

Wpłynęło 16.08.2012 r.  
Zrecenzowano 28.11.2012 r.  
Zaakceptowano 04.12.2012 r.

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

# ŁADUNEK SKŁADNIKÓW NAWOZOWYCH WNO SZONY Z OPAD EM ATMOSFERYCZNYM NA POWIERZCHNI Ę ZIEMI W REJONIE GÓRSKIM

**Piotr KACORZYK<sup>BCD</sup>, Mirosław KASPERCZYK<sup>AD</sup>,  
Wojciech SZEWCZYK<sup>ED</sup>**

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Zakład Łąkarstwa

## Streszczenie

W 3-letnim okresie badań oceniono zawartość oraz ładunek ważniejszych składników nawozowych wnoszonych z opadem atmosferycznym na powierzchnię ziemi w rejonie górskim. W rocznej ocenie wyróżniono dwa okresy: wegetacyjny i zimowy. Opad atmosferyczny w okresie wegetacji zawierał mniej związków azotu, potasu i sodu, a więcej wapnia, fosforu i magnezu w porównaniu z opadem zimowym. Coroczny ładunek powyższych składników wnoszonych na powierzchnię ziemi wynosił ok. 90 kg·ha<sup>-1</sup>, z czego na okres wegetacji przypadało ok. 60%. W wielkości rocznego ładunku poszczególne składniki miały następujący udział: Ca – 58%, N – 19%, K – 12%, Mg – 6%, Na – 4% i P – 1%.

**Słowa kluczowe:** góry, opad atmosferyczny surowy, składniki nawozowe

## WSTĘP

Procesy naturalne zachodzące w przyrodzie, a także będące wynikiem działalności człowieka decydują o obiegu wielu pierwiastków chemicznych w środowisku przyrodniczym. Jednak nadmierna emisja niektórych z nich, pochodzących z działalności antropogenicznej, jest przyczyną degradacji środowiska. Z badań SAPKA [2010] wynika, że Polsce ilość związków azotu emitowana z działalności rolniczej do atmosfery jest podobna do ilości, pochodzącej z pozostałych gałęzi działalności

---

**Do cytowania For citation:** Kacorzyk P., Kasperczyk M., Szewczyk W. 2012. Ładunek składników nawozowych wnoszony z opadem atmosferycznym na powierzchnię ziemi w rejonie górskim. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 12. Z. 4(40) s. 145–150.

gospodarczej. Problem ilości związków azotu, dostających się do atmosfery i opadających na powierzchnię ziemi, jest już dość obszernie omówiony w wielu opracowaniach [CZYŻYK, RAJMUND 2011; MARCINKOWSKI 2002; POLKOWSKA i in. 2005; SAPEK 2010; SAPEK, NAWALANY 2006], a dostępne dane pochodzą głównie z rejonów nizinnych. Mniej liczna jest natomiast literatura, omawiająca inne składniki mineralne wnoszone z opadem atmosferycznym na powierzchnię ziemi w rejonie górskim [SMORÓŃ i in. 2006], co skłoniło Autorów do podjęcia badań, dotyczących oceny wielkości ładunku składników nawozowych wnoszonych z opadem atmosferycznym na powierzchnię ziemi w tym właśnie rejonie.

## METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono w latach 2006–2008 w rejonie górskim, w Krynicy (650 m n.p.m.). Sumę opadu atmosferycznego określono za pomocą trzech deszczomierzy Hellmana, zlokalizowanych w trzech punktach na terenie łąki o powierzchni 5 ha, położonej w dolinie. Według klasyfikacji SAPKA [2011], oceniany opad należy określić jako „surowy”. Składał się on z opadu mokrego oraz cząstek materialnych swobodnie opadających, czyli opadu suchego spłukiwanego przez wodę opadową. Ilość wody opadowej mierzono po zakończeniu każdego opadu. Z ogólnej objętości wody opadowej każdego deszczomierza zawsze pobierano do analiz chemicznych próbkę w ilości 10%, które wykonywano po zebraniu określonej ilości wody. W rocznej ocenie wyróżniono dwa okresy. Okres wegetacyjny trwał od 15 kwietnia do 15 października, a zimowy obejmował pozostały okres. Zawartość N-NH<sub>4</sub> i N-NO<sub>3</sub> oznaczono fotometrem mikroprocesorowym LF-205, a stężenie fosforu, potasu, wapnia, magnezu i sodu metodą ICP-EAS. Ładunek powyższych składników obliczono na podstawie objętości wody opadowej i stężenia danego składnika. Zmiany stężenia składników scharakteryzowano, obliczając odchylenia standardowe SD i współczynniki zmienności *V*%.

## WYNIKI BADAŃ

W opadzie atmosferycznym wnoszonym na powierzchnię ziemi w okresie wegetacji i w okresie zimowym wystąpiły znaczne różnice w składzie chemicznym (tab. 1, 2). Opad w okresie wegetacji średnio zawierał mniej związków azotu, potasu i sodu, a więcej wapnia, fosforu i magnezu w porównaniu z opadem zimowym. W przypadku azotu i fosforu różnice były średnio dwukrotne, potasu, wapnia i sodu 1,5-krotne, a magnezu 1,2-krotne. Wystąpiły też różnice w składzie opadu pomiędzy latami. W okresie wegetacji największą zawartością azotu, fosforu, potasu i magnezu cechował się opad w 2008 r., zaś wapnia i sodu najwięcej zawierał opad w 2006 r. Natomiast najuboższy w analizowane składniki był opad letni w 2007 r.

**Tabela 1.** Suma opadów atmosferycznych i zawartość w nich składników nawozowych w okresie wegetacyjnym**Table 1.** Amount of precipitation and nutrients content during the growing season

Rok Year	Suma opadów Precipitation mm	Wartość Value	Zawartość, mg·dm <sup>-3</sup> Content, mg·dm <sup>-3</sup>					
			N-NH <sub>4</sub> + N-NO <sub>3</sub>	P	K	Ca	Mg	Na
2006	732	średnia mean	1,09	0,09	0,72	5,27	0,48	0,34
		SD	0,38	0,04	0,31	2,74	0,16	0,15
		V%	35	41	43	40	33	43
2007	664	średnia mean	0,90	0,06	0,67	5,02	0,43	0,20
		SD	0,35	0,02	0,26	2,12	0,14	0,07
		V%	39	33	38	40	31	35
2008	618	średnia mean	1,12	0,10	0,77	5,14	0,63	0,26
		SD	0,30	0,04	0,21	2,01	0,21	0,08
		V%	30	43	30	30	43	31

Objaśnienia: *SD* – odchylenie standardowe, *V%* – współczynnik zmienności.

Explanations: *SD* – standard deviation, *V%* – coefficient of variation

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

**Tabela 2.** Suma opadów atmosferycznych i zawartość w nich składników nawozowych w okresie zimowym**Table 2.** Amount of precipitation and nutrients content during the winter season

Lata Years	Suma opadów Precipitation mm	Wartość Value	Zawartość, mg·dm <sup>-3</sup> Content, mg·dm <sup>-3</sup>					
			N-NH <sub>4</sub> + N-NO <sub>3</sub>	P	K	Ca	Mg	Na
2006– 2007	431	średnia mean	2,25	0,02	1,24	3,50	0,39	0,55
		SD	1,01	0,01	0,54	1,66	0,17	0,23
		V%	45	51	45	52	48	42
2007– 2008	468	średnia mean	1,85	0,04	1,20	3,39	0,50	0,33
		SD	0,96	0,02	0,40	1,70	0,28	0,15
		V%	51	43	32	40	56	48

Objaśnienia, jak w tabeli 1. Explanations as in Tab. 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

Natomiast w okresie zimowym 2006–2007 opad zawierał więcej związków azotu, potasu i sodu, a mniej fosforu, wapnia i magnezu w porównaniu z następnym okresem zimowym.

Ładunek analizowanych składników, opadających corocznie na powierzchnię ziemi, był bliski 90 kg·ha<sup>-1</sup> (tab. 3). Z tej ilości na okres wegetacji przypadało około 60%. Struktura tego ładunku istotnie zależała od koncentracji w nim danego składnika. W okresie wegetacji na ziemię opadało więcej fosforu, wapnia i magnezu, a mniej azotu, potasu i sodu niż w okresie zimowym. W opadzie całkowitym

**Tabela 3.** Ładunek składników nawozowych ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) wnoszony z opadem atmosferycznym na powierzchnię ziemi

**Tabela 3.** Nutrients load deposited ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) on earth surface with wet precipitation

Składniki Nutrients	Okres wegetacyjny Growing season				Okres zimowy Winter season		
	2006	2007	2008	średnia mean	2006–2007	2007–2008	średnia mean
N	7,98	5,98	6,92	6,96	9,69	8,65	9,17
P	0,66	0,37	0,64	0,56	0,09	0,20	0,15
K	5,28	4,47	4,79	4,85	5,34	5,60	5,47
Ca	38,60	37,30	30,50	35,47	15,10	15,83	15,47
Mg	3,51	2,87	3,91	3,43	1,70	2,33	2,02
Na	2,54	1,74	1,26	1,85	2,40	1,54	1,97
Razem Total	58,57	52,73	48,02	53,12	34,32	34,15	34,25

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

udział poszczególnych składników przedstawiał się następująco: wapń 58,0%, azot 19,0%, potas 11,6%, magnez 6,2%, sód 4,4% i fosfor 0,8%. W okresie letnim stwierdzono pewną dodatnią zależność pomiędzy sumą wody opadowej a wielkością ładunków opadających z nią składników mineralnych. Natomiast w obu okresach zimowych wielkość ładunków była niezależna od ilości opadów.

## DYSKUSJA I WNIOSKI

Zawartość oraz wielkość ładunku składników wnoszonych z opadem atmosferycznym na powierzchnię ziemi w danym rejonie zależy od wielu czynników: stopnia uprzemysłowienia, gęstości zaludnienia, intensyfikacji gospodarki rolnej, a także kierunku wiatru [CZYŻYK, RAJMUND 2011; POLKOWSKA i in. 2005; SAPEK, NAWALANY 2006; WALNA i in. 2009]. Według CZYŻYKA i RAJMUNDA [2011] ładunek azotu wnoszony w okolicach Wrocławia był prawie dwukrotnie większy niż średnio na terenie Dolnego Śląska. Stwierdzone wielkości ładunków analizowanych składników wnoszonych z opadem atmosferycznym na powierzchnię ziemi w większości z nich są zbliżone do ładunku średniego, przyjętego w literaturze dla Polski [SZPONAR i in. 1996]. Wyjątek pod tym względem stanowią azot i wapń. Ładunek azotu stwierdzony w niniejszych badaniach jest podobny do wielkości, jaką stwierdzili ZAPLETAL [1998] na terenie Czech, SAPEK i NAWALANY [2006] w okolicach Warszawy oraz SMOROŃ i in. [2006] w rejonie Pienin. Z badań wyżej wymienionych autorów wynika, że całkowity opad tego składnika na powierzchnię ziemi jest na ogół dwukrotnie większy od ilości dostających się z opadem mokrym. Według CZYŻYKA i RAJMUNDA [2011] ilości azotu wnoszone na powierzchnię ziemi są na tyle duże, że powinny być uwzględniane w bilansie nawozowym, zwłaszcza w gospodarstwach ekologicznych. Z kolei WALNA i in.

[2009] zwracają uwagę, że związki azotu dostające się na powierzchnię gleby to istotny składnik kwasotwórczy. W niniejszych badaniach ten stosunkowo mały ładunek azotu należy łączyć z brakiem znaczących źródeł emisji tego składnika w rejonie badań. Krynica jest miejscem uzdrowiskowym, a na otaczającym ją terenie prowadzona jest na ogół ekstensywna gospodarka rolna. Z kolei duży ładunek wapnia, większy prawie dwukrotnie od wykazanego przez SMORONIA i in. [2006] i prawie trzykrotnie od stwierdzonego przez SAPKA i NAWALANEGO [2006], przypuszczalnie należy łączyć z sąsiedztwem Pienin zbudowanych ze skał wapiennych, znajdujących się po stronie zachodniej terenu badań. Dominujące wiatry zachodnie mogły być dostarczycielem wapnia pochodzącym z wietrzenia tych skał. Za takim rozumowaniem przemawia także większa zawartość wapnia i magnezu w opadzie letnim z racji intensywniejszego procesu wietrzenia skał w tym okresie. Natomiast większa koncentracja w opadzie zimowym azotu, potasu i sodu wynikała ze znacznej ich emisji do atmosfery, pochodzącej ze spalania nośników energii w celach grzewczych. Stwierdzone w niniejszych badaniach większe stężenie związków azotu w opadzie w okresie zimowym znajduje odzwierciedlenie w wynikach uzyskanych przez WALNĄ i in. [2009].

Na podstawie uzyskanych wyników można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Ładunek składników nawozowych wnoszonych z opadem atmosferycznym na powierzchnię ziemi stanowi dość znaczącą siłę nawozową. W zbiorowiskach trawiastych, które dominują na obszarach górskich, z wyjątkiem niedostatecznej ilości fosforu, zapewnia on produkcję siana na poziomie  $1,5\text{--}2,0\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

2. Duży ładunek wapnia dostający się z opadem atmosferycznym na powierzchnię ziemi jest istotnym czynnikiem ograniczającym zakwaszenie gleb.

3. Pomiędzy sumą wody opadowej a wielkością ładunków składników mineralnych opadających na powierzchnię gleby występowała zależność dodatnia.

## LITERATURA

- CZYŻYK F., RAJMUND A. 2011. Ilość niektórych pierwiastków wnoszonych do gleby z opadami atmosferycznymi w rejonie Wrocławia w latach 2002–2010. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 27 s. 5–12.
- MARCINKOWSKI T. 2002. Identyfikacja strat azotu w towarowych gospodarstwach rolnych Żuław Wiślanych. *Rozprawy naukowe i monografie*. Nr 1. Falenty. IMUZ. ISBN 83-88763-12-1 ss. 79.
- POLKOWSKA Ż., ASTEL A., WALNA B., MAŁEK S., MĘDRZYCKA K., GÓRECKI T., SIEPAK J., NAMEŚNIK J. 2005. Chemometric analysis of rainwater throughfall at several sites in Poland. *Atmospheric Environment*. Vol. 39 s. 837–855.
- SAPEK A., NAWALANY P. 2006. Ładunek składników nawozowych wnoszonych z opadem atmosferycznym na powierzchnię ziemi na przykładzie pól doświadczalnych w Falentach. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 6. Z. spec. (17) s. 23–27.
- SAPEK A. 2010. Rolnictwo polskie i ochrona jakości wody zwłaszcza wody Bałtyku. T. 10. Z. 1 s. 175–200.
- SAPEK A. 2011. Azot w opadzie atmosferycznym. Obecny stan wiedzy. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. *Rozprawy naukowe i monografie*. Nr 29. ISSN 1644-1095 ss. 105.

- SMOROŃ S., TWARDY S., JANOTA D. 2006. Stężenie i ładunki niektórych składników mineralnych w wodach opadowych rejonu Podhala w latach 2002–2004. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 6. Z. 2 s. 333–346.
- SZPONAR L., PAWLIK-DOBROWOLSKI J., DOMAGAŁA R., TWARDY S., TRACZYK I. 1996. Bilans azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim. Prace Instytutu Żywności i Żywienia. Nr 88 ss. 75.
- WALNA B., KURZYCA J., TWARDOWSKI R., LIANA E. 2009. Chemizm opadów atmosferycznych w Wielkopolskim Parku Narodowym na tle kierunków napływu mas powietrza. Poznań-Jeziory. Wielkopolski Park Narodowy w Badaniach Przyrodniczych s. 177–189.
- ZAPLETAL M. 1998. Atmospheric deposition of nitrogen compounds in the Czech Republic. Environmental Pollution. Vol. 102. Suppl. 1 s. 305–311.

*Piotr KACORZYK, Mirosław KASPERCZYK, Wojciech SZEWCZYK*

### **NUTRIENTS LOAD DEPOSITED WITH PRECIPITATIONS ON THE EARTH SURFACE IN MOUNTAIN AREAS**

**Key words:** *mountains, nutrients, precipitation*

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

During the 3-year long experiment the load of the most important nutrient deposited with precipitations on the earth surface has been measured. The experiment was conducted in the mountains region (650 m a.s.l.). The assessment includes two periods: the growing season (from middle of April to middle of October) and winter season. Precipitation during the growing season contained less nitrogen, potassium and sodium and more calcium, phosphorus and magnesium as compared with winter season precipitation. The annual load of those ingredients deposited on the surface soil was about 90 kg·ha<sup>-1</sup>. From this the growing season accounted for about 60%. The amount of the annual load of studied components have the following part: Ca – 58%, N – 19%, K – 12%, Mg – 6%, Na – 4% and P – 1%.

**Adres do korespondencji:** dr inż. P. Kacorzyk, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Zakład Łąkarstwa, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków; tel. + 48 12 66-24-360, e-mail: rrkacorz@cyf-kr.edu.pl