu w wymiarze ogólnym mogą świadczyć dane Głównego Inspektora Ochrony Środowiska, przygotowane dla potrzeb HELCOM w ramach programu PLC-5 (PLC – Pollution Load Compilation – zestawienie ładunków zanieczyszczeń), obrazujące, że ze źródeł obszarowych trafia z Polski do Bałtyku ok. 83% zrzutów azotu i ponad 73% zrzutów fosforu [GIOŚ 2008]. Biorąc powyższe pod uwagę i mając na względzie międzynarodowe zobowiązania Polski (w tym w ramach Konwencji Helsińskiej i związane z wdrażaniem dyrektywy azotanowej) można stwierdzić, że istnieją szczególne powody ku temu, aby zjawisko spływu powierzchniowego stanowiło przedmiot pogłębionych badań i analiz, ukie-

runkowanych na wypracowanie konkretnych przedsięwzięć, ograniczających jego negatywny wpływ na jakość wód.

Celem pracy było określenie składu chemicznego wody spływającej z pola uprawnego, o średniej intensywności użytkowania, z uwzględnieniem takich składników, jak: N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub>, Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn i Zn, w aspekcie uwarunkowań agrotechnicznych kształtujących te właściwości, w przykładowo wybranym gospodarstwie województwa zachodniopomorskiego. W szczególności celem pracy było:

- rozpoznanie wpływu stosowanych praktyk rolniczych na skład chemiczny spływu powierzchniowego, a przede wszystkim na zawartość w nim substancji biogennych;
- ustalenie zależności między zasobnością wierzchniej warstwy gleby w fosfor przyswajalny i azot mineralny, a zawartością tych składników w spływie powierzchniowym.

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono w latach 2009–2012. Obiekt badawczy stanowiło pole uprawne (grunt orny) o powierzchni 40,86 ha, położone w gminie Stare Czarnowo, w województwie zachodniopomorskim. Pole usytuowane było na stoku o nachyleniu ok. 5%, graniczącym u podstawy z oczkiem wodnym o powierzchni 0,80 ha. Występowała na nim gleba brunatna, zalegająca na glinie średniej klasy IVa.

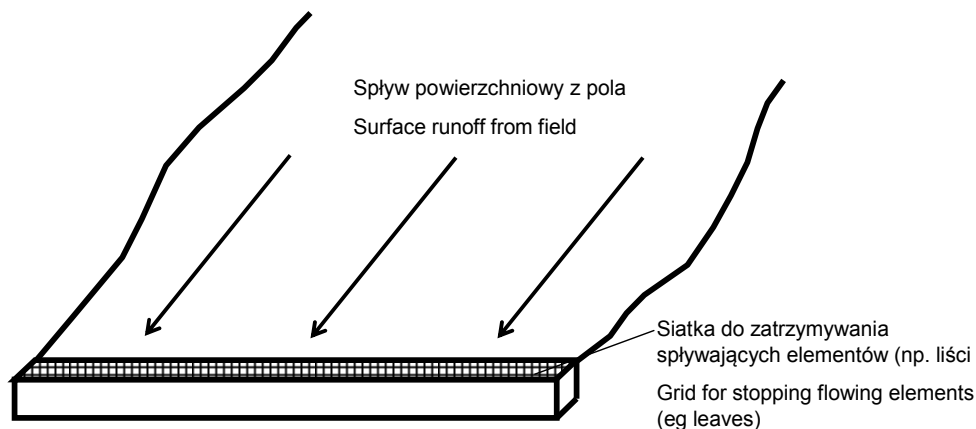
Zakres pracy obejmował w szczególności takie czynności i zagadnienia, jak:

- pobieranie próbek spływu powierzchniowego oraz gleby z wydzielonego fragmentu pola;
- oznaczenia laboratoryjne pobranych próbek wody i gleby;
- zebranie informacji związanych z użytkowaniem pola, w tym dotyczących rodzaju upraw, dawek nawożenia mineralnego i naturalnego, wielkości zebranych plonów oraz rodzaju i terminów zabiegów uprawowych;
- prace kameralne i opracowanie wyników.

Próbki spływu powierzchniowego pozyskiwano za pomocą specjalnej rynienki (rys. 1), o wymiarach: dł. – 1000, szer. – 200, gł. – 150 mm, zainstalowanej ok. 5 m powyżej podstawy stoku pola.

Próbki gleby pobierano z profilu 0–5 cm, z części pola położonego powyżej rynienki, przy czym próbkę reprezentatywną (zespoloną) tworzą z siedmiu pojedynczych próbek. Głębokość poboru próbek gleby przyjęto na podstawie literatury, za autorami badającymi interakcje między zasobnością gleb w fosfor a jego zawartością w spływie powierzchniowym [HANSEN i in. 2012; SCHIERER i in. 2007; SCHINDLER i in. 2002; SHARPLEY i in. 1985].

Próbki wody i gleby pobierano w okresie od 13 maja 2011 r. do 3 lipca 2012 r., każdorazowo po wystąpieniu intensywnych opadów deszczu.



Rys. 1. Schemat rynienki (chwytnicy) do zbierania spływu powierzchniowego; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. A scheme of a gutter (catcher) for collecting surface runoff; source: own elaboration

Analizy próbek wody i gleby wykonano w Laboratorium Badawczym Chemii Środowiska ITP. W wodzie oznaczano pH oraz stężenie: N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub>, Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn i Zn. Stężenie N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub> w próbkach wody oznaczano metodą kolorymetryczną za pomocą automatycznego analizatora przepływowego firmy Skalar. Stężenia Mg, Ca, Fe, Mn, Zn oznaczano metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej – płomieniowej, a Na i K – metodą emisyjną za pomocą spektrometru do absorpcji atomowej SOLAAR S firmy Thermo Elemental. Pomiar pH wykonywano metodą potencjometryczną za pomocą miernika SevenMulti firmy Mettler Toledo.

W próbkach gleby oznaczano metodą potencjometryczną odczyn pH (w KCl), oraz kolorymetrycznie za pomocą automatycznego analizatora przepływowego firmy Skalar: zawartość N-NO<sub>3</sub> i N-NH<sub>4</sub> (w próbkach świeżych) – w wyciągu, z zastosowaniem 1% roztworu siarczanu potasu (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) i zawartość przyswajalnych form fosforu (P-PO<sub>4</sub>) w próbkach wysuszonych – metodą Egnera-Riehma, z wykorzystaniem do ekstrakcji roztworu mleczanu wapnia (pH ~3,55).

W okresie poprzedzającym pobieranie próbek do analiz laboratoryjnych oraz w jego trakcie rejestrowano przebieg czynności agrotechnicznych wykonywanych na polu. Na podstawie uzyskanych danych sporządzono historię użytkowania pola oraz bilanse NPK metodą „na powierzchni pola”, obejmujące lata gospodarcze: 2009/2010, 2010/2011 i 2011/2012. W bilansach, po stronie przychodu, uwzględniono składniki wniesione do gleby z następujących źródeł: materiał siewny, nawozy mineralne, nawozy naturalne, opad atmosferyczny i biologiczne wiązanie azotu przez mikroorganizmy wolnożyjące. Po stronie rozchodu uwzględniono składniki wyniesione z pola wraz z plonem głównym (ziarno) i ubocznym (słoma).

Do obliczeń przyjęto:

- wskaźniki zawartości N, P i K w ziarnie i słomie, wg tabeli 1;
- depozycję z atmosfery (opad mokry): azotu – 11,77 kg N·ha<sup>-1</sup>, fosforu (P) – 0,514 kg P·ha<sup>-1</sup>, potasu – 2,31 kg K·ha<sup>-1</sup> (na podstawie: LIANA i in. [2012]);
- ilość azotu wnoszonego przez mikroorganizmy glebowe wiążące N<sub>2</sub> – 10 kg N·ha<sup>-1</sup> [PIETRZAK 2008];
- udział składników nawozowych w świeżej masie obornika kurzego kształtujący się następująco: N – 3,21%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 1,61%; K<sub>2</sub>O – 2,13% (na podstawie oznaczenia laboratoryjnego, wykonanego na zamówienie właściciela pola).

**Tabela 1.** Zawartość azotu, fosforu i potasu w produktach roślinnych

**Table 1.** The content of nitrogen, phosphorus and potassium in plant products

Rodzaj produktu Product	Wskaźnik zawartości składników nawozowych w produkcie Index of nutrient content in the product kg·dt <sup>-1</sup>			Źródło Source
	N	P	K	
Rzepak – nasiona Rape – seeds	3,40	0,68	0,87	WRZASZCZ [2009]
Pszenżyto – ziarno Triticale – grain	1,80	0,36	0,46	
Jęczmień – ziarno Barley – grain	1,71	0,35	0,43	PIETRZAK [2008]
Rzepak – słoma Rape – straw	0,72	0,13	1,68	SZEWCZUK [2010]
Pszenżyto – słoma Triticale – straw	0,61	0,11	1,03	
Jęczmień – słoma Barley – straw	0,73	0,11	1,20	

Masę zebranej z pola słomy obliczono, przyjmując, że jej plon w stosunku do plonu ziarna wynosi: 1 – dla rzepaku, 0,7 – dla jęczmienia ozimego i 1,13 – dla pszenżyta ozimego [LUDWICKA, GRZYBEK 2010].

## WYNIKI BADAŃ

### Przebieg działań agrotechnicznych

W 2009 r. na całej powierzchni pola (40,86 ha) wysiano rzepak ozimy w dawce 3,5 kg·ha<sup>-1</sup>. Przed wysiewem nasion rzepaku zastosowano nawozy mineralne NPK w ilości: 43,9 kg N·ha<sup>-1</sup>, 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·ha<sup>-1</sup>, 100 kg K<sub>2</sub>O·ha<sup>-1</sup>. Wiosną 2010 r. zastosowano (pogłównie) na rzepak nawozy azotowe w ilości 188 kg N·ha<sup>-1</sup> (96 kg N·ha<sup>-1</sup> w formie saletry amonowej i 92 N·ha<sup>-1</sup> w formie mocznika) oraz dolistnie w dawce 15 N·ha<sup>-1</sup>. Zebrany plon rzepaku w 2010 r. wyniósł średnio 29,6 dt·ha<sup>-1</sup>. Słomę rzepakową zebraną z całej powierzchni pola przeznaczono na ściółkę. Jesienią 2010 r. pole po rzepaku zaorano i zasiano na nim jęczmień ozimy w ilości 135

kg·ha<sup>-1</sup>. Przed jego siewem zastosowano nawożenie mineralne, zawierające 35 kg N·ha<sup>-1</sup> azotu, 38 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·ha<sup>-1</sup> fosforu i 60 kg K<sub>2</sub>O·ha<sup>-1</sup> potasu, a wiosną 2011 r. zastosowano na jęczmień pogłównie azot w ilości 40 kg N·ha<sup>-1</sup> (w formie saletry amonowej). Plon jęczmienia ozimego w 2011 r. wyniósł średnio 40 dt·ha<sup>-1</sup>. Zebraną słomę z jęczmienia przeznaczono na ściółkę. Po zbiorze słomy pole zabronowano broną talerzową. Po tym zabiegu, 22 sierpnia, zastosowano obornik kurzy w ilości 15 t·ha<sup>-1</sup>, a następnie płytko go przyorano. Jesienią 2011 r. wykonano orkę głęboką. Po niej zastosowano przedsiewne nawożenie mineralne fosforowo-potasowe (bez azotowego) w dawkach 48 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·ha<sup>-1</sup> i 75 kg K<sub>2</sub>O·ha<sup>-1</sup>. Po wysiewie nawozów pole ponownie zabronowano broną talerzową, a w następnie (7 października 2011 r.) obsiano je pszenżytem, stosując 250 kg nasion na ha. Wiosną 2012 r. na pszenżyto wysiano pogłównie azot w dwóch terminach, kolejno w dawkach: 51 i 68 kg N·ha<sup>-1</sup>. Plon pszenżyta w 2012 r. wyniósł 62,3 dt·ha<sup>-1</sup>. Słomę po sprasowaniu w cylindryczne bele zebrano z pola. Po zbiorze wykonano podorywkę, a następnie orkę głęboką (w sierpniu) i zastosowano nawożenie przedsiewne, z którym wniesiono: 34,5 kg N·ha<sup>-1</sup> (w formie siarczanu amonowego), 48 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·ha<sup>-1</sup> (w formie superfosfatu granulowanego) i 90 kg K<sub>2</sub>O·ha<sup>-1</sup> (w formie soli potasowej). Następnie wysiano rzepak ozimy w ilości 3,2 kg·ha<sup>-1</sup>. W latach 2009–2011 na polu nie uprawiano poplonów.

### **Bilans składników nawozowych**

Salda (nadmiary) bilansów składników nawozowych w analizowanym okresie charakteryzowały się dużą zmiennością. Nadmiary N kształtowały się na poziomie od 10,2 do 471,7 kg·ha<sup>-1</sup>, nadmiary P mieściły się w granicach 0,5–97,6 kg·ha<sup>-1</sup>, a nadmiary K w przedziale 1,8–229,8 kg·ha<sup>-1</sup> (tab. 2). Skrajnie duże wartości nadmiarów wynikały z zastosowania na pole bardzo bogatego w składniki nawozowe obornika kurzego.

Ze sporządzonych bilansów wynika, że na będącym obiektem badań polu prowadzono stosunkowo zrównoważoną gospodarkę azotem w roku gospodarczym 2010/2011, a w latach gospodarczych 2009/2010 i 2010/2011 fosforem i potasem. W wymienionych okresach zanotowano niewielkie nadmiary tych składników i wysoką efektywność ich wykorzystania. W pozostałych przypadkach występowały duże nadmiary N, P i K, szczególnie w roku gospodarczym 2011/2012, po zastosowaniu na pole obornika kurzego.

### **Wyniki analiz chemicznych próbek gleby i wody ze spływu powierzchniowego**

W okresie objętym badaniami, odczyn oraz zawartość fosforu i mineralnych form azotu w wierzchniej pięciocentymetrowej warstwie gleby ulegały dynamicznym zmianom. Odczyn pH wahał się od 4,8 do 6,5; zmiany zawartości azotu azotanowego i azotu amonowego oscylowały w granicach, odpowiednio: 7,6–212,3 i 1,2–73,6 mg·dm<sup>-3</sup>, a zmiany zawartości fosforu kształtowały się między 12,6 a 288,2 mg·kg<sup>-1</sup> (tab. 3). W stosunku do ogółu uzyskanych wyników, próbki gleby pobrane w pierwszej połowie maja 2011 r. i kwietnia 2012 r. charakteryzowały się

**Tabela 2.** Bilanse N, P i K „na powierzchni pola” w latach gospodarczych 2009/2010, 2010/2011 i 2011/2012 dla objętego badaniami gruntu ornego**Table 2.** Balances of N, P and K “on the field surface” in the years 2009/2010, 2010/2011 and 2011/2012 for the studied arable land

Wyszczególnienie Items	Składnik nawozowy Component								
	N			P			K		
	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012
Wnoszenie, kg·ha <sup>-1</sup> Input, kg·ha <sup>-1</sup>									
– nasiona seeds	0,12	2,3	4,5	0,02	0,5	0,9	0,03	0,6	1,2
– nawozy azotowe nitrogen fertilisers	246,9	75,0	119,0	–	–	–	–	–	–
– nawozy fosforowe phosphorus fertilisers	–	–	–	26,2	16,6	20,9	–	–	–
– nawozy potasowe potassium fertilisers	–	–	–	–	–	–	83,0	49,8	62,3
– obornik kurzy hen manure	–	–	481,5	–	–	105,4	–	–	265,2
– opad atmosferyczny atmospheric precipitation	11,8	11,8	11,8	0,5	0,5	0,5	2,3	2,3	2,3
– wolnożyjące mikroorga- nizmy glebowe free-living soil microor- ganisms	10,0	10,0	10,0	–	–	–	–	–	–
Razem wnoszenie, kg·ha <sup>-1</sup> Total input, kg·ha <sup>-1</sup>	268,8	99,1	626,8	26,7	17,6	127,7	85,4	52,7	331,0
Wynoszenie, kg·ha <sup>-1</sup> Output, kg·ha <sup>-1</sup>									
– ziarno seed	100,6	68,4	112,1	20,1	14,0	22,4	25,8	17,2	28,7
– słoma straw	21,3	20,4	42,9	3,9	3,1	7,7	49,6	33,7	72,5
Razem wynoszenie, kg·ha <sup>-1</sup> Total output, kg·ha <sup>-1</sup>	122,0	88,8	155,1	24,0	17,1	30,1	75,4	50,9	101,1
Nadmiar, kg·ha <sup>-1</sup> Surplus, kg·ha <sup>-1</sup>	146,8	10,2	471,7	2,7	0,5	97,6	10,0	1,8	229,8
Efektywność, % Efficiency, %	45,4	89,7	24,7	89,8	97,1	23,6	88,3	96,6	30,6

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

podwyższoną zawartością N-NO<sub>3</sub> i N-NH<sub>4</sub>, natomiast w próbce pobranej pod koniec września 2011 r. wykryto skrajnie dużą zawartość azotu azotanowego, a w tej próbce oraz pobranej w kwietniu 2012 r. – również skrajnie dużą ilość fosforu.

Skład chemiczny spływu powierzchniowego, również w okresie poboru jego próbek, ulegał bardzo dużym zmianom (tab. 4). Największą zmiennością cechowa-

**Tabela 3.** Wyniki analiz chemicznych próbek gleby z objętego badaniami gruntu ornego**Table 3.** Results of chemical analyses of soil samples from arable land under study

Data pobrania Sampling date	pH (KCl)	Zawartość składnika Content of component		
		N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	P-PO <sub>4</sub>
		mg·dm <sup>-3</sup>		mg·kg <sup>-1</sup>
13.05.2011	5,08	72,30	54,26	36,40
25.05.2011	6,47	44,61	2,13	38,44
10.06.2011	6,15	8,98	1,70	68,04
27.06.2011	6,28	7,55	1,72	52,13
29.09.2011	5,76	212,27	3,59	288,18
14.04.2012	4,79	62,11	73,57	285,56
16.05.2012	5,37	39,52	12,37	62,74
25.06.2012	5,06	34,27	1,16	27,16
03.07.2012	6,14	29,82	3,21	12,57
Średnio Mean	5,70	56,80	17,08	96,80
SD	0,62	62,08	27,20	109,11

Objaśnienie: *SD* – odchylenie standardowe. Explanation: *SD* – standard deviation.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

**Tabela 4.** Wyniki analiz chemicznych próbek wody ze spływu powierzchniowego z objętego badaniami gruntu ornego**Table 4.** Results of chemical analyses of water samples from surface runoff from arable land under study

Data pobrania Sampling date	pH	Stężenie składnika w spływie powierzchniowym, mg·dm <sup>-3</sup> Concentration of the component in surface runoff, mg·dm <sup>-3</sup>									
		P-PO <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	K	Ca	Na	Mg	Fe	Mn	Zn
		13.05.2011	8,09	3,73	0,46	19,61	43,4	27,3	7,6	5,0	4,44
25.05.2011	7,38	4,09	0,36	10,22	28,9	12,4	3,1	3,7	1,29	0,42	0,04
10.06.2011	8,00	11,10	0,52	19,75	59,0	8,1	6,2	3,7	1,09	0,44	0,20
27.06.2011	8,11	11,41	0,37	19,87	68,3	5,1	3,9	3,7	1,02	0,32	0,45
29.09.2011	7,01	16,76	1,08	15,06	133,0	29,3	8,8	14,3	1,67	0,60	0,28
14.04.2012	6,73	17,97	0,25	17,41	60,3	10,2	11,0	12,8	0,53	0,90	0,26
16.05.2012	7,20	0,68	5,06	0,46	11,1	29,2	9,0	8,3	0,49	0,01	0,01
25.06.2012	6,73	0,49	0,26	0,59	9,8	43,0	14,4	9,4	0,82	0,02	0,10
03.07.2012	7,09	0,90	0,77	1,57	1,9	93,5	9,3	14,9	0,23	0,01	0,15
Średnio Mean	7,37	7,46	1,01	11,62	46,2	28,7	8,1	8,4	1,30	0,40	0,20
SD	0,56	6,97	1,54	8,61	40,64	27,38	3,50	4,68	1,30	0,37	0,14

Objaśnienie: *SD* – odchylenie standardowe. Explanation: *SD* – standard deviation.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.



ły się takie składniki, jak Mn, K i Zn, których maksymalne i minimalne wartości stężeń w spływie różniły się odpowiednio: 100, 70 i 50-krotnie, najmniejszą zaś Mg i Na, których graniczne wartości stężeń różniły się w kolejności 4 i 5 razy. Krotność różnicy dla takich składników, jak: N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub>, wynosiła odpowiednio: 20, 43 i 37.

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Chemizm wód spływających okresowo z będącego obiektem badań pola, kształtował się w wyniku absorbowania z jego powierzchni i cienkiej warstwy podpowierzchniowej różnych mikro- i makroelementów. O produktywności (wydajności) tego procesu można wnioskować z pewnym przybliżeniem, porównując uzyskane średnie wartości stężeń analizowanych składników w spływie powierzchniowym, ze średnimi wartościami stężeń tych składników w opadach atmosferycznych w latach 2009–2011 r., odnotowanych w stacji monitoringowej Świnoujście (rejestrowane przez nią dane atmosferyczne można traktować jako reprezentatywne dla woj. zachodniopomorskiego) – tabela 5.

**Tabela 5.** Odczyn i średnie wartości stężeń składników chemicznych zawartych w opadach atmosferycznych w latach 2009–2011 w stacji monitoringowej Świnoujście

**Table 5.** pH and the mean concentrations of chemical components of atmospheric precipitation in 2009–2011 in Świnoujście monitoring station

pH	Stężenie składnika w opadach atmosferycznych, mg·dm <sup>-3</sup> Concentration of component in atmospheric precipitation, mg·dm <sup>-3</sup>									
	P <sup>1)</sup>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	K	Ca	Na	Mg	Fe	Mn	Zn
6,003	0,078	0,523	0,593	0,300	1,270	1,357	0,150	0,036	0,028	0,054

<sup>1)</sup> Fosfor ogólny. <sup>1)</sup> Total phosphorus.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: GIOŚ. Source: own study based on GIOŚ.

Jak można zauważyć, zawsze, a w wielu przypadkach z bardzo dużą wielokrotnością, stężenia składników w spływie przewyższały ich stężenia w opadach. Zachodzące w tym zakresie różnice w wartości poszczególnych składników mogą być traktowane w formie orientacyjnej, jako swoisty wskaźnik oddziaływania gleby na skład spływu. Z różnic tych wynika, że w warunkach prowadzonych badań, gleba w największym stopniu wzbogaciła w potas i fosfor tę część opadu, która przeszła w spływ, w najmniejszym zaś w azot azotanowy i cynk.

Sam poziom stężeń analizowanych składników w spływie trudno jest poddać jednoznacznej ocenie, ze względu na brak związanych z tym wzorców odniesienia. W szczególności jednak warto zwrócić uwagę, że średnie zawartości w spływie składników biogennych, takich jak fosfor fosforanowy i azot amonowy wielokrot-

nie przekraczały (w przypadku fosforu aż 75 razy) wartości graniczne, odpowiadające dobrej klasie wód (tab. 6), zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (przekroczenia te w spływie nie występowały w przypadku azotu azotanowego).

**Tabela 6.** Wartości graniczne wskaźników jakości wód

**Table 6.** The threshold values of water quality indices

Wskaźnik Index	Wartości graniczne Threshold values	
	I klasa jakości I quality class	II klasa jakości II quality class
N-NO <sub>3</sub> , mg N·dm <sup>-3</sup>	≤ 2,2	≤ 5
N-NH <sub>4</sub> , mg N·dm <sup>-3</sup>	≤ 0,78	≤ 1,56
P-PO <sub>4</sub> , mg P·dm <sup>-3</sup>	≤ 0,07	≤ 0,10

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Rozporządzenie MŚ... [2011].

Source: own study based on Rozporządzenie MŚ... [2011].

Zarazem średnie stężenie fosforu fosforanowego w spływie było większe od jego wartości granicznej dla wód płynących ( $> 0,25 \text{ mg P}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ ), podanej w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych (Dz.U. 2002, nr 241 poz. 2093) – rozporządzenie określa wartości graniczne dla fosforu ogólnego, można zatem przyjąć, że jeśli stężenie fosforu fosforanowego w próbkach wody było większe od wartości granicznych dla fosforu ogólnego, to tym bardziej stężenie  $\text{P}_{\text{og}}$ , było w nich większe od normy ustanowionej w rozporządzeniu. Tak więc, ze względu na dużą zawartość substancji biogenych, a w szczególności fosforu, spływająca z pola woda stanowiła poważne źródło zanieczyszczenia sąsiadujących z nim ekosystemów wodnych.

Rozpatrując cechy chemiczne spływu powierzchniowego, stwierdzono ponadto, że część występujących w nim składników była ze sobą ściśle skorelowana (w sposób istotny statystycznie) – tabela 7. Najlepiej skorelowany był fosfor, którego stężenie w spływie zmieniało się wprost proporcjonalnie ze zmianami stężenia azotu amonowego i potasu, a ponadto manganu i cynku.

Gleba, po której przemieszczał się spływ (biorąc pod uwagę średnie wyniki jej analiz), charakteryzowała się:

- odczynem lekko kwaśnym;
- dużą zawartością fosforu w warstwie 0–5 cm, przewyższającą wartość graniczną  $89 \text{ mg P} \cdot \text{kg}^{-1}$ , ustaloną dla gleb mineralnych o bardzo dużej zasobności w ten składnik [OBOJSKI, STRĄCZYŃSKI 1995];

- dużą zawartością azotu mineralnego, w tym azotu azotanowego (odpowiadającą odpowiednio 36,9 i 28,4 kg N·ha<sup>-1</sup> w warstwie 0–5 cm), w porównaniu z ich przeciętnymi zawartościami w glebach ornych w Polsce, podanymi w wymienionym wcześniej rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2002 r. [Rozporządzenie MŚ... 2002].

**Tabela 7.** Korelacje między analizowanymi składnikami chemicznymi spływu powierzchniowego

**Table 7.** Correlations between analysed chemical components of surface runoff

Składnik Component	Współczynnik korelacji Pearsona Pearson correlation coefficient									
	P-PO <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	K	Ca	Na	Mg	Fe	Mn	Zn
P-PO <sub>4</sub>	1,000	-0,327	0,726**	0,856**	-0,540	-0,132	0,173	-0,033	0,613*	0,727*
N-NO <sub>3</sub>		1,000	-0,485	-0,233	0,078	0,084	0,080	-0,224	-0,412	-0,390
N-NH <sub>4</sub>			1,000	0,682*	-0,674*	-0,498	-0,394	0,495	0,802**	0,543
K				1,000	-0,463	-0,213	0,118	0,237	0,552	0,624*
Ca					1,000	0,439	0,631*	-0,201	-0,498	-0,284
Na						1,000	0,649*	-0,197	-0,171	-0,197
Mg							1,000	-0,357	-0,100	0,085
Fe								1,000	0,657*	-0,232
Mn									1,000	0,153
Zn										1,000

Objaśnienia: \* – korelacja istotna na poziomie  $\alpha = 0,05$ , \*\* – korelacja istotna na poziomie  $\alpha = 0,01$ .

Explanations: \* – significant correlation at  $\alpha = 0.05$ , \*\* – significant correlation at  $\alpha = 0.01$ .

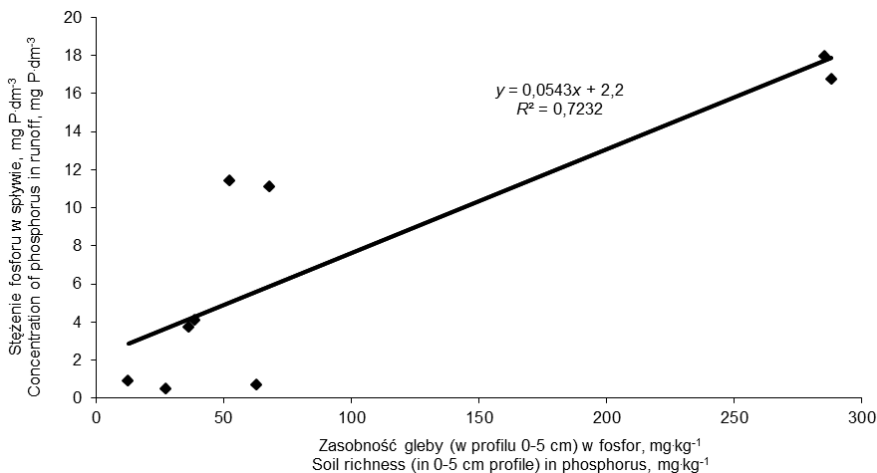
Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Zawartość fosforu oraz mineralnych form azotu w wierzchniej warstwie gleby ulegała dynamicznym zmianom, trudnym do jednoznacznego zinterpretowania. Można sądzić, że wpłynęły na to prowadzone zabiegi uprawowe oraz stosowane nawożenie. W szczególności wydaje się, że stwierdzone przypadki znaczącego zwiększenia w niej zawartości N-NO<sub>3</sub> i N-NH<sub>4</sub> w okresie wiosennym w latach 2011 i 2012 można wiązać ze stosowaniem mineralnych nawozów azotowych. Natomiast bardzo dużą zawartość N-NO<sub>3</sub> i P w glebie, zaobserwowaną pod koniec września 2011 r., należy łączyć z zastosowaniem obornika kurzego.

Zmiany zawartości fosforu przyswajalnego w glebie były dodatnio silnie skorelowane ze stężeniem tego składnika w spływie (rys. 2).

Występowania tego rodzaju związku nie stwierdzono natomiast w odniesieniu do pozostałych składników, których zawartość oznaczano w wierzchniej warstwie gleby, tj. do azotu azotanowego i azotu amonowego. Należy podkreślić, że udowodniona statystycznie wprost proporcjonalna zależność między zawartością ruchliwych form fosforu w górnej warstwie gleby, a stężeniem tego składnika w wodzie ze spływu powierzchniowego, stanowi potwierdzenie wyników wcześniejszych badań [HANSEN i in. 2012; SCHIERER i in. 2007; SCHINDLER i in. 2002, SHARPLEY i in. 1985]. Można zatem ją uznać za powszechnie występującą prawi-

dłowość. Wynika z niej ważne spostrzeżenie, że ze względów środowiskowych (ochrony wód przed eutrofizacją), jak i gospodarczych (ekonomicznych) nie należy dopuszczać do nadmiernego wzbogacenia gleby w fosfor. Stąd też, w polowej produkcji roślinnej powinno się sukcesywnie prowadzić analizy zasobności gleb w fosfor i na tej podstawie ustalać i stosować optymalne dawki nawożenia fosforowego, dopasowane do rodzaju uprawy. Również stosowanie innych składników należy prowadzić w sposób zrównoważony.



Rys. 2. Straty fosforu w splywie powierzchniowym w zależności od zawartości fosforu przyswajalnego (oznaczonego metodą Egnera-Riehma) w profilu glebowym 0–5 cm; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Phosphorus losses in surface runoff in relation to available phosphorus content (determined with the Egner-Riehlm) in the 0–5 cm soil profile; source: own study

W związku z powyższym zasadne jest podkreślić, że w warunkach badawczych, szczególnie wrażliwym elementem, z punktu widzenia możliwości powstania strat fosforu, a także i innych składników z gleby, w tym zwłaszcza przez wynoszenie ze splywem, było zastosowanie obornika kurzego, co wynika ze sporządzonych bilansów. Ta forma nawożenia wygenerowała bardzo duże nadmiary N, P i K. W przypadku fosforu oznacza to, że prawie cała ilość tego składnika została zakumulowana w glebie, w związku z czym, zwiększyła się możliwość jego negatywnego (w sensie środowiskowym) oddziaływania na skład splywu powierzchniowego. W ujęciu hipotetycznym, nawożenie obornikiem stwarzało też inny rodzaj zagrożenia, polegający na tym, że w przypadku wystąpienia opadów deszczu w trakcie jego trwania lub w niedługim czasie po jego zakończeniu, duża ilość składników nawozowych mogłaby być przemieszczona wraz ze splywem. W aspekcie jakości ochrony wód bardzo ważne jest zatem, aby nawożąc obornikiem, raczej stosować mniejsze jego dawki, nie aplikować go w okresach przewi-

dywanego wystąpienia dużych opadów i szybko przykryć nawóz glebą po rozrzu-  
ceniu na polu.

## WNIOSKI I STWIERDZENIA

1. Woda spływająca po powierzchni pola, będącego obiektem badań, charakte-  
ryzowała się zwiększoną zawartością wszystkich analizowanych składników, ta-  
kich jak: N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub>, Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn i Zn, w stosunku do prze-  
ciętnej zawartości tych składników w opadach atmosferycznych w 2011 r., przy  
czym największe różnice występowały w odniesieniu do potasu i fosforu, naj-  
mniejsze zaś, w odniesieniu do azotu azotanowego i cynku.

2. Odczyn oraz zawartość fosforu, a także mineralnych form azotu w profilu  
gleby 0–5 cm w okresie objętym badaniami ulegały dużym wahaniom, co w dużym  
stopniu mogło być spowodowane nawożeniem i zabiegami uprawowymi.

3. Znaczne wartości stężeń składników biogennych transportowanych w spły-  
wie powierzchniowym, w tym zwłaszcza fosforu, stwarzały ryzyko przyspieszonej  
eutrofizacji wód powierzchniowych w przypadku przedostania się do nich.

4. Wraz ze zwiększaniem zasobności wierzchniej pięciocentymetrowej war-  
stwy gleby w fosfor przyswajalny dla roślin, zwiększała się ilość tego składnika  
w spływie powierzchniowym. Tego rodzaju zależność nie zachodziła w odniesie-  
niu do mineralnych form azotu.

5. Zastosowanie obornika kurzego spowodowało wystąpienie na polu nadmiaru  
składników nawozowych, w tym fosforu, co w konsekwencji stworzyło ryzyko  
wyniesienia dużej ich ilości wraz ze spływem powierzchniowym.

## LITERATURA

- BOCHEŃSKA T., DOWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI A.S., MACIOSZCZYK T., RÓŻKOWSKI A. (red.) 2002. Słownik hydrogeologiczny [online]. Pr. zbior. Warszawa. PIG. [Dostęp: 9.07.2013]. Dostępny w Internecie: [http://www.mos.gov.pl/g2/kategoriaPliki/2009\\_04/d6e1baf4ccc946e5c1f7cac62c532e96.pdf](http://www.mos.gov.pl/g2/kategoriaPliki/2009_04/d6e1baf4ccc946e5c1f7cac62c532e96.pdf)
- CARPENTER S.R., CARACO N.F., CORRELL D.L., HOWARTH R.W., SHARPLEY A.N., SMITH V.H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Journal of Applied Ecology*. Vol. 8 s. 559–568.
- DALY K., CASEY A. 2003. Eutrophication from agricultural sources. Environmental soil phosphorus test (2000-LS-2.1.6-M2). Final report prepared for the Environmental Protection Agency [online]. Teagasc, Johnstown Castle, Wexford. [Dostęp: 9.07.2013]. Dostępny w Internecie: [http://www.epa.ie/pubs/reports/research/water/EPA\\_environmental\\_soil\\_phosphorus\\_test\\_ERTD114\\_final.pdf](http://www.epa.ie/pubs/reports/research/water/EPA_environmental_soil_phosphorus_test_ERTD114_final.pdf)
- FROSSARD E., CONDRON L.M., OBERSON A., SINAJ S., FARDEAU J.C. 2000. Processes governing phosphorus availability in temperate soils. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 29 s. 15–23.
- GIÓŚ – Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Chemizm opadów atmosferycznych – stężenia i ładunki. Dane dot. chemizmu opadów atmosferycznych za 2011 r. [online]. [Dostęp:

- 9.07.2013]. Dostępny w Internecie: <http://powietrze.gios.gov.pl/gios/site/chemistry?year=2011&chemistryType=S&contaminationType=Cl&show>; <http://powietrze.gios.gov.pl/gios/site/measuringstation/C/preview/100062>
- GIOŚ – Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. 2008. Informacja o realizacji zadań Inspekcji Ochrony Środowiska w 2007 roku. Warszawa ss. 177.
- HANSEN N.E., VIETOR D.M., MUNSTER C.L., WHITE R.H., PROVIN T.L. 2012. Runoff and nutrient losses from constructed soils amended with compost [online]. *Applied and Environmental Soil Science*. Vol. 2012. Article ID 542873. [Dostęp: 9.07.2013]. Dostępny w Internecie: <http://www.hindawi.com/journals/aess/2012/542873/>
- KIRYLUK A., RAUBA M. 2011. Wpływ rolnictwa na stężenie fosforu ogólnego w wodach powierzchniowych zlewni rzeki Śliny. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 26 s. 122–132.
- KOMISKEY M.J., STUNTEBECK T.D., FRAME D.R., MADISON F.W. 2011. Nutrients and sediment in frozen-ground runoff from no-till fields receiving liquid-dairy and solid-beef manures [online]. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 66. No. 5. [Dostęp: 9.07.2013]. Dostępny w Internecie: <http://www.jswconline.org/content/66/5/303.abstract>
- KOSZELNIK P., TOMASZEK J. 2011. Splywy powierzchniowe azotu do wód Sanu i jego dopływy. W: *Turystyka wiejska, ochrona środowiska i dziedzictwo kulturowe Pogórza Dynowskiego*. Pr. zbior. Red. J. Krupa, T. Soliński. Dynów. Związek Gmin Pogórza Dynowskiego s. 179–186.
- LENTZ R.D., LEHRSCHE G.A. 2010. Nutrients in runoff from a furrow-irrigated field after incorporating inorganic fertilizer or manure [online]. *Journal Environ Quality*. Vol. 39(4) s. 1402–1415. Dostęp: 9.07.2013]. Dostępny w Internecie: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20830928>
- LIANA E., POBUDEJSKI M., BOŻEK A. 2012. Monitoring chemizmu opadów atmosferycznych i depozycji zanieczyszczeń do podłoża w województwie śląskim w 2011 roku. IMGW-PIB Oddz. Wroc. [Dostęp: 9.07.2013]. Dostępny w Internecie: <http://www.katowice.pios.gov.pl/monitoring/informacje/stan2011/opady.pdf>
- LUDWICKA A., GRZYBEK A. 2010. Bilans biomasy rolnej (słomy) na potrzeby energetyki *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 2 s. 101–111.
- OBOJSKI J., STRĄCZYŃSKI S. 1995. Odczyn i zasobność gleb Polski w makro i mikroelementy. Puławy. IUNG ss. 40.
- PIETRZAK S. 2008. Procedura bilansowania składników nawozowych metodą „u wrót gospodarstwa”. *Materiały Instruktażowe. Procedury 122/6. Falenty*. Wydaw. IMUZ. ISBN 978-83-88763-88-5 ss. 21.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych. Dz.U. 2002. Nr 241 poz. 2093.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. Dz.U. 2011. Nr 257 poz. 1545.
- SCHIERER R.A., DAVIS J.G., ZUMBRUNNEN J.R. 2007. Predicting phosphorus runoff from calcareous soils [online]. *Western Nutrient Management Conference*. 2007. Vol. 7. Salt Lake City, UT. [Dostęp: 9.07.2013]. Dostępny w Internecie: [http://isnap.oregonstate.edu/WERA\\_103/2007\\_Proceedings/WNMC07.p130.Schierer.pdf](http://isnap.oregonstate.edu/WERA_103/2007_Proceedings/WNMC07.p130.Schierer.pdf)
- SCHINDLER F.V., GERMAN D., GELDERMAN R., 2002. Establishing a relationship between soil test P and runoff P for a South Dakota soil using simulated rainfall. *Annual Report: 2002 USGS 104b Research Projects* [online]. [Dostęp: 9.07.2013]. Dostępny w Internecie: <http://www.sdstate.edu/abe/wri/research/upload/Establishing-a-Relationship-Between-Soil-Test-P-and-Runoff-P-for-a-South-Dakota-Soil-Using-Simulated-Rainfall-4.pdf>
- SHARPLEY A.N. 1985. Depth of surface soil-runoff interaction as affected by rainfall, soil slope and management. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 49 s. 1010–1015.

- SHARPLEY A.N., SMITH S.J., BERG W.A., WILLIAMS J.R. 1985. Nutrient runoff losses as predicted by annual and monthly soil sampling. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 14. No. 3 s. 354–360.
- SMITH K.A., JACKSON D.R., PEPPER T.J. 2001. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land. 1. Nitrogen [online]. *Environmental Pollution*. Vol. 112 (1). Dostępny w Internecie: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11202653>
- SMOROŃ S. 2012. Zagrożenie eutrofizacją wód powierzchniowych wyżyn lessowych Małopolski. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 12. Z. 1 (37) s. 181–191.
- SZEWCZUK Cz. 2010. Zanim sprzedaż słomę – bilans substancji odżywczych [online]. *Wiadomości Rolnicze Polska*. Nr 9. [Dostęp: 26.08.2013]. Dostępny w Internecie: [http://www.wrp.pl/Indhold/sider/show\\_article-7/default.aspx?id=8929](http://www.wrp.pl/Indhold/sider/show_article-7/default.aspx?id=8929)
- THAYER CH. 2011. Nutrient runoff following manure application [online]. *Biological Systems Engineering*. Dissertations, Theses, and Student Research. Paper 17. [Dostęp: 9.07.2013]. Dostępny w Internecie: <http://digitalcommons.unl.edu/biosysengdiss/17>
- WRZASZCZ W. 2009. Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym (7). Bilans nawozowy oraz bilans substancji organicznej w indywidualnych gospodarstwach rolnych. Warszawa. IERiGŻ-PIB ISBN 978-83-7658-092-0 ss. 98.

*Stefan PIETRZAK, Piotr WESOŁOWSKI, Adam BRYSIWICZ, Mariya DUBIL*

## **SURFACE RUNOFF CHEMISTRY IN RELATION TO AGROTECHNICAL CONDITIONS IN A SELECTED FARM IN ZACHODNIOPOMORSKIE PROVINCE**

**Key words:** *agricultural lands, agrotechnical measures, available phosphorus, mineral components, surface runoff*

### **S u m m a r y**

An assessment of chemical composition of surface runoff from arable lands with particular reference to phosphorus was performed and related to various factors affecting this composition. The assessment was based on the laboratory analyses of water samples collected in 2011–2012 from surface runoff from selected farm in zachodniopomorskie province, on parallel analyses of soil samples and on the record of agrotechnical measures performed in the field also before sampling.

It was found that: a) concentrations of analysed components in surface runoff exceeded (often many times) their average concentrations in rainfalls in the years 2011–2012. The greatest differences were found for phosphorus and potassium and the smallest for nitrate-nitrogen and zinc; b) the content of available phosphorus in the upper 5 cm soil layer was positively correlated with its concentration in surface runoff; no such relationship was found for mineral forms of nitrogen; c) surface runoff from the field was a potential source of eutrophication of surface waters since it contained much nutrients, particularly phosphorus.

**Adres do korespondencji:** dr hab. S. Pietrzak, prof. nadzw. Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Ochrony Jakości Wody, al. Hrabka 3, 05-090 Raszyn; tel. + 48 22 735-75-62, e-mail: S.Pietrzak@itep.edu.pl