

ZASILANIE ŚRODOWISKA MAKROPIERWIĄSTKAMI ZAWARTYMI W MOKRYM I SUCHYM OPADZIE W REJONIE BUKOWINY TATRZAŃSKIEJ

Andrzej MISZTAŁ¹⁾, Sylwester SMORON²⁾

¹⁾ Akademia Rolnicza w Krakowie, Katedra Ekologicznych Podstaw Inżynierii Środowiska

²⁾ Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie

Słowa kluczowe: ładunek jonowy, opad mokry i suchy, stężenie makropierwiastków

Streszczenie

Pracę poświęcono deponowaniu podstawowych makropierwiastków zawartych w opadzie atmosferycznym na powierzchni zlewni. Badania składu chemicznego dotyczyły opadu mokrego i suchego i prowadzone były w latach 2000–2001 na terenie Pogórza Spisko-Gubałowskiego w gminie Bukowina Tatrzańska w miejscowości Czarna Góra. W omawianym rejonie w okresie badawczym stwierdzono znaczną przewagę opadów letnich (67,2% sumy rocznej) nad opadami okresu zimowego. W okresie badań suma stężeń badanych jonów w opadzie mokrym wyniosła średnio $10,09 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast w opadzie suchym – $9,15 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Średni roczny ładunek składników chemicznych dostarczanych na powierzchnię 1 ha z opadem mokrym wyniósł 97,13 kg, a z opadem suchym 57,67 kg, co daje łączny ładunek 154,80 kg.

WSTĘP

Dzięki wysokim opadom atmosferycznym zasoby wody na terenie polskich Karpat Zachodnich są duże i stanowią rezerwuuar wody dla pozostałej części kraju, mniej zasobnej w wodę. O przydatności wód tego regionu do wykorzystania przez rolnictwo i przemysł decyduje również ich jakość. W warunkach naturalnych jakość wody ulega zmianom towarzyszącym jej obiegowi w przyrodzie, spowodowanym kontaktem wody z powietrzem atmosferycznym, powierzchnią ziemi

Adres do korespondencji: dr hab. inż. A. Miształ, Akademia Rolnicza w Krakowie, Katedra Ekologicznych Podstaw Inżynierii Środowiska, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków; tel. +48 (12) 662-43-25, e-mail: rmmiszta@cyf-kr.edu.pl

i warstwą podziemną. Pierwotny skład chemiczny wód jest kształtowany przez środowisko przyrodnicze i traktowany jako tło. Skład chemiczny wody znajdującej się w obiegu w przyrodzie ulega różnym przemianom także w wyniku działalności antropogenicznej. Na skład chemiczny wód powierzchniowych, oprócz procesu ługowania skał i gleby, istotny wpływ wywiera także ilość składników dostarczana z opadem atmosferycznym [CHOJNACKI, 1967a, b; 1968; GÓRSKI, SZCZEPANOWICZ, 1978; PAWLIK-DOBROWOLSKI, 1983; TURZAŃSKI, 1991; WELC, 1988].

Opady mogą być źródłem znacznego ładunku niektórych pierwiastków chemicznych, głównie pochodzenia nienaturalnego, dostarczanych wraz z nimi do wód powierzchniowych, istotnie wpływając na ich jakość.

Celem badań było poznanie składu chemicznego wód opadowych, traktowanych jako jeden ze znaczących elementów zanieczyszczeń obszarowych wód powierzchniowych. Określenie zmienności w czasie ładunku składników mineralnych zawartych w opadzie i deponowanych na powierzchni zlewni umożliwi wykazanie znaczenia tego zjawiska dla przebiegu procesów hydrogeochemicznych.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania składu chemicznego mokrego i suchego opadu prowadzono w latach 2000–2001 na terenie Pogórza Spisko-Gubałowskiego w gminie Bukowina Tatrzańska, w miejscowości Czarna Góra. Polegały one na systematycznym poborze próbek z wykorzystaniem specjalnego (skonstruowanego w IMUZ) urządzenia, służącego do ciągłego, rozdzielczego pobierania dwóch form opadów, trafiających na powierzchnię gleby. Urządzenie (specjalny łapacz opadu mokrego i suchego) [SAPEK, 1998] składa się z dwóch części o powierzchniach chwytnych, identycznych jak w deszczomierzu Hellmana (200 cm²), umieszczonych na wysokości 1 m nad powierzchnią gruntu. Jest ono wyposażone w specjalną pokrywę, napędzaną za pomocą silniczka elektrycznego, sterowaną czujnikiem, która odsłania w czasie trwania opadu atmosferycznego odpowiedni zbiornik, przeznaczony do poboru próbek opadu mokrego, zasłaniając równocześnie zbiornik do gromadzenia opadu suchego. Po zakończeniu opadu czujnik powoduje zmianę pozycji pokrywy, zasłaniając zbiornik do gromadzenia opadu mokrego i jednocześnie odsłaniając zbiornik do gromadzenia opadu suchego.

Opad w postaci deszczu, gradu, śniegu i szronu, nazywany mokrym, zbierano systematycznie w okresie miesiąca do pojemnika polietylenowego jako próbkę średnią. W przypadku wystąpienia dużych opadów pobierano próbki wody również z krótszych okresów obejmujących czas trwania takiego opadu. Zebrane próbki wody o określonej objętości poddano analizom chemicznym, których wyniki posłużyły do wyznaczania średniego miesięcznego składu chemicznego opadów. Jednocześnie prowadzono pomiary dobowych ilości opadów atmosferycznych.

Próbki opadu suchego (stanowiącego opad aerozoli, pyłów, gazów i innych substancji) zbierano w okresach bezopadowych w ciągu całego miesiąca. Pierwszego dnia każdego następnego miesiąca dokładnie przemywano zgromadzony w pojemniku opad suchy, używając 1 l wody redestylowanej. W ten sposób uzyskiwano próbkę z przeniesionymi ilościowo składnikami chemicznymi, którą następnie poddawano analizie chemicznej.

Skład chemiczny opadu mokrego i suchego oznaczano, określając stężenie postaci jonowych (kationy i aniony) wybranych makroelementów (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , N-NH_4^+ , Cl^- , N-NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}). Analizy chemiczne wszystkich próbek zostały wykonane w laboratorium Małopolskiego Ośrodka Badawczego IMUZ w Krakowie. Wapń i magnez oznaczano metodą miareczkowo-kompleksometryczną, sód i potas – metodą fotometrii płomieniowej z wykorzystaniem fotometru płomieniowego FLAPHO 4, chlorki – metodą argentometryczną miareczkową, azot azotanowy – metodą kolorymetryczną z kwasem fenolodwusulfonowym, natomiast azot amonowy – metodą bezpośredniej nessleryzacji, z wykorzystaniem spektrofotometru SPEKOL 11, siarczany – metodą nefelometryczną i fosforany – metodą molibdenową [HERMANOWICZ i in., 1976]. Jednocześnie metodą elektrometryczną określano kwasowość pobieranych prób opadów.

Uzyskane wyniki analiz chemicznych posłużyły do wykonania obliczeń i określenia depozytu poszczególnych pierwiastków oraz ładunku łącznego dostarczanego w rejonie badań na powierzchnię zlewni z opadem mokrym i suchym w okresie rocznym oraz półrocza zimowego (XI–IV) i letniego (V–X).

WYNIKI BADAŃ

OPAD ATMOSFERYCZNY

Suma opadów atmosferycznych na stacji pomiarowej w Czarnej Górze w okresie badań wynosiła w ciągu roku średnio 925,5 mm, z czego na półrocze letnie przypadło 621,8 mm, a na zimowe 303,7 mm (tab. 1). Wartości te świadczą o znacznej przewadze opadów półrocza letniego nad opadami półrocza zimowego (odpowiednio 67,2 i 32,8% sumy rocznej). O tak dużym udziale opadów letnich w sumie rocznej zdecydowały głównie opady atmosferyczne w czerwcu (173,6 mm) i lipcu (274,4 mm). W czasie tych dwóch miesięcy spadło bowiem 48,4% rocznej sumy opadów atmosferycznych. W pozostałych miesiącach półrocza letniego suma opadów wynosiła od 11,2 mm w październiku do 74,6 we wrześniu. Miesięczne sumy opadów w półroczu zimowym mieściły się natomiast w przedziale od 18,7 mm (grudzień) do 91,9 mm (kwiecień).

STĘŻENIE JONÓW

W okresie badań suma średniego stężenia badanych jonów w opadzie mokrym wynosiła $10,09 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, a w opadzie suchym – $9,15 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Mineralizacja opadu mokrego w półroczu letnim wyniosła $10,63 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, a w zimowym $9,45 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Odpowiednie średnie wartości dla opadu suchego wyniosły 10,32 i $7,55 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Znaczące różnice średniego rocznego stężenia poszczególnych jonów między opadem suchym i mokrym wystąpiły w przypadku siarczanów, jonów amonowych i azotanowych (większe stężenie w opadzie mokrym), wapnia, potasu i sodu (większe stężenie w opadzie suchym) – tabele 2. i 3.

Zarówno w opadzie mokrym, jak i suchym, największe stężenie stwierdzono w przypadku jonów wapniowych. Dotyczyło to zarówno wartości średnich rocznych, jak również dla półrocza letniego i zimowego, a także zarejestrowanych zakresów stężenia (tab. 2, 3). Następne miejsce pod względem stężenia zajmowały jony S-SO₄. Średnie roczne stężenie pozostałych jonów (poza fosforanowymi) mieściło się w przedziale od 0,47 do $1,28 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, a fosforu w formie fosforanowej wynosiło $0,02 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w opadzie mokrym i $0,006 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w suchym.

W opadzie mokrym największy średni roczny udział w ogólnej mineralizacji stwierdzono w przypadku Ca²⁺ i S-SO₄. W półroczu letnim większy udział w mineralizacji opadu mokrego miały jony azotanowe, amonowe i siarczanowe, natomiast jony wapniowe, magnezowe, potasowe, sodowe i chlorkowe przeważały w półroczu zimowym. W ogólnej mineralizacji opadu suchego w okresie V–X większy udział miały jony sodowe i azotanowe, natomiast w miesiącach XI–IV przeważały jony potasowe, amonowe, chlorkowe i siarczanowe (tab. 4).

ŁADUNEK JONÓW

Określono średni roczny ładunek składników chemicznych wnoszonych z opadem mokrym i suchym w rejonie badań. Stwierdzona roczna suma ładunku składników w opadzie mokrym wyniosła $97,13 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a w opadzie suchym $57,67 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, co łącznie w ciągu roku wynosi $154,80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 5). W zdecydowanej większości przypadków roczny ładunek poszczególnych pierwiastków wnoszonych z opadem mokrym był większy niż w suchym. Udział ładunku wnoszonego z opadem mokrym w łącznym ładunku składników wnoszonych z opadem wynosił: Ca²⁺ – 63,7, Mg²⁺ – 55,9, K⁺ – 46,0, Na⁺ – 39,6, N-NH₄ – 60,7, N-NO₃ – 74,8, Cl⁻ – 70,7, S-SO₄ – 68,9, P-PO₄ – 84,2 i łącznie wszystkich składników 62,7%. Jedynie jonów potasu i sodu w opadzie mokrym było mniej niż w suchym – odpowiednio 46,0 i 39,6% łącznej ilości tych pierwiastków w opadzie mokrym i suchym. Ładunek pozostałych pierwiastków wnoszonych z opadem mokrym wynosił od 55,9% (jon magnezowy) do 84,2% (fosfor w formie jonu PO₄³⁻).

Zarówno z opadem mokrym, jak i suchym wnoszona była największa ilość jonów wapniowych (tab. 5). Średnio w roku ich ładunek wnoszony z opadem mokrym wyniósł $30,50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, z czego na okres lata przypada $24,99$ i zimy $5,51 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a z opadem suchym odpowiednio $17,36 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($12,04$ i $5,32 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Poza jonami wapniowymi deponowana była znaczna ilość siarki zawartej w opadzie w formie SO_4^{2-} ($16,54 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ z opadem mokrym i $7,47 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ z suchym) oraz chlorkowych (odpowiednio $15,77$ i $6,52 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Zdecydowanie przeważał ładunek pierwiastków wnoszony z opadem mokrym i suchym w półroczu letnim nad ładunkiem wnoszonym w półroczu zimowym (tab. 6). Ładunek pierwiastków z okresu lata stanowił $75,0\%$ sumy rocznej. Wyjątkiem były jedynie jony potasowe w opadzie mokrym ($49,6\%$ sumy rocznej) i jony amonowe w opadzie suchym ($47,4\%$ sumy rocznej). W odniesieniu do ładunku zawartego w opadzie mokrym i suchym łącznie udział poszczególnych pierwiastków dostarczanych w półroczu letnim w ładunku rocznym tych pierwiastków był bardziej zróżnicowany i zamykał się w przedziale od $56,5\%$ w przypadku jonów potasowych do $87,2\%$ w przypadku jonów azotanowych. Wy tłumaczenia tego faktu należy szukać w stwierdzonej większej ilości opadów atmosferycznych przypadających na okres lata w stosunku do półrocza zimowego. Na wartość ładunku jonów poszczególnych pierwiastków większy wpływ wywiera bowiem ilość opadów atmosferycznych w danym okresie niż zarejestrowane stężenie tych pierwiastków [DRUŹKOWSKI, 1998; DRUŹKOWSKI, SZCZEPANOWICZ, 1988; 1989].

DYSKUSJA WYNIKÓW I WNIOSKI

Rozkład makropierwiastków wnoszonych zarówno z opadem mokrym, jak i suchym, w okresie roku wskazuje na przewagę w rejonie badań ładunku pierwiastków chemicznych deponowanych na powierzchni zlewni w półroczu letnim w stosunku do półrocza zimowego. Z opadem mokrym latem dostaje się $79,7\%$ rocznej sumy składników, a z suchym odpowiednio $67,1\%$. W przypadku ładunku wnoszonego z opadem mokrym i suchym łącznie w rejonie Bukowiny Tatrzańskiej w okresie letnim dostarczane jest około 75% jego rocznej ilości.

Wyniki licznych badań dowodzą, że ładunek pierwiastków zawartych w opadzie mokrym i suchym charakteryzuje się dużą zmiennością przestrzenną. Stwierdzone roczne wnoszenie podstawowych jonów z opadem atmosferycznym w wybranych rejonach Karpat i ich przedpola wg DRUŹKOWSKIEGO [1998] wynosiło od $128,9$ w Dobczycach do $310,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ na Polance Haller w okolicy Krakowa oraz od 121 w Woli Niżnej do $393 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ w Cisownicy (wg PAWLIKA-DOBROWOLSKIEGO [1983]). Średni ładunek jonów wnoszonych w rejonie Karpat z opadem atmosferycznym zarejestrowany przez wyżej wspomnianych autorów wyniósł około $280 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Badania CHOJNACKIEGO [1968] wykazały zdecydowane zróżnicowanie średniej rocznej ilości składników wnoszonych z opadem atmosferycznym

w różnych częściach kraju – od około $51,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ w rejonach rolniczych i wysokogórskich do $383,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ w rejonach przemysłowych (głównie dzięki dużemu depozytowi siarki i wapnia). Udział ładunków poszczególnych jonów zawartych w wodzie opadowej w rejonie Bukowiny Tatrzańskiej w ładunku ogólnym różnił się istotnie od podawanego w cytowanych badaniach. W badaniach DRUŻKOWSKIGO [1998] i PAWLIKA-DOBROWOLSKIEGO [1983] największy udział (40–65%) w ładunku ogólnym miały siarczany, natomiast udział jonów wapniowych nie przekraczał 20%. Również w badaniach CHOJNACKIEGO [1968] udział siarczanów w sumarycznym ładunku rocznym wnoszonym z opadami atmosferycznymi był największy i zamykał się w przedziale od 18,4% w rejonie nadmorskim do ponad 40% w rejonach przemysłowych. W badaniach tego autora udział wapnia w ładunku ogólnym mieścił się w granicach od 17,4% w rejonach nadmorskich do 36,6% w rejonach uprzemysłowionych.

W badaniach realizowanych w rejonie Bukowiny Tatrzańskiej największy udział w rocznym ładunku ogólnym miały jony wapniowe – w opadzie mokrym 31,4%, w suchym 30,1%, a łącznie (w suchym i mokrym) – 30,9%. Znaczącą część w ogólnym ładunku stanowiła siarka w formie jonów siarczanowych (S-SO_4) – 17,1% w opadzie mokrym, 12,9% w suchym i 15,5% w mokrym i suchym łącznie. Zarejestrowano również znaczący udział chlorków w ogólnym ładunku wnoszonym z wodą opadową (16,2%) i opadem suchym (11,3%) oraz w obu rodzajach opadu (14,4%). Pewne znaczenie w takim kształtowaniu się proporcji jonów wapniowych i siarczanowych w wodzie opadowej może mieć również usytuowanie punktu pomiarowego. Ładunek wnoszony na powierzchnię ziemi wraz z wodą opadową zależy bowiem w dużej mierze od oddalenia punktu pomiarowego od obszarów uprzemysłowionych i zurbanizowanych, wpływających na zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego oraz od ilości opadów atmosferycznych.

Uzyskane w rejonie Bukowiny Tatrzańskiej wyniki badań potwierdzają opinię, że wpływ opadu atmosferycznego na dopływ składników mineralnych do wód powierzchniowych polega nie tylko na wzmożeniu procesu ługowania gleby, ale także na wywoływaniu istotnych zmian składu chemicznego wód powierzchniowych i jakości środowiska przyrodniczego przez składniki wnoszone bezpośrednio z opadem, stanowiącym ich znaczące źródło.

Z analizy zebranego materiału pomiarowego dotyczącego deponowania składników mineralnych w opadzie w rejonie Bukowiny Tatrzańskiej można wysunąć następujące wnioski:

1. Znaczna przewaga opadów letnich (67,2% sumy rocznej), nad opadami okresu zimowego w rejonie Bukowiny Tatrzańskiej wywiera istotny wpływ na rozkład ilości pierwiastków chemicznych wnoszonych z opadem atmosferycznym w poszczególnych porach roku.

2. Suma stężenia podstawowych, badanych jonów w opadzie mokrym wyniosła średnio w okresie badań $10,09 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, natomiast w opadzie suchym $9,15 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Opad atmosferyczny (mokry i suchy) odgrywa poważną rolę w depozycji

pierwiastków chemicznych w zlewniach rolniczych, a jony wniesione z nim należy uznać za istotną część zanieczyszczeń obszarowych.

3. Ładunek pierwiastków chemicznych deponowanych w rejonie Bukowiny Tatrzańskiej jest znaczny – z opadem mokrym wnoszone jest $97,13 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ rocznie, a z opadem suchym – $57,67 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, co daje łączny ładunek $154,80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ilości te powinny być uwzględniane w ocenie wpływu zanieczyszczeń obszarowych na stan środowiska przyrodniczego (w tym wód powierzchniowych) w rejonie Bukowiny Tatrzańskiej.

4. Ładunek większości pierwiastków (poza jonami potasowymi i sodowymi) w zdecydowanej większości był wnoszony z opadem mokrym. Ładunek wszystkich jonów był zdecydowanie większy w okresie lata niż zimy, co świadczy o jego związku z ilością opadów atmosferycznych.

5. Potwierdzając rolę mokrego i suchego opadu w zasilaniu środowiska przyrodniczego makropierwiastkami, uzyskane wyniki wskazują na celowość kontynuowania badań w tym zakresie.

LITERATURA

- CHOJNACKI A., 1967a. Wyniki badań składu chemicznego wód opadowych w Polsce. Cz. II. Pam. Puł. Pr. IUNG z. 29 s. 163–170.
- CHOJNACKI A., 1967b. Wyniki badań składu chemicznego wód opadowych w Polsce. Cz. III. Pam. Puł. Pr. IUNG z. 29 s. 171–184.
- CHOJNACKI A., 1968. Wyniki badań składu chemicznego wód opadowych w Polsce. Cz. IV. Pam. Puł. Pr. IUNG z. 35 s. 163–172.
- DRUŻKOWSKI M., 1998. Współczesna dynamika, funkcjonowanie i przemiany krajobrazu Pogórza Karpackiego (studium geokologiczne w zlewni reprezentatywnej). Kraków: Wydaw. Inst. Bot. UJ ss. 286.
- DRUŻKOWSKI M., SZCZEPANOWICZ B., 1988. Migracja pierwiastków w wodach powierzchniowych i opadach atmosferycznych na obszarze małej zlewni Pogórza Karpackiego. Folia Geogr. Ser. Geogr.-Physica 20 s. 101–120.
- DRUŻKOWSKI M., SZCZEPANOWICZ B., 1989. Makropierwiastki w opadach atmosferycznych w Krakowie i okolicach. Aura nr 5 s. 25–26.
- GÓRSKI A., SZCZEPANOWICZ B., 1978. Skład chemiczny opadów deszczu w Krakowie i okolicy. Zesz. Nauk. UJ Pr. Bot. z. 6
- HERMANOWICZ W., DOŻAŃSKA W., DOJLIDO J., KOZIOROWSKI B., 1976. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Warszawa: Arkady ss. 847.
- PAWLIK-DOBROWOLSKI J., 1983. Zmiany składu chemicznego wód powierzchniowych pod wpływem zanieczyszczeń obszarowych (w Karpatach Zachodnich). Rozpr. Habil. Falenty: IMUZ ss. 143.
- SAPEK A., 1998. Udział azotu z opadu atmosferycznego w zanieczyszczeniu zasobów wodnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 458 s. 485–494.
- TURZAŃSKI K., 1991. Zanieczyszczenie wód opadowych południowej Polski. Kwaśne deszcze i ich monitoring. Zesz. Nauk. AGH Sozologia Sozotechnika nr 34 ss. 106.
- WELC A., 1988. Wpływ opadów na wielkość denudacji chemicznej na obszarze górskim na przykładzie badań w zlewni Bystrzanki. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 235 s. 307–318.

Andrzej MISZTAL, Sylwester SMORON

**ENVIRONMENT ALIMENTATION WITH MACROELEMENTS
FROM WET AND DRY DEPOSITION IN THE BUKOWINA TATRZAŃSKA REGION**

Key words: ion load, wet and dry deposition, concentrations of macroelements

S u m m a r y

The paper presents the supply of basic macroelements with rainfall onto the catchment area. Studies on chemical composition of dry and wet deposition were conducted in 2000–2001 in the area of Spisko-Gubałowskie Foothills at Czarna Góra situated in the Bukowina Tatrzańska commune. During the study period summer rainfall (67.2 % of the annual total) prevailed over the winter rainfall in the region. Total ion concentrations in wet deposition were $10.09 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ on the average, whereas those in dry deposition amounted $9.15 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Mean annual load supplied to the surface of 1 ha with wet deposition was 97.13 kg and 57.67 kg with dry deposition, which gives a total load of 154.80 kg.

Recenzenci:

prof. dr hab. Józef Koc

prof. dr hab. Zdzisław Zabłocki

Praca wpłynęła do Redakcji 16.09.2002 r.

Tabela 1. Średnia ilość opadów atmosferycznych na stacji pomiarowej w Czarnej Górze z lat 2000–2001, mm

Table 1. Mean precipitation in Czarna Góra in the years 2000–2001, mm

Dekada 10 days	Ilość opadów w okresie Precipitation												rok year	półrocze halfyear	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		XI–IV	V–X
	1.	29,5	21,5	22,0	24,5	4,8	18,5	9,7	37,3	18,0	0,4	14,9		1,4	–
2.	9,4	10,5	7,5	18,8	20,5	82,5	89,1	0,0	47,3	2,7	10,2	3,3	–	–	–
3.	0,0	24,0	27,3	48,6	7,0	72,6	175,5	18,4	9,2	8,0	16,2	14,0	–	–	–
Razem Total	38,9	56,0	56,8	91,9	32,3	173,6	274,4	55,7	74,6	11,2	41,4	18,7	925,5	303,7	621,8

Tabela 2. Stężenie jonów w opadzie mokrym na stacji pomiarowej w Czarnej Górze, mg·dm⁻³ (średnie z lat 2000–2001)

Table 2. Concentrations of ions in wet deposition in Czarna Góra, mg·dm⁻³ (mean from the years 2000–2001)

Okres Period	Wartość pH	Stężenie wybranych składników Concentrations of selected ions								
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	N-NH ₄	N-NO ₃	Cl ⁻	S-SO ₄	P-PO ₄
Letni Summer	<u>6,5</u>	<u>2,93</u>	<u>0,53</u>	<u>0,37</u>	<u>0,55</u>	<u>1,12</u>	<u>1,23</u>	<u>1,17</u>	<u>2,71</u>	<u>0,02</u>
	4,2-7,9	1,20-4,60	0,04-0,98	0,01-1,21	0,001-2,11	0,11-2,85	0,28-2,05	0,01-4,0	0,80-9,87	0,0-0,03
Zimowy Winter	<u>6,3</u>	<u>2,77</u>	<u>0,68</u>	<u>0,66</u>	<u>0,89</u>	<u>0,91</u>	<u>0,47</u>	<u>1,09</u>	<u>1,96</u>	<u>0,02</u>
	6,15-6,38	0,04-4,11	0,42-0,86	0,24-1,12	0,6-1,42	0,48-1,2	0,33-0,83	0,0-1,37	0,73-6,03	0,0-0,04
Rok – wartości średnie Year – mean values	6,5	2,85	0,61	0,47	0,67	1,04	0,96	1,15	2,32	0,02

Nad kreską podano wartości średnie, pod – zakres wartości. Above – mean values, below – range.

Tabela 3. Stężenie jonów w opadzie suchym na stacji pomiarowej w Czarnej Górze, mg·dm⁻³ (średnie z lat 2000–2001)

Table 3. Concentrations of ions in dry deposition in Czarna Góra, mg·dm⁻³ (mean from the years 2000–2001)

Okres Period	Wartość pH	Stężenie wybranych składników Concentrations of selected ions								
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	N-NH ₄	N-NO ₃	Cl ⁻	S-SO ₄	P-PO ₄
Letni Summer	<u>7,1</u>	<u>3,33</u>	<u>0,65</u>	<u>0,74</u>	<u>1,74</u>	<u>0,79</u>	<u>0,62</u>	<u>1,10</u>	<u>1,34</u>	<u>0,007</u>
	5,8-8,79	1,60-8,02	0,16-0,83	0,23-1,97	0,001-9,44	0,25-1,41	0,1-4,55	0,01-1,75	0,0-5,33	0,0-0,022
Zimowy Winter	<u>7,0</u>	<u>2,45</u>	<u>0,49</u>	<u>0,58</u>	<u>0,51</u>	<u>1,06</u>	<u>0,29</u>	<u>1,07</u>	<u>1,10</u>	<u>0,003</u>
	6,5-7,6	0,20-7,86	0,22-0,85	0,57-0,78	0,42-0,71	0,22-1,71	0,20-0,43	0,78-1,37	0,47-1,76	0,0-0,018
Rok – wartości średnie Year – mean values	7,0	2,89	0,57	0,68	1,28	0,89	0,49	1,09	1,25	0,006

Uwaga jak pod tabelą 2. Notes – as in tab. 2.

Tabela 4. Udział poszczególnych jonów w ogólnej mineralizacji wód opadowych i opadu suchego w okresie lata i zimy na stacji pomiarowej w Czarnej Górze, %

Table 4. Percentage contribution of particular ions to the sum total in wet and dry deposition during summer and winter in Czarna Góra

Opad Deposition	Okres Period	Udział jonów Percentage contribution of:								
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	N-NH ₄	N-NO ₃	Cl ⁻	S-SO ₄	P-PO ₄
Mokry	lato summer	27,6	5,0	3,5	5,2	10,5	11,6	11,0	25,5	0,2
Wet	zima winter	29,3	7,2	7,0	9,4	9,6	5,0	11,5	20,7	0,2
	rok year	28,2	6,0	4,7	6,6	10,3	9,5	11,4	23,0	0,2
Suchy	lato summer	32,3	6,3	7,2	16,9	7,7	6,0	10,7	13,0	0,1
Dry	zima winter	32,4	6,5	7,7	6,8	14,0	3,8	14,2	14,6	0,0
	rok year	31,6	6,2	7,4	14,0	9,7	5,4	11,9	13,7	0,1

Tabela 5. Średni roczny ładunek makropierwiastków wnoszonych z opadem mokrym i suchym w okresie lata i zimy, kg·ha⁻¹ (średnio z lat 2000–2001)

Table 5. Mean annual load of macroelements supplied in wet and dry deposition in summer and winter, kg·ha⁻¹ (mean from the years 2000–2001)

Opad Deposition	Okres Period	Ładunek wnoszonych składników Load of ions									Łącznie Total
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	N-NH ₄	N-NO ₃	Cl ⁻	S-SO ₄	P-PO ₄	
Mokry	lato summer	24,99	3,66	1,70	3,39	6,52	9,82	13,68	13,49	0,14	77,39
Wet	zima winter	5,51	1,85	1,73	2,31	2,12	1,05	2,09	3,06	0,02	19,74
	razem total	30,50	5,51	3,43	5,70	8,64	10,87	15,77	16,54	0,16	97,13
Suchy	lato summer	12,04	2,98	2,51	7,29	2,65	2,86	3,75	4,61	0,02	38,71
Dry	zima winter	5,32	1,36	1,51	1,39	2,94	0,81	2,77	2,86	0,005	18,96
	razem total	17,36	4,34	4,02	8,68	5,59	3,67	6,52	7,47	0,03	57,67
Mokry i suchy łącznie	lato summer	37,03	6,64	4,21	10,68	9,17	12,68	17,43	18,10	0,16	116,10
	zima winter	10,83	3,21	3,24	3,70	5,06	1,86	4,86	5,92	0,03	38,70
Combined wet and dry	razem total	47,86	9,85	7,45	14,38	14,23	14,54	22,29	24,02	0,19	154,80

Tabela 6. Udział ładunku z okresu letniego w łącznym ładunku jonów poszczególnych pierwiastków deponowanych z opadem mokrym i suchym, % (średnio z lat 2000–2001)

Table 6. Percentage contribution of the summer load to total loads of particular elements supplied in wet and dry deposition (mean from the years 2000–2001)

Opad Deposition	Udział ładunku wybranych jonów Percentage contribution of:									Łącznie Total
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	N-NH ₄	N-NO ₃	Cl ⁻	S-SO ₄	P-PO ₄	
Mokry Wet	81,9	66,4	49,6	59,5	75,5	90,3	86,7	81,6	87,5	79,7
Suchy Dry	69,4	68,7	62,4	84,0	47,4	77,9	57,5	61,7	66,7	67,1
Mokry i suchy łącznie Combined wet and dry	77,4	67,4	56,5	74,3	64,4	87,2	78,2	75,4	84,2	75,0