



UNIwersytet Jagielloński
w Krakowie

Wydział Biologii i Nauk o Ziemi

Biologia i geografia

Specjalność: biologia środowiskowa

**Wstępna ocena zanieczyszczenia powietrza Dąbrowy
Górnicej z zastosowaniem transplantowanych porostów**

Hypogymnia physodes

OLGA HALEJAK

Praca magisterska wykonana pod opieką

dr Marty Zakrzewskiej

w Zespole Monitoringu Środowiska

Institutu Nauk o Środowisku UJ

Kraków 2015

*Chciałabym w tym miejscu złożyć serdeczne podziękowania
za ogromne zaangażowanie, cenne wskazówki
i uwagi udzielane podczas tworzenia niniejszej pracy magisterskiej
Pani prof. dr hab. Katarzynie Sawickiej – Kapuście oraz Pani dr Marcie
Zakrzewskiej.*

*Pragnę również podziękować całemu Zespołowi Monitoringu Środowiska za
okazaną życzliwość i pomoc.*

Niniejszą pracę chciałabym
zadedykować najważniejszym osobom
w moim życiu
Moim kochanym Rodzicom
Zofii i Henrykowi
Dziękuję w szczególny sposób za
cierpliwość i wsparcie

STRESZCZENIE

Celem przeprowadzonych badań była ocena stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego Dąbrowy Górniczej metalami ciężkimi (Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, Ni, Cr) i dwutlenkiem siarki na podstawie akumulacji tych pierwiastków w plechach porostów *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. W październiku 2013 roku przywiezione z terenu kontrolnego, Borów Tucholskich, plechy porostu były transplantowane w 35 punktach Dąbrowy Górniczej na okres (od XI 2013 do V 2014 roku). Po sześciomiesięcznej ekspozycji w porostach oznaczono stężenia metali ciężkich metodą AAS, natomiast siarki metodą Buttersa-Chenry`ego. Wyliczono akumulację pierwiastków na podstawie ich koncentracji w porostach z Borów Tucholskich. Stwierdzono znacznie wyższe koncentracje badanych pierwiastków w plechach porostów po transplatacji na terenie Dąbrowy Górniczej w stosunku do poziomów z obszaru kontrolnego. Porównano zanieczyszczenie powietrza pięciu badanych rejonów Dąbrowy Górniczej. Najmniejszą średnią akumulację kadmu wykazano na osiedlu mieszkaniowym, dwukrotnie wyższą wzdłuż dróg i linii kolejowych, najwyższą w rejonie oddziaływania huty szkła. Nieco niższe wartości wykazano w pobliżu huty stali i koksowni. Najwyższą akumulację ołowiu stwierdzono w sąsiedztwie huty stali i koksowni, a najmniejszą na osiedlu mieszkaniowym. Na całym badanym obszarze Dąbrowy Górniczej zawartość żelaza w porostach była bardzo duża, najwyższa w rejonie huty stali, trzykrotnie niższa w okolicy koksowni, a najniższa na terenie osiedla mieszkaniowego. Otrzymane wyniki na terenie Dąbrowy Górniczej wykazały bardzo duże zanieczyszczenie powietrza tego obszaru. Najniższe zanieczyszczenie wykazano na osiedlu mieszkaniowym, jednak stanowi ono realne zagrożenie dla zdrowia lokalnej ludności z uwagi na wysokie stężenia metali, które są kancerogenami. Uzyskane dla Dąbrowy Górniczej wyniki porównano z wykonaną w latach 2008 – 2009 oceną zanieczyszczenia powietrza w Zawierciu opartą na tej samej metodzie transplatacji *H. physodes* i analizie tych samych metali ciężkich i siarki. Zanieczyszczenie powietrza obu miast wskazuje na zły stan powietrza w Dąbrowie Górniczej. Dodatkowo potwierdza to porównanie uzyskanych wyników z oceną zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych ZMŚP w sezonie zimowym 2012/2013. Akumulacja tych samych metali ciężkich była wielokrotnie niższa od sześciu razy dla Cd do czterdziestu razy dla Fe.

Słowa kluczowe: metale ciężkie, dwutlenek siarki, zanieczyszczenie powietrza, porosty, Dąbrowa Górnicza

ABSTRACT

The aim of the study was to assess the air pollution in Dąbrowa Górnicza with heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, Ni, Cr) and sulfur dioxide on the basis of accumulation of these elements in *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. lichen thalli.

In October 2013 the lichen thalli collected from the control area of Tuchola Forest were transplanted in 35 points of Dąbrowa Górnicza for the period (from XI 2013 to V 2014). After a six-month exposure there were determined concentrations of heavy metals in the lichen with the use of AAS method, and sulfur using Butters-Chenery method. The accumulation of the elements was calculated on the basis of their concentration in lichens from Tuchola Forest. Significantly higher concentrations of the analyzed elements were noticed in the lichen thalli after transplantation in Dąbrowa Górnicza in relation to the levels of the control area. There was compared air pollution of the five control areas of Dąbrowa Górnicza. The lowest average cadmium accumulation was noted in a housing estate, a twice higher one - along roads and railway lines, the highest one in the vicinity of the glass factory. Slightly lower values were noticed in the proximity of the steelwork and coking plant. The highest accumulation of lead was noted in the vicinity of the steelwork and coking plant, and the smallest one in the housing estate. Throughout the study area of Dąbrowa Górnicza the iron content in the lichen was very high, the highest in the vicinity of the steelwork, three times lower in the vicinity of the coking plant, and the lowest in the housing estate. The results showed a very high pollution of the area. The lowest pollution was noted in the housing estate, however it is a real threat to the health of the local population due to the high concentrations of metals that are carcinogens. The results obtained for Dąbrowa Górnicza were compared with the assessment of air pollution in Zawiercie conducted in 2008-2009 which was based on the same method of *H.physodes* transplantation and the analysis of heavy metals and sulfur. Air pollution in the both cities indicates the poor condition of the air in Dąbrowa Górnicza. In addition, it is confirmed by the comparison of the results with the assessment of air pollution of ZMŚP Base Stations for the winter season 2012/2013. The accumulation of these heavy metals was much lower, from six times lower for Cd, up to forty times lower for Fe.

Keywords: heavy metals, sulfur dioxide, air pollution, lichens, Dąbrowa Górnicza

Spis treści

1.	WSTĘP.....	8
1.1	Problem zanieczyszczenia powietrza.....	8
1.2	Porosty jako biowskaźniki jakości powietrza.....	11
1.3	Zanieczyszczenie powietrza w Dąbrowie Górniczej.....	13
1.4	Cel pracy.....	15
2.	MATERIAŁY I METODY.....	16
2.1.	Obszar badań.....	16
2.2.	Teren kontrolny.....	17
2.3.	Materiały.....	19
2.4.	Metody.....	20
2.4.1.	Transplantacja.....	20
2.4.2.	Oznaczenie metali ciężkich w plechach porostów <i>Hypogymnia physodes</i> ..	22
2.4.3.	Oznaczenie siarki w plechach porostów <i>Hypogymnia physodes</i>	23
2.4.4.	Analiza statystyczna.....	24
3.	WYNIKI.....	25
3.1.	Koncentracja metali ciężkich i siarki w plechach <i>Hypogymnia physodes</i> z terenu kontrolnego.....	25
3.2.	Koncentracja i akumulacja metali ciężkich i siarki w plechach porostu <i>Hypogymnia physodes</i> w sezonie zimowym 2013/2014.....	25
4.	DYSKUSJA.....	31
4.1.	Porosty jako bioindykatory.....	31
4.2.	Wpływ metali ciężkich oraz siarki na zdrowie ludzi.....	32
4.3.	Ocena zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w Dąbrowie Górniczej w okresie badawczym 2013/2014 na podstawie akumulacji metali ciężkich oraz siarki w porostach <i>Hypogymnia physodes</i>	33

4.4. Porównanie akumulacji metali ciężkich i siarki w porostach transplantowanych w Dąbrowie Górniczej, w Zawierciu i na Stacjach Bazowych ZMŚP.....	35
4.5. Porównanie jakości powietrza atmosferycznego w Dąbrowie Górniczej i w Zawierciu.....	38
5. PODSUMOWANIE.....	40
6. LITERATURA	41

RYCINY, TABELE

1.WSTĘP

1.1 Problem zanieczyszczenia powietrza

Obecność w atmosferze jednej lub kilku substancji zanieczyszczających (dymy, gazy, opary, pyły, spaliny) w takich ilościach, o takim charakterze, i długości utrzymywania się, że jest ona szkodliwa dla człowieka, roślin, zwierząt nazywane jest zanieczyszczeniem powietrza (Faith i Atkisson 1972). Do jednych z najbardziej niebezpiecznych substancji należą związki organiczne, a także metale ciężkie (Radović 1997). Szczególnie te, które w organizmach żywych nie pełnią żadnych fizjologicznych funkcji, przede wszystkim Cd, Pb i Hg. W wyniku występowania interakcji pomiędzy pierwiastkami, bardzo często te toksyczne wypierają mikroelementy z cząstek biologicznie czynnych zaburzając prawidłowe funkcjonowanie komórki (np. kadm może wypierać cynk) (Dobrzańska i in.2008). Cząsteczki pyłów są nośnikami metali, ale również WWA i od ich średnicy zależy w jaki sposób mogą dotrzeć do organizmów żywych. Pyły PM 2,5 są szczególnie niebezpieczne dla człowieka, gdyż ich średnica pozwala na pokonanie bariery jaką są płuca i pęcherzyki płucne, powodując choroby układu oddechowego, natomiast pyły PM 10 u roślin powodować mogą zatykanie aparatów szparkowych i problemy z wymianą gazową oraz nawodnieniem (Seńczuk 2006, Migaszewski i Gałuszka 2007, Elbayoumi i in. 2013).

Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) każdego roku na skutek wdychania zanieczyszczonego powietrza na całym świecie umiera 2 miliony ludzi.

Tematem raportu opublikowanego przez WHO w 2011 roku było zanieczyszczenie powietrza w wybranych krajach i miastach całego świata z wyszczególnieniem zanieczyszczeń pyłem PM 2,5 i PM 10. Jednoznacznie wynika z niego, że z biegiem lat jakość powietrza w skali globalnej systematycznie się pogarsza. Powodem około 1,3 mln przedwczesnych zgonów w miastach świata w 2008 roku był smog. W ciągu zaledwie 4 lat liczba zgonów z powodu zanieczyszczenia powietrza wzrosła o prawie 50% (Urban...2011).

Mongolia jest najbardziej zanieczyszczonym krajem na świecie. Stężenie pyłu zawieszonego wynosi tam aż $279 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i jest prawie 14 razy większe od normy WHO (dla PM 10 wynosi $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Nieznacznie tylko mniej skażone powietrze ma Botswana, Pakistan, Senegal i Arabia Saudyjska. W Europie największe zanieczyszczenie powietrza wykazuje się w Bośni i Hercegowinie ($117 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Norma jest przekroczona prawie

sześciokrotnie. Następne w kolejności są Macedonia, Bułgaria i Grecja. Najczystsze powietrze ma Estonia i jest to jednocześnie najczystszy kraj na całym świecie. Roczne stężenie PM10 wynosi tam zaledwie $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a więc jest o połowę mniejsze niż norma ustalona przez WHO. Mauritius, Kanada, Australia i Nowa Zelandia to kolejne kraje o najniższym stężeniu zanieczyszczeń powietrza na świecie. Tylko w 12 krajach świata norma zanieczyszczenia powietrza nie jest przekroczona. W Europie są to obok Estonii także Irlandia, Luksemburg, Monako, Finlandia i San Marino.

W 2008 roku wśród 65 miast w Polsce, które zostały przebadane, tylko 6 mieściło się w normie. Gdańsk to najczystsze miasto w naszym kraju, gdzie stężenie pyłu PM10 wynosiło $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Najbardziej zanieczyszczone powietrze w Polsce miał Kraków. Tam roczne stężenie pyłu zawieszonego sięgało aż $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i było 3,5 razy wyższe niż w Gdańsku. Kolejnymi zanieczyszczonymi miastami były Rybnik, Nowy Sącz, Zabrze Katowice i Dąbrowa Górnicza ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Urban...2011).

Emisja zanieczyszczeń do atmosfery i warunki meteorologiczne to dwa czynniki, które wpływają w głównej mierze na jakość powietrza atmosferycznego. Obszar oddziaływania źródła emisji zanieczyszczeń może wynosić setki kilometrów przekraczając także granice państw (Radović 1997).

Klimat jest zespołem zjawisk i procesów atmosferycznych specyficznych dla danego obszaru, kształtujących się pod wpływem odpowiednich właściwości fizycznych i geograficznych, określane na podstawie wieloletnich wyników obserwacji i ma bezpośredni wpływ na stan jakości powietrza na danym obszarze. Między jakością powietrza atmosferycznego a warunkami meteorologicznymi istnieje sprzężenie zwrotne. Na klimat i pogodę w danym terenie wpływa obecność zanieczyszczeń atmosferycznych, a transport zanieczyszczeń i ich zaleganie jest natomiast zależne od warunków pogodowych (Michalczyk 2003). Największe znaczenie na występowanie zanieczyszczenia powietrza na danym obszarze ma prędkość i kierunek wiatru. Prędkość wiatru decyduje o tempie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, natomiast kierunek wiatru odpowiada za trasę ich transportu. (Faith i Atkisson 1972, Nimis i in. 1990, Walker i in. 2002, Giordani 2007).

Czynniki środowiskowe i naturalne mogą wpływać na wzrost lub spadek zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego (www.spjp.katowice.pios.gov.pl):

- 1) Powodujące wzrost:

- tereny wyżynne lub górskie
- gęsta zabudowa
- wysokie ciśnienie atmosferyczne
- słaby wiatr lub jego brak
- inwersje termiczne
- brak opadów atmosferycznych
- duże nasłonecznienie w okresie letnim

2) Powodujące spadek:

- tereny równinne
- duże opady atmosferyczne
- silny wiatr
- niskie ciśnienie atmosferyczne
- silne zachmurzenie

Na całym świecie z powodu rosnącej populacji w miastach, niekontrolowanego rozwoju dużych ośrodków miejskich i przemysłu, a także gwałtownie rosnącej liczby pojazdów mechanicznych zanieczyszczenie powietrza jest narastającym problemem (Bickerstaff i Walker 2001). Także w Unii Europejskiej ten problem istnieje. W Polsce zjawisko to narasta szczególnie w dużych miastach czego najlepszym przykładem jest Aglomeracja górnośląska, Aglomeracja jastrzębsko – rybnicka i Aglomeracja katowicka) (Ochrona...2014). Ruch drogowy systematycznie się nasila czego konsekwencją jest zanieczyszczenie powietrza z tego sektora, pomimo prób kontrolowania emisji. Pojazdy mechaniczne emitują mieszanę zanieczyszczeń, zawierającą między innymi wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, lotne związki organiczne, NO_x, metale ciężkie i pyły (Bignal i in. 2008).

Obecnie istnieją systemy kontrolujące zanieczyszczenie powietrza. Są one określone przez przepisy krajowe i międzynarodowe i monitorują stan powietrza atmosferycznego pod względem obecności różnych substancji i pyłów. Do tego celu wykorzystuje się rozmaite metody i aparaturę pomiarową. Stosuje się także metody biologiczne, czego przykładem jest bioindykacja, wykorzystująca organizmy żywe (Monaci i in. 2000). Bardzo dobrymi organizmami wskaźnikowymi są porosty od dawna stosowane w monitoringu biologicznym do oceny zanieczyszczenia powietrza (Burton 1986, Fałtynowicz 1994, 1995, Kranner i in. 2002, Sawicka – Kapusta i in. 2007, 2008 a, b, Kularante i de Freitas 2013).

1.2 Porosty jako biowskaźniki jakości powietrza

Tworzenie się porostów jest specyficzną formą symbiozy. Niektóre gromady grzybów – głównie workowce (*Ascomycota*) mają tendencje do łączenia się z glonami (sinicami z gromady *Cyanophyta* lub zielenicami z gromady *Chlorophyta*), na drodze której powstają porosty. Grzyby (mykobionty) wchodzi w trwałe symbiozy z glonami (fotobiontami). W tej symbiozie biorą udział całe organizmy i prowadzi to do wykształcenia się zupełnie nowych form – porostów. Według Krannera i in. (2002) porosty tworzą związek między mykobiontem i jednym lub wieloma fotosyntezującymi partnerami. Grzyb w tym związku formuje plechę oraz potrafi rozmnażać się płciowo. Mykobionty (grzyby) korzystają z produktów asymilacji i innych związków dostarczanych przez glony. Żyją one jako pasożyty lub saprotrofy. Fotobionty tracą zdolność rozmnażania płciowego i wchodzi w symbiozę porostową (Bystrek 1997, Kremer i Muhle 1998, Szweykowska i Szweykowski 2002).

Ze względu na typy zajmowanego podłoża można wyróżnić kilka grup siedliskowych porostów, są to (Kossowska 2014):

- porosty naziemne (epigeiczne), rosnące na odsłoniętej glebie, humusie i szczątkach organicznych;
- porosty naskalne (epilityczne), występujące na naturalnych skałach (m.in. na gnejsach, wapieniach, piaskowcach i granitach), często także na wytworzonych przez człowieka zaprawach murarskich, betonach i ceglach;
- porosty rosnące na martwym drewnie (epiksylityczne), zasiedlające pniaki i kłody itp.;
- porosty nadrzewne (epifityczne), kolonizujące pnie i gałęzie drzew, krzewów i krzewinek.

Porosty jako organizmy pionierskie zasiedlają nowe nisze ekologiczne, dzięki cechom pozwalającym przetrzymać skrajnie niskie temperatury i długie okresy suszy oraz występować na najbardziej ubogich podłożach. Dzięki tym cechom stały się także idealnymi przedstawicielami organizmów wskaźnikowych (Fałtynowicz 1995, Bystrek 1997, Wójciak 2003, Kossowska 2014).

Porosty są bardzo dobrymi bioakumulatorami zanieczyszczenia powietrza, ponieważ substancje potrzebne do życia pobierają wprost z opadów atmosferycznych

(Pilegaard 1979, Burton 1986, Kranner i in. 2002 Nash III 2008). Spełniają także kryteria dobrego bioindykatora, które podaje Conti i Cechcetti 2001:

- gromadzą zanieczyszczenia;
- mają szeroki zakres geograficzny;
- występują powszechnie;
- są dostępne przez cały rok
- posiadają wysoki współczynnik koncentracji zanieczyszczeń
- charakteryzują się prostą korelacją pomiędzy ilością zanieczyszczeń zawartych w organizmie do średniego stężenia zanieczyszczeń w otaczającym powietrzu atmosferycznym.

Zanieczyszczenie powietrza jest ogromnym problemem o charakterze globalnym. Dlatego należy starać się zmniejszać emisję zanieczyszczeń poprzez wprowadzanie nowych technologii np. w przemyśle ciężkim, przetwórstwie żywności i odpadów komunalnych. Zanieczyszczenia pyłowe PM10 i PM2,5 oraz gazowe (w tym zanieczyszczenia SO₂) są szczególnie powszechne zwłaszcza w miastach i aglomeracjach miejskich. Należy ciągle monitorować stan zanieczyszczenia powietrza poprzez wykorzystanie metod fizykochemicznych i biologicznych. Bioindykacja jest jakościową i ilościową oceną zanieczyszczeń powietrza, gleby i wody, która korzysta z biowskaźników (organizmów wskaźnikowych). Bioindykatorami mogą być pojedyncze gatunki, populacje, zbiorowiska roślin i zwierząt a nawet całe ekosystemy (Burton 1986, Fałtynowicz 1995, Loppi i in. 1997, Jeran i in.2007).

Porosty powszechnie wykorzystuje się do określenia skażeń powietrza spowodowanych dwutlenkiem siarki, pyłami zawieszonymi, metalami ciężkimi, wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi i radioaktywnymi izotopami (Świeboda i Kalemba 1978, Kranner i in. 2002, Pirintsos i in. 2006, Augusto i in. 2010). Porostów używa się do biomonitoringu stref przemysłowych, poprzemysłowych (Pilegaard 1979, Bargagli i in. 1997, Loppi i in. 1997, Bajpai i in. 2010), osiedli mieszkaniowych (Nimis 1990, Monaci i in. 2000), miast (Carreras i in. 2005, Józwiak 2009, Lodenius i in. 2010), a także w skali całego kraju (Freitas i in. 1999, Oluwole Olowojo 2011). Porosty są dobrymi biowskaźnikami radionuklidów (Kłós 2007, Nash III 2008). Po katastrofie w Czarnobylu w 1986 roku w Norwegii zaobserwowano znaczny ich wzrost w porostach i organizmach reniferów, które

żywiły się głównie porostami (Kabata – Pendias i Pendias 1993).

Powszechnie na całym świecie od lat 70` XX wieku używa się w bioindykacji różnych gatunków porostów w tym *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. (Pilegaard 1979, Williamson i in. 2007, Lodenius i in. 2010). Transplantacje porostów z wykorzystaniem tego gatunku także prowadzi się na terenie Polski (Białońska i Dayan 2005, Sawicka – Kapusta i in. 2007, 2008 b, Józwiak 2009). *Hypogymnia physodes* jest w stanie zakumulować wyższe stężenia zanieczyszczeń niż większość innych gatunków porostów epifitycznych (Mayer 2009). Jest dzięki temu jednym z najlepszych biowskaźników zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego.

1.3 Zanieczyszczenie powietrza w Dąbrowie Górniczej

Dąbrowa Górnicza jest jednym z największych miast Polski i największym miastem w województwie śląskim. Jest jednym z miast Aglomeracji Górnośląskiej, której cechy układu urbanistycznego powstały ze względu na eksploatację surowców kopalnych. Niekorzystny wpływ na rozwój przestrzenny poszczególnych miast aglomeracji i ich wizerunku wywiera nierównomierne rozmieszczenie obiektów i zakładów przemysłowych, przemieszanych z zabudową mieszkaniową i infrastrukturą miejską.

Jest to miasto, w którym ze względu na występowanie pokładów złóż naturalnych (m.in. rudy cynku i ołowiu, węgiel kamienny) zostały usytuowane liczne zakłady przemysłu ciężkiego (huta stali, koksownia, huta szkła, zakłady energetyczne). Położenie miasta należącego do Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego oraz rozbudowana sieć drogowo – kolejowa sprawiają, iż warunki do rozwoju przemysłu są bardzo duże, a budowanie specjalnych stref ekonomicznych sprzyja nowym inwestycjom i podnosi atrakcyjność miasta ze względu na korzystne warunki dla inwestorów. Obszar miasta leży na Wyżynie Śląskiej, co ma swoje przełożenie na ukształtowanie terenu oraz cechy klimatyczne. Bardzo gęsta zabudowa i usytuowanie dużych zakładów przemysłowych w najbliższym sąsiedztwie domostw sprawia, iż stan powietrza atmosferycznego jest zły. Miasto w 2013 roku uplasowało się na czwartym miejscu w Polsce (za Bogatynią, Koninem i Rybnikiem) wśród 148 miast o dużej skali zagrożenia środowiska z bardzo dużą emisją zanieczyszczeń pyłowych i gazowych powietrza z zakładów szczególnie uciążliwych (Ochrona...2014).

Do głównych źródeł zagrożeń dla środowiska w obrębie analizowanego obszaru należy zaliczyć:

- działalność przemysłową
- zanieczyszczenia komunikacyjne
- niską emisję (zanieczyszczenia z palenisk domowych).

W 2012 roku na terenie województwa śląskiego było 328 zakładów szczególnie uciążliwych. Z czego 233 posiadały urządzenia do redukcji zanieczyszczeń pyłowych, natomiast tylko 52 wyposażone były w urządzenia do redukcji zanieczyszczeń gazowych. W 2012 roku emisja z województwa śląskiego była najwyższa w Polsce dla takich zanieczyszczeń jak pyłowe (20%), gazowe ogółem, gazowe bez dwutlenku węgla i metanu (41%), dwutlenku siarki z procesów technologicznych, tlenków azotu, tlenku węgla oraz metanu. Odnotowano 682,5 tys. t zanieczyszczeń pyłowych i gazowych (bez CO₂). Emisja zanieczyszczeń gazowych (bez CO₂) wyniosła 671,9 tys. t, co stanowiło 41,3% emisji krajowej. Największą emisję zanieczyszczeń gazowych (bez CO₂) odnotowano w Dąbrowie Górniczej – 127,0 tys. t (stanowiło to aż 18,9% emisji w województwie). Najwięcej zanieczyszczeń pyłowych zanotowano w dwóch miastach na prawach powiatu w Dąbrowie Górniczej – 3,2 tys. t i Rybniku – 1,0 tys. t, co stanowiło 39,8% ogólnej emisji pyłów w województwie. Emisja pyłów na 1 km² powierzchni województwa śląskiego w 2012 roku wyniosła 0,9 t (Stan środowiska...2013).

W województwie śląskim składa się także odpady niebezpieczne, które są wykorzystywane gospodarczo (55,6%) oraz unieszkodliwiane (29,3%). Składowaniu poddaje się 26 729,9 ton odpadów niebezpiecznych, co stanowi 21,7% ich całkowitej ilości. Wytwarzanie odpadów niebezpiecznych w województwie śląskim jest przestrzennie nierównomierne - najczęściej tych odpadów powstaje w Bytomiu, Dąbrowie Górniczej, Katowicach i Tarnowskich Górach (Synteza...2003).

Ocena zanieczyszczenia powietrza w Dąbrowie Górniczej została przeprowadzona na prośbę lokalnej społeczności, mieszkańców dzielnicy Strzemieszyce Wielkie i Strzemieszyce Małe. Wybór miejsca badań nie jest przypadkowy, gdyż Dąbrowa Górnicza jest miastem o bardzo dużej koncentracji przemysłu (głównie przemysłu ciężkiego) oraz wielu zakładów przetwórstwa odpadów komunalnych i szczególnie niebezpiecznych. Teren zamieszkiwany przez wielotysięczną liczbę

mieszkańców jest według nich samych bardzo zanieczyszczony i ich prośba o przeprowadzenie badań miała na celu zwrócenie uwagi przedstawicielom administracji publicznej, lokalnym władzom oraz instytucjom związanym z ochroną środowiska w jakich warunkach muszą żyć i pracować na co dzień.

1.4 Cel pracy

Celem niniejszej pracy magisterskiej była wstępna ocena zanieczyszczenia powietrza Dąbrowy Górniczej metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki na podstawie akumulacji pierwiastków w transplantomach porostach *Hypogymnia physodes* jak również próba wskazania głównych źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza na tym obszarze.

Dodatkowym celem było porównanie stopnia zanieczyszczenia powietrza dwóch obciążonych przemysłem ciężkim miast Śląska: Dąbrowy Górniczej i Zawiercia.

2. MATERIAŁY I METODY

2.1 Obszar badań

Obszar badań rozciągał się na terenie miasta Dąbrowy Górniczej, a dokładniej jej wschodniej części, czyli dwóch dzielnic – Strzemieszyce Małe i Strzemieszyce Wielkie. Miasto to znajduje się w południowej części Polski, w województwie śląskim. Dąbrowa Górnicza leży w środkowo – wschodniej części województwa śląskiego i jest miastem na prawach powiatu. Graniczy w województwie śląskim z powiatem zawierciańskim, będzińskim oraz Sosnowcem – miastem na prawach powiatu, natomiast od wschodu z powiatem olkuskim położonym w województwie małopolskim (ryc. 1).

Obszar województwa śląskiego znajduje się w obrębie trzech prowincji, pięciu podprowincji i dziesięciu makroregionów fizycznogeograficznych. Dąbrowa Górnicza leży, według podziału fizycznogeograficznego w prowincji Wyżyny Polskie, podprowincji Wyżyna Śląsko – Krakowska, makroregionie Wyżyna Śląska (Kondracki, 2002, ryc. 2, tab. 1). Takie położenie wpływa na specyficzne dla całego obszaru cechy fizycznogeograficzne. Cechy klimatu tej części województwa śląskiego odgrywają znaczą rolę w rozmieszczeniu oraz transporcie zanieczyszczeń powietrza. Poznanie warunków atmosferycznych zwykle panujących na terenie Dąbrowy Górniczej jest bardzo ważne i pozwala na zrozumienie istoty badań oraz tego jak opady, temperatura, kierunek i siła wiatru oraz usłonecznienie mogą wpływać na zanieczyszczenie powietrza badanego terenu i pośrednio także na zdrowie mieszkańców.

Regionalizacja klimatyczna opracowana przez Romera wskazuje na położenie województwa śląskiego w zasięgu pięciu krain, należących do dwóch typów klimatycznych (ryc. 3). Północna i przyległy do niej środkowa część województwa charakteryzuje się wyższymi temperaturami powietrza stycznia i lipca, wyższą średnią roczną temperaturą powietrza, oraz mniejszą amplitudą średnich temperatur (w porównaniu do części południowej województwa), a okres wegetacyjny jest dłuższy o kilka dni w porównaniu do pozostałego obszaru województwa. Stosunki anemologiczne, które są wynikiem współdziałania ogólnej cyrkulacji atmosfery i warunków lokalnych są przedstawiane za pomocą róż wiatru, opisujących rozkład przeważających kierunków wiatru i średnich prędkości w zależności od kierunku. W południowej Polsce układ prędkościowych i częstościowych róż wiatru jest podobny. Dominują tu wiatry z sektora zachodniego (NW – SW), które stanowią ponad 60%

wszystkich częstotliwości wiatru. Wiatry z tego sektora charakteryzują się również najwyższymi średnimi prędkościami (Romer 1949, www.spjp.katowice.pios.gov.pl). Cisze występują przez ok. 70 dni w roku (czyli około 20% czasu w roku). Pozostałe wiatry mają zwykle niewielką siłę. Dodatkowo w Dąbrowie Górniczej notowanych jest stosunkowo wiele dni pochmurnych, ok. 178, czyli blisko 49% czasu w roku. Najmniejsze zachmurzenie notuje się w sierpniu i wrześniu, zaś największe na przełomie jesieni i zimy, w listopadzie, grudniu i styczniu (ryc. 4 – 8). Tego rodzaju charakterystyka warunków meteorologicznych wpływa niekorzystnie na sposób rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń emitowanych do powietrza (Program...2008, 2012).

Powierzchnia miasta wynosi 188,5 km² (województwo śląskie – 12 333 km²) – daje to 1 miejsce w województwie śląskim oraz 9 w Polsce. Liczba ludności wynosi 123 tysiące (województwo śląskie – 4 585 900). Gęstość zaludnienia to 652 os./km² (dla całego kraju wynosi 123 os./km², a dla woj. śląskiego – 372 os./km²) (Powierzchnia...2014).

Ukształtowanie powierzchni Dąbrowy Górniczej jest związane w dużej mierze z budową podłoża i przeszłością geologiczną. Teren miasta odznacza się dużymi różnicami wzniesień (od 249 m n.p.m. – punkt w środkowej części wyrobiska Kuźnica Warężyńska – obecnie dno zbiornika Pogoria IV, do 390 m n.p.m. – punkt położony na bezimiennym wzgórzu na północ od Łośnia) (Program...2008).

Dąbrowa Górnicza to miasto o bardzo zróżnicowanym krajobrazie. Z jednej strony krajobraz miejski tworzą zakłady przemysłowe natomiast z drugiej – unikatową specyfiką miasta, jest bogactwo przyrodnicze. Rośnie tutaj ponad 50 chronionych gatunków roślin. Na bazie wyrobisk po piaskowych powstał kompleks czterech sztucznych zbiorników wodnych „Pogoria” (Pogoria I, II, III i IV).

Jednym z ciekawszych obszarów miasta jest jego południowo-wschodnia część, gdzie znajduje się fragment Pustyni Błędowskiej (zwaną Polską Saharą) z charakterystycznymi dla obszarów pustynnych florą i fauną. (Program...2008).

2.2 Teren kontrolny

Obszarem jaki został wybrany na teren kontrolny była otulina Parku Narodowego Bory Tucholskie. Sam park narodowy został powołany w 1996 roku i był stworzony, aby

obejmować swym zasięgiem obszary cenne przyrodniczo, krajobrazowo oraz kulturowo. Park znajduje się w województwie pomorskim w gminie Chojnice. Jego obszar zajmuje powierzchnię 4613,05 ha, natomiast otulina parku to 12980,52 ha.

Rzeźba terenu występująca na obszarze parku z równinami sandrowymi, rynnami oraz wytopiskami to pozostałość po ostatnim zlodowaceniu bałtyckim (Włostowska 1998). Najwyższym wzniesieniem w obrębie Borów Tucholskich jest. Góra Wolność nad Jeziorem Charzykowskim (206,2 m n.p.m.), zaś najniżej położony punkt znajduje się w dolinie rzeki Wdy i sięga zaledwie 66,5 m n.p.m.

Według klasyfikacji klimatycznej Bory Tucholskie leżą w Regionie Pojezierza Pomorskiego. Przeważa tam klimat umiarkowany z zaznaczającym się wpływem oceanicznych mas powietrza. Wyraźnie zaznaczają się tu dwie strefy mikroklimatyczne – północna i południowa. Część północna ze średnią roczną temperaturą powietrza wynoszącą 6,5° C oraz opadami atmosferycznymi dochodzącymi do 660 mm rocznie, gdzie okres wegetacyjny trwa 220 dni, różni się od strefy południowej, w której średnia roczna temperatura powietrza wynosi 7° C, opady to 560 mm, a okres wegetacyjny trwa 215 dni. Lokalny mikroklimat wzbogacany jest obecnością dużej ilości zbiorników i cieków wodnych m.in. rzek Wda i Brda, w dorzeczu których zlokalizowany jest park (Burda i Grzempa 2000, www.borytucholskie.org.pl, www.borytucholskie.com).

Park Narodowy Bory Tucholskie to w głównej mierze tereny leśny, gdzie aż 83% powierzchni zajmują lasy porastające gleby bielicowe. Przeważającymi siedliskami są zatem bory suche oraz bory świeże. Na terenie parku znajduje się 21 jezior. Reprezentują wszystkie typy troficzne, charakterystyczne dla zbiorników wodnych niżu polskiego. Łączy się z tym występowanie licznych gatunków roślin i zwierząt, charakterystycznych dla tego rodzaju siedliska.

Na terenie Parku Narodowego Bory Tucholskie występuje ochrona ścisła obejmująca 7% obszaru, częściowa 91%, zaś pozostałe 2% to ochrona krajobrazowa. Głównym celem ochrony przyrody w Parku Narodowym Bory Tucholskie jest zachowanie sandrowo – pojeziernego typu krajobrazu wraz z jego naturalną różnorodnością biologiczną. Występowanie na tym terenie jezior lobeliowych, torfowisk oraz borów sosnowych jest podstawowym czynnikiem, który wprowadza priorytetowe zadania ochronne dla zachowania tych biocenoz w postaci naturalnej i niezmienionej.

Na szczególną uwagę zwraca fakt wydzielenia stref ochronnych siedlisk i ostoi dla części porostów występujących w parku. Objęte strefami ochronnymi są porosty z rodzaju *Usnea*: brodaczka zwyczajna (*Usnea filipendula*), brodaczka kędzierzawa (*Usnea subfloridana*) oraz brodaczka kępkowa (*Usnea hirta*). Na terenie parku ustanowiono pierwszy rezerwat lichenologiczny – Bór Chrobotkowy im. Profesorowa Zygmunta Tobolewskiego (Lipnicki 2003, www.pnbt.com.pl).

Ta duża ilość porostów świadczy o niskim zanieczyszczeniu tego terenu. Wykonana w 2003 roku ocena zanieczyszczenia powietrza PNBT zaklasyfikowała go jako czysty (Sawicka – Kapusta i in. 2005).

2.3 Materiały

Porostem użytym do badań był epifityczny porost *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., (pustułka pęcherzykowata) (ryc. 9). Jest to gatunek powszechnie stosowany w badaniach biomonitoringowych w znacznej części Europy, głównie ze względu na swoje pospolite występowanie i stosunkowo dużą odporność na zanieczyszczenia. Uważany jest za jeden z najodpowiedniejszych gatunków porostów zarówno do monitoringu czynnego jak i aktywnego (Puckett 1988, Jeran 1996, Conti i Cecchetti 2001, Kranner i in. 2002). Także na terenie Polski jest on używany powszechnie do przeprowadzania badań oceny zanieczyszczenia powietrza m.in. metalami ciężkimi oraz dwutlenkiem siarki (Kostrzewski i in. 2006, Sawicka – Kapusta i in. 2008 a, b, 2010, 2014). Pustułka pęcherzykowata jest porostem o listkowej plesze koloru szarozielonego lub szarego. Średnica plechy może dochodzić do około 5 cm. Ma silnie pofałdowaną górną część plechy, a na końcach plechy natomiast widnieją dychotomiczne rozgałęzienia często wywinięte ku górze. Dolna część plechy nie posiada chwytników, jest koloru czarnego, na obwodzie może przybierać barwę brunatną lub brunatnoszarą. Przytwierdza się do podłoża za pomocą zmarszczek kory dolnej. *Hypogymnia physodes* występuje w bardzo różnych siedliskach i na wielu rodzajach podłoża. Porasta między innymi korę drzew, gałązki krzewów i krzewinek, murszejące drewno oraz skały. Zasiedla także zbiorowiska leśne oraz bezleśne. Wzdłuż brzegów Bałtyku porasta także piaski na wydmach nadmorskich (Fałtynowicz 1994, 1995).

Według obowiązującej obecnie klasyfikacji (Nasz III 2008) *Hypogymnia physodes* należy do:

Gromady: Workowce (*Ascomycota*)

Podgromady: *Pezizomycotina*

Klasy: Zlichenizowane grzyby workowe – porosty (*Lecanoromycetes*)

Podklasy: Pawężniczaki (*Lecanoromycetidae*)

Rzędu: Misecznicowce (*Lecanorales*)

Rodziny: Tarczownicowate (*Parmeliaceae*)

Rodzaju: Pustułka (*Hypogymnia*).

2.4 Metody

2.4.1 Transplantacja

Metoda jaką użyto w badaniach oceny zanieczyszczenia powietrza Dąbrowy Górniczej jest transplantacja porostów. Metoda transplantacji porostów polega na zebraniu plech porostów wraz z ich podłożem z terenów kontrolnych czyli niezanieczyszczonych, oraz następnie wystawienie porostów na ekspozycję zanieczyszczeń na terenie przeprowadzanych badań przez określony czas (Pilegaard 1979, Jeran i in. 1995, Kranner i in. 2002). Najczęściej jest to okres sześciu miesięcy obejmujący sezon grzewczy (zimowy) i sezon poza grzewczy (letni) (Sawicka – Kapusta i in. 2008 a). Kolejnym etapem jest przeprowadzenie analizy morfologicznej oraz chemicznej. Identyfikacja zanieczyszczeń (m.in. emisja metali ciężkich oraz dwutlenku siarki) pochodzących ze źródeł przemysłowych oraz transportu samochodowego i kolejowego jest możliwa dzięki zastosowaniu metody transplantacji porostów w tym przypadku porostów z gatunku *Hypogymnia physodes*.

Materiał do badań został zebrany z terenu otuliny Parku Narodowego Bory Tucholskie. Gałązki sosny porośnięte plechami porostu *Hypogymnia physodes* zostały związane w wiązki. Każda wiązka składała się z około trzech - pięciu gałązek o długości 20 – 30 cm. Następnie takie wiązki zostały przytwierdzone na wysokości 2 metrów nad powierzchnią gruntu do drzew w każdym z 35 wyznaczonych stanowisk na terenie Dąbrowy Górniczej, starając się, aby nie były one osłonięte przed napływem mas powietrza (ryc. 10).

Z wyznaczonych 35 stanowisk transplantacyjnych, na terenie Dąbrowy Górniczej, utworzono pięć rejonów umożliwiających oszacowanie wpływu głównych źródeł emisji zanieczyszczeń (ryc. 11).

Były to:

– **rejon HK1** – najbliższe sąsiedztwo huty ArcelorMittal Polska – huta stali (była Huta Katowice), położonej na północy badanego terenu. Obszar ten obejmuje osiem stanowisk. Punkty 9, 10 ulokowane przy ulicy Kazdębie 62 i 113, punkt nr 11 przy ulicy Koksowniczej IV, cztery stanowiska (12 – 15) przy ulicy Gołonoskiej (I, II, III i IV) i punkt 31 przy ulicy Grzybowej 5 (tab. 2, ryc. 11).

– **rejon HK2** – okolice oddalone nieznacznie od huty stali ArcelorMittal Polska (ok. 1 km) i położone w pobliżu Koksowni „Przyjaźń”. Na tym obszarze rozmieszczono 7 stanowisk. Punkt 3 znajdowały się w ogrodzie domu jednorodzinnego przy ul. Głównej 136, punkt 4 przy ul. Lipowej (dojazd do składowiska odpadów komunalnych), punkt 5 natomiast przy ul. Głównej 206. Trzy stanowiska (6 – 8) ulokowane zostały przy ulicy Koksowniczej (I, II, III, oddziaływanie koksowni), a punkt nr 16 przy ul. Kazdębie 2A (teren przedszkola „Tęczowa Kraina”) (tab. 2, ryc. 11)

– **rejon OM** – teren osiedli mieszkaniowych. Stanowiska transplantacyjne rozlokowane były na południe od Huty stali ArcelorMittal oraz na zachód od huty szkła SAINT GOBAIN SEKURIT. Rejon ten obejmuje 10 stanowisk. Punkt 17 przy ulicy Żurawiej 19, punkt nr 18 przy ulicy Bocznej 23, punkt 19 przy ulicy Sosnowieckiej 44A, punkt 20 przy ulicy Sportowej 16 (na terenie Szkoły Podstawowej nr 2), przy ulicy Łaziennej punkt 22 (plac zabaw) i Łaziennej 26 punkt 23. Stanowisko nr 24 znajdowało się przy ulicy Modrzejowskiej 35 (sad owocowy), natomiast nr 25 przy ulicy Warszawskiej 71. Punkt 26 przy ulicy Ofiar Katynia 12, natomiast punkt nr 27 ulokowano przy ulicy Chabrowej (tab. 2, ryc. 11)

– **rejon D+K** – obszar położony przy drodze krajowej DK94 oraz w pobliżu linii kolejowych. Punkt 1 znajdował się przy ulicy Kawa 20, punkt 2 przy ulicy Głównej 19 (bliska odległość DK94). Punkt nr 21 ulokowany został przy ulicy Orkana (w najbliższym sąsiedztwie linii kolejowej). Punkt 28 przy ulicy Majewskiego 190. Punkt nr 30 usytuowany był przy ulicy Puszkina 35 (bliskie sąsiedztwo DK94). Stanowisko nr 32 znajdowało się przy ulicy Fabrycznej 8 (bliskie sąsiedztwo DK94 oraz linii kolejowej) (tab. 2, ryc. 11)

– **rejon HS** – okolice huty szkła - SAINT GOBAIN SEKURIT HanGlas Polska Sp. z o.o obejmował tylko trzy punkty (33 – 35), gdzie stanowisko 33 znajdowało się przy skrzyżowaniu ulic Strzemieszyckiej i Szklanych Domów, punkt 34 przy ulicy Rudnej 24, a punkt 35 przy ulicy Strzemieszyckiej 52) (tab. 2, ryc. 11).

Przeprowadzona została jedna sześciomiesięczna transplancja zimowa trwająca od 20 listopada 2013 roku do 20 maja 2014 roku. Jedna wiązka transplancowanych porostów (stanowisko 29) ulokowana przy ulicy Puszkina 15 nie została odnaleziona i prawdopodobnie było to związane z wycinką drzew przeprowadzonych na tym terenie lub ingerencją osób trzecich.

Po okresie zimowej transplancji zdjęto porosty i przetransportowano do laboratorium, gdzie dokładnie oddzielono plechy porostów od kory znajdującej się na gałązkach i oczyszczono. Następnie zebrane plechy porostów zostały w kopertach papierowych poddane suszeniu w temperaturze 60° C do uzyskania stałej masy i po tym zabiegu poddano je analizie chemicznej. Także próby kontrolne zebrane w Borach Tucholskich zostały poddane tym samym zabiegom.

2.4.2 Oznaczenie metali ciężkich w plechach porostów *Hypogymnia physodes*

Po wysuszeniu z każdej próby odważono 0,5 g zhomogenizowanego materiału i przeniesiono do kwarcowych tygli. Następnie zalano mieszaniną spektralnie czystych stężonych kwasów: kwasu azotowego (V) i kwasu nadchlorowego w proporcji 4:1 (Pilegaard 1979, Sawicka-Kapusta i Rakowska 1993). Przykryte szkiełkami tygle pozostawiono na okres jednej doby w temperaturze pokojowej. Kolejnym etapem było przeniesienie tygli na łaźnię elektryczną i stopniowe, wolne mineralizowanie prób przez okres około 3 tygodni w temperaturze od 30° C do 100° C, aż do uzyskania jasnego i klarownego roztworu. Próby odparowano prawie do sucha i przesączono oraz dopełniono wodą redestylowaną do objętości 10 ml. Próby ślepe oraz próby kontrolne z Borów Tucholskich poddano tym samym czynnościom według podanego powyżej procedury.

Roztwory analizowane były metodą spektroskopii absorpcyjnej (AAS). Kadm, ołów, nikiel i chrom oznaczano metodą bezpłomieniową w spektrofotometrze PerkinElmer AAnalyst 800 z kuwetą grafitową, a miedź, cynk i żelazo

w spektrofotometrze PerkinElmer AAnalyst 200 w płomieniu gazowym acetylen-powietrze. Metale oznaczano przy następujących długościach fali: Cd – 228,8 nm, Pb – 283,3 nm, Cu – 324,7 nm, Cr – 357,9 nm, Ni – 232 nm, Zn – 213,9 nm i Fe – 248,3 nm. Analizowano również materiał referencyjny CRM 482. Odzysk wynosił od 93,52 dla Pb do 98,98% dla Cd.

Wyniki koncentracji metali ciężkich w plechach porostów podano w $\mu\text{g/g}$ suchej masy.

Dla każdego z transplantowanych porostów została obliczona akumulacja poszczególnych pierwiastków (Cd, Pb, Cu, Cr, Ni, Zn, Fe). Uzyskane wartości akumulacji pierwiastków wskazują o ile wyższe jest stężenie danego pierwiastka po sześciomiesięcznej transplantacji od jego stężenia wyjściowego (początkowego) w porostach z terenu kontrolnego (Sawicka – Kapusta i in. 2008 a).

2.4.3 Oznaczenie siarki w plechach prostu *Hypogymnia physodes*

Do oznaczenia siarki ogólnej użyto metodę turbidymetryczną Buttersa – Chenry`ego. Metoda ta polega na pomiarze światła przepuszczonego przez koloidalną zawiesinę powstałą przez połączenie siarki z chlorkiem baru. Zmętnienie powstałe podczas przeprowadzania kolejnych etapów metody turbidymetrycznej jest wprost proporcjonalne do stężenia siarki w oznaczanym roztworze (Nowosielski 1968, Białońska i Dayan 2005). Plechy porostów wcześniej oddzielonych od kory znajdującej się na gałązkach oraz poddane suszeniu w temperaturze 60° C do stałej masy, zostały odważone po ok. 0,2 g dla każdej z 34 prób z badanego obszaru Dąbrowy Górniczej i następnie umieszczono w zlewkach o objętości 50 ml. Materiał zalano 2 ml stężonego dymiącego kwasu azotowego, nakryto szkiełkami i pozostawiono na noc w temperaturze pokojowej. Następnie ogrzewano próby na łaźni wodnej, a po całkowitym odparowaniu kwasu dodano do nich po 2 ml azotanu magnezu i ponownie umieszczono na łaźni i odparowano.

Tak przygotowane próby zostały spalone w piecu sylitowym w temperaturze 450° C (czas spalania około 12 godzin). Po wystudzeniu zlewek materiał zalano 5 ml 25% kwasu azotowego, a następnie po rozpuszczeniu osadu, zawartość zlewki przesączono do kolbek miarowych o objętości 50 ml i dopełniono do kreski wodą destylowaną. Z każdej kolbki miarowej pobrano po 30 ml roztworu i przeniesiono do kolbek miarowych

o objętości 50 ml, dodając następnie do nich po 5 ml 50% kwasu octowego, 3 ml 25% kwasu azotowego i 1 ml 50% kwasu ortofosforowego, a następnie dolano wodę destylowaną do objętości ok. 48 ml i dokładnie wymieszano. Dodano do każdej z kolbek po 1 g chlorku baru i tak utworzony roztwór odstawiono na 10 minut.

Po upływie 10 minut każdą z kolbek mieszano dwa razy, po kolejnych 5 minutach znów wymieszano dwukrotnie, natomiast po kolejnych 5 minutach dziesięciokrotnie zmieszano. Dodano po 1 ml roztworu gumy arabskiej, dopełniono do 50 ml wodą destylowaną, wymieszano dwukrotnie i odstawiono na 1,5 godziny, a po tym czasie wymieszano dziesięciokrotnie.

Powstałe roztwory oraz ślepe próby umieszczano kolejno w kolorymetrze i analizowano ich zmętnienie. Zastosowano kolorymetr Helios i długość fali 490 nm.

Wartości koncentracji siarki na poszczególnych stanowiskach przeliczono na akumulację, wykorzystując otrzymane w toku analizy stężenia w plechach z terenu kontrolnego – otuliny Parku Narodowego Borów Tucholskich (Sawicka – Kapusta i in. 2008 a).

2.4.4 Analiza statystyczna

Dla każdego z pięciu rejonów (HK1, HK2, OM, D+K, HS) obliczono średnie stężenia poszczególnych pierwiastków (Cd, Pb, Ni, Cr, Cu, Zn, Fe, S). Podano także zakres minimalnych i maksymalnych wartości dla każdego z rejonów i dla każdego z pierwiastka. Uzyskane wyniki posłużyły do dalszej analizy statystycznej.

Na początku określono istotność różnic pomiędzy pięcioma rejonami (HK1, HK2, OM, D+K, HS) w Dąbrowie Górniczej. Zastosowano do tego jednoczynnikową analizę wariancji – ANOVA oraz test a posteriori Tukey`a. Przyjętym poziomem istotności była wartość 0,05 (Łomnicki 2010). W taki sam sposób została określona istotność różnic pomiędzy dwoma miastami Zawierciem i Dąbrową Górniczą. Wyniki zostały przedstawione w formie graficznej (tylko te różnice, które były istotne statystycznie, $p < 0,05$). Następnie przeprowadzono analizę stężeń metali ciężkich i siarki w porostach (dendrogram), do której użyto Metody Warda.

Wszystkie analizy statystyczne wykonano przy pomocy programu komputerowego Statgraphics Centurion XV (wersja 15.1.02).

3. WYNIKI

3.1 Koncentracja metali ciężkich i siarki w plechach *Hypogymnia physodes* z terenu kontrolnego

Dla porostów *H. physodes* z terenu kontrolnego (otulina Parku Narodowego Bory Tucholskie) średnia koncentracja w plechach wyniosła odpowiednio dla kadmu 0,33 µg/g s.m., ołowiu 2,43 µg/g s.m., niklu 1,21 µg/g s.m, chromu 0,55 µg/g s.m., miedzi 3,3 µg/g s.m., cynku 61 µg/g s.m., a dla żelaza 352 µg/g s.m.. Natomiast koncentracja siarki to 1205 µg/g s.m (tab. 3). Stężenia metali w plechach były stosunkowo niskie i mieściły się w granicach pomiarów z terenu czystego. Natomiast poziom siarki jak na teren kontrolny był bardzo wysoki. Wyniki te wykorzystano dla określenia poziomu sześciomiesięcznej akumulacji poszczególnych pierwiastków w plechach transplantowanych na obszarze Dąbrowy Górniczej.

3.2 Koncentracja i akumulacja metali ciężkich i siarki w plechach porostu *Hypogymnia physodes* w sezonie zimowym 20013/2014

Wszystkie wyniki koncentracji i akumulacji metali ciężkich i siarki w plechach porostów *Hypogymnia physodes* z 34 punktów znajdują się w tabelach 4 – 7, natomiast średnie akumulacje poszczególnych pierwiastków dla badanych rejonów w tabeli nr 8.

Kadm

Średnia koncentracja kadmu w transplantowanych plechach porostów w Dąbrowie Górniczej w sezonie zimowym wyniosła 1,78 µg/g. Pojedyncze wartości mieściły się w przedziale od 0,61 µg/g do 4,49 µg/g (tab. 4).

Średnia akumulacja dla kadmu ze wszystkich punktów pomiarowych wyniosła 1,45 µg/g. Zakres wartości wahał się od 0,28 µg/g przy ul. Chabrowej (punkt nr 27) położonym na osiedlu mieszkaniowym do 4,16 µg/g w punkcie nr 34 przy ul. Rudnej, w rejonie huty szkła (tab. 4, 8). Niskie wartości tego metalu zanotowano również na dwóch stanowiskach zlokalizowanych na osiedlu mieszkaniowym. Były to punkty nr 18 na ul. Bocznej 23 (0,31 µg/g) i nr 20 na ul. Sportowej (0,35 µg/g). Wysokie wartości akumulacji kadmu stwierdzono w rejonie oddziaływania huty stali i koksowni (HK2) w punkcie nr 7 ul. Koksownicza II (3,38 µg/g) i w najbliższym sąsiedztwie huty stali (HK1) w punkcie nr 11 Koksownicza IV przy taśmociągu (3,19 µg/g). Pozostałe

wartości wahały się od 0,52 µg/g w punkcie nr 17 przy ul. Żurawiej położonym na osiedlu mieszkaniowym do 2,62 µg/g w punkcie nr 10 ul. Każdębie 113 w bliskim sąsiedztwie huty (tab. 4). Biorąc pod uwagę pięć wyznaczonych rejonów Dąbrowy Górniczej najniższą średnią akumulację kadmu wykazano na osiedlu mieszkaniowym 0,60 µg/g, dwukrotnie wyższą wzdłuż głównej drogi i linii kolejowej 1,21 µg/g. W rejonie oddziaływania huty stali i koksowni średnie akumulacje wynosiły odpowiednio 1,93 µg/g i 1.81 µg/g. Najwyższą średnią akumulację kadmu wykazano w rejonie oddziaływania huty szkła 2,59 µg/g (tab. 8).

Ołów

Po sześciomiesięcznej transplantacji na terenie Dąbrowy Górniczej średnia koncentracja ołowiu w plechach porostów wynosiła 36,55 µg/g. Wartości mieściły się w przedziale od 10,89 µg/g do 126,35 µg/g (tab. 4).

Średnia akumulacja ołowiu ze wszystkich stanowisk transplantacyjnych wyniosła 34,12 µg/g. Wartości mieściły się w przedziale od 0,84 µg/g do 123,92 µg/g. Zdecydowanie najwyższe stężenie odnotowano w punkcie numer 7 na stanowisku Koksownicza II w rejonie oddziaływania koksowni, wynoszące 123,92 µg/g. Najniższą wartość ołowiu posiadały porosty z punktu nr 25 przy ul. Warszawskiej w rejonie osiedla mieszkaniowego. Jeszcze na pięciu stanowiskach zarejestrowano akumulację ołowiu poniżej 15 µg/g, od 9,64 µg/g w punkcie 27 przy ul Chabrowej do 13,10 µg/g w punkcie 31 przy ul. Grzybowej. Wysokie wartości akumulacji ołowiu wykazano w punkcie 6 na stanowisku Koksownicza I 101,54 µg/g i punkcie nr 11 na stanowisku Koksownicza IV przy taśmociągu huty stali 93,07 µg/g. Pozostałe wartości wahały się od 14,81 µg/g w punkcie 28 przy ul. Majewskiego 190 w rejonie oddziaływania drogi i linii kolejowej do 72,28 µg/g w punkcie nr 14 na stanowisku Gołonoska III w bliskim sąsiedztwie huty (tab. 4). Biorąc pod uwagę pięć wyznaczonych rejonów Strzemieszyc najniższą średnią akumulację ołowiu wykazano na osiedlu mieszkaniowym 17,63 µg/g, prawie dwukrotnie wyższą wzdłuż głównej drogi i linii kolejowej 27,53 µg/g oraz w okolicach huty szkła 31,25 µg/g. Najwyższe średnie wartości akumulacji ołowiu wynoszące 46,14 µg/g i 50,81 µg/g wykazano odpowiednio w rejonie oddziaływania huty stali (HK1) oraz koksowni (HK2) (tab. 8).

Chrom

Średnia koncentracja chromu w plechach porostu *Hypogymnia physodes* na terenie Dąbrowy Górniczej wyniosła 8,54 µg/g s.m. Najniższą koncentrację chromu wynosiła 1,57 µg/g, a najwyższą 50,02 µg/g (tab. 5).

Średnia akumulacja chromu dla wszystkich stanowisk w Dąbrowie Górniczej wyniosła 7,99 µg/g s.m. Zakres pojedynczych wartości wahał się od 1,02 µg/g w punkcie nr 20 przy ul Sportowej na osiedlu mieszkaniowym do 49,47 µg/g. na stanowisku nr 11 na stanowisku Koksownicza IV w bliskim sąsiedztwie huty stali. W punkcie nr 18 przy ul. Bocznej 23 położonym na osiedlu mieszkaniowym wykazano bardzo dużą ilość chromu wynoszącą 20,62 µg/g. Jeszcze w dziewięciu punktach zanotowano wysoką akumulację chromu od 7,42 do 17,82 µg/g. Wszystkie te stanowiska były zlokalizowane w rejonie oddziaływania huty stali (HK1) i koksowni (HK2). W pozostałych punktach wartości były niższe i wahały się od 1.15 µg/gw punkcie nr 27 na ul. Chabrowej (OM) do 6,36 µg/g w punkcie 30 przy ul. Puszkina 35 oddziaływanie drogi (D+K) (tab. 5). Najniższą średnią akumulację chromu dla pięciu rejonów Dąbrowy Górniczej wykazano w rejonie oddziaływania huty szkła 3,15 µg/g a najwyższą 14,48 µg/g w najbliższej okolicy huty stali (tab. 8).

Nikiel

Średnia koncentracja niklu w plechach porostów transplutowanych na terenie Dąbrowy Górniczej wyniosła 13,00 µg/g s.m. Wartości mieściły się w przedziale od 1,21 µg/g do 194,94 µg/g (tab. 5).

Wynik średniej akumulacji niklu dla wszystkich 34 stanowisk w badanym obszarze to 11,79 µg/g. Wartości wahały się od 0,00 µg/g do 193,73 µg/g. Nie wykazano żadnej akumulacji niklu w punkcie nr 27 przy ul. Chabrowej. Kolejnymi stanowiskami z najniższymi wartościami dla niklu były punkt nr 20 (u. Sportowa 16, rejon OM) z wartością 0,51 µg/g, punkt nr 26 przy ul. Ofiar Katynia 12 (rejon OM) z wynikiem 0,62 µg/g, punkt nr 31 (ul. Grzybowa 5, rejon HK1) oraz stanowisko przy ul. Głównej 19 w rejonie D+K z wartością niklu na poziomie 0,69 µg/g. Ekstremalnie wysoką wartość 193,73 µg/g wykazano w punkcie nr 18 przy ul. Bocznej. Jeszcze na dwóch stanowiskach 7 i 11 stwierdzono stosunkowo wysoką ilość tego metalu wynoszącą odpowiednio 22,49 i 87,61 µg/g. Na pozostałych stanowiskach akumulacja niklu w transplutowanej *Hypogymnia physodes* mieściła się w przedziale od 0,78 µg/g w punkcie nr 33 przy

ul. Strzemieszyckiej (HS) do 12,29 $\mu\text{g/g}$ w punkcie nr 25 przy ul. Warszawskiej w rejonie osiedla mieszkaniowego (tab. 5). Rozpatrując akumulację niklu w pięciu badanych rejonach Strzemieszyc najwyższą średnią wartość 21,23 $\mu\text{g/g}$ wykazano na osiedlu mieszkaniowym co jest związane z wystąpieniem w tym rejonie ekstremalnej wartości akumulacji tego metalu 193,73 $\mu\text{g/g}$. Bez tej wartości średnia akumulacja niklu dla OM wynosi 2,06 $\mu\text{g/g}$ i jest niższa od wykazanej w rejonie oddziaływania huty stali (14,76 $\mu\text{g/g}$), koksowni i ruchliwych dróg i linii kolejowych. O połowę niższą, w stosunku do rejonu HK1, akumulację niklu zanotowano w obszarze oddziaływania koksowni 7,05 $\mu\text{g/g}$ (HK2). Najniższą średnią akumulację niklu 1,49 $\mu\text{g/g}$ wykazano w bliskim sąsiedztwie huty szkła. Również oddziaływania komunikacji (D+K) nie generowało wysokiej akumulacji niklu, która kształtowała się na poziomie 2,78 $\mu\text{g/g}$ (tab. 8).

Miedź

Średnia koncentracja miedzi w plechach porostów *Hypogymnia physodes* z terenu Dąbrowy Górniczej wyniosła 8,0 $\mu\text{g/g}$. Wartości koncentracji zamykały się w przedziale od 3,3 $\mu\text{g/g}$ do 17,3 $\mu\text{g/g}$ (tab. 6).

Średnia akumulacja miedzi w transplantowanych porostach wyniosła 4,7 $\mu\text{g/g}$ s.m. W dwóch punktach: nr 17 na ul. Żurawiej i nr 20 na ul. Sportowej położonych na terenie osiedla mieszkaniowego nie wykazano w ciągu sześciomiesięcznej transplatacji porostów akumulacji miedzi. Najniższą wartość zarejestrowano na stanowisku nr 18 na ul. Bocznej 0,7 $\mu\text{g/g}$, a najwyższą 14,0 $\mu\text{g/g}$ na stanowisku 11 na stanowisku Koksownicza IV w rejonie huty stali (tab.6). Wysokie akumulacje stwierdzono także w punktach: nr 33 (przy skrzyżowaniu ul. Strzemieszyckiej i Szklanych Domów, rejon HS) wynoszącą 9,6 $\mu\text{g/g}$, nr 10 (stanowisko przy ul. Kazdębie 113, rejon HK1) z wynikiem 9,2 $\mu\text{g/g}$ (tab.8). Średni poziom miedzi w transplantowanych porostach w pięciu badanych rejonach był wyrównany z wyjątkiem osiedla mieszkaniowego, gdzie był najniższy i wynosił średnio dla dziesięciu punktów 1,8 $\mu\text{g/g}$ (tab. 8).

Cynk

Średnia koncentracja cynku w plechach transplantowanych porostów *Hypogymnia physodes* wyniosła 264 $\mu\text{g/g}$. Wartości koncentracji zamykały się w przedziale od 95 $\mu\text{g/g}$ do 2 000 $\mu\text{g/g}$ (tab. 6).

Średnia akumulacja cynku w Dąbrowie Górniczej w sezonie zimowym wyniosła 203 µg/g. Najniższe wartości stwierdzono przy ul. Chabrowej (punkt nr 27) oraz przy ul. Sportowej 16 i ul. Bocznej 23. Kolejno były to wartości równe 34 µg/g, 36 µg/g i 42 µg/g. Wszystkie te punkty znajdowały się w rejonie OM, dla którego średnia akumulacja cynku wśród wszystkich pięciu analizowanych rejonów była najniższa i wyniosła 68 µg/g. Najwyższe wartości akumulacji tego metalu odnotowano w dwóch rejonach HK1 i HK2 (tab.8). Były to punkty na stanowisku Koksownicza IV (wartość 1 939 µg/g), Koksownicza II (wartość 406 µg/g), Koksownicza I (wartość 349 µg/g), Gołonoska III (wartość 317 µg/g), Gołonoska II (wartość 310 µg/g) (tab. 6).

Żelazo

Biorąc pod uwagę wszystkie stanowiska transplatacji zimowej w Dąbrowie Górniczej średnia koncentracja żelaza w plechach porostów wyniosła 7 101 µg/g. Najniższa wartość to 1 054 µg/g, natomiast najwyższa wyniosła 38 950 µg/g (tab. 7).

Średnia akumulacja żelaza mieściła się między 702 µg/g w punkcie nr 20 (rejon OM), a 38 589 µg/g w punkcie nr 11 (rejon HK1). Najniższe wartości odnotowano w rejonie OM w punktach nr 20 i 18 (odpowiednio 702 µg/g i 1 286 µg/g). Najwyższe wyniki stwierdzono w rejonach HK1 i HK2. Wartości z rejonu HK1 w punkcie nr 11, 14, 15, 13 wynosiły odpowiednio 38 598 µg/g, 29 053 µg/g, 28 012 µg/g i 27 772 µg/g. W rejonie HK2 w punktach nr 7 i 6 te wartości były wyraźnie niższe i wynosiły dla punktu nr 7 (stanowisko Koksownicza II) 11 093 µg/g, a dla punktu nr 6 (stanowisko Koksownicza I) 10 723 µg/g (tab.7). Na całym badanym obszarze Dąbrowy Górniczej średnia akumulacja żelaza w porostach była bardzo duża od 1 796 µg/g w obszarze mieszkalnym (OM) do 18 261 µg/g w najbliższym sąsiedztwie huty stali (HK1). Dla rejonu huty szkła akumulacja wynosiła 2 916 µg/g, podobna była w sąsiedztwie ruchliwej drogi i linii kolejowej 3 036 µg/g natomiast znacznie wyższą średnią akumulację żelaza 5 492 µg/g wykazano dla HK2 (tab. 8).

Siarka

Średnia koncentracja siarki w plechach porostu *Hypogymni physodes* na terenie Dąbrowy Górniczej wyniosła 2 197 µg/g. Pojedyncze wartości zawierały się w przedziale od 1 544 µg/g do 3 188 µg/g (tab. 7).

Średnia akumulacja siarki na badanym obszarze wyniosła 992 $\mu\text{g/g}$. Najniższą wartość równą 339 $\mu\text{g/g}$ stwierdzono na stanowisku przy ul. Kawa 20 (rejon D+K). Kolejne niskie wartości potwierdzono na stanowisku przy ul. Łaziennej 26 (463 $\mu\text{g/g}$) oraz Kazdębie 2A (482 $\mu\text{g/g}$) przy przedszkolu „Tęczowa Kraina”. Najwyższą akumulację analizowanego pierwiastka stwierdzono na stanowisku Koksownicza IV (punkt nr 11) z wartością 1 983 $\mu\text{g/g}$. Pozostałe wartości mieściły się w zakresie od 482 $\mu\text{g/g}$ do 1 707 $\mu\text{g/g}$ (tab.7). Biorąc pod uwagę pięć wytypowanych rejonów miasta największą średnią akumulację siarki 1 433 $\mu\text{g/g}$ wykazano w sąsiedztwie huty stali (HK1). Na pozostałych obszarach wartości akumulacji mieściły się w zakresie od 671 $\mu\text{g/g}$ wzdłuż ruchliwej drogi (D+K) do 1 071 $\mu\text{g/g}$ w rejonie koksowni (HK2) (tab. 8).

4. DYSKUSJA

4.1 Źródła zanieczyszczeń powietrza w Dąbrowie Górniczej

Charakterystyczną cechą Dąbrowy Górniczej jest jej zwarta zabudowa ze zlokalizowanymi w centrum i okolicach dużymi zakładami przemysłowymi oraz gęsta sieć transportowa przecinająca miasto. Główne źródła zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego Dąbrowy Górniczej to zanieczyszczenia przemysłowe (Lokalny...2011):

- przemysł stalowy: ArcelorMittal S.A., STALPROIL S.A., ThyssenKrupp Energostal, Benteler Distribution Poland, Koksownia Przyjaźń Sp. z o.o.;
- tworzywa sztuczne: URSA Polska Sp. z o.o., HOBAS Polska Sp. z o.o.;
- materiały budowlane: EKOCEM Sp. z o.o., FINAL SA, FEIDAL Polska Sp. z o.o.;
- produkcja szkła: Saint Gobain Glass Polska, Saint Gobain Sekurit Polska.
- przetwórstwo odpadów przemysłowych i niebezpiecznych: Sarpi Dąbrowa Górnicza Sp. z o.o.

Poza zakładami przemysłowymi zlokalizowanymi na terenie miasta, występują także inne źródła zanieczyszczeń, do których należy: komunikacja miejska, sieć transportowa, niska emisja (paleniska przydomowe, kotłownie, prywatne zakłady rzemieślnicze) oraz emisja niezorganizowana (m.in. składowiska odpadów komunalnych i niebezpiecznych, składowiska złomu).

Według Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Dąbrowa Górnicza (II edycja) (SUiKZP) przyjętego uchwałą Rady Miejskiej w Dąbrowie Górniczej z dnia 30 stycznia 2008 r., miasto charakteryzuje bardzo wysoki (37%) udział terenów przemysłowych w ogólnej powierzchni terenów zainwestowanych, oraz wysoki udział terenów komunikacji (16.3% terenów zainwestowanych) związany, głównie, z koniecznością zapewnienia dojazdu do dużych zakładów przemysłowych (ArcelorMittal Poland SA oraz Koksownia Przyjaźń Sp. z o.o.) znajdujących się w centralnym obszarze miasta.

Sieć dróg publicznych na terenie miasta stanowią: częściowo droga krajowa nr 1 (ekspresowa S1/ E75); droga krajowa nr 86, nr 94; droga wojewódzka nr 790; nr 796 i nr 910. Drogi DW790 i DW796 przebiegają przez tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej (DW790 – dzielnica Łosień, DW796 – dzielnica Ząbkowice). Największy udział ruchu tranzytowego przekraczający często 50% pojawia się na drogach krajowych

nr 1 oraz 94, oraz drodze wojewódzkiej nr 796. Przez teren Dąbrowy Górniczej przebiega sieć ośmiu linii kolejowych o łącznej długość wynoszącej 47.6 km: linia nr 001 (E65) (leżąca w ciągu europejskiej sieci linii kolejowych transportu pasażerskiego AGC) – przewozy pasażerskie i towarowe; linia nr 62; nr 133 (C65/2) (leżąca w ciągu europejskiej sieci linii kolejowych transportu kombinowanego AGTC) – przewozy pasażerskie i towarowe, linia nr 154, nr 160, nr 186, nr 171, nr 183 (Polityka...2009).

4.2 Wpływ metali ciężkich oraz siarki na zdrowie ludzi

Zanieczyszczenie powietrza to wprowadzenie do atmosfery różnego rodzaju substancji stałych lub gazowych, które nie występują w niej naturalnie, lub występują, ale w znacznie mniejszych ilościach. Od bardzo dawna wiadomo, że zanieczyszczenie powietrza ma negatywny wpływ na zdrowie ludzi.

Do szczególnie niebezpiecznych zanieczyszczeń należą drobne pyły (PM 10 i PM 2,5), które mogą zawierać na swojej powierzchni różne inne substancje w tym metale ciężkie i związki organiczne np.: WWA (Wilson i Spengler 1996). Metale ciężkie są absorbowane przez organizmy żywe w tym człowieka. Pył zawieszony (PM 10 i PM 2,5) emitowany przez różne źródła emisji może powodować choroby układu krwionośnego i oddechowego, zawały serca i arytmie. Ma negatywny wpływ na centralny system nerwowy, układ rozrodczy, może także powodować nowotwory. Wynikiem jego oddziaływania może być przedwczesna śmierć (Air...2012). Dwutlenek siarki (SO₂) może zaostrzać schorzenia astmatyczne, redukować funkcję płuc, powodować stany zapalne układu oddechowego. Jest również odpowiedzialny za chroniczne choroby układu oddechowego (Anderson 2009, Carreras i in. 2009, Raaschou – Nielsen i in. 2010). Kadm może powodować uszkodzenie układu rozrodczego i oddechowego, jest kancerogenem. Ołów może mieć negatywny wpływ na większość organów (uszkodzenia nerek) i układów (głównie układu krwionośnego i nerwowego). Nikiel i jego związki są potwierdzonymi dla człowieka kancerogenami (Nieboer i Flechter 1993, Seńczuk 2006). Nikiel powoduje alergiczne reakcje skórne, negatywnie wpływa na układ oddechowy i immunologiczny (Seńczuk 2006, Air...2012). Chrom jest zaliczany do kancerogenów powoduje nowotwory płuc arsen również jest rakotwórczy wywołuje nowotwory skóry i płuc (Nieboer i Flechter 1993). Arsen może także powodować uszkodzenia krwi, serca, wątroby i nerek. Może również uszkadzać obwodowy układ

nerwowy. Wpływ metali ciężkich takich jak ołów, kadm, rtęć, nikiel i chrom na układ rozrodczy kobiet i mężczyzn jest od dawna potwierdzony. Metale te mogą też przechodzić przez barierę łożyskową powodując prenatalne narażenie. Akumulując się w tkankach płodu stanowią poważne zagrożenie dla rozwijającego się organizmu. Trzeba również wziąć pod uwagę, że w zanieczyszczonym powietrzu występują równocześnie na ogół różne metale, ale także inne związki organiczne takie jak benzen czy wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), których negatywne oddziaływanie na organizm człowieka jest już potwierdzone. W związku z tym ważne jest dążenie do obniżenia zanieczyszczeń powietrza, ciągle jego monitorowanie co związane jest z odpowiedzialnością państwa, w tym władz lokalnych za zdrowie swoich obywateli.

4.3 Ocena zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w Dąbrowie Górniczej w okresie badawczym 2013 – 2014 na podstawie wyników z akumulacji metali ciężkich oraz siarki w porostach *Hypogymnia physodes*

Obszar Strzemieszyc, wschodniej części Dąbrowy Górniczej, podzielono na pięć rejonów ze względu na lokalizację głównych źródeł emisji, a także lokalizację domów mieszkalnych. Otrzymane po ekspozycji zimowej 2013/2014 wyniki dotyczące zawartości metali ciężkich i siarki w porostach *Hypogymnia physodes* transplantowanych na terenie Dąbrowy Górniczej wykazały generalnie bardzo duże zanieczyszczenie powietrza tego obszaru. Najbardziej zanieczyszczone powietrze **kadmem** wykazano w rejonie oddziaływania huty szkła (HS) 2,59 µg/g, nieco niższe w rejonie oddziaływania huty stali (HK1) i koksowni (HK2), a najniższe na osiedlu mieszkaniowym (OM), gdzie średnia akumulacja kadmu w porostach wynosiła 0,60 µg/g (tab. 8). Wykazano statystycznie istotne różnice między akumulacją tego metalu w rejonie osiedla mieszkaniowego, a rejonami HK1, HK2 i HS przy braku takich różnic dla rejonu D+K (dróg i linii kolejowych) (tab. 8, ryc. 12). Tereny położone blisko oddziaływania huty stali (HK1) i koksowni (HK2) wykazały największe zanieczyszczenie powietrza **ołowiem**. Prawie o połowę mniej tego metalu wykazano w sąsiedztwie huty szkła (HS) i wzdłuż ruchliwej drogi (D+K). Podobnie jak w przypadku kadmu najmniej ołowiu wykazano na osiedlu mieszkaniowym (OM) 17,63 µg/g (tab. 8). Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic dla ołowiu pomiędzy pięcioma rejonami co świadczy

o takim samym skażeniu powietrza całego obszaru miasta. Największe zanieczyszczenie powietrza **niklem** wykazano w rejonie mieszkalnym, wiązało się to z bardzo wysoką akumulacją tego metalu 193,73 $\mu\text{g/g}$ wykazaną na jednej z ulic (Boczna 23) wchodzącej w skład tego obszaru. Po odrzuceniu tej wartości średnia dla obszaru mieszkalnego była podobna do uzyskanej dla rejonu ruchliwej drogi. Najmniejsze zanieczyszczenie powietrza niklem wykazano dla okolic huty szkła. Cały badany obszar miasta był podobnie zanieczyszczony niklem (brak różnic statystycznych). Największą akumulację **chromu** w plechach porostów stwierdzono w rejonach oddziaływania huty stali (HK1) i koksowni (HK2), trzykrotnie niższą na osiedlu mieszkaniowym (OM) i wzdłuż ruchliwej drogi (D+K), a najmniejszą w rejonie oddziaływania huty szkła (HS) (tab. 5, 8). Po odrzuceniu skrajnie wysokich wartości z punktu nr 18 (przy ul. Bocznej 23, rejon OM) oraz punktu nr 11 (stanowisko Koksownicza IV, rejon HK1) nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic występujących między pięcioma rejonami wyznaczonymi w Dąbrowie Górniczej. Potwierdza to, iż cały obszar Dąbrowy Górniczej był równomiernie zanieczyszczony tym metalem ciężkim. Najmniejsze ilości **miedzi** 1,8 $\mu\text{g/g}$ wykryto w rejonie mieszkalnym, największe w sąsiedztwie huty szkła, a dla pozostałych trzech rejonów (HK1, HK2 D+K) ilości były podobne i wynosiły średnio 5,6 $\mu\text{g/g}$. Stwierdzono statystycznie istotne różnice występujące między rejonami OM, a rejonami HK1, HK2 i HS, przy jednoczesnym braku takich różnic między OM, a rejonem D+K (ryc. 14). Analiza statystyczna wykazała, że tylko obszar osiedla mieszkaniowego był mniej zanieczyszczony miedzią. Stosunkowo duże zanieczyszczenie powietrza **cynkiem** stwierdzono w sąsiedztwie huty stali, o połowę mniejsze wykazano w pobliżu koksowni i huty szkła, najniższe na osiedlu mieszkaniowym (tab. 6, 8). Wykazano statystycznie istotne różnice pomiędzy rejonem OM, a rejonami HK1 i HK2, jednocześnie nie stwierdzając takich różnic pomiędzy rejonami D+K i HS, a HK1, HK2. Można zatem powiedzieć, że cały badany obszar Dąbrowy Górniczej z wyjątkiem osiedla mieszkaniowego był zanieczyszczony cynkiem (tab. 8, ryc. 15). Na całym obszarze Dąbrowy Górniczej wykazano bardzo wysokie zawartości **żelaza** w plechach porostów świadczące o bardzo dużym zanieczyszczeniu powietrza tym metalem. Najwyższą akumulację 18 261 $\mu\text{g/g}$ stwierdzono w sąsiedztwie huty stali, trzykrotnie niższą w rejonie koksowni, sześciokrotnie niższe przy hucie szkła i przy ruchliwej drodze. Najmniejsze zanieczyszczenie powietrza żelazem wykazano na osiedlu mieszkaniowym. Wykazano statystycznie istotne różnice między rejonem HK1, a pozostałymi czterema rejonami Dąbrowy Górniczej (HK2, OM, D+K i HS). Wynika

z tego, iż rejon HK1 jest terenem o ekstremalnym zanieczyszczeniu tym pierwiastkiem, a rejony koksowni, osiedla mieszkaniowego, dróg i linii kolejowych oraz huty szkła charakteryzowały się wysokim zanieczyszczeniem powietrza żelazem (tab. 8, ryc. 16). Zanieczyszczenie powietrza **dwutlenkiem siarki** było najwyższe w sąsiedztwie huty stali, a na pozostałym obszarze podobne (tab. 7, 8). Stwierdzono statystycznie istotne różnice tylko pomiędzy rejonem HK1, a rejonami OM i D+K (ryc. 17). Świadczy to o mniejszym zanieczyszczeniu dwutlenkiem siarki terenów mieszkalnych i rejonu oddziaływaniu transportu w porównaniu do terenów położonych blisko źródeł przemysłowych. Nie wykazano wpływu sezonu grzewczego na zanieczyszczenie powietrza SO₂, ponieważ najmniejszą akumulację siarki wykazano na terenach mieszkalnych (tab. 8).

Reasumując zanieczyszczenie powietrza na terenie Dąbrowy Górniczej było bardzo duże. Wyniki przedstawionych badań potwierdzają oficjalne dane Głównego Urzędu Statystycznego, które umieszczają Dąbrowę Górniczą na czwartym miejscu w Polsce pod względem zanieczyszczenia powietrza (Ochrona...2014). Zdecydowanie odpowiedzialny za ten stan rzeczy jest skomasowany na tym terenie przemysł ciężki, a więc przede wszystkim huta stali i w mniejszym stopniu koksownia. Również huta szkła usytuowana na przeciwległym końcu badanego obszary (w stosunku do huty stali) też jest źródłem emisji dla takich metali jak Cd, Pb, Cr, Cu, Zn i Fe. Wprawdzie z całą pewnością głównym emitorem żelaza jest huta stali to jednak okolice huty szkła również charakteryzują się dużą akumulacją tego metalu w porostach. Pomimo najniższych średnich akumulacji badanych pierwiastków (z wyjątkiem Ni) na terenie mieszkalnym (OM) zanieczyszczenie powietrza stanowi realne zagrożenie dla zdrowia ludności lokalnej w związku z wysokimi stężeniami metali, które są kancerogenami.

4.4 Porównanie akumulacji metali ciężkich i siarki w porostach transplantowanych w Dąbrowie Górniczej, w Zawierciu i Stacjach Bazowych ZMŚP

Średnia akumulacja **kadm** w plechach porostów *Hypogymnia physodes* w sezonie zimowym 2013/2014 w Dąbrowie Górniczej wynosiła 1,45 µg/g i była niższa tylko o 0,07 µg/g od stwierdzonej w Zawierciu w sezonie zimowym 2008/2009 (Huget 2010). W badaniach dotyczących oceny zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego przeprowadzonej w sezonie

zimowym 2012/2013 akumulacja kadmu była niewielka i wyniosła średnio dla trzech Stacji Bazowych (Koniczynka, Święty Krzyż i Szymbark) 0,28 µg/g (Płachta 2014). W rejonie osiedla mieszkaniowego (OM) Dąbrowy Górniczej średnia dla tego metalu była najniższa i wyniosła 0,60 µg/g, ale była ponad 100% wyższa od akumulacji z ZMŚP. Na terenie dwóch śląskich miast Zawiercia i Dąbrowy Górniczej akumulacja kadmu była ponad pięciokrotnie wyższa niż w Stacjach Bazowych ZMŚP (ryc. 18).

Średnia akumulacja **olowiu** dla całego badanego obszaru Dąbrowy Górniczej wyniosła 34,12 µg/g, natomiast w Zawierciu była ponad dwukrotnie wyższa i kształtowała się na poziomie 68,94 µg/g. Dla porównania, dla rejonu OM w Dąbrowie Górniczej ta średnia wyniosła 17,63 µg/g i była w prawdzie dwukrotnie niższa niż całego miasta, ale jednocześnie ponad ośmiokrotnie wyższa niż dla Stacji Bazowych ZMŚP (ryc.19).

Różnice w stężeniu **niklu** dla obu miast województwa śląskiego są wyraźne. Prawie pięciokrotnie wyższą akumulację tego metalu stwierdzono w Dąbrowie Górniczej (11,79 µg/g). Jednak na tak wysoką średnią wpłynął w głównej mierze wynik ze stanowiska zlokalizowanego w punkcie nr 18 przy ul. Bocznej 23 (193,73 µg/g) (tab. 5). Trwający na tej ulicy remont (budowa nowej nawierzchni) prawdopodobnie skutkował podwyższonymi stężeniami niklu na tym stanowisku. Stanowisko przy ul. Bocznej znajdowało się w rejonie OM, dlatego wartość akumulacji niklu dla tego obszaru wynosząca 21,23 µg/g jest najwyższa ze wszystkich rejonów w Dąbrowie Górniczej (tab. 8). Po usunięciu tego wyników średnia akumulacja dla całego obszaru Dąbrowy Górniczej wyniosła 5,78 µg/g i była wyższa ponad dwukrotnie od wyniku w Zawierciu, natomiast w rejonie OM wyniosła 2,06 µg/g i była czterokrotnie wyższa aniżeli na Stacjach Bazowych ZMŚP (ryc. 20).

Poziom akumulacji **chromu** w Dąbrowie Górniczej był o 2,59 µg/g niższy niż w Zawierciu i wynosił 7,99 µg/g. Jednocześnie wynik ten był ponad osiemnaście razy wyższy od średniej akumulacji dla stacji ZMŚP wynoszącej 0,43 µg/g. Rejon OM z wartością 4,08 µg/g cechuje się około dwukrotnie niższą akumulacją tego pierwiastka niż wynika to z wartości dla całego analizowanego obszaru Dąbrowy Górniczej (ryc. 21). Niewielkie różnice między Dąbrową Górniczą i Zawierciem wskazują na podobne zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego chromem mimo dzielącego te badania okresu pięciu lat.

Średnia akumulacja **miedzi** w Zawierciu (26,7 µg/g) jest o 22 µg/g wyższa niż w Dąbrowie Górniczej (4,7 µg/g). Wynik dla trzech Stacji Bazowych ZMŚP wynoszący 2,2 µg/g był ponad dwukrotnie niższy niż w Dąbrowie Górniczej. Rejon osiedla mieszkaniowego (OM) ze średnią akumulacją 1,8 µg/g był porównywalny do wyników z ZMŚP (ryc. 22).

Średnia akumulacja **cynku** w transplutowanych porostach na terenie Dąbrowy Górniczej wynosząca 203 µg/g była wyższa o 88 µg/g niż w Zawierciu. Dla porównania średnia dla trzech Stacji Bazowych ZMŚP wynosząca 15 µg/g była ponad trzynastokrotnie niższa niż wartość akumulacji cynku w Dąbrowie Górniczej. Akumulacja w rejonie OM wyniosła 68 µg/g i była ponad czterokrotnie wyższa niż uzyskana dla z trzech Stacji Bazowych (ryc. 23).

Poziom akumulacji **żelaza** w plechach porostów *Hypogymnia physodes* wykonany dla trzech badanych miejsc (Dąbrowa Górnicza, Zawiercie, Stacje Bazowe ZMŚP) bardzo się różnił. Najwyższą średnią akumulację 6749 µg/g, zanotowano na terenie Dąbrowy Górniczej. W porównaniu do Zawiercia była to wartość większa aż o 4 316 µg/g. Najwyższe akumulacje tego metalu stwierdzono w Dąbrowie Górniczej w rejonach huty stali (HK1) i koksowni (HK2) (tab.8). Natomiast w rejonie OM średnia akumulacja była najniższa i wynosiła 1796 µg/g. Wynik z ZMŚP wynoszący 169 µg/g był czterdziestokrotnie niższy niż na terenie Dąbrowy Górniczej) (ryc. 24).

W Zawierciu średnia akumulacja **siarki** była najwyższa z trzech porównywanych miejsc badań. Wynosiła aż 1689 µg/g w sezonie zimowym 2008/2009 (Huget 2010). W Dąbrowie Górniczej akumulacja tego pierwiastka była o 697 µg/g niższa. Natomiast w rejonie OM średnia akumulacja siarki wyniosła 782 µg/g i była ponad dwukrotnie wyższa niż średnia z trzech stacji ZMŚP (312 µg/g) (Płachta 2014) (ryc. 25).

Trzy Stacje Bazowe ZMŚP (Koniczynka, Św. Krzyż i Szymbark) charakteryzują się najwyższym zanieczyszczeniem powietrza wśród 9 badanych w ramach ZMŚP Stacji w Polsce, a w porównaniu z Dąbrową Górniczą mógłby być uznany za teren kontrolny (Płachta 2014).

4.5 Porównanie jakości powietrza atmosferycznego w Dąbrowie Górniczej i w Zawierciu

Zanieczyszczenia powietrza w miastach stało się problemem powszechnym na całym świecie, także w Unii Europejskiej, dlatego poświęca mu się coraz więcej uwagi. Duże skupiska ludzkie skoncentrowane w miastach i dużych aglomeracjach są ciągle narażone na negatywne oddziaływanie zanieczyszczeń środowiska w tym w szczególności zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego. Ogromna ilość substancji chemicznych zagrażających zdrowiu i w dużej mierze także życiu ludzi powinny skłaniać do zmian przede wszystkim redukcji emisji i eliminowanie smogu i innych zanieczyszczeń pyłowych i gazowych (Urban...2011). W Polsce nie zwraca się zbyt wiele uwagi na ten problem, zbyt rzadko wiążąc stan zdrowia mieszkańców z zanieczyszczeniem powietrza. Nie prowadzi się również zbyt wielu badań dotyczących jakości powietrza w miastach. W latach 2008 – 2009 wykonano ocenę zanieczyszczenia powietrza w Zawierciu, stosując podobnie jak w Dąbrowie Górniczej, metodę transplantacji porostów *Hypogymnia physodes*. Ocenę w Zawierciu oparto na wynikach trzech transplantacji: dwóch letnich (2008 i 2009) i jednej zimowej (2008/2009) (Huget 2010).

Zlokalizowanie przemysłu ciężkiego w centrum miast jest cechą charakterystyczną dla większości ośrodków miejskich województwa śląskiego w tym także Zawiercia i Dąbrowy Górniczej. W Zawierciu wyjątkiem było usytuowanie huty „Zawiercie” w południowo – wschodniej części miasta. Porównano więc średnie wyniki oceny zanieczyszczenia powietrza obydwu miast w sezonie zimowym 2008/2009 i 2013/2014 pamiętając, że ocena jakości powietrza w Zawierciu była przeprowadzona pięć lat wcześniej, a więc w okresie kiedy zanieczyszczenie powietrza w Polsce było znacznie większe. Obszar Zawiercia podobnie jak Dąbrowy Górniczej podzielono na 5 rejonów ze względu na oddziaływanie głównych źródeł emisji. Były to rejon CMC (Comercial Metals Company Zawiercie), O - odlewnia żeliwa, HS - huta szkła i dwa rejony ulic o większym U1 i mniej intensywnym ruchu samochodowym – U2. Jednak należy pamiętać, że źródła zanieczyszczenia powietrza w obydwu miastach były różne.

Wbrew oczekiwaniom jakość powietrza w Dąbrowie Górniczej nie była lepsza od stwierdzonej pięć lat wcześniej w Zawierciu. Pomimo, iż stężenia części pierwiastków, były niższe na terenie Zawiercia to wartości zakumulowanych metali

ciężkich i siarki były bardzo wysokie biorąc pod uwagę narażenie mieszkańców. Poziomą akumulacją ołowiu był istotnie niższy niż w Dąbrowie Górniczej aniżeli w Zawierciu (ryc. 26). Akumulacja niklu była ponad pięciokrotnie wyższa w Dąbrowie Górniczej i ta różnica była istotna statystycznie (ryc. 27), jednak po odrzuceniu skrajnie wysokiej wartości (193,73 µg/g, z punktu nr 18), różnica była dwukrotnie wyższa, ale nieistotna statystycznie. Dla chromu i miedzi średnie akumulacje tych metali były wyższe w Zawierciu i istotne statystycznie (ryc. 28, 29). Akumulacja żelaza w Dąbrowie Górniczej była bardzo wysoka i przekraczała ponad dwukrotnie poziom w Zawierciu. Analizy statystyczne potwierdziły istotne różnice dla tego metalu pomiędzy dwoma śląskimi miastami wskazując wysokie zanieczyszczenie tym metalem Dąbrowy Górniczej (ryc. 30). Średnia akumulacja siarki w porostach transplantowanych na terenie Dąbrowy Górniczej była prawie dwukrotnie niższa aniżeli wykazana w Zawierciu (różnice istotne statystycznie, ryc. 31). Dla kadmu i cynku nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między Dąbrową Górniczą a Zawierciem co potwierdza takie samo zanieczyszczenie powietrza tych miast. Porównanie zanieczyszczenia powietrza obu miast wskazuje na zły stan powietrza w Dąbrowie Górniczej. Powietrze na terenie Strzemieszyc zanieczyszczone jest głównie żelazem, cynkiem, niklem, ale także ołowiem, kadmem i chromem. Dodatkowo akumulacja siarki w porostach wskazuje na zanieczyszczenie powietrza miasta dwutlenkiem siarki. Wykonana analiza skupień stężeń badanych pierwiastków na terenie Dąbrowy Górniczej i Zawiercia wskazuje na różnice pochodzenia tych metali i siarki ze źródeł przemysłowych (ryc. 32, 33). Bardzo złą jakość powietrza w Dąbrowie Górniczej potwierdza porównanie akumulacji tych samych pierwiastków w porostach transplantowanych w sezonie zimowym 2012/2013 na terenie Stacji Bazowych ZMŚP (Płachta 2014). Akumulacja metali ciężkich była tam wielokrotnie niższa, od sześciu razy dla Cd do prawie czterdziestu razy dla Fe. Dodatkowo akumulacja siarki była trzykrotnie niższa.

5. PODSUMOWANIE

Badania przeprowadzone w sezonie zimowym 2013/2014 wykazały bardzo dużą akumulację metali ciężkich (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn, Fe) i siarki w plechach transplantowanego porostu *Hypogymnia physodes*. W oparciu o koncentrację analizowanych pierwiastków porównywano zanieczyszczenie powietrza pięciu badanych rejonów Dąbrowy Górniczej. Wykazano podobne wysokie zanieczyszczenie powietrza kadmem obszarów położonych w sąsiedztwie huty szkła, huty stali i koksowni. Najniższe wartości kadmu wykazano na osiedlu mieszkaniowym. Cały obszar miasta charakteryzował się wysokim skażeniem ołowiem. Równomierne zanieczyszczenie powietrza wykazano dla niklu. Wyższe stężenia chromu wystąpiły w pobliżu huty stali i koksowni. Najmniej miedzi i cynku stwierdzono na terenach mieszkalnych. Ekstremalne zanieczyszczenie żelazem wykazano w rejonie huty stali i koksowni. Pozostałe obszary charakteryzowały się podobną wysoką koncentracją żelaza. Zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki było najwyższe w pobliżu huty stali, a najniższe na osiedlu mieszkaniowym i w rejonie oddziaływania transportu. Zanieczyszczenie powietrza na całym obszarze Dąbrowy Górniczej było bardzo duże, za co odpowiedzialny jest przede wszystkim skomasowany na tym terenie przemysł ciężki, w głównej mierze huta stali i koksownia. Pomimo najniższych stężeń badanych pierwiastków na terenie mieszkalnym, zanieczyszczenie powietrza stanowi realne zagrożenie dla zdrowia lokalnej ludności w związku z wysokim stężeniem metali kancerogennych.

Z uwagi na złą jakość powietrza wskazane jest ciągle stosowanie monitoringu technicznego i biologicznego na tym terenie.

6. LITERATURA

1. Air quality in Europe – 2012 report. European Environment Agency. Copenhagen, 2012
2. Anderson H.R., 2009: Air pollution and mortality: A history. *Atmospheric Environment*, 43: 142-152.
3. Augusto S., Máguas C., Matos J., Pereira M.J., Braquinho C., 2010: Lichens as an integrating tool for monitoring PAH atmospheric deposition: A comparison with soil, air and pine needles. *Environmental Pollution*, 158: 483-489.
4. Bajpai R., Upreti D.K., Nayaka S., Kumari B., 2010: Biodiversity, bioaccumulation and physiological changes in lichens growing in the vicinity of coal-based thermal power plant of Raebareli district, north India. *Journal of Hazardous Materials*, 174: 429-436.
5. Bargagli R., Nimis P. L., Monaci F., 1997: Lichen biomonitoring of trace elements deposition in urban, industrial and reference areas of Italy. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 11:173-175.
6. Białońska D., Dayan F.E., 2005: Chemistry of the lichen *Hypogymnia physodes* transplanted to an industrial region. *Journal of Chemical Ecology*, 31: 2975-2991.
7. Bickerstaff K., Walker G., 2001: Public understanding of air pollution: the ‘localisation’ of environmental risk. *Global Environmental Change*, 11: 133-145.
8. Bignal K.L., Ashmore M.R., Headley A.D., 2008: Effects of air pollution from road transport on growth and physiology of six transplanted bryophyte species. *Environmental Pollution*, 156: 332-340.
9. Burda B., Grzempa M., 2000: Park Narodowy Bory Tucholskie. MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
10. Burton M.A.S. 1986: Biological monitoring of environmental contaminants. MARC Rep. 32, Monitoring and Assessment Research Centre, King’s College London, University of London, London.
11. Bystrek J., 1997: Podstawy Lichenologii. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin.
12. Carreras H.A., Wannaz E.D., Perez M.L., Pignata M.L., 2005: The role of urban air pollutants on the performance of heavy metal accumulation in *Usnea amblyoclada*. *Environmental Research*, 97: 50-57.

13. Carreras H.A., Wannaz E.D., Pignata M.L., 2009: Assessment of human health risk to metal by the use of biomonitors in the Province of Córdoba, Argentina. *Environmental Pollution*, 157: 117-122.
14. Conti M. E., Cecchetti G., 2001: Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. *Environmental Pollution*, 114: 471-492.
15. Dobrzańska B., Dobrzański G., Kielczewski D., 2008: *Ochrona środowiska przyrodniczego*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
16. Elbayoumi M., Ramli N. A., Md Yusof N. F. F., Al. Madhoun W., 2013: Spatial and seasonal variation of particulate matter (PM10 and PM2.5) in Middle Eastern classrooms. *Atmospheric Environment*, 80: 389-397
17. Faith W. L., Atkisson A. A., 1972: *Air Pollution*. Second Edition. Wiley – Interscience, New York.
18. Fałtynowicz W., 1994: *Monitoring powietrza: porosty jako biowskaźniki zanieczyszczenia*. Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno.
19. Fałtynowicz W., 1995: *Wykorzystanie porostów do oceny zanieczyszczenia powietrza: zasady, metody, klucze do oznaczania wybranych gatunków*. Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi, Krosno.
20. Fenger J., 2009: Air pollution in the last 50 years – From local to global. *Atmospheric Environment*, 43: 13-22.
21. Ferry B. W., Baddeley M. S., Hawksworth D. L., 1973: *Air pollution and Lichens*. The Athlone, London.
22. Freitas M. C., Reis M. A., Alves L. C., Wolterbeek H. T., 1999: Distribution in Portugal of some pollutants in the lichen *Parmelia sulcata*. *Environmental Pollution* 106: 229-235.
23. Fuga A., Saiki M., Marcelli M. P., Saldiva P. H. N., 2008: Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens. *Environmental Pollution*, 151: 334-340.
24. Giordani P., 2007: Is the diversity of epiphytic lichens a reliable indicator of air pollution? A case study from Italy. *Environmental Pollution*, 146: 317-323.
25. Hugué A., 2010: *Ocena zanieczyszczenia powietrza Zawiercia na podstawie akumulacji metali ciężkich i siarki oraz uszkodzeń plech transplantowanych porostów *Hypogymnia physodes**. Praca magisterska. Instytut Nauk o Środowisku, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

26. Jeran Z., Byrne A.R., Batic F., 1995: Transplanted epiphytic lichens as biomonitors of air contamination by natural radionuclides around the Zirovsky VRH uranium mine, Slovenia. *Lichenologist*, 27: 375 – 385.
27. Jeran Z., Mrak T., Jaćimović R., Batič F., Kastelec D., Mavsar R., Simončič P., 2007: Epiphytic lichens as biomonitors of atmospheric pollution in Slovenian forests. *Environmental Pollution*, 146: 324-331.
28. Józwiak M., 2009: Ocena zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi i metalami ciężkimi z wykorzystaniem porostów w aglomeracjach miejskich na przykładzie Kielc. Praca doktorska. Wydział Nauk Biologicznych, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław.
29. Kabata-Pendias A., Pendias H., 1993: Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
30. Kłos A., 2007: Porosty – biowskaźniki i biomonitoring zanieczyszczenia środowiska. *Półrocznik Chemia – Dydaktyka – Ekologia – Meteorologia*, 12, 1-2: 61-77.
31. Kondracki J., 2002: Geografia fizyczna Polski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
32. Kossowska M., 2014: Atlas porostów Karkonoszy. Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra
33. Kranner I., Beckett R.P., Varna A.K. (red.), 2002: *Protocols in lichenology: culturing, biochemistry, ecophysiology and use in biomonitoring*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hong Kong, London, Milan, Paris, Tokyo.
34. Kremer B. P., Muhle H., 1998: *Leksykon przyrodniczy. Porosty, Mchy, Paprotniki*. Geo Center, Warszawa.
35. Kularante K. I. A., de Freitas C. R., 2013: Epiphytic lichens as biomonitors of airborne heavy metal pollution. *Environmental and Experimental Botany*, 88: 24-32.
36. Lipnicki L., 2003: Porosty Borów Tucholskich – Przewodnik do oznaczania gatunków listkowatych i krzaczkowatych. Park Narodowy „Bory Tucholskie”, Charzykowy.

37. Lodenius M., Kiiskinen J., Tulisalo E. 2010: Metal levels of an epiphytic lichen as indicators of air quality in a Finnish suburb. *Boreal Environmental Research* 15: 446-452.
38. Lokalny Program Rewitalizacji Dąbrowy Górniczej do roku 2020, Urząd Miejski w Dąbrowie Górniczej, Listopad 2011
39. Loppi S., Nelli L., Ancora S., Bargagli R., 1997: Passive monitoring of trace elements by means of tree leaves, epiphytic lichens and bark substrate. *Environmental Monitoring and Assessment*, 45: 81-88.
40. Łomnicki A., 2010: Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
41. Mayer A. L, Vihermaan L., Nieminen N., Luomi A., Posch M., 2009: Epiphytic macrolichen community correlates with modeled air pollutants and forest condition. *Ecological Indicators* 9: 992-1000.
42. Michalczyk J. K., Transport gazowych zanieczyszczeń w powietrzu – symulacje numeryczne w skali lokalnej. Rozprawa doktorska przygotowana pod opieką naukową dr hab. Krzysztofa Murawskiego, prof. UMCS. Politechnika Lubelska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska. Lublin 2003 r.
43. Migaszewski Z. M., Gałuszka A., 2007: Podstawy geochemii środowiska. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa.
44. Monaci F., Moni F., Lanciotti E., Grechi D., Bargagli R., 2000: Biomonitoring of air borne metals in Urban environments: new tracers of vehicle emission, in place of lead. *Environmental Pollution*, 107: 321-327.
45. Nash III T. H. (Ed.), 2008: *Lichen Biology*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo, Delhi.
46. Nieboer E., Fletcher G. G., 1993: Metal carcinogenesis. W: *Heavy metals in the Environment*, Allan R. J., Nriagu J. O. (eds.). International Conferences Toronto, September 1993, CEP Consultants, Edinburgh, 1: 9-13.
47. Nimis P. L., Castello M., Perotti M., 1990: Lichens as Biomonitors of Sulphur Dioxide Pollution in La Spezia (Northern Italy). *The Lichenologist*, 22: 333-344.
48. Nowosielski O., 1968: *Metody oznaczania potrzeb nawożenia*. PWRiL, Warszawa.
49. *Ochrona Środowiska 2013. Informacje i opracowania statystyczne*. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa

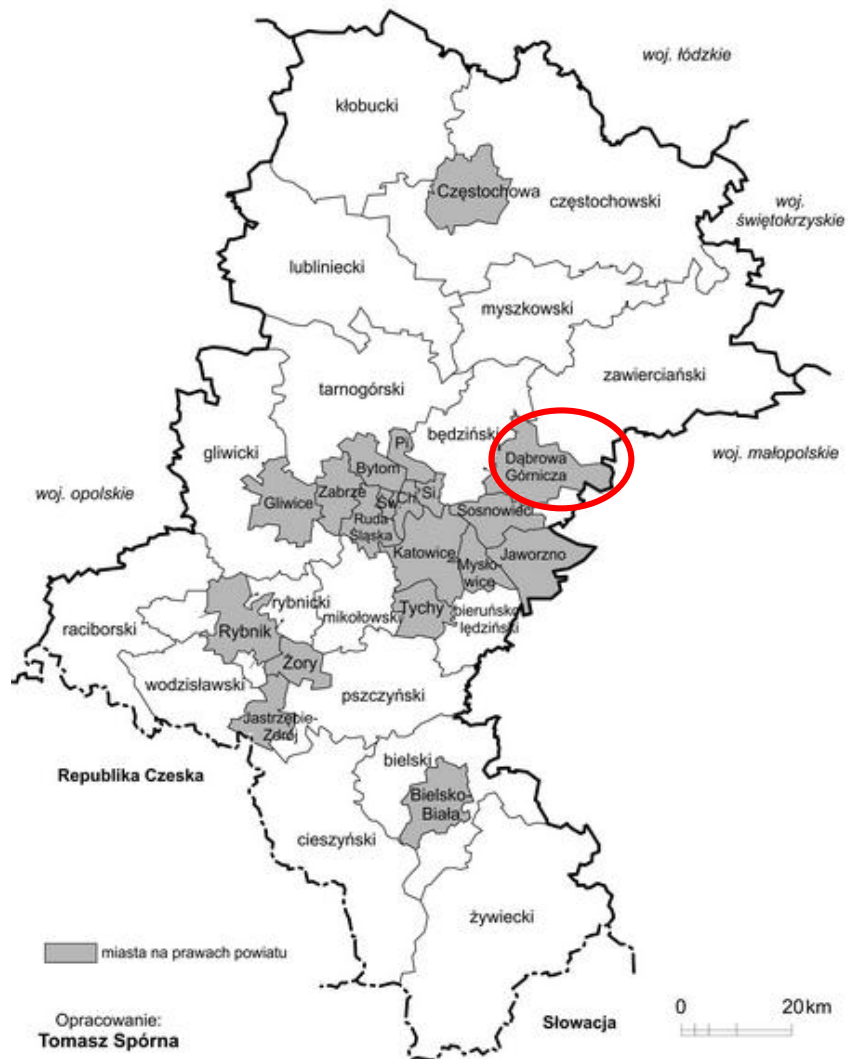
50. Ochrona Środowiska 2014. Informacje i opracowania statystyczne. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa
51. Oluwole Olowojo J., van Heerden E., Fischer J. L., 2011: Trace element concentrations from lichen transplants in Pretoria, South Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 18: 663-668.
52. Pilegaard K. 1979: Heavy metals in bulk precipitation and transplanted *Hypogymnia physodes* and *Dicranoweisia cirrata* in the vicinity of a Danish steelworks. *Water, Air and Soil Pollution*, 11: 77-91.
53. Pirintsos S. A., Matsi T., Vokou D., Gaggi C., Loppi S., 2006: Vertical Distribution Patterns of Trace Elements in an Urban Environment as Reflected by their Accumulation in Lichen Transplants. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 54: 121-131.
54. Płachta J., 2014: Ocena zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych ZMŚP na podstawie akumulacji metali ciężkich i siarki w porostach transplantowanych w sezonie zimowym 2012/2013 i letnim 2013. Praca magisterska. Instytut Nauk o Środowisku, Uniwersytet Jagielloński, Kraków.
55. Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2014 r. Informacje i opracowania statystyczne. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2009.
56. Polityka Transportowa Gminy Dąbrowa Górnicza, Urząd Miasta Dąbrowa Górnicza, Dąbrowa Górnicza, 2009
57. Program Ochrony Środowiska przed Hałasem dla Dąbrowy Górniczej, Urząd Miasta Dąbrowa Górnicza, Dąbrowa Górnicza, 2012
58. Program Ochrony Środowiska wraz z Planem Gospodarki Odpadami dla Miasta Dąbrowy Górniczej na lata 2008 – 2012, Dąbrowa Górnicza, 2008
59. Puckett K. J. 1988: Bryophytes and lichens as monitors as metal deposition. *Lichens, Bryophytes and Air Quality. Bibliotheca Lichenologica*, 30: 231-267.
60. Raaschou – Nielsen O., Hermansen M. N., Loland L., Buchvald F., Pipper C. B., Sorensen M., Loft S., Bisgaard H., 2010: Long-term exposure to indoor air pollution and wheezing symptoms in infants. *Indoor Air* 20: 159-167.
61. Radović U., 1997: Zanieczyszczenie atmosfery: Źródła oraz metodyka szacowania wielkości emisji zanieczyszczeń. Centrum Informatyki i Energetyki, Warszawa.

62. Romer E., 1949: Regiony klimatyczne Polski, Wrocławskie Towarzystwo Naukowe, Wrocław
63. Sawicka – Kapusta K., Rakowska A., 1993: Heavy metal contaminations in Polish National Parks. Proc. of the Second European Conference on Ecotoxicology. 11-15 May 1992, Amsterdam, The Netherlands, Slooff W., Kruijf de H. (eds.). Science of the Total Environment., Supplement 1993, Part 1: 167-172.
64. Sawicka – Kapusta K., Zakrzewska M., Gdula – Argasińska J., Stochmal M., 2005: Ocena narażenia środowiska obszarów chronionych. Zanieczyszczenie metalami i SO₂ parków narodowych. Centrum Doskonałości Unii Europejskiej IBAES, Instytut Nauk o Środowisku, Uniwersytet Jagielloński, Kraków.
65. Sawicka – Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., 2007: Monitoring zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych ZMŚP metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki w 2005 roku z zastosowaniem porostu *Hypogymnia physodes*. W: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego a zadanie ochrony obszarów Natura 2000, Kostrzewski A. i Andrzejewska A. (red.), Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 2007: 217-226.
66. Sawicka – Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., Pizło A., Marek A., 2008a: Zanieczyszczenie powietrza na terenie stacji bazowych ZMŚP w 2007 roku na podstawie koncentracji metali ciężkich i siarki w plechach porostu *Hypogymnia physodes*. Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 9: 71-77.
67. Sawicka – Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., 2008b: Response of lichens to heavy metal and SO₂ pollution in Poland – an overview. Air Pollution XVI. Brebbia C.A., Longhurst J.W.S (eds.). WIT Press, Southampton, Boston, 116: 561-570.
68. Sawicka – Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., Hajduk J., 2010: Ocena zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych ZMŚP metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki w latach 2001-2009 z wykorzystaniem *Hypogymnia physodes*. Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 11: 63-71.
69. Sawicka – Kapusta K., Zakrzewska M., Dudzik P., Gołuszka K., 2014: Zanieczyszczenie powietrza Stacji Bazowych ZMŚP w 2011 roku na podstawie koncentracji metali ciężkich i siarki w plechach porostu *Hypogymnia physodes*

- zebranych z naturalnego środowiska. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 16: 49 – 57.
70. Seńczuk W., 2006: *Toksykologia współczesna*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.
71. Stan środowiska w województwie śląskim w 2012 roku, Wojewoda Śląski, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Katowice, 2013
72. *Strategia Rozwoju Systemu Transportu Województwa Śląskiego*, Sejmik Województwa Śląskiego, Katowice, Kwiecień 2014
73. Synteza studium zagospodarowania przestrzennego pasma Odry i studium zagospodarowania przestrzennego dorzecza Wisły, Katowice, 2003
74. Szweykowska A., Szweykowski J., 2004: *Botanika systematyczna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
75. Świeboda M., Kalemba A., 1978: Porosty biologicznym wskaźnikiem zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. *Wiadomości Ekologiczne*, 24, 3: 95-101.
76. Tyler G., 1989: Uptake, Retention and Toxicity of Heavy Metals in Lichens. *Water, Air and Soil Pollution*, 47: 321-333.
77. Urban outdoor air pollution database, Department of Public Health and Environment, World Health Organization, Geneva, September 2011
78. Walker C.H., Hopkin S.P., Sibly R.M., Peakall D.B., 2002: *Podstawy ekotoksykologii*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
79. Williamson B. J., Purvis O. W., Mikhailova I. N., Spiro B., Udachin V., 2008: *Environmental Monitoring Assessment*, 141: 227-236.
80. Wilson R., Spengler J., 1996: *Particles in our air. Concentrations and health effects*. Harvard University Press.
81. Włostowska L., 1998: *Parki narodowe w Polsce. Sport i Turystyka – Muza S.A*, Warszawa
82. Wójciak H., 2003: *Porosty, mszaki, paprotniki*. Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa.

Strony internetowe:

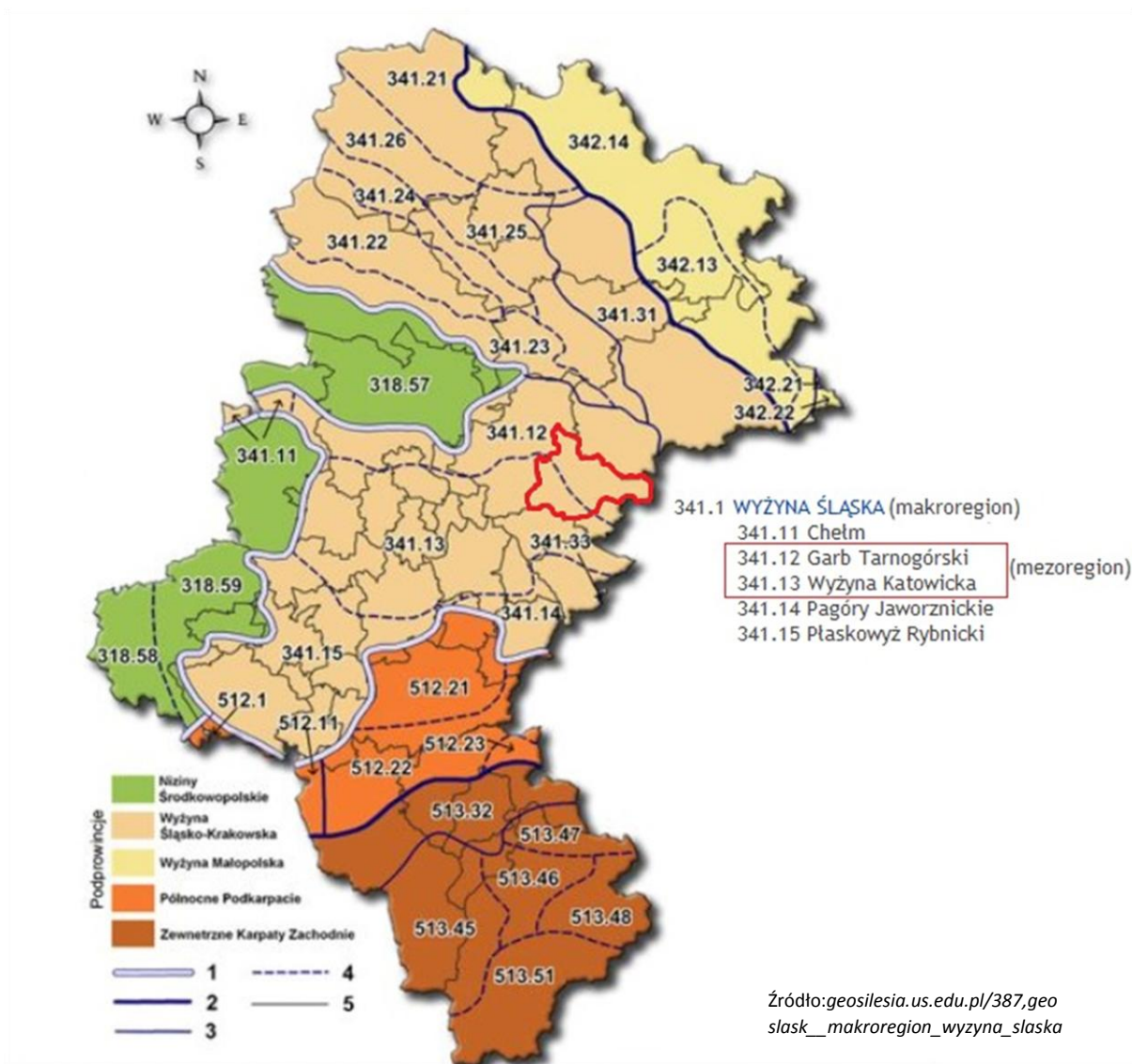
- 1) www.spjp.katowice.pios.gov.pl [dostęp 15.07.2015r.]
- 2) www.borytucholskie.org.pl [15.07.2015r.]
- 3) www.borytucholskie.com [dostęp 15.07.2015r.]
- 4) www.geosilesia.us.edu.pl [dostęp 15.07.2015r.]
- 5) www.google.maps.pl [dostęp 15.07.2015r.]
- 6) www.pnbt.com.pl [dostęp 15.07.2015r.]
- 7) www.ibrbs.pl [dostęp 15.07.2015r.]



Objaśnienia: Ch. – Chorzów, Pi. – Piekary Śląskie, Si. – Siemianowice Śląskie, Św. – Świętochłowice

Źródło: http://ibrbs.pl/mediawiki/images/a/ae/Woiewodztwo_nv2.iod

Rycina 1. Podział administracyjny województwa śląskiego w 2013 r. – powiaty.

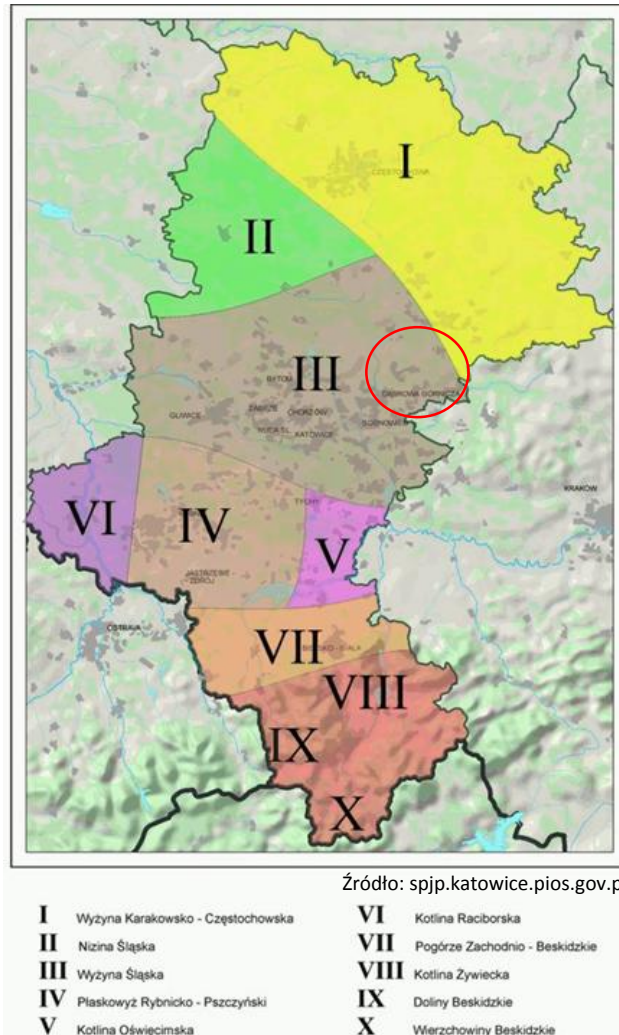


Rycina 2. Regionalizacja fizycznogeograficzna województwa śląskiego w układzie dziesiętnym z wyszczególnieniem obszaru Dąbrowy Górniczej wg J. Kondrackiego.

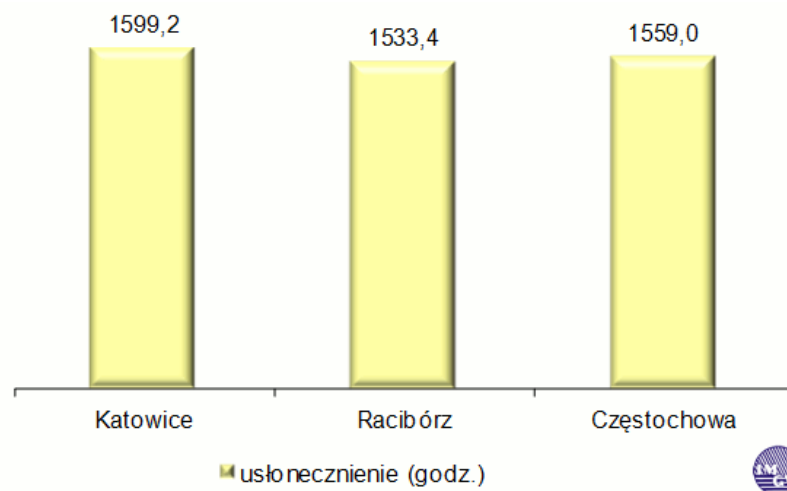
Tabela 1. Regionalizacja fizycznogeograficzna obszaru Dąbrowy Górniczej w układzie dziesiętnym wg J. Kondrackiego

Prowincja	Podprowincja	Makroregion	Mezoregion
Wyżyny Polskie	Wyżyna Śląsko-Krakowska	Wyżyna Śląska	*Garb Tarnogórski *Wyżyna Katowicka

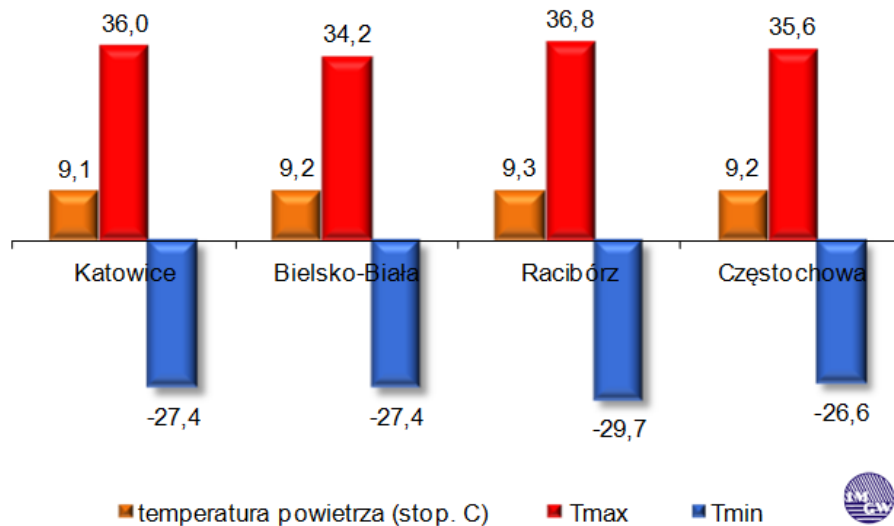
Źródło: opracowanie własne



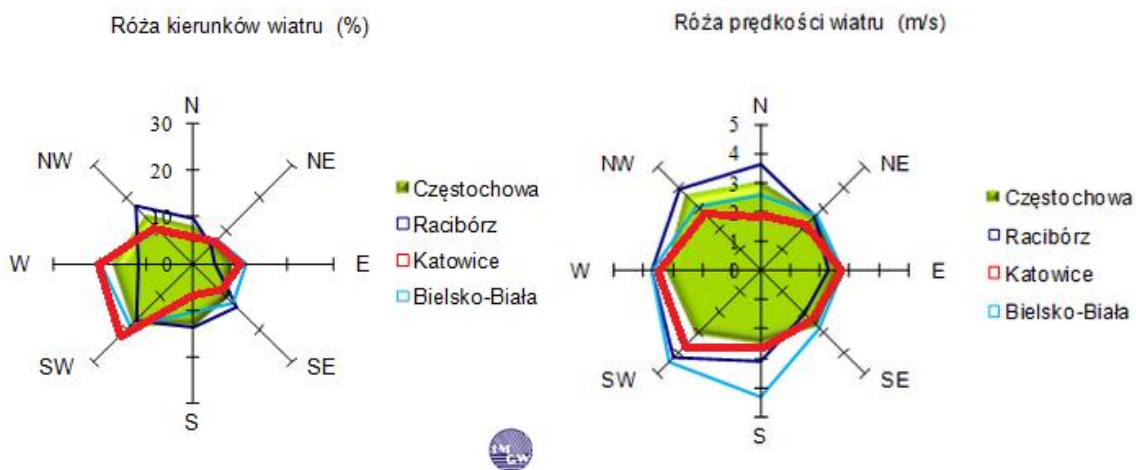
Rycina 3. Strefy klimatyczne województwa śląskiego.



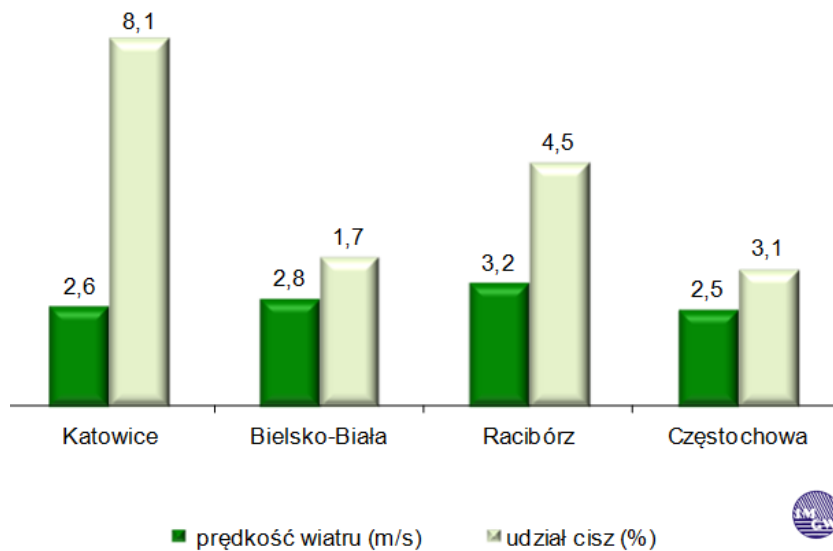
Rycina 4. Średnie wieloletnie usłonecznienie z okresu 1981 – 2010 dla wybranych miast województwa śląskiego (IMiGW).



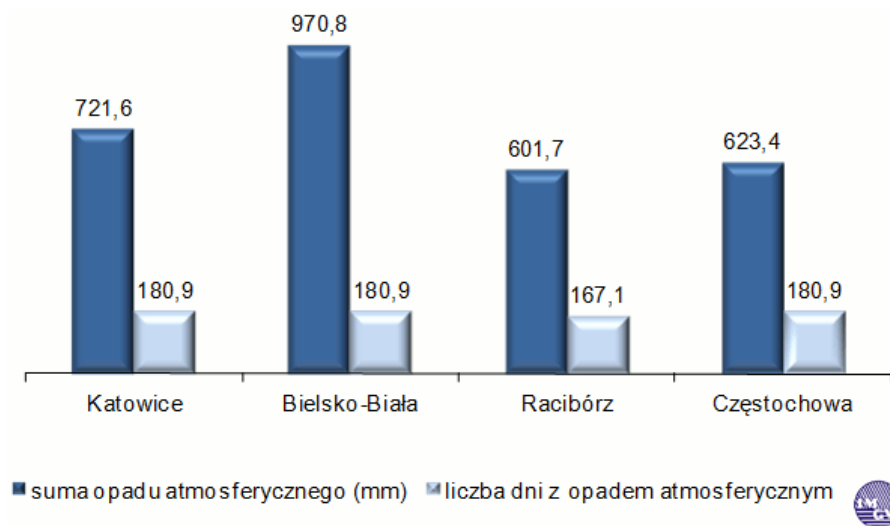
Rycina 5. Średnie wieloletnie warunki termiczne z okresu 1981 – 2010 dla województwa śląskiego (IMiGW).



Rycina 6. Średnia wieloletnie róże kierunku i prędkości wiatru z okresu 1981 – 2010 dla województwa śląskiego (IMiGW, modyfikacja własna)



Rycina 7. Średnie wieloletnie warunki wiatrowe z okresu 1981 – 2010 dla województwa śląskiego (IMiGW)



Rycina 8. Średnie wieloletnie warunki opadowe z okresu 1981 – 2010 dla województwa śląskiego (IMiGW)



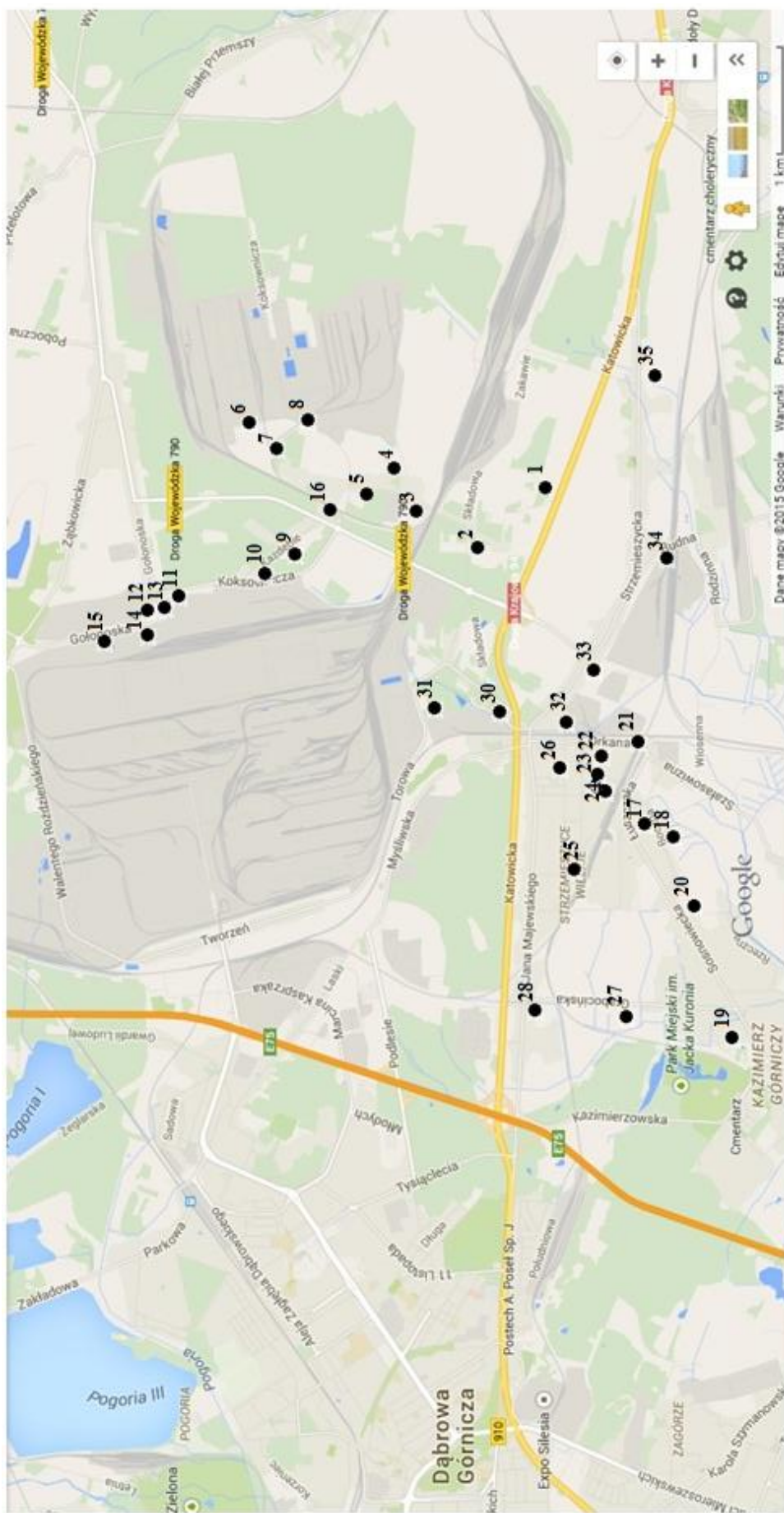
Rycina 9. Porost *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.

Źródło: Olga Halejak



Źródło: Olga Halejak

Rycina 10. Wiązka transplantowanych porostów *Hypogymnia physodes* w Dąbrowie Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014.



Źródło: google.maps.pl, opracowanie własne

Rycina 11. Mapa badanego obszaru Dąbrowy Górniczej z zaznaczonymi punktami (N= 34) miejsc transplantacji porostów *Hypogymnia physodes* sezonie zimowym 2013/1014.

Tabela 2. Wykaz stanowisk i rejonów transplantowanych porostów *Hypogymnia physodes* w Dąbrowie Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014 (N=34).

Nr	Stanowisko	Kod	Rejon
9	Kazdębie 62	HK1	Huta stali – ArcelorMittal Polska – Dom jednorodzinny
10	Kazdębie 113	HK1	Huta stali – ArcelorMittal Polska – Koniec ulicy
11	Koksownicza IV	HK1	Huta stali – ArcelorMittal Polska – Taśmociąg
12	Gołonoska I	HK1	Huta stali – ArcelorMittal Polska – Kapliczka
13	Gołonoska II	HK1	Huta stali – ArcelorMittal Polska – Dom jednorodzinny
14	Gołonoska III	HK1	Huta stali – ArcelorMittal Polska – Droga
15	Gołonoska IV	HK1	Huta stali – ArcelorMittal Polska – Ogrodzenie huty
31	Grzybowa 5	HK1	Huta stali – ArcelorMittal Polska – Dom jednorodzinny
3	Główna 136	HK2	Algas – Ubojnia drobiu S.j. – Ogród przed domem jednorodzinny
4	Lipowa	HK2	Zakład Przetwarzania Odpadów Komunalnych – Wysypisko śmieci
5	Główna 206	HK2	Dom jednorodzinny – Ogród
6	Koksownicza I	HK2	Koksownia Przyjaźń – Parking
7	Koksownicza II	HK2	Koksownia Przyjaźń – Droga dojazdowa
8	Koksownicza III	HK2	SARPI Dąbrowa Górnicza Sp. Z o.o. – Przy ogrodzeniu
16	Kazdębie 2A	HK2	Przedszkole „Tęczowa Kraina”
17	Żurawia 19	OM	Dom jednorodzinny – Ogród nieostonięty roślinnością
18	Boczna 23	OM	Dom jednorodzinny – Przy remontowanej ulicy
19	Sosnowiecka 44A	OM	Dom jednorodzinny – Ogród
20	Sportowa 16	OM	Szkoła Podstawowa nr 2 w Dąbrowie Górniczej
22	Łazienna	OM	Plac zabaw – Ostonięty roślinnością
23	Łazienna 26	OM	Dom jednorodzinny
24	Modrzejowska 35	OM	Dom jednorodzinny – Sad owocowy
25	Warszawska 71	OM	Cukiernia Cieplak S.C – Ogród
26	Ofiar Katynia 12	OM	Dom jednorodzinny
27	Chabrowa	OM	Otwarta przestrzeń przy ulicy – Za remizą strażacką
1	Kawa 20	D+K	Dom jednorodzinny – Ostonięty zielenią – DK94
2	Główna 19	D+K	Podwórko za domem jednorodzinny – PKP Cargo S.A
21	Orkana	D+K	Przy torach kolejowych
28	Majewskiego 190	D+K	Dom jednorodzinny – Ogród – DK94
30	Puszkina 35	D+K	Dom jednorodzinny – DK94/Remondis Medison Sp. Z o.o.
32	Skład węgla/ Fabryczna 8	D+K	Ogród za domem jednorodzinny – F.W. Zenmar
33	Strzemieszycka/Szklanych Domów	HS	Saint Gobain Sekurit HanGlas Polska Sp. Z o.o. – Skrzyżowanie ulic – Sklep
34	Rudna 24	HS	Saint Gobain Sekurit HanGlas Polska Sp. Z o.o. – Dom jednorodzinny
35	Strzemieszycka 52	HS	Saint Gobain Sekurit HanGlas Polska Sp. Z o.o. – Dom jednorodzinny

HK 1 – Huta stali – najbliższe położenie

HK 2 – Huta stali – oddalona strefa

OM – Osiedle mieszkaniowe

D+K – Drogi i kolej

HS – Huta szkła

Tabela 3. Średnie koncentracje metali ciężkich i siarki ($\mu\text{g/g}$ s.m.) w porostach *Hypogymnia physodes* z terenu kontrolnego (otulina Parku Narodowego Boty Tucholskie) w 2013 r.

Pierwiastek	Koncentracja
Cd	0,33
Pb	2,43
Ni	1,21
Cr	0,55
Cu	3,3
Zn	61
Fe	352
S	1205

Tabela 4. Akumulacja kadmu i ołowiu ($\mu\text{g/g}$ s.m.) w plechach porostu *Hypogymnia physodes* transplantowanego w Dąbrowie Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014 (N=34).

Nr	Stanowisko	Kod	Koncentracja		Akumulacja	
			Cd	Pb	Cd	Pb
9	Kazdębie 62	HK1	1,14	15,07	0,81	12,64
10	Kazdębie 113	HK1	2,95	27,65	2,62	25,22
11	Koksownicza IV	HK1	3,52	95,50	3,19	93,07
12	Gołonoska I	HK1	1,85	26,97	1,52	24,54
13	Gołonoska II	HK1	2,02	62,74	1,69	60,31
14	Gołonoska III	HK1	3,43	74,71	3,10	72,28
15	Gołonoska IV	HK1	2,11	70,42	1,78	67,99
31	Grzybowa 5	HK1	1,05	15,53	0,72	13,10
3	Główna 136	HK2	1,29	15,09	0,96	12,66
4	Lipowa	HK2	1,90	23,52	1,57	21,09
5	Główna 206	HK2	2,05	25,79	1,72	23,36
6	Koksownicza I	HK2	2,74	103,97	2,41	101,54
7	Koksownicza II	HK2	3,71	126,35	3,38	123,92
8	Koksownicza III	HK2	1,72	40,80	1,39	38,37
16	Kazdębie 2A	HK2	1,54	37,19	1,21	34,76
17	Żurawia 19	OM	0,85	20,54	0,52	18,11
18	Boczna 23	OM	0,64	19,39	0,31	16,96
19	Sosnowiecka 44A	OM	1,21	25,19	0,88	22,76
20	Sportowa 16	OM	0,68	22,61	0,35	20,18
22	Łazienna	OM	1,25	13,82	0,92	11,39
23	Łazienna 26	OM	1,12	29,40	0,79	26,97
24	Modrzejowska 35	OM	1,18	29,32	0,85	26,89
25	Warszawska 71	OM	0,92	10,89	0,59	8,46
26	Ofiar Katynia 12	OM	0,87	17,39	0,54	14,96
27	Chabrowa	OM	0,61	12,07	0,28	9,64
1	Kawa 20	D+K	1,15	22,60	0,82	20,17
2	Główna 19	D+K	1,30	28,19	0,97	25,76
21	Orkana	D+K	1,09	33,42	0,76	30,99
28	Majewskiego 190	D+K	1,66	17,24	1,33	14,81
30	Puszkina 35	D+K	1,88	39,45	1,55	37,02
32	Skład węgla	D+K	2,16	38,87	1,83	36,44
33	Strzemieszycka/Szklanych Domów	HS	2,71	41,41	2,38	38,98
34	Rudna 24	HS	4,49	29,24	4,16	26,81
35	Strzemieszycka 52	HS	1,57	30,40	1,24	27,97
Średnia			1,78	36,55	1,45	34,12

N – liczba prób

HK 1 – Huta stali – najbliższe położenie

HK 2 – Huta stali – oddalona strefa

OM – Osiedle mieszkaniowe

D+K – Drogi i kolej

HS – Huta szkła

Tabela 5. Akumulacja chromu i niklu ($\mu\text{g/g}$ s.m.) w plechach porostu *Hypogymnia physodes* transplantowanego w Dąbrowie Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014 (N=34).

Nr	Stanowisko	Kod	Koncentracja		Akumulacja	
			Cr	Ni	Cr	Ni
9	Kazdębie 62	HK1	2,75	2,57	2,20	1,36
10	Kazdębie 113	HK1	6,07	6,82	5,52	5,61
11	Koksownicza IV	HK1	50,02	88,82	49,47	87,61
12	Gołonoska I	HK1	7,97	4,40	7,42	3,19
13	Gołonoska II	HK1	15,97	11,87	15,42	10,66
14	Gołonoska III	HK1	17,17	5,57	16,62	4,36
15	Gołonoska IV	HK1	16,86	5,82	16,31	4,61
31	Grzybowa 5	HK1	3,42	1,90	2,87	0,69
3	Główna 136	HK2	5,75	12,19	5,20	10,98
4	Lipowa	HK2	6,48	3,70	5,93	2,49
5	Główna 206	HK2	9,94	2,48	9,39	1,27
6	Koksownicza I	HK2	15,24	10,02	14,69	8,81
7	Koksownicza II	HK2	18,37	23,70	17,82	22,49
8	Koksownicza III	HK2	10,69	3,28	10,14	2,07
16	Kazdębie 2A	HK2	17,36	2,47	16,81	1,26
17	Żurawia 19	OM	2,62	2,02	2,07	0,81
18	Boczna 23	OM	21,17	194,94	20,62	193,73
19	Sosnowiecka 44A	OM	2,72	2,11	2,17	0,90
20	Sportowa 16	OM	1,57	1,72	1,02	0,51
22	Łazienna	OM	3,13	2,33	2,58	1,12
23	Łazienna 26	OM	3,45	2,10	2,90	0,89
24	Modrzejowska 35	OM	2,94	2,60	2,39	1,39
25	Warszawska 71	OM	4,23	13,50	3,68	12,29
26	Ofiar Katynia 12	OM	2,77	1,83	2,22	0,62
27	Chabrowa	OM	1,70	1,21	1,15	0,00
1	Kawa 20	D+K	2,43	2,19	1,88	0,98
2	Główna 19	D+K	5,59	1,90	5,04	0,69
21	Orkana	D+K	4,51	2,83	3,96	1,62
28	Majewskiego 190	D+K	4,05	10,94	3,50	9,73
30	Puszkina 35	D+K	6,91	2,58	6,36	1,37
32	Skład węgla	D+K	5,38	3,52	4,83	2,31
33	Strzemieszycza/Szklanych Domów	HS	5,78	1,99	5,23	0,78
34	Rudna 24	HS	2,91	3,96	2,36	2,75
35	Strzemieszycza 52	HS	2,40	2,14	1,85	0,93
Średnia			8,54	13,00	7,99	11,79

N – liczba prób

HK 1 – Huta stali – najbliższe położenie

HK 2 – Huta stali – oddalona strefa

OM – Osiedle mieszkaniowe

D+K – Drogi i kolej

HS – Huta szkła

Tabela 6. Akumulacja miedzi i cynku ($\mu\text{g/g}$ s.m.) w plechach porostu *Hypogymnia physodes* transplantowanego w Dąbrowie Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014 (N=34).

Nr	Stanowisko	Kod	Koncentracja		Akumulacja	
			Cu	Zn	Cu	Zn
9	Kazdębie 62	HK1	7,8	142	4,5	81
10	Kazdębie 113	HK1	12,5	295	9,2	234
11	Koksownicza IV	HK1	17,3	2000	14,0	1939
12	Gołonoska I	HK1	7,5	257	4,2	196
13	Gołonoska II	HK1	7,5	371	4,2	310
14	Gołonoska III	HK1	9,4	378	6,1	317
15	Gołonoska IV	HK1	9,1	310	5,8	249
31	Grzybowa 5	HK1	6,6	137	3,3	76
3	Główna 136	HK2	8,1	176	4,8	115
4	Lipowa	HK2	11,5	251	8,2	190
5	Główna 206	HK2	6,9	228	3,6	167
6	Koksownicza I	HK2	10,3	410	7,0	349
7	Koksownicza II	HK2	11,5	467	8,2	406
8	Koksownicza III	HK2	7,9	213	4,6	152
16	Kazdębie 2A	HK2	6,1	203	2,8	142
17	Żurawia 19	OM	3,3	129	0,0	68
18	Boczna 23	OM	4,0	103	0,7	42
19	Sosnowiecka 44A	OM	4,3	162	1,0	101
20	Sportowa 16	OM	3,3	97	0,0	36
22	Łazienna	OM	4,9	149	1,6	88
23	Łazienna 26	OM	4,8	155	1,5	94
24	Modrzejowska 35	OM	8,9	164	5,6	103
25	Warszawska 71	OM	4,8	120	1,5	59
26	Ofiar Katynia 12	OM	7,6	119	4,3	58
27	Chabrowa	OM	4,9	95	1,6	34
1	Kawa 20	D+K	4,2	144	0,9	83
2	Główna 19	D+K	8,2	213	4,9	152
21	Orkana	D+K	8,0	172	4,7	111
28	Majewskiego 190	D+K	6,8	167	3,5	106
30	Puszkina 35	D+K	11,5	207	8,2	146
32	Skład węgla	D+K	10,8	181	7,5	120
33	Strzemieszycka/Szklanych Domów	HS	12,9	309	9,6	248
34	Rudna 24	HS	11,6	303	8,3	242
35	Strzemieszycka 52	HS	7,5	143	4,2	82
Średnia			8,0	264	4,7	203

N – liczba prób

HK 1 – Huta stali – najbliższe położenie

HK 2 – Huta stali – oddalona strefa

OM – Osiedle mieszkaniowe

D+K – Drogi i kolej

HS – Huta szkła

Tabela 7. Akumulacja żelaza i siarki ($\mu\text{g/g}$ s.m.) w plechach porostu *Hypogymnia physodes* transplantowanego w Dąbrowie Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014 (N=34).

Nr	Stanowisko	Kod	Koncentracja		Akumulacja	
			Fe	S	Fe	S
9	Kazdębie 62	HK1	2418	2692	2066	1487
10	Kazdębie 113	HK1	7580	1734	7228	529
11	Koksownicza IV	HK1	38950	3188	38598	1983
12	Gołonoska I	HK1	11352	2912	11000	1707
13	Gołonoska II	HK1	28124	2626	27772	1421
14	Gołonoska III	HK1	29405	2867	29053	1662
15	Gołonoska IV	HK1	28364	3090	28012	1885
31	Grzybowa 5	HK1	2708	1998	2356	793
3	Główna 136	HK2	2703	2048	2351	843
4	Lipowa	HK2	2961	2606	2609	1401
5	Główna 206	HK2	3687	1788	3335	583
6	Koksownicza I	HK2	11075	2625	10723	1420
7	Koksownicza II	HK2	11445	2702	11093	1497
8	Koksownicza III	HK2	4751	2477	4399	1272
16	Kazdębie 2A	HK2	4286	1687	3934	482
17	Żurawia 19	OM	2946	1840	2594	635
18	Boczna 23	OM	1638	1997	1286	792
19	Sosnowiecka 44A	OM	2068	2069	1716	864
20	Sportowa 16	OM	1054	2084	702	879
22	Łazienna	OM	2045	2126	1693	921
23	Łazienna 26	OM	2864	1668	2512	463
24	Modrzejowska 35	OM	2478	1930	2126	725
25	Warszawska 71	OM	1802	2134	1450	929
26	Ofiar Katynia 12	OM	2904	1900	2552	695
27	Chabrowa	OM	1681	2120	1329	915
1	Kawa 20	D+K	2460	1544	2108	339
2	Główna 19	D+K	3116	2376	2764	1171
21	Orkana	D+K	2907	1888	2555	683
28	Majewskiego 190	D+K	1958	1738	1606	533
30	Puszkina 35	D+K	6302	1935	5950	730
32	Skład węgla	D+K	3583	1773	3231	568
33	Strzemieszycza/Szklanych Domów	HS	3843	2178	3491	973
34	Rudna 24	HS	3124	2403	2772	1198
35	Strzemieszycza 52	HS	2836	1947	2484	742
Średnia			7101	2197	6749	992

N – liczba prób

HK 1 – Huta stali – najbliższe położenie

HK 2 – Huta stali – oddalona strefa

OM – Osiedle mieszkaniowe

D+K – Drogi i kolej

HS – Huta szkła

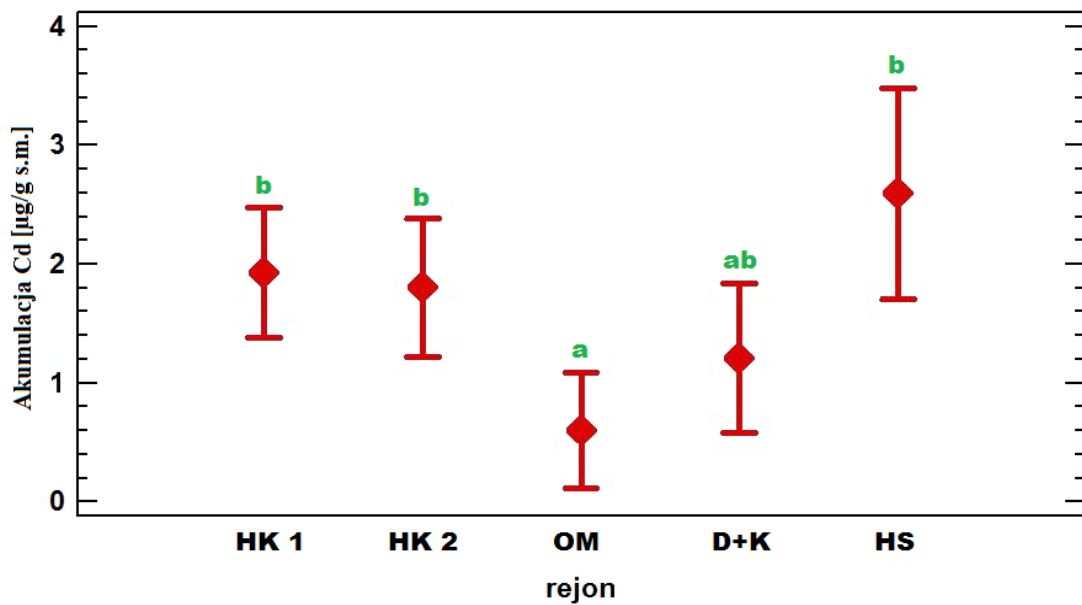
Tabela 8. Porównanie średniej akumulacji metali ciężkich i siarki ($\mu\text{g/g}$ s.m.) w plechach porostu *Hypogymnia physodes* w Dąbrowie Górniczej pomiędzy wybranymi rejonami HK1, HK2, OM, D+K, HS w sezonie zimowym 2013/2014.

Pierwiastek	Rejon	N	Średnia	Min	Max
Cd	HK1	8	1,93 ^b	0,72	3,19
	HK2	7	1,81 ^b	0,96	3,38
	OM	10	0,60 ^a	0,28	0,92
	D+K	6	1,21 ^{ab}	0,76	1,83
	HS	3	2,59 ^b	1,24	4,16
Pb	HK1	8	46,14	12,64	93,07
	HK2	7	50,81	12,66	123,92
	OM	10	17,63	8,46	26,97
	D+K	6	27,53	14,81	37,02
	HS	3	31,25	26,81	38,98
Ni	HK1	8	14,76	0,69	87,61
	HK2	7	7,05	1,26	22,49
	OM	10	21,22	0,00	193,73
	D+K	6	2,78	0,69	9,73
	HS	3	1,49	0,78	2,75
Cr	HK1	8	14,48 ^b	2,20	49,47
	HK2	7	11,43 ^b	5,20	17,82
	OM	10	4,08 ^a	1,02	20,62
	D+K	6	4,26 ^{ab}	1,88	6,36
	HS	3	3,15 ^{ab}	1,85	5,23
Cu	HK1	8	6,4 ^b	3,3	14,0
	HK2	7	5,6 ^b	2,8	8,2
	OM	10	1,8 ^a	0,0	5,6
	D+K	6	4,9 ^{ab}	0,9	8,2
	HS	3	7,4 ^b	4,2	9,6
Zn	HK1	8	425 ^b	76	1939
	HK2	7	217 ^b	115	406
	OM	10	68 ^a	34	103
	D+K	6	120 ^{ab}	83	152
	HS	3	191 ^{ab}	82	248
Fe	HK1	8	18261 ^b	2066	38598
	HK2	7	5492 ^a	2351	11093
	OM	10	1796 ^a	702	2594
	D+K	6	3036 ^a	1606	5950
	HS	3	2916 ^a	2484	3491
S	HK1	8	1433 ^b	529	1983
	HK2	7	1071 ^{ab}	482	1497
	OM	10	782 ^a	463	929
	D+K	6	671 ^a	339	1171
	HS	3	971 ^{ab}	742	1198

N – liczba prób

a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)

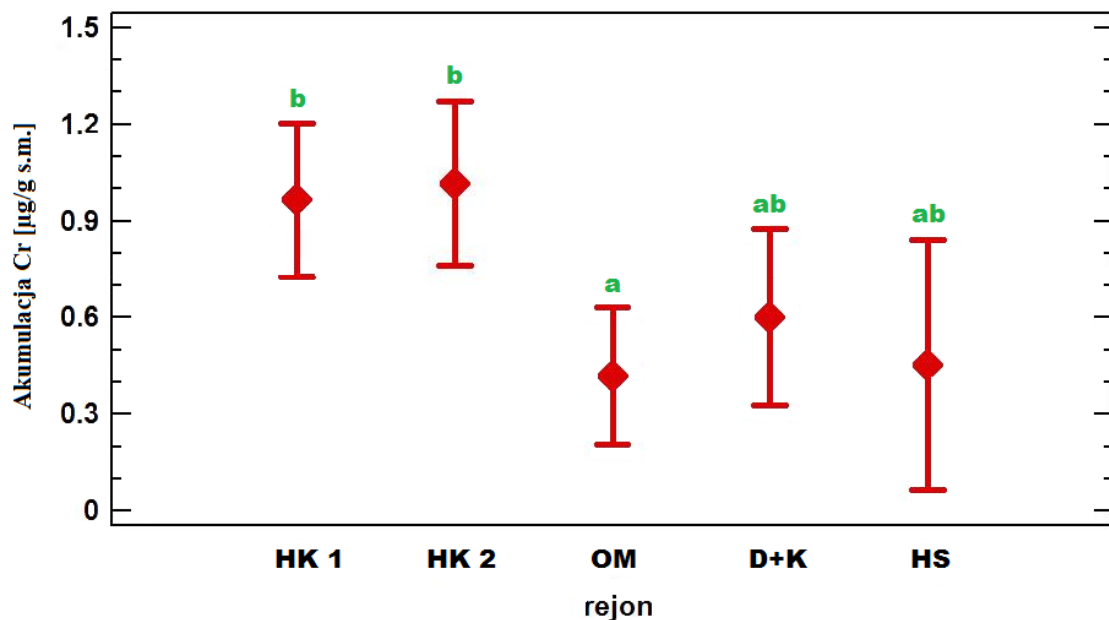
Cd



Rycina 12. Graficzna interpretacja istotności różnic lub jej braku w porównaniu akumulacji kadmu w plechach *H. physodes* transplantowanych w pięciu rejonach Dąbrowy Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014.

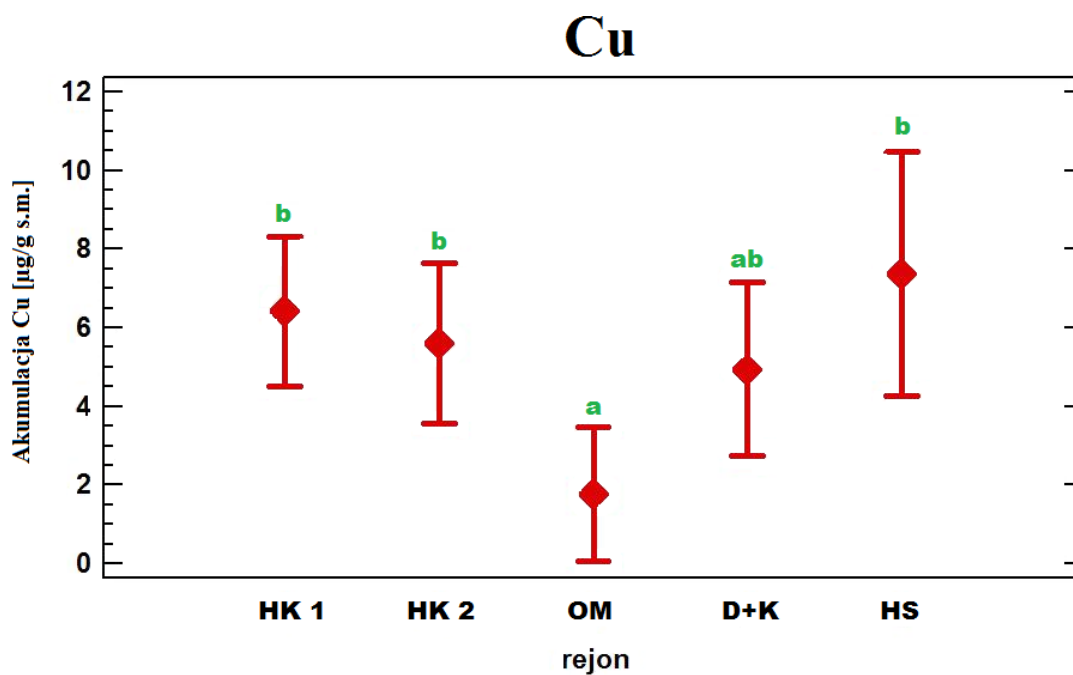
a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)

Cr



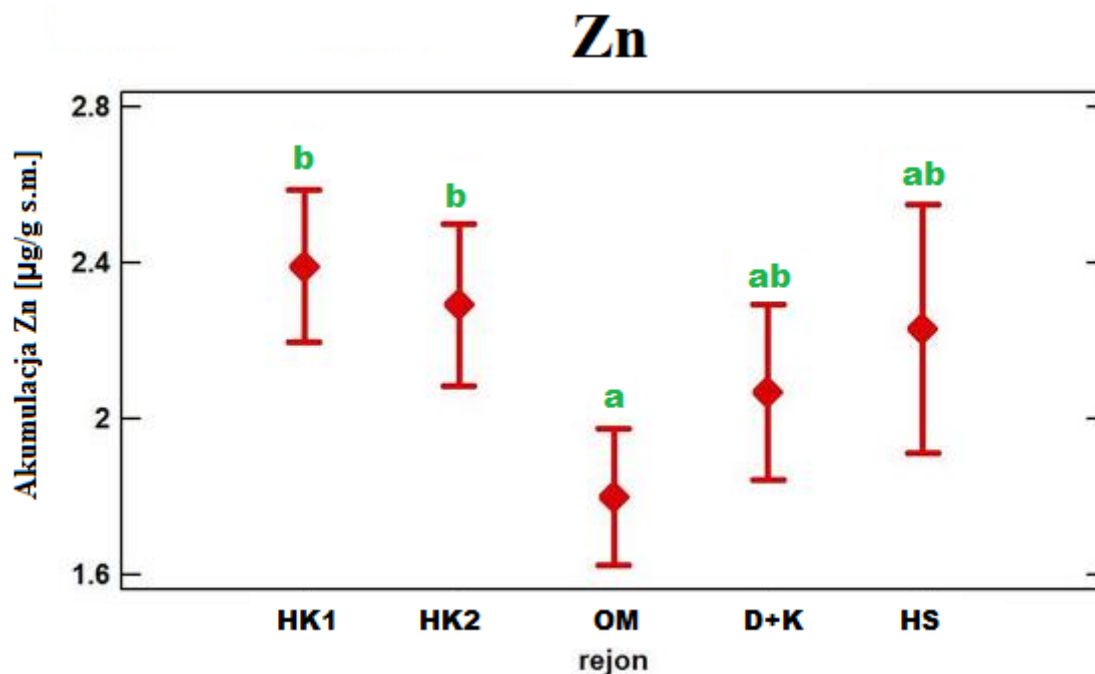
Rycina 13. Graficzna interpretacja istotności różnic lub jej braku w porównaniu akumulacji chromu w plechach *H. physodes* transplantowanych w pięciu rejonach Dąbrowy Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014 (dane zlogarytmowane).

a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)



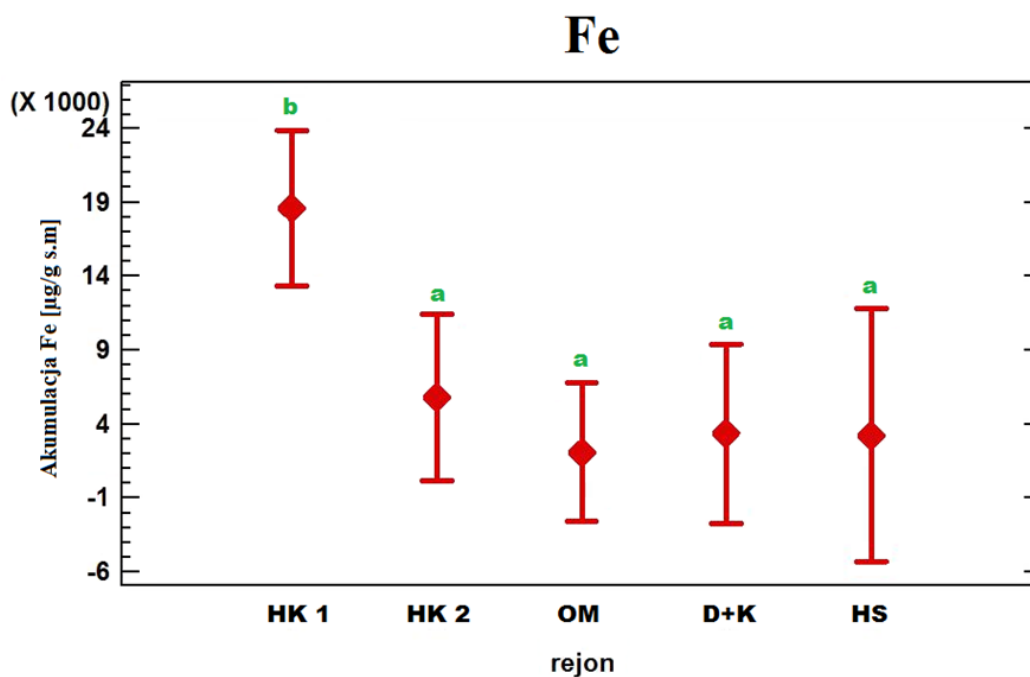
Rycina 14. Graficzna interpretacja istotności różnic lub jej braku w porównaniu akumulacji miedzi w plechach *H. physodes* transplantowanych w pięciu rejonach Dąbrowy Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014

a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)



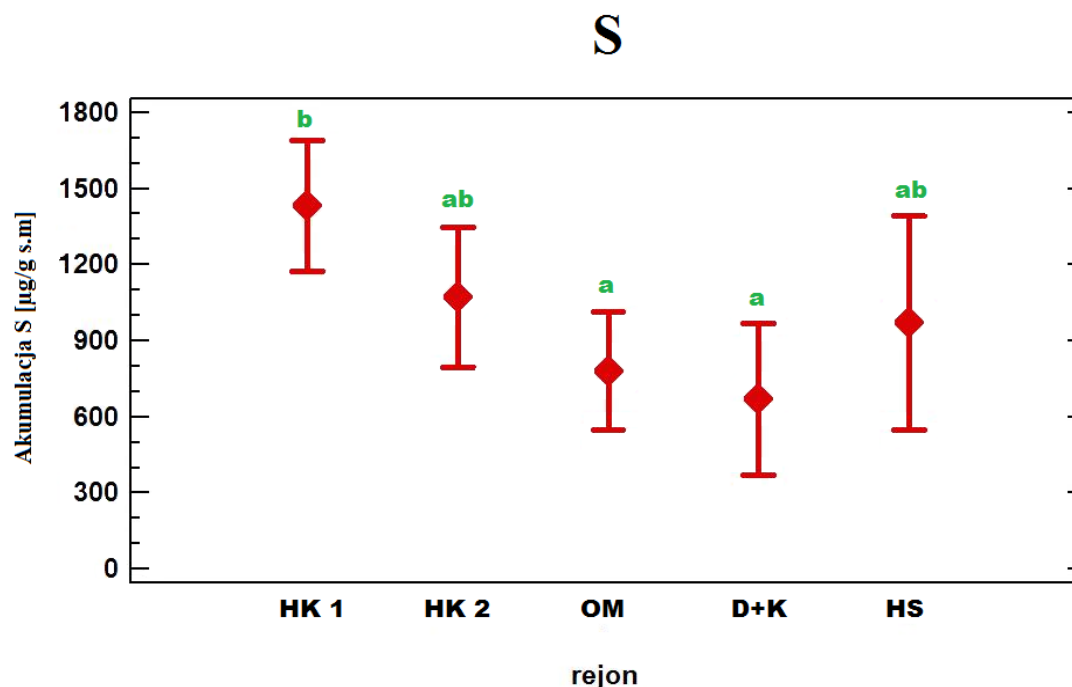
Rycina 15. Graficzna interpretacja istotności różnic lub jej braku w porównaniu akumulacji cynku w plechach *H. physodes* transplantowanych w pięciu rejonach Dąbrowy Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014

a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)



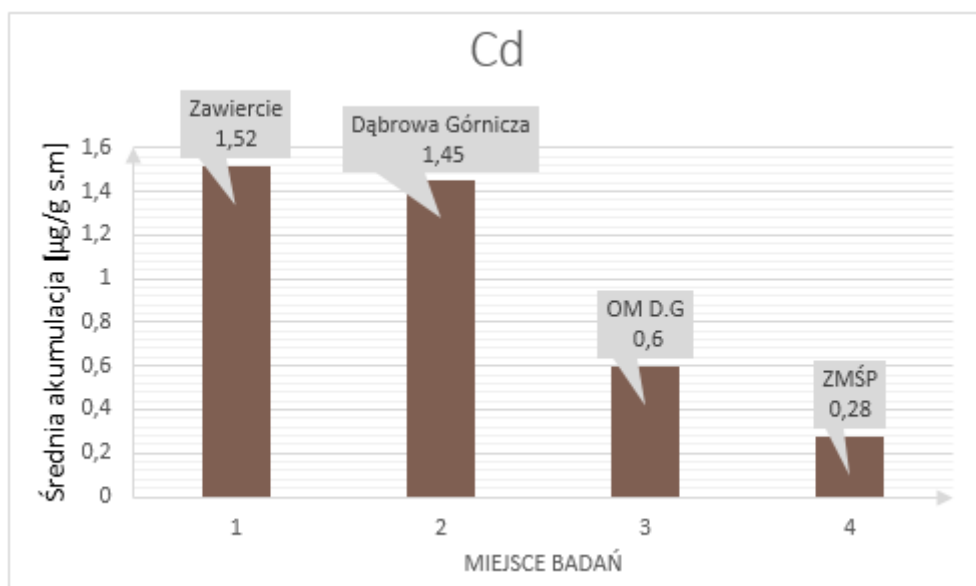
Rycina 16. Graficzna interpretacja istotności różnic lub jej braku w porównaniu akumulacji żelaza w plechach *H. physodes* transplantowanych w pięciu rejonach Dąbrowy Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014 (dane zlogarytmowane).

a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)

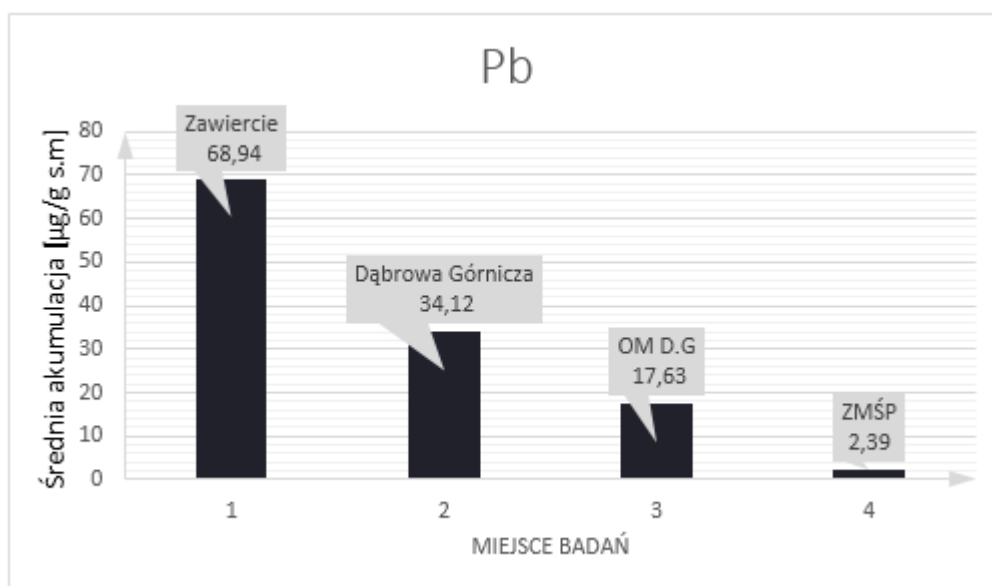


Rycina 17. Graficzna interpretacja istotności różnic lub jej braku w porównaniu akumulacji siarki w plechach *H. physodes* transplantowanych w pięciu rejonach Dąbrowy Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014.

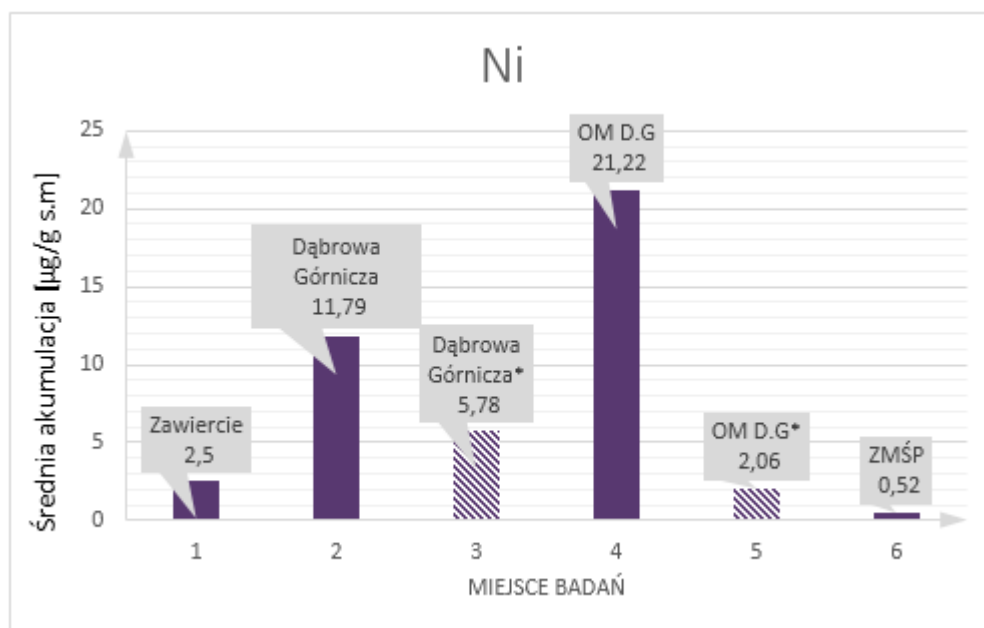
a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)



Rycina 18. Graficzne porównanie średniej akumulacji kadmu w Zawierciu, Dąbrowie Górniczej, Osiedlu mieszkaniowym w Dąbrowie Górniczej oraz w trzech Stacjach Bazowych ZMŚP.

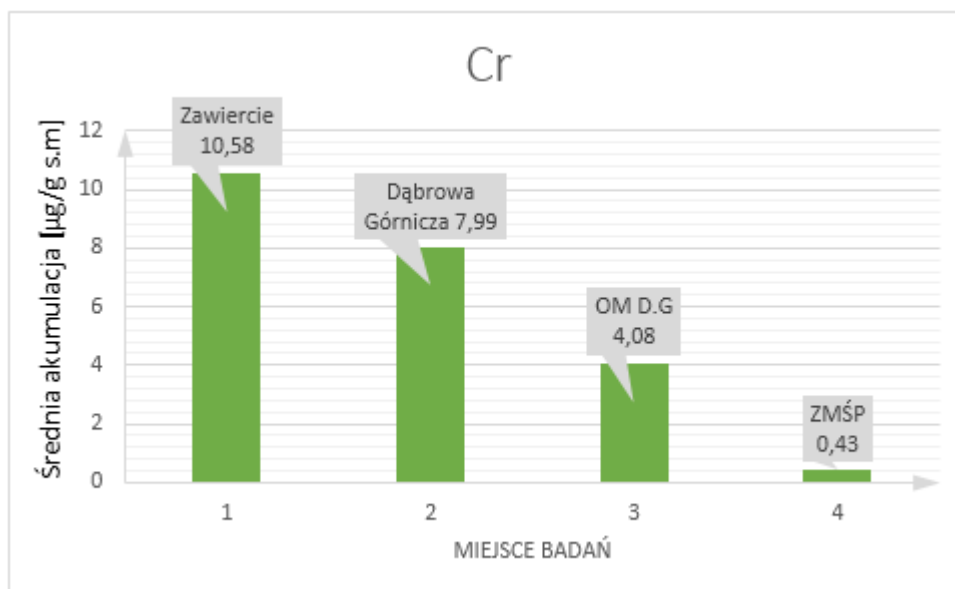


Rycina 19. Graficzne porównanie średniej akumulacji ołowiu w Zawierciu, Dąbrowie Górniczej, Osiedlu mieszkaniowym w Dąbrowie Górniczej oraz w trzech Stacjach Bazowych ZMŚP.

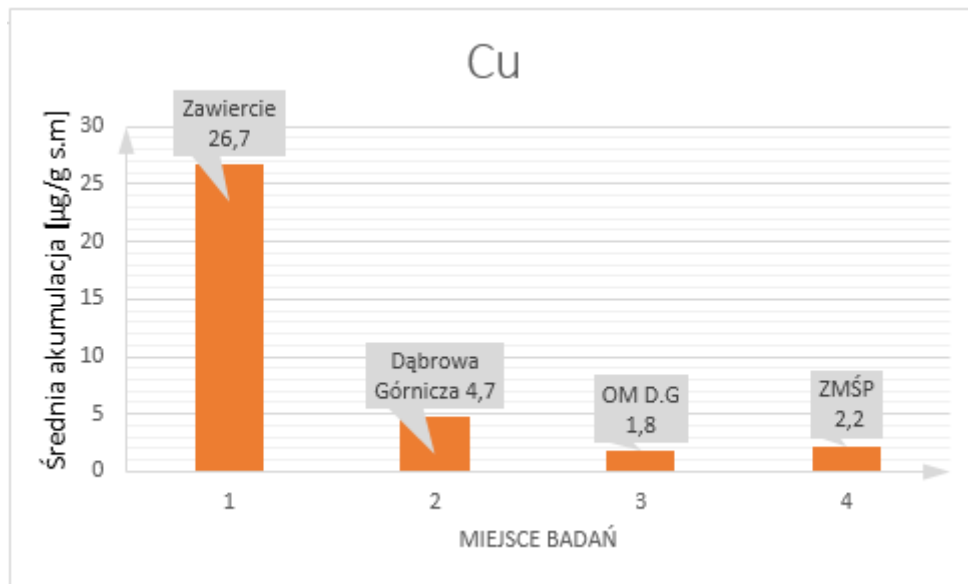


Rycina 20. Graficzne porównanie średniej akumulacji niklu w Zawierciu, Dąbrowie Górniczej, Osiedlu mieszkaniowym w Dąbrowie Górniczej oraz w trzech Stacjach Bazowych ZMŚP.

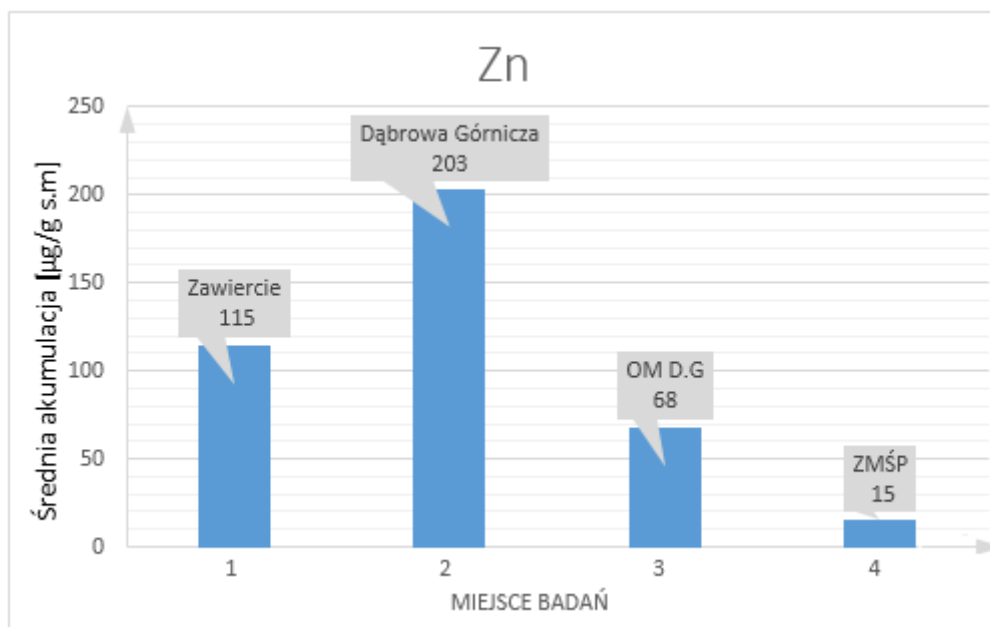
*zaznaczono średnią dla Dąbrowy Górniczej i dla rejonu OM D.G bez skrajnej wartości (punkt nr 18)



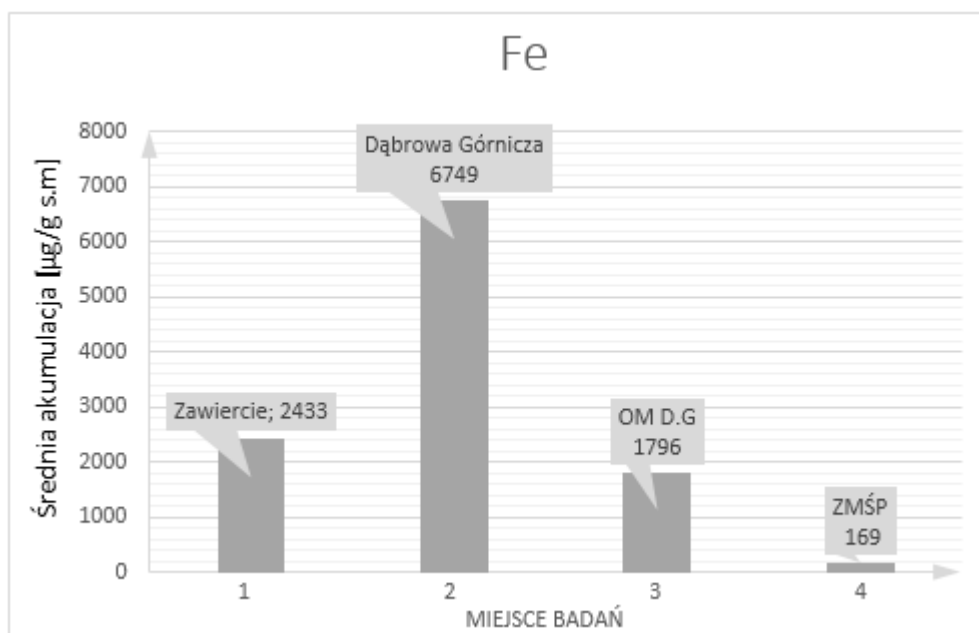
Rycina 21. Graficzne porównanie średniej akumulacji chromu w Zawierciu, Dąbrowie Górniczej, Osiedlu mieszkaniowym w Dąbrowie Górniczej oraz w trzech Stacjach Bazowych ZMŚP.



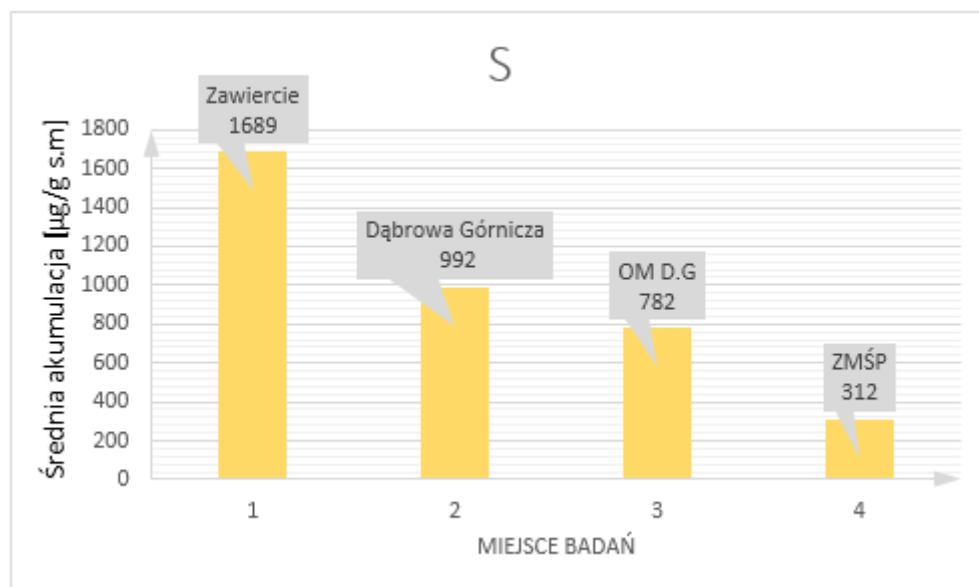
Rycina 22. Graficzne porównanie średniej akumulacji miedzi w Zawierciu, Dąbrowie Górniczej, Osiedlu mieszkaniowym w Dąbrowie Górniczej oraz w trzech Stacjach Bazowych ZMŚP.



Rycina 23. Graficzne porównanie średniej akumulacji cynku w Zawierciu, Dąbrowie Górniczej, Osiedlu mieszkaniowym w Dąbrowie Górniczej oraz w trzech Stacjach Bazowych ZMŚP.

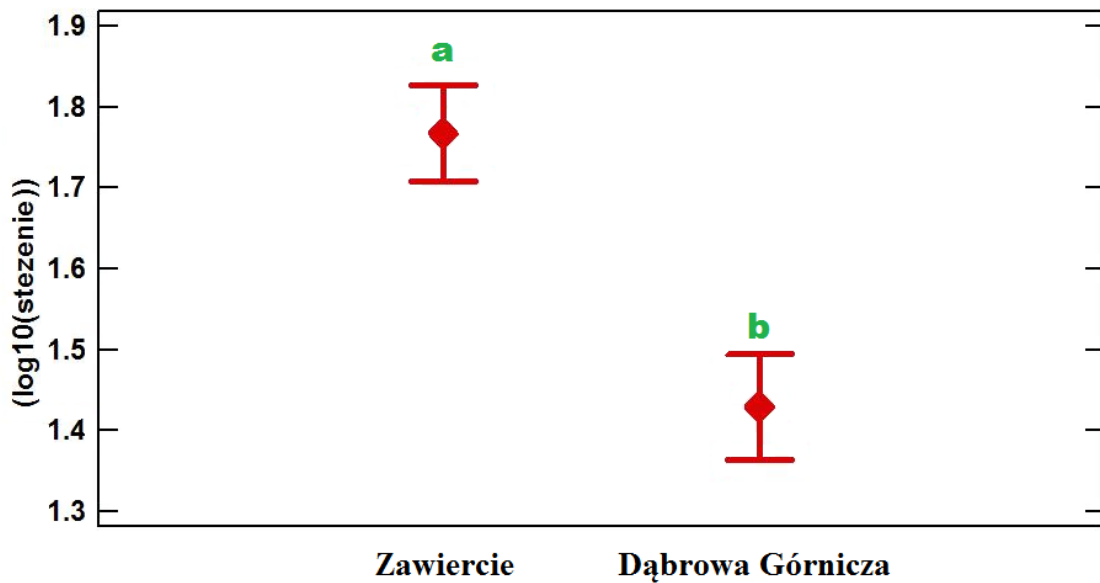


Rycina 24. Graficzne porównanie średniej akumulacji żelaza w Zawierciu, Dąbrowie Górniczej, Osiedlu mieszkaniowym w Dąbrowie Górniczej oraz w trzech Stacjach Bazowych ZMŚP.



Rycina 25. Graficzne porównanie średniej akumulacji siarki w Zawierciu, Dąbrowie Górniczej, Osiedlu mieszkaniowym w Dąbrowie Górniczej oraz w trzech Stacjach Bazowych ZMŚP.

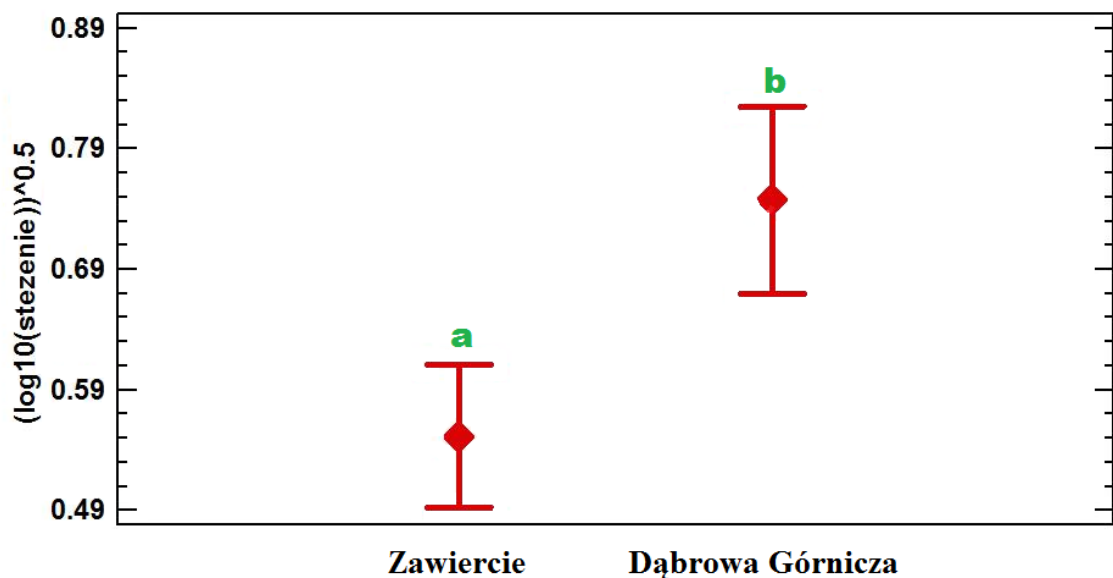
Pb



Rycina 26. Graficzna interpretacja istotności różnic lub jej braku w porównaniu średniej akumulacji ołowiu w plechach *H. physodes* w Zawierciu (2008/2009) i Dąbrowie Górniczej (2013/2014) (dane zlogarytmowane).

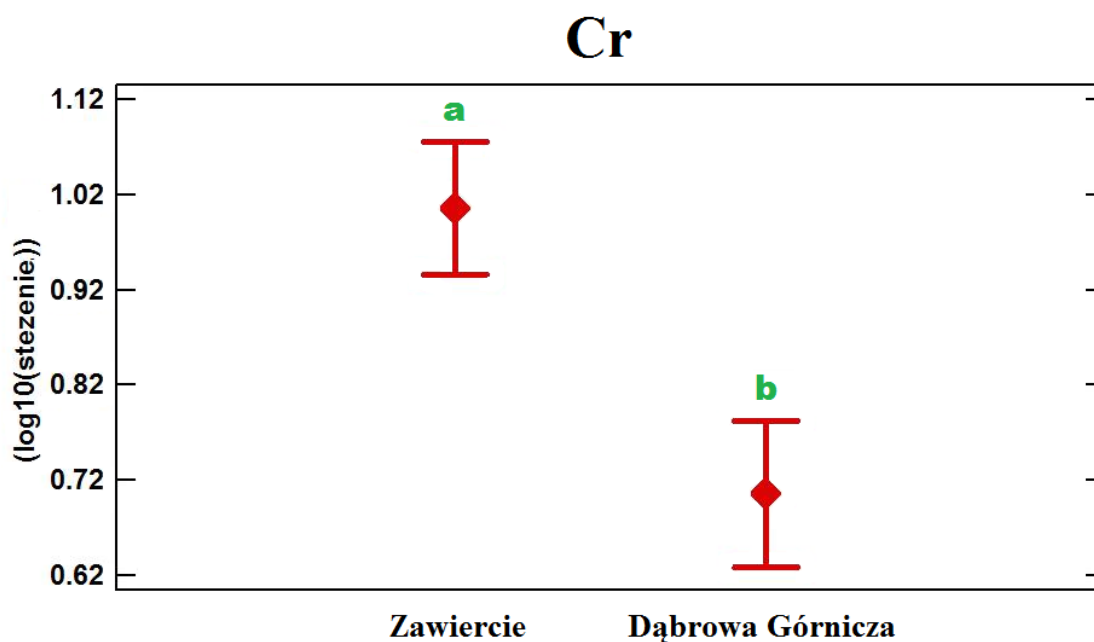
a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)

Ni



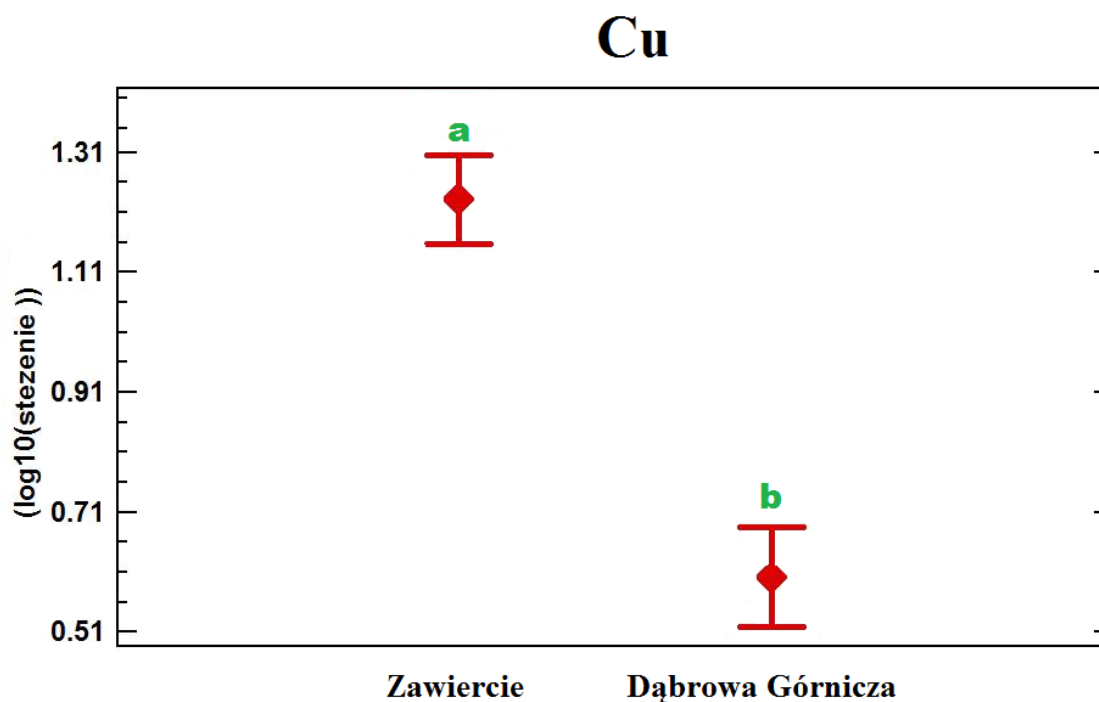
Rycina 27. Graficzna interpretacja istotności różnic lub jej braku w porównaniu średniej akumulacji niklu w plechach *H. physodes* w Zawierciu (2008/2009) i Dąbrowie Górniczej (2013/2014) (dane zlogarytmowane).

a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)



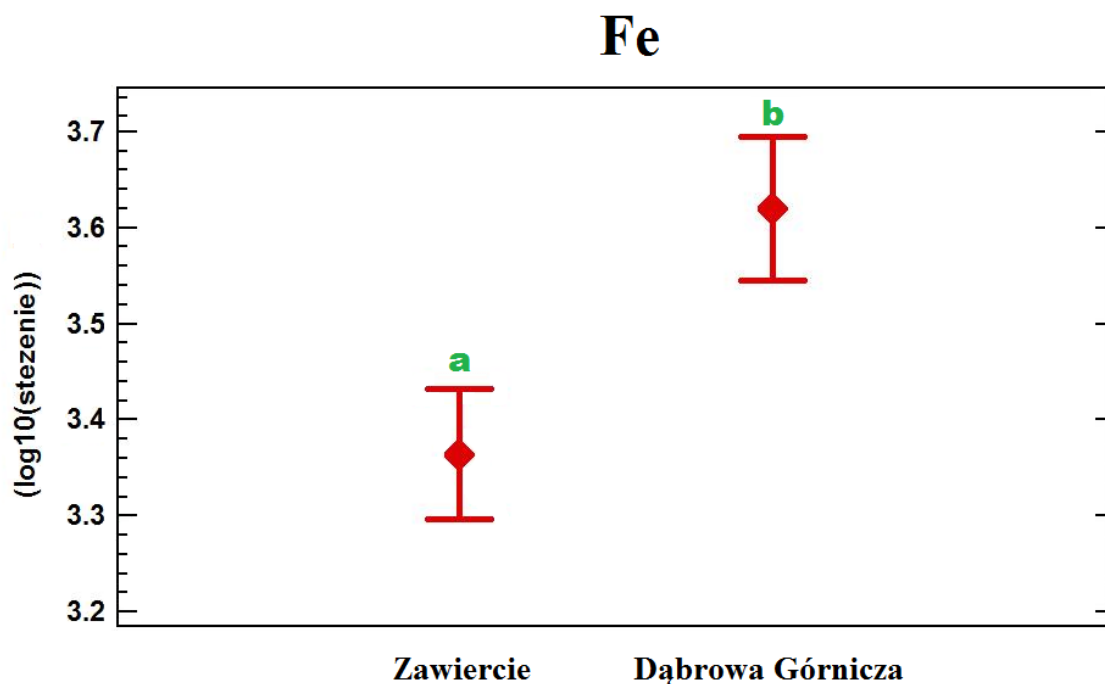
Rycina 28. Graficzna interpretacja istotności różnic lub jej braku w porównaniu średniej akumulacji chromu w plechach *H. physodes* w Zawierciu (2008/2009) i Dąbrowie Górniczej (2013/2014) (dane zlogarytmowane).

a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)



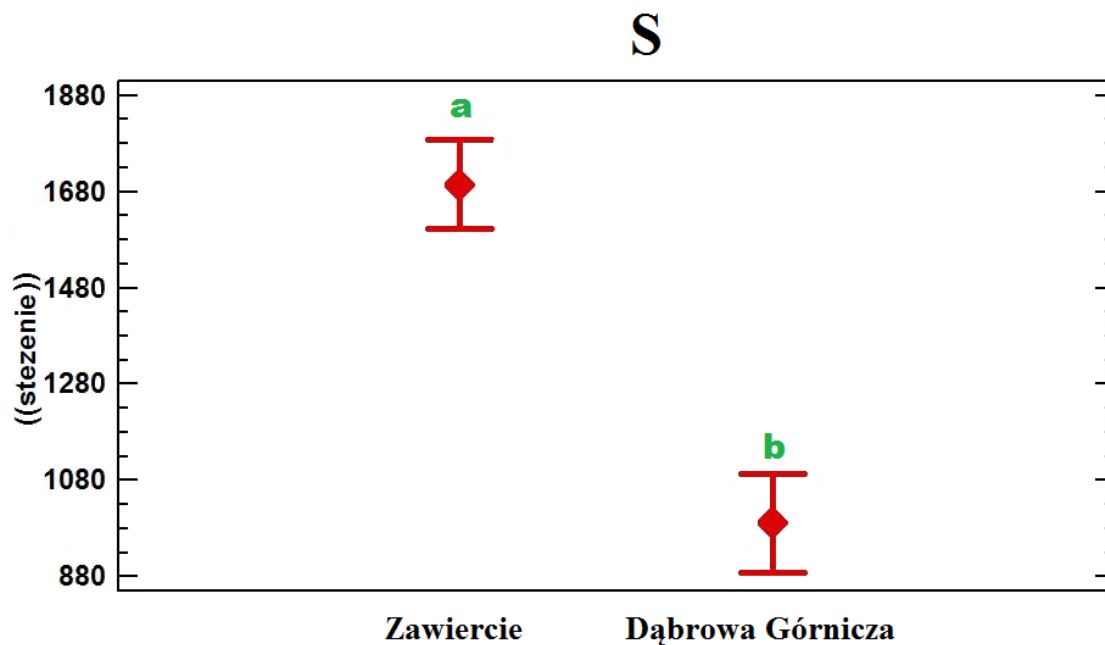
Rycina 29. Graficzna interpretacja istotności różnic lub jej braku w porównaniu średniej akumulacji miedzi w plechach *H. physodes* w Zawierciu (2008/2009) i Dąbrowie Górniczej (2013/2014) (dane zlogarytmowane).

a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)



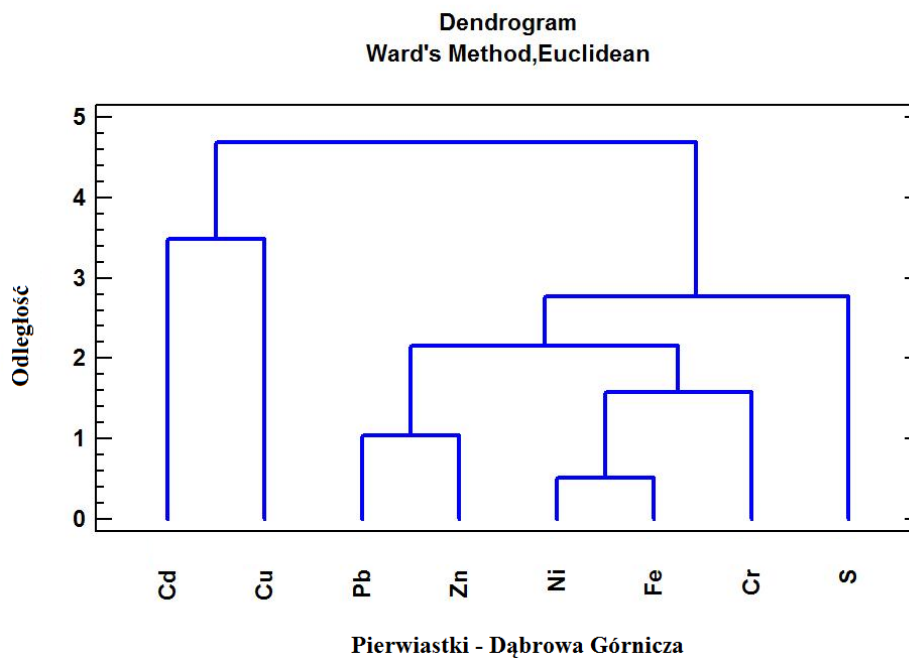
Rycina 30. Graficzna interpretacja istotności różnic lub jej braku w porównaniu średniej akumulacji żelaza w plechach *H. physodes* w Zawierciu (2008/2009) i Dąbrowie Górniczej (2013/2014) (dane zlogarytmowane).

a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)

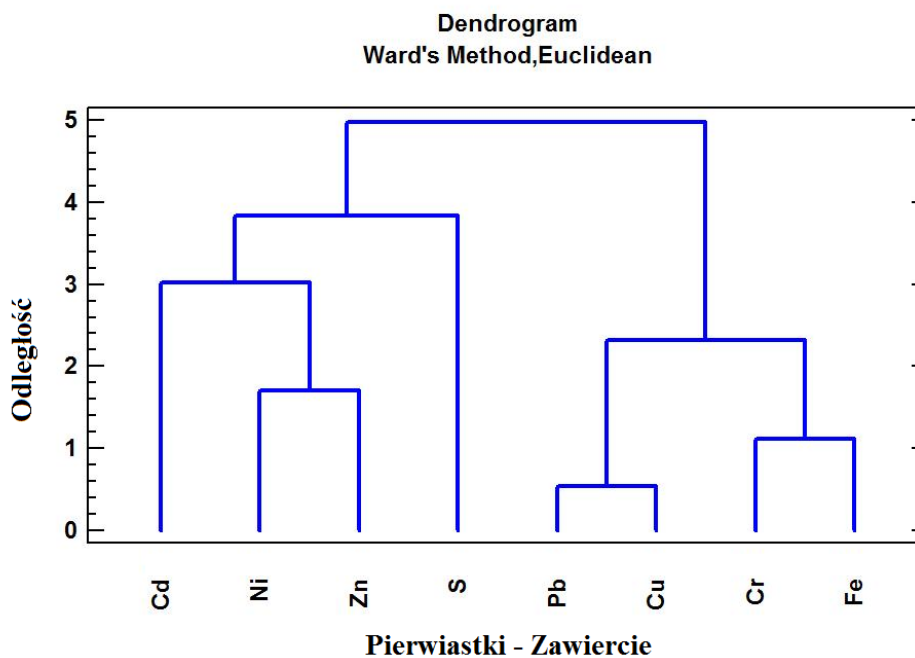


Rycina 31. Graficzna interpretacja istotności różnic lub jej braku w porównaniu średniej akumulacji siarki w plechach *H. physodes* w Zawierciu (2008/2009) i Dąbrowie Górniczej (2013/2014).

a, b – różnymi literami oznaczono różnice istotne statystycznie pomiędzy badanymi rejonami dla danego pierwiastka ($p < 0,05$)



Rycina 32. Dendrogram analizy (wyodrębniania) skupień stężeń pierwiastków w Dąbrowie Górniczej w sezonie zimowym 2013/2014.



Rycina 33. Dendrogram analizy (wyodrębniania) skupień stężenia pierwiastków w Zawierciu w sezonie zimowym 2008/2009.