

Ilość i jakość wody w pokrywie śnieżnej na obszarach chronionych w rejonie Krakowa

MICHAŁ KASINA

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, Studia Doktoranckie,
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, m.kasina@geo.uj.edu.pl

Zarys treści: Określono ilość i jakości wody zgromadzonej w świeżej pokrywie śnieżnej w parkach krajobrazowych: Dolinek Krakowskich, Tenczyńskim oraz Rudniańskim. Próby pokrywy śnieżnej pobrano w dniach 26–27 stycznia 2007 r. w 34 punktach. Stężenia jonów i zawartość wody w pokrywie śnieżnej na badanym obszarze oszacowano na podstawie interpolacji danych punktowych (kriging zwykły, lokalna interpolacja wielomianowa trzeciego stopnia). Największa ilość wody zawarta była w pokrywie śnieżnej zalegającej w Rudniańskim Parku Krajobrazowym, mniejsza w Tenczyńskim, a najmniejsza – w Parku Krajobrazowym Dolinki Krakowskie. Najwyższe stężenia Ca^{2+} , Cl^- , Na^+ , HCO_3^- i NO_2^- stwierdzono w pokrywie śnieżnej Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego. Najwyższe wartości SC , K^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} i NH_4^+ występowały w Rudniańskim Parku Krajobrazowym. Pokrywa śnieżna w Parku Krajobrazowym Dolinki Krakowskie charakteryzowała się – w porównaniu z pozostałymi obszarami chronionymi – najwyższym odczynem i najwyższymi stężeniami Mg^{2+} , wysokimi stężeniami Ca^{2+} i HCO_3^- i najniższymi stężeniami SO_4^{2-} , NO_3^- i NH_4^+ .

Słowa kluczowe: zapas wody w pokrywie śnieżnej, metody geostatystyczne, park krajobrazowy, okolice Krakowa

Key words: snow water equivalent, geostatistical analysis, natural landscape park, Cracow area

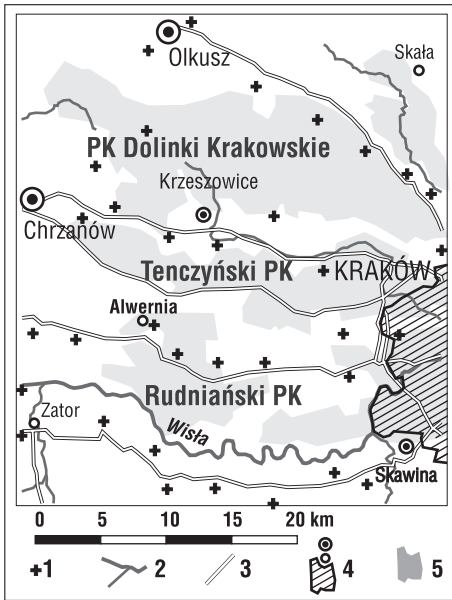
Wstęp

Zgodnie z polskim prawodawstwem jednym z podstawowych zadań służb parków krajobrazowych, jest identyfikacja i ocena istniejących i potencjalnych zagrożeń dla parków (*Ustawa...* 2004). Ocena taka wymaga m.in. prowadzenia monitoringu zanieczyszczeń atmosferycznych. Podstawowym źródłem dostawy zanieczyszczeń jest sucha i mokra depozycja (Turzański, Godzik 1997). Jej właściwe określenie wymaga dobrze zorganizowanej i stosunkowo gęstej sieci pomiarowej. W przypadku jej braku konieczne jest poszukiwanie alternatywnych metod. W miesiącach zimowych możliwością taką daje badanie składu chemicznego pokrywy śnieżnej (Naik i in. 1995). Szczególną rolę odgrywa tu świeża pokrywa śnieżna, gdyż skład chemiczny i ilość zawartej w niej wody dobrze odzwierciedlają ilość i jakość tworzących ją opadów śniegu.

Celem artykułu jest określenie ilości i jakości wody zgromadzonej w świeżej pokrywie śnieżnej w parkach krajobrazowych położonych na obszarze pomiędzy Krakowem i Górnośląskim Okręgiem Przemysłowym.

Obszar badań

Badaniami objęto trzy obszary chronione: Park Krajobrazowy Dolinki Krakowskie, Tenczyński Park Krajobrazowy oraz Rudniański Park Krajobrazowy (ryc. 1). Parki położone są na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej. Południowy fragment Rudniańskiego Parku Krajobrazowego leży w obrębie Bramy Krakowskiej. Największe zróżnicowanie warunków hipsometrycznych i najwyższe wysokości bezwzględne występują w Parku Krajobrazowym Dolinki Krakowskie (ryc. 2). Parki narażone są na napływ zanieczyszczeń z rejonów o silnej antropopresji. Na zachodzie – z Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, zaś na wschodzie – z Krakowa. Ponadto, w bezpośrednim otoczeniu parków znajduje się wiele źródeł emisji zanieczyszczeń: punktowych (przydomowe paleniska i kotłownie), liniowych (drogi) i powierzchniowych (wysypiska, kamieniołomy, zakłady przemysłowe).

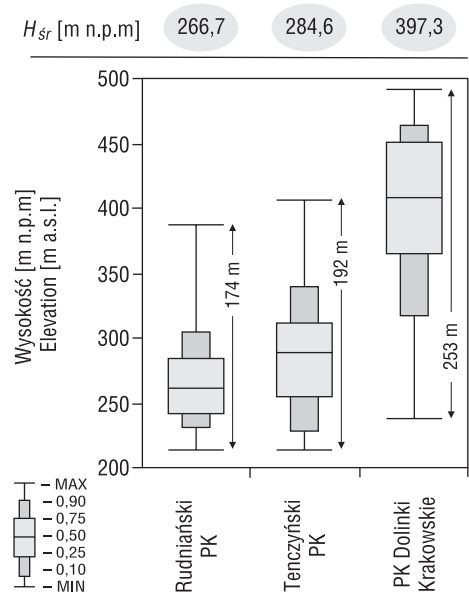


Ryc. 1. Obszar badań

1 – punkty poboru prób, 2 – rzeki, 3 – główne drogi, 4 – miasta, 5 – obszary chronione

Fig. 1. Location of the research area

1 – study site, 2 – main rivers, 3 – main roads, 4 – cities, 5 – protected areas



Ryc. 2. Podstawowe charakterystyki statystyczne warunków hipsometrycznych w parkach krajobrazowych objętych analizą (H_{sr} – wysokość średnia)

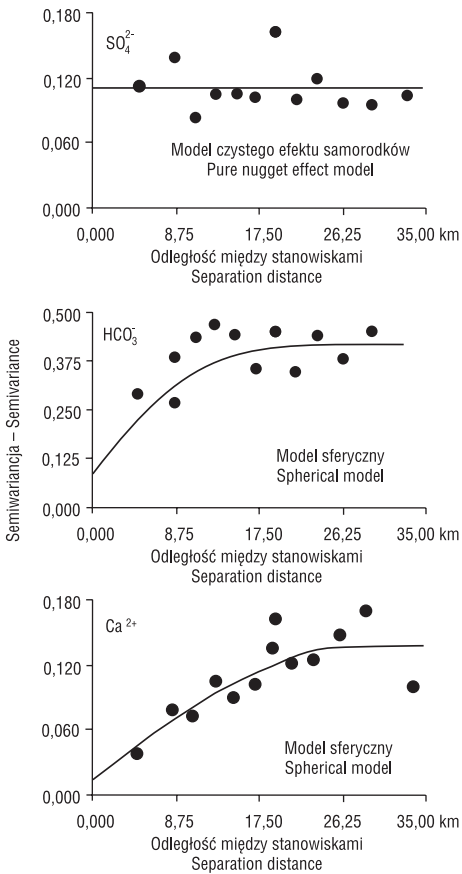
Fig. 2. Basic statistical characteristics of elevation in analyzed protected areas (H_{sr} – mean elevation)

Metody i okres badań

Badania terenowe prowadzono w dniach 26–27 stycznia 2007 r. Zima 2006/07 była znacznie cieplejsza i wilgotniejsza w stosunku do normy wieloletniej. Opady śniegu występowały rzadko, a padający śnieg, wskutek dodatniej temperatury powietrza, zwykle szybko zanikał. Dopiero od 23 stycznia występowały opady śniegu, które przy wyraźnym ochłodzeniu utworzyły ciągłą pokrywą śnieżną.

Pomiary zapasu wody w śniegu i pobór prób przeprowadzono na 34 stanowiskach badawczych. W każdym z nich, za pomocą śniegomierza wagowego WS-43, mierzono zapas wody w pokrywie śnieżnej. Następnie, za pomocą cylindra wykonanego ze szkła akrylowego, pobierano próby śniegu, które umieszczano w woreczkach strunowych i transportowano do laboratorium hydrochemicznego Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ w Krakowie. W laboratorium, przy użyciu wielofunkcyjnego przyrządu pomiarowego ELMETRON CX-721 mierzono odczyn i przewodność (SC) oraz oznaczono jony: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- (chromatograf jonowy firmy DIONEX, typ ICS-2000).

Określenie ilości i jakości wody zgromadzonej w śniegu na obszarach chronionych wymagało przeprowadzenia interpolacji danych punktowych. Interpolacje przeprowadzono metodami geostatystycznymi (kriging zwykły) i deterministycznymi (lokalną interpolację wielomianową trzeciego stopnia). Analizy geostatystyczne przeprowadzono według standardowego toku postępowania, obejmującego: wstępną analizę danych, analizę i weryfikację semiwariogramów (interpretacja i dopasowywanie do semiwariogramów empirycznych modeli teoretycznych, krzyżowa weryfikacja modeli), sporządzanie map krigingowych (Johnston i in. 2001, Mitosek 2003, Namysłowska-Wilczyńska 2006). W analizach semiwariogramów, zmienne traktowano jako efekt działania procesów izotropowych. Z uwagi na niewielką liczbę stanowisk pomiarowych, przyjęto nieregularne klasy odległościowe, co w przypadku niewielkiej liczby danych (20–50 elementów) może dawać lepsze wyniki, niż ich dobór regularny (Kitanidis 1993, Mitosek 2003). Klasy ustalano w taki sposób, by w każdej znajdowało się 50 par punktów. Do przebiegów izotropowych semiwariogramów empirycznych dopasowywano najlepszy spośród następujących modeli teoretycznych: sferyczny, wykładniczy, potęgowy, Gaussa, liniowy, efektu samorodków. Dopasowanie przeprowadzono automatycznie, stosując metodę najmniejszych kwadratów. Obliczenia wykonano w programie Microsoft Excel 2003, przy zastosowaniu Solvera. Przebiegi izotropowych semiwariogramów empirycznych dla większości cech zostały przybliżone za pomocą pojedynczych modeli sferycznych. W przypadku Na^+ najlepszy okazał się model Gaussa, a NO_2^- – model wykładniczy. Semiwariogramy empiryczne SO_4^{2-} , NO_3^- i zapasu wody w pokrywie śnieżnej wskazywały na brak autokorelacji przestrzennej. Słabą korelację przestrzenną stwierdzono w przypadku Na^+ i Cl^- . Kross-walidacja pozwoliła wybrać dla każdej cechy najlepszy model teoretyczny, przy czym ich jakość, określona na podstawie współczynników determinacji, była różna. Najlepsze rezultaty uzyskano w przypadku: pH ($R^2 = 0,69$), Ca^{2+} ($R^2 = 0,58$), NH_4^+ ($R^2 = 0,48$), NO_2^- ($R^2 = 0,40$), SC ($R^2 = 0,24$) i HCO_3^- ($R^2 = 0,22$). Najgorsze wyniki osiągnięto dla jonów: Mg^{2+} ($R^2 = 0,05$), K^+ ($R^2 = 0,03$), Na^+ i Cl^- ($R^2 < 0,01$). Przykładowe semiwariogramy przedstawiono na ryc. 3.



Ryc. 3. Przykładowe semiwariogramy
Fig. 3. Examples of semivariogram plots

a najmniejsza (15,7–23,6 mm) – w Parku Krajobrazowym Dolinki Krakowskie (ryc. 4).

Rudniański Park Krajobrazowy, w porównaniu z pozostałymi obszarami chronionymi, charakteryzował się najwyższą wartością SC śniegu i najwyższymi stężeniami zakwaszających anionów – NO_3^- , SO_4^{2-} , a także NH_4^+ (tab. 1). Najwyższe były też stężenia K^+ , a najniższe – Ca^{2+} , Mg^{2+} i Na^+ oraz wartości pH. Pokrywa śnieżna na terenie Parku Krajobrazowego Dolinki Krakowskie cechowała się największymi stężeniami Mg^{2+} i dosyć wysokimi Ca^{2+} i HCO_3^- . W porównaniu z pozostałymi parkami stwierdzono tu najniższe zawartości SO_4^{2-} , NO_3^- i NH_4^+ (ryc. 4). Odczyn był jednak najwyższy (4,71–5,87 jednostek pH). W Tenczyńskim Parku Krajobrazowym zawartość Ca^{2+} , Cl^- , Na^+ , HCO_3^- i NO_2^- w pokrywie śnieżnej, w porównaniu do innych obszarów, była największa. Pod względem stężeń pozostałych jonów, park ten stanowił obszar przejściowy.

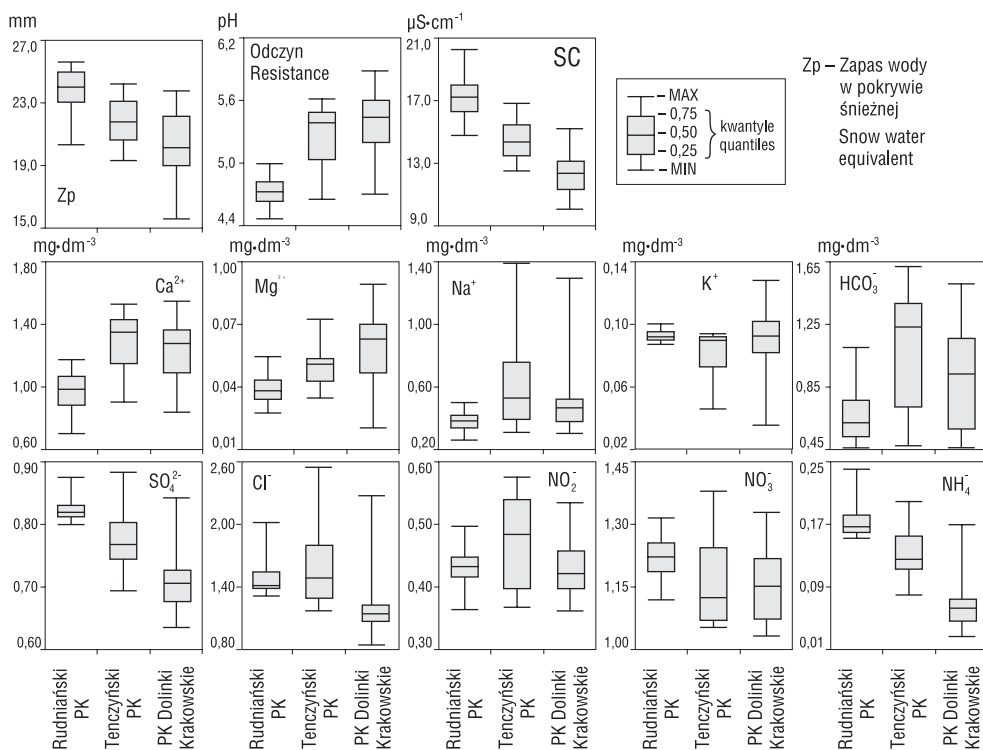
Można stwierdzić, że w kierunku północnym, w miarę zbliżania się do Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, wzrastały wartości i zakresy wahań odczynu oraz Ca^{2+} i Mg^{2+} .

Na podstawie najlepszych modeli semiwariogramów określono wagi, które stosowane były do interpolacji krigingowej. Podczas interpolacji wykorzystywano od 2 do 4 najbliższych punktów z każdego z 4 zadeklarowanych sektorów (N, E, S i W). Dla interpolowanych map przyjęto rozdzielczość 50 na 50 m. W przypadku cech, które nie wykazywały autokorelacji przestrzennej, lub których najlepszy model teoretyczny nie dawał dobrych rezultatów, do interpolacji zastosowano lokalną interpolację wielomianem trzeciego stopnia. Metoda ta dawała lepsze wyniki niż inne modele deterministyczne, choć jakość uzyskanych wyników wciąż nie była zadowalająca. Interpolacje przeprowadzono w programie ArcGis 9.2.

Na podstawie map rastrowych określono dla poszczególnych parków charakterystyki statystyczne stężeń jonów i zapasu wody. Wyniki obliczeń zaprezentowano w tabeli 1 i na rycinie 4.

Wyniki

Największa ilość wody zawarta była w pokrywie śnieżnej zalegającej w Rudniańskim Parku Krajobrazowym (20,3–25,6 mm), mniejsza w Tenczyńskim (19,5–24,2 mm),



Ryc. 4. Wybrane charakterystyki statystyczne stężeń jonów w parkach objętych badaniami
 Fig. 4. Chosen statistical characteristics of ion concentration in analyzed protected areas

W przypadku SC, K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- i NH_4^+ następował spadek wartości. Największy zakres wahań większości analizowanych cech, wyrażony rozstępem między górnym i dolnym kwartylem, występował zwykle w Tenczyńskim Parku Krajobrazowym (ryc. 4).

Odczyn wahał się w przedziale od 4,48 do 5,88 jednostek pH, a przewodność – od 10 do 20 $\mu S \cdot cm^{-1}$. W składzie chemicznym wody zawartej w pokrywie śnieżnej dominowały jony: Ca^{2+} (od 25 do 34% sumy jonów w mval), Cl^- (18–22%), Na^+ (8,5–12,5%), NO_3^- (8,8–10,5%) i HCO_3^- (5,6–8,4%). Najmniejszy udział miały jony: NO_2^- , K^+ i Mg^{2+} (< 2,5%).

W tabeli 1 oprócz średnich stężeń obliczonych dla parków, podano również stężenia jonów w próbkach świeżego śniegu pochodzących ze Stanów Zjednoczonych, Norwegii i Walii. Parki krajobrazowe w rejonie Krakowa, w porównaniu do innych obszarów, charakteryzowały się wysoką zawartością Ca^{2+} , Na^+ i Cl^- i Mg^{2+} . Pod względem stężeń: K^+ , NH_4^+ i SO_4^{2-} i NO_3^- zajmowały pozycję pośrednią. Wysokie wartości stężeń Ca^{2+} i Mg^{2+} są zapewne związane z większą ilością drobin skał węglanowych w podłożu oraz z eolicznym przenoszeniem tych drobin z ulegających wietrzeniu skał węglanowych Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej.

Tab. 1. Średnie wartości analizowanych cech pokrywy śnieżnej na badanych obszarach chronionych i na innych obszarach

Table 1. Mean values of analyzed properties of snow cover in the landscape parks and other areas

Cecha Characteristic	Landscape park			Other areas				
	Rudniański	Tenczyński	Dolinki Krakowskie	Południowe Michigan*	Pensylwania* Pennsylvania*	Storgama (Norwegia – Norway)*	Kolumbia Brytyjska* British Columbia*	Walia* Wales*
pH	4,73	5,25	5,39	.	.	.	.	.
SC [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	17,18	14,48	12,26	.	.	.	.	.
Ca ²⁺ [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	0,985	1,293	1,233	0,561	0,401	0,120	0,044	0,080
Mg ²⁺ [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	0,039	0,050	0,058	0,040	0,073	0,073	0,005	0,049
Na ⁺ [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	0,374	0,606	0,472	0,329	0,184	0,391	0,200	0,299
K ⁺ [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	0,092	0,082	0,090	0,106	0,078	0,117	0,199	0,039
HCO ₃ ⁻ [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	0,660	1,093	0,902	.	.	.	.	.
SO ₄ ²⁻ [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	0,823	0,779	0,708	1,063	2,318	2,367	0,193	0,773
Cl ⁻ [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	1,480	1,590	1,163	0,496	0,532	0,603	0,199	0,744
NO ₃ ⁻ [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	1,222	1,163	1,152	1,736	3,038	1,798	0,149	0,682
NO ₂ ⁻ [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	0,018	0,022	0,021	.	.	.	.	.
NH ₄ ⁺ [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]	0,174	0,132	0,065	0,087	0,433	0,469	0,020	.
Zapas wody Snow water equivalent [mm]	23,89	21,81	20,32	.	.	.	.	.

* DeWalle 1987

· brak danych – lack of data

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie badań przeprowadzonych w parkach krajobrazowych w okolicach Krakowa, można wysnuć następujące wnioski:

- największa ilość wody zawarta była w pokrywie śnieżnej zalegającej w Rudniańskim Parku Krajobrazowym, mniejsza w Tenczyńskim, a najmniejsza – w Parku Krajobrazowym Dolinki Krakowskie,
- w kierunku północnym wzrastały wartości i zakresy wahań odczynu śniegu oraz stężeń Ca²⁺ i Mg²⁺, natomiast spadały wartości: SC, K⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻ i NH₄⁺; świadczy to o tym, że w kierunku północnym spadała ilość zanieczyszczeń antropogenicznych w śniegu związanych głównie z procesami spalania, a prawdopodobnie wzrastała ilość zanieczyszczeń geogenicznych (alkalicznych drobin skał węglanowych),
- największy zakres wahań większości analizowanych cech pokrywy śnieżnej występował zwykle w Tenczyńskim Parku Krajobrazowym, stwierdzono tam najwyższe stężenia Ca²⁺, Cl⁻, Na⁺, HCO₃⁻ i NO₂⁻; w przypadku pozostałych cech, park ten zajmował pozycję pośrednią między położonym na południu Rudniańskim Parkiem Krajobrazowym, gdzie występowały najwyższe wartości SC, K⁺ i jonów związanych z antropopresją (NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺) i najniższe Ca²⁺, Mg²⁺ i Na⁺, pH, a położonym na północy

Parkiem Krajobrazowym Dolinki Krakowskie, gdzie pokrywa śnieżna charakteryzowała się największymi wartościami pH i stężeniami Mg^{2+} , wysokimi stężeniami Ca^{2+} i HCO_3^- , a najniższymi SO_4^{2-} , NO_3^- i NH_4^+ .

Uzyskane w pracy wyniki odnoszą się do jednego epizodu występowania świeżej pokrywy śnieżnej. Nie mogą zatem stanowić podstawy do określenia ogólnych prawidłowości zróżnicowania chemizmu świeżej pokrywy na analizowanych obszarach chronionych. W zależności od warunków meteorologicznych i warunków emisji zanieczyszczeń, przestrzenne zróżnicowanie chemizmu śnieżnej pokrywy śnieżnej może ulegać istotnym zmianom. Zwykle w świeżym śniegu występują niewielkie stężenia jonów, a w próbach pobranych blisko siebie często obserwowana jest znaczna zmienność stężeń, pomimo, że nie stwierdza się występowania lokalnych czynników, które mogłyby ją powodować (vanLoon, Duffy 2007). Oznacza to, że w przypadku nawet niewielkiej zmiany lokalizacji punktów poboru prób, jest wysoce prawdopodobne uzyskanie różnych stężeń. To z kolei może wpłynąć na postać tworzonych modeli przestrzennych, a w konsekwencji na wartości szacowanych stężeń jonów w śniegu.

Zastosowanie badań świeżej pokrywy śnieżnej w określaniu ilości i jakości wody dostarczanej obszarom chronionym oraz w ocenie zagrożenia tych obszarów zanieczyszczeniami może być stosowane, ale, jak pokazano, ma wiele ograniczeń. Może stanowić tylko uzupełnienie badań prowadzonych w standardowej sieci monitoringowej.

Literatura

- DeValle, 1987, *Review of snowpack chemistry studies*, [w:] H.G. Jones, W.J. Orville-Thomas (red.), *Seasonal Snow-covers: Physics, Chemistry, Hydrology*, NATO-ASI Series C: Mathematical and Physical Sciences, Les Arces, Francja, 211, 255–268.
- Johnston K., Ver Hoef J.M., Krivoruchko K., Lucas, N., 2001, *Using ArcGIS™ Geostatistical Analyst*, ESRI, Redlands, ss. 300.
- Kitanidis P.K., 1993, *Geostatistics*, [w:] D.R. Maidment (red.), *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill Inc., New York, 20.1–20.39.
- Mitosek H., 2003, *Problemy hydrologii stochastycznej*, Wyd. Akademii Świętokrzyskiej, Kielce, ss. 183.
- Naik M.S., Khemani L.T., Momin G.A., Rao P.S.P., Safari P.D., Pillai A.G., 1995, *Chemical composition of fresh snow from Gulmarg*, North India, *Environmental Pollution*, 87, 167–171.
- Namysłowska-Wilczyńska B., 2006, *Geostatystyka. Teoria i zastosowania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, ss. 356.
- Tranter M., Jones H.J., 2001, *The chemistry of snow: Processes and nutrient Cycling*, [w:] H.G. Jones, J.W. Pomeroy, D.A. Walker, R.W. Hoham, (red.), *Snow Ecology. An interdisciplinary examination of Snow-Covered Ecosystems*, Cambridge University Press, 127–167.
- Turzański K.P., Godzik B. (red.), 1997, *Sucha i mokra depozycja pierwiastków w województwie krakowskim w latach 1992–1996*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kraków, ss. 39.
- Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody, Dz. U. z 2004 r. Nr 92, poz. 880, art. 103 i 107.
- VanLoon G., Duffy S., 2007, *Chemia środowiska*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, ss. 613.

Michał Kasina

**Quality and quantity of fresh snow cover
in protected areas near to Krakow**

Summary

Fresh snow cover samples were collected during 26th and 27th January of 2007 from 34 points located in or around three landscape parks (Fig. 1): Dolinki Krakowskie, Teńczyński and Rudniański. Research areas are located on the limestone upland and have different hypsometric conditions (Fig. 2). Estimation of quality and quantity of fresh snow cover was based on geostatistical methods (semivariogram analysis, ordinary kriging interpolation) or 3rd power local polynomial interpolation (Fig. 3, 4; Table 1). The highest values of snow water equivalent were found in the Rudniański Landscape Park, and the lower – in the Dolinki Krakowskie Landscape Park. The highest concentrations of Ca^{2+} , Cl^- , Na^+ , HCO_3^- and NO_2^- were found in the Rudniański Landscape Park snow cover. The Tenczyński Landscape Park snow cover had the highest values of SC and the highest concentrations of K^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , but the lowest of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ and the lowest values of pH. Snow cover in the Dolinki Krakowskie Landscape Park had the highest pH values and very high concentrations of Mg^{2+} , Ca^{2+} and HCO_3^- , but the lowest concentrations of SO_4^{2-} , NO_3^- and NH_4^+ . Generally, the values of pH and concentrations of Ca^{2+} i Mg^{2+} were increasing to the north, but the values of SC and concentrations of K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ were decreasing. The comparison of ion concentrations in analyzed protected areas with those reported in other regions of the world revealed that the composition of protected areas snow largely differs in the concentrations of Ca^{2+} and Mg^{2+} as well as the concentrations of Cl^- and Na^+ .