

Klimatyczne uwarunkowania emisji gazowych zanieczyszczeń powietrza na Stacji Badawczej IGiPZ PAN w Szymbarku w latach 2005–2014

The climatic conditions of gaseous air pollutants immission on the Research Station of IG&SO PAS at Szymbark in the years 2005–2014

WITOLD BOCHENEK

Summary: The paper presents an analysis of the dynamics of the concentrations of gaseous air pollutants SO_2 and NO_x on Research Station IG&SO PAS at Szymbark during 10 years of measurement (2005–2014), including the impact of selected elements of weather: air temperature, wind direction and the type of atmospheric circulation on the size and a potential source of immission. There are observed increase of average monthly concentration in the winter half-year due exhaust fumes emissions from buildings located directly in the Bystrzanka basin or surroundings. There is observe high positive correlation between concentration of pollutants and air temperature. Relatively high concentrations of pollutants are accompanied by the occurrence of calm. Air temperature, especially in winter, influence the growth of emissions from local sources, which have the highest concentration in the bottom of the Bystrzanka valley. Types of atmospheric circulation play a significant role in the movement of cross-border pollution from the Slovakia, which exhibit a high concentration of heavy metals in *Hypogymnia physodes* lichen thalli on measuring position located in the highest part of the Bystrzanka basin.

Key words: gaseous air pollutants, SO_2 , NO_x , types of atmospheric circulation, the Bystrzanka basin

Słowa kluczowe: gazowe zanieczyszczenia powietrza, SO_2 , NO_x , typy cyrkulacji atmosferycznej, zlewnia Bystrzanki

Witold Bochenek, Stacja Badawcza IGiPZ PAN (Stacja Bazowa ZMŚP), 38-311 Szymbark 430, e-mail: witold.bochenek@zg.pan.krakow.pl

WPROWADZENIE

Gazowe zanieczyszczenia powietrza wywierają znaczący wpływ na zdrowie ludzkie oraz na ekosystemy lądowe. Duże ośrodki miejsko-przemysłowe emitują zanieczyszczenia, które negatywnie wpływają na jakość powietrza w obszarach oddalonych o kilkadziesiąt lub kilkaset kilometrów. Na obszarach wiejskich powszechną praktyką jest stosowanie tradycyjnych paliw (drewna, silnie zasiarczonego węgla) w paleniskach domowych. Emisja SO_2 w gospodarstwach domowych stanowi ok. 20% emisji całkowitej tego zanieczyszczenia, zaś emisja NO_x – ok. 7% emisji krajowej (Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2014). Liczne, punktowe źródła niskiej emisji zanieczyszczeń, położone na obszarach górskich, w warunkach występowania inwersji termicznych i „zastoisk” zimnego powietrza w dolinach i kotlinach w czasie antycyklonalnych sytuacji synoptycznych, przyczyniają się do pogorszenia jakości powietrza.

METODY I OBSZAR BADAŃ

Na podstawie 10-letniej serii automatycznych, ciągłych pomiarów SO_2 i NO_x , prowadzonych na Stacji Bazowej ZMŚP w Szymbarku przez WIOŚ w Krakowie (ryc. 1), przeprowadzono analizę wpływu temperatury powietrza, kierunków wiatru oraz typów cyrkulacji atmosferycznej na wielkość stężeń, w celu określenia wpływu lokalnych źródeł (niskiej emisji) oraz źródeł odległych. Analiza została oparta na średnich dobowych stężeniach zanieczyszczeń.

Stacja pomiaru zanieczyszczeń powietrza w Szymbarku (kod międzynarodowy – PL0121A) funkcjonuje w ramach sieci monitoringu powietrza w województwie małopolskim, jako stacja tła.

Średnią dobową temperaturę powietrza obliczono na podstawie codziennych pomiarów na stacji meteorologicznej Stacji Badawczej, z której również uzyskano dane do obliczenia rozkład kierunków wiatru. Typy sytuacji synoptycznych pozyskano z kalendarza sytuacji synoptycznych Tadeusza Niedźwiedzia.

Pomiary zanieczyszczeń powietrza są prowadzone w zlewni Bystrzanki (13 km²), położonej na granicy Beskidu Niskiego i Pogórza Karpackiego (Starkel 1972). Zlewnia ma wydłużony kształt o przebiegu NW-SE i deniwelację od 300 do 753 m n.p.m. (ryc. 2).

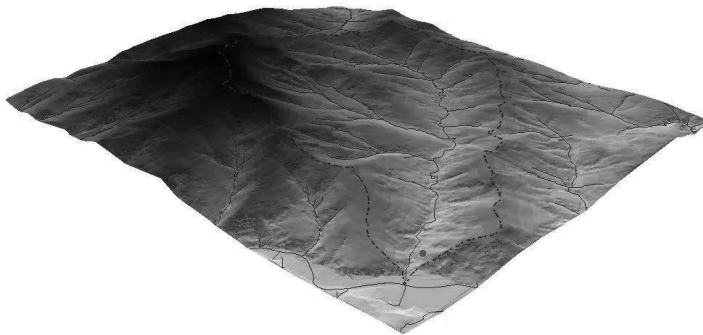
Punkt pomiaru zanieczyszczeń położony jest na wysokości 330 m n.p.m. i ok. 20 m powyżej dna doliny potoku. W zlewni Bystrzanki, głównie w dnie doliny, zlokalizowanych jest ok. 500 zabudowań, których antropogeniczne oddziaływanie przejawia się m.in. we wzroście emisji zanieczyszczeń gazowych.



Ryc. 1. Sieć monitoringu jakości powietrza w województwie małopolskim w 2013 roku

Fig. 1. Network of air quality monitoring in Małopolskie voivodeship in 2013

Źródło/Source: http://www.krakow.pios.gov.pl/publikacje/raporty/raport13/2_powietrze.pdf.



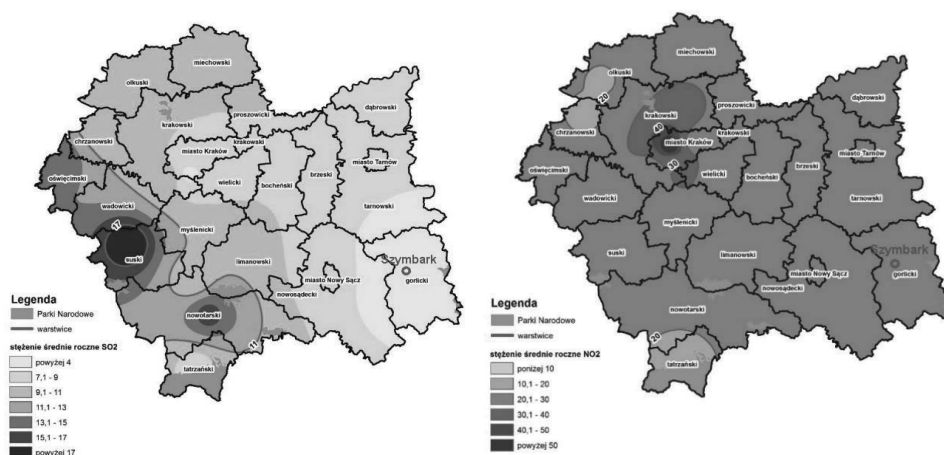
Ryc. 2. Cyfrowy model wysokości zlewni Bystrzanki z zaznaczonym położeniem punktu pomiaru zanieczyszczeń powietrza

Fig. 2. Digital elevation model of the Bystrzanka basin with marked the measurement point of gaseous pollutants

Źródło/Source: http://www.krakow.pios.gov.pl/publikacje/raporty/raport13/2_powietrze.pdf.

WYNIKI

Okolice Szymbarku charakteryzują się najniższymi stężeniami zanieczyszczeń gazowych na obszarze województwa małopolskiego (ryc. 3), głównie w wyniku relatywnie największej odległości od emitorów przemysłowych zlokalizowanych na Górnym Śląsku.



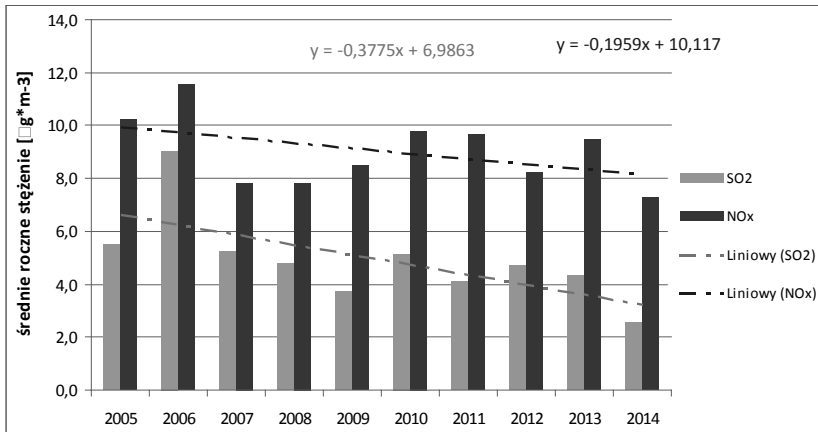
Ryc. 3. Średnie roczne stężenia SO₂ i NO_x w powietrzu na terenie województwa małopolskiego w 2014 r.

Fig. 3. Annual average concentration of SO₂ and NO_x in air on the Małopolskie voivodeship in 2014

Źródło/Source: http://www.krakow.pios.gov.pl/publikacje/2015/ocena_jakosci_powietrza_2014.pdf.

W porównaniu ze średnimi wartościami obliczonymi dla wszystkich stacji monitoringu powietrza w województwie małopolskim średnie roczne stężenia w Szymbarku w 2014 r. stanowiły ok. 35% dla SO₂ i ok. 12% dla NO_x.

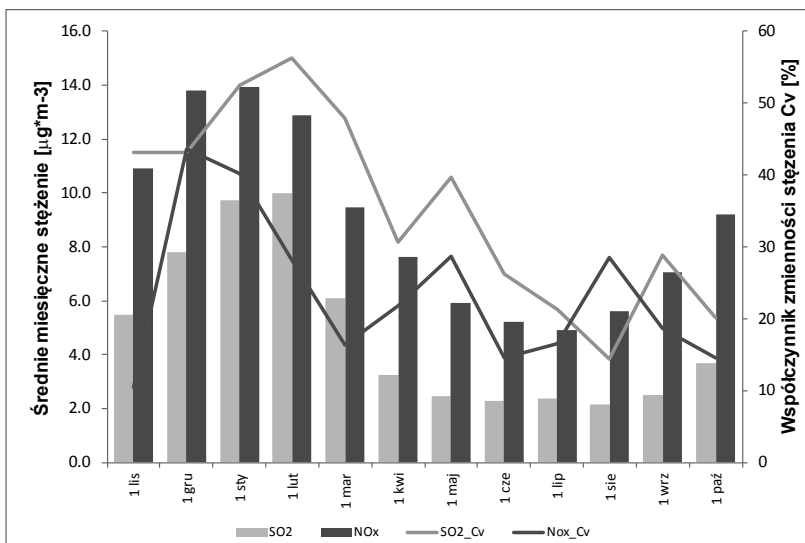
Średnie roczne stężenia analizowanych zanieczyszczeń wykazywały tendencję spadkową w okresie 2005–2014, przy czym wyraźniej zarysowana tendencja (wyższa bezwzględna wartość współczynnika regresji) dotyczyła SO₂ (ryc. 4). Taka tendencja jest zgodna ze zmniejszającą się emisją w omawianym okresie w skali kraju, dotyczącą szczególnie SO₂, oraz na terenie województwa małopolskiego, gdzie emisja z zakładów przemysłowych uciążliwych dla czystości powietrza zmniejszyła się w okresie 2005–2013 o 47% dla SO₂ i o 18% dla NO_x (Rocznik statystyczny województwa małopolskiego 2014).



Ryc. 4. Średnie roczne stężenia SO₂ i NO_x oraz linie ich trendu w wieloleciu 2005–2014

Fig. 4. The average annual concentrations of SO₂ and NO_x and their trend lines in the multi-year 2005–2014

W okresie wielolecia średnie miesięczne stężenia obydwu omawianych gazów charakteryzowały się cyklicznością zmian, która przejawiała się wzrostem koncentracji w najzimniejszych miesiącach roku (XI–III) i jej obniżeniem w pozostałej części roku (ryc. 5).

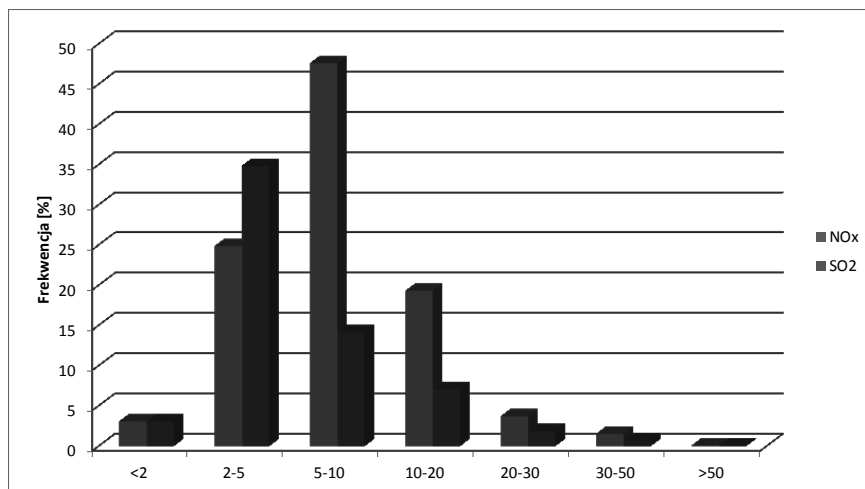


Ryc. 5. Średnie miesięczne stężenia SO₂ i NO_x oraz współczynniki ich zmienności (Cv) w wieloleciu 2005–2014

Fig. 5. Average monthly concentrations of SO₂ and NO_x and coefficients of variation (CV) in multi-year 2005–2014

W tym okresie średnie stężenie SO_2 było blisko 3-krotnie, a stężenie NO_x – prawie 2-krotnie wyższe niż w pozostałych siedmiu miesiącach w cieplejszej porze roku. Najwyższe średnie miesięczne stężenie SO_2 w wieloleciu 2005–2014 wystąpiło w lutym – $10,0 \mu\text{g}^*\text{m}^{-3}$, natomiast najwyższą średnią koncentrację NO_x stwierdzono w styczniu – $13,9 \mu\text{g}^*\text{m}^{-3}$. Obliczony współczynnik zmienności C_v średnich miesięcznych stężeń osiągnął najwyższą wartość w lutym – 56% dla SO_2 i w grudniu – 44% dla NO_x .

Przeprowadzono również analizę frekwencji średnich dobowych stężeń analizowanych zanieczyszczeń (ryc. 6).



Ryc. 6. Rozkład dobowych stężeń SO_2 i NO_x w latach 2005–2014

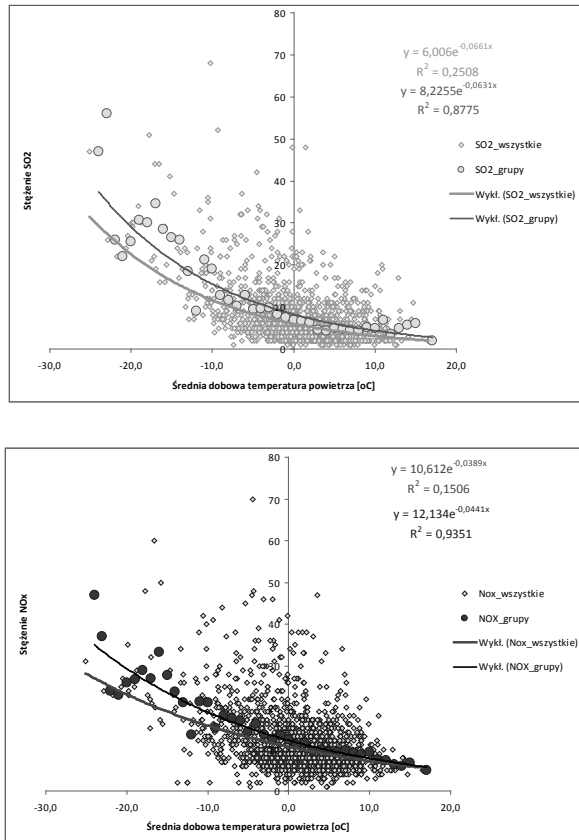
Fig. 6. Distribution of daily concentrations of SO_2 and NO_x in the years 2005–2014

Najwyższą frekwencję średnich dobowych stężeń SO_2 stwierdzono w zakresie $2-5 \mu\text{g}^*\text{m}^{-3}$, która stanowiła blisko 35% ogółu pomiarów, natomiast dla NO_x około 47% ogółu średnich dobowych stężeń zaliczono do przedziału $5-10 \mu\text{g}^*\text{m}^{-3}$.

W dalszej analizie uwzględniono okres od listopada do marca, kiedy występowały znacząco wyższe stężenia niż w pozostałej części roku.

Rozkład średnich miesięcznych stężeń omawianych gazów pozwolił przyjąć hipotezę, że głównym czynnikiem powodującym wzrost zanieczyszczeń jest emisja z lokalnych źródeł (palenisk domowych) położonych na obszarze zlewni Bystrzanki, związana z ogrzewaniem zabudowań podczas występowania ujemnych wartości temperatury powietrza. Potwierdzają to wyniki przeprowadzonej korelacji średnich dobowych: stężeń zanieczyszczeń i temperatury powietrza. Zależność najlepiej opisują funkcje wykładnicze (ryc. 7), opisane jednak niskim współczynnikiem

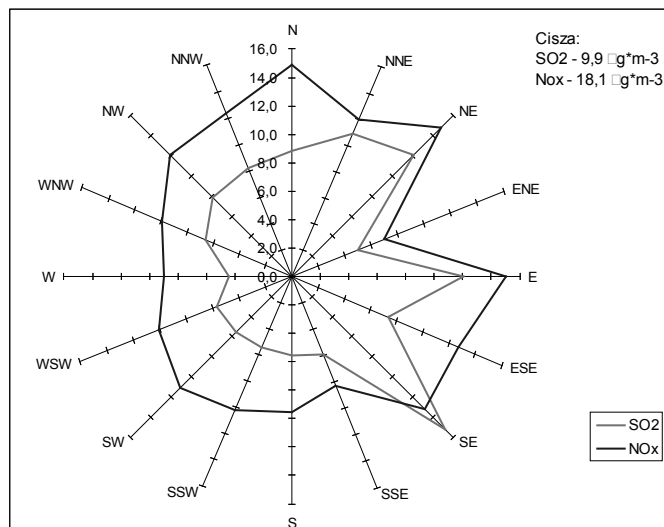
determinacji R^2 ze względu na dużą dyspersję punktów na diagramie korelacyjnym. Obliczenie średnich stężeń w 1-stopniowych przedziałach temperatury powoduje znaczący wzrost współczynnika determinacji (ryc. 7).



Ryc. 7. Zależność między stężeniem zanieczyszczeń a temperaturą powietrza – SO₂ i NO_x
 Fig. 7. The relationship between pollutants concentration and air temperature – SO₂ and NO_x

Dodatkowym potwierdzeniem przedstawionej powyżej hipotezy jest analiza rozkładu średnich stężeń omawianych zanieczyszczeń obliczona dla każdego kierunku 8-kierunkowej róży wiatrów (ryc. 8). Wzrost stężenia SO₂ z kierunku SE jest spowodowany „wdmuchiowaniem” przez wiatr zanieczyszczeń gazowych pochodzących z emisji palenisk domowych w dolinie Ropy, natomiast niskie stężenia SO₂ podczas występowania wiatru z sektora zachodniego są spowodowane barierą orograficzną (beskidzki grzbiet, 650–753 m n.p.m.), ograniczającą dopływ zanieczyszczeń spoza zlewni Bystrzanki. Względnie wysokie stężenia zanieczyszczeń

obserwowane są podczas występowania zjawiska ciszy, która sprzyja kumulacji zanieczyszczeń pochodzenia lokalnego.



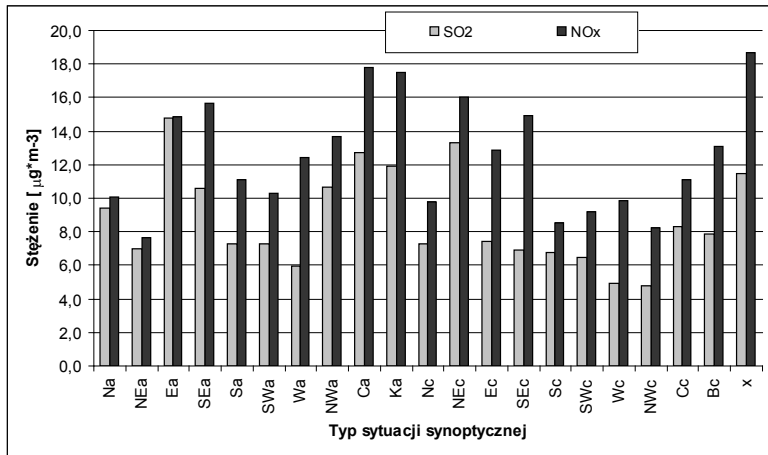
Ryc. 8. Rozkład średnich stężeń gazowych zanieczyszczeń powietrza w odniesieniu do kierunków wiatru

Fig. 8. Distribution of average concentrations of gaseous air pollutants in relation to the wind direction

Badania prowadzone przez Sawicką-Kapustę (1999) dowiodły, że na terenie Magurskiego Parku Narodowego (granica parku przebiega kilkanaście kilometrów od Stacji) występują zanieczyszczenia transgraniczne z uprzemysłowionych obszarów Słowacji.

Analizę wpływu zanieczyszczeń zdalnych przeprowadzono na podstawie typów cyrkulacji atmosferycznej, dostępnych w Kalendarzu sytuacji synoptycznych T. Niedźwiedzia (2013). Obliczone zostały średnie stężenia zanieczyszczeń gazowych podczas występowania każdego typu cyrkulacji (ryc. 9). Podczas występowania wszystkich typów cyrkulacji stwierdzono wyższe stężenia NO_x. Porównywalna wielkość stężeń obydwu gazów wystąpiła przy typie Ea (typ antycyklonalny wschodni), który determinował najwyższe stężenie SO₂, co sugeruje napływ zanieczyszczeń transgranicznych z obszaru Słowacji. Najwyższe stężenia NO_x stwierdzono przy typie Ca (centrum wyżu) i Ka (klin wyżowy), co może sugerować brak wpływu źródeł odległych, lecz wpływ lokalnych źródeł emisji na wzrost stężenia tego gazu. Stwierdzono również względnie wysokie koncentracje zanieczyszczeń przy typie NEc (typ cyklonalny północno-wschodni), które mogą być

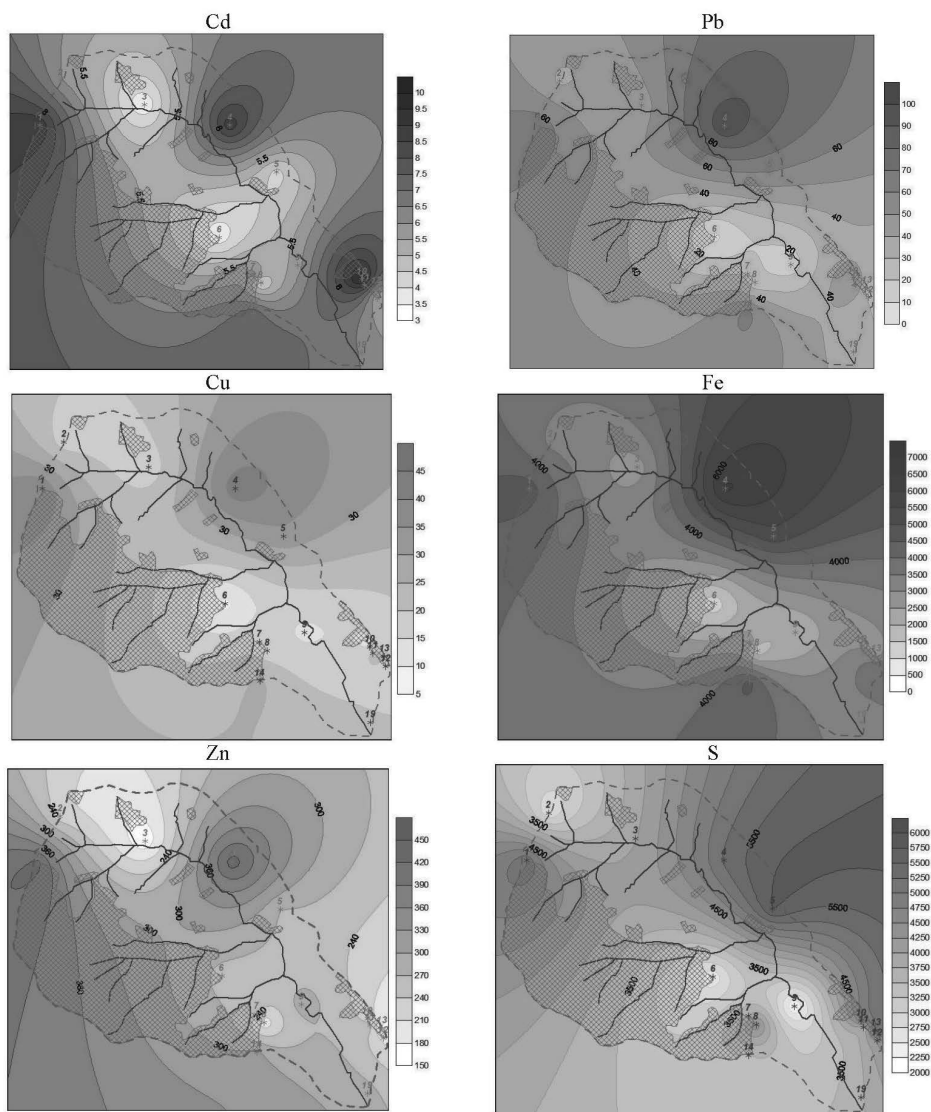
spowodowane napływem zanieczyszczeń z nad aglomeracji krakowskiej lub konurbacji górnośląskiej. Powyższa analiza rozkładu stężeń zanieczyszczeń gazowych w powietrzu wskazuje na dużą zbieżność wyników z wielkością przewodności elektrolitycznej właściwej, zmierzonej w próbkach wody opadowej (Bochenek 2005).



Ryc. 9. Średnie stężenia zanieczyszczeń przy różnych typach cyrkulacji atmosferycznej
 Fig. 9. Average concentrations of pollutants at different types of atmospheric circulation

W nawiązaniu do badań K. Sawickiej-Kapusty (2007) należy domniemywać, że wpływ zanieczyszczeń zdalnych obserwowany jest w najwyższych partiach wzniesień (powyżej wysokości 500 m n.p.m.). Potwierdzają to sumaryczne koncentracje metali ciężkich, zakumulowane podczas rocznych ekspozycji plech porostu *Hypogymnia physodes* w latach 2003, 2005, 2007, 2009 i 2011.

W pobliżu wierzchołków obserwuje się najwyższą akumulację metali ciężkich, świadcząca o oddziaływaniu zanieczyszczeń zdalnych, w największym stopniu związaną z przemysłem metalurgicznym na Słowacji (Koszyce, Krompachy).



Ryc. 10. Przestrzenne zróżnicowanie koncentracji metali ciężki i siarki w plechach *Hypogymnia physodes* – suma koncentracji z lat 2003, 2005, 2007, 2009 i 2011 (w $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ próby)
 Fig. 10. Spatial diversity concentration of heavy metals and sulfur in thallus *Hypogymnia physodes* – the sum of the concentration of the years 2003, 2005, 2007, 2009 and 2011 (in $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ sample)

WNIOSKI

1. Powyższa analiza pozwoliła stwierdzić, że w minionych 10 latach pomiarów obserwowana jest spadkowa tendencja stężeń zanieczyszczeń gazowych, wyraźniej zarysowana w przypadku SO_2 .

2. Głównym źródłem wzrostu koncentracji zanieczyszczeń gazowych w powietrzu są lokalne paleniska domowe, gdyż wzmożoną emisję obserwuje się wyłącznie w okresie grzewczym. Dodatkowo wielkość stężeń jest silnie ujemnie skorelowana z temperaturą powietrza.

3. Analiza wielkości stężeń odniesiona do kierunku wiatru i typów cyrkulacji atmosferycznej potwierdza decydującą rolę lokalnych źródeł emisji oraz lokalnych warunków orograficznych w kształtowaniu wielkości stężenia zanieczyszczeń w pobliżu dna doliny.

4. Wpływu odległych źródeł zanieczyszczeń należy oczekiwać w partiach wierzchowinowych grzbietów beskidzkich i garbów pogórskich. Tak postawioną hipotezę potwierdzają badania koncentracji metali ciężkich i siarki w porostach prowadzone od 2001 roku.

LITERATURA

- Bochenek W., 2005: Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na przewodność elektrolityczną roztworów wody opadowej w zlewni Bystrzanki w latach 1995–2004 (The impact of air masses circulation on specific electric conductivity of precipitation water in the Bystrzanka catchment in 1995–2004), Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce. Monitoring Środowiska Przyrodniczego nr 6: 49–58,
- Niedźwiedz T., 2013: Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej – zbiór komputerowy, Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec.
- Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2014: <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-rzeczypospolitej-polskiej-2014,2,9.html>.
- Rocznik statystyczny województwa małopolskiego 2014: <http://krakow.stat.gov.pl/publikacje-i-foldery/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-województwa-malopolskiego-2014,8,11.html>.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., Pizło A., Marek A., 2008: Zanieczyszczenie powietrza na terenie Stacji Bazowych ZMŚP w 2007 roku na podstawie koncentracji metali ciężkich i siarki w plechach porostu *Hypogymnia physodes* (Air pollution in the Base Stations of the Integrated Nature Monitoring System on the base of heavy metals and sulphur concentrations in lichen *Hypogymnia physodes*

in 2007), *Monitoring Środowiska Przyrodniczego* nr 9, s. 71–77, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Idzik G., Jasińska K., Budka D., Damek M., Gdula-Argasińska J., 1999: Ocena zanieczyszczenia polskich parków narodowych metalami ciężkimi, przy pomocy porostu *Hypogymnia physodes*, jako biowskaźnika. Ekspertyza ZMS, INoŚ, Uniwersytet Jagielloński, Kraków.

Starkel L., 1972: Charakterystyka rzeźby Polskich Karpat (i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej), *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, z. 10: 75–91.