

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

BARBARA WALCZAK

**PYŁY DROGOWE JAKO POTENCJALNE ZAGROŻENIE
DLA EKOSYSTEMÓW MIEJSKICH
NA PRZYKŁADZIE ZIELONEJ GÓRY**

PRACA DOKTORSKA

Promotor pracy doktorskiej:

prof. nzw., dr hab. inż. Andrzej Greinert

ZIELONA GÓRA 2008

Składam serdeczne podziękowania

Promotorowi pracy

prof. nzw., dr hab. inż. Andrzejowi Greinertowi

za pomoc i motywację do pisania niniejszej pracy.

Spis treści

1.	Wprowadzenie	5
1.1.	Tezy, cel i zakres pracy.....	6
2.	Przegląd literatury	8
2.1.	Środowisko przyrodnicze miast.....	8
2.1.1.	Czynniki naturalne	8
2.1.2.	Czynniki antropogeniczne	10
2.2.	Pyły w środowisku miejskim.....	15
2.2.1.	Pochodzenie pyłów	16
2.2.2.	Erozja gleb jako źródło pyłów w mieście.....	17
2.3.	Rodzaje pyłów	18
2.3.1.	Pyły zawieszone.....	19
2.3.2.	Pyły drogowe	20
2.4.	Skład chemiczny pyłów	20
2.5.	Oddziaływanie pyłów na środowisko przyrodnicze	22
2.5.1.	Oddziaływanie na powietrze atmosferyczne	23
2.5.2.	Oddziaływanie na gleby.....	24
2.5.3.	Oddziaływanie na wody.....	25
2.5.4.	Oddziaływanie na rośliny	26
2.5.5.	Oddziaływanie na ludzi	28
2.6.	Stan prawny	33
2.6.1.	Normy czystości gleb.....	33
2.6.2.	Normy czystości powietrza atmosferycznego	34
2.6.3.	Normy zapylenia środowiska miejskiego.....	35
2.7.	Walka z zapyleniem w środowisku miejskim.....	35
2.7.1.	Ograniczanie emisji	36
2.7.2.	Prace porządkowe	38
2.7.3.	Zabiegi przeciwerozyjne.....	39
2.7.4.	Świadoma planistyka	40
2.8.	Czynniki wpływające na stan środowiska Zielonej Góry.....	41
2.9.	Warunki przyrodnicze.....	47
3.	Materiały i metody badawcze	50
3.1.	Lokalizacja obszaru badań.....	50
3.2.	Metodyka poboru próbek.....	56
3.3.	Zastosowane metody analityczne	57
3.4.	Analiza statystyczna wyników badań	58
4.	Wyniki badań.....	59
4.1.	Poziomy powierzchniowe gleb	59
4.1.1.	Cechy morfologiczne	59
4.1.2.	Odczyn gleb	59
4.1.3.	Przewodność elektryczna gleby.....	60
4.1.4.	Zawartość materii organicznej.....	61
4.1.5.	Zawartość metali ciężkich	61
4.2.	Pyły drogowe	67
4.2.1.	Odczyn	67
4.2.2.	Przewodność elektryczna pyłów drogowych.....	68
4.2.3.	Węgiel organiczny	71

4.2.4.	Skład granulometryczny pyłów drogowych	72
4.2.5.	Metale ciężkie w pyłach drogowych	75
4.2.6.	Zawartość makroskładników w pyłach drogowych	88
4.2.7.	Ropopochodne	98
5.	Dyskusja	99
6.	Wnioski.....	111
7.	Spis literatury.....	112
8.	Spis tabel.....	122
9.	Spis rysunków.....	123
10.	Spis fotografii	125
11.	Załączniki	126

1. Wprowadzenie

Zagadnienie pyłów drogowych jest tematem słabo opracowanym w literaturze światowej, w odróżnieniu od pyłu zawieszonego, który jest badany we wszystkich większych miastach na świecie i Polsce, poprzez ośrodki naukowe i stacje monitorujące środowisko. Na świecie tematem tym zaczęto interesować się niedawno; w Polsce natomiast jest on zupełną nowością. W Europie i państwach pozaeuropejskich zauważono szkodliwość pyłów drogowych już w latach osiemdziesiątych, ale były to nieliczne opracowania. Zauważono je w tych miastach, gdzie liczba mieszkańców jest duża, a warunki klimatyczne powodują, że pył długo zalega na powierzchni dróg stając się coraz bardziej uciążliwym poprzez wtórne jego unoszenie przez wiatr i ruch samochodowy. Specyficzne układy miast powodują występowanie smogu, a obecność pyłu drogowego pogłębia to zjawisko. W Polsce problem czystości powietrza atmosferycznego w warstwach przyziemnych nie jest taki jak np. w Chinach, gdzie mieszkańcy powszechnie używają masek przeciwpyłowych, przykrywających nos i usta. Nie znaczy to jednak, że jesteśmy bezpieczni przed tym zagrożeniem.

Pył drogowy formowany jest przez cząstki mineralne i organiczne, pochodzące z gleby, emitorów przemysłowych i pojazdów samochodowych. W literaturze anglojęzycznej pył taki określany jest jako „*street dust*” lub „*urban dust*”. Ogólnie ujmując, jest to materiał zalegający na ulicach miast. Pył drogowy jest produktem interakcji materiałów stałych, gazowych i ciekłych różnego pochodzenia. Głównym składnikiem pyłów drogowych są minerały występujące powszechnie w glebie. Wśród nich zdecydowanie wyróżnia się kwarc, w mniejszych ilościach występują skalenie, dolomit i kalcyt, a także minerały pochodzenia antropogenicznego takie jak: krystaliczne związki ołowiu, mulit i inne. W pyłach drogowych występują metale ciężkie, węglowodory aromatyczne i wiele toksycznych związków. Skład chemiczny pyłów drogowych jest uzależniony od wielu czynników, między innymi: rodzaju gleby otaczającej pasy drogi i zanieczyszczeń dawnych, skumulowanych w glebie, emisji zanieczyszczeń przemysłowych występujących na danym terenie, rodzaju pojazdów poruszających się po drogach, jakości paliwa używanego do napędu silników, natężenia ruchu drogowego, rodzaju nawierzchni ulic a także warunków atmosferycznych.

W związku z ruchem demograficznym ze wsi do miast, notowanym już od wieków, a zdecydowanie zintensyfikowanym współcześnie, większość populacji zamieszkuje lub

w przyszłości zamieszka w miastach. Narastające procesy globalizacyjno-cywilizacyjne determinują powstawanie megametropolii. Szybkie rozprzestrzenianie się miast jest dziś kluczowym problemem na wszystkich kontynentach. Zjawisko to wywołuje bardzo dużo problemów, w tym przyrodniczo-ekologicznych oraz determinuje ogólną koncepcję życia. Pogarszający się stan zdrowia mieszkańców miast, zwłaszcza zwiększenie liczby ludzi zapadających na choroby cywilizacyjne, w tym astmę i różnego rodzaju alergię, stawia pytanie jakie szkodliwe czynniki występują w tym środowisku. Skłania to także do przyjrzenia się czynnikom dostającym się bezpośrednio do organizmu ludzkiego, m.in. przez układ oddechowy i skórę. Pyły drogowe są w ciągłym ruchu. W dni suche i wietrzne są unoszone do góry i przedostają się na ludzi, zwierzęta i rośliny. W dni deszczowe przenikają do wód podziemnych, zbiorników powierzchniowych i cieków wodnych.

Nie można lekceważyć wpływu pyłów drogowych na organizmy żywe, z uwagi na wielką powierzchnię zajmowaną w miastach przez ulice, place i ciągi piesze. Duże ilości zanieczyszczeń powstają w bezpośrednim związku z ich użytkowaniem lub na nich osadzają się. Bazując na nomenklaturze używanej w Prawie Ochrony Środowiska nie można ich jednoznacznie sklasyfikować, ze względu na specyficzny skład oraz wysokie ładunki zanieczyszczeń.

Prezentowana praca daje pogląd na problematykę pyłów drogowych, podejmuje problematykę ich pochodzenia, a także przedstawia zagrożenia jakie wynikają z zalegania na terenach zurbanizowanych tego niebezpiecznego dla środowiska materiału.

1.1. Tezy, cel i zakres pracy

Prezentowana praca opiera się na tezach z zakresu inżynierii środowiska przedstawiających pył drogowy jako nieodłączny element funkcjonowania miast, będący w kręgu zainteresowań gospodarki komunalnej:

- pył drogowy jest materiałem szkodliwym dla środowiska przyrodniczego z racji zawartości w nim dużych ilości zanieczyszczeń w ponadnormatywnych stężeniach;
- systematyczne usuwanie pyłu z obszaru miasta jest jednym z niezbędnych działań, skierowanych na poprawę jakości życia mieszkańców miast;
- właściwości pyłu drogowego muszą podlegać stałemu monitoringowi.

W świetle postawionych tez, celem pracy będzie:

- przedstawienie właściwości pyłów drogowych, zalegających na terenie Zielonej Góry;
- ocena pyłów drogowych jako materiału zagrażającego środowisku przyrodniczemu;
- określenie przestrzennego rozmieszczenia ładunku pyłów i ich zróżnicowania w odniesieniu do form zagospodarowania obszaru zurbanizowanego i intensywności użytkowania dróg;
- określenie konieczności zajęcia się pyłem drogowym jako materiałem stale obecnym w ekosystemach miast wraz z propozycją doprecyzowania zapisów prawnych.

Zakres pracy obejmuje badania pyłu drogowego z obszaru miasta Zielona Góra:

- badania kameralne, w tym analizę literatury, badań historycznych problemu, analizę kartograficzną i planistyczną;
- wybór punktów badawczych, ilustrujących przestrzenne zróżnicowanie opisywanych zjawisk;
- badania terenowe, w tym pobór prób pyłów drogowych i gleb przylegających do ulic;
- analizy laboratoryjne pobranego materiału, przeprowadzone w Instytucie Inżynierii Środowiska UZ;
- opracowanie uzyskanych wyników oraz odniesienie ich do badań innych autorów;
- koncepcję ograniczenia ilości pyłów drogowych i propozycję doprecyzowania zapisów prawnych odnośnie gospodarki komunalnej w opisywanym zakresie.

2. Przegląd literatury

2.1. Środowisko przyrodnicze miast

Rozwój miast w zgodzie z ideą zrównoważonego rozwoju wymusza oszczędną gospodarkę przestrzenią. Oszczędność ta jest realizowana poprzez zagęszczanie osad, przy jednoczesnym wzroście różnorodności przeznaczenia obszarów składowych. W kształtowaniu środowiska miejskiego ważnym elementem jest zapewnienie odpowiednich proporcji między obszarami zainwestowanymi i przyrodniczo czynnymi. Wielorakość czynników, w tym położenie geograficzne, rodzaj zabudowy i charakter społeczno-gospodarczy ośrodka wpływają na warunki życia organizmów żywych a także zachowanie się materii nieożywionej. Wewnątrz obszaru zurbanizowanego tworzą się specyficzne ekosystemy, nie stwierdzone nigdzie poza miastem.

2.1.1. Czynniki naturalne

Czynniki naturalne mają wpływ na stan środowiska przyrodniczego jako całości, w tym także środowiska miejskiego (urbanosfery). Należą do nich: położenie geograficzne, sytuacja wysokościowa i relief, warunki klimatyczne, pokrywa glebowa, geologia, hydrologia i hydrogeologia obszaru, a także szereg innych czynników o mieszanym charakterze. Warunkują one i modyfikują powstawanie, migrację i rozkład składników wód, gleb i powietrza atmosferycznego, w tym także tych o charakterze zanieczyszczeń. Do tych ostatnich zalicza się różne gazy, pyły zawierające metale ciężkie, pyły radioaktywne, związki organiczne wraz z wielopierścieniowymi węglowodarami aromatycznymi i inne.

Na obszarze zurbanizowanym działają te same masy powietrza, co poza miastem. Kształtują one elementy klimatu, do których należą: temperatura i jej rozkład, ilość i rozkład opadów atmosferycznych, siła i kierunki działania wiatrów, utrzymywanie pokrywy śnieżnej, które w dużej mierze zależą od mas powietrza przemieszczających się nad obszarem w skali makro. Na terenach miast tworzy się jednak specyficzny w stosunku do obszarów zewnętrznych układ opisywanych elementów. Mikroklimat, o którym mowa, wykształca się głównie pod wpływem:

- emisji ciepła z budynków mieszkalnych,
- ukierunkowania mas powietrza wzdłuż ulic,
- zacienienia przez budynki,

- nagrzewania i emisji ciepła z powierzchni ulic, chodników, dachów,
- odprowadzenia wód opadowych do kanalizacji,
- gorszego nasłonecznienia przez efekt smogu,
- emisji substancji chemicznych.

Rozprzestrzenianie się substancji szkodliwych zachodzi za sprawą działania różnych mechanizmów, m.in.: transportu przez wiatr i wodę, działanie grawitacji (np. ruch pyłów z hałd odpadów do rzek lub na powierzchnię gleb) i transportu antropogenicznego. Przeniesienie substancji szkodliwych zależy od wysokości, którą osiągają, rozmiaru ich cząstek oraz czynników klimatycznych. Substancje szkodliwe, występujące w atmosferze, są przenoszone przez wiatr i mieszane z otaczającym powietrzem. Prowadzi to do ujednoczenia stężenia tych substancji w turbulентnej warstwie atmosfery. Rozpraszanie w płaszczyźnie poziomej nie jest w zasadzie hamowane i zachodzi znacznie szybciej niż mieszanie w płaszczyźnie pionowej. Poziom, do którego substancja szkodliwa ulegnie rozcieńczeniu po emisji, zależy od czynników określających turbulencje w warstwie granicznej, m.in. od promieniowania słonecznego, prędkości wiatru, zachmurzenia oraz nierówności powierzchni Ziemi.

Woda w środowisku zurbanizowanym pochodzi z różnych źródeł, spełniając przy tym rozmaite funkcje. Jej źródłami są opady atmosferyczne, wody gruntowe, ciekі rzeczne i jeziora, a także sztuczne nawodnienia. Do odpływów natomiast zalicza się: przesiąkanie przez grunt, spływy i odpływy powierzchniowe oraz podziemne, ewapotranspirację oraz pobieranie przez rośliny, zwierzęta i ludzi. Gospodarka wodna w miastach w dużej mierze kształtowana jest sztucznie, a odpływy przeważają nad zasilaniem. Ważnym elementem jest tym samym zwiększanie retencji wody poprzez budowanie zbiorników wodnych. Woda gromadzona w zbiornikach wpływa korzystnie na mikroklimat miasta, a co za tym idzie na rośliny i zwierzęta oraz ludzi, ponadto upiększa miasto.

Atmosfera i woda są ośrodkami mającymi wiele zbliżonych właściwości w transporcie i rozpraszaniu substancji szkodliwych.

Na obszarach zurbanizowanych ukształtowanie terenu wpływa bezpośrednio na możliwości zabudowy oraz na wiele aspektów przyrodniczych, a także na rozprzestrzenianie i akumulację zanieczyszczeń. Do zjawisk przyrodniczych, od których zależy rzeźba terenu należą: erozja gleb i gruntów, odpływ powierzchniowy wód oraz kształtowanie się mikroklimatu na wzniesieniach i w nieckach. W miastach występuje naruszona struktura gleb, podnosząc ich podatność na erozję. Różnice w wysokości terenu prowadzą do niszczenia powierzchni, tworzenia się bruzd oraz do zmywania okrywy glebowej. Wierzchnia war-

stwa gleb, na ogół bogata w materię organiczną, jest zmywana i przemieszczana w obniżenia terenu i ku podnóżom wzniesień. W obniżeniach gromadzą się także większe ilości zanieczyszczeń. Różna wystawa zboczy stwarza różne warunki cieplne i świetlne, co różnicuje roślinność i gleby. Stoki południowe są bardziej nasłonecznione i suche, a północne wilgotne i niedosłonecznione. Większe wzniesienia mogą zatrzymywać masy powietrza, a co za tym idzie działać jak filtr dla zanieczyszczeń przenoszonych drogą powietrzną. Na stokach może osiadać duża ilość pyłów.

Na obszarach zurbanizowanych występują gleby naturalne bądź zbliżone do naturalnych, a także przekształcone chemicznie i hydrologicznie oraz mechanicznie. Różnorodność prac prowadzonych na terenach miejskich powoduje przekształcenie profilu glebowego. Najczęstszymi skutkami degradacji gleb miejskich są: nadmierne ubicie, zasolenie, domieszanie materiałów obcych (najczęściej budowlanych), naruszenie i wymieszanie poziomów genetycznych. Na stan gleb miejskich duży wpływ mają zanieczyszczenia, które mogą być gromadzone nawet od setek lat. Metale ciężkie mogą pochodzić z długiego (historycznie ujmując) okresu akumulacji [Charlesworth 2003]. Przemysł ciężki, jak np. hutnictwo, pozostawia po sobie nienaturalnie duże ilości metali ciężkich jeszcze długo po zaprzestaniu działalności, w zależności od warunków glebowych i działań podejmowanych następnie przez człowieka.

2.1.2. Czynniki antropogeniczne

W miarę rozbudowy obszarów zurbanizowanych, coraz większe znaczenie dla rozwoju zarówno ich, jak też terenów przyległych, mają czynniki związane z działalnością człowieka. Wpływają one na wszystkie przejawy funkcjonowania urbanosfery, poprzez:

- modyfikacje klimatyczne;
- zmiany w hydrosferze i hydrologii miast;
- zmiany rzeźby terenu;
- przekształcenia gleb;
- zmiany w składzie gatunkowym i kondycji flory i fauny.

Miasta posiadają różnorodny układ planistyczny i sposób aranżacji przestrzeni. Czynniki kształtujące wygląd miasta, można podzielić rozpatrując: zwartość zabudowy, rodzaj zabudowy, charakter gospodarczy, elementy wpływające na mikroklimat, obszar i charakter terenów zielonych a także układ tras komunikacyjnych.

Rozpatrując zwartość zabudowy możemy wyróżnić: miasta zwarte, miasta o luźnym układzie, miasta o charakterze osad oraz aglomeracje i zespoły miejskie. Zabudowa miast może być przy tym niska, wysoka lub mieszana.

Elementy kształtujące mikroklimat zależą w dużej mierze od położenia geograficznego. Możemy wyróżnić miasta zlokalizowane w pobliżu mórz, rzek, oraz zbiorników wodnych, miasta górskie oraz położone na nizinach i w depresjach, miasta na terenie otwartym lub zadrzewionym.

Biorąc pod uwagę charakter gospodarczy wyróżnić można miasta przemysłowe, przemysłowo-wydobywcze, turystyczno-usługowe, rolno- rzemieślnicze, uniwersyteckie oraz o charakterze mieszanym.

Mając na uwadze ilość terenów zielonych możemy wyróżnić obszary o dużej, średniej i małej powierzchni zazielenionej, przy dużym zróżnicowaniu jej charakteru: obszary o przewadze parków, małych skwerków, bądź mieszane.

Charakteryzując układ tras komunikacyjnych w miastach można wyróżnić miasta węzłowe, przelotowe oraz miasta będące ostatnim odcinkiem tras. Dominujący rodzaj komunikacji ma także wpływ na układ miasta. Tutaj wyodrębnia się zwykle miasta o przewadze ruchu kołowego, kolejowego i wodnego.

Duże znaczenie w kształtowaniu środowiska miejskiego ma skład powietrza atmosferycznego oraz zachowanie się mas powietrza. Większość substancji skażających powietrze jest emitowana do wnętrza cienkiej warstwy atmosfery, która styka się z powierzchnią Ziemi. Ruch powietrza w tej warstwie jest często turbulentny, ze względu na nierówności terenu i formy zabudowy. Wiele substancji szkodliwych, zwłaszcza o dużych rozmiarach cząstek ($> 10 \mu\text{m}$), pozostaje w warstwie granicznej, ale gazy i aerozole o małych cząstkach ($< 5 \mu\text{m}$) są przenoszone do warstwy troposfery, leżącej bezpośrednio nad warstwą graniczną, w wyniku pionowych ruchów powietrza w kominach termicznych burz, a także przepływu mas powietrznych nad górami. W nieskażonym powietrzu tlen i NO_x , a także niewielka ilość ozonu osiągają w troposferze stan równowagi trwałej. Wprowadzenie do atmosfery CO i nie spalonych węglowodorów narusza tę równowagę. Skażenie powietrza jest najbardziej niebezpieczne w warunkach inwersji temperatury, co jest częste dla miast otoczonych wzgórzami. Nie tylko emisje do atmosfery zanieczyszczeń, ale również reakcje zachodzące pomiędzy substancjami chemicznymi prowadzą do nienaturalnie dużych stężeń, np. ozonu i aldehydów.

Wiele różnorodnych czynników prowadzi do tego, że w miastach można wyróżnić dobowy cykl skażenia. W zależności od godziny, stężenie substancji szkodliwych wykazuje

różne wartości osiągając jednorazowe minimum i maksimum lub przebiega sinusoidalnie. W dużej mierze zależy to od rodzaju związku zanieczyszczającego.

Wpływ przemysłu na środowisko miejskie uzależniony jest od wielkości miasta, rodzaju przemysłu oraz lokalizacji emitorów zanieczyszczeń. Źródłami substancji szkodliwych, pochodzących z przemysłu mogą być źródła punktowe, liniowe i powierzchniowe. Nie tylko przemysł jest źródłem zanieczyszczeń, ale także działalność usługowa i pochodna przemysłu. Tym samym można wyróżnić następujące, przemysłowe źródła skażenia:

- elektrownie i elektrociepłownie,
- rafinerie ropy naftowej, magazyny paliw i sieć ich dystrybucji,
- górnictwo węgla i magazyny węglowe,
- hutnictwo żelaza,
- wydobywanie i hutnictwo innych kruszców,
- zakłady metalowe, obróbka metali,
- zakłady chemiczne,
- zakłady szklarskie i ceramiczne,
- zakłady włókiennicze, farbiarnie i garbarnie,
- tartaki i zakłady obróbki drewna,
- produkcja półprzewodników i układów scalonych,
- przetwórstwo żywności,
- zakłady przetwórstwa złomu,
- zakłady gazowe.

Przemysł jest źródłem substancji szkodliwych, które mogą oddziaływać na powietrze, wodę i glebę. Alloway i Ayres [1999] podają, iż ocenie powinny podlegać związki niebezpieczne ze względu na ich właściwości:

- toksyczność krótko- i długookresową,
- trwałość,
- właściwości dyspersyjne,
- reakcje chemiczne, którym podlega związek, łącznie z reakcjami rozkładu,
- tendencję do bioakumulacji w łańcuchu pokarmowym,
- łatwość kontroli.

W zależności od rodzaju przemysłu możemy zidentyfikować substancje zanieczyszczające poszczególne elementy siedliska [Alloway, Ayres, 1999]:

A. Elektrownie:

- powietrze: CO_x , NO_x , SO_x , UO_x , skondensowane węglowodory aromatyczne z węgla, izotopy promieniotwórcze z reakcji rozszczepienia;
- woda: ciepło, biocydy z wody chłodzącej, rozpuszczalne związki B i As, WWA z popiołów;
- gleba: popioły, opad pyłów - Si, SO_x , NO_x , metale ciężkie, pył węglowy;

B. Opuszczone gazownie:

- powietrze: lotne związki organiczne, H_2S , NH_3 ;
- woda: WWA, fenole, Cu, Cd, As, CN, siarczany;
- gleba: smoły (węglowodory, fenole, benzen, ksylen, naftalen i WWA), CN, zużyte tlenki Fe, Cd, As, Pb, Cu, siarczany, siarczki;

C. Wydobycie i przetwórstwo rud metali:

- powietrze; SO_x , Pb, Cd, As, Hg, Ni, Tl, pyły;
- woda: SO_{4-2} , CN, środki spieniające, jony metali, odpady (rud mineralnych, np. PbS, ZnS, CuFeS_2);
- gleba: hałdy skały płonnej i odpadów – erozja wietrzna, zwietrzałe cząstki rudy, odpady zawieszane w rzekach – osadzone na glebie w wyniku powodzi, wydobyty muł rzeczny, kawałki rudy zagubione podczas transportu, cyjanki i liczne metale pochodzące z przetwórstwa rud, kurz i pył przenoszony z wiatrem, aerozole z pieców;

D. Przemysł metalurgiczny:

- powietrze: pyły: As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl, lotne związki organiczne, krople kwasów;
- woda: jony metali, odpady kwasowe i rozpuszczalniki (lotne związki organiczne) po oczyszczeniu metali;
- gleba: metale w odpadach, rozpuszczalniki, pozostałości kwasów, opad aerozoli itp. po procesach odlewniczych i innych procesach pirometalurgicznych;

E. Przemysł chemiczny i elektroniczny:

- powietrze: lotne związki organiczne, Hg, liczne związki lotne;
- woda: zrzut odpadów, cała gama substancji chemicznych w ściekach, rozpuszczalniki używane w mikroelektronice;
- gleba: opad pyłów z dymów kominowych zanieczyszczenia z rejonu załadunku i pakowania, złom i uszkodzone elementy elektroniczne, WWA, metale itd.

F. Niszczenie odpadów:

- powietrze: spalarnie – gryzące dymy, aerozole i pyły (Cd, Hg, Pb, CO_x, NO_x, PCDD, WWA, PCDF), miejsca zakopywania odpadów – CH₄, lotne związki organiczne, odpady hodowlane: CH₄, NH₃, H₂S, złomowiska – spalanie tworzyw sztucznych (WWA, PCDD, PCDF);
- woda: wycieki z zakopanych odpadów, NO₃⁻, NH₄⁺, Cl⁻, Cd, PCB, mikroorganizmy: ścieki po obróbce wodnej – materia organiczna, HPO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Cl⁻, SO₄²⁻;
- gleba: muł ze ścieków, PCDD, chlorofenole - NH₄⁺, WWA, PCB, metale (Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn itd.), hałdy złomu – Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, V, W, WWA, PCB, ogniska, popiół węglowy – Cu, Pb, WWA, B, As, opad ze spalania odpadów- Cd, PCDF, PCB, WWA, ruchome hałdy odpadów przemysłowych (szeroka gama różnych substancji, wycieki z zakopanych odpadów – Cl⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Cd, PCB, mikroorganizmy;

G. Źródła przypadkowe:

- woda; wycieki z podziemnych zbiorników, np. rozpuszczalników, produktów naftowych;
- gleba: drewno impregnowane (np.: PCB, kreozot, As, Cr, Cu itd.), zużyte ogniwa (Hg, Cd, Ni, Zn), rybołówstwo i strzelectwo (Pb, Sb) dachy i ogrodzenia ocynkowane, Cd;
- wszystkie ośrodki; sprzęt wojskowy (np: paliwa, materiały wybuchowe, amunicja, elementy elektryczne, bojowe środki toksyczne, produkty spalania – WWA), korozja przedmiotów metalowych – Cu, Zn, Cd, Pb, wypadki przemysłowe, np. Elektrownia w Czarnobylu (szeroka gama produktów szkodliwych);

H. Przemieszczenia dalekiego zasięgu w powietrzu:

- woda i gleba: przenoszone przez wiatr cząstki gleby z zaadsorbowanymi pestycydami i substancjami szkodliwymi, As, Pb, Cd, Hg, UO_x, Zn, SO₄²⁻, NO_x, WWA;

I. Transport:

- powietrze: gazy spalinowe, aerozole i pyły (np.: CO_x, NO_x, SO₄²⁻, dym, WWA, PAN (azotan acetoksyłu), O₃, PbBrCl, V, Mo);
- woda: wycieki paliwa, wycieki transportowanych ładunków (np.: węglowodory, pestycydy, substancje chemiczne, odpady) odladzanie dróg i lotnisk (np. glikol etylenowy, różne sole), osadzanie się produktów spalania, dym, WWA, NO_x, SO_x, PbBrCl;
- gleba: cząstki (PbBrCl, WWA), osadzanie się kwasów, substancje odladzające, szeroka gama rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych związków na stacjach przeładunkowych

i rozrządowych, osadzanie się produktów spalania paliw, dym, WWA, NO_x, SO_x, cząstki z gumy opon (zawierające Zn i Cd);

J. Główne źródła z obszarów zurbanizowanych i przemysłowych:

- powietrze: lotne związki organiczne, cząstki, aerozole, (np. Pb, V, Cu, Zn, WWA, PCB, dioksyne, dym), produkty spalania paliw – CO_x, NO_x, SO_x, As, Pb, U, V, Zn, WWA, ogniska – WWA, PCDD, PCDF, Pb, CD itd., produkcja cementu – cząstki, Ca, SO₄²⁻, Si itd.;
- woda: szeroka gama ścieków, WWA z sadzy, Pb, Zn, itd., zużyte oleje, chloropochodne, detergenty;
- gleba: Pb, Zn, V, Cu, PCB, WWA, dioksyne, porzucone samochody, chloropochodne, azbest.

Skład powietrza na terenach zurbanizowanych jest efektem nakładania się emisji przemysłowych, energetycznych oraz komunikacyjnych. Nadmierna koncentracja tlenków węgla i azotu, dwutlenku siarki i WWA w powietrzu prowadzi do powstania toksycznych smogów nad obszarami zurbanizowanymi. Zabłocki i in. [1998] podają, iż w miastach notuje się nawet dziesięciokrotny wzrost zapylenia i dwudziestokrotny wzrost stężenia trujących gazów. Dużą rolę w zanieczyszczeniu środowiska miejskiego odgrywa transport. W Polsce, w latach 1990-2000, liczba zarejestrowanych samochodów osobowych i ciężarowych zwiększyła się niemal dwukrotnie (z 6 do 12 milionów pojazdów). Obecnie po polskich drogach porusza się około 17 milionów pojazdów, z których ponad 60% stanowią samochody starsze aniżeli 11 lat. Duże natężenie ruchu, a za tym tworzące się korki uliczne, prowadzą do dużej emisji do powietrza atmosferycznego toksycznych produktów spalania paliw w silnikach spalinowych. Zgodnie z danymi GUS, polski transport odpowiedzialny jest za 27% całkowitej emisji tlenków azotu, 24% emisji lotnych związków organicznych, 20% emisji tlenku węgla oraz 12% emisji pyłów [Badyda 2005].

2.2. Pyły w środowisku miejskim

Zapylenie powietrza jest jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących stopień zanieczyszczenia atmosfery. Pyły są bardzo niebezpieczne, zajmując drugie miejsce pod względem kluczowych trucizn środowiska [Majewski 2005].

2.2.1. Pochodzenie pyłów

Zazwyczaj rozróżnia się dwa rodzaje źródeł powstawania pyłów: naturalne i sztuczne (antropogeniczne). Naturalnymi mogą być wybuchy wulkaniczne, trzęsienia ziemi, pożary lasów, erozja gleb i skał oraz burze piaskowe. Zanieczyszczenia naturalne występują na ograniczonych powierzchniach, a z punktu widzenia skażenia chemicznego środowiska nie są dużym problemem. Wśród antropogenicznych wyróżnia się grupy źródeł pochodzenia pyłów, jak: spalanie paliw, procesy technologiczne przemysłu chemicznego, hutniczego i rafineryjnego, kopalnie i cementownie, transport, gospodarstwa domowe oraz miejsca utylizacji odpadów. Na terenie miast, w zależności od tego jaka forma produkcji dominuje, spotykane są różne pyły, z dużym udziałem jednak tych pochodzących ze źródeł komunikacyjnych.

Badania prowadzone przez naukowców z Norwegii wykazują, że pył drogowy i pył PM₁₀ współzależą od siebie. Zwiększony poziom zanieczyszczeń pyłu drogowego w okresie zimowym jest efektem używania: różnych substancji antypoślizgowych, opon zimowych konstruowanych z bardziej podatnych na ścieranie mieszanek w stosunku do tzw. opon letnich oraz różnych metalowych konstrukcji zakładanych na opony, jak kołki czy łańcuchy [Kupiainen i inni 2003]. W Polsce stosowanie na opony oprzyrządowania antypoślizgowego nie jest popularne, ale np. w rejonach górskich jest zjawiskiem normalnym. Badania naukowców z Japonii i Szwecji potwierdzają, że stosowanie okołkowania opon zimowych odpowiada za wzrost koncentracji zanieczyszczeń w pyłe drogowym. Koreponduje to też z innym, istotnym czynnikiem, wpływającym na ilość i rodzaj zanieczyszczeń odkładanych w pyłe, jakim jest rodzaj nawierzchni. Właśnie używanie w okresie zimowym łańcuchów i kołków na opony powoduje, że łatwiej ścierana jest warstwa asfaltowa. Materiał pochodzący z ulic, powstały częściowo ze startej nawierzchni asfaltowej, jest w dużej mierze obecny w pyłach PM₁₀ [Kupiainen i inni 2003]. Emisja do środowiska pyłu ze startych opon samochodowych w Wielkiej Brytanii wynosiła w 1996 roku $5,3 \cdot 10^7$ kg, natomiast w Japonii w 2001 roku $2,1 \cdot 10^8$ kg. W Niemczech szacuje się, iż jest to emisja wielkości od 55 do 657 kg·km⁻¹ w ciągu roku, w zależności od typu drogi [Yongming i inni 2004].

2.2.2. Erozja gleb jako źródło pyłów w mieście

W mieście zachodzą takie same procesy erozji gleb jak na innych obszarach. Pomimo starań służb zajmujących się zielenią w miastach wiele obszarów miejskich pozostaje nie zakryta roślinnością, co sprzyja erozji gleb miejskich i przenoszeniu się cząstek gleby na ulice, place i chodniki. Nawet z terenu pokrytego zielenią może się zdarzyć „ucieczka” gleby; zależy to od rodzaju roślinności (wielkości), stopnia zagęszczenia roślin na jednostkę powierzchni, a także rodzaju, stopnia ubicie, kąta nachylenia gruntu, ilości, częstotliwości i rodzaju opadów oraz ruchów i siły wiatru. Tak jak na innych obszarach najczęściej gleb przedostaje się na drogi z erozji wodnej. Opady atmosferyczne odgrywają dużą rolę w tym wypadku. Szczególny wpływ mają wody roztopowe i opady burzowe. Charakter deszczu ma także istotny wpływ. Silny deszcz powoduje większe straty. Ubicie gleby powoduje brak możliwości wsiąkania wody w głąb profilu i spływanie po powierzchni. Spadek zbocza a także długość zbocza ma decydujący wpływ na erozję gleb. Rodzaj gleby przyczynia się także istotnie do intensywności erozji. Gleba miejska, na którą nakłada się często wierzchnia warstwę materiału próchniczego jest bardzo łatwo podatna na erozję zwłaszcza w początkowej fazie, zanim na niej coś urosnie. Stopień podatności gleb na zmywanie określa również struktura i układ. Gleby strukturalne i pulchne są mniej podatne na erozję niż bezstrukturalne i zbite. Kształt zboczy ma także wpływ. Więcej materiału spływa ze zboczy wypukłych a najmniej ze zboczy wklęsłych [Greinert H. i Greinert A.1999].

Przy wietrze o większych prędkościach niż $10-20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ następuje erozja eoliczna materiałów suchych o układzie luźnym. Szczególnie podatne na wynoszenie przez wiatr są piaski luźne, pyły i rozdrobnione części organiczne.

Dodatkowym elementem, znacząco przyspieszającym erozję jest ruch pojazdów po nieutwardzonych drogach i placach budów. Na terenach miejskich mają miejsce także takie procesy jak soliflukcja, sufozja i powstawanie osuwisk. Wszystkie procesy erozyjne gleb miejskich prowadzą do zmniejszania się poziomów próchnicznych, degradacji gleb i wynoszenia zmytego materiału w miejsca takie, jak ulice i chodniki. Materiał ten jest uciążliwy, gdy zalega na ulicach, tym bardziej, że jest wzbogacony wieloma zanieczyszczeniami, zwłaszcza komunikacyjnymi.

Tab. 1. Natężenie erozji wietrznej w zależności od siły wiatru, mierzonej według skali Beauforta [Maciak 1998]

Stopnie skali	Prędkość wiatru m·s ⁻¹	Rodzaj wiatru	Erozja wietrzna
0	0,0-0,5	Cisza	Nie występuje
1	0,6-1,7	Powiew	
2	1,8-3,3	Wiatr słaby	
3	3,4-5,2	Wiatr łagodny	Słaba
4	5,3-7,4	Wiatr umiarkowany	
5	7,5-9,8	Wiatr żywszy	
6	9,9-12,4	Wiatr silny	Umiarkowana
7	12,5-15,2	Wiatr bardzo silny	
8	15,3-18,2	Wiatr gwałtowny	
9	18,3-21,5	Wichura	Silna
10	21,6-25,1	Wichura silna	
11	25,2-29,0	Wichura gwałtowna	
12	Ponad 29,0	Huragan	

2.3. Rodzaje pyłów

Liczne źródła zanieczyszczeń emitują do atmosfery znaczne ilości pyłów. Większa część pyłów opada po krótkim czasie na powierzchnię, a część pozostaje w atmosferze w postaci pyłu zawieszonego.

Największe oddziaływanie wobec powietrza atmosferycznego wykazuje dym, którym określa się zawiesinę pyłów węglowych o średnicy cząstek mniejszej niż 10 µm, powstałą w wyniku częściowego spalania substancji organicznych. Dym unosi się w powietrzu dzięki ruchom termicznym powietrza. Ilość dymu zależy od warunków spalania, postaci fizycznej paliwa, stopnia zmieszania powietrza i materiałów lotnych oraz temperatury. Jeżeli w materiale spalonym znajdują się substancje niebezpieczne, dostają się one także do powietrza jako gazy, dym i pył. Znaczenie rodzaju spalanego materiału można ocenić na podstawie porównania dymów z różnych źródeł, np. dym wydzielany przez silnik Diesla jest trzykrotnie ciemniejszy niż dym ze spalania węgla bitumicznego i siedem razy ciemniejszy niż spaliny z silnika benzynowego [Elsom 1987]. Emisja pyłów przez silnik Diesla znacznie przewyższa emisję z silników benzynowych. Połowa emitowanych pyłów przez silnik Diesla to pyły PM10. Nawet mały samochód osobowy z silnikiem Diesla emituje co najmniej 4 g substancji stałych na litr paliwa. Analizy rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, pochodzących ze środków komunikacyjnych pokazują, że zanieczyszczenia te oddziałują najbardziej w obrębie ulic, osiągając największe wartości na skrzyżowaniach

i zmniejszając się wraz z odległością od źródła emisji. Przy tym, obserwując sytuację w wymiarze pionowym, największe koncentracje pyłów notowane są do wysokości 2 m nad poziom nawierzchni. Na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń ze źródeł komunikacyjnych znaczący wpływ mają stan równowagi atmosfery oraz prędkość i kierunek wiatru [Janusz i inni 2002].

Wyodrębniono cztery grupy pyłów w zależności od dominujących gałęzi przemysłu [Zabłocki i inni, 1998]:

- A. pyły pochodzące z urządzeń paleniskowych, zawierające: węgiel, sadzę, tlenki metali, krzemiany i inne;
- B. pyły powstające w przemyśle materiałów budowlanych, zawierające: tlenki wapnia, krzemu, glinu, krzemiany, węglany i inne;
- C. pyły emitowane przez huty żelaza i odlewnie: tlenki manganu, żelaza, tytanu, cynku, wanadu, fosforany, fluorki i inne;
- D. pyły emitowane przez zakłady hutnictwa metali niezależnych: tlenki krzemu, pyły metali ciężkich, tlenki glinu itp.

W inny sposób pyły można podzielić na: alkaliczne, pochodzące z elektrowni, cementowni i innych źródeł oraz metaliczne, powstające w dużych zakładach metalurgicznych. Jeszcze inny podział pyłów różnicuje zawieszane i drogowe, co zaprezentowano z szerszym wyjaśnieniem w rozdziałach 2.3.1 i 2.3.2.

2.3.1. Pyły zawieszane

Pył zawieszony jest terminem określającym zanieczyszczenia powietrza składające się ze złożonych i różnorodnych mieszanin cząstek zawieszonych w powietrzu. Mogą one przyjmować postać od submikrocząstkowych aerozoli do widocznych cząstek pyłów.

Uwzględniając wielkość cząsteczek, wprowadzono zróżnicowane nazewnictwo pyłu zawieszanego: PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁ i PM_{0.1}, gdzie liczby oznaczają średnicę wyrażoną w μm .

Szkodliwość pyłów jest uzależniona od ich właściwości fizycznych i chemicznych, jednakże wyższą szkodliwością charakteryzują się pyły o dużym rozdrobnieniu, zwłaszcza poniżej 10 μm , które najłatwiej rozprzestrzeniają się, dłużej utrzymują w powietrzu i szybciej przenikają do organizmów żywych [Majewski 2005]. Jeszcze bardziej niebezpieczne mogą być PM_{2.5}, ponieważ mogą przedostawać się do pęcherzyków płucnych i być tam

zatrzymywane. Stężenie pyłu zawieszonego na terenach niezurbanizowanych kształtuje się na poziomie $12 \mu\text{m}^3/\text{rok}$, natomiast na terenach zurbanizowanych wartości te przekraczają $60 \mu\text{m}^3/\text{rok}$ [Krajewska i inni 2001].

Okres, w ciągu którego pyły pozostają zawieszony w powietrzu, zależy od rozmiaru cząstek, prędkości wiatru, wilgotności względnej i warunków strącania. W pewnych warunkach, np. dużej wilgotności, małe cząstki mogą ulegać agregacji z wytworzeniem większych szybciej osadzających się pyłów.

2.3.2. Pyły drogowe

Pył drogowy jest zanieczyszczeniem występującym powszechnie w miastach. Jego skład jakościowy i ilościowy uzależnione są od tego, na jakim terenie występuje. Komponenty pyłu drogowego są głównie wypadkową składu gleby, emisji przemysłowych, depozycji składników spalin samochodowych, startej nawierzchni dróg oraz startych materiałów opon samochodowych. Wykładnikiem zanieczyszczenia środowiska są m.in. metale ciężkie, zidentyfikowane w pyłach ulicznych takie jak: Pb, Cu, Mn, Zn, Cd, Ni i wiele innych. Rodzaj środków transportu drogowego, natężenie ruchu drogowego oraz skład paliwa napędowego kształtują ładunek deponowanych zanieczyszczeń. W tej mierze przez długie lata, na wielkość depozycji w największej mierze wpływała depozycja ołowiu z substancji przeciwstukowej, obecnej w paliwach (czteroetylek ołowiu).

Analiza pyłów drogowych w Lancaster w Anglii wykazała, że głównym składnikiem pyłów drogowych jest kwarc, kalcyt, albit i sanidyn [Harrison i inni 1981]. Ołów, według tego autora występujący w pyłach ulicznych, jest silnie związany z węglanami i tlenkami żelazowo-manganowymi (80%).

2.4. Skład chemiczny pyłów

Pył drogowy jest konglomeratem różnych substancji, a co za tym idzie zawiera różne ilości i rodzaje substancji o charakterze zanieczyszczeń środowiska przyrodniczego. Według Adachi i Tainosho [2004], pyły drogowe składają się z materiałów pochodzących ze startych opon, klocków hamulcowych, z farb, którymi malowane są ulice, startej nawierzchni asfaltowej, środków przeciwstukowych dodawanych do paliwa oraz z emisji spalanych paliw napędowych. W pyłach zawieszonych w miastach zidentyfikowano 2288

związków metali ciężkich. Pył zawieszony opada na ulice i związki te znajdują się także w pyłe drogowym. Próbując uporządkować opis oddziaływań pyłów, podzielono je na 4 grupy [Adachi i inni 2004]:

- pierwsza grupa – bogata w związki żelaza,
- druga grupa – bogata w związki ołowiu i chromu,
- trzecia grupa – bogata w różnorodne pierwiastki (Ti, CR, Fe, CU, ZN, SR, Y, ZR, SN, Sb, Ba, La, Ce, Pb),
- czwarta grupa – bogata w ZnO.

Inny podział pyłów drogowych, odzwierciedlając ich skład chemiczny, przedstawili badacze z Madrytu i Oslo [de Miguel i inni 1997]. Dzielią oni zawartość pyłów ulicznych na trzy grupy:

- grupa 1 – elementy naturalne: Ga, La, Mn, Sr, Th, Y, których źródła pochodzenia należy się dopatrywać w erozji gleb miejskich i ich składu mineralogicznego;
- grupa 2 – „elementy miejskie”: Ba, Cd, Co, Cu, Mg, Pb, Sb, Ti i Zn, które są pochodzenia antropogenicznego. Są to elementy mające swoje źródła w komunikacji miejskiej, na placach budów oraz w degradacji budynków i budowli, zawierając cement i inne materiały budowlane;
- grupa 3 – elementy mieszane: Ca, CS, Fe, Mo, Ni, Rb, Sr, U, które mogą mieć różne źródła pochodzenia, zarówno naturalne i antropogeniczne.

Pyły drogowe zawierają duże ilości materii organicznej co sugeruje, że składnikiem pyłów drogowych jest zerodowana gleba miejska. Prace Xie i wsp. [1999] wykazują liniowe korelacje pomiędzy zawartością materii organicznej a właściwościami magnetycznymi pyłów drogowych. Te korelacje są wynikiem zwiększonej zawartości składników wykazujących zdolności magnetyczne, jak np. żelaza i jego związków.

Głównym źródłem ołowiu w pyłe jest paliwo spalane przez samochody [Lagerwerff i inni 1970]. Prawie powszechne wprowadzenie w krajach europejskich benzyny bezołowiowej spowodowało obecnie obniżenie emisji ołowiu a następczo zmniejszenie zawartości Pb w pyłe ulicznym [Hławiczka i inni 2003]. Oprócz ołowiu, ważnymi związkami występującymi w pyłe drogowym są wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Związków tej grupy jest ponad sto, lecz z uwagi na toksyczność, oddziaływanie na człowieka oraz wielkość dostępnych informacji, najczęściej oznaczanych jest 17. Należy podkreślić, że związki te nie występują pojedynczo, lecz zawsze w mieszaninie. Najlepiej przebadanym jest benzo(α)piren, który ze względu na silne działanie rakotwórcze oraz

powszechność występowania w środowisku został uznany za wskaźnik całej grupy [Smolik 2007].

Azbest, który jest uznawany za rakotwórczy także może znajdować się w pyłach drogowych, ze względu na dodawanie azbestu przy wykonywaniu nawierzchni drogowych.

W pyłach zidentyfikować można także dioksyny i furany, najgroźniejsze z trucizn jakie wyprodukował człowiek. Dioksyny i furany stanowią grupę trójpierścieniowych węglowodorów chlorowanych. Znajdują się w środowisku człowieka ze spalania odpadów komunalnych, szpitalnych i przemysłowych produkcji oraz ze spalin pojazdów (zwłaszcza napędzanych benzyną ołowiową oraz ropą).

W pyłach obecne są także PCB (polichlorowane bifenyle). Pod względem struktury i właściwości, PCB są zbliżone do związków z grupy dioksyn. Dotychczas zidentyfikowano 209 kongenerów związków PCB. Pomimo ograniczeń w ich stosowaniu, są obecne w środowisku ze względu na długi czas trwania i odporność na degradację [Juda-Rezler 2000].

2.5. Oddziaływanie pyłów na środowisko przyrodnicze

Zanieczyszczenia powietrza, emitowane przez pojazdy samochodowe są największą częścią składową skażenia powietrza notowanego wskutek ludzkiej aktywności, stanowiąc poważne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego, zasobów przyrodniczych i jakości materiałów budowlanych. W europejskich krajach pojazdy samochodowe są największym źródłem skażenia środowiska: HC (50%), NO_x (50-70%) i CO (około 80%). Dodatkowo pojazdy samochodowe są największym emitorem toksycznych związków chemicznych niepodlegających regulacji prawnej takich, jak: 1,3-butadien, benzen i liczne kancerogeny związane z pyłami [Serwis Informacyjny Transport-Info 2004].

Na zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego, zwłaszcza terenów silnie uprzemysłowionych wskazuje zawartość substancji toksycznych oraz nadmiernych ilości metali ciężkich [Gancarczyk-Gola i inni 2005]. Wszystkie pierwiastki chemiczne, występujące w nadmiarze są niebezpieczne dla organizmów żywych, jednak szczególną uwagę od lat zwraca się na pierwiastki śladowe. Udział w wielu procesach biochemicznych oraz ich duża aktywność biologiczna powodują, że akumulacja tych pierwiastków ma duży wpływ na funkcjonowanie organizmów. Wśród pierwiastków wprowadzanych w sposób antropogeniczny do środowiska, szczególne miejsce zajmują metale ciężkie [Kabata-Pendias i inni

1999]. Docierają do organizmów wieloma drogami m.in. poprzez pyły zalegające na ulicach miast.

Substancje szkodliwe, emitowane przez źródło, ulegają rozproszeniu w powietrzu, w wodzie i glebie. Przemieszczanie się substancji szkodliwej w glebach na skutek procesów w nich zachodzących jest zazwyczaj wolniejsze niż transport spowodowany przez inne czynniki. Może jednak występować szybkie, wtórne przemieszczanie cząsteczek gleby z zaadsorbowanymi substancjami szkodliwymi – przez wiatr lub płynącą wodę. Oddziaływanie zanieczyszczeń na poszczególne składowe środowiska zachodzi różnymi drogami np. transport poprzez wiatr i wodę oraz działanie grawitacji.

2.5.1. Oddziaływanie na powietrze atmosferyczne

Powietrze atmosferyczne najszybciej ze wszystkich elementów ulega degradacji, ma ona jednak najczęściej charakter tymczasowy, ponieważ stężenie zanieczyszczeń w powietrzu szybko zmniejsza się w wyniku rozrzedzenia przez masy powietrza. Część z zanieczyszczeń dość szybko opada w postaci suchego i mokrego odpadu. Trzeba jednak zdać sobie sprawę, że powietrze jest często pierwszym elementem w łańcuchu przenoszenia się zanieczyszczeń i to co raz znajdzie się w powietrzu zanieczyszcza następnie i inne elementy środowiska. W ciągu 10-30 dni pyły mogą być przeniesione na odległość nawet kilku tysięcy kilometrów, zależnie od cyrkulacji mas powietrza. Z tej przyczyny obserwuje się w glebach Norwegi zwiększone ilości metali ciężkich przenoszonych wraz z powietrzem z naduprzemysłowanej Europy.

Emisja ze spalania różnorodnych substancji może stanowić duży problem. Ważnym zagadnieniem w tej mierze, łączonym z dużymi aglomeracjami miejsko-przemysłowymi, jest smog – mieszanina dymu i mgły, zawierająca również SO₂ lub HF. Cząsteczki sadzy i dymu mogą zawierać liczne szkodliwe związki organiczne, zaadsorbowane na ich powierzchni, wśród których najgroźniejsze są wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne.

Operowanie lotnymi substancjami w przemyśle petrochemicznym doprowadza do ich emisji do atmosfery. Straty z tego przemysłu liczone są jako 6,5% całkowitej produkcji [Alloway, Ayres 1999]. Wszystkie zanieczyszczenia znajdujące się w produktach pochodnych ropy naftowej i gazu ziemnego znajdują się w powietrzu już przed ich spalaniem właśnie dzięki tym stratom.

Poprzez atmosferę, wraz z pyłami, rozprzestrzeniają się także metale ciężkie. Najwyższe stężenia arsenu występują na terenach zurbanizowanych o znacznym nasileniu przemysłu, a zwłaszcza metalurgicznego. Znaczny udział w skażeniu powietrza mają także elektrownie i elektrociepłownie, spalające niskojakościowy węgiel. Związki As_2O_3 , As_2S_3 , jak również $(CH)_3As$ emitowane są jako łatwo lotne. Gospodarstwa domowe mają też swój udział w emisji arsenu, poprzez spalanie w paleniskach bogatego w arsen węgla. Emisje do powietrza są jedną z głównych przyczyn obecności tego pierwiastka w glebie, wodach i roślinach [Ciećko i inni 2003].

Oddziaływanie zanieczyszczeń, między innymi pyłów, na powietrze atmosferyczne prowadzi do zatrzymywania energii w jej obrębie i podwyższania temperatury – dochodzi do efektu cieplarnianego. Zjawisko to powoduje zmiany klimatyczne, rozpuszczanie lodowców i wiele innych konsekwencji przyrodniczych.

Zanieczyszczenie powietrza związkami gazowymi, stanowiącymi bezwodniki kwasowe z różnych emitorów powoduje powstawanie kwaśnych deszczy.

Zadymienie i zapylenie powietrza okręgów przemysłowych i dużych miast powoduje większe zachmurzenie nieba i zwiększenie ilości dni pochmurnych.

2.5.2. Oddziaływanie na gleby

Oddziaływanie pyłów na gleby to głównie zmiany składu chemicznego gleby, zmiany odczynu gleby oraz wprowadzenie do obiegu troficznego metali i pierwiastków rzadkich, mogących oddziaływać szkodliwie na organizmy żywe.

Pyły i popioły pochodzące z elektrowni, o silnie zasadowym odczynie, powodują alkaliczację gleby. W Polsce równocześnie z zapyleniem występuje duża emisja SO_2 . Pyły alkaliczne mogą neutralizować kwaśne emisje gazowe. W warunkach dużego zapylenia następuje wiązanie H_2SO_4 w gips i wytrącanie go jako materiału obojętnego [Zawadzki i inni 1998]. Pyły metalurgiczne powodują jednak bardzo groźne zjawisko skażenia gleby i całego łańcucha pokarmowego, szczególnie wokół dużych zakładów metalurgicznych. Metale ciężkie dostają się do gleby nie tylko z opadem pyłu ale także wraz ze spływem powierzchniowym z terenów zanieczyszczonych między innymi z tras komunikacyjnych. W glebach większość metali zostaje związana z nierozpuszczalnymi związkami próchnicznymi, zaabsorbowana na powierzchni mineralnych cząsteczek koloidalnych lub wytrącona w postaci nierozpuszczalnych ciał stałych. Stwierdzono, że metale kumulują się głów-

nie w wierzchnich warstwach gleby. O stopniu szkodliwości pierwiastków śladowych na środowisko glebowe decydują właściwości fizyczno-chemiczne gleb, w tym obecność próchnicy i koloidów glebowych oraz odczyn gleb. Koloidy glebowe silnie wiążą metale ciężkie w warstwach powierzchniowych, dzięki czemu są one nie dostępne dla roślin oraz nie dają się wyługować do wód gruntowych. Przy lekko zasadowym odczynie większość metali unieruchomiona jest w formach wodorotlenkowych i zdolność ich migracji jest niewielka. Minimum rozpuszczalności $\text{Cr}(\text{OH})_3$ występuje przy pH 8,3, $\text{Zn}(\text{OH})_2$ przy pH 9,2, $\text{Pb}(\text{OH})_2$ przy pH 9,5, a $\text{Cd}(\text{OH})_2$ przy pH 11,2 [Zabłocki i inni 1998]. W środowisku kwaśnym metale występują w formie kationów, których mobilność jest znacznie większa. Kationy metali ulegają procesom sorpcji i wymiany jonowej na cząstkach glinu i ilu, dzięki czemu zmniejsza się intensywność migracji. W warunkach beztlenowych metale mogą ulec wytrąceniu w postaci trudno rozpuszczalnych siarczków. Długotrwała akumulacja metali wyczerpuje pojemność gleby do wiązania metali i proces ten jest nieodwracalny. Koncentracja metali w glebach powoduje zatrucie mikroorganizmów glebowych, co powoduje obniżenie aktywności biologicznej.

2.5.3. Oddziaływanie na wody

Funkcjonowanie kuli ziemskiej jest związane z ponad 1337 milionami km^3 wody, przemieszczającej się dokoła planety w postaci deszczu, śniegu, gradu i pary wodnej. Woda jest zawsze w ruchu – w strumieniach, rzekach, jeziorach, oceanach, nad i pod ziemią, pobierana i oddawana przez rośliny i zwierzęta, przekształcona w parę wodną – tworzy olbrzymie prądy wokół Ziemi. Chmury, jako skroplona para stale transportują wodę dokoła planety, aż spadnie ona w postaci deszczu [Ryrie 1998].

Pod wpływem wody zachodzi szereg reakcji chemicznych, także z substancjami znajdującymi się pyłach. Już w atmosferze, gdzie występują drobiny wody a także pod wpływem opadów atmosferycznych zaczynają zachodzić procesy utleniania, redukcji, rozpuszczania i przedostawania się zanieczyszczeń do płynnego ośrodka.

Do wód powierzchniowych zanieczyszczenia dostają się wraz z opadem pyłu, z zanieczyszczonymi opadami atmosferycznymi (np. z dróg) oraz ze ściekami przemysłowymi i komunalnymi. Za sprawą rzek następuje transport i przemieszczenie zanieczyszczeń do mórz i oceanów. W jeziorach i zbiornikach bezodpływowych, w zależności od głębokości i wielkości zbiornika oraz strefy klimatycznej w jakiej się znajdują, może następować wy-

mieszanie zanieczyszczeń poprzez cyrkulację, bądź opadanie ich na dno i zanieczyszczanie warstwy przydennej. Ujścia rzek są bardzo wrażliwe na skażenie ze względu na osadzanie się cząstek gruntu, na których mogą być zaadsorbowane substancje szkodliwe. Sorpcja metali szkodliwych następuje w osadach, analogicznie jak ma to miejsce w przypadku gleb.

Zanieczyszczenia, które dostaną się wraz z wodą do gleby, mogą dalej migrować do wód gruntowych. Rozpuszczalne substancje chemiczne ulegają rozproszeniu w wodach gruntowych podobnie jak w powierzchniowych, jednak przepływ w wodach gruntowych jest wolniejszy a zanieczyszczenia, które są na ogół zawiesiną, ulegają zatrzymaniu na powierzchni gleby ewentualnie tuż pod powierzchnią gleby. Proces rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w wodach gruntowych jest dwu- lub trójwymiarowy i występuje nie tylko wzdłuż kierunku cieczy ale także prostopadle do niego, chociaż rozpraszanie w kierunku przesączania jest najbardziej istotne. Po przedostaniu się zanieczyszczeń do podskórnych wód gruntowych, możliwa jest dalsza migracja do wód znajdujących się w warstwach wodonośnych. Jest to istotny problem zwłaszcza tam, gdzie wody te używane są do picia. W warstwie wodonośnej zanieczyszczenia ulegają powolnemu rozproszeniu w wyniku ruchu wód gruntowych wzdłuż dna warstwy wodonośnej.

2.5.4. Oddziaływanie na rośliny

Oddziaływanie na rośliny pyłów może zachodzić poprzez osiadanie pyłów wraz zanieczyszczeniami na roślinach, przez zasiedlanie przez rośliny gleb zanieczyszczonych, przez wody opadowe oraz wody ze spływów powierzchniowych i gruntowe.

Przy osiadaniu na powierzchni rośliny pyłów cementowych plon zmniejsza się wskutek uszkodzenia roślin (rozkład chloroplastów, zmniejszenie się zawartości białek i karotenu w liściach), zmniejszenia odporności na choroby, osłabienie kiełkowania nasion, a także powstanie sztywnej powłoki cementowej [Zabłocki i inni 1998]. Cement wnika poprzez szparki do wnętrza rośliny i uszkadza zawartość komórki a także prowadzi do zmniejszenia przemiany materii i przyrostu. Pył cementowy uszkadza kwiaty i zmniejsza owocowanie.

Wnikanie i kumulacja metali ciężkich w tkankach roślin przez system korzeniowy z gleby zanieczyszczonej metalami ciężkimi zależy od właściwości gatunkowych roślin, stężenia metalu w glebie, postaci w jakiej występuje metal, odczynu gleb i zawartości sub-

stancji organicznej. Oddziaływanie toksyczne metali na rośliny powoduje objawy chorobowe. Zakres wartości toksycznych oddziaływania na rośliny waha się od $0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w przypadku Hg do $500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w odniesieniu do Mn. Poszczególne metale ciężkie mają różne działanie i powodują rozmaite objawy. Toksyczność chromu jest potwierdzona przez liczne badania. Wrażliwe rośliny lądowe wykazują objawy toksyczności już przy stężeniu $1\text{-}2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cr(VI) w gruncie. Rośliny odporne tolerują chrom do $24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (np. tytoń). Objawy toksyczności polegają przede wszystkim na zaburzeniu gospodarki wodą, więdnieniu, chlorozie młodych liści i uszkodzeniu stożków wzrostu korzeni [Świetlik, Kowalczyk 2005]. Chrom, jak i inne metale ciężkie, wykazuje tendencję do akumulacji w organizmach. Związki chromu wykazują działanie toksyczne na mikroorganizmy osadu czynnego, a także działa inhibującą na proces fermentacji beztlenowej osadów ściekowych. Chrom jest inhibitorem wzrostu denitryfikującej biomasy, a także aktywności enzymatycznej mikroorganizmów [Kańska i inni 1992].

Arsen jest pobierany przez wszystkie rośliny. Niektóre rośliny mają zdolność do kumulacji tego pierwiastka, np. daglezja, której popiół może zawierać do 0,8% As, jeżeli podłoże, na którym rośnie jest istotnie wzbogacone w ten pierwiastek. Największe ilości As gromadzone są w korzeniach, bulwach i starych liściach. Fitotoksyczne działanie może nasępować już przy zawartościach 1-20 ppm w roślinach. Pierwiastek ten, znajdujący się w roślinach w stężeniu toksycznym, powoduje w nich spadek zawartości P, K, Ca i Mn [Cienko i inni 2003].

Miedź jest toksyczna w ilości od 15 do $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m., powodując ograniczenie wzrostu i rozwoju roślin, chlorozy, zgrubienie i skrócenie korzeni oraz zanik włóśników.

Mangan powoduje chlorozy brzegowe, czerwono-brunatne plamy, gigantyzm, wykrzywianie się łodyg, zmiany struktury DNA.

Nikiel może być toksyczny przy ilości $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.; powoduje redukcję części okwiatu, zmiany barwy kwiatów i całych roślin (niebieskawy odcień), pomniejszenie liści, u niektórych roślin (np. u owsa) poprzeczną pasiastą na liściach, brak rozwoju korzeni.

Ołów powoduje skrócenie korzeni, ciemnozielone chlorozy, więdnienie liści oraz częste nekrozy u roślin przydrożnych; w tkankach zakłóca procesy: oksydacyjne, fotosyntezy i fosforylacji tłuszczów oraz procesy podziału, poziom krytyczny wynosi 30 ppm.

Przy 100 ppm cynku następuje zaburzenie rozwoju roślin, zauważa się chlorozy, spadek fotosyntezy, kurczenie się liści i rakowacenie tkanek. Stężenie krytyczne cynku wynosi 400 ppm.

Ze względu na obecność w pyłe WWA, obserwuje się wpływ tych ostatnich na rośliny. Rośliny aktywnie pobierają i kumulują WWA głównie z opadu pyłów, w mniejszym stopniu z gleby. Benzo(α)piren znajdowano głównie w nadziemnych częściach roślin. WWA kumulują się w komórkach glonów wodnych oraz zooplanktonie, a następnie w łańcuchu troficznym dostają się do ciał mięczaków i ryb.

PCB wykazują dużą szkodliwość wobec roślin, są przy tym intensywnie adsorbowane zarówno przez rośliny wodne i lądowe, powstrzymując wzrost roślin przez ograniczenie intensywności fotosyntezy [Juda-Rezler 2000].

2.5.5. Oddziaływanie na ludzi

Badania wskazują, że zanieczyszczenia emitowane z pojazdów samochodowych mogą powodować nowotwory, przyspieszać śmiertelność i dolegliwości chorobowe ze strony układu oddechowego. Zanieczyszczenia pyłowe powodują wzrost dolegliwości układu oddechowego np. przeziębień, bólów gardła i zapalenia zatok. Pyły zawieszone w powietrzu stanowią czynnik powodujący wzrost liczby osób hospitalizowanych, cierpiących na astmę oraz przewlekłe choroby płuc. Badania w Afryce wykazały, że jedną z przyczyn większej zachorowalności na astmę i bronchit wśród dzieci w krajach afrykańskich jest zwiększony ruch samochodowy w miastach a co za tym idzie większe zapylenie środowiska. Dzieci mieszkające w środowisku wiejskim praktycznie bardzo rzadko zapadały na bronchit i astmę. Szybki rozwój afrykańskich miast pokazuje, że wraz z rozrostem miast zwiększa się ilość dzieci chorujących na te choroby [Weinberg 2000]. Sinha i inni [1997] zauważyli, że wielkość ziaren pyłu, zawartość krzemionki i metali ciężkich, pierwiastki śladowe, a także rozproszenie koncentracji odpowiada za ujemne efekty zdrowotne u ludzi.

Pyły klasyfikuje się ze względu na wpływ na organizm ludzki. Wyróżniono [WIOŚ w Poznaniu 2007]:

- pyły o działaniu drażniącym – zawierające żelazo, węgiel, szkło, aluminium, związki baru;
- pyły o działaniu zwłókniającym – krystaliczne formy krzemionki, kwarc, krystobalit, niektóre krzemiany (azbest, talk, kaolin);
- pyły o działaniu uczulającym – pochodzenia organicznego (sierść, wełna) i pochodzenia chemicznego;
- pyły toksyczne – związki dobrze rozpuszczalne w wodzie (alkalia, związki chromu, ołowiu, manganu, środki owadobójcze);

- pyły radioaktywne – zawierające pierwiastki i izotopy promieniotwórcze.

Ponad połowa Europejczyków narażona jest na stężenie troposferycznego ozonu, przekraczającego normy WHO. Większość spośród najbardziej szkodliwych zanieczyszczeń z pojazdów mechanicznych trafia do organizmu wraz z wdychanym powietrzem, dzięki czemu dostaje się głęboko do płuc powodując zniszczenie delikatnych komórek. Ozon, który jest bardzo silnym utleniaczem niszczy komórki ścianek płuc powodując przedostawanie się płynów do płuc. Osoby młode, cierpiące na astmę są bardziej podatne na szkodliwe działanie ozonu.

Podniesiony poziom dwutlenku azotu powoduje wzmożone występowanie kaszlu i przekrwień u dzieci oraz trudności w oddychaniu u osób cierpiących na astmę. Międzynarodowe Centrum Badań nad Nowotworami przy Światowej Organizacji Zdrowia za szczególnie szkodliwy dla zdrowia uważa rakotwórczy benzen, występujący w spalinach samochodowych.

Tlenek węgla łączy się z hemoglobina zawartą we krwi i utrudnia jej prawidłowe krążenie, co powoduje dolegliwości związane z układem krążenia, sercem, centralnym układem nerwowym. Badacze z Uniwersytetu Kalifornijskiego oszacowali, że z powodu spalin umiera w USA 70000 ludzi. Z szacunków WHO wynika, że w Europie na choroby wywołane skażeniem powietrza przez ruch samochodowy umiera rocznie 80000 ludzi.

Osoby cierpiące na alergie dróg oddechowych, np. astmę i katar sienny, są bardziej wrażliwe na działanie SO_2 i dymu niż inni ludzie. Jest to częściowo spowodowane faktem, iż do oddychania częściej używają ust niż nosa, co ułatwia penetrację kropeł kwasu i cząstek dymu do tchawicy [Elsom 1987]. Maksymalne i chwilowe stężenie SO_2 i dymu dopuszczane przez WHO (zakładające chwilowe pogorszenie się stanu zdrowia pacjentów z chorobami dróg oddechowych) wynoszą $250 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-3}$, w przypadku długotrwałego narażenia – $100 \mu\text{m}\cdot\text{m}^{-3}$. Jeżeli stężenie będzie większe należy oczekiwać zwiększonej śmiertelności wśród osób starszych i obłożnie chorych. Zaadsorbowane na pyłach WWA (benzoantracen, benzopiren) są znanymi substancjami rakotwórczymi. Nitropireny oraz 2-nitrofluoren, zaliczane również do WWA, są mniej niebezpieczne ponieważ wywołują nowotwory wyłącznie u zwierząt. Substancje zawarte w sadzy są prawdopodobnie odpowiedzialne za większą zapadalność na raka moczny mężczyzn mieszkających w sąsiedztwie kominów emitujących dym [Alloway, Ayres 1999]. Negatywne znaczenie dla organizmu człowieka ma duża zawartość metali ciężkich, pojawiających się wraz z pyłami w środowisku. Szkodliwość metali wynika w dużej mierze z ich biologicznych i biochemicznych właściwości, do których należą [Zabłocki i inni 1998]:

- łatwość przechodzenia przez błony biologiczne;
- podatność na biokumulację ze środowiska wodnego oraz glebowego;
- zdolność tworzenia połączeń z grupami tiulowymi –HS lub karboksylowymi –COOH enzymów i aminokwasów, przez co następują zmiany w metabolizmie, prowadzące do powstawania nowotworów;
- uszkodzenie łańcucha kwasów nukleinowych;
- tworzenie związków metaloorganicznych, często powodujących alergie;

Metale w organizmach kumulują się w różnych narządach głównie; nerkach, wątrobie, płucach, gruczołach limfatycznych, gruczołach dokrewnych, mózgu, kościach, włosach, paznokciach, przysadce mózgowej, mięśniach, skórze i innych. Nadmierna kumulacja metali ciężkich w tych organach powoduje ich uszkodzenie i może powodować ostre zatrucia lub zatrucia przewlekłe występujące dłuższy czas w postaci utajonej, prowadzące do powstawania nowotworów, uszkodzeń mózgu lub działań mutagennych.

Dla zdrowia i życia ludzi oraz rozwoju biotycznego środowiska nie są obojętne podwyższone zawartości chromu w środowisku przyrodniczym. Niektóre związki chromu (VI) są uznawane za rakotwórcze [Świetlik, Kowalczyk 2005]. Badania epidemiologiczne wykazały związek pomiędzy ekspozycją chromu (VI) a rakiem płuc. Cechą związków chromu (III, VI) jest również mutagenność [Cieślak-Golonka 1994]. Związki chromu mogą wywoływać bronchity astmatyczne i inne reakcje alergiczne, a także nowotwory układu oddechowego u pracowników chronicznie narażonych na pyły zawieszane [Alloway, Ayres 1999].

W pigmentach, pestycydach, środkach do konserwacji drewna, środkach zwiększających wzrost zwierząt hodowlanych, w przemyśle szklarskim, ceramicznym oraz metalurgicznym używany jest arsen [Alloway, Ayres 1999]. Również węgiel kopalny zawiera znaczące ilości As, a w wyniku jego spalania następuje emisja 20% As do atmosfery. Stwierdzono występowanie ostrych i chronicznych zatruc, a systematycznie wdychany As występujący w powietrzu, jest znanym czynnikiem rakotwórczym. U pracowników stale stykających się z arsenem często występują nowotwory dróg oddechowych. As jest również związany z występowaniem nowotworów skóry [Alloway, Ayres 1999]. Negatywne działanie arsenu polega na wywoływaniu zaburzeń metabolicznych. W organizmach żywych pierwiastek ten wiąże się z grupami sulfhydrylowymi, hamując aktywność enzymów: fosfatazy, esterazy, lipazy i oksydazy. Ma działanie inhibicyjne na oddychanie mitochondrialne [Ciećko, Najmowicz 2003].

Rtęć pochodzi głównie ze spalania paliw, przede wszystkim węgla, a także z hutnictwa, wydobywania złota i srebra, produkcji materiałów budowlanych zwłaszcza cementu, unieszkodliwiania odpadów i użytkowania baterii. Szacowana emisja rtęci w Polsce ze spalania paliw w 1995 roku szacowana była na 62-65% całkowitej emisji [Hławiczka i inni 2003]. Metylo-pochodne związki rtęci mają zdolność włączania w łańcuchy pokarmowe a sama rtęć ma zdolności bioakumulacji. Rtęć jest neurotoksyną i teratogenem (powoduje deformacje płodu) [Alloway i inni 1999]. Rtęć powoduje martwicę błony śluzowej, uszkodzenia nerek, wątroby i układu nerwowego (zaburzenia wzroku i mowy).

Kadm jest silnie toksycznym pierwiastkiem; powoduje uszkodzenia nerek, objawiające się obecnością w moczu białek mikroglobulinowych. Duże stężenia Cd we wdychanym powietrzu mogą powodować rozedmę płuc i związane z nią ostre stany zapalne; sinicę, dusznicę i obrzęk płuc co prowadzi do zwłóknienia śródmiąższowego płuc, a także choroby układu krwiotwórczego, uszkodzenia serca i naczyń krwionośnych. Cd powoduje choroby układu kostno-mięśniowego, m.in. chorobę „och-och”, nazwaną tak z powodu bólu powodowanego przez zdeformowane kości. Objawia się ona zwyrodnieniem kości i ich łamliwością w wyniku ograniczenia syntezy witaminy D i mineralizacji kości.

Kobalt przy większych ilościach poraża mięśnie naczyniowe.

Miedź przy przewlekłych zatruciach powoduje spadek zawartości hemoglobiny oraz uszkodza wątrobę i nerki.

Mangan powoduje manganowe zapalenie płuc oraz manganizm, zaburzenia w metabolizmie innych pierwiastków, głównie fosforu, a także zmiany struktury DNA, obniżenie poziomu hemoglobiny i hemolizę erytrocytów.

Molibden prowadzi do zatruc wątroby i nerek.

Nikiel wywołuje schorzenia skóry, tzw. egzemę niklową, leukocytozę a przy zawartości 300 ppm zaburzenia rozwoju.

Ołów – główny pierwiastek zanieczyszczający, pochodzący z komunikacji – przy większych stężeniach powoduje zaburzenia układu nerwowego, niedokrwistość, niepłodność, upośledzenie rozwoju płodu, upośledzenie rozwoju umysłowego i obniżenie poziomu inteligencji. Toksyczne stężenia mogą wystąpić w szpiku kostnym, gdzie wytwarzane są czerwone krwinki. Ołów może wpływać na przebieg co najmniej pięciu stadiów tworzenia się hemowej części hemoglobiny, ale najbardziej istotny jest jego wpływ na dwa enzymy; dehydratazę aminolewuliny i ferrochelatazę. Wynikiem inhibicji syntezy hemu jest anemia. Pb działa drażniąco na system nerwowy, powodując pogorszenie sprawności umysłowej (depresję, agresję osłabienie pamięci), uszkodza prace mięśnia sercowego, nerek

i kory mózgowej, powodując uszkodzenie centrów aktywnych wielu enzymów (wypieranie pierwiastków śladowych funkcjonujących jako koenzym).

Tal to metal prowadzący do uszkodzeń skóry (m.in. wypadanie włosów), zmian psychicznych oraz upośledzenia funkcji nerek.

Cynk powoduje obrzęki płuc, zatrucie organizmu i zmiany nowotworowe.

Pył glinowy może powodować schorzenia płuc (zwłóknienie) prowadzące ostatecznie do rozedmy. Uważa się także, że może być przyczyną powstawania choroby Alzheimera.

Beryl, wdychany jako tlenki i inne związki, powoduje chroniczną postać pylicy zwaną beryliozą; pierwiastek ten uznawany jest za czynnik rakotwórczy.

Pyły zawierające krzemionkę ulegają akumulacji w płucach i mogą powodować powstawanie guzków bliznowatych (zwłóknień), które w wyniku rozwoju i łączenia się mogą osłabiać funkcję oddechową płuc. Ta choroba zwana krzemicią ma długi okres utajonego rozwoju i z tego powodu wykrywana jest zwykle w zaawansowanym stadium. Krzemicy często towarzyszą infekcje, np. zapalenie oskrzeli lub gruźlica. Długotrwałe oddychanie pyłem węglowym prowadzi do pylicy, a pyłem wraz z cząstkami azbestu do azbestozy.

Wpływ na człowieka WWA zawartych w pyłach jest udowodniony. WWA pobierane są drogami pokarmową i oddechową oraz poprzez skórę. Związki te wykazują zdolność do biokumulacji, co jest związane z procesami enzymatycznego utleniania w komórkach wątroby. Wiele węglowodorów aromatycznych ma też zdolność do przyłączania się do DNA i rRNA (działanie mutagenne) oraz do biotransformacji, przyłączając się do innych związków organicznych i wchodząc w cykle biochemiczne. W ich wyniku powstają metabolity, które często mają działanie kancerogenne. Za najsilniej rakotwórczy WWA uważany jest benzo(α)piren, za umiarkowanie rakotwórcze m.in. benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, dibenzo(a,h)antracen, 5metylochryzen i indeno(1,2,3-c,d)piren [Zabłocki i inni 1998]. Obok WWA, występujące w środowisku dioksyny i furany mają bardzo negatywne skutki oddziaływania na człowieka. Uważane są one za silne trucizny. Akumulują się głównie w tkance tłuszczowej i wątrobie. Powodują uszkodzenie systemu immunologicznego, uszkodzenie wątroby, trzustki, nerek i układu pokarmowego, osłabienie zdolności rozrodczych, bezpłodność, poronienia, uszkodzenia płodu, zaburzenia neurologiczne i hormonalne, kancerogenność oraz chloracnę – trwałą bolesną wysypkę alergiczną, często z bliznami.

PCB łatwo kumulują się w organizmie człowieka. Zostały zaliczone przez WHO do związków o największym stopniu zagrożenia. Potwierdzone jest ich działanie kancerogen-

ne (nowotwory trzustki i wątroby), embriotoksyczne (powodujące szkodliwe działanie na płód w dalszym okresie trwania ciąży) i teratogenne [Juda-Rezler 2000].

2.6. Stan prawny

W sensie prawnym ustala się normy dopuszczalnych oddziaływań na środowisko, ograniczające również zakres korzystania ze środowiska. Mają na celu określenie wartości granicznych zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska i zanieczyszczeń w nich występujących tak, aby zagwarantować zachowanie środowiska w odpowiednim stanie. Normy ustalane są w formie aktów prawnych wykonawczych (rozporządzeń) do ustaw normujących zagadnienia środowiskowe i planistyczne; mogą one dotyczyć:

- przebiegu procesów technologicznych,
- wielkości emitowanych zanieczyszczeń,
- parametrów produktu,
- jakości środowiska lub progu szkodliwości.

2.6.1. Normy czystości gleb

Do 2002 roku w odniesieniu do gleb nie były ustalone normy prawne, jednakże w literaturze fachowej były wymieniane różnego rodzaju skale, klasyfikacje i porównania, w których próbowano określić progi naturalnego występowania określonych zanieczyszczeń (tło geochemiczne) lub poziomy skażenia w glebach. Bardzo często posługiwano się i posługuje nadal klasyfikacją opracowaną w IUNG w Puławach, dotyczącą granicznych wartości zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi. W klasyfikacji tej, w zależności od rodzaju gleby (zawartość frakcji spławianych, materii organicznej i pH) oraz zawartości poszczególnych metali ciężkich, wyróżniono 6 stopni zanieczyszczenia gleb – od zerowej do piątej.

Obecnie obowiązuje w Polsce Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. Nr 165, poz. 1359). W Rozporządzeniu tym określono trzy grupy rodzajów gruntów: grupa A – nieruchomości gruntowe wchodzące w skład obszaru poddanego ochronie na podstawie przepisów ustawy Prawo wodne oraz przepisów o ochronie przyrody; grupa B – grunty zaliczane

do użytków rolnych z wyłączeniem gruntów pod stawami i rowami, grunty leśne oraz zarzewione i zakrzewione, nieużytki, a także grunty zabudowane i zurbanizowane z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopalnych oraz terenów komunikacyjnych; grupa C – tereny przemysłowe, użytki kopalne i tereny komunikacyjne. Rozporządzenie określa wartości dopuszczalne stężeń w glebie i ziemi substancji zanieczyszczających dla poszczególnych grup i określonych głębokości, a także rodzaju gleby ze względu na wodoprzepuszczalność. Innym rozporządzeniem, obowiązującym w Polsce od 2002 roku dotyczącym gleb jest Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 21 marca 2002 r. (Dz.U. nr 37, poz. 344) w sprawie dopuszczalnych stężeń metali ciężkich zanieczyszczających glebę.

2.6.2. Normy czystości powietrza atmosferycznego

Regulacje prawne, dotyczące ochrony powietrza zawarte są w ustawie „Prawo ochrony środowiska” z 27 kwietnia 2001 r. (Dz.U. Nr 62, poz.627) i rozporządzeniach wykonawczych Ministra Środowiska:

- z dnia 6 czerwca 2002 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów niektórych substancji w powietrzu, alarmowych substancji niektórych substancji w powietrzu oraz marginesów tolerancji dla dopuszczalnych poziomów niektórych substancji (Dz.U. Nr 87, poz.796);
- z dnia 5 lipca 2002 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać programy ochrony powietrza (Dz.U. Nr 115, poz.1003);
- z dnia 5 grudnia 2002 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (DzU Nr 1, poz.12);
- z dnia 4 sierpnia 2003r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz.U. Nr 163, poz. 1584);
- z dnia 22 grudnia 2004 r. w sprawie rodzajów instalacji, których eksploatacja wymaga zgłoszenia (Dz.U. Nr 283, poz. 2839);
- z dnia 22 grudnia 2004 r. w sprawie przypadków, w których wprowadzanie gazów lub pyłów do powietrza z instalacji nie wymaga pozwolenia (Dz.U. Nr 283, poz. 2840).

Do zagadnień ochrony powietrza ma ponadto zastosowanie Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych

stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. Nr 217, poz. 1833).

Ze względu na transgraniczne przenoszenie się zanieczyszczeń, niszczenie powłoki ozonowej, powstawanie efektu cieplarnianego oraz obowiązek dostosowania prawa polskiego do dyrektyw unijnych obowiązuje w Polsce: „Ustawa o substancjach zubożających warstwę ozonową” z dnia 20 kwietnia 2004 r. (Dz.U. Nr 121, poz. 1263) oraz „Ustawa o handlu uprawnieniami do emisji do powietrza gazów cieplarnianych i innych substancji” z dnia 22 grudnia 2004 (Dz.U. Nr 281, poz. 2794).

2.6.3. Normy zapylenia środowiska miejskiego

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów niektórych substancji w powietrzu, alarmowych poziomów niektórych substancji w powietrzu oraz marginesów tolerancji dla dopuszczalnych poziomów niektórych substancji (Dz.U. Nr 87, poz. 796) określa zawartość dopuszczalną w powietrzu atmosferycznym pyłów PM₁₀ wyrażoną w $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. W Rozporządzeniu tym limitem dla pyłów PM₁₀ jest D₂₄ (dawka średnia 24-godzinna), D₈ (dawka maksymalnych, średnich ośmiogodzinnych krocących w dobie) i D_a (dawka średnia roczna). Teren kraju podzielono ze względu na: ochronę zdrowia ludzi, ochronę roślin, wydzielając też obszary ochrony uzdrowskiej i obszary Parków Narodowych. Poziom pyłów PM₁₀ na terenie kraju ze względu na ochronę zdrowia ludzi wynosi: D₂₄ – $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, D_a – $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ oraz D₈ – $10.000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Według wyżej wymienionego Rozporządzenia istnieje możliwość 35 razy w ciągu roku przekroczenia D₂₄ [Ministerstwo Środowiska 2007].

2.7. Walka z zapyleniem w środowisku miejskim

Każde zanieczyszczenie emitowane do atmosfery zostaje po pewnym czasie usunięte poprzez przemiany fizyczno-chemiczne a także depozycję suchą (osiadanie zanieczyszczeń na podłożu) i mokrą (wmywanie zanieczyszczeń przez opady atmosferyczne). Jednakże w aglomeracjach miejskich cząstki, które raz opadły mogą dalej stanowić problem, ze względu na wtórną emisję z powierzchni ulic, placów i chodników, dlatego bardzo istotną rolę odgrywa walka z zapyleniem środowiska miejskiego. Walka ta może polegać na:

- ograniczeniu emisji,

- ograniczeniu erozji gleb miejskich,
- pracach porządkowych,
- świadomej planistyce.

2.7.1. Ograniczanie emisji

Ograniczenie emisji zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego wiąże się z koniecznością dodatkowych inwestycji w: instalację urządzeń oczyszczających i dezodorujących (odpylających, redukujących, unieszkodliwiających i neutralizujących zanieczyszczenia pyłowe i gazowe) oraz nowoczesne technologie produkcji z zastosowaniem substancji mniej uciążliwych dla środowiska, wraz z kompletnym wyposażeniem i zespołem koniecznych urządzeń pomocniczych zapewniających prawidłową eksploatację.

Jedną z najskuteczniejszych metod ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery jest produkcja energii cieplnej i elektrycznej w skojarzeniu. W trakcie produkcji energii elektrycznej w klasycznej elektrowni cieplnej około 60% ciepła pochodzącego z paliwa oddawana jest do atmosfery w chłodniach kominowych. Ogólna sprawność układu klasycznej elektrowni i klasycznej ciepłowni wynosi 52%. Gdy prąd i ciepło produkowane są w jednym zakładzie, w ramach kogeneracji, wówczas jego sprawność wynosi około 85%. Czyli dla wytworzenia tej samej ilości ciepła i energii elektrycznej w elektrociepłowni trzeba spalić o 48% mniej paliwa niż w rozdzielonej elektrowni i ciepłowni [Wójcik 2005].

Ograniczenie emisji pyłów drogowych jest w dużej mierze zależne od „poziomu ekologicznego” pojazdów, który uzależniony jest od jakości technicznej i ich obsługi, przede wszystkim jednak od zastosowanych w pojazdach nowoczesnych rozwiązań technicznych, ograniczających zanieczyszczenie środowiska. Ocena poziomu ekologicznego pojazdów może być dokonywana przez ich zakwalifikowanie do kategorii ekologicznych, zależnych m.in. od wersji regulacji prawnych spełnianych przez te pojazdy [Chłopek 2000].

Na właściwości ekologiczne pojazdu znaczny wpływ ma charakter ruchu pojazdów. Charakter ruchu zależy nie tylko od właściwości technicznych pojazdów, ale także od rodzaju dróg, a także natężenia ruchu. Badania prowadzone przez Chłopek [2000] wykazały, że emisja drogowa cząstek stałych dla samochodów osobowych i dostawczych jest najmniejsza przy ruchu w warunkach pozamiejskich. Dla samochodów ciężarowych utrzymuje się natomiast na tym samym poziomie, niższym niż w miastach na autostradach i drogach poza miastami. Ruch pojazdów w zatłoczonych centrach miejskich charakteryzuje się

dużym natężeniem emisji substancji szkodliwych dla środowiska. W obliczu wyżej wymienionych faktów stosunkowo największe korzyści można osiągnąć, budując obwodnice i trasy szybkiego ruchu, umożliwiające ustabilizowaną jazdę z tzw. ekonomiczną prędkością 60-80 km/h, a także ograniczenie natężenia wjazdu do miast i wyjazdu z nich do niezbędnego minimum oraz ustabilizowanie ruchu pojazdów wewnątrz miast.

Znacznie większe korzyści można osiągnąć poprzez zmianę struktury ekologicznej eksploatowanych pojazdów. Rozwiązanie takie jest związane z restrykcyjnymi działaniami prawno-administracyjnymi i wymaga znacznych nakładów finansowych, jednak skutki długofalowe takiego postępowania przyniosłyby pozytywne rezultaty, tym bardziej, że Polacy przywożą duże ilości znacznie wyeksploatowanych samochodów z zagranicy, a takie postępowanie przeczy ekologicznemu spojrzeniu. Należałoby skrupulatniej kontrolować poziom techniczny pojazdów, który wpływa na emisję zanieczyszczeń. Polska jest w tyle wobec standardów obowiązujących w innych, rozwiniętych państwach z powodu słabego systemu kontrolnego, niskiego poziomu wykszolenia, niezadawalającego poziomu egzekwowania prawa, a także niskiej świadomości większości obywateli.

Ograniczenie emisji z pojazdów można osiągnąć poprzez zastosowanie napędu hybrydowego. Zasada działania pojazdów hybrydowych polega na tym, że klasyczny silnik benzynowy i silnik elektryczny mogą być używane jednocześnie lub osobno. Przy niewielkim obciążeniu nadmiar mocy silnika benzynowego wykorzystany jest do doładowania akumulatorów, w czasie zaś krótkich przejazdów w mieście może być wykorzystywany tylko silnik elektryczny.

Innym ze sposobów ograniczenia emisji zanieczyszczeń może być użycie wodoru jako paliwa. Wodór wytwarzany jest z wody i spalany z wytworzeniem wody – bez emisji zanieczyszczeń. Przykładem intensywnych prac badawczych prowadzonych w kierunku wykorzystania wodoru jako źródła energii jest długookresowy program współpracy pomiędzy Niemcami a Arabią Saudyjską. We Włoszech (Mediolan, Turyn) przeprowadza się szerokie projekty z masowym wprowadzeniem pojazdów napędzanych wodorowymi ogniwami paliwowymi. Zakłada się, że do 2015 roku około dwóch milionów włoskich pojazdów może być zasilanych za pomocą ogniw paliwowych, a do roku 2030 – 60% [Wiltowski, Piotrowski 2004].

Kolejnym sposobem na zmniejszenie emisji zanieczyszczeń z pojazdów komunikacyjnych może być zakaz poruszania się po drogach pojazdów starych, emitujących duże ilości zanieczyszczeń (nie wypełniających współcześnie obowiązujących norm emisji, z uwagi na przestarzała technologię i zużycie podzespołów).

Zachęta do ograniczenia używania samochodów osobowych przez obywateli miasta także może być metodą ograniczenia emisji zanieczyszczeń. W jednym z europejskich miast pracodawca dopłaca pracownikowi 9 Euro dziennie, jeżeli ten nie przyjedzie do pracy samochodem. Ograniczyło to problemy z parkowaniem, a przy tym wywołało też efekt ekonomiczny, gdyż pracodawca musiał wydawać 7 Euro dziennie za parking dla samochodu swojego pracownika, a przy tym zmniejszyło ilość emitowanych zanieczyszczeń. Pracownicy zaczęli do pracy przyjeżdżać rowerem lub korzystać z transportu miejskiego.

Nie tylko zmniejszenie emisji samochodowych może spowodować, zmniejszenie ilości zanieczyszczeń w pyłe drogowym, ważną rzeczą jest ograniczenie emisji całkowitej pochodzącej z przemysłu i ogrzewania mieszkań, lub używanie bardziej ekologicznych materiałów a także biopaliw do ogrzewania. Istniejące na zachodzie Europy regulacje prawne, wskazujące na udział energii odnawialnej w całej produkcji, u nas są dopiero w fazie początkowej.

2.7.2. Prace porządkowe

Bardzo ważnym problemem jest sprawne usuwanie pyłu drogowego z ulic miasta. Pył drogowy charakteryzuje się krótkim czasem zalegania na ulicach [Charlesworth 2003]. Czas ten jest uzależniony od sprawności służb oczyszczania miasta i może wynosić według szacunków Charleswortha do 250 dni w miastach w Anglii. W Zielonej Górze czas ten jest trudny do obliczenia, ale na większości głównych ulic wydaje się zdecydowanie krótszy, natomiast na ulicach pobocznych może być nawet dłuższy. Czas zalegania na ulicach zależy od usytuowania ulic i ich spadku, jeżeli bowiem ulica ma duży spadek terenu i padają obfite deszcze pył taki może być samoczynnie spłukany do kanalizacji miejskiej. Jednakże pył ten pojawia się poprzez kanalizację miejską w oczyszczalni ścieków, wraz z dużym ładunkiem zanieczyszczeń, co może wywoływać trudności w funkcjonowaniu oczyszczalni.

Zielona Góra, jak większość dużych miast Polski, dysponuje specjalnymi urządzeniami do usuwania pyłu drogowego – są to pojazdy mechaniczne z obracającymi się dużymi szczotkami z przodu pojazdu, które zbierają pył na taśmociąg a następnie na przyczepę, po czym są wywożone z miasta na składowisko odpadów. Ważną kwestią w opisywanym zakresie jest planowanie prac porządkowych z uwzględnieniem nawet bardzo krótkich ulic, nie zlokalizowanych w pobliżu głównych dróg. Inną rzeczą jest dbanie o obywateli

o drogi dojazdowe do swoich posesji, na których sprzęt służb oczyszczania miasta nie pojawia się. Drogi te sami mieszkańcy powinni sprzątać, gdy pojawi się na nich widoczny pył drogowy.

Inną kwestią jest deponowanie pyłu drogowego, który ma większe ilości zanieczyszczeń od wielu innych materiałów. Wobec powyższego należy zapobiec jego mieszanii z materiałami używanymi do kompostowania i rekultywacji terenów.

2.7.3. Zabiegi przeciwoerozyjne

Bardzo często się zdarza, że w mieście występują odkryte połacie gruntów, np. na terenach budowlanych, a także terenach po niedawno ukończonych budowach. Jak najszybsze zagospodarowanie takich miejsc może obniżyć ilość powstających pyłów drogowych. Planowane nasadzenia oraz obsiew powodują, że erozja jest minimalizowana. Inną istotną rzeczą w zabiegach przeciwoerozyjnych jest umacnianie skarp, zmniejszanie ich spadków, budowanie murów oporowych. Zabiegi te mogą powodować, że materiał znajdujący się na poboczu dróg nie przedostaje się na ulicę i nie zwiększa ilości pyłów ulicznych.

Aby przeciwdziałać erozji gleb miejskich należy bezwzględnie dbać o obsadzanie i obsiewanie terenów, zwłaszcza nie pozostawiać nie zagospodarowanego terenu na zimę. Należy także odpowiednio dobierać rośliny ozdobne z odpowiednim zagęszczeniem ich na danej powierzchni. Rośliny występujące w miastach muszą być tak dobrane, aby radziły sobie z dużym zanieczyszczeniem gleb, wysokim zasoleniem i innymi niekorzystnymi warunkami. Ważne jest też prowadzenie prac pielęgnacyjnych roślin i nawożenie gleb miejskich, co przyczynia się do umocnienia terenu.

Przy wysokich zboczach i skarpach należy w szczególny sposób zadbać o ich właściwe uformowanie, nadając stokom jak najłagodniejszy kąt nachylenia – najlepiej około 1:3. W przypadku dużych różnic w wysokości względnej stosuje się dla osiągnięcia tego celu podział stoku na tarasy. Ponadto, efekt zmniejszenia kąta stoku można uzyskać przez budowanie murów oporowych [Greinert H. i Greinert A. 1999]. Na wielkość erozji wpływają istotnie także działania podejmowane przed nasadzeniem i siewem roślin na zieleńcach miejskich. Do prac tych zalicza się: spulchnienie gruntu, rozbicie brył ziemnych, założenie drenażu, założenie systemu nawadniania, nawożenie mineralne, organiczne i wapnowanie, wyrównanie powierzchni gruntu, ubicie gruntu, usunięcie chwastów [Greinert A. 2000].

Wykorzystanie odpowiednich roślin może być rozwiązaniem służącym zmniejszeniu zanieczyszczeń środowiska. Ostatnie badania wykazały, że mech może być wykorzystany jako środek zapobiegający erozji gleb miejskich oraz pochłaniający zanieczyszczenia. Okazuje się, że mech jest ekologicznym filtrem zanieczyszczeń pochodzących ze spalin. Frahm i Sabovlijević, z Uniwersytetu w Bonn odkryli, że mchy pochłaniają niebezpieczne drobiny pyłu niczym mikrofaza. Składniki spalin służą mchom jako pożywienie, natomiast organiczne cząstki są odzyskiwane przez mieszkające na ich liściach bakterie. Listki mchu oddziałują elektrostatycznie – ich powierzchnia jest naładowana ujemnie, natomiast jon amonowy, składnik pyłu spalinowego dodatnio. Amoniak stanowi pożywienie dla mchów i zostaje przez nie strawiony. W ten sposób pył spalinowy przekształca się w substancję organiczną. Naukowcy obliczyli, że metr kwadratowy mchu przyswaja w ciągu kilku godzin około 20 g pyłu. Tymczasem gleba przy często uczęszczanej drodze pochłania tylko 14 g zanieczyszczeń rocznie. W regionie Nadrenii-Westfalii planuje się zakładanie „plantacji” mchu na poboczach autostrad. Jedynym utrudnieniem jest tutaj potrzeba dużej wilgotności podłoża [Grzemba 2007].

2.7.4. Świadoma planistyka

Zwiększone koncentracje zanieczyszczeń w pyłe ulicznym notowane są w pobliżu rond i skrzyżowań oraz w tych miejscach, gdzie samochody poruszają się ruchem przerywanym [Charlesworth 2003]. Znaczący to, że zwiększenie przepustowości ulic i skrzyżowań, niedopuszczanie do tworzenia się korków może ograniczyć emisję zanieczyszczeń komunikacyjnych, a co za tym idzie zmniejszyć ilość powstających pyłów drogowych.

Działania planistyczne prowadzone są z myślą o kierunku rozwoju miasta, zapewniając dużą przestrzeń i prawidłowość rozmieszczenia elementów, zgodnie z zasadą ładu przestrzennego. Dotyczy to także wszystkich elementów drogi, w tym pasa ruchu dla samochodów oraz bezpośredniego i dalszego otoczenia. W planistyce miejskiej nietrudno jest popełnić błędy, związane ze zbyt małą powierzchnią przeznaczoną na określone przedsięwzięcia. W odniesieniu do pasów drogowych problematycznym na obszarach o gęstej zabudowie jest zazwyczaj umieszczenie obok pasów jezdnych, zieleni przydrożnej oraz ścieżek dla rowerów i chodników dla pieszych. Do zadań planistycznych należy też wyznaczenie obwodnic miast, które zmniejszają ruch samochodowy wewnątrz aglomeracji.

W ramach planowania dróg i zieleni przydrożnej muszą być wzięte pod uwagę niektóre aspekty formalne i techniczne takie, jak: zapewnienie bezpieczeństwa ruchu kołowego (widoczność), oddzielenie komunikacji kołowej od pieszej i rowerowej, zabezpieczenie antyerozyjne gruntu, zapewnienie estetyki terenu i funkcjonalności (np. zacienienie chodnika) [Greinert A. 2000].

2.8. Czynniki wpływające na stan środowiska Zielonej Góry

Zielona Góra liczy 119 tysięcy mieszkańców (2006), będąc w początku XXI wieku miastem bez dużych zakładów przemysłowych. Miasto nastawione jest przede wszystkim na usługi, w tym wymianę handlową, a rozwój opiera na bliskości granicy z Niemcami.

Do przemiany polityczno-gospodarczej roku 1989, miasto było jednak w znacznym stopniu uprzemysłowione. Stan taki zawdzięczało intensywnej industrializacji w drugiej połowie XIX wieku oraz pierwszej połowie wieku XX. Po likwidacji w Zielonej Górze dużych zakładów przemysłowych takich jak: Zakłady Włókiennicze Polska Wełna, Fabryka Zgrzeblarek Elektrycznych Falubaz, Lubuska Wytwórnia Win, Browar Lubuski, Zakłady Mięsne w Przylepie, pozostały nieliczne, których udział w zanieczyszczeniu środowiska jest wyraźnie mniejszy. Listę największych funkcjonujących zakładów produkcyjnych otwiera Lubuska Wytwórnia Wódek Gatunkowych „Polmos”. Następny zakład produkcyjny to Novita – producent wykładzin dywanowych i włókien technicznych oraz firma Zastal Wagony, produkująca wagony towarowe. Kolejną ważną dla miasta firmą jest Zielonogórski Zakład Górnictwa i Gazu, który eksploatuje największe w Polsce złoża ropy naftowej i gazu. Dobrze rozwijającym się zakładem jest spółka „Nordis” Chłodnie Polskie, która produkuje lody i mrożonki. Znanym zakładem są również Lubuskie Zakłady Aparatów Elektrycznych „Lumel”. Firma produkuje nowoczesne urządzenia pomiarowe. W Zielonej Górze osiadła też firma ZPB Kaczmarek z Rawicza, która wytwarza betonowe elementy drogowe. Lista zakładów wytwórczych zwiększy się prawdopodobnie w najbliższych latach, za sprawą dużej inwestycji – budowy zielonogórskiej strefy przemysłowej.

Na stan środowiska w Zielonej Górze ma wpływ miejska elektrociepłownia i ciepłownice lokalne. Elektrociepłownia zlokalizowana przy Al. Zjednoczenia odchodzi od opalania węglem i innymi paliwami stałymi, wdrażając technologię wykorzystującą jako paliwo gaz, który jest bardziej ekologiczny.

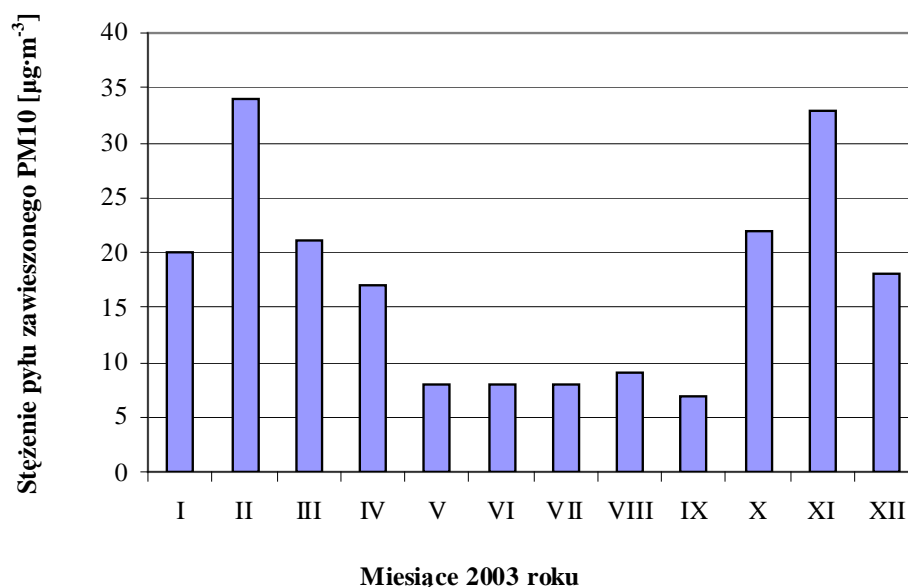
Bardzo istotnym czynnikiem zanieczyszczającym środowisko miasta jest ogrzewanie mieszkań indywidualnych poprzez opalanie węglem, drewnem i innymi materiałami stałymi. Duże obszary Zielonej Góry zwłaszcza skupiające stare budownictwo, wykorzystują właśnie ten sposób ogrzewania.

W Zielonej Górze dominujące wiatry z zachodu ograniczają rozprzestrzenianie się pyłów z emitorów zlokalizowanych po stronie wschodniej miasta. Głównym zagrożeniem w mieście jest duży ruch samochodowy, który ma tendencje zwyżkową. Zielona Góra jest ważnym punktem tranzytowym na drodze z zachodu na wschód Europy, a także z północy kraju na południe. W końcu XX wieku podjęto kroki dla ograniczenia przejazdu przez miasto ruchu tranzytowego. W tym celu wybudowano obwodnicę bardzo dobrze funkcjonującą na trasie Szczecin-Wrocław. Oddanie do użytku ostatniego odcinka tzw. Trasy Północno-Zachodniej spowodowało, że miasto omija ciężki ruch również w kierunku granicy (Gubin, Olszyna, Świecko).

Na zapylenie miasta bardzo duży wpływ ma pozostawienie w stanie niepokrytym roślinnością i nawierzchniami litymi gruntów pobudowlanych. Potęguje to zjawisko fakt równoczesnego inwestowania budowlanego w różnych częściach miasta, a także w małoobszarowych, rozrzuconych punktach.

Badania zanieczyszczenia powietrza prowadzone w województwie lubuskim wykazują zmienny poziom stężeń zanieczyszczeń powietrza w ciągu roku, który pokrywa się ze zmianą wielkości emisji zanieczyszczeń ze źródeł grzewczych. Zmienność stężenia pyłu zawieszonego PM10 w Zielonej Górze przedstawia rys. 1

W województwie lubuskim emisja zanieczyszczeń pyłowych ma tendencje spadkową (badania od 1999 roku do 2003 roku). Emisja dwutlenku siarki i tlenków azotu także z roku na rok była coraz mniejsza, natomiast emisja tlenku węgla od 2001 roku miała tendencję zwyżkową. Wielkość emisji zanieczyszczeń z terenu województwa lubuskiego w latach 1999-2003 przedstawiono w tabeli tab. 2 [Damczyk i inni 2004].



Rys. 1. Zmienność stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] w Zielonej Górze (ul. Jasna) w 2003 roku [Damczyk i inni 2004]

Tab. 2. Emisja przemysłowych zanieczyszczeń powietrza w województwie lubuskim w latach 1999-2003 [Damczyk i inni 2004]

Wyszczególnienie	1999	2000	2001	2002	2003
	W tys. Mg·rok ⁻¹				
Emisja zanieczyszczeń pyłowych, w tym:	9,0	4,8	4,5	4,4	2,5
- ze spalania paliw	brak danych	4,6	4,2	4,1	Brak danych
- krzemowe	brak danych	0,1	0,1	0,0	0,0
- węglowo grafitowe	brak danych	0,0	0,0	0,0	0,0
Emisja zanieczyszczeń gazowych, w tym:	1826,0	1797,4	1940,4	1519,3	1510,5
- dwutlenek siarki	brak danych	6,0	5,8	5,6	3,6
- tlenki azotu (w przeliczeniu na NO ₂)	brak danych	3,1	3,0	2,7	1,8
- tlenek węgla	brak danych	13,4	12,2	12,5	19,9
- dwutlenek węgla	brak danych	1774,4	1918,9	1498,2	1482,3

Należy podkreślić, że dane te nie dotyczą globalnej emisji tylko sektora energetyczno-przemysłowego, w ogólnym bilansie nie ujęto natomiast, z uwagi na brak danych, emisji z gospodarstw domowych, z silników spalinowych oraz niewielkich zakładów przemysłowych. Na podstawie danych literaturowych szacuje się, że udział osób fizycznych w emisji ogólnej jest dość zróżnicowany i waha się od kilku do kilkunastu procent na terenach o wysokim stopniu zurbanizowania i rozwiniętej sieci ciepłowniczej, aż do kilkudziesięciu procent na obszarach, których nie obejmują centralne systemy ciepłownicze, szczególnie na obszarach wiejskich.

Badania immisji zanieczyszczeń powietrza, przeprowadzone przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w 2001 roku na terenie Zielonej Góry wykazały, że poziom

stężeń dwutlenku siarki i dwutlenku azotu zarejestrowane w tym czasie nie przekraczały obowiązujących wartości granicznych. Porównanie wysokości stężeń zanotowanych w okresie letnim i okresie grzewczym wskazuje, że jakość powietrza pogarsza się w chłodnych miesiącach roku (miesiące X-III). Stężenie dwutlenku siarki w okresie grzewczym było średnio 3,2 razy wyższe aniżeli średni poziom stężenia w okresie grzewczym (IV-IX). Średnie stężenie dwutlenku azotu w sezonie chłodnym przewyższało 1,7 krotnie stężenie w miesiącach letnich. Wyniki badań, jako średnie wartości stężenia z całego okresu badań i średnie wartości z okresu grzewczego i poza grzewczego w Zielonej Górze na poszczególnych ulicach w 2001 roku prezentuje tab. 3.

Tab. 3. Wyniki badań stężenia dwutlenku siarki i dwutlenku azotu metoda pasywnym poborem próbek zarejestrowane na terenie Zielonej Góry w 2001 roku [Damczyk i inni 2002]

Punkt pomiarowy	Średnie stężenie SO ₂ [μg·m ⁻³]				Średnie stężenie NO ₂ [μg·m ⁻³]			
	Z całego okresu badań	Da [%]	W sezonie poza grzewczym	W sezonie poza grzewczym	Z całego okresu badań	Da [%]	W sezonie poza grzewczym	W sezonie poza grzewczym
ul. Siemiradzkiego	5,2	13,1	2,3	7,7	17,1	42,6	10,0	22,9
os. Pomorskie	9,0	22,5	4,1	13,0	20,1	50,2	13,6	25,4
ul. Dąbrówki	8,2	20,5	4,1	11,6	31,8	79,4	26,3	36,3
ul. Westerplatte	9,4	23,5	4,0	13,9	37,3	93,3	30,8	42,8
ul. Witebska	3,2	8,0	1,7	4,5	14,6	36,5	10,1	18,4
ul. Słowackiego	8,2	20,6	3,4	12,3	16,3	40,8	9,6	21,9
os. Chynów	5,5	13,8	2,0	8,5	19,3	48,3	13,4	24,3
os. Jędrzychów	4,8	12,0	1,9	7,3	16,6	41,4	12,1	20,3
os. Raculka	4,6	11,4	2,4	6,3	14,6	36,6	9,2	19,2
Łężyca	3,5	8,7	1,7	5,0	10,0	24,9	5,3	13,9
Trasa Północna	4,5	11,4	3,4	5,9	25,9	64,6	25,5	29,6
ul. Krasieńskiego	6,1	15,2	2,0	9,1	16,1	40,3	14,8	27,6
ul. Botaniczna	1,8	4,6	1,0	2,9	16,1	40,3	8,2	15,6
Ratusz	7,3	18,1	3,0	10,3	21,8	54,4	19,7	29,7
ul. Źródłana	5,3	13,3	2,5	7,4	19,2	48,1	17,8	24,4

Sprzątaniem ulic z zalegającego na nim pyłu drogowego w Zielonej Górze zajmują się ZGKiM. Dysponuje on dwoma pojazdami mechanicznymi (jeden z własnym napędem firmy Volvo, drugi bez napędu firmy Brodd) z obrotowymi szczotkami służącymi do zbierania pyłów drogowych. Sprzęt służący w Zielonej Górze do sprzątania ulic przedstawiono na fot. 1 i 2.



Fot. 1. Pojazd mechaniczny z obrotowymi szczotkami firmy Volvo



Fot. 2. Pojazd z obrotowymi szczotkami, bez własnego napędu, firmy Brodd

Na podstawie danych pochodzących ze Składowiska Odpadów Miejskich w Zielonej Górze, ilość pyłów drogowych zbierana przez specjalistyczny sprzęt podczas sprzątania ulic i placów miasta i trafiająca na wysypisko miejskie i tam ewidencjonowana w ciągu całego roku w Zielonej Górze przedstawia się, jak podano w tab. 4.

Tab. 4. Ilość pyłów drogowych zebranych z ulic i placów w Zielonej Górze, trafiających na Miejskie Składowisko Odpadów w Raculi w latach 2000-2007

Rok	Ilość pyłów drogowych zebranych z ulic i placów w Zielonej Górze, trafiających na Miejskie Wysypisko Odpadów [Mg]		
	Cały rok	I półrocze	II półrocze
2000	1139,57	Brak danych	Brak danych
2001	1440,34	1013,04	427,30
2002	1277,60	831,88	445,72
2003	1263,81	994,40	269,41
2004	1560,99	1036,43	524,56
2005	1746,24	1261,90	484,34
2006	2161,26	1513,30	647,96
2007	1462,92 (do końca października 2007)	1073,28	389,64 (do końca października 2007)

Zauważalna jest tendencja wzrostowa ilości zbieranych pyłów drogowych z terenu miasta na przestrzeni lat. Ilość pyłów przyjęta na Miejskie Składowisko Odpadów jest zawsze wyższa w I półroczu. Bardziej szczegółowe wyniki ilości pyłów zbieranych w poszczególnych miesiącach roku w latach 2004-2007 przedstawia tab. 5.

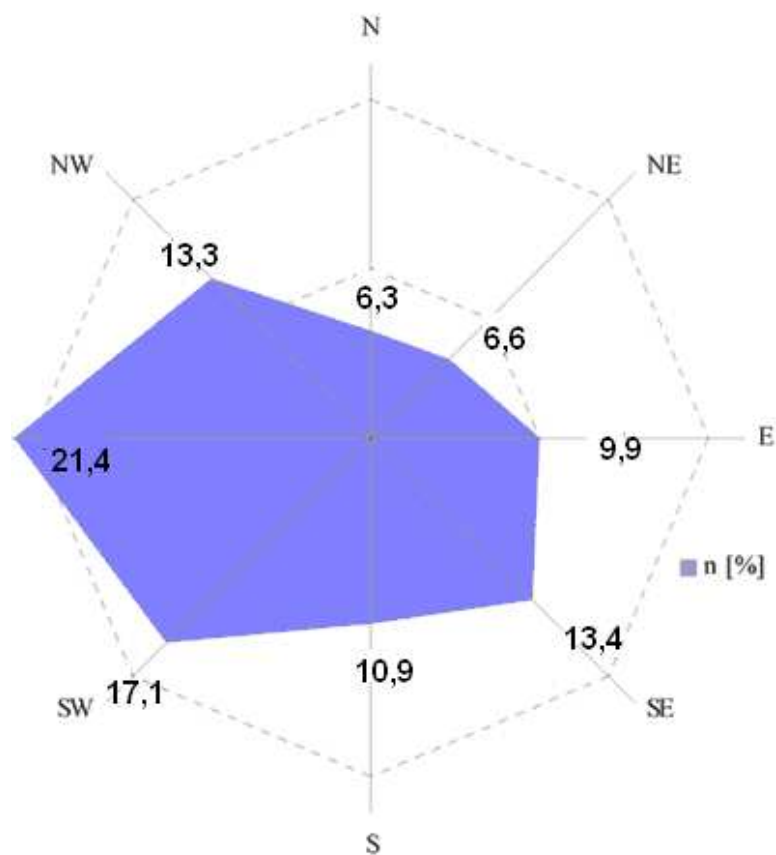
Tab. 5. Ilość pyłów drogowych zebranych z ulic i placów w Zielonej Górze, trafiających na Miejskie Wysypisko Odpadów [Mg] w poszczególnych miesiącach w latach: 2004- 2007

Miesiące	Ilość pyłów drogowych zebranych z ulic i placów w Zielonej Górze, trafiających na Miejskie Wysypisko Odpadów [Mg] w latach:			
	2004	2005	2006	2007
Styczeń	0,00	17,83	0,00	119,38
Luty	0,00	0,00	0,00	11,86
Marzec	263,32	236,79	124,22	271,74
Kwiecień	351,23	446,37	502,14	232,28
Maj	283,72	283,60	393,26	210,26
Czerwiec	112,95	173,45	387,38	227,42
Lipiec	84,10	28,18	205,82	125,74
Sierpień	62,08	36,8	39,94	69,60
Wrzesień	57,16	154,40	98,26	76,16
Październik	35,10	113,74	119,10	118,48
Listopad	59,03	75,68	50,92	Brak danych
Grudzień	224,93	51,84	133,92	Brak danych

W miesiącach, w których ilość zebranych pyłów drogowych określono jako 0,00 przyjąć należy, iż wystąpiły takie warunki atmosferyczne (tzn. oblodzenie lub opady śniegu), które uniemożliwiły oczyszczanie miasta. Pył drogowy z Zielonej Góry zbierany podczas oczyszczania miasta składowany jest na składowisku odpadów, a część z niego wykorzystuje się do przesyпки skarp umacniających koronę składowiska.

2.9. Warunki przyrodnicze

Zielona Góra należy do klimatycznego Regionu Śląsko-Wielkopolskiego, który stanowi obszar przewagi wpływów oceanicznych, objawiającymi się małymi amplitudami temperatury powietrza, wczesną wiosną, długim latem i krótką, łagodną zimą. Obszar miasta odznacza się chłodniejszym klimatem, najwyższymi w regionie opadami atmosferycznymi, wcześniejszym niż w otaczającym terenie pojawianiem się zimy oraz największą liczbą dni z pokrywą śnieżną. W mieście przeważają wiatry zachodnie, które stanowią 51,8%. Udział cisz jest niewielki i wynosi 1,1%.



Rys. 2. Rozkład kierunku wiatru [%] w latach 1971-2000

Stacja meteorologiczna zlokalizowana w Zielonej Górze na wysokości 1 m n.p.m. wykazała, iż średnie opady wynosiły w latach:

- 1971-2000 572 mm,
- 1991-2000 598 mm,
- 1996-2000 643 mm,
- 2001 644 mm,
- 2002 677 mm.

Średnia prędkość wiatru w roku 2001 wynosiła $2,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, usłonecznienie 1359 h, średnie zachmurzenie 5,6 oktanów w ośmiostopniowej skali. Średnia prędkość wiatru w roku 2002 wynosiła $2,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, usłonecznienie 1538 h, zaś średnie zachmurzenie 5,2 oktanów.

Średnia temperatura wynosiła w latach:

- 1971-2000 $8,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- 1991-2000 $8,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- 1991-2000 $8,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- 2001 $8,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Maksymalna temperatura w 2001 i 2002 roku wynosiła $36,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, minimalna zaś $-22,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

W tabeli 6. przedstawiono średnie miesięczne temperatury powietrza zanotowane w Zielonej Górze w poszczególnych latach, w tabeli 7. natomiast miesięczne sumy opadów atmosferycznych w poszczególnych latach [GUS 2002, 2003].

Tab. 6. Średnie miesięczne temperatury powietrza w poszczególnych latach w Zielonej Górze [GUS 2002, 2003]

Lata	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	W stopniach Celsjusza											
1971-2000	-1,2	-0,8	3,6	7,9	13,8	15,7	18,0	17,7	13,6	9,5	3,5	0,5
2001	-0,3	3,4	4,4	11,9	11,9	18,1	15,8	18,6	13,1	12,0	6,5	2,1
2002	0,9	4,6	5,1	8,7	16,4	17,8	19,5	21,1	14,1	7,7	4,1	-3,3

Tab. 7 . Miesięczne sumy opadów atmosferycznych w poszczególnych latach w Zielonej Górze [GUS 2002, 2003]

Lata	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	W milimetrach											
1971-2000	36	30	38	41	51	59	68	68	43	39	41	48
2001	28	25	64	38	43	80	50	50	144	24	34	42
2002	43	86	41	58	28	22	117	100	37	68	66	12

Lekki skład granulometryczny materiałów glebotwórczych większości obszaru zurbanizowanego Zielonej Góry sprawia, że wody opadowe szybko przedostają się w głąb profilu glebowego. Proces ten jest spowalniany poprzez wzbogacanie powierzchni gleb w materiał organiczny i nawozy organiczne w ramach prac przygotowawczych przed założeniem zieleńców miejskich.

Zielona Góra charakteryzuje się zróżnicowaniem powierzchni. Jest to wywołane działalnością lodowców (moreny i osady lodowcowe), jak też akumulacją osadów rzecznych oraz eolicznych. Środkowa i północna część miasta położona jest w obrębie Wysoczyzny Czerwieńskiej. Teren w północno-zachodniej części miasta obniża się w kierunku północnym do linii Odry. Obszar miasta zlokalizowany w obrębie Wału Zielonogórskiego charakteryzuje się zarówno wzniesieniami, jak i obniżeniem terenu. Występują tutaj Wzgórza Piastowskie i Braniborskie z Górą Tatrzańską (199 m n.p.m.) i Wzgórzem Braniborskim (202,6 m n.p.m.) a także Górą Ceglana w Śródmieściu (170,0 m n.p.m.).

Ukształtowanie terenu zmienione jest w istotny sposób przez działalność antropogeniczną – wyrobiska poeksploatacyjne, składowiska odpadów, niwelację lokalną terenów.

Powierzchnię zazielenioną miasta stanowią użytki leśne, parki, cmentarze i zieleńce miejskie z bogatym składem gatunkowym roślin. Zielona Góra otoczona jest lasami należącymi do Nadleśnictw: Zielona Góra i Przytok, a w mieście występują parki: Piastowski, Tysiąclecia, Sowińskiego i Świętej Trójcy oraz zieleńce przy al. Niepodległości i ul. Kazimierza Wielkiego, a także pas różnego rodzaju nasadzeń wzdłuż Doliny Gęśnika. Znaczną część obszaru zazielenionego tworzy układ alejowych zadrzewień wzdłuż arterii komunikacyjnych. Niechlubnym zabiegiem okazała się przecinka konarów starych drzew, co oszpeciło w ostatnim czasie krajobraz Zielonej Góry oraz spowodowało, że wiele drzew uschło, osłabiając zdolności obronne obszarów komunikacyjnych wobec lokalnych zanieczyszczeń.

3. Materiały i metody badawcze

3.1. Lokalizacja obszaru badań

Obszar badań ulokowano w Zielonej Górze, mieście w zachodniej części Polski na terenie województwa lubuskiego. Miasto zlokalizowane jest w obrębie dwóch jednostek morfologicznych: Wysoczyzny Czerwieńskiej i Wału Zielonogórskiego. Wysoczyzna Czerwieńska obejmuje część miasta położoną na północ od linii kolejowej w kierunku Wrocławia i w kierunku Żar, przebiegającej przez miasto. W skład tego obszaru wchodzi; Gęśniki Zespół Dzielnicy, część Kisielińskiej Dzielnicy Mieszkaniowej, część Śródmiejskiego Zespołu Dzielnicy oraz część Piastowskiego Zespołu Dzielnicy. Wał Zielonogórski obejmuje południową część obszaru miasta.

Zielona Góra ulokowana jest poniżej załomu Odry (na zachód i południe od rzeki), na wschód od rzeki Bóbr. Najwyżej usytuowanymi punktami miasta są: Wzgórze Jagodowe (210,8 m n.p.m), Wzgórze Braniborskie (202,6 m n.p.m.) oraz Góra Tatrzańska (199 m n.p.m.).

Miejsca poboru próbek przedstawiają tabele 8 i 9 oraz rys. 3.

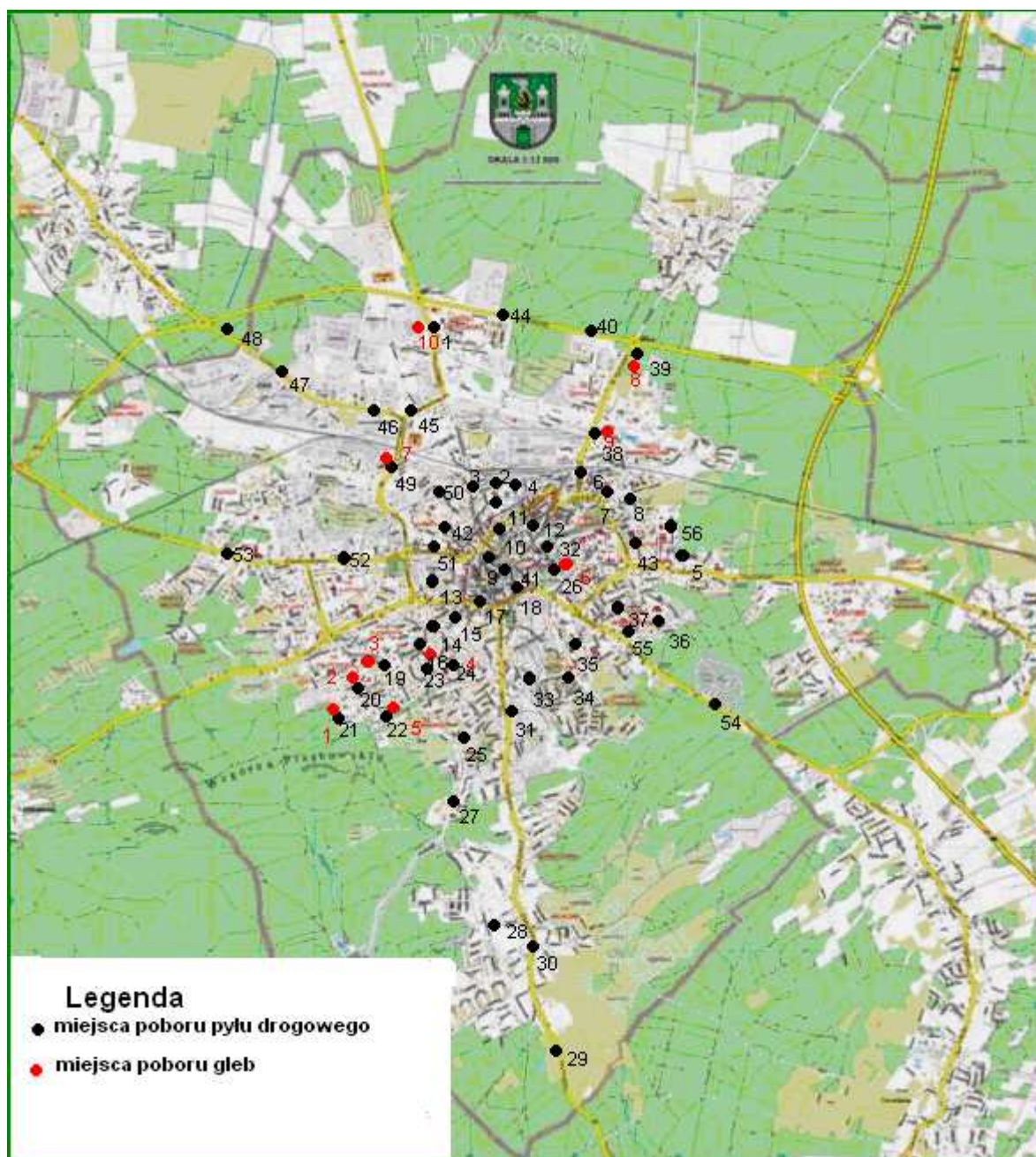
Tab. 8. Lokalizacja poboru gleb

Nr próbki glebowej	Lokalizacja
1	ul. Zawadzkiego przy Elektrociepłowni
2	ul. Zawadzkiego przy pętli autobusów MZK
3	ul. Wszyńskiego przy skrzyżowaniu z ul. Zawadzkiego „Zośki”
4	Skrzyżowanie ul. Ptasiej i ul. Piastowskiej
5	ul. Ptasia na wysokości Amfiteatru
6	ul. Zamenhoffa
7	ul. Zjednoczenia przy ul. Folszowej
8	ul. Sulechowska
9	ul. Sulechowska przy ul. Skłodowskiej
10	ul. Batorego

Tab. 9. Lokalizacja miejsc poboru próbek pyłu drogowego

Nr próbki pyłu	Lokalizacja (nazwa ulic)
1	Batorego przy nowym osiedlu
2	Dworcowa naprzeciwko Akacyjowej
3	Batorego skrzyżowanie z Dworcową
4	Ułańska
5	Akademicka
6	Bema pod wiaduktem
7	Skrzyżowanie Wyspiańskiego ze Staszica
8	Dzika
9	Plac Pow. Śląskich (parking przy kościele)
10	Bohaterów Westerplatte przy Topazie
11	Chopina przy L.O.
12	Kazimierza Wielkiego
13	Jedności 71
14	1 Maja między Moniuszki a Konopnickiej
15	Moniuszki (w połowie)
16	Wiśniowa Przy PKO
17	Konstytucji 3 Maja przy Tylnej
18	Drzewna przy Sowińskiego
19	Wyszyńskiego przy ul. Zawadzkiego „Zośki”
20	Zawadzkiego przy zajezdni MZK
21	Zawadzkiego przy Elektrociepłowni
22	Ptasia przy przystanku Amfiteatr
23	Ptasia skrzyżowanie z Piastowską
24	Jaskółcza (między ogrodową a Krasickiego)
25	Botaniczna (między Pawią a Żurawią)
26	Plac Matejki 13
27	Botaniczna przy przystanku i Internacie
28	Nowojédzichowska przy Kąpielowej
29	Jédzichowska pętla autobusów
30	Jédzichowska przy Kasztanowej
31	Kożuchowska przy Pivnej
32	Pięiężnego przy Chrobrego
33	Strzelecka przy L.O.
34	Słowackiego przy Stromej
35	Morelowa przy komendzie policji
36	Chmielna przy Osiedlowej
37	Osiedlowa skrzyżowanie z Braniborską
38	Sulechowska przy Skłodowskiej
39	Sulechowska przy stacji benzynowej
40	Trasa Północna przy Zdrojowej
41	Skrzyżowanie Jadwigi z Masarską
42	Krakusa (ogrodnictwo)
43	Waryńskiego przy Zamenhoffa
44	Trasa Północna przy SP 11
45	Energetyków przy Elektronowej
46	Zjednoczenia przy giełdzie towarowej

47	Zjednoczenia przy Zimnej
48	Zjednoczenia przy Foluszowej
49	Objazdowa pod wiaduktem
50	Dąbrowskiego przy skrzyżowaniu z Węglową
51	Wojska Polskiego przy ul. Wandy
52	Wojska Polskiego (pomiędzy Krętą a Zacisze)
53	Wojska Polskiego przy stacji benzynowej, za UZ
54	Wrocławska przy cmentarzu
55	Wrocławska przy Chmielnej
56	Prof. Z. Szafrana przy przedszkolu



Rys. 3. Lokalizacja miejsc poboru próbek pyłu drogowego i gleb

Miejsca poboru próbek wraz z zalegającym pyłem drogowym przedstawiają fot. 3-8. Na zamieszczonych fotografiach można zauważyć różnorodność pochodzenia zanieczyszczeń znajdujących się na ulicach miast, w kontekście uformowania bezpośredniego otoczenia ulic.



Fot. 3. Miejsce poboru próbek pyłu drogowego: ul. Bema, pod wiaduktem



Fot. 4. Miejsce poboru próbek pyłu drogowego: ul. Wyspiańskiego



Fot. 5. Miejsce poboru próbek pyłu drogowego: Aleja Zjednoczenia



Fot. 6. Miejsce poboru pyłu drogowego ul. Waryńskiego w pobliżu skrzyżowania z ul. Zamenhoffa



Fot. 7. Miejsce poboru pyłu drogowego: ul. Staszica



Fot. 8. Miejsce poboru pyłu drogowego: Aleja Konstytucji 3 Maja

Natężenie ruchu drogowego na poszczególnych ulicach przedstawia tabela 10. Wyrażone jest ono w liczbie pojazdów samochodowych poruszających się drogą w godzinach od 6.00 do 18.00; wyniki pochodzą z badań w różnych okresach.

Tab. 10. Natężenie ruchu drogowego na poszczególnych ulicach [UM w Zielonej Górze 2006]

Nazwa ulicy	Nr próbki pyłu drogowego	Liczba pojazdów w godzinach 6.00 - 18.00	Data badania
Skrzyżowanie ul. Wyspiańskiego i ul. Staszica	7	17 101	09.4004
ul. Bema pod wiaduktem	6	6 760	09.2004
ul. Waryńskiego przy ul. Zamenhoffa	43	12 387	09.2004
ul. Wrocławska przy cmentarzu	54	21 889	08.2004
ul. Wrocławska przy ul. Chmielnej	55	21 889	08.2004
ul. Drzewna przy ul. Sowińskiego	18	2 236	06.2003
ul. Konstytucji 3 Maja przy ul. Tylnej	17	25 887	06.2003
ul. Wyszyńskiego przy ul. Zawadzkiego „Zośki”	19	11 309	07.2003
ul. Moniuszki	15	15 735	06.2003
ul. Jedności	13	10 556	06.2003
ul. 1 Maja	14	3 058	06.2003
ul. Wojska Polskiego pomiędzy ul. Krętą a ul. Zacisze	52	20 316	06.2003
ul. Wojska Polskiego przy ul. Wandy	51	21 602	06.2003
Aleja Zjednoczenia przy ul. Foluszowej	48	27 895	06.2003

3.2. Metodyka poboru próbek

W ramach studiów kameralnych wyselekcjonowano obszary, odpowiadające zróżnicowanym oddziaływaniom lokalnym. Pył drogowy pobrano z ulic miasta z 56 punktów, oddalonych w przybliżeniu o równe odległości, starając się zachować siatkę o wymiarach oczek od 200 m do 400 m. Pył drogowy pobrano dwukrotnie: pierwszy raz w lutym 2001 roku, drugi raz w maju 2002 roku, z tych samych co za pierwszym razem miejsc poboru. Pobrano także próbki gleb ze skwerów przylegających do miejsc poboru pyłu drogowego. Próbki pyłu drogowego pobrano z arterii komunikacyjnych miast. Pył drogowy pobierano z pasa jezdni przylegającego do krawędzi jezdni, w odległości do 0,5 m od skraju, na długości około 10 m. Materiał zmiatano szczotką a następnie pobierano do kartonów około 1-kilogramową uśrednioną próbkę zbiorczą. Glebowe próbki zbiorcze pobierano z powierzchniowej warstwy (0-10 cm), z powierzchni około 10 m².

3.3. Zastosowane metody analityczne

W pobranych próbkach analizowano właściwości fizyczno-chemiczne, zawartości mikro- i makroskładników, a także zawartość substancji ropopochodnych:

- skład granulometryczny pyłu drogowego i gleby – metodą areometryczną Casagrande’a w modyfikacji Prószyńskiego,
- pH pyłów drogowych i gleb, w roztworze wodnym oraz 0,01 molowym roztworze CaCl_2 – potencjometrycznie,
- przewodność elektryczną – konduktometrycznie,
- węgiel organiczny utleniony w pyłe drogowym oraz w glebie – zmodyfikowaną metodą Tiurina – miareczkowo,
- zawartość metali ciężkich: Cu, Pb, Co, Cd, Ni, Cr, Mn, i Fe ogółem, w pyłe drogowym oraz w glebie – metodą spektrometrii absorpcji atomowej AAS FL, w wyciągach uzyskanych po spaleniu w piecu muflowym próbek w temperaturze $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ i rozтворzeniu w wodzie królewskiej,
- zawartość metali ciężkich: Cu, Pb, Co, Cd, Ni, Cr, Mn, i Fe dostępnych dla organizmów żywych w pyłe drogowym oraz w glebie – metodą spektrometrii absorpcji atomowej AAS FL w wyciągach 0,1 molowego kwasu solnego,
- zawartość K, Na i Ca ogółem, w pyłe drogowym oraz w glebie – metodą fotometrii płomieniowej po spaleniu w piecu muflowym w temperaturze $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ i rozтворzeniu w wodzie królewskiej,
- zawartość K, Na i Ca dostępnych dla organizmów żywych w pyłe drogowym oraz w glebie – metodą fotometrii płomieniowej w wyciągach 0,1 molowego kwasu solnego,
- zawartość azotu ogólnego w pyłe drogowym oraz w glebie – metodą Kjeldhala po spaleniu na mokro w aparacie Digesdahl firmy HACH,
- zawartość fosforu ogólnego w pyłe drogowym oraz w glebie – kolorymetrycznie z mieszaniną wanadowo-molibdenową, po spaleniu na mokro w aparacie Digesdahl firmy HACH,
- zawartość substancji ropopochodnych w pyłe drogowym z użyciem chromatografii gazowej.

3.4. Analiza statystyczna wyników badań

Do obliczeń statystycznych danych wynikowych użyto programu STATISTICA 7.0 firmy Statsoft. Obok podstawowych parametrów statystycznych (n ważnych obserwacji, średnia, przedziały ufności, mediana, suma, minimum, maksimum, dolny i górny kwartył, rozstęp, wariancja, odchylenie standardowe, błąd standardowy, skośność, błąd standardowy skośności, kurtoza, błąd standardowy kurtozy), przeprowadzono analizę korelacji między zmiennymi przy poziomach istotności: $\alpha < 0,01$, $\alpha < 0,02$ i $\alpha < 0,05$.

4. Wyniki badań

4.1. Poziomy powierzchniowe gleb

4.1.1. Cechy morfologiczne

Pobrane do badań próbki glebowe, pochodzące z głębokości od 0 do 10 cm, z poziomu organicznego i próchniczego, o składzie granulometrycznym części mineralnej piasku luźnego (z wyjątkiem jednej próbki pochodzącej z okolic skrzyżowania ulic Ptasiej i Piastowskiej o składzie granulometrycznym piasku pylastego), odznaczały się barwą (wg tabeli Munsella) o odcieniu 2,5Y (żółta), czystości suchej gleby – 4 i mokrej gleby – od 2,5 do 3,5 i nasyceniu suchej gleby – od 1,5 do 3 i mokrej gleby – od 1 do 2. Zestawienie wyników analizy barwy gleb ukazano w tabeli 21 (w załączeniu).

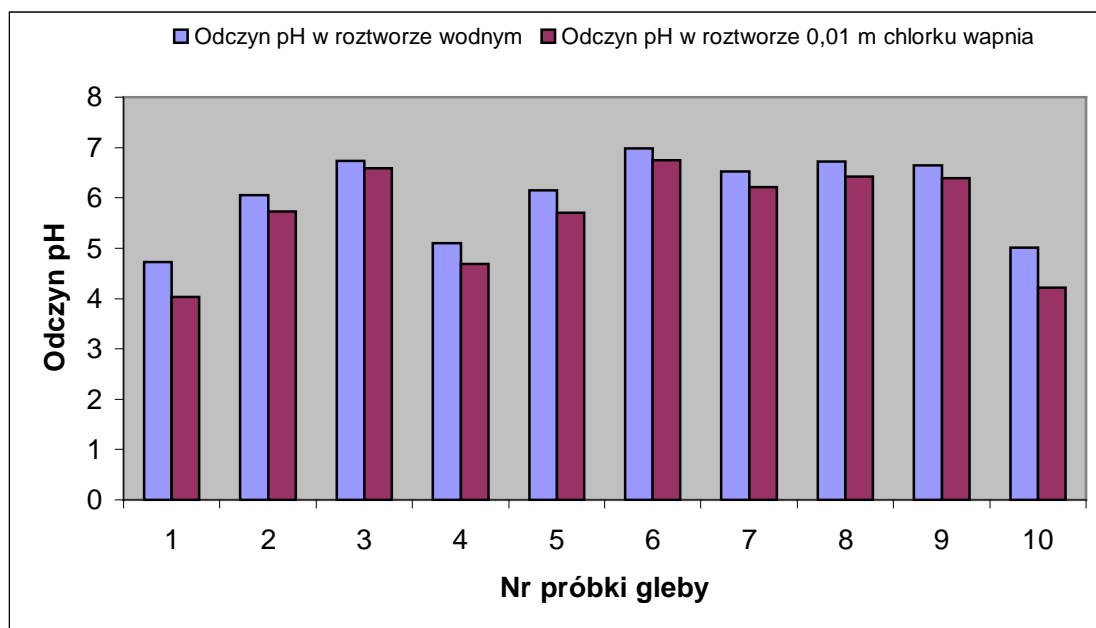
Stwierdzono zróżnicowany układ gleby – luźny, pulchny i zwięzły. Nie odnotowano układu zbitego gleby.

W jednej z badanych gleb z okolicy zajezdni autobusów przy ul. Zawadzkiego „Zośki” domieszką było szkło, w przypadku gleby z okolicy ulicy Zjednoczenia stwierdzono w niej zaprawę budowlaną, żużel i cegłę. W próbkach z ulicy Batorego występowały resztki roślin i drewno.

4.1.2. Odczyn gleb

Odczyn (pH) badanych gleb, mierzony w wodzie destylowanej, mieścił się w zakresie od 4,73 do 6,98, natomiast mierzony w roztworze soli obojętnej (CaCl_2) wynosił od 4,03 do 6,75.

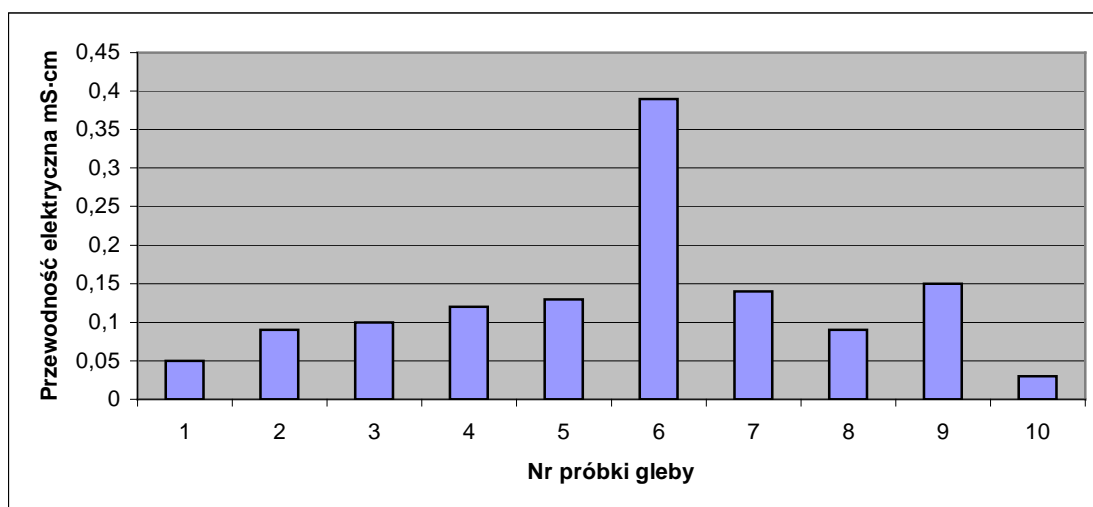
Badane gleby wykazywały odczyn od silnie kwaśnego do obojętnej. Odczyn gleb mierzony w roztworze soli był zawsze niższy od odczynu gleb mierzonego w roztworze wodnym. Różnica ta wynosiła od 0,16 do 0,79 pH. Najniższy odczyn gleby zanotowano przy ulicy Zawadzkiego „Zośki” i ulicy Batorego, najwyższy natomiast przy ulicy Zamenhoffa. Zestawienie wyników odczynu gleb ukazano w tabeli 22 (w załączeniu).



Rys. 4. Odczyn badanych gleb mierzony w H_2O i w roztworze 0,01 molowym $CaCl_2$

4.1.3. Przewodność elektryczna gleby

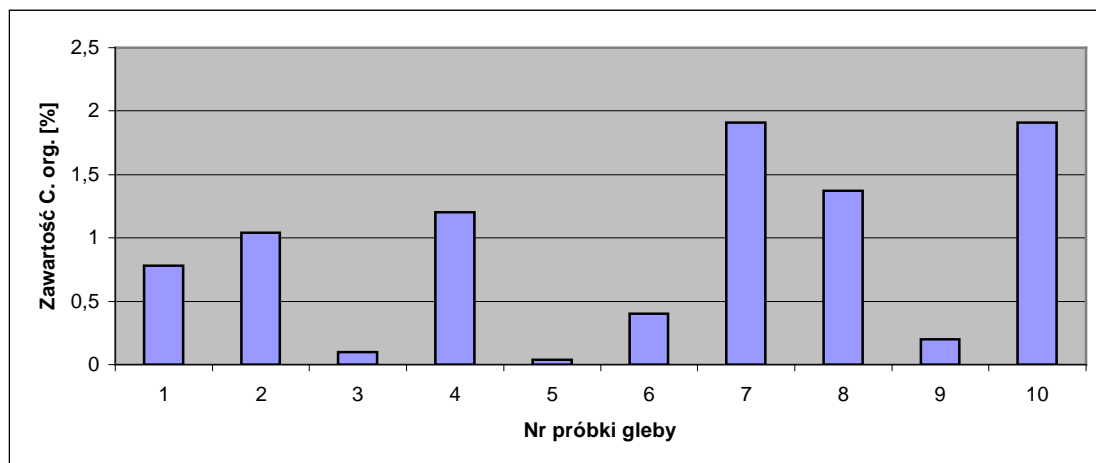
Przewodność elektryczna gleb wahała się w zakresie od 0,03 do 0,39 $mS \cdot cm^{-1}$. Średnia wartość przewodności elektrycznej badanych gleb wynosiła 0,12 $mS \cdot cm^{-1}$. 90% badanych gleb nie przekroczyła wartości 0,14 $mS \cdot cm^{-1}$. Najwyższe wartości odnotowano przy ulicy Ptasiej, najniższe zaś przy ulicy Batorego. Zestawienie wyników przewodności elektrycznej gleb ukazano w tabeli 22 (w załączeniu).



Rys. 5. Przewodność elektryczna badanych gleb

4.1.4. Zawartość materii organicznej

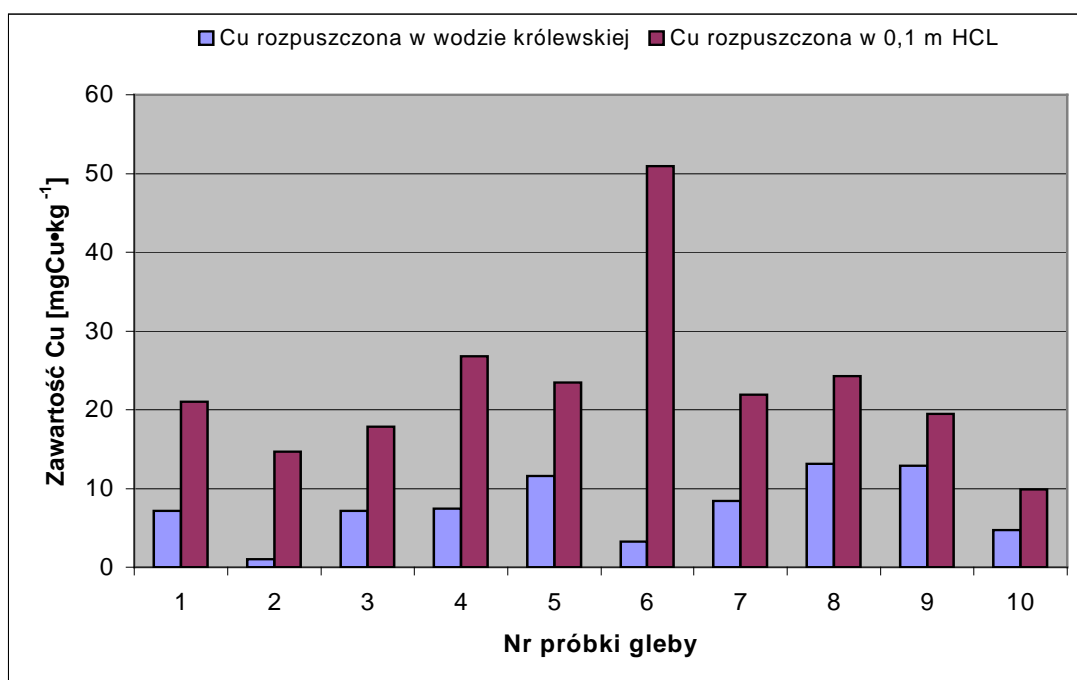
Zawartość węgla organicznego w glebie wahała się od 0,1 do 1,91%. Średnia zawartość węgla organicznego wynosiła 0,89%. Najmniejsze ilości materii organicznej odnotowano w glebie na ulicy Ptasiej oraz przy skrzyżowaniu ul. Zawadzkiego „Zośki” z ul. Wyszyńskiego. Najwięcej materii organicznej stwierdzono na ul. Zjednoczenia i ul. Batorego.



Rys. 6. Zawartość węgla organicznego w glebie

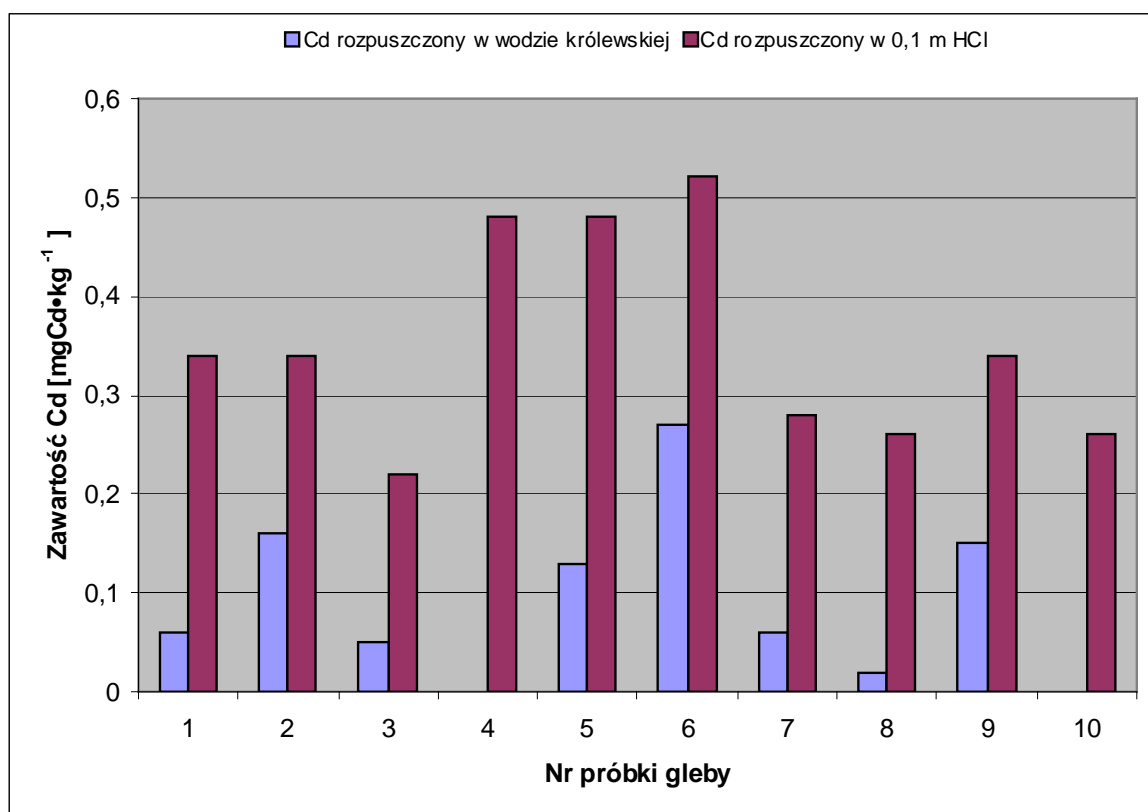
4.1.5. Zawartość metali ciężkich

Zawartość w glebie miedzi rozpuszczonej w 0,1 m HCl wynosiła od 1,01 do 13,14 mg Cu·kg⁻¹; średnia zawartość miedzi to 7,69 mg Cu·kg⁻¹. Najniższą zawartość miedzi stwierdzono w glebie przy ul. Zawadzkiego w pobliżu pętli autobusowej, najwyższą natomiast przy ul. Źródlanej. Zawartość w glebie miedzi rozpuszczonej w wodzie królewskiej wynosiła od 9,9 do 50,92 mg Cu·kg⁻¹; średnia zawartość miedzi wynosiła 23,04 mg Cu·kg⁻¹; najniższą zawartość miedzi w glebie odnotowano przy ulicy Batorego, najwyższą przy ul. Zamenhoffa. Stosunek zawartości w glebie miedzi rozpuszczonej w roztworze 0,1 m HCl kształtował się w zakresie od 6 do 66% zawartości miedzi rozpuszczonej w wodzie królewskiej. Średni udział procentowy zawartości miedzi rozpuszczonej w 0,1 m HCl do zawartości miedzi rozpuszczonej w wodzie królewskiej wynosił 37%.



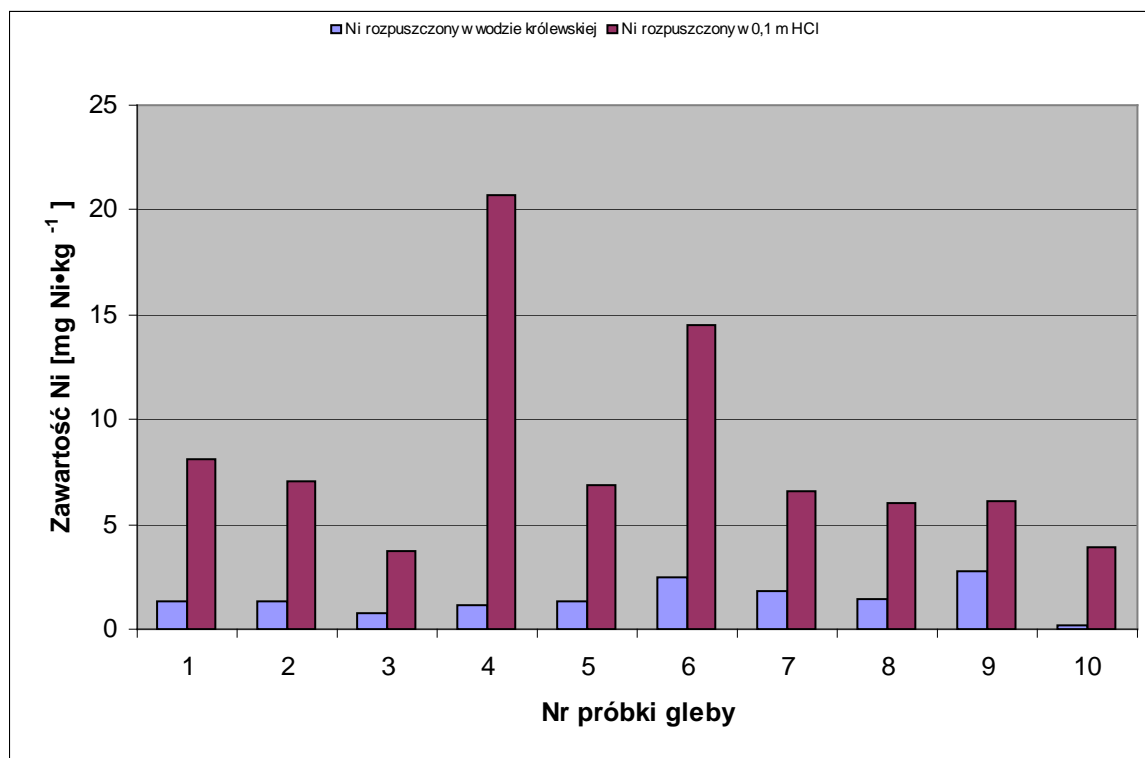
Rys. 7. Zawartość Cu w glebie w formach: rozpuszczonej w 0,1 m HCl i w wodzie królewskiej

Zawartość w glebie kadmu rozpuszczonego w 0,1 m HCl wynosiła od wartości poniżej progu wykrywalności do 0,27 mg Cd·kg⁻¹, przy czym średnia zawartość to 0,09 mg Cd·kg⁻¹. Nie stwierdzono obecności w glebie kadmu rozpuszczonego w 0,1 m HCl przy ul. Piaśtowskiej i ul. Batorego. Najwyższą zawartość w glebie kadmu rozpuszczonego w 0,1 m HCl zanotowano przy ul. Zamenhoffa. Zawartość w glebie kadmu rozpuszczonego w wodzie królewskiej zawierała się w zakresie od 0,22 do 0,52 mg Cd·kg⁻¹, średnia zawartość kadmu to 0,35 mg Cd·kg⁻¹. Najniższą zawartość zanotowano przy ul. Wyszyńskiego, najwyższą zaś przy ul. Zamenhoffa. Stosunek zawartości w glebie kadmu rozpuszczonego w roztworze 0,1 m HCl do zawartości kadmu rozpuszczonego w roztworze wody królewskiej wynosiła od 0 do 52%. Średni udział procentowy zawartości kadmu rozpuszczonego w 0,1 m HCl do zawartości kadmu rozpuszczonego w wodzie królewskiej stanowił 24%.



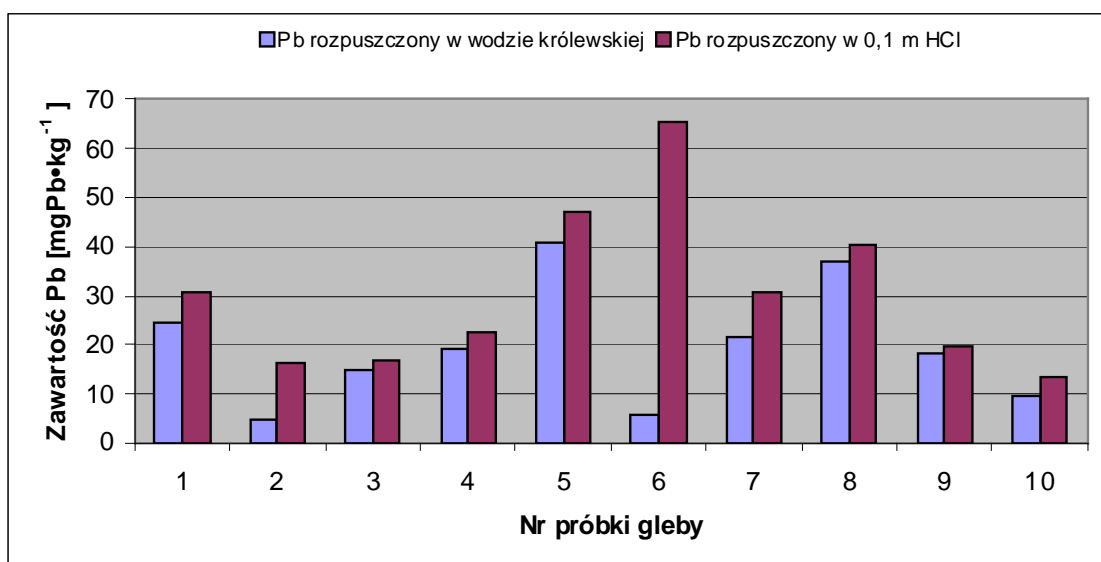
Rys. 8. Zawartość Cd w glebie w formach: rozpuszczonej w 0,1 m HCl i w wodzie królewskiej

Zawartość w glebie niklu rozpuszczonego w 0,1 m HCl zanotowano na poziomie od 0,18 do 2,76 mg Ni·kg⁻¹; średnia zawartość niklu wynosiła 1,47 mg Ni·kg⁻¹. Najniższą zawartość w glebie niklu rozpuszczonego w 0,1 m HCl stwierdzono przy ul. Batorego, najwyższą zaś przy ul. Sulechowskiej. Zawartość w glebie niklu rozpuszczonego w wodzie królewskiej mieściła się w zakresie od 3,7 do 2,7 mg Ni·kg⁻¹; średnia zawartość niklu stanowiła 8,36 mg Ni·kg⁻¹. Najniższą zawartość zanotowano przy ul. Wyszyńskiego, najwyższą natomiast przy ul. Ptasiej. Stosunek zawartości w glebie niklu rozpuszczonego w roztworze 0,1 m HCl do zawartości niklu rozpuszczonego w roztworze wody królewskiej wynosił od 4,5 do 45%. Średni udział procentowy zawartości niklu rozpuszczonego w 0,1 m HCl do zawartości niklu rozpuszczonego w wodzie królewskiej równał się 20%.



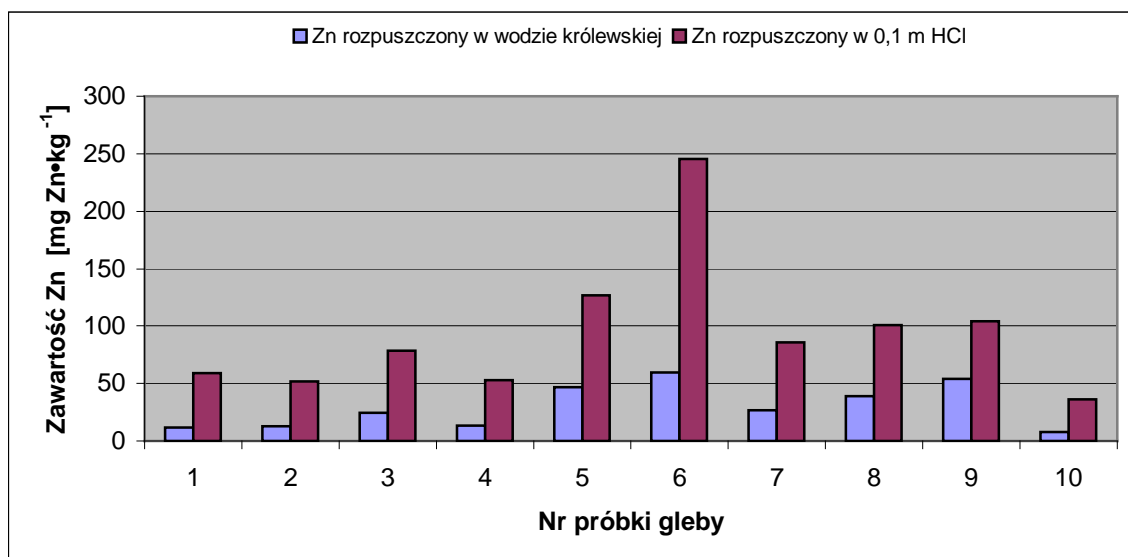
Rys. 9. Zawartość Ni w glebie w formach: rozpuszczonej w 0,1 m HCl i w wodzie królewskiej

Zawartość w glebie ołowiu rozpuszczonego w 0,1 m HCl wynosiła od 4,91 do 40,98 mg Pb·kg⁻¹, średnia zawartość ołowiu – 19,68 mg Pb·kg⁻¹. Najniższą zawartość w glebie ołowiu rozpuszczonego w 0,1 m HCl zanotowano przy ul. Zawadzkiego, najwyższą przy ul. Ptasiej. Zawartość w glebie ołowiu rozpuszczonego w wodzie królewskiej kształtowała się w zakresie od 13,61 do 65,40 mg Pb·kg⁻¹; średnia zawartość ołowiu to 30,31 mg Pb·kg⁻¹. Najniższą zawartość zanotowano przy ul. Batorego, najwyższą przy ul. Zamenhoffa. Stosunek zawartości w glebie ołowiu rozpuszczonego w roztworze 0,1 m HCl do zawartości ołowiu rozpuszczonego w roztworze wody królewskiej wynosił od 9,0% do 92,5%. Średni udział procentowy zawartości ołowiu rozpuszczonego w 0,1 m HCl do zawartości ołowiu rozpuszczonego w wodzie królewskiej wynosił 70,5%.



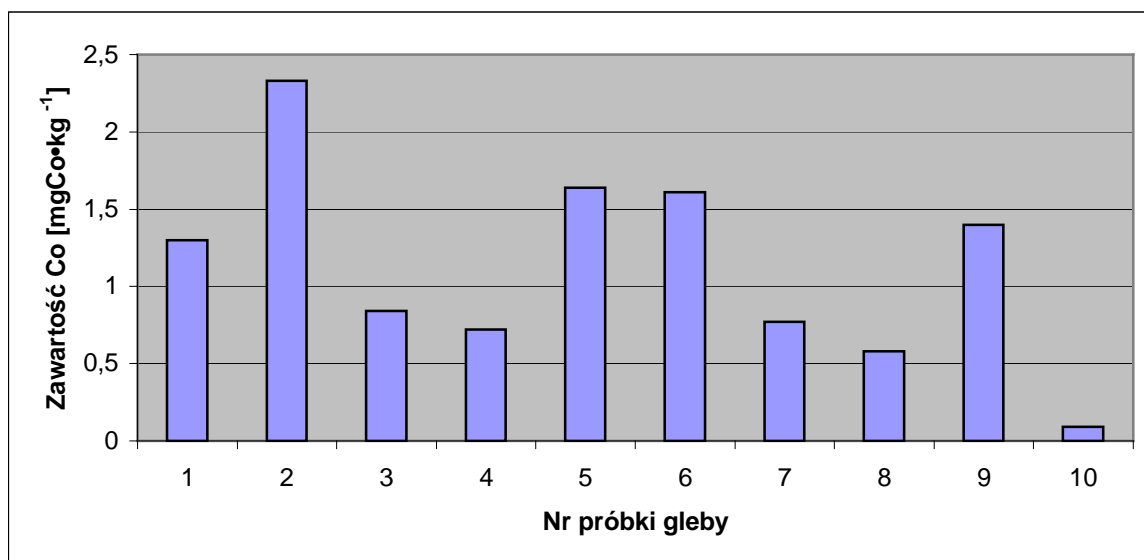
Rys. 10. Zawartość Pb w glebie w formach: rozpuszczonej w 0,1 m HCl i w wodzie królewskiej

Zawartość w glebie cynku rozpuszczonego w 0,1 m HCl kształtowała się na poziomie od 7,84 do 59,6 mg Zn·kg⁻¹, średnia zawartość cynku wynosiła 29,57 mg Zn·kg⁻¹. Najniższą zawartość w glebie cynku rozpuszczonego w 0,1 m HCl zanotowano przy ul. Batorego, najwyższą natomiast przy ul. Zamenhoffa. Zawartość w glebie cynku rozpuszczonego w wodzie królewskiej zawierała się w przedziale od 36,00 do 245,40 mg Zn·kg⁻¹, średnia zawartość cynku wynosiła 94,04 mg Zn·kg⁻¹. Analogicznie, jak przy analizie wcześniej opisanej formy, najniższą zawartość zanotowano przy ul. Batorego, najwyższą zaś przy ul. Zamenhoffa. Stosunek zawartości w glebie cynku rozpuszczonego w roztworze 0,1 m HCl do zawartości cynku rozpuszczonego w roztworze wody królewskiej wynosił od 19,4% do 52,1%. Średni udział procentowy zawartości cynku rozpuszczonego w 0,1 m HCl do zawartości cynku rozpuszczonego w wodzie królewskiej to 30,5%.



Rys. 11. Zawartość Zn w glebie w formach: rozpuszczonej w 0,1 m HCl i w wodzie królewskiej

Zawartość w glebie kobaltu rozpuszczonego w 0,1 m HCl kształtowała się w zakresie od 0,09 do 2,34 mg Co·kg⁻¹, średnia zawartość kobaltu wynosiła 1,2 mg Co·kg⁻¹. Najniższą zawartość w glebie kobaltu rozpuszczonego w 0,1 m HCl zanotowano przy ul. Batorego, najwyższą zaś przy ul. Zamenhoffa.



Rys. 12. Zawartość Co w glebie w formie rozpuszczonej w 0,1 m HCl

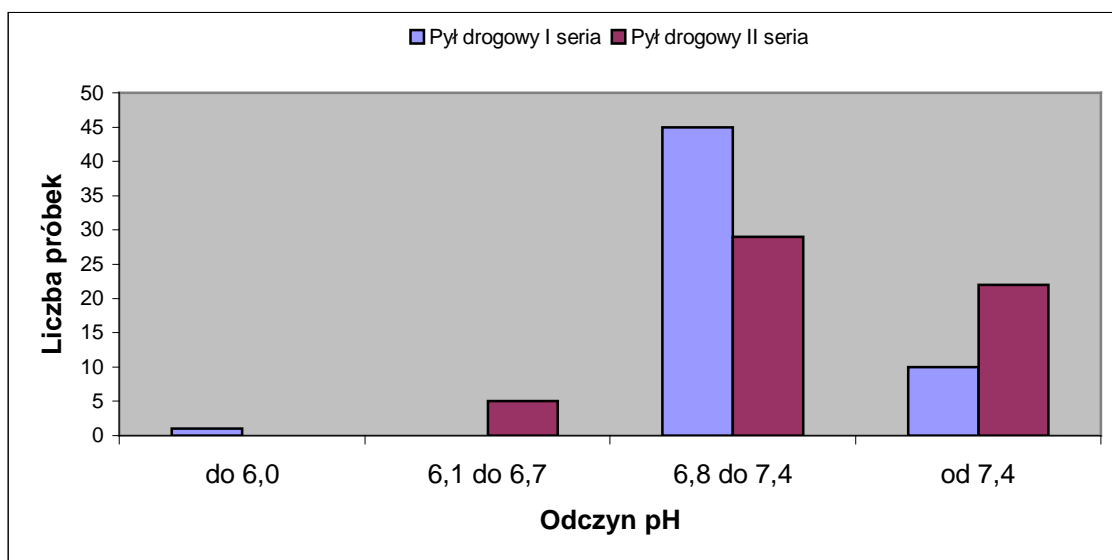
Szczegółowe zestawienie zawartości metali ciężkich w analizowanych glebach ukazano w tabelach 22 i 23 (w załączeniu).

4.2. Pyły drogowe

4.2.1. Odczyn

Odczyn pyłów drogowych mierzony w wodzie w I serii poboru wynosił od 6,0 do 7,9 pH, w II serii poboru mieścił się w zakresie od 6,2 do 8,3 pH. Odczyn pyłu drogowego mierzony w 0,01 molowym roztworze CaCl_2 wynosił odpowiednio od 5,8 do 7,0 pH w I serii badań oraz w zakresie od 6,2 do 7,6 pH w II serii badań. Maksymalna różnica pH roztworu wodnego w stosunku do pH roztworu CaCl_2 wynosiła 1,0 pH.

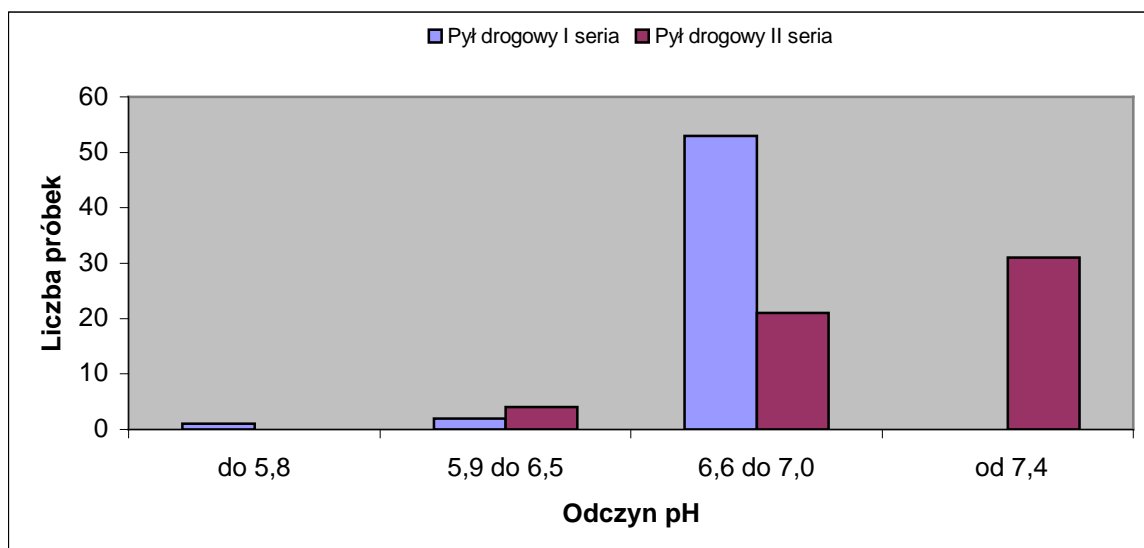
Na wykresie przedstawiono liczbę próbek pyłu drogowego mieszczących się w kolejnych przedziałach wartości pH (rys. 13).



Rys. 13. Ilość próbek pyłu drogowego w poszczególnych zakresach odczynu mierzonych w roztworze wodnym

Na uwagę zasługuje fakt, że największa liczba próbek pyłu drogowego miała odczyn obojętny i zasadowy.

Podobna sytuacja wystąpiła w próbkach pyłu drogowego, gdzie mierzono odczyn pH w roztworze soli. Odczyn pH w pyłach drogowych pobranych w I serii był od słabo kwaśnego do obojętnego natomiast pobranych w II serii od słabo kwaśnego do zasadowego. Najwięcej próbek pyłu drogowego I i II serii miało odczyn obojętny (rys. 14).

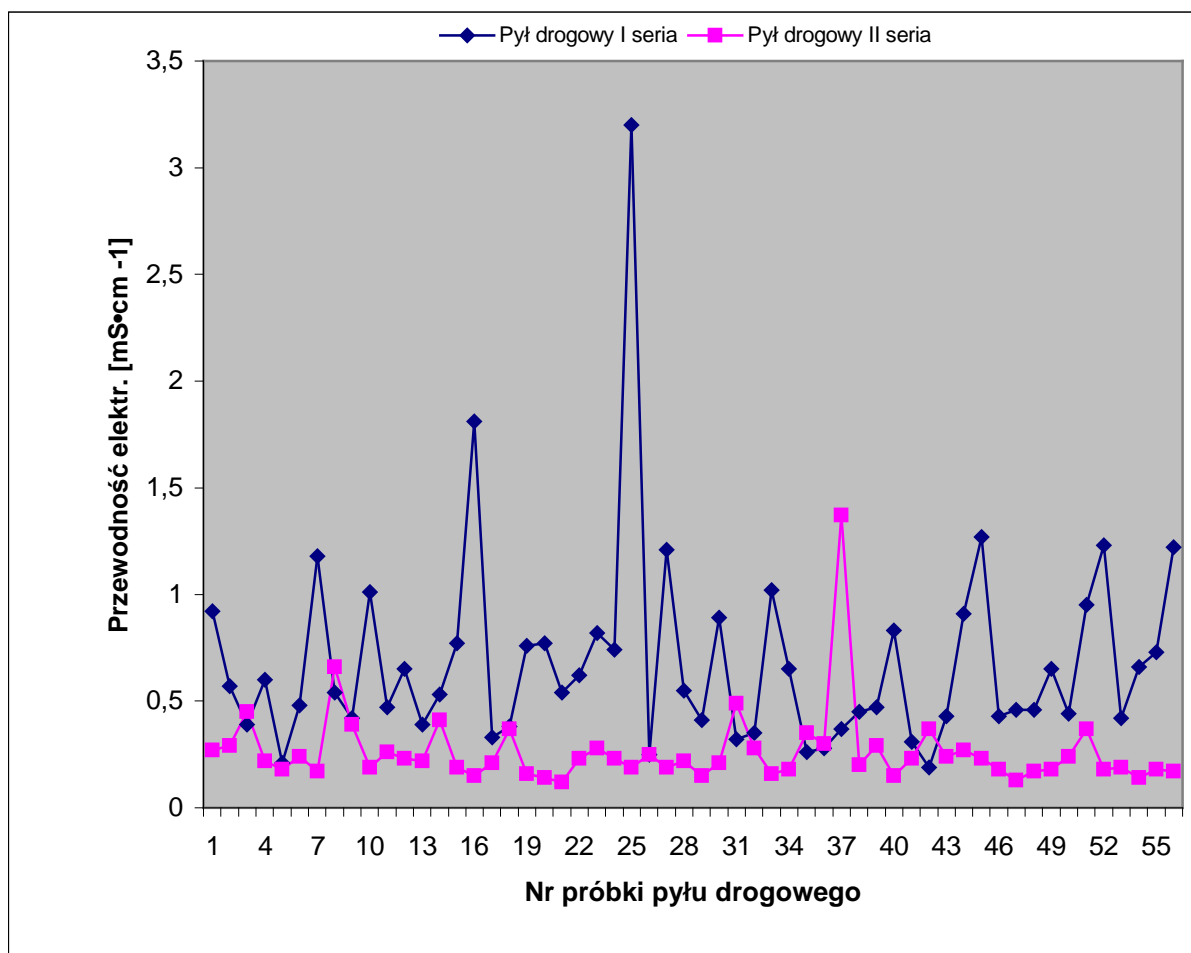


Rys. 14. Ilość próbek pyłu drogowego w poszczególnych zakresach odczynu mierzonego w 0,01 molowym roztworze CaCl_2

Szczegółowe zestawienie odczynu analizowanych pyłów ukazano w tabeli 24 (w załączeniu).

4.2.2. Przewodność elektryczna pyłów drogowych

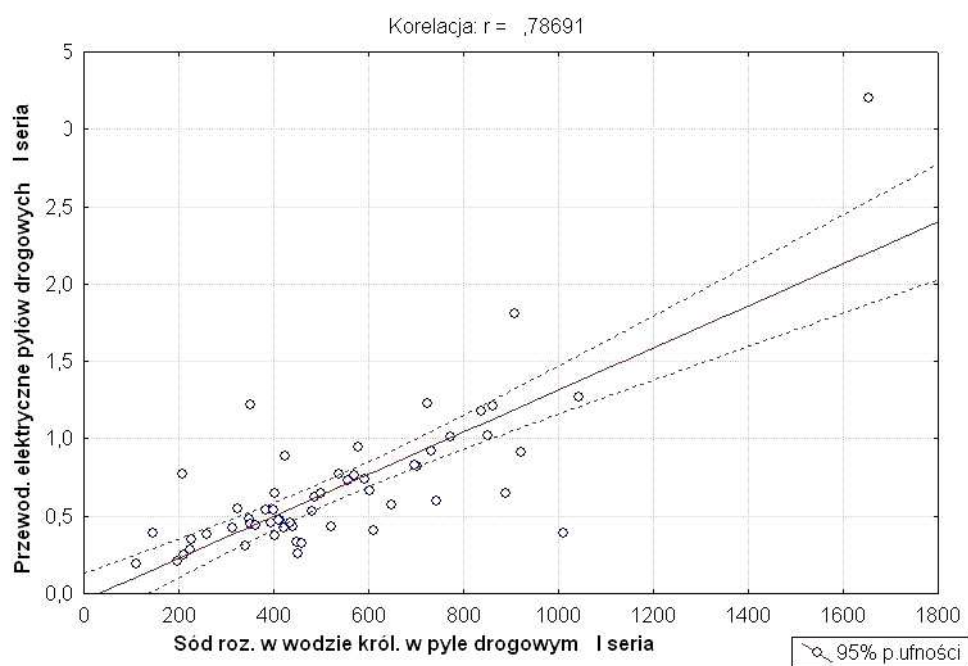
Przewodność elektryczna pyłów drogowych w I serii badań wynosiła od 0,19 do 3,20 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, średnio 0,68 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Przewodność elektryczna II serii pyłów drogowych wynosiła od 0,12 do 1,37 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, średnio 0,26 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Najniższe wartości przewodności elektrycznej zanotowano w pyłach zebranych z ulic: Akademickiej, Krakusa i Morelowej w I serii badań oraz w dwóch punktach ulicy Zawadzkiego „Zośki” i ul. Zjednoczenia w II serii. Wysoka przewodność elektryczna występowała w próbkach pyłu drogowego z ulic: Wiśniowej, Botanicznej i Energetyków w I serii oraz Wojska Polskiego, Osiedlowej i Dzikiej w II serii. Na uwagę zasługuje fakt, iż zasolenie pyłów drogowych pobranych w I serii jest wyższe średnio o 0,42 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ od zasolenia pyłów drogowych pobranych w II serii (rys. 15) i prawie wszystkie wartości przewodności elektrycznej w II serii są niższe niż w I serii.



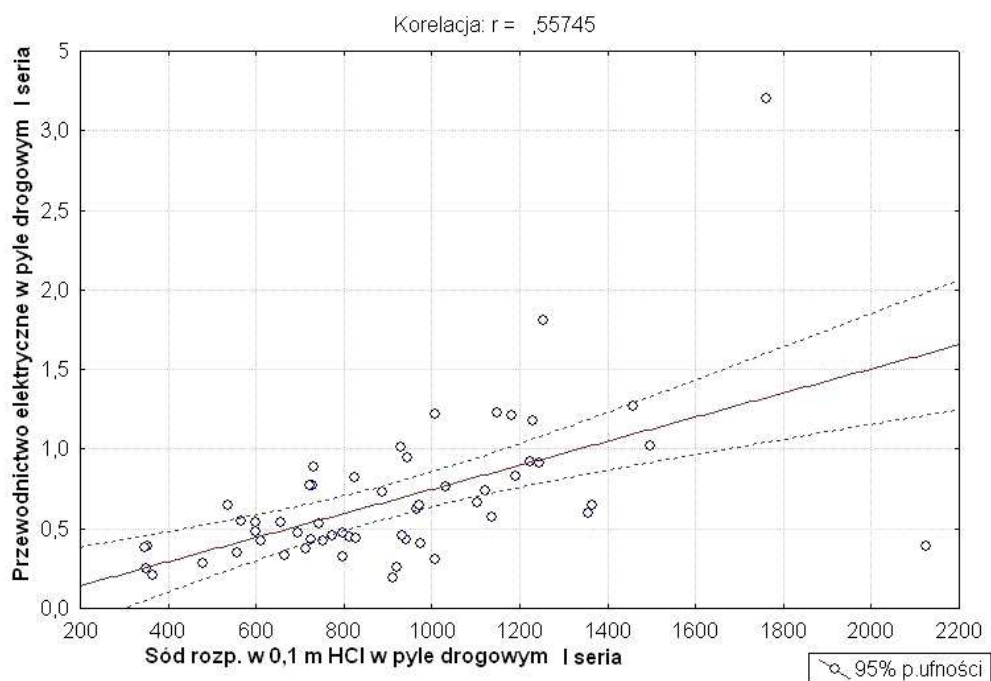
Rys. 15. Przewodność elektryczna pyłów drogowych

Szczegółowe zestawienie przewodności elektrycznej analizowanych pyłów ukazano w tabeli 24 (w załączeniu).

Istotny wpływ na wzrost przewodności elektrycznej pyłów drogowych miał wzrost zawartości sodu w pyłach drogowych. Analiza statystyczna wykazała silne korelacje pomiędzy przewodnością elektryczną pyłów drogowych oraz zawartością sodu rozpuszczonego w wodzie królewskiej i 0,1 m HCl, w pyłach drogowych pobranych w zimowej serii badań (rys. 16 i 17).

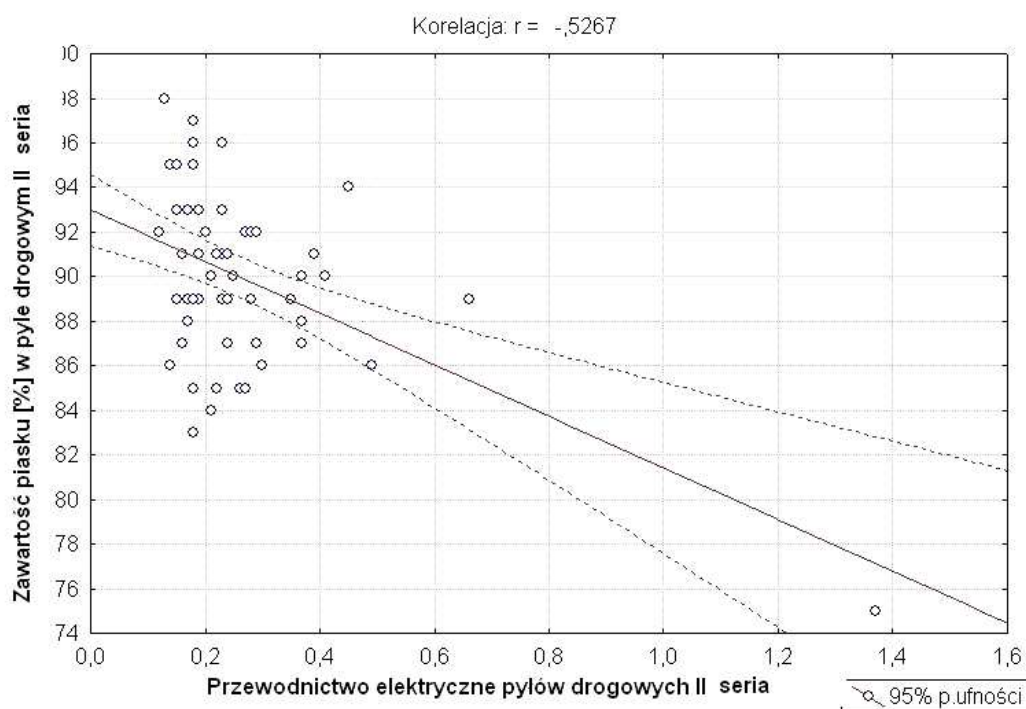


Rys. 16. Analiza zależności pomiędzy przewodnością elektryczną a zawartością sodu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłach drogowych I serii



Rys. 17. Analiza zależności pomiędzy przewodnością elektryczną a zawartością sodu rozpuszczonego w 0,1 m HCl w pyłach drogowych I serii

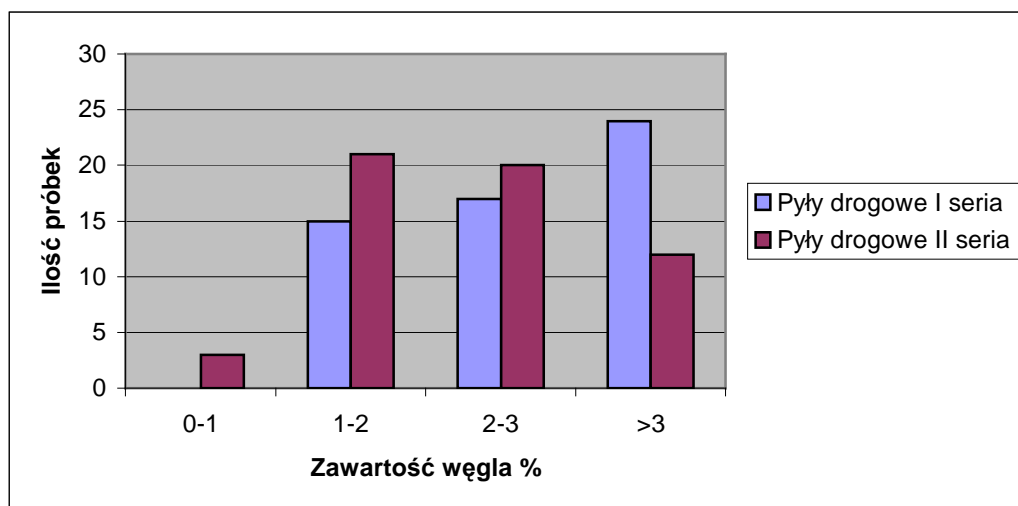
W II serii badań pyłów drogowych zauważalne są wysokie korelacje pomiędzy zawartością frakcji piasku, iłu, iłu koloidalnego z przewodnością elektryczną. Współczynnik korelacji pomiędzy zawartością frakcji piasku a przewodnością elektryczną pyłów drogowych II serii wynosił $r = -0,53$ (rys. 18). Współczynnik korelacji zależności przewodności elektrycznej od zawartości frakcji iłu w pyłach drogowych II serii wynosił $r = 0,77$, natomiast współczynnik korelacji pomiędzy frakcją iłu koloidalnego i przewodnością elektryczną w pyłach drogowych II serii wynosił $r = 0,72$.



Rys. 18. Korelacja pomiędzy zawartością frakcji piasku w pyłach drogowych II serii oraz przewodnością elektryczną pyłów drogowych II serii

4.2.3. Węgiel organiczny

Zawartość węgla organicznego w próbkach pyłu drogowego pobranego w I serii wynosiła od 1,1 do 11,2%, natomiast w II serii od 0,74% do 7,08%. Średnia zawartość węgla organicznego w badanych pyłach drogowych wynosiła 3,31% w I serii i 2,39% w II serii. Pomimo, że średnia zawartość węgla organicznego była większa o 1,08% w I serii badań pyłów drogowych to nie we wszystkich próbkach odnotowano taką zależność. W trzynastu próbkach w I serii poboru zawartość węgla organicznego była mniejsza.



Rys. 19. Ilość próbek pyłów drogowych w poszczególnych przedziałach zawartości węgla organicznego

Szczegółowe zestawienie zawartości węgla organicznego w analizowanych pyłach drogowych ukazano w tabeli 24 (w załączeniu).

4.2.4. Skład granulometryczny pyłów drogowych

Skład granulometryczny pyłów drogowych wskazuje na najliczniejszy udział procentowy frakcji od 0,1 do 1 mm. 82% próbek pyłu drogowego zawierało tej frakcji od 84 do 94%.

Tab. 20. Różnice w zawartości poszczególnych frakcji w pyłach drogowych, pobranych w I i II serii

Fracje [mm]	Udział procentowy [%] frakcji	
	I seria	II seria
1,0-0,1	72-94	75-98
0,1-0,05	4-19	1-14
0,05-0,02	0-9	0-8
0,02-0,005	0-5	0-4
0,005-0,002	0-2	0-1
>0,002	0-3	0

Próbki pyłu drogowego II serii odznaczają się mniejszym udziałem procentowym frakcji najdrobniejszych w stosunku do I serii poboru (tab. 20).

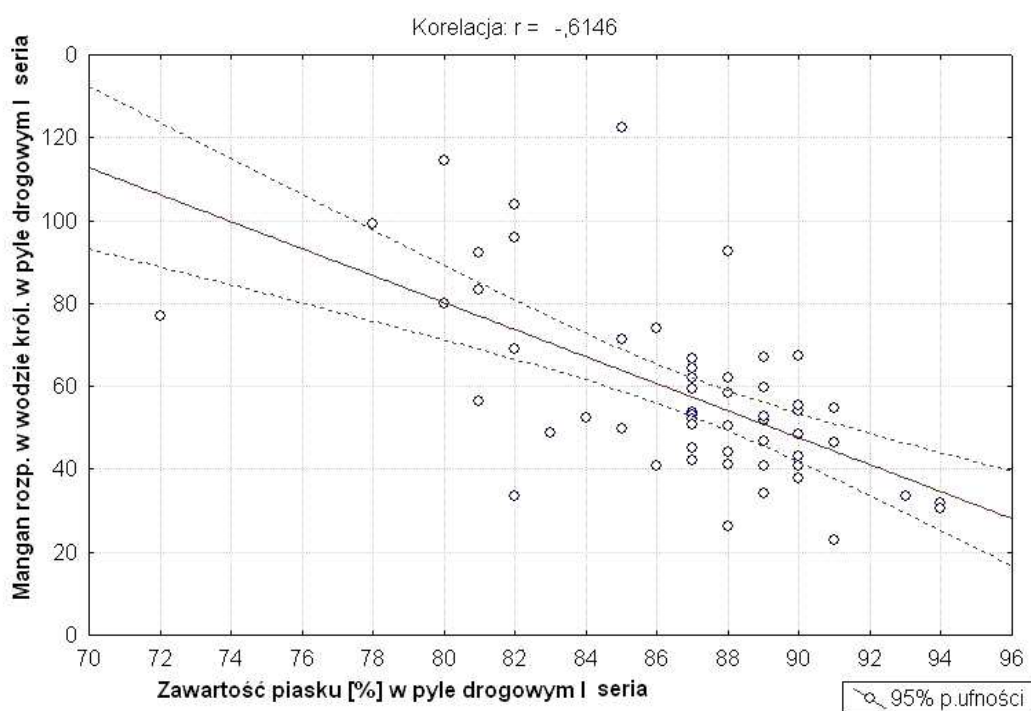
W 31 próbkach pyłu drogowego I serii i w 55 próbkach pyłu drogowego II serii nie odnotowano obecności frakcji od 0,002 do 0,005 mm, w pozostałych 25 próbkach I serii i jednej próbce II serii odnotowano ją w niewielkim udziale – od 1 do 2%.

Frakcji poniżej 0,002 mm brak było całkowicie w pyłe drogowym II serii i w 33 próbkach pyłu drogowego I serii, w 16 próbkach I serii stwierdzono jej obecność na poziomie 1%, a w 6 przypadkach I serii na poziomie 2%.

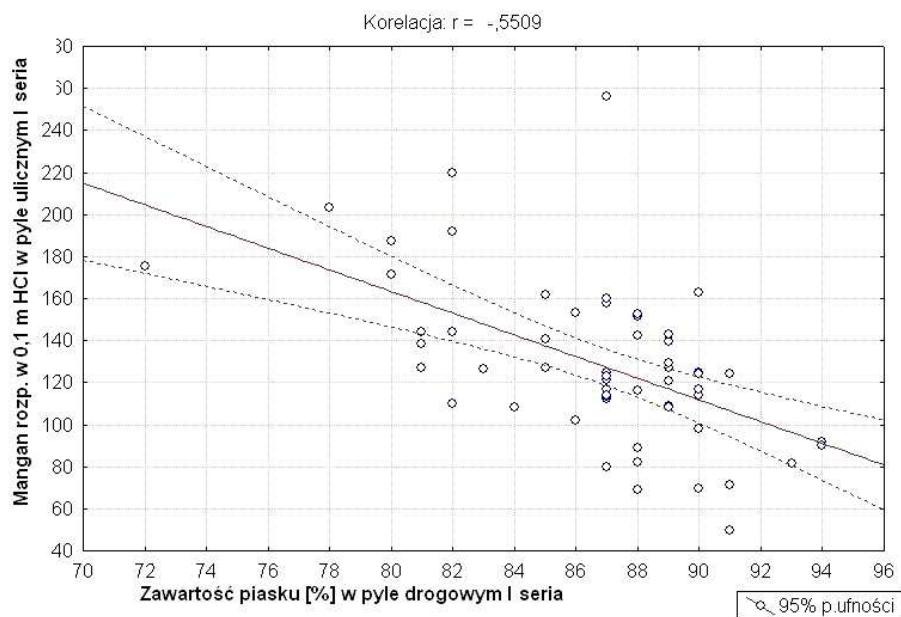
Kwalifikując badane próbki pyłu drogowego do grup mechanicznych ze względu na zawartość poszczególnych frakcji można stwierdzić, że odpowiadają one piskom luźnym z wyjątkiem 2 próbek w I serii poboru z ulicy Dworcowej i Trasy Północnej, które możemy zaliczyć do piasku słabo gliniastego.

Szczegółowe zestawienie składu granulometrycznego analizowanych pyłów drogowych ukazano w tabeli 25 (w załączeniu).

Analiza statystyczna wykazała wysokie korelacje pomiędzy zawartością frakcji odpowiadającej piskom a zawartością manganu rozpuszczonego w wodzie królewskiej i 0,1 m HCl pobranym w I serii (rys. 20 i rys. 21).

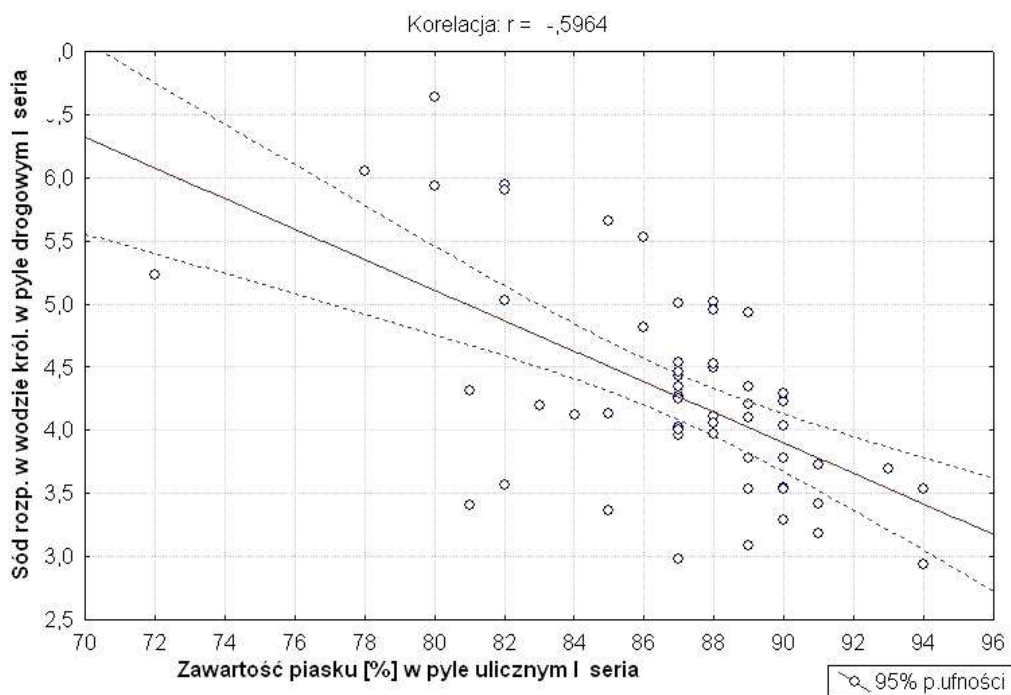


Rys. 20. Analiza zależności pomiędzy zawartością frakcji piasku w pyłe drogowym I serii a zawartością manganu rozpuszczonego w wodzie królewskiej pyłu drogowego I serii.



Rys. 21. Analiza zależności pomiędzy zawartością frakcji piasku w pyłe drogowym I serii a zawartością manganu rozpuszczonego w 0,1 m HCl pyłu drogowego I serii

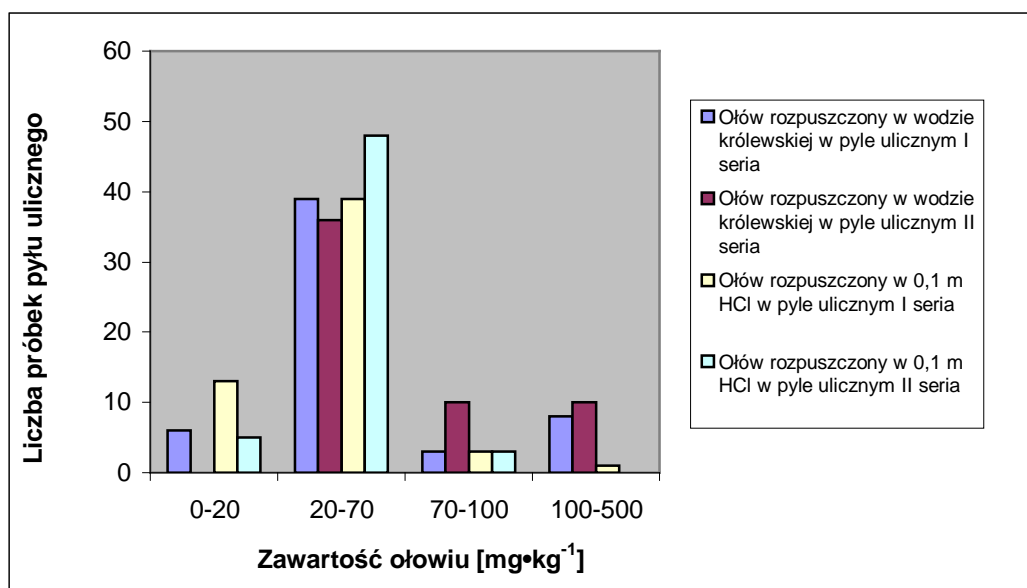
Podobnie jak w przypadku manganu także dla zawartości niklu w pyłe drogowym I serii zauważono wysoką korelację z zawartością frakcji piasku (rys. 22).



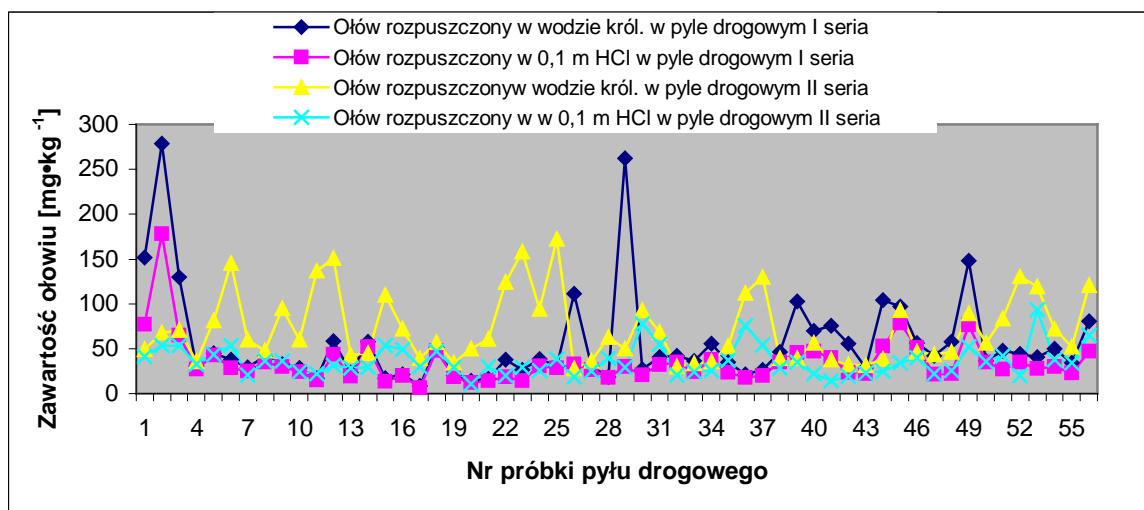
Rys. 22. Korelacja pomiędzy zawartością niklu rozpuszczonego w wodzie królewskiej a frakcją piasku w pyłe drogowym I serii poboru

4.2.5. Metale ciężkie w pyłach drogowych

Zawartość ołowiu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym w I serii badań wynosiła od 8,7 do 278,4 mg Pb·kg⁻¹, a rozpuszczonego w 0,1 molowym roztworze kwasu solnego od 6,7 do 178,3 mg Pb·kg⁻¹. Średnia zawartość ołowiu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w I serii poboru wynosiła 56,5 mg Pb·kg⁻¹, a rozpuszczonego w 0,1 molowym roztworze kwasu solnego 34,7 mg Pb·kg⁻¹. Najwyższe zawartości ołowiu zanotowano na ulicach: Dworcowej, Jędrzychowskiej i Batorego. Zawartość ołowiu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym w II serii poboru wynosiła odpowiednio od 27,5 do 172,7 mg Pb·kg⁻¹, a rozpuszczonego w 0,1 molowym roztworze kwasu solnego od 10,8 do 93,0 mg Pb·kg⁻¹. Średnia zawartość ołowiu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w II serii poboru wynosiła 71,7 mg Pb·kg⁻¹, a rozpuszczonego w 0,1 molowym roztworze kwasu solnego 36,02 mg Pb·kg⁻¹. Procentowa zawartość ołowiu rozpuszczonego w roztworze kwasu solnego do zawartości ołowiu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w I poborze wynosiła od 11,36 do 96,52%, średnio 71,74%, natomiast w II poborze od 15,00 do 91,60%, średnio 57,26%. Najwyższą zawartość ołowiu w pyłe drogowym I serii zanotowano na ulicach: Dworcowej, Jędrzychowskiej i Batorego, najniższą zaś na ulicach: Konstytucji 3 Maja, Chmielnej i Zawadzkiego. W II serii największa zawartość ołowiu w pyłe drogowym wystąpiła na ulicach: Kazimierza Wielkiego, Botanicznej i Ptasiej najniższa na: Placu Matejki, ul. Pieniężnego i ul. Strzeleckiej.



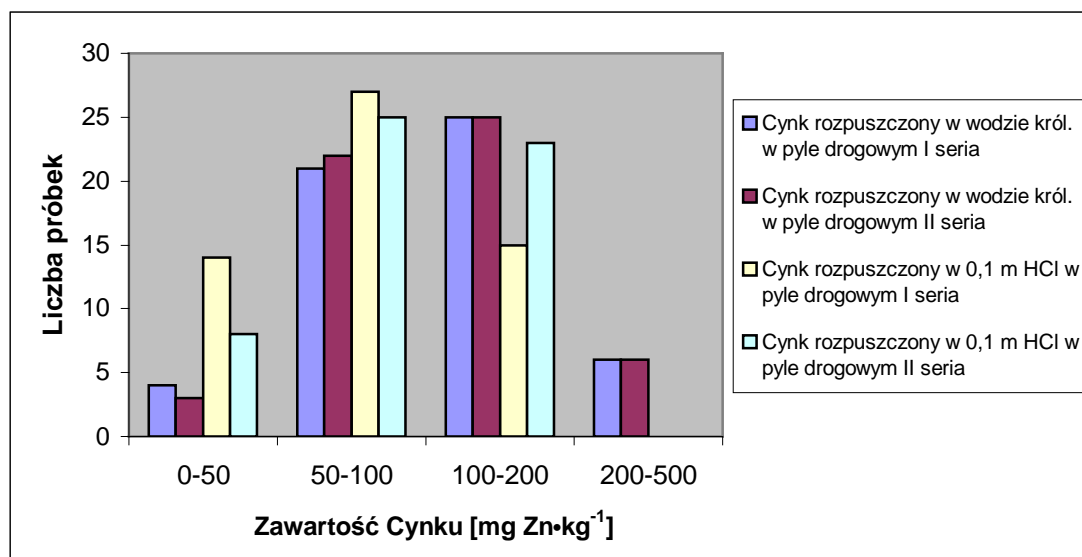
Rys. 23. Liczba próbek pyłu drogowego mieszcząca się w przedziałach zanieczyszczeń ołowiem dla gleby (o zawartości frakcji splotalnych do 10%) wg IUNG [Kabata-Pendias 1995]



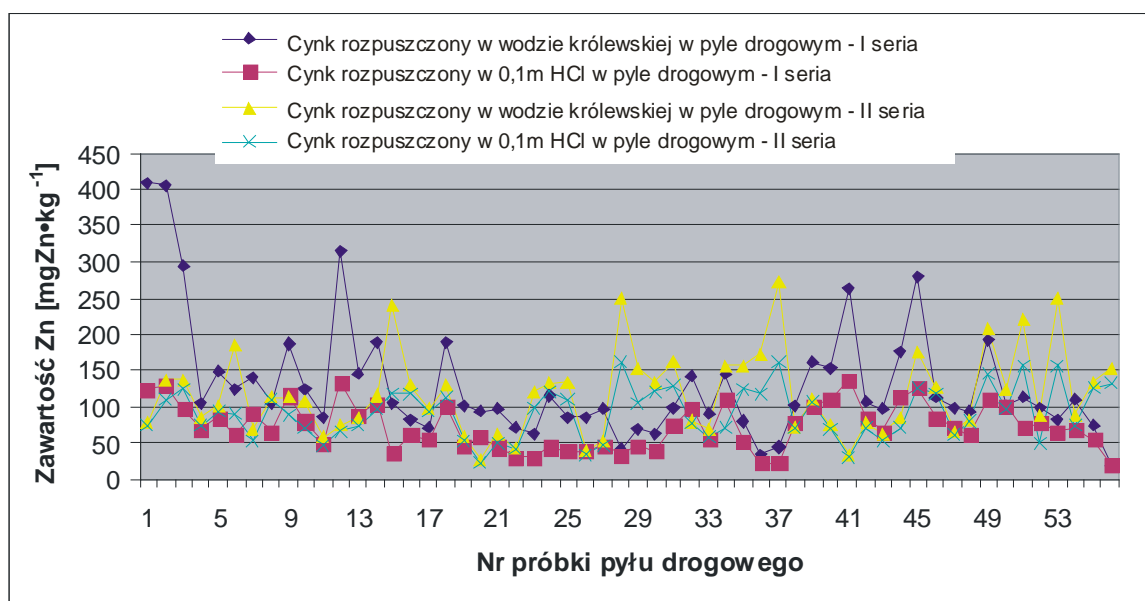
Rys. 24. Zawartość ołowiu w pyłe drogowym

Zawartość ołowiu rozpuszczonego w 0,1 m HCl pyłe drogowym pobranym w I serii była skorelowana z ilością tego składnika oznaczonego w wodzie królewskiej. Zależność ta została potwierdzona statystycznie współczynnikiem korelacji wynoszącym $r=0,77$.

Zawartość cynku rozpuszczonego w wodzie królewskiej w I serii wynosiła od 20,39 do 409,86 $\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$, średnia zawartość była równa 129,84 $\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zawartość cynku rozpuszczonego w 0,1 m HCl w pyłe drogowym I serii wynosiła od 22,11 do 138,00 $\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$, średnia zawartość kształtowała się na poziomie 74,09 $\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$. W II serii badań pyłu drogowego zawartość cynku rozpuszczonego w wodzie królewskiej wynosiła od 28,24 do 272,00 $\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$, przy średniej zawartości równej 117,26 $\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zawartość cynku rozpuszczonego w 0,1 m HCl w II poborze kształtowała się na poziomie od 21,38 do 161,58 $\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$, średnia zawartość z tych pomiarów wynosiła 90,71 $\text{mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$. Procentowy stosunek zawartości cynku rozpuszczonego w roztworze kwasu solnego do zawartości cynku rozpuszczonego w wodzie królewskiej w I serii wynosił od 30,01 do 97,47%, średnio 60,69%, natomiast w II serii od 45,31 do 97,39%, średnio 81,26%. Najwyższą zawartość cynku w pyłe drogowym I serii zanotowano na ulicach: Batorego, Dworcowej i Kazimierza Wielkiego, najniższą zaś na ulicach: Profesora Szafrana, Chmielnej i Nowojędrzychowskiej. W II serii badań najwyższe stężenia cynku zanotowano na ulicach Osiedlowej, Nowojędrzychowskiej i Wojska Polskiego przy wylocie z miasta, najniższe zaś na: Placu Matejki, Ptasiej i na skrzyżowaniu ulic Jadwigi i Masarskiej.



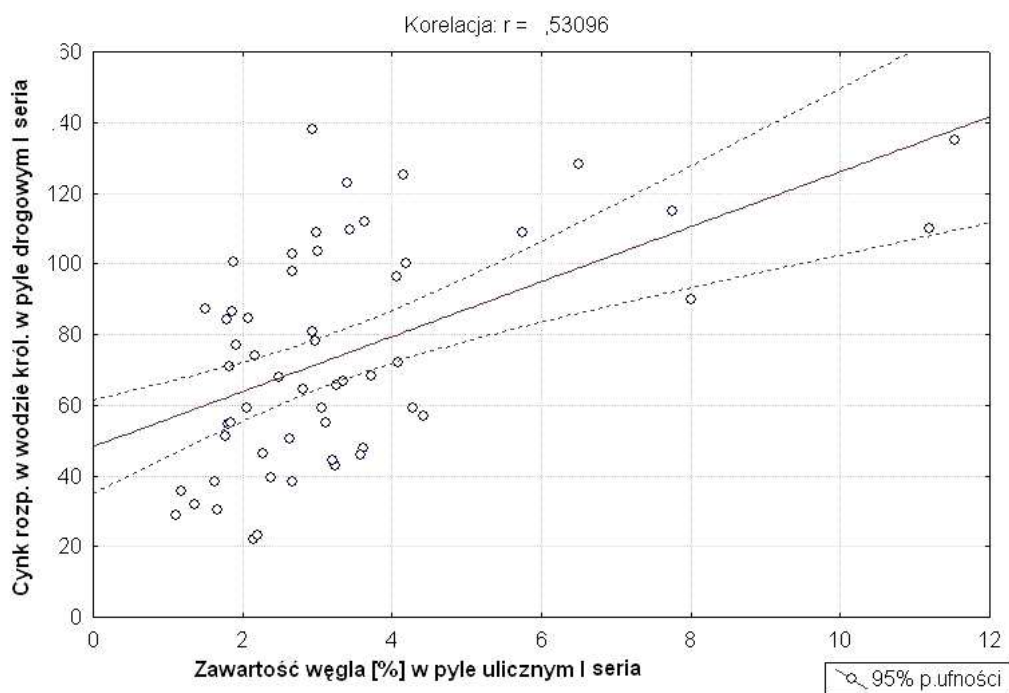
Rys. 25. Liczba próbek pyłu drogowego mieszcząca się w przedziałach zanieczyszczenia cynkiem dla gleby (o zawartości frakcji splotalnych do 10%) wg IUNG [Kabata-Pendias 1995]



Rys. 26. Zawartość cynku w pyłe drogowym

Zawartość cynku rozpuszczonego w 0,1 m HCl była skorelowana z zawartością tego składnika oznaczonego w wodzie królewskiej w I i II serii. Współczynnik korelacji dla I serii wynosił $r = 0,77$ i dla II serii $r = 0,89$.

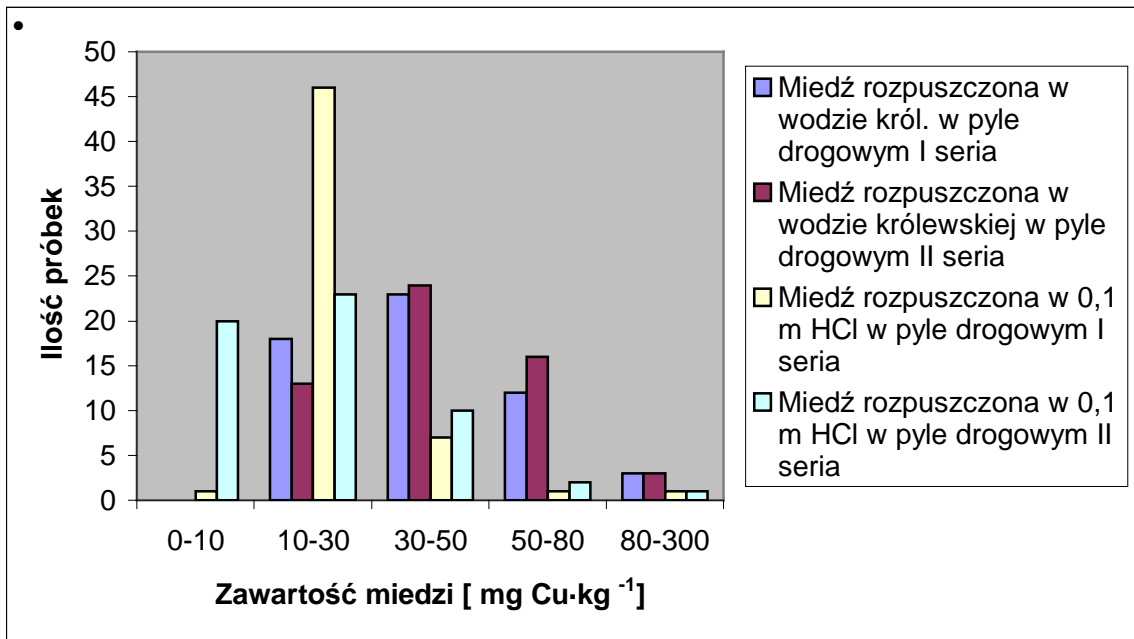
Zawartość cynku rozpuszczonego w wodzie w pyłe drogowym I serii była skorelowana z zawartością węgla organicznego (rys. 27), co potwierdzono statystycznie współczynnikiem korelacji wynoszącym $r = 0,53$.



Rys. 27. Zależność pomiędzy: zawartością w glebie cynku rozpuszczalnego w wodzie królewskiej w pyłach drogowych I serii oraz zawartością węgla organicznego w pyłach drogowych I serii

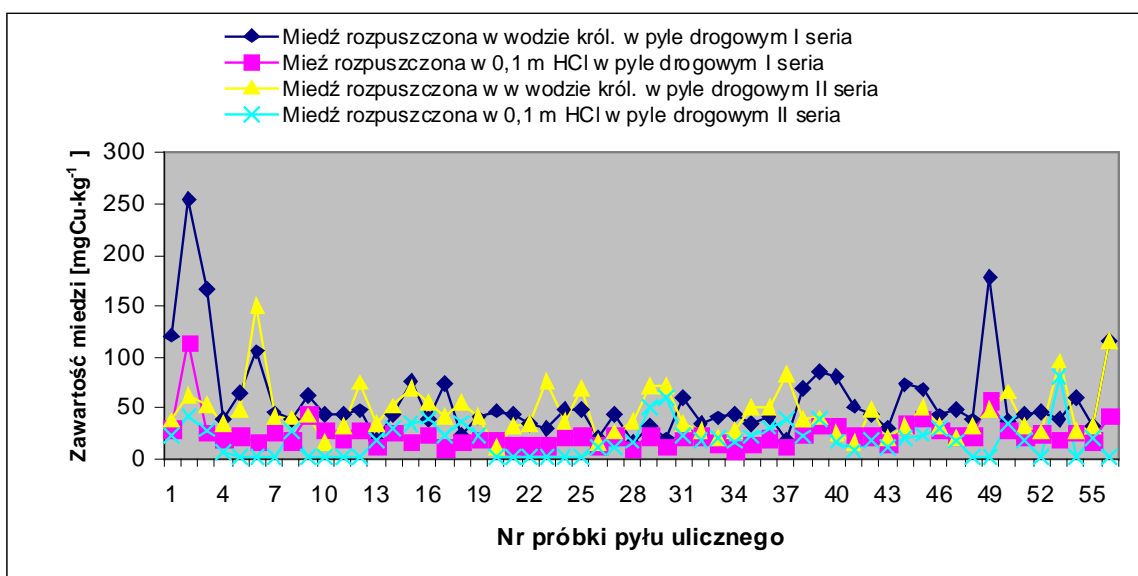
Zawartość miedzi rozpuszczonej w wodzie królewskiej, w pyłach drogowych pobranych w I serii wynosiła od 15,80 do 254,26 mg Cu·kg⁻¹, średnia zawartość miedzi kształtowała się na poziomie 57,27 mg Cu·kg⁻¹. Zawartość miedzi rozpuszczonej w 0,1 m roztworze HCl wynosiła od 9,49 do 115,00 mg Cu·kg⁻¹, przy średniej zawartości miedzi wynoszącej 24,83 mg Cu·kg⁻¹. W II serii badań pyłu drogowego zawartość miedzi rozpuszczonej w wodzie królewskiej mieściła się w zakresie od 12,44 do 150,20 mg Cu·kg⁻¹ i średniej wartości wynoszącej 46,12 mg Cu·kg⁻¹. Zawartość miedzi rozpuszczonej w 0,1 m HCl kształtowała się na poziomie od 2,32 do 81,02 mg Cu·kg⁻¹, średnio 19,27 mg Cu·kg⁻¹. Stosunek procentowy zawartości miedzi rozpuszczonej w 0,1 m HCl do miedzi rozpuszczonej w wodzie królewskiej wynosił w I serii od 15,96 do 77,49%, średnio 48,98% i w II serii badań od 1,73 do 99,00%, średnio 44,71%. Największą zawartość miedzi w I serii zanotowano na ulicach: Dworcowej, Objazdowej i Batorego przy skrzyżowaniu z Dworcową, najniższą natomiast na ulicach: Nowojędrzychowskiej, Jędrzychowskiej oraz Jedności. W II serii badań pyłów drogowych najwyższe stężenia miedzi wystąpiły na ulicach: Bema, Profesora Z. Szafrana oraz Wojska Polskiego przy wylocie z miasta, najmniejsze natomiast

przy ulicach: Bohaterów Westerplatte, Zawadzkiego „Zośki” przy zajezdni autobusów oraz na Placu Matejki.



Rys. 28. Liczba próbek pyłu drogowego mieszczącego się przedziałach zanieczyszczeń miedzią dla gleby (o zawartości frakcji splotalnych do 10%) wg IUNG [Kabata-Pendias 1995]

Zawartość miedzi rozpuszczonej w 0,1 m HCl był wysoko skorelowany z zawartością miedzi rozpuszczonej w wodzie królewskiej w I serii badań, współczynnik korelacji wynosił $r=0,81$.

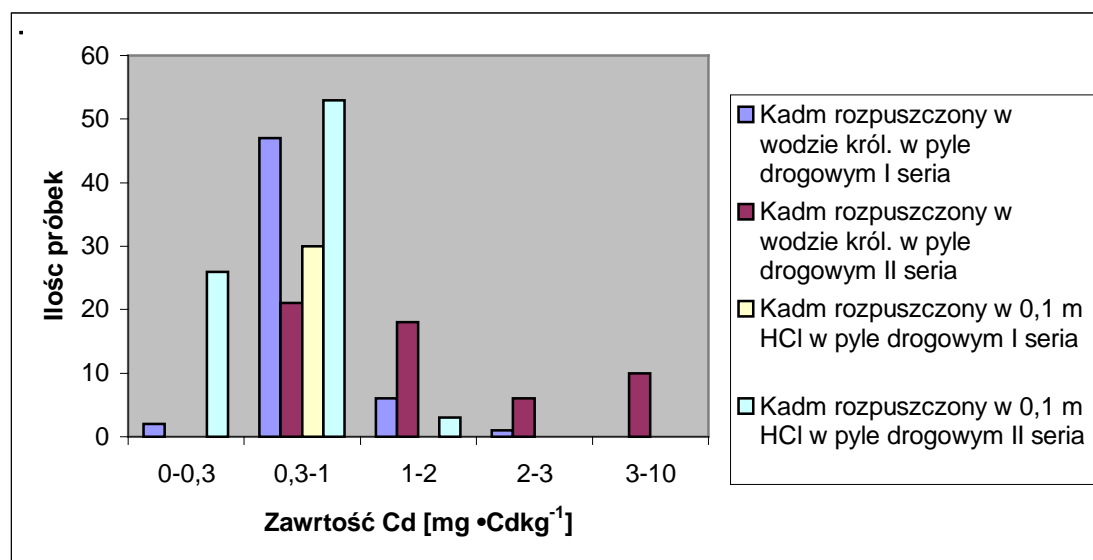


Rys. 29. Zawartość miedzi w pyłe drogowym

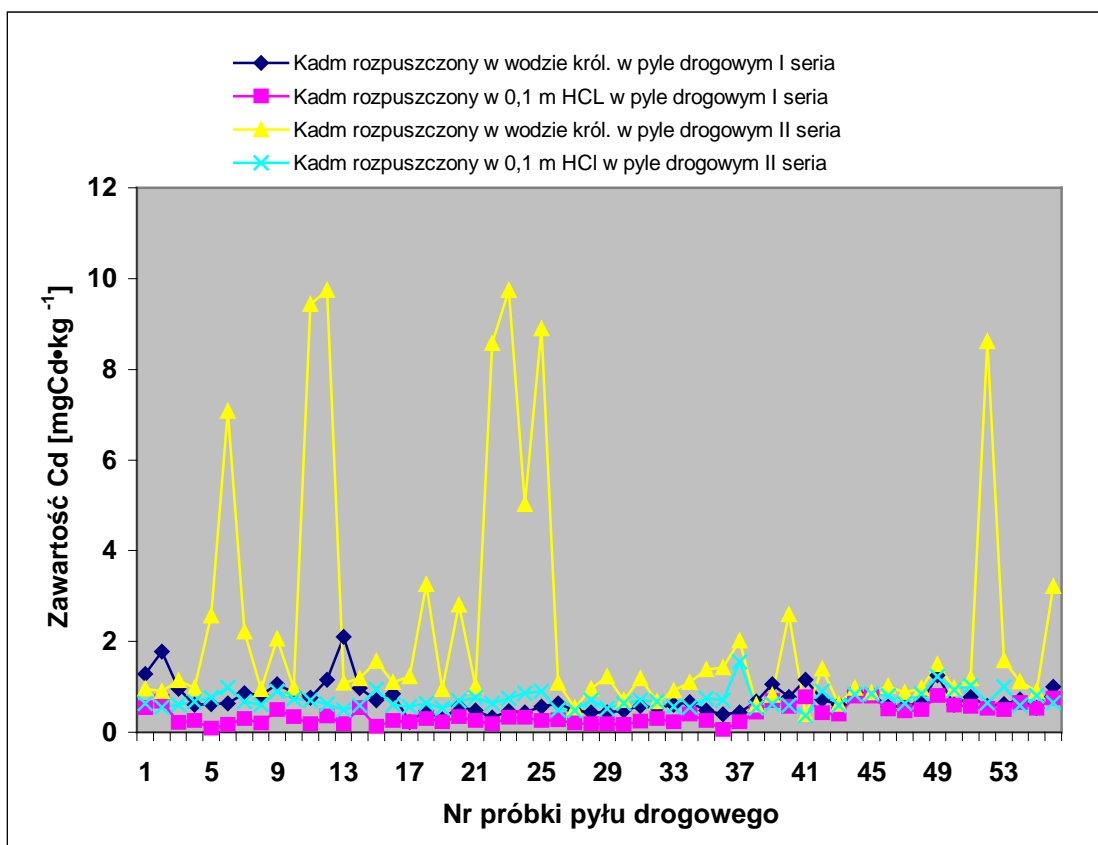
Zawartość kadmu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym pobranym w I serii wynosiła od 0,22 do 2,1 mg Cd·kg⁻¹, średnia zawartość równała się 0,72 mg Cd·kg⁻¹. Zawartość kadmu rozpuszczonego w 0,1 m HCl mieściła się w zakresie od 0,06 do 0,81 mg Cd·kg⁻¹, średnio 0,38 mg Cd·kg⁻¹. W II serii zawartość kadmu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym wynosiła od 0,4 do 9,74 mg Cd·kg⁻¹, średnio 2,29 mg Cd·kg⁻¹. Zawartość kadmu rozpuszczonego w 0,1 m HCl w pyłe drogowym II serii znalazła się w przedziale od 0,36 do 1,55 mg Cd·kg⁻¹, przy średniej zawartości wynoszącej 2,29 mg Cd·kg⁻¹. Stosunek procentowy zawartości kadmu rozpuszczonego w 0,1 m HCl do rozpuszczonego w wodzie królewskiej wynosił w I serii od 8,57 do 100%, średnio 55,36%, a w II serii od 6,35 do 100%, średnio 56,20%. Najwyższe stężenie kadmu w I serii zanotowano na ulicy: Dworcowej przy skrzyżowaniu z Akacją, Batorego oraz Jedności. Najniższe wartości odnotowano na ulicach: Konstytucji 3 Maja, Ptasiej oraz Wyszyńskiego.

W II serii najwięcej kadmu było w pyłe na ulicach Bema, Chopina i Kazimierza Wielkiego, najmniej natomiast na ulicach: Jadwigi, Botanicznej oraz Sulechowskiej.

Zawartość kadmu rozpuszczonego w wodzie w II serii była dodatkowo skorelowana z zawartością frakcji poniżej 0,02 mm. Współczynnik korelacji dla tej zależności wynosił $r = 0,67$.

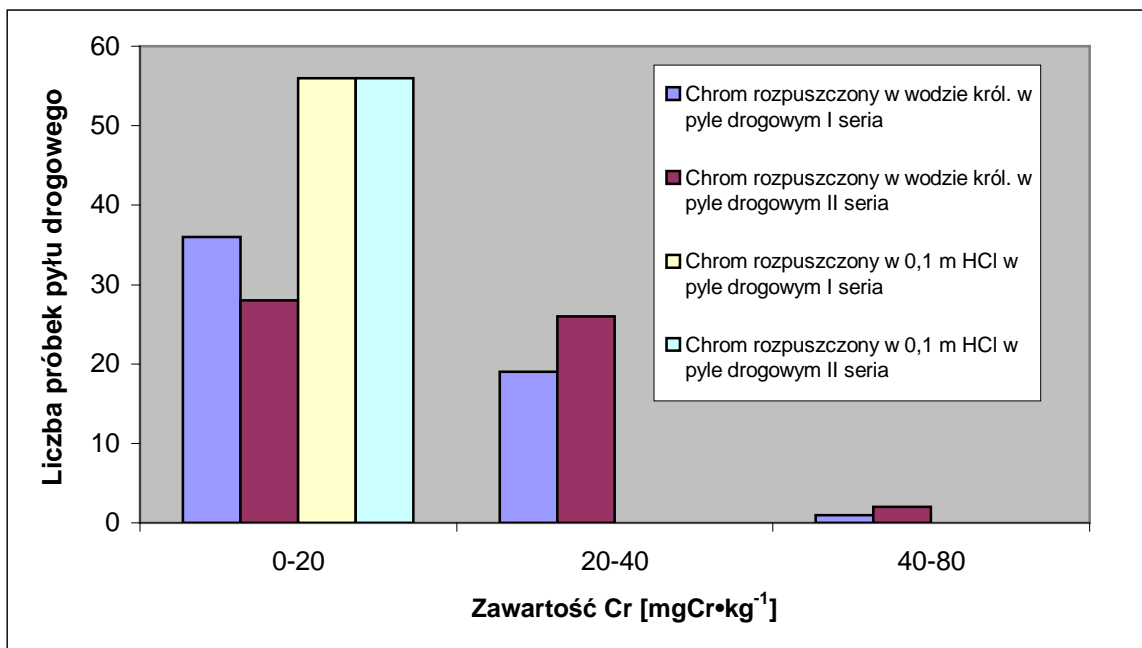


Rys. 30. Liczba próbek pyłu drogowego mieszczącego się przedziałach zanieczyszczeń kadmem dla gleby (o zawartości frakcji sypialnych do 10%) wg IUNG [Kabata-Pendias 1995]

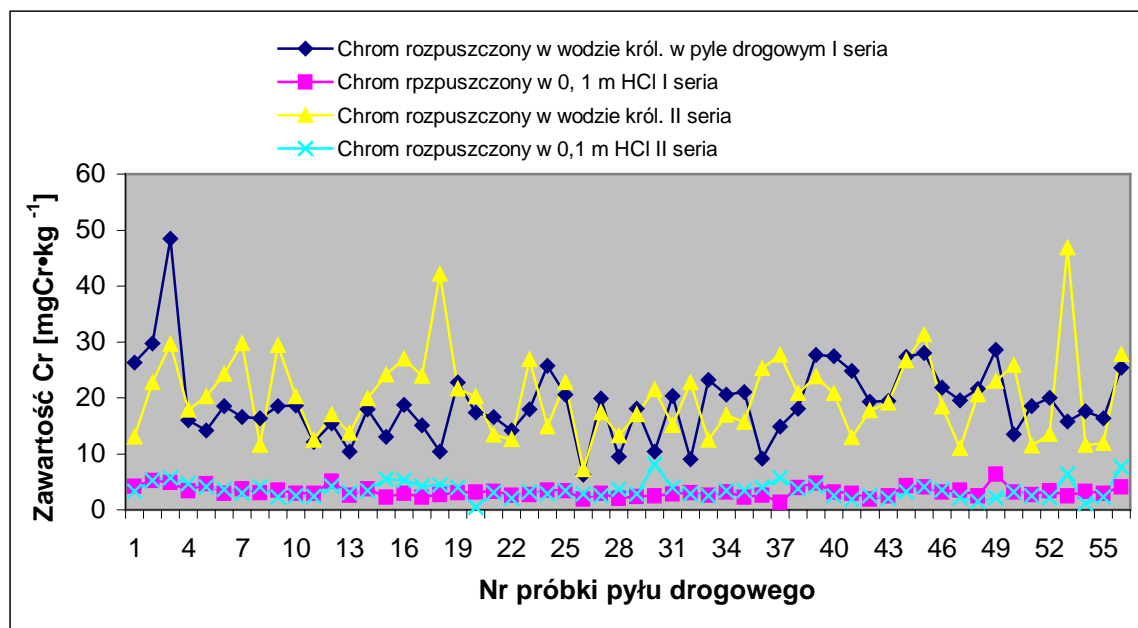


Rys. 31. Zawartość kadmu w pyłe drogowym

Zawartość chromu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym pobranym w I serii wynosiła od 6,3 do 48,48 mg Cr·kg⁻¹, średnia zawartość wynosiła 19,00 mg Cr·kg⁻¹. Zawartość chromu rozpuszczonego w 0,1 m HCl mieściła się w zakresie od 1,41 do 6,42 mg Cr·kg⁻¹, średnio 3,24 mg Cr·kg⁻¹. Zawartość chromu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym w II serii wynosiła od 7,22 do 46,62 mg Cr·kg⁻¹, średnio 20,31 mg Cr·kg⁻¹. Zawartość chromu rozpuszczonego w 0,1 m HCl w pyłe drogowym II serii mieściła się w zakresie od 0,48 do 8,17 mg Cr·kg⁻¹, średnio 3,48 mg Cr·kg⁻¹. Stosunek procentowy zawartości chromu rozpuszczonego w roztworze kwasu solnego do zawartości chromu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w I serii wynosił od 9,47 do 34,29%, średnio 18,28%, natomiast w II serii od 2,37 do 40,00%, średnio 18,22%. Największe stężenia chromu w I serii odnotowano na ulicach: Batorego, Energetyków i Objazdowej, najniższe natomiast na ulicach: Kozuchowskiej, Chmielnej i Placu Matejki. W II serii poboru najwięcej chromu w pyłe drogowym wystąpiło na ulicach: Drzewnej, Energetyków i Wojska Polskiego, najmniej na ulicach: Wojska Polskiego w pobliżu Wandy, Wrocławskiej oraz na Placu Matejki.



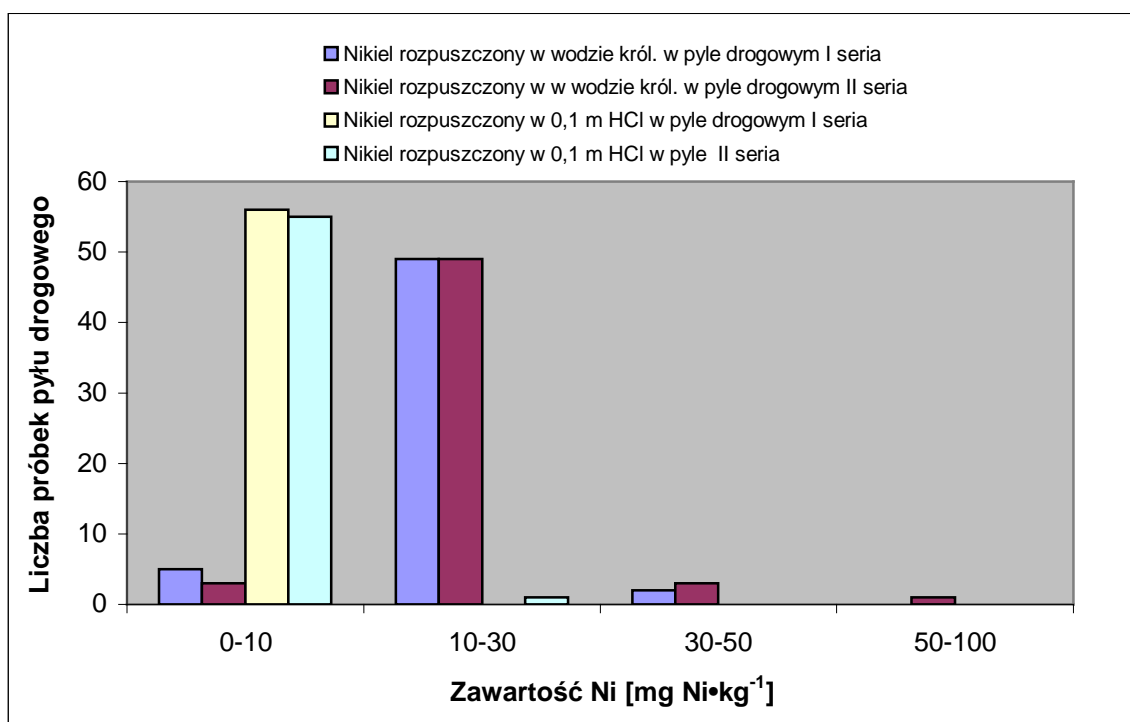
Rys. 32. Liczba próbek pyłu drogowego mieszczącego się przedziałach zanieczyszczeń chromem dla gleby (o zawartości frakcji splotalnych do 10%) wg IUNG [Kabata-Pendias 1995]



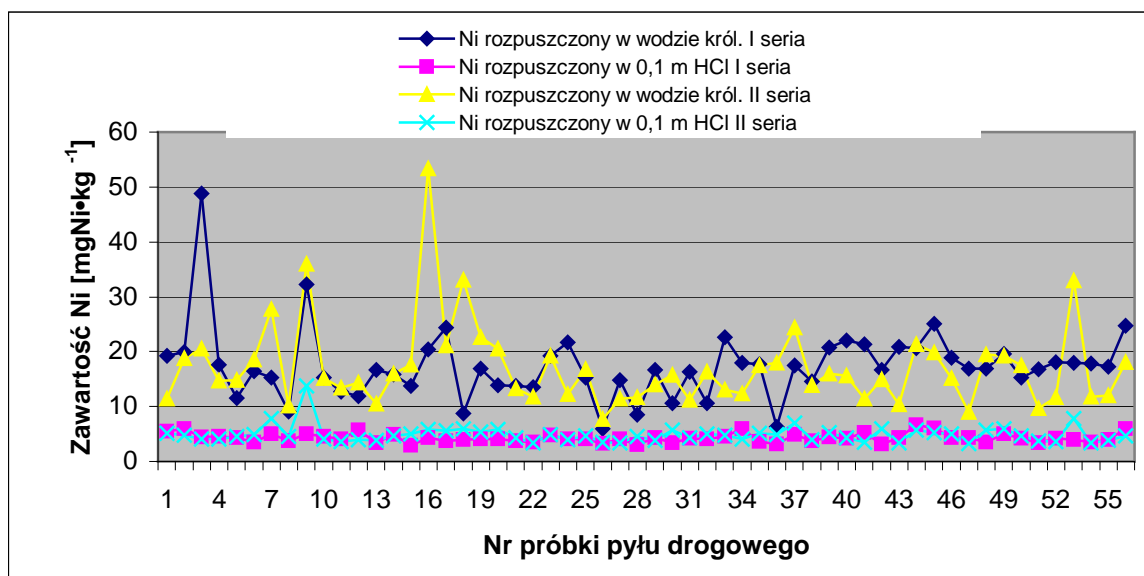
Rys. 33. Zawartość chromu w pyłe drogowym

Zawartość w badanych próbach pyłów drogowych I serii chromu rozpuszczonego w 0,1 m HCl była skorelowana zawartością chromu rozpuszczonego w wodzie królewskiej. Współczynnik korelacji r wynosił 0,58.

Zawartość niklu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym pobranym w I serii wynosiła od 5,94 do 48,76 mg Ni·kg⁻¹, średnio 17,34 mg Ni·kg⁻¹, natomiast rozpuszczonego w 0,1 m HCl od 2,94 do 6,64 mg Ni·kg⁻¹, średnio 4,29 mg Ni·kg⁻¹. W II serii poboru zawartość niklu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym mieściła się w zakresie od 7,74 do 53,4 mg Ni·kg⁻¹, średnio 17,07 mg Ni·kg⁻¹, natomiast niklu rozpuszczonego w 0,1 m HCl od 3,27 do 13,69 mg Ni·kg⁻¹, średnio 4,88 mg Ni·kg⁻¹. Stosunek procentowy zawartości niklu rozpuszczonego w roztworze kwasu solnego do zawartości niklu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowy pobranym w I serii wynosił od 9,08 do 55,38%, średnio 27,11%, natomiast w II serii od 11,01 do 45,73%, średnio 30,38%. Najwyższe stężenia niklu odnotowano w pyłe drogowym pobranym w I serii na ulicach: Batorego, Placu Powstańców Śląskich oraz Konstytucji 3 Maja, najniższe na: Placu Matejki, ulicy Chmielnej i ulicy Botanicznej. W II serii poboru najwyższe stężenie zanotowano na: ulicy Wiśniowej, Drzewnej oraz Placu Powstańców Śląskich, najniższe na: Placu Matejki, ulicy Zjednoczenia oraz ulicy Wojska Polskiego przy skrzyżowaniu z ul. Wandy.

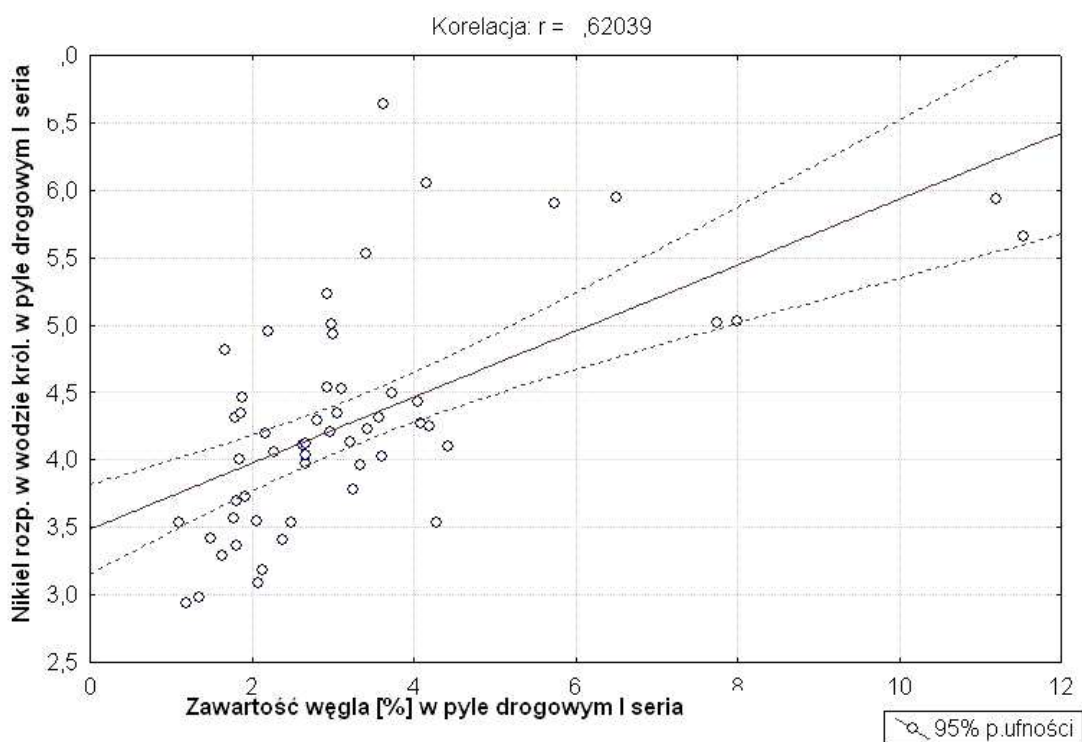


Rys. 34. Liczba próbek pyłu drogowego mieszcząca się przedziałach zanieczyszczeń niklem dla gleby (o zawartości frakcji splotawianych do 10%) wg IUNG [Kabata-Pendias 1995]



Rys. 35. Zawartość niklu w pyłe drogowym

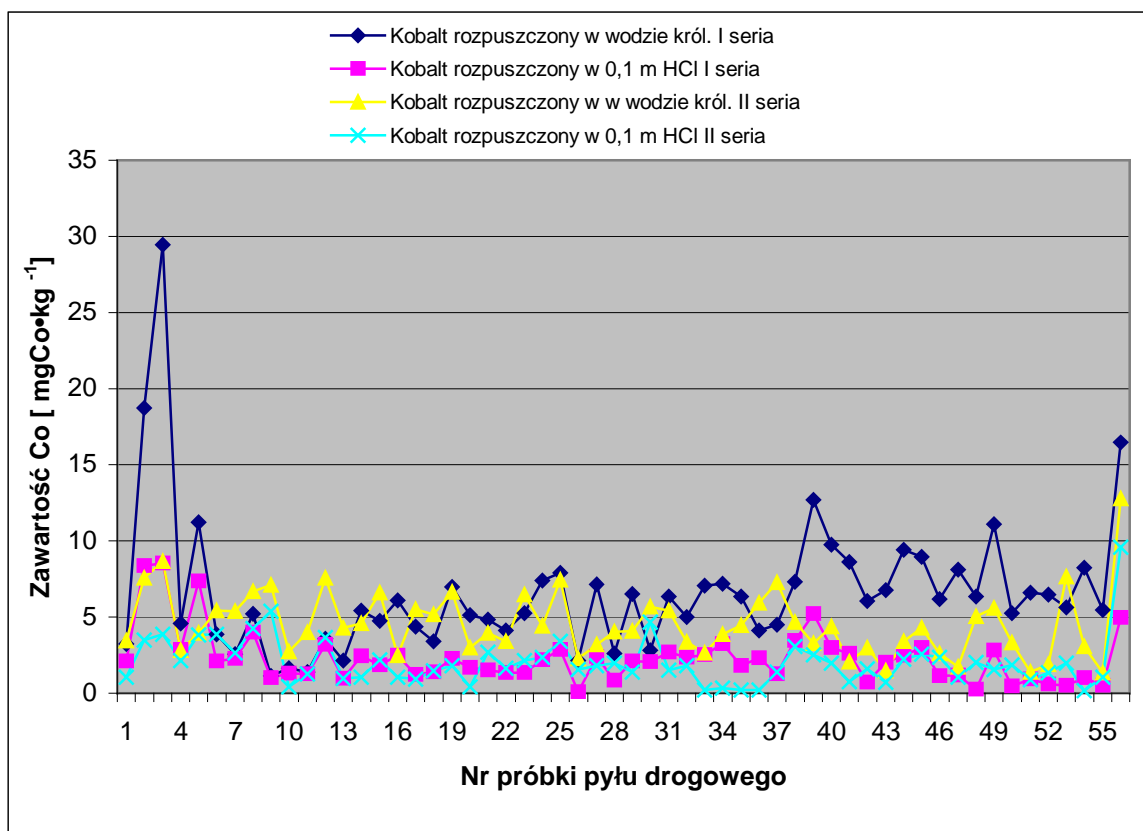
Zawartość niklu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym pobranym w I serii była skorelowana z zawartością węgla organicznego w pyłe drogowym (rys. 36).



Rys. 36. Korelacja pomiędzy zawartością w pyłe drogowym I serii nikielu rozpuszczonego w wodzie królewskiej oraz zawartością węgla organicznego

Także zauważono dodatnią korelację pomiędzy zawartością niklu rozpuszczonego w 0,1 m HCl w I serii oraz niklu rozpuszczonego w wodzie królewskiej. Współczynnik korelacji wynosił $r=0,66$.

Zawartość w pyle drogowym kobaltu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w I serii poboru wynosiła w granicach od 1,12 do 29,46 mg Co·kg⁻¹, przy średniej zawartości równej 6,63 mg Co·kg⁻¹, zaś w II serii poboru w granicach od 0,9 do 12,76 mg Co·kg⁻¹, przy średniej zawartości kobaltu 4,51 mg Co·kg⁻¹. Zawartość w pyle drogowym kobaltu rozpuszczonego w roztworze 0,1 m HCl w I serii poboru kształtowała się w zakresie od 0,1 do 8,53 mg Co·kg⁻¹, przy średniej 2,29 mg Co·kg⁻¹ a w II serii poboru od 0,16 do 9,58 mg Co·kg⁻¹ przy średniej zawartości 2,06 mg Co·kg⁻¹. Stosunek procentowy kobaltu rozpuszczonego w 0,1m HCl do kobaltu rozpuszczonego w wodzie królewskiej wynosił od 3,94 do 91,42%, przy średniej 38,57% w I serii poboru. W II serii poboru stosunek ten wynosił od 3,54 do 96,46%, przy średniej 45,67%. Najwyższe koncentracje kobaltu odnotowano w tych samych miejscach w I i II serii poboru – były to ulice: Batorego, Dworcowa i Prof. Szafrana. Najniższe stężenia w I serii poboru odnotowano na ulicach: Westerplatte, Chopina i Placu Powstańców Śląskich, a w II serii poboru na ulicach: Wrocławskiej, Wojska Polskiego i na Alei Zjednoczenia.

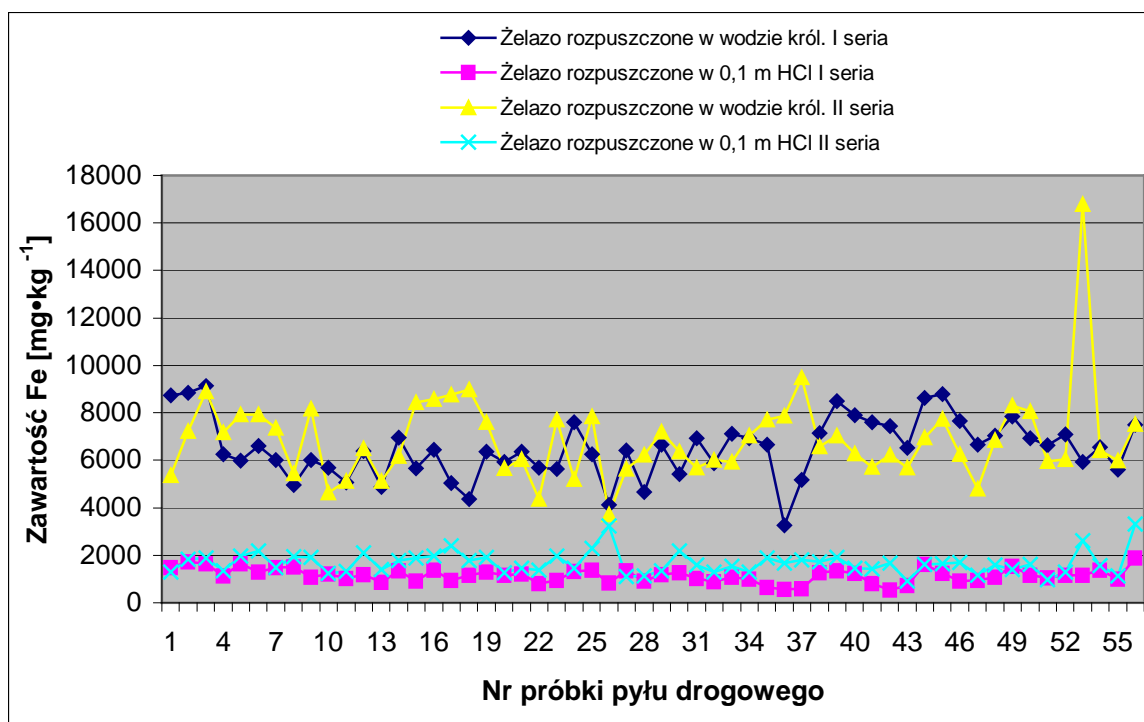


Rys. 37. Zawartość kobaltu w pyłe drogowym

Analiza statystyczna wykazała zależność pomiędzy zawartością kobaltu rozpuszczonego w 0,1 m HCl oraz rozpuszczonego w wodzie królewskiej w I jak i w II serii. Dla I serii korelacja zależności tej wynosiła $r=0,79$, natomiast dla II serii $r=0,69$.

Zawartość żelaza w pyłe drogowym rozpuszczonego w wodzie królewskiej w I serii poboru wynosiła od 3250 do 9126 mg Fe·kg⁻¹, średnio 6 497 mg Fe·kg⁻¹, natomiast rozpuszczonym w 0,1 m HCl od 546 do 1896 mg Fe·kg⁻¹, średnio 1151 mg Fe·kg⁻¹. W II serii zawartość żelaza w pyłe drogowym rozpuszczonego w wodzie królewskiej wynosiła od 3732 do 16800 mg Fe·kg⁻¹, przy średniej wynoszącej 6892 mg Fe·kg⁻¹. Zawartość żelaza rozpuszczonego w 0,1 m HCl w II serii wahała się od 926 do 3304 mg Fe·kg⁻¹, przy średnie zawartości 1684 mg Fe·kg⁻¹. Udział procentowy zawartości żelaza rozpuszczonego w wodzie królewskiej do rozpuszczonego w 0,1 m HCl w I serii wynosił od 7,35 do 30,22%, przy średniej wynoszącej 17,96% w I serii, oraz od 15,48 do 86,87% i średniej 25,35% w II serii. Najwięcej żelaza odnotowano w I serii na ulicach: Energetyków Dworcowej i Batoiego, natomiast w II na ulicach: Drzewnej, Wojska Polskiego oraz Osiedlowej. Najmniej żelaza odnotowano w pyłe drogowym w I serii na ulicach: Drzewnej,

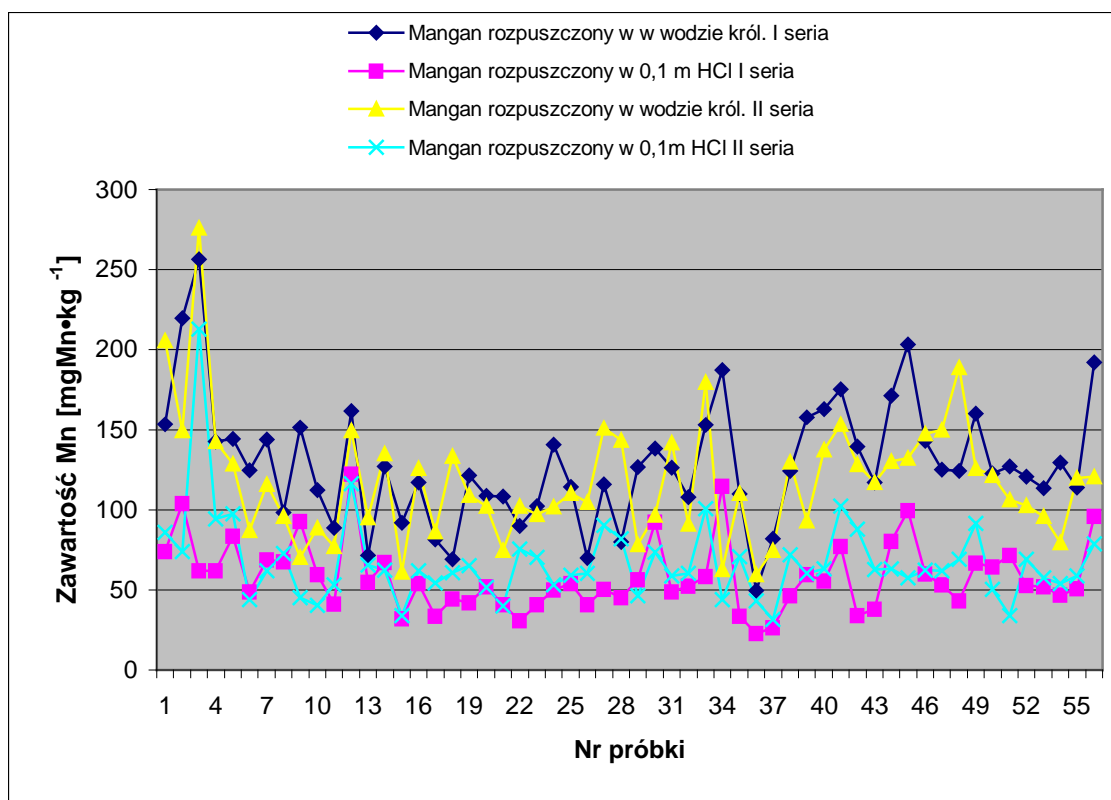
Chmielnej i Placu Matejki, oraz w II serii na ulicach: Dzikiej i Ptasiej oraz podobnie jak w I serii na Placu Matejki.



Rys. 38. Zawartość żelaza w pyłe drogowym

Zawartość manganu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym I serii wynosiła od 49,6 do 256,4 mg Mn·kg⁻¹ przy średniej zawartości 128,7 mg Mn·kg⁻¹. Zawartość manganu rozpuszczonego w 0,1 m HCl w pyłe drogowym I serii była w zakresie od 22,9 do 122,4 mg Mn·kg⁻¹, przy średniej zawartości manganu wynoszącej 58,3 mg Mn·kg⁻¹. Procentowy udział zawartości manganu rozpuszczonego w wodzie królewskiej do zawartości manganu rozpuszczonego w 0,1m HCl w I serii wynosił od 24,1 do 76,7%, średnio 45,7%. Najwyższe wartości manganu w pyłe drogowym I serii wystąpiły na ulicach: Batorego, Energetyków i Prof. Szafrana, najniższe na ulicach: Chmielnej i Jedności oraz na Placu Matejki. Zawartość manganu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w II serii wynosiła od 59,6 do 276,2 mg Mn·kg⁻¹, średnio 117,7 mg Mn·kg⁻¹, rozpuszczonego zaś w 0,1 m HCl od 31,5 do 213,1 mg Mn·kg⁻¹, średnio 67,3 mg Mn·kg⁻¹. Procentowy udział zawartości manganu w II serii rozpuszczonego w wodzie królewskiej do rozpuszczonego w 0,1 m HCl wynosił od 32,0 do 77,7%, średnio 57,7%. Największe ilości manganu w próbkach pyłu drogowego II serii odnotowano na ulicach: Zjednoczenia, Batorego oraz przy skrzyżowa-

niu Jadwigi z Masarską, najniższe natomiast na ulicach: Słowackiego, Chmielnej i Mo-niuszki.

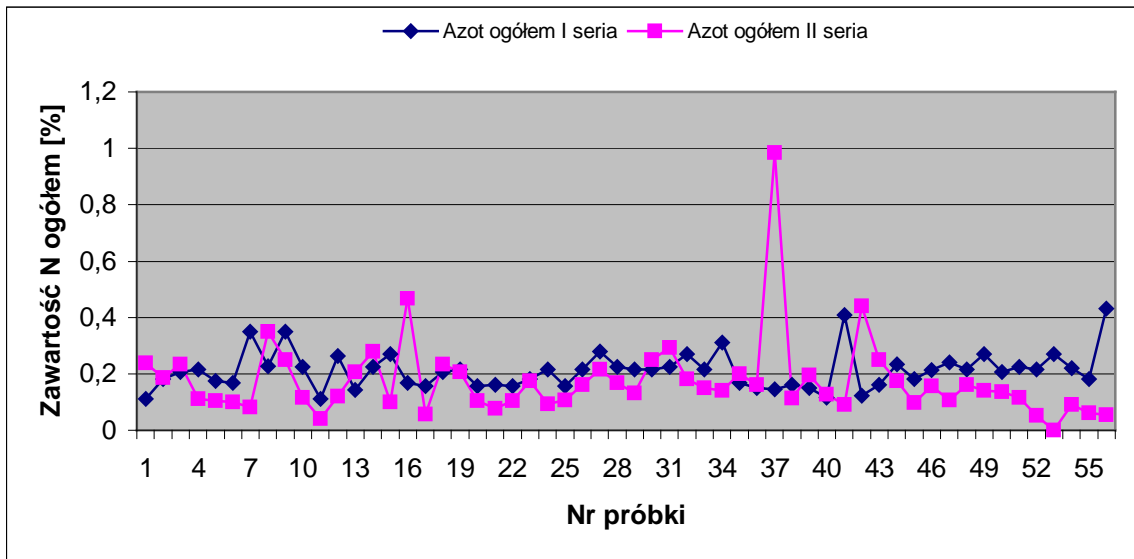


Rys. 39. Zawartość manganu w pyłe drogowym

Szczegółowe zestawienie zawartości metali ciężkich w analizowanych pyłach drogowych ukazano w tabeli 26, 28, 29 i 30 (w załączeniu).

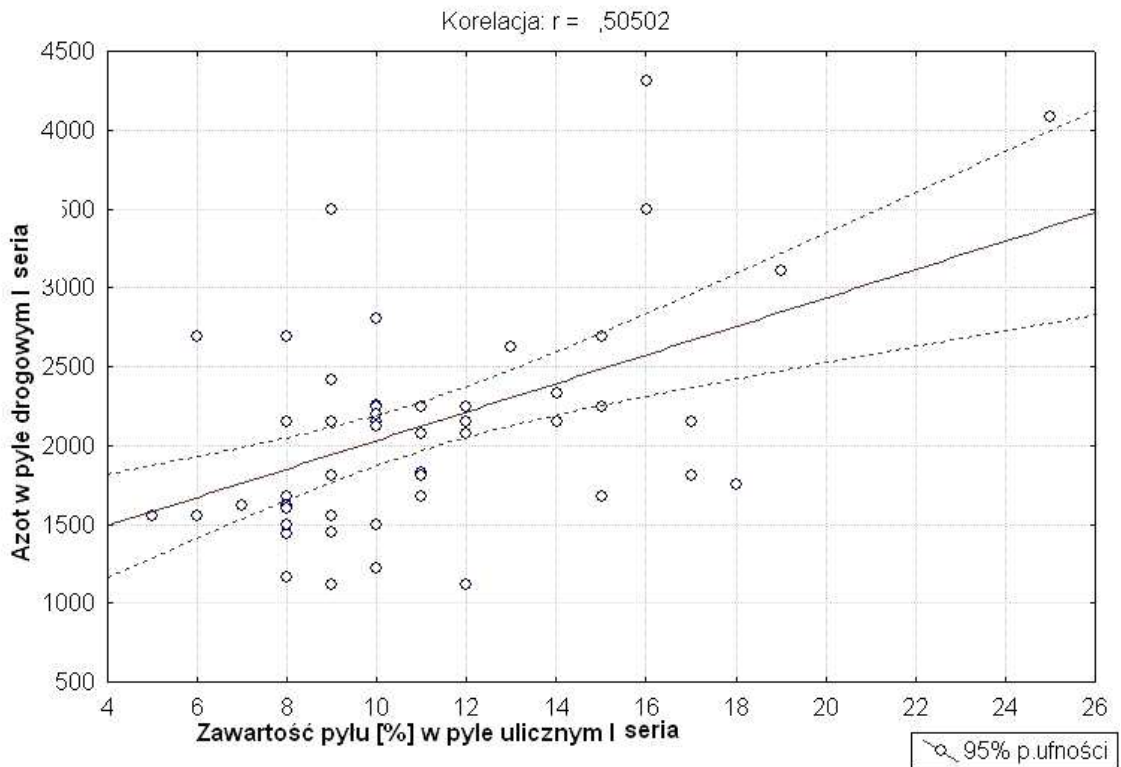
4.2.6. Zawartość makroskładników w pyłe drogowym

Zawartość azotu ogólnego w pyłe drogowym I serii wahała się w granicach od 0,11 do 0,43%, natomiast w II serii od 0,04 do 0,98%. Średnia zawartość azotu ogólnego wynosiła 0,21% w I serii i 0,17% w II serii. Ilość azotu ogólnego w większości badanych pyłów drogowych oscylowała w granicy 0,2%. Najwyższe zawartości azotu ogólnego w I serii odnotowano na: ul. Prof. Szafrana, Placu Powstańców Śląskich i na skrzyżowaniu ulic Jadwigi i Masarskiej, najniższe natomiast na ulicach: Batorego Chopina i Trasie Północnej. W II serii najwyższa zawartość azotu ogólnego wystąpiła w próbkach z ulic; Osiedlowej, Krakusa i Kożuchowskiej, najniższa zaś na ulicach; Chopina, 3 Maja i Wojska Polskiego.



Rys. 40. Zawartość azotu ogółem w pyłe drogowym

Analiza statystyczna wykazała zależność pomiędzy zawartością azotu w pyłe drogowym I serii a zawartością frakcji pyłowej (rys. 41).

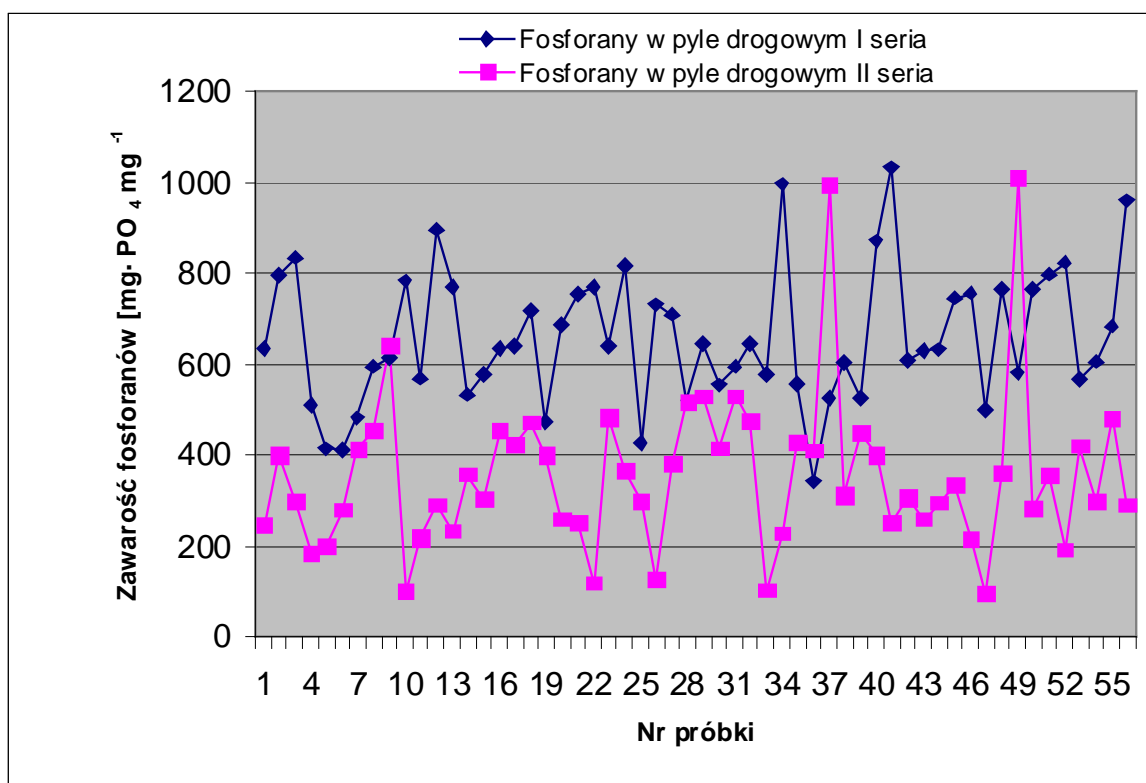


Rys. 41. Korelacja pomiędzy zawartością azotu oraz zawartością frakcji pyłowej w pyłe drogowym I serii

Zawartość azotu w pyłe drogowym II serii badań była istotnie skorelowana z przewodnością elektryczną; analiza statystyczna wykazała, że dla tej zależności współczynnik korelacji r wynosił 0,83.

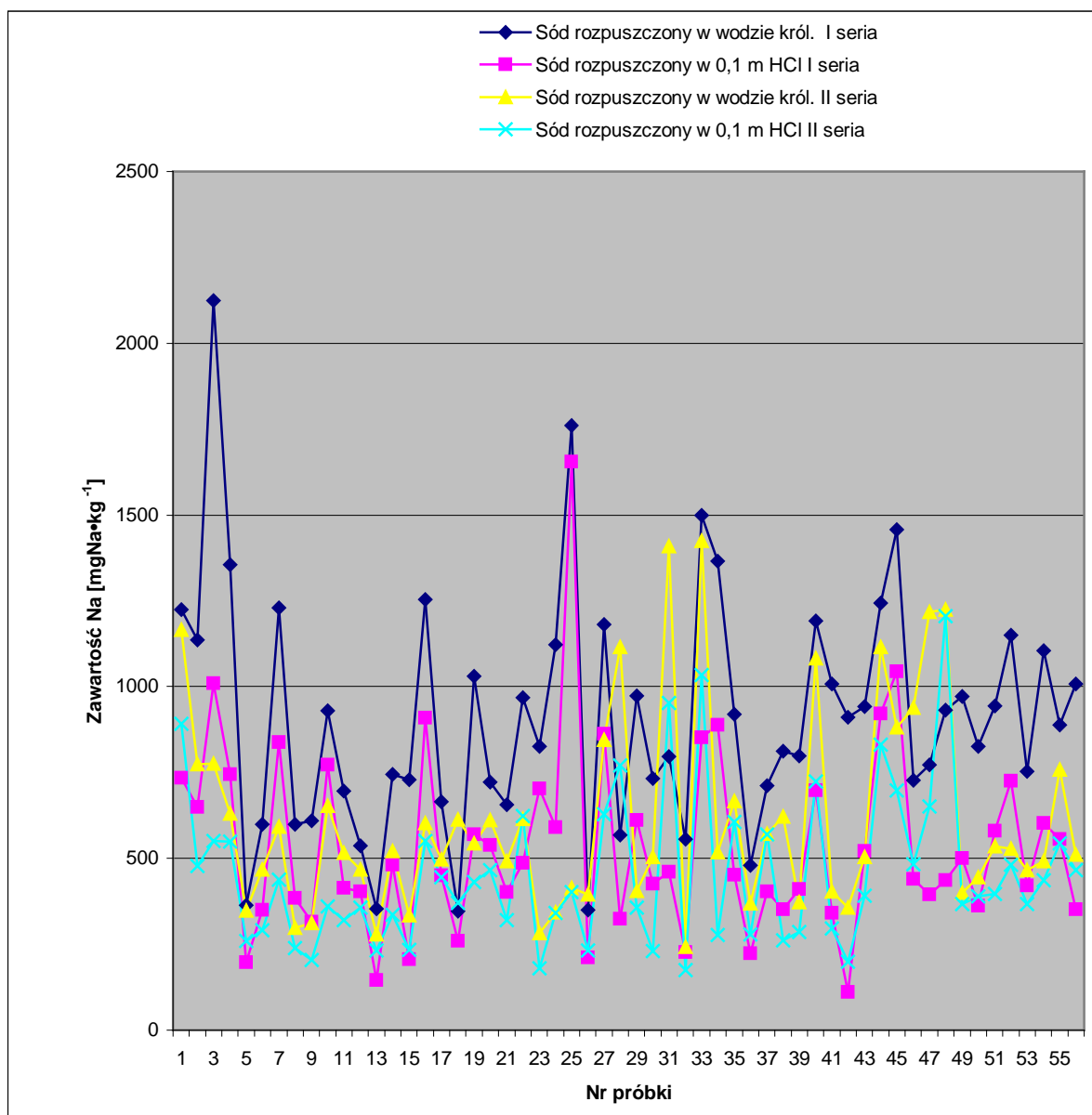
Zawartość fosforanów w pyłe drogowym I serii wahała się od 341,8 do 1032,9 mg $\text{PO}_4 \cdot \text{kg}^{-1}$. Średnia zawartość fosforanów w pyłe drogowym I serii wynosiła 657,6 mg $\text{PO}_4 \cdot \text{kg}^{-1}$. Najwyższe wartości odnotowano na ulicach: Szafrana, Sulechowskiej i Słowackiego, najniższe zaś na ulicach; Chmielnej, Akademickiej i Bema.

Zawartość fosforanów w pyłe drogowym II serii wahała się w granicach od 95,9 do 1010,5 mg $\text{PO}_4 \cdot \text{kg}^{-1}$, przy średniej zawartości 354,5 mg $\text{PO}_4 \cdot \text{kg}^{-1}$. Najwięcej fosforanów występowało w próbkach pyłu drogowego z ulic: Energetyków, Morelowej i Placu Powstańców Śląskich, najmniej zaś na ulicach: Waryńskiego, Bohaterów Westerplatte i Jędrzychowskiej.



Rys. 42. Zawartość fosforanów w pyłe drogowym

Analiza statystyczna wykazała zależność pomiędzy zawartością fosforanów w II serii badań a przewodnością elektryczną. Współczynnik korelacji wynosił dla tej zależności $r=0,53$.



Rys. 43. Zawartość sodu w pyłe drogowym

Zawartość sodu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym I serii wynosiła od 345 do 2125 mg Na·kg⁻¹ i średniej zawartości wynoszącej 913 mg Na·kg⁻¹, natomiast zawartość sodu rozpuszczonego w 0,1 m HCl wynosiła od 111 do 1652 mg Na·kg⁻¹, przy średniej wynoszącej 534 mg Na·kg⁻¹. Zawartość sodu w II serii poboru była niższa od zawartości sodu w I serii i wynosiła dla sodu rozpuszczonego w wodzie królewskiej od 242 do 1424 mg Na·kg⁻¹ oraz średniej wynoszącej 615 mg Na·kg⁻¹. Sodu rozpuszczonego w 0,1 m HCl w pyłe drogowym II serii odnotowano w zakresie od 174 do 1205 mg Na·kg⁻¹, przy średniej z tych wyników wynoszącej 454 mg Na·kg⁻¹. Udział procentowy zawartości sodu rozpuszczonego w wodzie królewskiej do sodu rozpuszczonego w 0,1 m HCl I

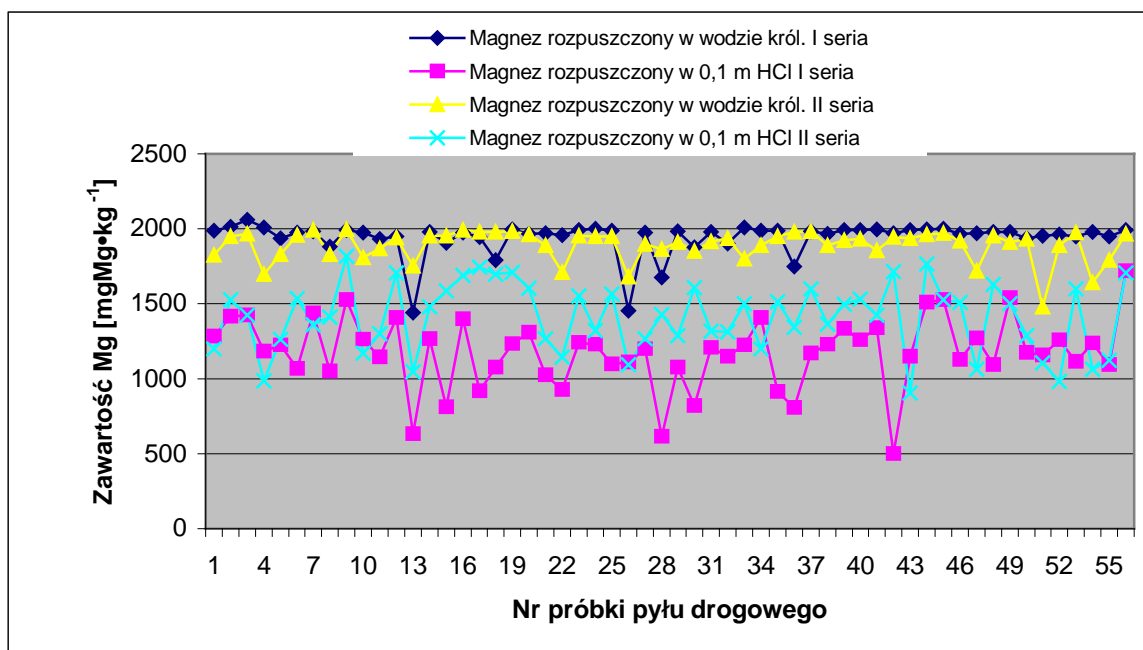
serii wynosił od 12,18 do 94%, średnio 57,6%, natomiast w II serii od 42,12 do 99,51%, przy średniej wartości równej 74,3%. Wszystkie pyły drogowe z wyjątkiem z ulic: Drzewnej, Jędrzychowskiej, Kożuchowskiej i Wojska Polskiego miały zawartość sodu wyższą w I serii poboru od zawartości w II serii poboru w granicach od 4,45 do 76,52%. Najwięcej sodu w pyłe drogowym I serii oznaczono w pyłe drogowym na ulicach: Ułańskiej, Botanicznej, Strzeleckiej, natomiast w II serii badań na ulicach: Kożuchowskiej, Zjednoczenia a także podobnie jak w pierwszej serii na ul. Strzeleckiej. Najmniejsze ilości sodu odnotowano na Placu Matejki, ulicy Drzewnej i ulicy Jedności w I serii oraz na ulicy: Pięknego, Ptasiej i Placu Powstańców Śląskich w II serii badań.

Sód rozpuszczony w 0,1 m HCl był istotnie skorelowany z sodem rozpuszczonym w wodzie królewskiej zarówno w pyłe drogowym I serii jak i II serii badań. Analiza statystyczna wykazała korelację w I serii badań wynoszącą $r=0,85$, natomiast w II serii $r=0,91$.

Zawartość magnezu w pyłe drogowym kształtowała się w podobnych zakresach w I i II serii badań. Ilość magnezu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym I serii wynosiła od 1441 do 2062 mg $Mg \cdot kg^{-1}$ i średniej wynoszącej 1941 mg $Mg \cdot kg^{-1}$, natomiast w II serii badań ilość tego składnika wahała się od 1481 do 1997 mg $Mg \cdot kg^{-1}$ i średniej wynoszącej 1891 mg $Mg \cdot kg^{-1}$. Magnez rozpuszczony w 0,1 m HCl w pyłe drogowym zawierał się w przedziale od 498 do 1721 mg $Mg \cdot kg^{-1}$, średnią zawartość równała się 1177 mg $Mg \cdot kg^{-1}$ dla I serii badań, natomiast dla II serii badań próbek pyłu drogowego wynosiła od 904 do 1816 mg $Mg \cdot kg^{-1}$ przy średniej w ilości 1408 mg $Mg \cdot kg^{-1}$. Udział procentowy zawartości magnezu rozpuszczonego w wodzie królewskiej do magnezu rozpuszczonego w 0,1 m HCl wynosił od 25,28 do 86,45% i średniej równej 60,45% dla I serii badań; oraz od 46,72 do 90,9% i średniej wynoszącej 74,95% w II serii badań. Wyższych zawartości magnezu od większości próbek pyłu drogowego nie odnotowano, natomiast najniższe zawartości magnezu występowały na ulicach: Jedności, Chmielnej i Placu Matejki w I serii badań pyłu drogowego oraz na ulicach: Wrocławskiej, Wojska Polskiego i również na Placu Matejki w II serii badań pyłu drogowego.

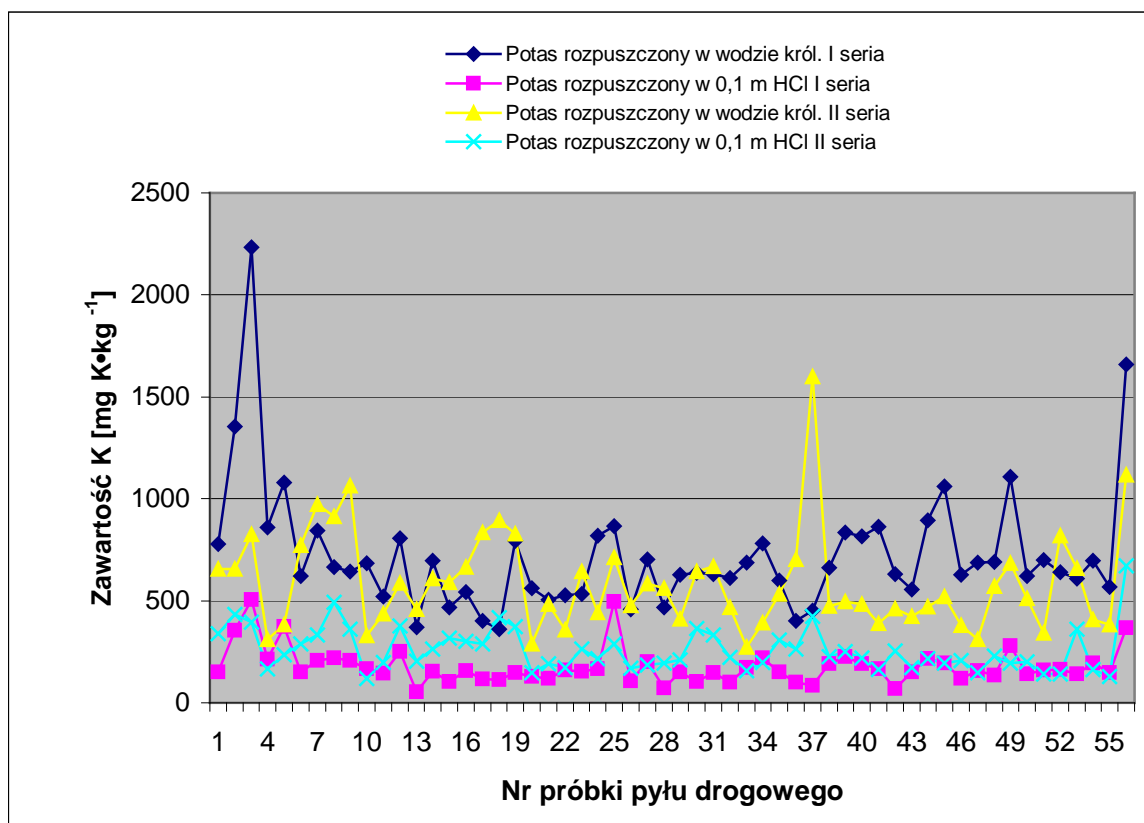
Analiza statystyczna wykazała korelacje zachodzące pomiędzy magnezem rozpuszczonym w wodzie królewskiej w pyłe drogowym I serii a zawartością węgla organicznego w pyłe drogowym I serii. Współczynnik korelacji w tym przypadku wynosił $r = 0,54$.

W pyłe drogowym pobranym w I serii zawartość magnezu rozpuszczalnego w 0,1 m HCl była zależna od ilości magnezu rozpuszczonego w wodzie królewskiej, współczynnik korelacji wynosił $r = 0,51$.



Rys. 44. Zawartość magnezu w pyłe drogowym

Zawartość potasu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym w I serii badań była wyższa niż w II serii i wynosiła od 360 do 2234 mg K·kg⁻¹, przy średniej równej 723 mg K·kg⁻¹ dla I serii oraz od 272 do 1600 mg K·kg⁻¹ i średniej wynoszącej 588 mg K·kg⁻¹ dla II serii. W I serii badań pyłów odnotowano zawartość potasu rozpuszczonego w 0,1 m HCl w zakresie od 52 do 504 mg K·kg⁻¹ przy średniej zawartości wynoszącej 179 mg K·kg⁻¹. W II serii poboru próbek stwierdzono zawartość potasu rozpuszczonego w kwasie solnym w koncentracji od 118 do 670 mg K·kg⁻¹, przy średniej zawartości 259 mg K·kg⁻¹. Udział procentowy całkowitej zawartości potasu do potasu rozpuszczonego w 0,1 m HCl w I serii wynosił od 11,07 do 57,27%, przy średniej wartości 24,65%, natomiast w II serii od 17,35 do 65,85% i średnie wartości 45,69%. Najwyższe zawartości potasu odnotowano na ulicach: Batorego, Dworcowej i Prof. Szafrana w I serii i na Placu Powstańców Śląskich, ulicy Osiedlowej i ulicy Prof. Szafrana II serii badań. Najmniejsze ilości potasu odnotowano na ulicach: Jedności, Chmielnej i Konstytucji 3 Maja w I serii badań oraz na ulicach: Strzeleckiej, Zawadzkiego „Zośki” i Zjednoczenia w II serii badań.

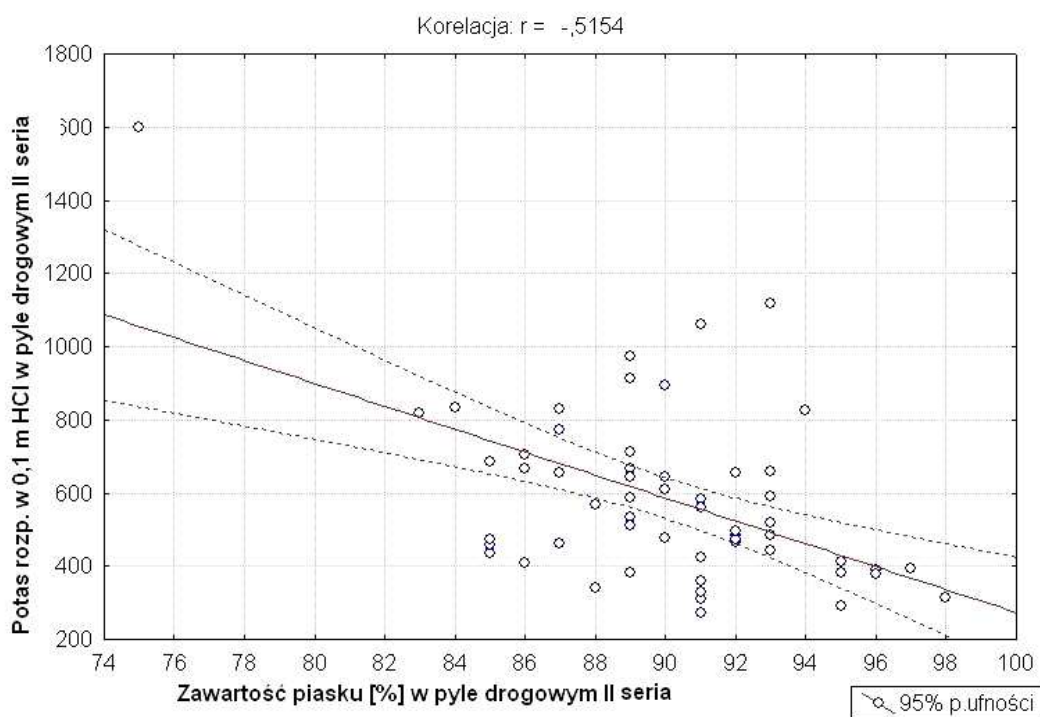


Rys. 45. Zawartość potasu w pyłe drogowym

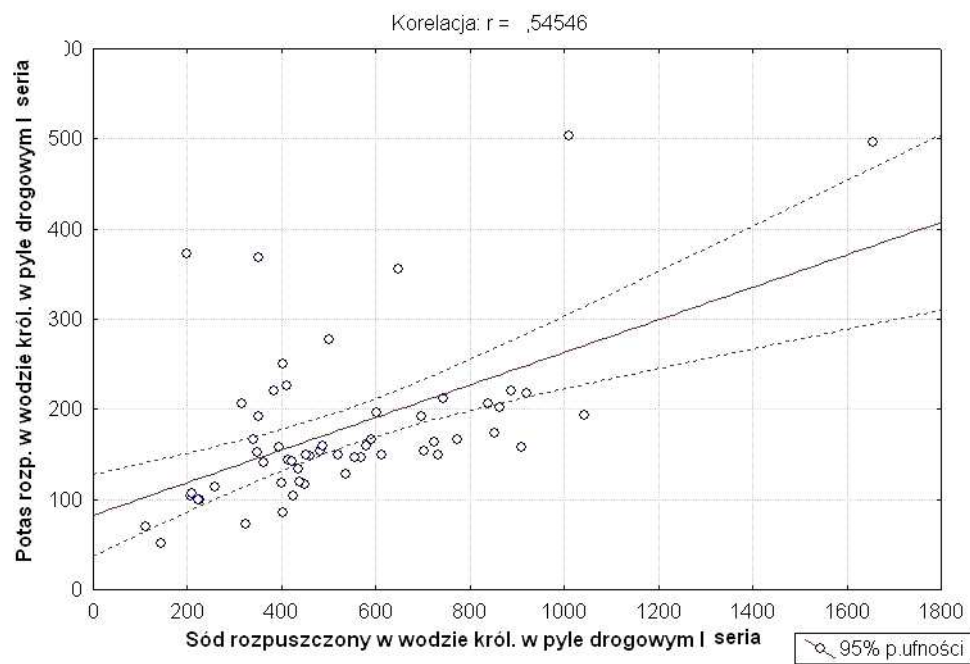
Szczegółowe zestawienie zawartości makroskładników w analizowanych pyłach drogowych ukazano w tabelach 26, 27 i 28 (w załączeniu).

W pyłe drogowym pobranym w II serii zawartość potasu rozpuszczonego w 0,1 m HCl skorelowana była istotnie z zawartością frakcji iłowej – współczynnik korelacji $r = 0,53$ oraz frakcji piasku – współczynnik korelacji $r = -0,51$ (rys. 46).

W I serii badań pyłu drogowego istnieje zależność pomiędzy zawartością potasu rozpuszczonego w wodzie królewskiej i sodu rozpuszczonego w wodzie królewskiej (rys. 47). Analiza statystyczna wykazała, że współczynnik korelacji wynosi w analizowanym przypadku $r = 0,54$.



Rys. 46. Korelacja pomiędzy zawartością potasu rozpuszczonego w 0,1 m HCl oraz zawartością frakcji piasku w pyłe drogowym II serii badań

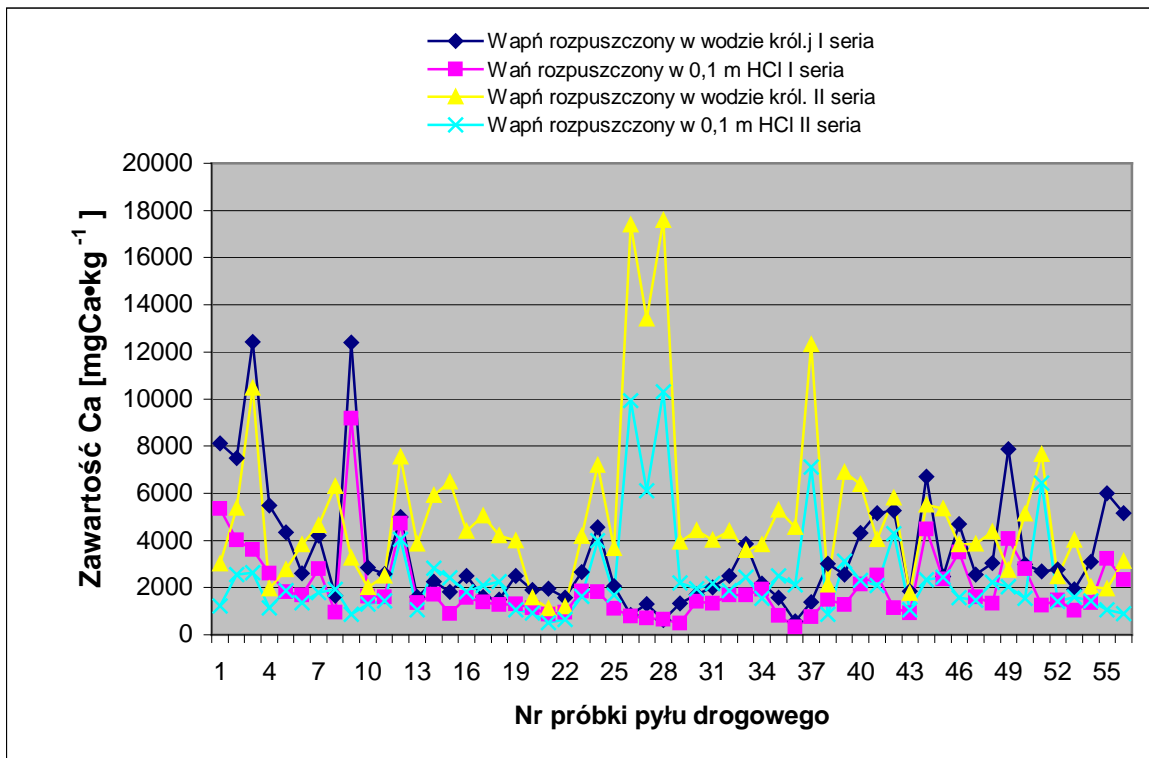


Rys. 47. Korelacja pomiędzy zawartością potasu rozpuszczonego w wodzie królewskiej oraz sodu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłach drogowych pobranych w I serii.

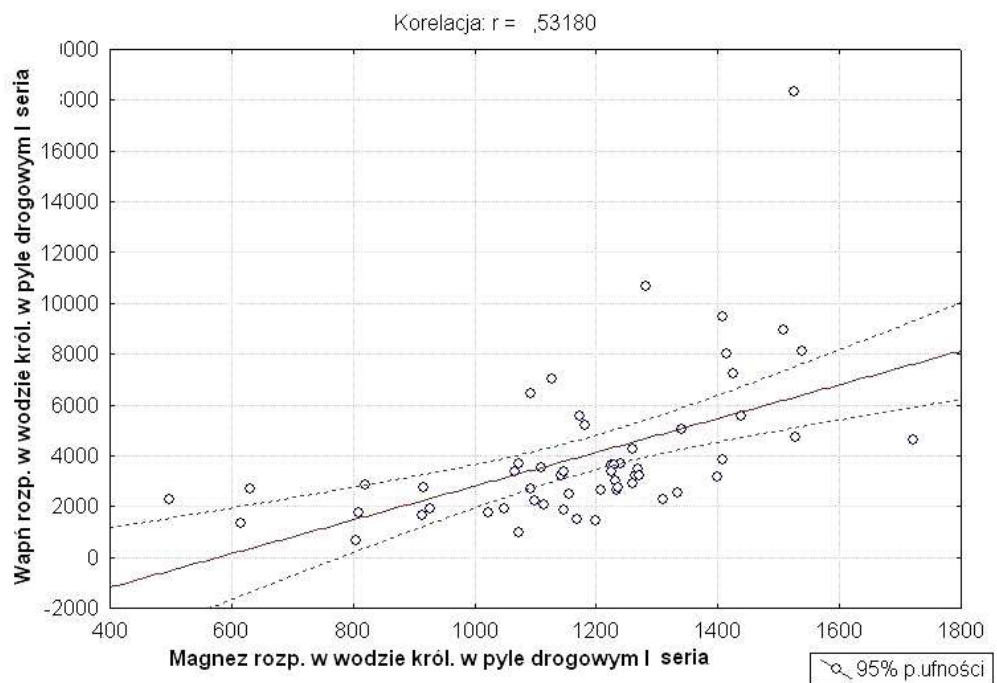
Także istotnie zależna była wartość przewodności elektrycznej oraz zawartość potasu rozpuszczonego w 0,1m HCl w pyłe drogowym pobranym w II serii badań. Współczynnik korelacji wynosił w tym wypadku $r = 0,63$. Statystycznie istotne były także zależności pomiędzy potasem rozpuszczonym w 0,1 m HCl, a potasem rozpuszczonym w wodzie królewskiej zarówno w pyłe drogowym pobranym w I jak i w II serii. Współczynnik korelacji dla I serii wynosił $r = 0,83$ oraz dla II serii $r = 0,76$.

Zawartość w pyłe drogowym wapnia rozpuszczonego w wodzie królewskiej w I serii wynosiła od 578 do 12436 mg Ca·kg⁻¹, średnio 3421 mg Ca·kg⁻¹, w II serii zaś od 1114 do 17588 mg Ca·kg⁻¹, przy średniej zawartości 5006 mg Ca·kg⁻¹. Ilość wapnia rozpuszczonego w 0,1 m HCl zawierała się w przedziale od 325 do 9168 mg Ca·kg⁻¹ i średniej zawartości równej 1963 mg Ca·kg⁻¹ w I serii. W drugiej serii poboru próbek pyłu drogowego wapń rozpuszczony w roztworze kwasu solnego zawierał się w przedziale od 518 do 10314 mg Ca·kg⁻¹, natomiast średni udział procentowy wynosił 2418 mg Ca·kg⁻¹. Udział procentowy wapnia rozpuszczonego w wodzie królewskiej do wapnia rozpuszczonego w 0,1 m HCl wynosił od 21,37% do 96,47%, średnio 60,44% w I serii badań; oraz od 25,21% do 83,97% w II serii, przy średniej równej 48,22%. Zdecydowanie małe zawartości wapnia wystąpiły w I serii na ulicach: Nowojędrzychowskiej, Chmielnej i Placu Matejki, natomiast w II serii na ulicy Ptasiej i w dwóch punktach ulicy Zawadzkiego. Duże ilości wapnia kilkakrotnie większe od średniej zawartości wystąpiły: na ulicy Batorego, Placu Powstańców Śląskich i ulicy Objazdowej w I serii. W II serii duże zawartości wapnia odnotowano na ul. Batorego oraz ul. Botanicznej i ul. Nowojędrzychowskiej.

Analiza statystyczna wykazała istotną zależność pomiędzy zawartością w pyłach drogowych wapnia rozpuszczonego w wodzie królewskiej i zawartością magnezu rozpuszczonego w wodzie królewskiej, w I serii badań; $r = 0,53$ (rys. 49).



Rys. 48. Zawartość wapnia w pyłe drogowym

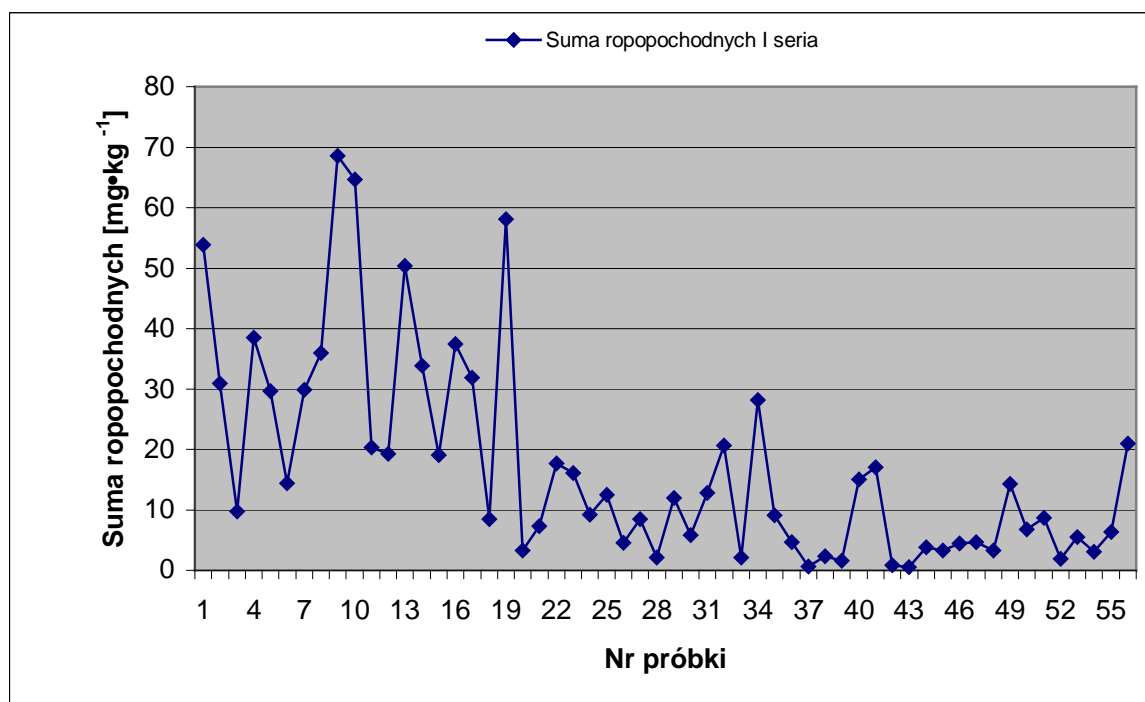


Rys. 49. Korelacja pomiędzy zawartością wapnia rozpuszczonego w wodzie królewskiej a zawartością magnezu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłach drogowych I serii badań

Podobnie jak w przypadku innych składników, zawartość wapnia rozpuszczonego w 0,1 m HCl w badanych pyłach I i II serii badań była skorelowana z ilością tego składnika oznaczonego w wodzie królewskiej. Zależność ta została potwierdzona statystycznie wysokim współczynnikiem korelacji wynoszącym dla I serii $r = 0,85$, natomiast dla II serii $r = 0,92$.

4.2.7. Ropopochodne

Suma ropopochodnych w pyłe drogowym oznaczono w I serii badań. Zawartość ropopochodnych wynosiła od 0,49 do 68,54 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Średnia zawartość produktów pochodnych ropy naftowej dla wszystkich badanych próbek pyłu drogowego I serii wynosiła 17,07 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Największe stężenia substancji ropopochodnych stwierdzono: na Placu Powstańców Śląskich, na ul. Westerplatte oraz ul. Wyszyńskiego. Najmniej substancji ropopochodnych znajdowało się w pyłe drogowym z ulic: Osiedlowej, Waryńskiego i Krakusa.



Rys. 50. Zawartość sumy ropopochodnych w pyłe drogowym

Szczegółowe zestawienie zawartości pochodnych ropy naftowej w analizowanych pyłach drogowych ukazano w tabeli 26 (w załączeniu).

5. Dyskusja

Badania pyłu drogowego w Zielonej Górze, a także w innych miastach na świecie wskazują, że w pyłe znajdują się związki zbliżone do tych, znajdujących w glebach miejskich. Zawartość składników w poszczególnych materiałach, znajdujących w miastach, zależy jednak od wielu różnorodnych czynników modyfikujących skład chemiczny, począwszy od naturalnych spowodowanych składem chemicznym litosfery, a skończywszy na wprowadzonych zanieczyszczeniach z różnych źródeł. Gleba kumuluje liczne zanieczyszczenia i nawet wyeliminowanie źródeł zanieczyszczeń nie powoduje gwałtownej poprawy jej jakości. Liczne związki mają swoje historyczne pochodzenie w dawno nie istniejących oddziaływaniach. Ilość substancji zanieczyszczających (a zwłaszcza niektórych składników) w pyłe drogowym jest wyższa, niż w glebach przyległych do dróg. Liczni autorzy donoszą, że wraz z przybliżaniem się do tras komunikacyjnych zawartość niektórych składników w glebie wzrasta wprost proporcjonalnie, co bez sprzecznie wskazuje na komunikację jako głównego „sprawcę” lokalnie zwiększonych stężeń różnych substancji. Bardzo istotna jest ilość i rodzaj pojazdów poruszających się po drodze, a także rodzaj paliwa używanego do napędu, a nawet od jakiego producenta pochodzi paliwo, na co wskazują badania Hławiczki i Kowalewskiej.

W dużych aglomeracjach miejskich trudno jest ustalić jednoznacznie, jaki odsetek zanieczyszczeń stwierdzonych w pyłe drogowym trafił tam z określonego źródła. Każda niejednorodność powierzchni wpływa na różnice w ilości osadzanego na niej pyłu. Na różnice w zawartości poszczególnych składników w pyłe drogowym mają wpływ także opady atmosferyczne. Powodują one wymywanie składników z terenów położonych wyżej, a także gromadzenie się ich w obniżeniach. Znaczna część, zwłaszcza w okresach ulewnych deszczy trafia do systemu kanalizacji deszczowej lub ogólnospławnej, na obrzeżach miast także do rowów melioracyjnych, a w przypadku dróg nieokrawężnikowanych – na tereny przydrożne.

Różnie opisywany jest w literaturze odczyn gleb miejskich. Licznar S.E. i Licznar M. [2005] stwierdzili, że jest on na ogół kwaśny, co może być spowodowane kwaśnymi deszczami. Badania na obszarze Zielonej Góry nie potwierdzają tego wyniku – występuje tutaj głównie zasadowy i obojętny odczyn gleb, a kwaśny spotykany jest jedynie poza obszarem wzmożonej antropopresji. Analizowane gleby z rond w Lublinie [Łabuda 2005], a także gleby w bliskiej okolicy szlaków komunikacyjnych w Płocku [Kusińska i inni 2005] miały

także odczyn zasadowy, co może wskazywać zasadowy charakter pyłów komunikacyjnych i innych materiałów tworzących typowe gleby urbano- i przemysłowe.

Analizując odczyn pyłów miejskich można stwierdzić, iż jest on różny od odczynu gleb miejskich. Odczyn pyłów drogowych w Zielonej Górze jest bardziej przesunięty w kierunku zasadowego. W Zielonej Górze nie wystąpiły znaczące różnice w odczynie pyłów drogowych pobranych w miesiącach zimowych i letnich. Odczyn nie wykazywał ani latem ani zimą określonej tendencji warunkującej jego kształtowanie się. Odczyn zasadowy pyłów drogowych w Zielonej Górze nie różni się od odczynu pyłów drogowych w innych miastach na świecie. Pyły drogowe w Hong Kongu wykazywały odczyn od 7,85 pH do 9,20 pH [Wong i inni 1984]. Pył drogowy z Lancaster w Wielkiej Brytanii wykazywał odczyn w zakresie od 6,9 do 8,4 pH, w większości przypadków zaś około 7,5 pH [Harrison i inni 1981].

Zasolenie pyłów drogowych w Zielonej Górze jest kilkukrotnie wyższe niż zasolenie gleb miejskich. Na uwagę zasługuje fakt, że zasolenie pyłów drogowych pobranych w zimie jest nawet parokrotnie wyższe od zasolenia pyłów drogowych pobranych latem, tłumaczyć to można faktem używania komponentów chemicznych do przeciwdziałania skutkom oblodzenia. Jednakże tylko jedna próbka pyłu drogowego pobrana w miesiącu zimowym wykazywała przewodność elektryczną powyżej $2 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, a właśnie takie wielu autorów, m.in. Greinert [1998], uznaje za wartość graniczną, powyżej której występują warunki toksyczne dla ozdobnych gatunków i odmian roślin miejskich terenów zieleni.

Skład granulometryczny pyłów drogowych w Zielonej Górze wskazuje na małą zawartość części spławianych, a dużą frakcji piasku, co może mieć wpływ na gorsze właściwości sorbowania zanieczyszczeń. Za zatrzymywanie w pyle drogowym wielu zanieczyszczeń może być jednak odpowiedzialna wysoka zawartość materii organicznej. Zawartość materii organicznej w pyle drogowym w Zielonej Górze jest wyższa niż w glebach Zielonej Góry, co może być spowodowane przedostawaniem się na ulice z poboczy materiałów z wierzchnich warstw gleb, na ogół bardziej zasobnych w materię organiczną. Xie, De-aring i Bloemendal, w swoich badaniach sugerują, że pył drogowy jest ważnym nośnikiem materii organicznej. Glikson natomiast uważa, że związki organiczne wywodzące się z pyłu drogowego wywierają znaczny wpływ na rozwój chorób astmatycznych, co wiąże się z wiązaniem ołowiu przez materię organiczną. Fakt ten wykazują w swoich badaniach także Al-Chalabi i Hawker [1996]. Jeżeli przyjmie się, że za efekt zwiększonej retencji ołowiu w pyle drogowym i glebie odpowiada jeszcze wysokie pH [Xie i inni 2000], daje to w sumie przyczynę zwiększonej ilości ołowiu w pyle drogowym, gdzie odczyn pH jest wy-

soki. Analiza statystyczna pyłów drogowych z Zielonej Góry nie wykazała istotnych korelacji pomiędzy zawartością materii organicznej a zawartością ołowiu, co częściowo można tłumaczyć dużym rozrzutem wyników. Na pewno na ten fakt wpłynęło też zróżnicowanie kompozycji pyłów z różnej materii mineralnej i organicznej, przy zróżnicowanej antropopresji.

Większość badaczy na świecie, analizujących pył drogowy, skupiała swoją uwagę na badaniu zawartości metali ciężkich, zupełnie pomijając zawartość makroskładników.

Zawartość azotu ogólnego w pyłach drogowych wynosi od 0,04% do 0,98% – jest to duża zawartość azotu, gdyż zawartość azotu całkowitego w warstwie ornej gleb Polski wynosi średnio od 0,02% do 0,35% [Zawadzki 1999]. Ta wysoka zawartość spowodowana może być obecnością w pyłach drogowych materii organicznej, aczkolwiek nie zostało to statystycznie udowodnione. Dodatkowo zauważono zróżnicowanie w punktach badawczych zawartości azotu w okresie zimowym i późno-wiosennym. Zawartość fosforu w pyłach drogowych w Zielonej Górze kształtowała się na wysokim poziomie w stosunku do zawartości fosforu w glebach Polski, wynoszącej od 0,01% do 0,2% [Zawadzki 1999]. Zawartość fosforu w pyłach drogowych wynosiła od 0,1% do 0,32% w I serii i od 0,03% do 0,33% w II serii. Podobnie, jak azot fosfor także związany jest z materią organiczną, czym można tłumaczyć wysoką zawartość tego pierwiastka w pyłach drogowych w Zielonej Górze.

Zauważalna jest tendencja wyższej zawartości fosforu w pyłach drogowych pobranych w I serii w stosunku do zawartości fosforu pobranego w II serii. Z nielicznymi wyjątkami wszystkie próbki pyłu drogowego wykazywały wyższą zawartość fosforu w I serii poboru, w paru przypadkach nawet czterokrotnie. Na zwiększoną zawartość fosforu w formie fosforanowej może mieć wpływ występowanie związków ołowiu i cynku. O występowaniu związków ołowiu i cynku głównie w formie fosforanów na terenach przemysłowych donosi Cotter-Howells i Caporn [1996]. Wysoka korelacja pomiędzy występowaniem cynku i fosforanów zwłaszcza w II serii poboru ($r=0,6$) może potwierdzać fakt występowania związków cynku w formie fosforanowej. Zawartość fosforu w pyłach drogowych w Zielonej Górze była wyższa od zawartości jakie uzyskali w pyłach drogowych w miastach na świecie inni badacze pyłów drogowych – Ordonez i inni [2003] w Aviles w Hiszpanii i Wong i inni [1984] w Hong Kongu.

Zawartość sodu w pyłach drogowych w Zielonej Górze w porównaniu z większością gleb Polski, w których zawartość sodu wynosi od 1800 mg·kg⁻¹ do 3700 mg·kg⁻¹ [Zawadzki 1999] jest zawartością na niskim poziomie. Wyraźnie zauważalna jest wyższa zawartość

sodu w pyłe drogowym pobranym w I serii od zawartości w II serii, co wiąże się z wpływem używanych środków do odładzania ulic w okresie zimowym. Istotną informacją w tym zakresie jest korelacja pomiędzy zawartością sodu a przewodnością elektryczną pyłów drogowych. W porównaniu z zawartością sodu w pyłe drogowym w Aviles (miasto położone nad oceanem) w Hiszpanii [Ordóñez i inni 2002] zawartość sodu w pyłe zielonogórskim jest nawet parokrotnie wyższa. Zawartość potasu w pyłe drogowym występuje na niskim poziomie w stosunku do zawartości potasu w glebach Polski, wynoszącej od $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w torfach do $20000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w iłach [Zawadzki 1999]. Podobną zawartość potasu uzyskano w pyłe drogowym w Aviles [Ordóñez i inni 2002]. Zawartość wapnia w pyłe drogowym w Zielonej Górze w stosunku do zawartości gleb Polski według Zawadzkiego [1999] i w glebach miejskich Zielonej Góry [Greinert 2003] jest zawartością na niskim poziomie. Na wyższych poziomach niż w Zielonej Górze występował wapń w pyłe drogowym w Aviles [Ordóñez i inni 2002]. Magnez występujący w pyłach drogowych Zielonej Góry mieści się w zakresach typowych dla gleb Polski wg Zawadzkiego [1999]. W I i II serii poboru próbek uzyskano podobne wyniki, jednakże były one nawet sześciokrotnie niższe od zawartości wapnia w pyłe drogowym hiszpańskiego Aviles.

Większe ilości zanieczyszczeń w glebach w pobliżu tras komunikacyjnych (w tym metali ciężkich) zostały bezsprzecznie wykazane w licznych badaniach [Licznar S. E. i Licznar M. 2005, Kusińska i inni 2005, Simeonova i inni 2005, Wiczorek i inni, Dmochowski i Bednarek 2005 i wielu innych]. Wielu z badaczy podaje wyniki zawartości metali ciężkich tradycyjnie łączonych z komunikacją. Pb, Cd, Zn i Cu są związane w ten sposób według Jabeena i innych [2001]. Według Kusińskiej i innych [2005], Mashi i innych [2006], do tej listy należałoby jeszcze dołożyć Cr i Fe, natomiast El-Hasan [2006] dodaje jeszcze Mn.

Pył drogowy w Zielonej Górze wskazuje, że jest to materiał bardziej zanieczyszczony metalami ciężkimi niż gleby zlokalizowane w pobliżu dróg. Porównując zawartość miedzi, ołowiu, cynku, niklu, kobaltu i kadmu w pyłe drogowym I i II poboru do zawartości tych metali w glebach pasów przydrożnych można stwierdzić, że każdego z tych pierwiastków jest do kilkunastu razy więcej w pyłe drogowym. Cynk, miedź, chrom, nikiel, kobalt, żelazo i mangan występują w I i II serii badań w podobnych zakresach, jednakże nie zauważono, aby zawartość tych pierwiastków powtórzyła się na takim samym poziomie w I i II serii badań. Przy zawartości kadmu w pyłe drogowym zauważalna jest większa zawartość w pyłach w II serii badań, zawartość ołowiu w pyłe drogowym w 80% przypadków jest także wyższa w II serii.

Jak już wspomiano w tej pracy, nie istnieją normy kwalifikujące pyły drogowe zalegające na ulicach miast pod względem czystości. Jest to jednak pod względem wielu właściwości (np. składu mineralogicznego) materiał zbliżony do gleby. Porównując zawartość zanieczyszczeń w pyłe drogowym do obowiązującego w Polsce Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby i ziemi (tab. 21), stwierdzić należy, iż wszystkie wyniki mieszczą się poniżej podanych jako skrajne dla grupy C, dla grupy B i A normy są jednak przekraczane.

Tabela. 21. Zawartość metali w pyłe drogowym w świetle wartości dopuszczalnych stężeń tych metali według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz jakości ziemi

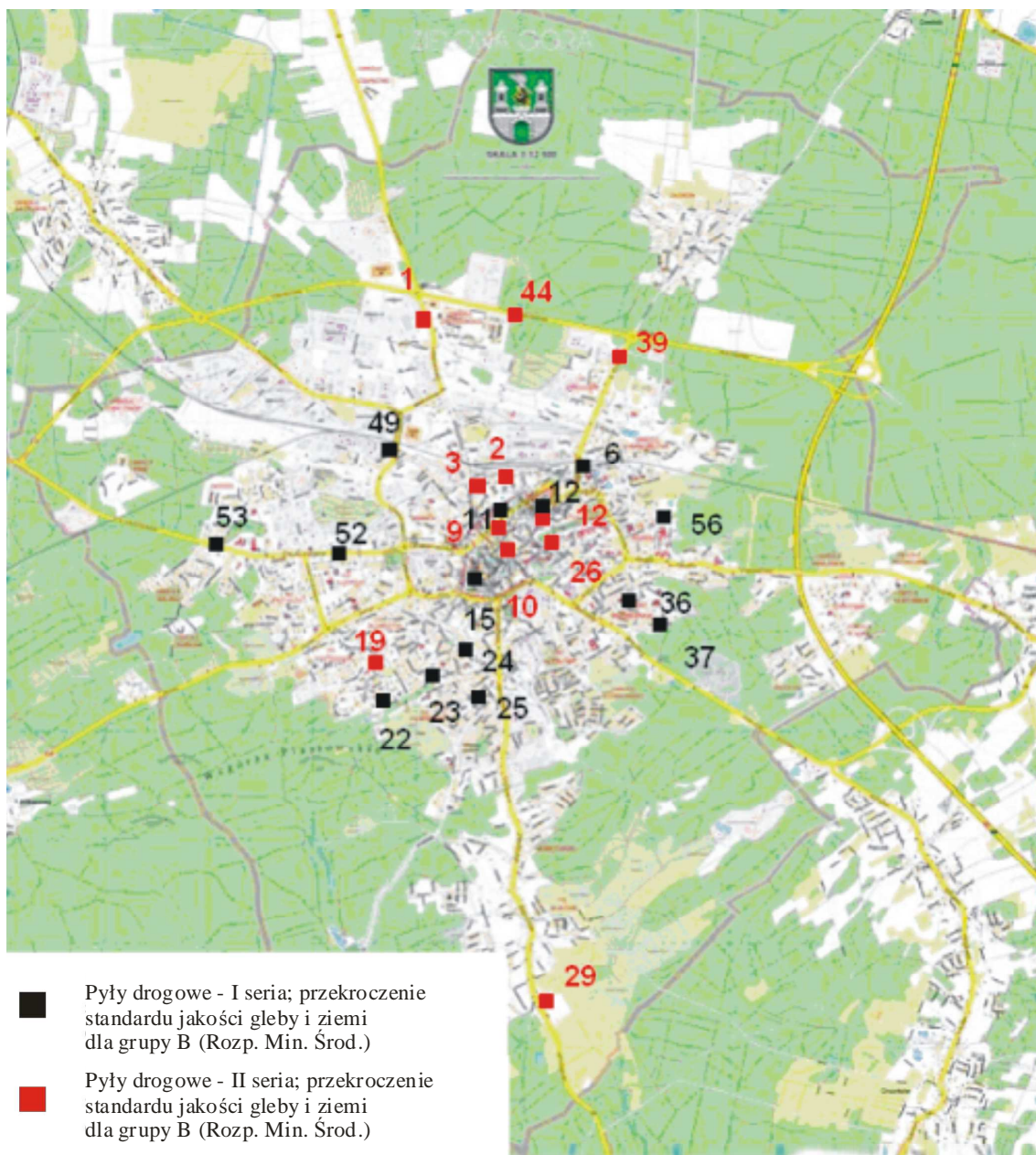
Zanieczyszczenie	Zawartość składnika pyłe drogowym		Grupa A	Grupa B	Grupa C
	I tura	II tura			
			Nieruchomości gruntowe wchodzące w skład obszaru poddane ochronie na podstawie przepisów ustawy Prawo Wodne oraz obszary poddane ochronie na podstawie przepisów o ochronie przyrody	Grunty zaliczane do użytków rolnych z wyłączeniem gruntów pod stawami i rowami, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione, nieużytki a także grunty zabudowane i zurbanizowane z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopalnych oraz terenów komunikacyjnych	Tereny przemysłowe, użytki kopalne, tereny komunikacyjne
				Głębokość 0,0-0,3 m p.p.t	Głębokość 0,0-2,0 m p.p.t.
	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$				
Chrom	6,3-48,5	7,2-46,8	50	150	500
Cynk	20,4-409,9	28,2-272,0	100	300	1000
Kadm	0,2-2,1	0,4-9,7	1	4	15
Kobalt	1,1-29,5	0,9-12,8	20	20	200
Miedź	15,8-254,3	12,4-150,2	30	150	600
Nikiel	5,9-48,8	7,7-53,4	35	100	300
Ołów	8,7-278,5	27,5-172,8	50	100	600
Węglowodory	0,5-68,5	n.o.	31	51	3500

Liczbę próbek pyłów drogowych, które nie spełniają wymogów Rozporządzenia MŚ w sprawie standardów jakości gleby i ziemi przedstawiono w tab. 22, natomiast ich rozkład na mapie Zielonej Góry przedstawiono na rys. 53.

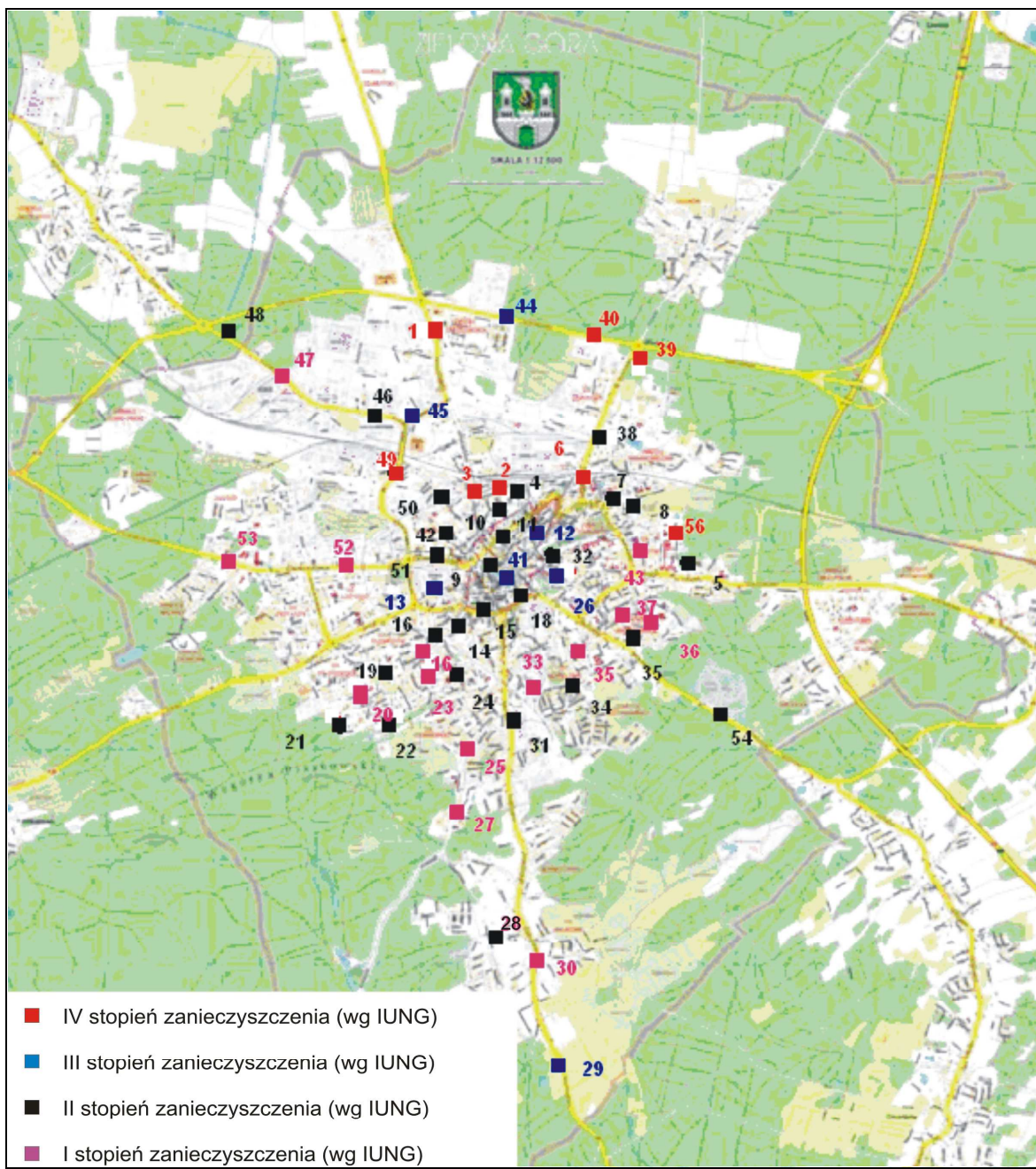
Tabela. 22. Liczba próbek pyłu drogowego, które przekraczają standardy jakości gleby i jakości ziemi z Rozporządzenia MŚ z 9 września 2002 r.

Zanieczyszczenie	Grupa A		Grupa B		Grupa C	
	I seria	II seria	I seria	II seria	I seria	II seria
	Liczba próbek pyłów drogowych, które nie spełniają standardów jakości gleby i jakości ziemi					
Chrom	0	0	0	0	0	0
Cynk	31	27	3	0	0	0
Kadm	8	35	0	8	0	0
Kobalt	1	0	1	0	0	0
Miedź	50	43	3	1	0	0
Nikiel	1	2	0	0	0	0
Ołów	19	34	8	12	0	0
Węglowodory	9	0	4	0	0	0

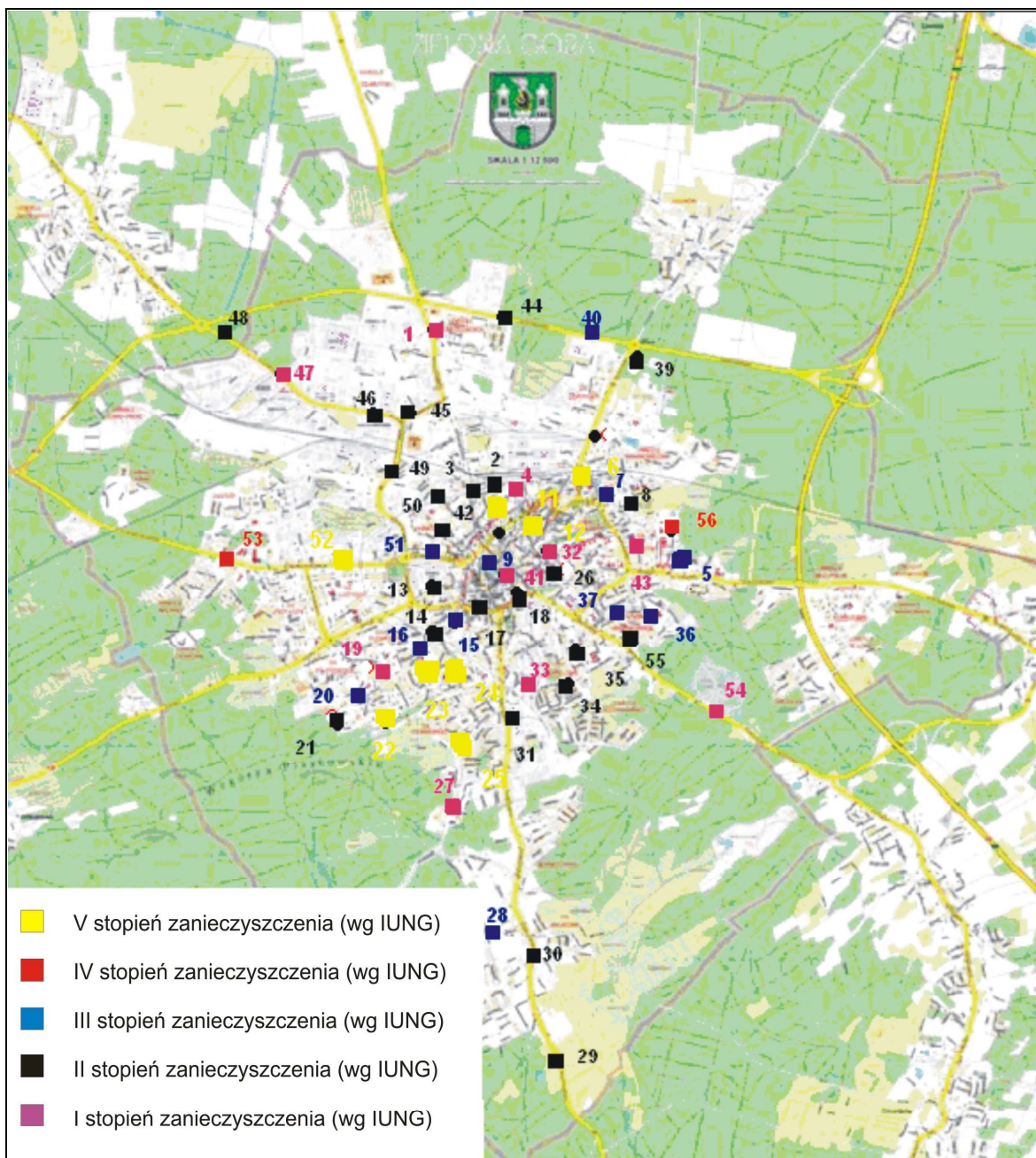
Oceniając zawartość metali ciężkich w pyłe drogowym odnosząc ją do zawartości granicznych zanieczyszczenia powierzchniowych warstw glebowych (z istoty rzeczy podlegających wzmożonym procesom erozyjnym) według IUNG [Kabata-Pendias 1995] możemy stwierdzić, że w I serii poboru pyłu drogowego wykazują zanieczyszczenie od I do IV stopnia, natomiast w II serii poboru pyłu drogowego od I do V stopnia. Lokalizację punktów poboru próbek pyłu drogowego I serii z uwzględnieniem stopnia zanieczyszczeń przedstawiono na rys. 54, natomiast lokalizację punktów poboru pyłu drogowego II serii poboru z uwzględnieniem stopnia zanieczyszczeń na rys. 55.



Rys. 53. Lokalizacja próbek pyłu drogowego I i II serii, w których zawartość metali ciężkich i węglowodorów przekracza standardy jakości gleby i ziemi dla grupy B wg Rozporządzenia MŚ z dnia 9 września 2002 roku



Rys. 51. Lokalizacja punktów, w których pył drogowy pobrany w I serii odpowiada poszczególnym stopniom zanieczyszczenia wg IUNG



Rys. 52. Lokalizacja punktów, w których pył drogowy pobrany w II serii odpowiada poszczególnym stopniom zanieczyszczenia wg IUNG

Badacze pyłów drogowych nie zwrócili uwagi na fakt, że nie zawsze duże ilości zanieczyszczeń stwierdza się w miejscach o dużym natężeniu ruchu, zwłaszcza na terenach o skomplikowanym układzie przestrzennym i wysokościowym. W Zielonej Górze nie uważano istotnej zależności zawartości zanieczyszczeń z natężeniem ruchu drogowego, ale stwierdza się bezsprzecznie, że w niektórych punktach na ulicach miasta, zanieczyszczeń (a zwłaszcza metali ciężkich) jest więcej niż w pozostałych. Po dokładnym przeanalizowa-

niu tych punktów na tle topografii miasta okazuje się, że zwiększone ilości składników w pyłe drogowym zlokalizowane są na tych ulicach, które leżą w obniżeniach terenu, także na ulicach generalnie płaskich. Na ulicach nachylonych zanieczyszczeń tych jest zdecydowanie mniej. Bez wątplenia jest to powodowane zmywem powierzchniowym pyłów drogowych przez opady atmosferyczne, transportem wraz z frakcjami spławialnymi i kumulowaniem w miejscach, gdzie woda dłużej stagnuje. Zanieczyszczenia rozpuszczone w wodzie sorbowane są następnie przez zalegający w obniżeniach pył drogowy. Wiele zanieczyszczeń występuje w formach łatwo rozpuszczalnych, co ułatwia wodom deszczowym ich transport na dalekie odległości. W Zielonej Górze znaczna część ulic skonstruowanych jest w postaci długich, prostych odcinków o stałym spadku, co powoduje, że woda z obfitych opadów porusza się w nich jak w korytach rzek. Jeżeli woda ta nie spłynie do kanalizacji, zatrzymuje się dopiero w obniżeniach lub na płaskich terenach. Przykładami tak ukształtowanych miejsc w Zielonej Górze są: ulica Bema w okolicy wiaduktu, Batorego przy skrzyżowaniu z ulicą Rzeźniczką, ulica Batorego przy skrzyżowaniu z ulicą Dworcową, Dworcowa przy skrzyżowaniu z ulicą Akacjową. Tłumaczy to też, dlaczego więcej jest metali ciężkich, a zwłaszcza ołowiu w pyłach drogowych niż w glebach w miejscach przyległych do poboru pyłów drogowych. Jaben i inni [2001], Kusińska i inni [2005], Dmowski i Bednarek [2005], Yongming i inni [2006], Grigalavicene, Rutkoviene [2005], Mashi i inni [2006] oraz wielu innych badaczy potwierdzają wpływ dróg na zwiększone koncentracje metali ciężkich, zwłaszcza ołowiu, cynku i miedzi w pyłe drogowym. Stosunkowo wysokie opady deszczu Zielonej Górze, ze względu na strefę klimatyczną, w której się znajduje (klimat huminowy) mają pozytywny wpływ na zmywanie i przemywanie zanieczyszczeń w przeciwieństwie do miast w strefie klimatu suchego, którymi zajmował się np. Al-Khashman [2007] – Amman w Jordanii. Woda opadowa działa jak „pralka”, wymywając zanieczyszczenia z powierzchniowych warstw gleb i zalegających na drogach pyłów.

W gwałtowne deszcze woda ta dostaje się na ulice wraz z frakcjami spławialnymi i spływa zgodnie z prawem grawitacji wzdłuż ulic na tereny niżej położone. Jeżeli wzdłuż jej trajektorii ruchu, znajduje się studzienka kanalizacyjna, woda ta trafi do oczyszczalni ścieków, jeżeli zaś nie, dotrze do takiego miejsca, gdzie może spokojnie się zatrzymać lub rozlać (braki w okrawężnikowaniu ulic). Ważne jest, aby studzienki kanalizacyjne były sprawne. Przykładem tego jak niesprawne studzienki kanalizacyjne przy nagromadzeniu pyłu drogowego, mogą dezorganizować funkcjonalność miasta był bardzo ulewny deszcz w 2006 roku, gdzie wiele rond i skrzyżowań w mieście zostało zalane zawieszoną szlamu,

a woda tam zalegająca osiągała poziomy nawet do 1,5 m. Znając układ wysokościowy miasta wraz ze znajomością spadków ulic i ilością opadów można modelować rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń opisywaną drogą. Jesteśmy w stanie przewidzieć, w których miejscach na ulicach może znajdować się zwiększona koncentracja zanieczyszczeń. Czasami widoczna jest gołym okiem „ławica” pyłu drogowego na ulicy, co może być oznaką tego, że jest to miejsce, do którego zawsze spływa woda i w tym miejscu mogą znajdować się duże ilości zanieczyszczeń.

Zawartość żelaza w pyłach drogowych Zielonej Góry występuje na niższym poziomie od średniej zawartości w glebach Polski, wynoszącej około $25000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [Zawadzki 1999]. Zawartość tego pierwiastka w pyłach drogowych Zielonej Góry osiąga od 16% do 36% tej wartości. Badacze pyłów drogowych na świecie raczej nie oznaczali tego pierwiastka w pyłach, jednak Ordonez [2003] w swoim szczegółowym badaniu pyłu drogowego wykazał nawet pięciokrotnie wyższą zawartość niż w Zielonej Górze. Mangan w glebach Polski występuje w koncentracjach od $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $4000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [Zawadzki 1999], w pyłach drogowych występuje w analogicznym zakresie. Podobne koncentracje stwierdzono w Istambule [Sezgin 2003].

Zawartość ołowiu w glebach będących pod wpływem bezpośredniego oddziaływania przemysłu jest bardzo różna [Gancarczyk-Gola i inni 2005]. Zawartość tego pierwiastka w glebach Polski waha się od 25 do $40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 29 próbek z I serii badań i 41 próbek z II serii badań pyłu drogowego przekraczały przeciętną zawartość ołowiu uznawaną za tło geochemiczne gleb.

Porównanie zawartości metali ciężkich w pyłach drogowych w Zielonej Górze z zawartością tych pierwiastków w pyłach innych miast na świecie ukazano w tabeli 23. Można stwierdzić, że ilość metali ciężkich w pyłach drogowych nie jest proporcjonalna do wielkości miasta, a zależy od wielu innych czynników.

W wielu miastach o różnej wielkości zawartość metali ciężkich w pyłach drogowych notowana jest w podobnych zakresach. Aviles w Hiszpanii z osiemdziesięcioma tysiącami mieszkańców, a także kilkumilionowy Hong Kong i Istambuł wykazują zakresy zawartości metali ciężkich wyższe niż w Zielonej Górze. Oslo, Madryt, Hawaje, Ontario – stolice państw i regionów z dużo większą liczbą mieszkańców reprezentują obszary, na których stwierdza się niższe zawartości metali ciężkich w pyłach drogowych niż w pyłach w Zielonej Górze. W Halifax, Christchurch, Kingston i Seulu odnotowano w pyłach drogowych wyższe niż w Zielonej Górze stężenia ołowiu i cynku, natomiast niższe kadmu i miedzi.

Taka zawartość metali ciężkich w pyłe drogowym jaką odnotowano w Zielonej Górze, ukazuje potrzebę stałego monitoringu, ograniczania powstawania i stałego usuwania pyłów drogowych. Przeciwdziałanie powstawaniu pyłów drogowych musi skupiać się na ograniczeniu emisji ze źródeł przemysłowych, ciepłowniczych i komunikacyjnych, a także takie gospodarowanie przestrzenią miasta, aby ograniczyć erozję terenów nią zagrożonych. Ważne jest także sprawne i systematyczne sprzątanie ulic i placów i usuwanie z nich pyłów drogowych poprzez wyspecjalizowane służby.

Tab. 23. Koncentracje zanieczyszczeń metalami ciężkimi: Cd, Cu, Pb, Zn w pyłe drogowym w różnych miastach świata

Miasto	Autor badań*	mg·kg ⁻¹					Roztwór
		Kadm	Miedź	Ołów	Cynk		
Amman	1	2,5-3,4	69-119	219-373	n.o.		50% HNO ₃
Londyn	2	6250	61-325	413-2241	n.o.		Stęż. HNO ₃
Londyn	3	6,5	197	3030	1174		4 M HNO ₃
Nowy Jork	3	8	355	2583	1811		4 M HNO ₃
Halifaks	3	1	87	1297	468		4 M HNO ₃
Christchurch	3	1	138	1090	548		4 M HNO ₃
Kingston	3	0,8	65,5	863	765		4 M HNO ₃
Seul	4	3	101	245	296		HNO ₃ +HCl
Oslo	5	1,4	123	180	412		HNO ₃
Madryt	5	n.o.	188	193	476		HClO ₄ +HF
Bahrain	6	72	n.o.	697	152		HNO ₃ +HCl
Manchester	7	n.o.	n.o.	970	n.o.		2 M HNO ₃
Cincinnati 1990	8	n.o.	1219	662	n.o.		2 M HNO ₃
Cincinnati 1998	8	n.o.	253	650	n.o.		2 M HNO ₃
Ontario	9	0,85	87	90	227		HClO ₄ +HF
Hawaii	10	n.o.	167	106	434		HClO ₄ +HF
Bursa Turcja	11	3,1	n.o.	210	57		HNO ₃ +HCl
Karak Jordania	12	n.o.	0,8-80	1,4-609	1,8-123		HNO ₃ +HCl
Hong Kong	13	n.o.	86-334	233-2006	571-2372		HNO ₃ +HCl
Istanbul	14	0,8-6,7	47,2-1385	61-382	1852		HNO ₃ +HCl
Aviles Hiszpania	15	9,6-104	104-374	330-964	2422-		HNO ₃ +HCl
Zielona Góra	16	0,2-9,7	12-254	8-278	20-409		HNO₃+HCl

*Autorzy badań: 1. Jires i inni 2001, 2. Leharze i inni 1992, 3. Fergusson i Ryan 1984,

4. Chon i inni 1995, 5. de Miguel i inni 1997, 6. Akheter i Madany 1993, 7. Day i inni 1975, 8. Tong 1998, 9. Stone i Marsalek 1996, 10. Sutherland i Tolosa 2000, 11. Arslan 2001, 12. Al-Khashman 2004, 13. Wang i inni 1998, 14. Sezgin i inni 2005, 15.. Ordonez i inni 2003, 16. Walczak 2001

n.o. – nie oznaczono

 wartości niższe niż w Zielonej Górze

 wartości zbliżone do wartości w Zielonej Górze

 wartości wyższe niż w Zielonej Górze

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Pył zalegający w miastach jest materiałem uciążliwym, co wynika z jego kompozycji granulometrycznej, właściwości fizyczno-chemicznych i składu chemicznego.
2. Zawartość zanieczyszczeń w pyłe drogowym jest wyższa niż w glebach obszarów bezpośrednio przylegających do dróg, co ilustruje wielodrogowość dostawiania się ich na analizowane obszary.
3. Ze względu na zawartość metali ciężkich, pyły drogowe odpowiadają materiałom gruntowym od I do V stopnia zanieczyszczenia według skali IUNG.
4. Ze względu na zawartość metali ciężkich i węglowodorów, pyły drogowe spełniają standardy jakości gleby i ziemi dla terenów komunikacyjnych i przemysłowych (grupa C), natomiast nie zawsze spełniają standardów dla terenów zabudowanych i zurbanizowanych (grupa B). Jest to problematyczne z uwagi na postrzeganie dróg wewnętrznych (poza arteriami przelotowymi), jako elementów osiedlowych.
5. Skład chemiczny i właściwości fizyczno-chemiczne pyłów wykazują znaczną zmienność czasową, co jest rezultatem nierównomiernej antropopresji zarówno w ciągu roku, jak też w kolejnych latach.
6. Nie zawsze zwiększony ruch samochodowy koresponduje ze zwiększoną akumulacją zanieczyszczeń w pyłe drogowym.
7. Na terenach zurbanizowanych, charakteryzujących się różnicami wysokości względnej, występują ulice (najczęściej wyżej położone), na których notuje się wymywanie zanieczyszczeń z pyłu drogowego (nie zawsze z widocznym zmywem samego pyłu). Ulice niżej położone i płaskie, odznaczają się kumulacją zanieczyszczeń w pyłe drogowym.
8. Z uwagi na zaobserwowane właściwości pyłów drogowych, konieczne jest podjęcie działań zmierzających do: zwiększenia częstotliwości usuwania pyłu drogowego z arterii komunikacyjnych, wyeliminowania miejskich terenów nie pokrytych roślinnością, szczególnie na obszarach przydrożnych, zmniejszenia ruchu samochodowego w centrach miast, polepszenia stanu technicznego samochodów, ograniczenia emisji zanieczyszczeń przemysłowych i komunalnych na terenach miejskich.

7. Spis literatury

L.p	Autor	Tytuł	Miejsce opublikowania	Rok	Tom	Numer	Strony
[1].	Adachi K., Tainosho Y.	Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust	Environment International	2004	30	8	1009-1017
[2].	Akhter M.S., Madany I.M.	Heavy metals in street and house dust in Bahrain	Water Air Soil Pollution	1993	66		111-119
[3].	Al.-Khashman O.A.	The investigation of metal concentrations in street dust samples in Aqaba city, Jordan	Environmental Geochemistry and Health	2007	29		197-207
[4].	Al-Chalabi A.S., Hawker D.	Retention and exchange behaviour of vehicular lead in street dusts from major roads	The Science of the Total Environment	1996	187		105-119
[5].	Al-Khashman O.A.	Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan	Atmospheric Environment	2004	38		6803-6812
[6].	Alloway B.J., Ayres D.C.	Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska	Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa	1999			
[7].	Arslan H.,	Heavy metals in street dust in Bursa, Turkey.	J. Trace Microprobe. Tech.	2001	19		439-445
[8].	Badyda A.	Wieloaspektowy wpływ ruchu drogowego i zatorów komunikacyjnych na środowisko społeczne aglomeracji miejskiej, na przykładzie Warszawy	Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław	2005			13-19
[9].	Bielak S.	Autostrada przez uzdrowisko	Aura	2001		1	14-16
[10].	Bjerg P.L., Christensen T.H.	A field experiment on cation exchange-affected multi-component solute transport in a sandy aquifer	Journal of Contaminant Hydrology	1993	12		269-290

- | | | | | | | | |
|-------|---|---|--|------|----|----|-----------|
| [11]. | Boni C., Caruso E., Cereda E., Lombardo G., Braga Marcazzan G.M., Redaelli P. | Particulate matter elemental characterization in urban areas pollution and source identification | Journal of Aerosol Science | 1988 | 19 | 7 | 1271-1274 |
| [12]. | Charlesworth s., Everett M., McCarthy R., Ordóñez a., de Miguel E. | A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK | Environment International | 2003 | 29 | | 563-573 |
| [13]. | Chłopek Z. | Ocena wpływu organizacji ruchu pojazdów drogowych na globalną emisję substancji szkodliwych dla środowiska naturalnego | Chemia i Inżynieria Ekologiczna | 2000 | 7 | 7 | 723-737 |
| [14]. | Chon H.T., Kim K.W., Kim J.Y. | Metal contamination of soils and dusts in Seoul metropolitan city, Korea | Environmental Geochemistry and Health | 1995 | 17 | | 139-146 |
| [15]. | Ciećko Z., Najmowicz T. | Źródła zanieczyszczenia środowiska arsenem i możliwości jego inaktywacji | Sozologia | 2003 | | 2 | 36-41 |
| [16]. | Cieślak-Golonka M. | Związki chromu w układach o znaczeniu biologicznym | Wiadomości Chemiczne | 1994 | | 48 | 59-69 |
| [17]. | Cotter-Howells J. | Lead phosphate formation in soil | Environment Pollution | 1996 | 93 | 1 | 9-16 |
| [18]. | Cotter-Howells J., Caporn S. | Remediation of contaminated land by formation of heavy metal phosphates | Applied Geochemistry | 1996 | 11 | | 335-342 |
| [19]. | Culbard E. B., Thornton I., Watt J., Wheatley M., Moorcroft S., Thompson M. | Metal Contamination in British Urban Dusts and Soils | J. Environ | 1988 | 17 | 2 | 226-235 |
| [20]. | Damczyk K., Demidowicz M., Lewicki Z. | Stan Środowiska w województwie lubuskim w 2001 roku | Biblioteka Monitoringu Środowiska Zielona Góra - Gorzów Wielkopolski | 2002 | | | 22-42 |
| [21]. | Damczyk K., Demidowicz M., Lewicki Z., Szenfeld M. | Stan środowiska w województwie lubuskim w latach 1999- 2003 | Biblioteka Monitoringu Środowiska Zielona Góra - Gorzów Wielkopolski | 2004 | | | 22-31 |

- | | | | | | | | |
|-------|---|--|--|------|-----|-----|-----------|
| [22]. | Davies D.J.A., Watt J.M., Thornton I. | Lead levels in Birmingham dusts and soils | The Science of the Total Environment | 1987 | 67 | | 177-185 |
| [23]. | de Miguel E., Llamas J.F., Chacon E., Berg T., Larssen S., Røyset O., Vadset M. | Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead | Atmospheric Environment | 1997 | 31 | 17 | 2733-2740 |
| [24]. | Dmuchowski W., Badurek M. | Influence of road and railway transportation routes on environmental pollution with heavy metals on the basis of bioindicative methods | Ecological Chemistry and Engineering | 2005 | 12 | 4 | 369-375 |
| [25]. | Elsom D. | Atmospheric Pollution | Blackwell, Oxford | 1987 | | | |
| [26]. | Galwas-Zakrzewska M., Makles Z. | Wpływ biokomponentów paliwowych na zanieczyszczenia powietrza | Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów | 2005 | 39 | 2 | 69-73 |
| [27]. | Gancarczyk-Gola M., Palowski B. | Metale ciężkie i pH powierzchniowych warstw gleby wokół centrów przemysłowych oraz na terenach wolnych od zanieczyszczeń | Roczniki gleboznawcze | 2005 | LVI | 1-2 | 59-66 |
| [28]. | Gąsiorek M., Niemyska-Łukaszuk J. | Kadm i ołów w glebach antropogenicznych ogrodów klasztornych Krakowa | Roczniki gleboznawcze | 2004 | LV | 1 | 127-134 |
| [29]. | Greinert A. | Przewodnik do ćwiczeń z gleboznawstwa i ochrony gleb | Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej. Zielona Góra | 1998 | | | |
| [30]. | Greinert A. | Studia nad glebami obszaru zurbanizowanego Zielonej Góry | Uniwersytet Zielonogórski. Zielona Góra | 2003 | | | |
| [31]. | Greinert A. | Ochrona i rekultywacja terenów zurbanizowanych | Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej. Zielona Góra | 2000 | | | |

- | | | | | | | | |
|-------|--|---|---|------|----|-----|-----------|
| [32]. | Greinert H., Greinert A. | Wpływ akcji zimowego utrzymania dróg na zasolenie gleb i stan roślinności przydrożnej w Zielonej Górze | Studia i Materiały. Ekologia pogranicza. Instytut Badań i Ekspertyz Naukowych. Gorzów Wlkp. | 2004 | 22 | 1-2 | 355-361 |
| [33]. | Greinetr H., Greinert A. | Ochrona i rekultywacja środowiska glebowego | Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej. Zielona Góra | 1999 | | | 51-75 |
| [34]. | Greszta J., Gruszka A., Kowalkowska M. | Wpływ immisji na ekosystem | Wydawnictwo Naukowe. Katowice | 2002 | | | |
| [35]. | Grigalavičienė I., Rutkoviėnė V., Marozas V. | The Accumulation of Heavy Metals Pb, Cu and Cd at Roadside Forest Soil | Polish Journal of Environmental Studies | 2005 | 14 | 1 | 109-115 |
| [36]. | Grzembera A. | Mchy w służbie ochrony środowiska | http://kopalniawiedzy.pl/wia_domosc_3950.html | 2007 | | | |
| [37]. | GUS | Rocznik statystyczny. Ochrona Środowiska 2002 | Główny Urząd Statystyczny. Warszawa | 2002 | | | |
| [38]. | GUS | Rocznik statystyczny. Ochrona Środowiska 2003 | Główny Urząd Statystyczny. Warszawa | 2003 | | | |
| [39]. | GUS | Rocznik statystyczny. Ochrona Środowiska 2006 | Główny Urząd Statystyczny. Warszawa | 2006 | | | |
| [40]. | Hancock T. | Health and sustainability in the urban environment | Environ Impact Assess Rev | 1996 | 16 | | 259-277 |
| [41]. | Harrison R.M., Laxen D.P.H., Wilson S.J. | Chemical Associations of Lead, Cadmium, Copper, and Zinc in Street Dusts and Roadside Soils | Environmental Science & Technology | 1981 | 15 | 11 | 1378-1383 |
| [42]. | Hławiczka S. | Główne kategorie źródeł emisji metali ciężkich do powietrza w Polsce. I. Emisja kadmu i ołowiu | Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów | 2003 | 37 | 4 | 99-107 |
| [43]. | Hławiczka S. | Główne kategorie źródeł emisji metali ciężkich w Polsce III. Emisja arsenu, chromu, miedzi, niklu i cynku | Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów | 2003 | 37 | 6 | 167-172 |

- | | | | | | | | |
|-------|---|--|--|------|-----|---|---------|
| [44]. | Hławiczka S., Dyduch B., Fudała J. | Long-term changes of particulate emission in the industrial region of Upper Silesia and their effect on the acidity of rainwater | Water Air Soil Pollution | 2003 | 142 | | |
| [45]. | Hławiczka S., Kowalewska Z. | Badania zawartości metali ciężkich w paliwach komunikacyjnych i ocena krajowej emisji tych zanieczyszczeń do powietrza | Archiwum Ochrony Środowiska | 2002 | 28 | 1 | 119-133 |
| [46]. | Hławiczka S.Fudała J. | Główne kategorie źródeł emisji metali ciężkich do powietrza w Polsce II. Emisja rtęci | Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów | 2003 | 37 | 5 | 135-141 |
| [47]. | Irvine K.N. | Localized enrichment of PCB levels in street dust due to redistribution by wind | Environmental Contamination and Toxicology | 1998 | 105 | | 603-615 |
| [48]. | Jabeen N., Ahmet S., Hassan T. Alam N.M. | Levels and Sources of heavy metals in house dust | Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry | 2001 | 247 | 1 | 145-149 |
| [49]. | Janusz M., Nadziakiewicz J. | Modelowanie rozprzestrzeniania emisji z pojazdów samochodowych w terenie zabudowanym | Archiwum Ochrony Środowiska | 2002 | 28 | 3 | 5-20 |
| [50]. | Jaradat Q.M., Masadeh A., Zaitoun M.A., Maitah B.M. | Heavy metal contamination of Soil, Plant and Air of Scrapyard of Discarded Vehicles at Zarqa City, Jordan | Soil & Sediment Contamination | 2005 | 14 | | 449-462 |
| [51]. | Juda-Rezler K. | Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko | Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa | 2000 | | | 86-89 |
| [52]. | Kabata-Pendias A. | Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie | Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa | 1995 | | | |
| [53]. | Kańska Z., Łebkowska M., Peszta J. | Aktywność enzymatyczna biocenozy błon biologicznych złoża obrotowego w obecności metali ciężkich | Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej. Warszawa | 1992 | | 3 | 45-53 |
| [54]. | Kluska M., Kroszczyński W. | Zawartość niektórych policyklicznych węglowodorów aromatycznych w pobliżu dróg o dużym natężeniu ruchu | Chemia i Inżynieria Ekologiczna | 2000 | 7 | 6 | 563-573 |

[55].	Krajewska E.	Fizyczno-chemiczna struktura pyłów środowiska wielkomiejskiego	Chemia i Inżynieria Ekologiczna	2000	7	3	229-235
[56].	Krajewska E., Niesibędzka K.	Toksyczne metale w pyłe ulicznym	Chemia i Inżynieria Ekologiczna	2001	8	7	699-705
[57].	Kucharski M., Kamiński w., Petera J.	Analiza składowych głównych w modelowaniu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w obrębie dróg	Chemia i Inżynieria Ekologiczna	2005	12	S1	93-101
[58].	Kusińska A., Bauman-Kaszubska H., Dzięgielewska-Sitko A.	Soil environment contamination in the Płock agglomeration	Ecological Chemistry and Engineering	2005	12	3	251-259
[59].	Lagerwerff J.V., Specht A.W.	Contamination of Roadside Soil and Vegetation with Cadmium, Nickel, Lead, and Zinc	Environmental Science & Technology	1970	4	7	583-586
[60].	Laskowski S., Trawczyńska A., Tołoczko W.	PAHs in arable soils in proximity of communication tracts near Łódź City	Ecological Chemistry and Engineering	2005	12	7	709-715
[61].	Leharne S., Charlesworth D., Chowdry B.,	A survey of metal levels in street dusts in an Inner London neighbourhood	Environment International	1992	18		263-270
[62].	Li X., Poon C., Liu P.S.	Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong	Applied Geochemistry	2001	16		1361-1368
[63].	Licznar S.E., Licznar M.	Oddziaływanie aglomeracji miejskiej Wrocławia na poziomy próchniczne gleb Parku Szczytnickiego	Roczniki gleboznawcze	2005	LVI	1-2	113-118
[64].	Lovblad G.	Tendencje zmian emisji zanieczyszczeń z obszaru Europy do atmosfery	Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów	2005	39	3	115
[65].	Łabuda S.Z.	Element ratios in soils on traffic circles as indices of environmental hazards	Chemia i Inżynieria Ekologiczna	2005	12	1-2	93-101
[66].	Łuszczewski A., Leyva Ramos R., Aragon Pina A.	Charakterystyka pyłu zawieszzonego w powietrzu miasta San Luis Potosi (Meksyk)	Chemia i Inżynieria Ekologiczna	2000	7	5	473-497

- | | | | | | | | |
|-------|---|---|--|------|-----|----|---------|
| [67]. | Majewski G | Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM10 na Ursynowie i jego związek z warunkami meteorologicznymi | Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska | 2005 | 31 | 1 | 210-222 |
| [68]. | Majewski G. | Badania stężenia pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 w aglomeracji warszawskiej | Zagadnienia interdyscyplinarne w inżynierii ochrony środowiska. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej | 2005 | | | 201-211 |
| [69]. | Mannion A. M. | Zmiany środowiska Ziemi. Historia środowiska przyrodniczego i kulturowego | Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa | 2001 | | | |
| [70]. | Margowski J. | Badanie jakości środowiska. Część Pierwsza. Pył atmosferyczny | Chemia i Inżynieria Ekologiczna | 2005 | 12 | S1 | 17-36 |
| [71]. | Meuser H. | Schadstoffpotential technogener Substrate in Böden urban-industreller Verdichtungsräume | Z. Pflanzenernähr. Bodenk | 1996 | 159 | | 621-628 |
| [72]. | Meuser H. | Technogenge Substrate in Stadtböden des Ruhregebietes | Z. Pflanzenernähr. Bodenk | 1993 | 156 | | 137-142 |
| [73]. | Michalski R., Węglarz A., Skrok R. | Oznaczenie wybranych węglowodorów w powietrzu atmosferycznym na terenie miasta Zabrze | Archiwum Ochrony Środowiska | 2000 | 26 | 2 | 137-151 |
| [74]. | Ministerstwo Ochrony Środowiska. http:// www.mos.gov.pl | | | 2007 | | | |
| [75]. | Mniszek W., Smolik E., Zalciera M. | Specyfika substancji emitowanych w spalinach z silników Diesla | Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów | 2005 | 39 | 2 | 37-44 |
| [76]. | Mocek A., Drzymała S., Maszner P. | Geneza, analiza i klasyfikacja gleb | Wyd. AR Poznań | 1997 | | | |
| [77]. | Murakami M., Nakajima F., Furumai H. | Size- and density-distributions and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban road dust | Chemosphere | 2005 | 61 | | 783-791 |

- | | | | | | | | |
|-------|---|---|---|------|-----|---|-----------|
| [78]. | Nageotte S.M, Day JP | Lead concentrations and isotope in street dust determined by electro-thermal atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry. | Analyst | 1998 | 123 | 1 | 59-62 |
| [79]. | Ordenez A., Loredó J. De Miguel E., Charlesworth S. | Distribution of Heavy Metals in Street Dusts and Soils of an Industrial City in Northern Spain | Environmental Contamination and Toxicology | 2003 | 44 | | 160-170 |
| [80]. | Pereira Netto A.D., Muniz F.C. | Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Street Dust of Niterói City, RJ, Brazil | Environmental Contamination and Toxicology | 2002 | 68 | | 831-838 |
| [81]. | Puxbaum H., Gomiscek B., Kalina M., Bauer H., Salam A., Stopper S., Preining O., Hauck H. | A dual site study of PM _{2.5} and PM ₁₀ aerosol chemistry in the larger region of Vienna, Austria | Atmospheric Environment | 2004 | 38 | | 3949-3958 |
| [82]. | Pyta H. | Zanieczyszczenie powietrza Benzo[A] Pirenem pochodzenia komunikacyjnego. Analiza eksploracyjna. | Chemia i Inżynieria Ekologiczna | 2001 | 8 | 1 | 101-113 |
| [83]. | Ryrie Ch. | Uzdrowiająca moc wody | Filar Warszawa | 1998 | | | |
| [84]. | Sezgin N., Ozcan H.K., Demir G., Nemlioglu S., Bayat C | Determination of Heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway | Environment international | 2003 | 29 | | 979-985 |
| [85]. | Simeonova P., Simeonov V., Lux L., Dakova I. Spanos T. | Chemometric evaluation of the air quality in an industrial region. Case study Kosice., Slovakia | Ecological Chemistry and Engineering | 2005 | 12 | 7 | 727-737 |
| [86]. | Smolik E. | Wielopierścieniowe Węglowodory Aromatyczne (WWA) | http://www.ietu.katowice.pl | 2007 | | | |
| [87]. | Sun Y.Z., Zhang H.J. Du Z.C., Li Q.X., Li Z.X. | Organic Pollution of Street Dust in the Handan City, China | Environmental Contamination and Toxicology | 2003 | 70 | | 422-429 |
| [88]. | Sutherland T.A., Tolosa C. | Multielement analysis of road-deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii. | Environment Pollution | 2000 | 110 | | 483-495 |

- [89]. Tayel El-Hasan, Mufeed Batarseh, Hamzeh Al-Omari, Anf Ziadat, Abdullah El-Alali, farah Al.-Naser, Bruce W. Berdanier, Anwar Jiries The distribution of heavy metals in urban street dusts of Karak City, Jordan Soil and Sediment Contamination 2006 15 4 357-365
- [90]. Wang W.H., Wong M.H., Leharne S., Fisher B. Fractionation and Biototoxicity of Heavy Metals in Urban Dusts Collected from Hong Kong and London Environmental Geochemistry and Health 1998 20 185-198
- [91]. Weineberg E.G. Urbanization and childhood asthma: An African perspective Journal Allergy Clin Immunol 2000 105 2 224-231
- [92]. Wieczorek J., Wieczorek Z., Bieniaszewski T. Cadmium and Lead Content in Cereal Grains and Soil from Cropland Adjacent to Roadways Polish Journal of Environmental Studies 2005 14 4 535-540
- [93]. Wiltowski T., Piotrowski K. Czysta energia <http://www.energia.org.pl> 2004
- [94]. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Poznaniu. [http:// www.poznan.pios.gov.pl](http://www.poznan.pios.gov.pl)
- [95]. Wong M.H., Cheung L.C. Wong W.C. Effects of roadside dust on seed germination and root growth of *Brassica chinensis* and *B. parachinensis* The Science of the Total Environment 1984 33 87-102
- [96]. Wójcik P. Mniej dymu nad miastem Środowisko 2005 312 24 22-24
- [97]. Xie S., Dearing J.A., Bloemendal J. The organic matter content of street dust in Liverpool, UK, and its association with magnetic properties Atmospheric Environment 2000 34 269-275
- [98]. Yang h.h., Lee W.J., Kua C.W. Particle size distributions and PAH Content of Road Dust Journal Aerosol Science 1997 28 1 125-126
- [99]. Yang Y., Baumann W. Study of polychlorinated biphenyls in street dust by supercritical fluid extraction-gas chromatography / mass spectrometry Fresenius Journal of Analytical Chemistry 1996 354 56-60
- [100]. Yeund Z.L. Kwok R.C., Yu K.N. Determination of multi-element profiles of street dust using energy dispersive X-ray fluorescence. Appl Radiat Isotop 2003 58 3 339-346

- [101]. Yongming H., Peixuan D., Junji C., Posmentier E.S. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China The Science of the Total Environment 2006 355 1-3 176-186
- [102]. Zawadzki S. Gleboznawstwo Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa 1999

8. Spis tabel

Tab. 1. Natężenie erozji wietrznej w zależności od siły wiatru, mierzonej według skali Beauforta [Maciak 1998]	18
Tab. 2. Emisja przemysłowych zanieczyszczeń powietrza w województwie lubuskim w latach 1999-2003 [Damczyk i inni 2004]	43
Tab. 3. Wyniki badań stężenia dwutlenku siarki i dwutlenku azotu metoda pasywnym poborem próbek zarejestrowane na terenie Zielonej Góry w 2001 roku [Damczyk i inni 2002]	44
Tab. 4. Ilość pyłów drogowych zebranych z ulic i placów w Zielonej Górze, trafiających na Miejskie Składowisko Odpadów w Raculi w latach 2000-2007	46
Tab. 5. Ilość pyłów drogowych zebranych z ulic i placów w Zielonej Górze, trafiających na Miejskie Wysypisko Odpadów [Mg] w poszczególnych miesiącach w latach:2004- 2007.....	46
Tab. 6. Średnie miesięczne temperatury powietrza w poszczególnych latach w Zielonej Górze [GUS 2002, 2003].....	48
Tab. 7 . Miesięczne sumy opadów atmosferycznych w poszczególnych latach w Zielonej Górze[GUS 2002, 2003].....	48
Tab. 8. Lokalizacja poboru gleb	50
Tab. 9. Lokalizacja miejsc poboru próbek pyłu drogowego.....	51
Tab. 10. Natężenie ruchu drogowego na poszczególnych ulicach [UM w Zielonej Górze 2006]	56
Tab. 20. Różnice w zawartości poszczególnych frakcji w pyłach drogowych, pobranych w I i II serii.....	72
Tabela. 21. Zawartość metali w pyłe drogowym w świetle wartości dopuszczalnych stężeń tych metali według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz jakości ziemi	103
Tabela. 22. Liczba próbek pyłu drogowego, które przekraczają standardy jakości gleby i jakości ziemi z Rozporządzenia MŚ z 9 września 2002 r.....	104
Tabela. 21. Zestawienie wyników badań gleb pobranych w Zielonej Górze	126
Tabela. 22. Zestawienie wyników badań gleb pobranych w Zielonej Górze.c.d.	127
Tabela. 23. Zestawienie wyników badań gleb pobranych w Zielonej Górze. c.d.	127
Tabela. 24. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze. Przewodność elektryczna, odczyn pH i węgiel.....	128
Tabela. 25. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze c.d. Skład granulometryczny.....	130
Tabela. 26. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze. c.d. Ropopochodne, N ogółem, PO ₄ , Mn, Fe.....	132
Tabela. 27. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze c. d. Zawartość sodu , magnezu i potasu.....	134
Tabela. 28. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze c.d. Zawartość wapnia, miedzi i cynku	136
Tabela. 29. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze c.d. Zawartość ołowiu, kadnu i kobaltu	138

9. Spis rysunków

Rys. 1. Zmienność stężenia pyłu zawieszonego PM10 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] w Zielonej Górze (ul. Jasna) w 2003 roku [Damczyk i inni 2004]	43
Rys. 2. Rozkład kierunku wiatru [%] w latach 1971-2000.....	47
Rys. 3. Lokalizacja miejsc poboru próbek pyłu drogowego i gleb.....	52
Rys. 4. Odczyn badanych gleb mierzony w H_2O i w roztworze 0,01 molowym CaCl_2	60
Rys. 5. Przewodność elektryczna badanych gleb	60
Rys. 6. Zawartość węgla organicznego w glebie.....	61
Rys. 7. Zawartość Cu w glebie w formach: rozpuszczonej w 0,1 m HCl i w wodzie królewskiej	62
Rys. 8. Zawartość Cd w glebie w formach: rozpuszczonej w 0,1 m HCl i w wodzie królewskiej	63
Rys. 9. Zawartość Ni w glebie w formach: rozpuszczonej w 0,1 m HCl i w wodzie królewskiej.....	64
Rys. 10. Zawartość Pb w glebie w formach: rozpuszczonej w 0,1 m HCl i w wodzie królewskiej	65
Rys. 11. Zawartość Zn w glebie w formach: rozpuszczonej w 0,1 m HCl i w wodzie królewskiej	66
Rys. 12. Zawartość Co w glebie w formie rozpuszczonej w 0,1 m HCl.....	66
Rys. 13. Ilość próbek pyłu drogowego w poszczególnych zakresach odczynu mierzonych w roztworze wodnym.....	67
Rys. 14. Ilość próbek pyłu drogowego w poszczególnych zakresach odczynu mierzonych w 0,01 molowym roztworze CaCl_2	68
Rys. 15. Przewodność elektryczna pyłów drogowych	69
Rys. 16. Analiza zależności pomiędzy przewodnością elektryczną a zawartością sodu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłe drogowym I serii.....	70
Rys. 17. Analiza zależności pomiędzy przewodnością elektryczną a zawartością sodu rozpuszczonego w 0,1 m HCl w pyłe drogowym I serii	70
Rys. 18. Korelacja pomiędzy zawartością frakcji piasku w pyłe drogowym II serii oraz przewodnością elektryczną pyłów drogowych II serii.....	71
Rys. 19. Ilość próbek pyłów drogowych w poszczególnych przedziałach zawartości węgla organicznego	72
Rys. 20. Analiza zależności pomiędzy zawartością frakcji piasku w pyłe drogowym I serii a zawartością manganu rozpuszczonego w wodzie królewskiej pyłu drogowego I serii.	73
Rys. 21. Analiza zależności pomiędzy zawartością frakcji piasku w pyłe drogowym I serii a zawartością manganu rozpuszczonego w 0,1 m HCl pyłu drogowego I serii	74
Rys. 22. Korelacja pomiędzy zawartością niklu rozpuszczonego w wodzie królewskiej a frakcją piasku w pyłe drogowym I serii poboru.....	74
Rys. 23. Liczba próbek pyłu drogowego mieszcząca się w przedziałach zanieczyszczeń ołowiem dla gleby (o zawartości frakcji spławialnych do 10%) wg IUNG [Kabata-Pendias 1995].....	75
Rys. 24. Zawartość ołowiu w pyłe drogowym	76
Rys. 25. Liczba próbek pyłu drogowego mieszcząca się w przedziałach zanieczyszczenia cynkiem dla gleby (o zawartości frakcji spławialnych do 10%) wg IUNG [Kabata-Pendias 1995].....	77

Rys. 26. Zawartość cynku w pyłe drogowym.....	77
Rys. 27. Zależność pomiędzy: zawartością w glebie cynku rozpuszczalnego w wodzie królewskiej w pyłach drogowych I serii oraz zawartością węgla organicznego w pyłach drogowych I serii	78
Rys. 28. Liczba próbek pyłu drogowego mieszczącego się przedziałach zanieczyszczeń miedzią dla gleby (o zawartości frakcji spławialnych do 10%) wg IUNG [Kabata-Pendias 1995].....	79
Rys. 29. Zawartość miedzi w pyłe drogowym.....	79
Rys. 30. Liczba próbek pyłu drogowego mieszczącego się przedziałach zanieczyszczeń kadmem dla gleby (o zawartości frakcji spławialnych do 10%) wg IUNG [Kabata-Pendias 1995].....	80
Rys. 31. Zawartość kadmu w pyłe drogowym.....	81
Rys. 32. Liczba próbek pyłu drogowego mieszczącego się przedziałach zanieczyszczeń chromem dla gleby (o zawartości frakcji spławialnych do 10%) wg IUNG [Kabata-Pendias 1995].....	82
Rys. 33. Zawartość chromu w pyłe drogowym	82
Rys. 34. Liczba próbek pyłu drogowego mieszczącego się przedziałach zanieczyszczeń niklem dla gleby (o zawartości frakcji spławialnych do 10%) wg IUNG [Kabata-Pendias 1995].....	83
Rys. 35. Zawartość niklu w pyłe drogowym	84
Rys. 36. Korelacja pomiędzy zawartością w pyłe drogowym I serii niklu rozpuszczonego w wodzie królewskiej oraz zawartością węgla organicznego.....	84
Rys. 37. Zawartość kobaltu w pyłe drogowym	86
Rys. 38. Zawartość żelaza w pyłe drogowym	87
Rys. 39. Zawartość manganu w pyłe drogowym.....	88
Rys. 40. Zawartość azotu ogółem w pyłe drogowym.....	89
Rys. 41. Korelacja pomiędzy zawartością azotu oraz zawartością frakcji pyłowej w pyłe drogowym I serii	89
Rys. 42. Zawartość fosforanów w pyłe drogowym	90
Rys. 43. Zawartość sodu w pyłe drogowym.....	91
Rys. 44. Zawartość magnezu w pyłe drogowym	93
Rys. 45. Zawartość potasu w pyłe drogowym	94
Rys. 46. Korelacja pomiędzy zawartością potasu rozpuszczonego w 0,1 m HCl oraz zawartością frakcji piasku w pyłe drogowym II serii badań.....	95
Rys. 47. Korelacja pomiędzy zawartością potasu rozpuszczonego w wodzie królewskiej oraz sodu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłach drogowych pobranych w I serii.	95
Rys. 48. Zawartość wapnia w pyłe drogowym.....	97
Rys. 49. Korelacja pomiędzy zawartością wapnia rozpuszczonego w wodzie królewskiej a zawartością magnezu rozpuszczonego w wodzie królewskiej w pyłach drogowych I serii badań	97
Rys. 50. Zawartość sumy ropopochodnych w pyłe drogowym.....	98
Rys. 53. Lokalizacja próbek pyłu drogowego I i II serii, w których zawartość metali ciężkich i węglowodorów przekracza standardy jakości gleby i ziemi dla grupy B wg Rozporządzenia MŚ z dnia 9 września 2002 roku.....	105
Rys. 51. Lokalizacja punktów, w których pył drogowy pobrany w I serii odpowiada poszczególnym stopniom zanieczyszczenia wg IUNG.....	106
Rys. 52. Lokalizacja punktów, w których pył drogowy pobrany w II serii odpowiada poszczególnym stopniom zanieczyszczenia wg IUNG.....	107

10. Spis fotografii

Fot. 1. Pojazd mechaniczny z obrotowymi szczotkami firmy Volvo	45
Fot. 2. Pojazd z obrotowymi szczotkami, bez własnego napędu, firmy Brodd.....	45
Fot. 3. Miejsce poboru próbek pyłu drogowego: ul. Bema, pod wiaduktem.....	53
Fot. 4. Miejsce poboru próbek pyłu drogowego: ul. Wyspiańskiego	53
Fot. 5. Miejsce poboru próbek pyłu drogowego: Aleja Zjednoczenia.....	54
Fot. 6. Miejsce poboru pyłu drogowego ul. Waryńskiego w pobliżu skrzyżowania z ul. Zamenhoffa.....	54
Fot. 7. Miejsce poboru pyłu drogowego: ul. Staszica.....	55
Fot. 8. Miejsce poboru pyłu drogowego: Aleja Konstytucji 3 Maja	55

11. Załączniki

Tabela. 21. Zestawienie wyników badań gleb pobranych w Zielonej Górze

Nr próbki	Lokalizacja poboru gleby	Barwa gleby		Skład mechaniczny					
		Gleba sucha	Gleba mokra	%					
				1-0,1mm	0,1-0,05mm	0,05-0,02mm	0,02-0,005mm	0,005-0,002mm	< 0,002mm
1	Zawadzkiego przy Elektrociepłowni	2,5Y 4/1,5	2,5Y 3/1	85	9	6	0	0	0
2	Zawadzkiego przy pętli autobusów MZK	2,5Y 4/2	2,5Y 3/1	79	13	7	1	0	0
3	Wyszyńskiego	2,5Y 4/3	2,5Y 3/2	90	6	3	1	0	0
4	Skrzyżowanie ul. Ptasiej i ul. Piastowskiej	2,5Y 4/2	2,5Y 3/1	70	20	8	2	0	0
5	Ptasia	2,5Y 4/2	2,5Y 3/1	82	13	4	1	0	0
6	Zamenhoffa	2,5Y 4/1,5	2,5Y 3,5/2	79	10	7	3	0	1
7	Zjednoczenia przy Folszowej	2,5Y 4/2	2,5Y 3/2	91	7	2	0	0	0
8	Sulechowska	2,5Y 4/3	2,5Y 3/2	72	13	5	3	5	2
9	Sulechowska przy Skłodowskiej	2,5Y 4/2	2,5Y 3/1	83	8	8	1	0	0
10	Batorego	no.	no.	15	9	4	0	2	6

Tabela. 22. Zestawienie wyników badań gleb pobranych w Zielonej Górze.c.d.

Nr próbki	Odczyn		Przewodność elektr.	Węgiel	Miedź		Ołów		Cynk	
	pH				mg·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹		
	roztw.wodny	roztw. CaCl ₂	mS·cm ⁻¹	%					rozp. w 0,1 m HCl	rozp. w wodzie król.
1	4,73	4,03	0,05	0,78	7,19	21,06	24,53	30,80	11,42	59,00
2	6,05	5,73	0,09	1,04	1,01	14,66	4,91	16,40	12,54	51,60
3	6,74	6,58	0,10	0,10	7,14	17,86	14,75	16,60	24,30	78,60
4	5,10	4,69	0,12	1,20	7,48	26,80	19,38	22,37	13,21	52,80
5	6,15	5,71	0,13	0,04	11,62	23,50	40,98	47,20	46,68	126,80
6	6,98	6,75	0,39	0,40	3,23	50,92	5,93	65,40	59,60	245,40
7	6,52	6,21	0,14	1,91	8,39	21,94	21,84	30,60	26,94	85,60
8	6,72	6,42	0,09	1,37	13,14	24,26	36,92	40,40	39,01	100,60
9	6,65	6,39	0,15	0,20	12,94	19,46	18,20	19,67	54,22	104,00
10	5,01	4,22	0,03	1,91	4,75	9,90	9,40	13,61	7,84	36,00

Tabela. 23. Zestawienie wyników badań gleb pobranych w Zielonej Górze. c.d.

Nr próbki	Nikiel		Kobalt	Kadm	
	mg·kg ⁻¹		mg·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹	
	rozp. w 0,1 m HCl	rozp. w wodzie król.	rozp. w wodzie król.	rozp. w 0,1 m HCl	rozp. w wodzie król.
1	1,37	8,08	1,30	0,06	0,34
2	1,34	7,04	2,33	0,16	0,34
3	0,8	3,70	0,84	0,05	0,22
4	1,15	20,70	0,72	0,00	0,48
5	1,37	6,90	1,64	0,13	0,48
6	2,52	14,54	2,34	0,27	0,52
7	1,78	6,54	0,77	0,06	0,28
8	1,41	6,02	0,58	0,02	0,26
9	2,76	6,14	1,40	0,15	0,34
10	0,18	3,94	0,09	0,00	0,26

Tabela. 24. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze. Przewodność elektryczna, odczyn pH i węgiel

Nr próbki	Lokalizacja poboru pyłu drogowego	Przewodność elektryczna		Odczyn				Węgiel	
		mS·cm ⁻¹		pH w roztw. wodnym		pH w roztw. CaCl ₂		%	
		I seria	II seria	I seria	II seria	I seria	II seria	I seria	II seria
1	Batorego przy nowym osiedlu	0,92	0,27	7,9	7,2	6,9	6,89	3,41	3,72
2	Dworcowa naprzeciwko Akacjowej	0,57	0,29	7,7	7,9	7,0	7,47	6,50	2,08
3	Batorego skrzyżowanie z Dworcową	0,39	0,45	7,9	7,5	7,0	7,39	4,06	2,52
4	Ułańska	0,60	0,22	7,6	7,5	6,9	7,14	3,73	4,88
5	Akademicka	0,21	0,18	7,5	7,7	6,8	7,27	1,79	2,18
6	Bema pod wiaduktem	0,48	0,24	7,5	7,8	6,7	7,18	2,06	1,71
7	Skrzyżowanie Wyspiańskiego ze Staszica	1,18	0,17	7,2	7,3	6,4	6,97	8,00	2,69
8	Dzika	0,54	0,66	7,1	6,8	6,4	6,63	3,26	1,73
9	Plac Pow. Śląskich	0,42	0,39	7,1	7,3	6,6	6,81	7,75	3,60
10	Westerplatte przy Topazie	1,01	0,19	7,1	7,1	6,6	6,89	2,93	2,31
11	Chopina przy LO	0,47	0,26	7,3	7,7	6,8	7,11	2,63	3,77
12	Kazimierza Wielkiego	0,65	0,23	7,2	7,6	6,7	7,23	11,54	2,01
13	Jedności 71	0,39	0,22	7,7	7,6	6,7	7,15	1,50	7,08
14	1 Maja między Moniuszki a Konopnickiej	0,53	0,41	7,1	6,6	6,7	6,49	3,01	3,12
15	Moniuszki (w połowie)	0,77	0,19	7,2	7,6	6,7	7,24	1,19	2,72
16	Wiśniowa Przy PKO	1,81	0,15	7,0	7,4	6,6	7,11	3,06	5,91
17	3 Maja przy Tylnej	0,33	0,21	7,4	7,9	6,9	7,51	1,81	2,70
18	Drzewna przy Sowińskiego	0,38	0,37	7,3	8,0	6,7	7,38	2,66	1,26
19	Wyszyńskiego koło Mini -Mała	0,76	0,16	7,1	7,9	6,7	7,32	3,61	1,62
20	Zawadzkiego przy zajezdni MZK	0,77	0,14	7,2	7,6	6,7	7,10	4,43	1,47
21	Zawadzkiego przy Elektrociepłowni	0,54	0,12	7,3	7,2	6,7	6,83	3,25	4,14
22	Ptasia przy przystanku Amfiteatr	0,62	0,23	7,1	7,0	6,7	6,76	1,11	1,55
23	Ptasia skrzyżowanie z Piastowską	0,82	0,28	7,1	6,9	6,6	6,66	1,67	3,90
24	Jaskółcza	0,74	0,23	7,2	7,1	6,7	6,90	3,21	1,56
25	Botaniczna (między Pawią a Żurawią)	3,20	0,19	6,9	7,4	6,6	7,05	2,67	2,42
26	Plac Matejki 13	0,25	0,25	7,4	8,0	6,8	7,59	1,63	2,40
27	Botaniczna przy przystanku i Internacie	1,21	0,19	7,2	8,3	6,7	7,70	2,28	0,90
28	Nowojędrzychowska przy Kąpielowej	0,55	0,22	7,4	7,5	6,8	7,31	1,36	1,08

Nr próbki	Lokalizacja poboru pyłu drogowego	Przewodność elektryczna		Odczyn				Węgiel	
		mS·cm ⁻¹		pH w roztw. wodnym		pH w roztw. CaCl ₂		%	
		I seria	II seria	I seria	II seria	I seria	II seria	I seria	II seria
29	Jędzychowska pętla autobusów	0,41	0,15	7,5	7,6	6,8	7,24	3,58	0,74
30	Jędzrychowska przy Kasztanowej	0,89	0,21	7,3	7,3	6,7	7,03	2,38	1,26
31	Koźuchowska przy Piwnej	0,32	0,49	7,4	6,7	6,9	6,59	2,16	2,32
32	Pieniężnego przy Chrobrego	0,35	0,28	7,3	6,7	6,8	6,42	2,66	2,29
33	Strzelecka przy LO	1,02	0,16	7,1	7,3	6,7	6,98	3,12	1,70
34	Słowackiego przy Stromej	0,65	0,18	7,3	7,5	6,7	7,12	11,2	1,92
35	Morelowa przy komendzie policji	0,26	0,35	7,3	7,1	6,8	6,82	1,77	1,67
36	Chmielna przy Osiedlowej	0,28	0,30	7,3	7,0	6,7	6,79	2,14	2,06
37	Osiedlowa skrzyżowanie z Braniborską	0,37	1,37	7,3	6,2	6,7	6,20	2,20	2,75
38	Sulechowska przy Skłodowskiej	0,45	0,20	7,3	7,1	6,8	6,79	1,92	0,83
39	Sulechowska przy CPN	0,47	0,29	7,3	6,8	6,8	6,53	1,88	1,56
40	Trasa Północna przy Zdrojowej	0,83	0,15	7,5	7,1	6,8	6,78	3,43	2,56
41	Skrzyżowanie Jadwigi z Masarską	0,31	0,23	7,3	7,4	6,7	7,05	2,94	1,86
42	Krakusa (ogrodnictwo)	0,19	0,37	7,3	6,9	6,8	6,67	2,08	3,14
43	Waryńskiego przy Zamenhoffa	0,43	0,24	7,2	6,4	6,7	6,13	2,81	1,06
44	Trasa Północna przy SP 11	0,91	0,27	7,1	7,5	6,7	7,08	3,63	2,74
45	Energetyków przy Elektronowej	1,27	0,23	7,1	7,5	6,7	7,22	4,16	3,77
46	Zjednoczenia przy giełdzie	0,43	0,18	7,5	7,4	6,9	7,05	1,87	1,28
47	Zjednoczenia przy Zimnej	0,46	0,13	7,3	7,8	6,9	7,25	4,09	1,45
48	Zjednoczenia przy Folszowej	0,46	0,17	7,3	7,2	6,8	6,96	4,28	1,17
49	Objazdowa pod wiaduktem	0,65	0,18	7,3	6,9	6,9	6,66	2,99	2,91
50	Dąbrowskiego przy skrzyżowaniu z Węglową	0,44	0,24	7,3	7,3	6,9	6,96	4,19	1,58
51	Wojska Polskiego Przy Wandy	0,95	0,37	7,2	7,4	6,8	7,14	1,82	1,93
52	Wojska Polskiego(pomiędzy Krętą a Zacisze)	1,23	0,18	7,1	7,5	6,9	7,10	2,97	2,03
53	Wojska Polskiego przy CPN za UZ	0,42	0,19	7,3	7,7	6,9	7,32	3,35	2,49
54	Wrocławska przy cmentarzu	0,66	0,14	7,2	7,4	6,9	7,04	2,49	2,97
55	Wrocławska przy Chmielnej	0,73	0,18	7,3	7,2	6,9	6,91	1,85	3,21
56	Szafrana przy przedszkolu	1,22	0,17	6,0	7,6	5,8	7,19	5,75	1,63

Tabela. 25. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze c.d. Skład granulometryczny

Nr próbki	Skład granulometryczny											
	%											
	I seria						II seria					
	1,0-0,1mm	0,1-0,05 mm	0,05-0,02 mm	0,02-0,005 mm	0,005-0,002 mm	>0,002 mm	1,0-0,1 mm	0,1-0,05 mm	0,05-0,02 mm	0,02-0,005 mm	0,005-0,002 mm	>0,002 mm
1	86	5	7	2	0	0	92	8	0	0	0	0
2	82	8	3	5	2	0	87	9	4	0	0	0
3	87	8	4	1	0	0	94	5	1	0	0	0
4	88	5	5	1	1	0	91	4	8	0	0	0
5	81	14	4	0	0	1	95	5	0	0	0	0
6	90	5	3	0	1	1	87	9	3	1	0	0
7	82	13	3	0	1	1	89	8	3	0	0	0
8	90	8	2	0	0	0	89	8	2	1	0	0
9	88	5	4	2	0	0	91	9	0	0	0	0
10	87	9	3	1	0	0	91	6	3	0	0	0
11	88	9	0	1	1	1	85	13	2	0	0	0
12	85	6	7	2	0	0	89	9	1	0	0	0
13	91	6	2	0	0	1	85	13	2	0	0	0
14	89	7	3	0	1	0	90	7	3	0	0	0
15	94	4	2	0	0	1	93	7	0	0	0	0
16	87	8	3	2	0	0	89	11	0	0	0	0
17	93	4	1	1	1	0	84	11	1	1	0	0
18	88	10	1	1	0	0	90	7	3	0	0	0
19	87	5	4	1	2	1	87	9	4	0	0	0
20	89	5	4	2	0	0	95	5	0	0	0	0
21	89	7	1	3	0	0	92	5	2	1	0	0
22	94	5	1	0	0	0	91	8	1	0	0	0
23	86	7	4	1	0	2	89	8	2	1	0	0
24	85	6	6	2	1	0	93	6	1	0	0	0
25	90	6	0	3	0	1	89	9	1	1	0	0
26	90	9	1	0	0	0	90	8	2	0	0	0
27	88	8	2	0	2	0	91	5	4	0	0	0

Nr próbki	Skład granulometryczny											
	%											
	I seria						II seria					
	1,0-0,1mm	0,1-0,05 mm	0,05-0,02 mm	0,02-0,005 mm	0,005-0,002 mm	>0,002 mm	1,0-0,1 mm	0,1-0,05 mm	0,05-0,02 mm	0,02-0,005 mm	0,005-0,002 mm	>0,002 mm
28	87	6	5	2	0	0	91	5	4	0	0	0
29	81	11	3	3	1	1	95	5	0	0	0	0
30	81	13	4	1	0	1	90	9	1	0	0	0
31	83	11	4	0	0	1	86	8	5	1	0	0
32	84	13	2	1	0	0	92	5	3	0	0	0
33	88	7	2	2	1	0	91	9	0	0	0	0
34	80	10	9	0	0	1	97	1	2	0	0	0
35	82	12	3	1	1	1	89	8	3	0	0	0
36	91	7	1	0	1	0	86	11	2	1	0	0
37	88	5	4	1	1	1	75	14	7	4	1	0
38	91	7	1	0	1	0	92	8	0	0	0	0
39	87	9	1	1	0	2	92	8	0	0	0	0
40	90	6	2	1	1	0	93	7	0	0	0	0
41	72	19	6	1	2	0	96	4	0	0	0	0
42	89	8	2	0	1	0	87	10	3	0	0	0
43	90	5	2	1	0	2	91	9	0	0	0	0
44	80	9	5	5	1	0	85	13	2	0	0	0
45	78	12	5	0	2	3	93	7	0	0	0	0
46	89	9	1	1	0	0	96	4	0	0	0	0
47	87	5	4	1	1	2	98	2	0	0	0	0
48	90	5	3	2	0	0	88	8	4	0	0	0
49	87	5	3	1	2	2	85	10	4	1	0	0
50	87	6	5	1	1	0	89	9	1	1	0	0
51	85	5	5	2	1	2	88	8	3	1	0	0
52	89	6	3	2	0	0	83	14	3	0	0	0
53	87	7	1	4	0	1	93	5	2	0	0	0
54	89	9	1	1	0	0	86	11	3	0	0	0
55	87	8	1	3	0	1	89	8	2	1	0	0
56	82	11	5	2	0	0	93	5	2	0	0	0

Tabela. 26. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze. c.d. Ropopochodne, N ogółem, PO₄, Mn, Fe

Nr próbki	Suma ropopochodnych	Azot ogółem		Fosforany		Mangan				Żelazo			
	mg·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹		mg·PO ₄ ·kg ⁻¹		Rozp. w wodzie król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w wodzie król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w wodzie król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w wodzie król.	Rozp. w 0,1 m HCl
		I seria	II seria	I seria	II seria	mg·kg ⁻¹		mg·kg ⁻¹		mg·kg ⁻¹			
		I seria	II seria	I seria	II seria	I seria		II seria		I seria		II seria	
1	53,89	1120	2393	635,9	243,9	153,2	73,9	205,8	85,8	8738	1472	5352	1284
2	30,95	1826	1866	794,0	400,6	219,8	103,8	149,4	74,0	8846	1724	7224	1838
3	9,73	2074	2333	834,4	297,7	256,4	61,9	276,2	213,1	9126	1646	8884	1894
4	38,50	2154	1120	510,9	183,8	142,6	62,1	142,6	94,3	6264	1122	7156	1346
5	29,64	1750	1037	415,3	198,5	144,2	83,4	128,8	97,4	5974	1642	7920	1972
6	14,35	1680	1000	411,7	279,3	124,6	48,6	87,0	44,1	6600	1306	7918	2182
7	29,86	3500	823	481,5	411,7	144,0	68,9	116,0	62,0	6006	1470	7344	1472
8	36,01	2258	3500	595,5	452,1	98,2	67,5	96,0	72,8	4956	1498	5430	1930
9	68,54	3500	2500	613,8	639,6	151,4	92,7	70,4	45,1	6008	1070	8158	1916
10	64,69	2240	1165	782,9	99,2	112,4	59,5	88,6	40,3	5684	1218	4640	1250
11	20,35	1120	412	569,7	220,5	88,8	41,2	77,2	53,1	5072	1020	5124	1332
12	19,23	2625	1200	896,9	290,4	161,6	122,4	149,4	116,1	6374	1188	6496	2100
13	50,37	1436	2074	768,2	231,5	71,4	54,8	95,0	65,7	4886	870	5132	1408
14	33,81	2240	2800	533,0	356,5	127,2	67,0	135,2	62,2	6948	1360	6182	1782
15	19,08	2692	1000	577,1	305,1	92,0	31,8	61,0	33,8	5658	906	8430	1876
16	37,49	1680	4667	635,9	452,1	117,0	53,8	125,8	62,0	6446	1364	8580	1958
17	31,86	1556	560	639,6	422,7	81,4	33,4	86,4	54,3	5034	952	8752	2410
18	8,44	2074	2332	716,8	470,5	69,2	44,2	133,4	60,7	4374	1160	8964	1784
19	58,08	2154	2074	474,2	400,6	121,6	42,1	109,2	65,3	6364	1302	7590	1914
20	3,30	1556	1037	687,4	257,3	108,6	51,8	102,4	51,6	5936	1158	5662	1270
21	7,26	1615	780	753,5	249,9	108,4	40,7	74,6	40,1	6360	1212	6036	1452
22	17,64	1556	1037	771,9	117,6	89,8	30,7	102,2	75,5	5678	820	4362	1384
23	16,09	1807	1750	639,6	485,2	102,2	40,7	97,0	70,2	5642	956	7704	1972
24	9,21	2154	933	816,0	363,9	140,6	49,8	102,0	53,3	7606	1310	5202	1446
25	12,44	1556	1077	426,4	297,7	114,2	54,1	110,2	59,3	6256	1380	7848	2302
26	4,50	2154	1615	731,5	124,9	69,8	40,7	104,6	60,5	4124	822	3732	3242
27	8,50	2800	2154	709,4	379,6	116,0	50,3	150,8	90,1	6406	1342	5632	1106

Nr próbki	Ropopochodne	Azot ogółem		Fosforany		Mangan				Żelazo							
						Rozp. w w.król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w.król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w.król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w.król.	Rozp. w 0,1 m HCl				
						mg·kg ⁻¹		mg·kg ⁻¹		mg·kg ⁻¹				mg·kg ⁻¹			
						I seria	II seria	I seria	II seria	I seria	II seria	I seria	II seria	I seria	II seria	I seria	II seria
28	2,10	2240	1680	518,3	514,6	80,0	45,2	143,4	81,9	4650	904	6212	1144				
29	11,97	2154	1313	643,3	529,3	126,8	56,4	78,2	46,2	6644	1182	7190	1358				
30	5,86	2154	2500	555,0	415,3	138,4	92,2	96,8	73,6	5418	1258	6346	2196				
31	12,83	2240	2916	595,5	529,3	126,4	48,8	141,8	58,9	6926	1024	5674	1578				
32	20,68	2692	1807	643,3	474,2	108,0	52,5	91,0	60,3	5876	882	5998	1302				
33	2,12	2154	1500	577,1	102,9	152,8	58,5	179,8	100,6	7116	1090	5922	1536				
34	28,13	3111	1400	996,1	227,9	187,2	114,6	62,8	43,9	6938	1000	7044	1302				
35	9,09	1680	2000	558,7	426,4	109,8	33,4	110,4	70,9	6660	660	7694	1894				
36	4,70	1500	1615	341,8	408,0	49,6	22,9	59,6	43,0	3250	562	7860	1662				
37	0,59	1448	9852	525,5	992,5	82,0	26,3	74,8	31,5	5180	586	9490	1794				
38	2,29	1600	1135	602,8	312,4	124,4	46,4	130,0	71,8	7138	1262	6570	1722				
39	1,54	1500	1944	525,6	448,4	157,6	59,4	93,0	60,5	8500	1338	7028	1912				
40	15,02	1166	1272	871,2	400,6	163,0	55,5	137,6	63,3	7882	1236	6290	1464				
41	17,02	4084	903	1032,9	249,9	175,4	76,9	153,4	102,1	7596	818	5700	1418				
42	0,89	1217	4408	610,2	308,7	139,6	34,1	128,2	88,0	7428	546	6220	1676				
43	0,49	1615	2500	628,5	257,3	117,0	38,0	117,0	62,8	6516	730	5698	926				
44	3,78	2333	1750	632,2	294,0	171,2	80,1	130,4	63,1	8620	1604	6942	1628				
45	3,30	1806	965	746,2	334,5	203,4	99,3	132,2	57,6	8790	1234	7732	1646				
46	4,44	2121	1556	757,2	216,8	143,0	59,8	147,4	62,2	7658	926	6256	1706				
47	4,63	2414	1077	499,9	95,5	125,0	53,2	149,8	61,9	6654	954	4788	1148				
48	3,26	2154	1615	764,6	360,2	124,2	43,3	188,8	69,2	7038	1074	6832	1602				
49	14,24	2692	1400	580,8	1010,5	160,2	66,8	126,0	91,4	7832	1542	8298	1388				
50	6,79	2074	1355	764,6	283,0	122,8	64,5	121,6	50,5	6936	1150	8050	1616				
51	8,70	2240	1165	797,6	352,8	127,2	71,4	106,4	34,1	6624	1044	5942	974				
52	1,88	2153	518	823,4	191,1	120,6	52,6	102,6	69,3	7084	1168	6038	1302				
53	5,49	2692	n.o.	566,1	419,0	113,4	52,0	96,0	57,5	5916	1152	16800	2602				
54	3,06	2196	903	606,5	297,7	129,4	46,8	79,6	54,1	6542	1362	6408	1570				
55	6,31	1806	622	683,7	481,5	114,0	50,7	120,0	58,8	5598	1000	5970	1134				
56	20,98	4307	549	959,4	290,4	192,0	96,0	120,6	78,8	7482	1896	7530	3304				

Tabela. 27. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze c. d. Zawartość sodu , magnezu i potasu

Nr próbki	Sód				Magnez				Potas			
	mg·kg ⁻¹				mg·kg ⁻¹				mg·kg ⁻¹			
	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m. HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m. HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m. HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m. HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m. HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m. HCl
	I seria		II seria		I seria		II seria		I seria		II seria	
1	1224,0	733,6	1 164,6	891,2	1988,6	1282,4	1827,6	1200,6	778	150	656	340
2	1136,4	649,4	773,6	478,0	2014,8	1415,0	1948,8	1528,2	1354	356	656	432
3	2125,0	1009,4	776,2	549,8	2062,0	1425,8	1968,8	1424,6	2234	504	826	396
4	1355,8	744,2	630,6	548,2	2009,4	1181,8	1696,4	986,6	860	212	310	166
5	363,8	197,8	347,6	260,2	1936,8	1225,8	1828,4	1261,8	1080	372	382	234
6	598,4	349,2	468,0	291,2	1974,8	1065,8	1958,8	1536,0	622	152	772	288
7	1229,4	838,8	592,6	438,2	1985,6	1438,6	1993,8	1362,2	844	206	972	334
8	598,8	383,6	298,6	238,4	1879,9	1048,8	1831,0	1412,0	666	220	912	494
9	610,2	314,6	312,0	204,6	1992,0	1525,6	1997,4	1816,8	642	206	1062	362
10	930,2	772,4	653,0	360,6	1975,0	1264,6	1809,8	1169,2	684	166	328	118
11	696,0	413,6	516,2	319,8	1931,0	1142,4	1866,6	1302,2	520	144	436	198
12	536,6	403,8	468,2	356,0	1947,9	1408,2	1939,6	1707,4	806	250	588	376
13	353,4	144,8	279,2	231,8	1441,6	631,8	1752,8	1046,8	370	52	458	204
14	743,6	481,0	521,0	335,8	1977,4	1267,6	1951,8	1481,6	696	154	608	264
15	729,4	206,8	334,8	233,6	1905,8	809,6	1954,2	1588,4	468	104	590	318
16	1253,6	909,2	602,8	550,2	1975,0	1398,8	1992,6	1689,8	542	158	666	300
17	665,0	449,6	496,8	444,8	1947,2	916,2	1978,8	1745,6	400	116	834	290
18	345,8	259,4	613,4	371,0	1791,8	1073,2	1979,2	1700,0	360	114	894	416
19	1030,4	569,8	543,4	431,4	1998,4	1233,4	1985,8	1711,0	794	146	828	374
20	722,6	537,6	611,4	466,2	1966,4	1311,0	1964,0	1603,4	562	128	290	148
21	656,8	401,0	492,0	321,0	1969,0	1023,0	1891,0	1267,8	504	118	484	190
22	967,0	486,6	615,2	623,8	1958,0	926,8	1709,2	1143,4	526	160	358	174
23	825,0	702,6	282,2	180,6	1993,6	1240,4	1956,0	1555,0	532	154	642	262
24	1122,5	590,8	343,2	340,8	2001,4	1230,0	1947,8	1321,8	820	166	442	216
25	1760,8	1655,2	413,4	401,0	1988,8	1098,0	1947,8	1564,0	866	496	712	290
26	350,0	210,6	395,4	232,2	1456,0	1110,4	1682,4	1092,6	458	106	478	168
27	1180,6	862,0	845,4	628,4	1977,2	1200,0	1897,4	1265,6	704	202	582	184
28	567,2	324,6	1 115,4	770,0	1678,2	615,4	1864,0	1428,2	466	72	562	194

Nr próbki	Sód				Magnez				Potas			
	mg·kg ⁻¹				mg·kg ⁻¹				mg·kg ⁻¹			
	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m. HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m. HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m. HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m. HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m. HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m. HCl
	I seria		II seria		I seria		II seria		I seria		II seria	
29	973,8	611,2	405,0	357,0	1983,4	1073,0	1912,4	1290,4	626	150	412	210
30	731,6	425,2	503,8	229,8	1878,6	820,6	1850,6	1608,0	638	104	644	364
31	796,0	459,8	1 409,2	952,4	1981,2	1208,8	1916,2	1318,4	630	148	668	334
32	556,2	226,8	242,6	174,0	1903,4	1145,8	1936,8	1315,0	612	100	466	222
33	1498,6	851,2	1 424,0	1 033,4	2010,0	1224,6	1801,8	1501,2	686	174	272	156
34	1366,4	888,2	518,0	277,2	1987,4	1407,4	1890,8	1197,0	780	220	392	198
35	919,2	451,4	666,2	605,2	1988,8	914,2	1950,6	1514,2	600	150	534	306
36	479,4	224,2	368,2	278,2	1749,4	805,2	1980,4	1342,6	402	100	704	264
37	712,4	403,6	572,0	569,2	1982,4	1168,4	1983,4	1598,4	452	86	1600	422
38	812,8	351,0	622,4	262,2	1967,8	1230,8	1890,4	1367,0	662	192	474	226
39	798,6	409,8	372,0	285,4	1990,2	1333,8	1923,0	1498,2	834	226	496	250
40	1190,8	697,0	1 082,4	724,2	1993,0	1260,2	1933,8	1531,8	816	192	484	220
41	1007,4	340,4	403,4	296,4	1997,8	1340,2	1856,6	1424,4	862	166	388	162
42	910,8	111,0	355,8	198,6	1972,4	498,8	1943,4	1715,0	632	70	460	254
43	941,0	520,4	504,4	391,0	1992,6	1147,0	1936,4	904,8	554	150	422	174
44	1243,4	920,8	1 115,8	831,4	1994,8	1509,0	1962,2	1767,0	894	218	472	218
45	1458,0	1043,4	880,8	697,2	2000,6	1528,8	1970,4	1525,4	1060	194	520	194
46	726,6	439,2	939,0	482,8	1967,0	1127,4	1919,0	1508,6	626	120	378	206
47	772,2	395,0	1 216,6	651,2	1971,4	1271,4	1717,4	1060,2	688	158	312	148
48	931,4	435,6	1 223,6	1 205,6	1978,4	1091,4	1954,2	1631,8	690	134	570	230
49	971,2	501,0	400,6	366,6	1981,4	1538,0	1912,0	1503,2	1108	278	684	194
50	826,2	361,4	444,2	389,6	1937,8	1172,6	1934,4	1290,2	620	141	512	202
51	943,6	579,6	534,4	395,8	1953,4	1156,6	1481,0	11065,2	698	160	342	140
52	1150,0	724,8	528,6	481,2	1961,6	1260,4	1890,6	981,4	640	164	818	142
53	753,4	421,2	465,8	367,0	1949,8	1114,8	1976,8	1601,0	610	142	660	360
54	1104,2	602,4	491,0	436,2	1978,0	1236,0	1642,0	1062,4	696	196	408	164
55	888,4	555,8	758,8	543,6	1949,0	1092,0	1792,4	1120,0	568	146	384	128
56	1007,8	351,8	511,0	466,4	1990,8	1721,2	1964,6	1707,0	1660	368	1116	670

Tabela. 28. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze c.d. Zawartość wapnia, miedzi i cynku

Nr próbki	Wapń				Miedź				Cynk			
	mg·kg ⁻¹				mg·kg ⁻¹				mg·kg ⁻¹			
	Rozp. w w. król.	Rozp. w w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl
	I seria		II seria		I seria		II seria		I seria		II seria	
1	8106	5339	3016	1220	121,56	30,79	38,54	23,52	409,86	123,00	77,82	74,37
2	7486	4012	5382	2558	254,26	115,00	62,28	43,00	405,00	128,00	138,40	110,37
3	12436	3620	10480	2643	166,08	26,51	53,84	29,01	292,60	96,49	138,40	123,50
4	5492	2599	1952	1129	39,78	21,36	35,68	6,52	103,84	68,39	85,92	74,12
5	4342	1821	2776	1859	64,24	23,76	48,84	2,64	148,56	84,05	102,78	93,20
6	2594	1674	3826	1368	105,52	16,86	150,2	2,60	123,58	59,02	183,9	91,41
7	4210	2788	4628	1795	45,52	26,48	42,34	2,72	138,62	89,90	69,00	52,10
8	1666	945	6288	1916	38,44	18,16	40,52	27,27	105,00	65,67	111,32	108,41
9	12414	9168	3244	865	62,74	43,69	42,94	2,76	185,46	115,00	113,04	88,82
10	2848	1617	2006	1294	44,20	28,88	15,62	2,58	124,14	80,76	106,22	70,26
11	2578	1601	2504	1433	43,50	20,93	32,76	2,39	84,02	50,35	58,34	45,75
12	5006	4730	7554	4033	47,84	29,27	75,06	2,32	314,20	135,00	75,24	66,89
13	1598	1352	3864	1054	19,20	13,08	35,42	19,00	146,28	87,24	85,28	73,24
14	2264	1720	5906	2815	44,84	26,27	52,42	30,12	189,32	103,63	115,66	94,77
15	1812	888	6498	2421	76,38	17,82	69,12	35,59	103,62	35,76	242,4	116,80
16	2494	1575	4384	1823	39,38	24,36	54,96	40,31	82,58	59,28	128,48	117,30
17	1602	1384	5044	2100	74,56	12,16	42,04	23,30	70,84	54,62	96,70	93,20
18	1502	1281	4210	2245	23,00	16,94	55,02	36,27	190,52	102,76	128,24	111,30
19	2496	1312	3998	1066	41,06	19,45	41,20	24,22	100,7	47,75	57,00	52,54
20	1888	1133	1566	935	47,50	19,72	12,44	2,40	94,48	56,71	28,24	21,38
21	1964	872	1114	518	43,74	14,38	33,28	2,76	95,02	42,87	63,88	48,07
22	1578	962	1200	639	35,54	13,40	35,10	2,37	71,64	29,01	41,24	39,96
23	2668	1835	4186	1630	30,28	14,16	76,84	2,32	62,88	30,43	121,28	97,88
24	4570	1823	7194	4001	49,32	22,67	37,96	2,51	115,02	44,44	132,92	119,50
25	2050	1113	3658	1695	49,38	23,13	70,26	2,41	85,40	38,47	133,86	109,26
26	840	790	17402	9931	20,90	14,36	17,04	12,20	84,56	38,46	39,44	32,13
27	1308	709	13406	6112	43,50	22,76	26,58	12,27	95,94	46,35	51,60	46,92
28	624	662	17588	10314	15,80	10,86	36,72	17,30	40,58	31,92	251,00	160,58

Nr próbki	Wapń				Miedź				Cynk			
	mg·kg ⁻¹				mg·kg ⁻¹				mg·kg ⁻¹			
	Rozp. w w. król.	Rozp. w w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp.w 0,1 m HCl
	I seria		II seria		I seria		II seria		I seria		II seria	
29	1326	484	3932	2197	33,66	22,96	71,24	51,46	68,40	45,87	154,74	103,62
30	1712	1414	4436	1955	19,90	12,61	72,72	60,90	62,96	39,59	135,80	119,60
31	2008	1326	4018	2160	60,52	22,64	35,28	23,32	98,46	73,87	160,78	127,89
32	2494	1673	4406	1862	34,04	23,14	27,44	19,32	143,62	97,90	80,46	76,74
33	3840	1681	3586	2434	40,74	16,66	20,40	20,21	91,54	54,92	68,24	57,26
34	2180	1924	3836	1559	44,88	9,49	28,24	17,32	145,68	109,82	157,16	71,22
35	1574	814	5292	2486	34,42	15,26	51,26	22,36	79,14	51,09	156,92	124,36
36	578	325	4566	2113	41,62	21,28	51,18	31,42	33,00	22,11	172,66	117,56
37	1394	758	12320	7101	19,12	12,63	82,64	39,51	43,08	23,23	272,00	161,58
38	3020	1496	2124	872	69,74	24,85	40,14	22,65	102,78	76,83	72,08	70,10
39	2562	1271	6904	3111	86,36	33,36	41,06	38,79	162,66	100,51	109,04	106,20
40	4302	2139	6370	2303	80,58	33,72	25,86	17,33	154,96	109,62	75,10	68,39
41	5154	2512	4046	2078	51,88	23,11	15,70	8,30	264,20	138,00	32,04	29,37
42	5260	1143	5814	4288	43,46	23,44	48,92	18,56	106,94	84,66	77,12	71,25
43	1836	925	1776	1046	31,46	15,63	21,12	12,01	95,36	64,60	63,68	51,56
44	6716	4486	5502	2341	73,22	34,12	32,34	20,40	174,34	112,00	83,76	72,55
45	2462	2374	5340	2444	68,48	40,96	51,10	24,39	280,60	125,00	176,16	124,87
46	4704	3511	3838	1570	43,14	28,97	33,30	30,89	112,30	86,33	127,08	118,36
47	2544	1602	3864	1470	49,58	23,65	20,30	17,88	98,90	72,07	65,70	61,23
48	3046	1341	4376	2233	38,46	23,08	32,40	2,63	92,64	59,32	82,98	78,80
49	7874	4057	2736	2026	177,90	58,02	48,22	2,62	193,16	109,00	208,42	144,6
50	2980	2787	5140	1550	37,50	29,06	66,14	35,73	102,84	100,24	124,10	96,40
51	2682	1256	7664	6436	44,58	21,93	32,10	19,50	113,06	70,74	220,20	156,87
52	2760	1460	2470	1414	46,6	25,23	26,58	2,67	98,96	78,01	87,98	49,84
53	1920	1027	4006	1595	38,92	19,60	96,44	81,02	82,16	66,91	250,00	155,87
54	3096	1367	2024	1436	60,74	26,51	27,36	2,53	110,06	67,83	87,56	73,24
55	5990	3234	1966	1052	32,18	19,02	32,34	20,23	75,14	55,15	133,34	125,45
56	5162	2323	3114	909	115,50	42,59	116,10	2,60	20,39	18,93	154,36	131,25

Tabela. 29. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze c.d. Zawartość ołowiu, kadnu i kobaltu

Nr próbki	Ołów mg·kg ⁻¹				Kadm mg·kg ⁻¹				Kobalt mg·kg ⁻¹			
	Rozp. w w. król.	Rozp. w w 0.1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w w 0.1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w w 0.1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl
	I seria		II seria		I seria		II seria		I seria		II seria	
1	151,46	77,09	49,14	40,99	1,28	0,54	0,96	0,64	3,24	2,12	3,46	1,05
2	278,48	178,30	67,94	53,11	1,78	0,68	0,90	0,55	18,74	8,36	7,58	3,47
3	129,62	64,58	70,80	53,46	0,96	0,21	1,14	0,61	29,46	8,53	8,66	3,88
4	30,88	27,25	35,50	32,52	0,60	0,26	0,98	0,67	4,58	2,86	2,82	2,13
5	45,02	42,85	81,18	43,59	0,62	0,09	2,56	0,76	11,22	7,35	3,96	3,82
6	37,84	28,83	145,30	53,39	0,64	0,17	7,08	0,99	3,88	2,08	5,44	3,88
7	28,86	25,19	59,66	20,84	0,86	0,30	2,22	0,67	2,56	2,27	5,36	2,64
8	41,56	35,11	48,04	36,30	0,82	0,20	0,94	0,60	5,20	4,01	6,70	4,24
9	32,82	29,60	94,94	36,60	1,06	0,49	2,06	0,90	1,12	1,00	7,08	5,38
10	28,42	24,58	60,06	23,96	0,88	0,34	0,98	0,74	1,62	1,31	2,74	0,43
11	16,78	15,26	137,14	21,84	0,76	0,19	9,44	0,71	1,40	1,28	4,00	1,24
12	58,54	43,30	150,96	31,50	1,16	0,35	9,74	0,62	3,56	3,19	7,56	3,67
13	23,76	18,90	42,40	28,85	2,10	0,18	1,08	0,50	2,14	0,96	4,28	0,98
14	57,60	52,30	44,90	29,00	0,98	0,53	1,18	0,59	5,44	2,45	4,56	1,04
15	17,38	13,25	109,88	53,19	0,70	0,13	1,56	0,94	4,76	1,86	6,60	2,20
16	21,20	19,70	72,28	48,99	0,84	0,25	1,10	0,61	6,10	2,47	2,46	1,04
17	8,70	6,70	39,02	30,20	0,22	0,22	1,22	0,57	4,36	1,23	5,52	0,94
18	51,54	47,53	56,96	47,03	0,48	0,29	3,26	0,64	3,42	1,40	5,18	1,46
19	20,24	18,20	34,50	29,25	0,28	0,22	0,94	0,53	6,98	2,26	6,62	1,81
20	14,06	12,10	50,00	10,81	0,56	0,34	2,80	0,69	5,14	1,70	2,98	0,42
21	16,62	14,32	60,50	30,10	0,48	0,26	1,02	0,76	4,84	1,50	3,94	2,67
22	37,42	18,29	124,02	20,13	0,32	0,18	8,58	0,63	4,12	1,36	3,40	1,62
23	26,50	14,58	158,14	29,26	0,46	0,33	9,74	0,75	5,24	1,34	6,46	2,13
24	38,50	30,81	93,72	25,79	0,44	0,32	5,02	0,86	7,38	2,20	4,40	2,37
25	30,60	28,75	172,78	38,42	0,56	0,25	8,90	0,90	7,88	2,87	7,44	3,41
26	111,50	32,43	27,56	18,81	0,64	0,27	1,08	0,50	2,16	0,10	2,28	1,57
27	30,60	26,68	36,14	24,77	0,48	0,20	0,53	0,48	7,14	2,38	3,20	1,82

Nr próbki	Ołów				Kadm				Kobalt			
	mg·kg ⁻¹				mg·kg ⁻¹				mg·kg ⁻¹			
	Rozp. w w. król.	Rozp. w w 0.1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w w 0.1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w w 0.1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl
	I seria		II seria		I seria		II seria		I seria		II seria	
28	18,50	17,80	62,54	38,95	0,44	0,19	0,96	0,70	2,60	0,86	4,02	1,97
29	262,40	29,83	49,72	29,34	0,44	0,18	1,22	0,52	6,50	2,11	4,06	1,40
30	27,02	20,31	92,74	78,01	0,48	0,17	0,70	0,64	2,82	2,06	5,66	4,68
31	40,96	31,97	68,70	54,68	0,58	0,24	1,18	0,71	6,36	2,67	5,42	1,52
32	42,08	34,65	30,04	20,69	0,54	0,30	0,68	0,68	5,02	2,35	3,38	1,80
33	36,32	23,94	33,74	24,48	0,60	0,22	0,92	0,57	7,04	2,51	2,66	0,20
34	55,40	37,59	35,86	25,37	0,66	0,39	1,10	0,55	7,18	3,23	3,88	0,34
35	34,60	23,36	53,02	37,35	0,48	0,25	1,38	0,75	6,36	1,81	4,46	0,19
36	21,28	18,08	112,14	75,19	0,40	0,06	1,42	0,71	4,12	2,30	5,92	0,21
37	26,38	19,87	130,00	54,12	0,44	0,23	2,02	1,55	4,48	1,25	7,28	1,39
38	46,00	34,82	39,40	28,72	0,68	0,44	0,60	0,54	7,30	3,44	4,68	3,08
39	102,86	45,89	39,22	34,61	1,06	0,69	0,82	0,62	12,68	5,21	3,28	2,52
40	69,72	47,31	56,06	22,14	0,78	0,57	2,60	0,59	9,76	2,98	4,38	1,97
41	75,24	39,65	37,78	13,97	1,16	0,77	0,40	0,36	8,62	2,59	2,06	0,75
42	55,40	23,30	31,94	18,89	0,72	0,42	1,40	0,90	6,04	0,73	3,00	1,58
43	28,62	22,32	31,62	22,73	0,60	0,40	0,62	0,59	6,76	2,03	1,46	0,70
44	104,10	52,63	38,66	24,73	0,90	0,79	0,98	0,83	9,42	2,50	3,40	2,23
45	97,00	78,74	92,38	33,90	0,84	0,79	0,88	0,84	8,94	2,99	4,30	2,55
46	56,40	51,29	46,52	40,16	0,56	0,51	1,02	0,80	6,16	1,13	2,62	2,34
47	41,92	21,47	43,24	21,83	0,58	0,47	0,88	0,64	8,10	1,16	1,74	1,04
48	57,66	21,82	46,08	25,47	0,66	0,49	0,98	0,85	6,34	0,25	5,04	2,00
49	148,50	75,91	88,98	52,29	1,26	0,81	1,50	1,23	11,10	2,80	5,60	1,55
50	36,00	34,75	56,30	35,65	0,60	0,59	0,98	0,93	5,24	0,47	3,34	1,84
51	47,66	27,17	83,12	42,02	0,78	0,56	1,18	1,03	6,60	0,91	1,40	0,90
52	44,08	34,61	130,06	19,74	0,58	0,52	8,62	0,65	6,46	0,57	1,90	1,33
53	40,34	27,99	119,30	93,01	0,62	0,50	1,58	1,00	5,62	0,49	7,64	1,99
54	49,94	30,17	71,70	37,43	0,72	0,65	1,12	0,59	8,22	1,02	3,08	0,16
55	34,46	23,07	51,76	34,06	0,54	0,52	0,90	0,81	5,46	0,50	1,36	1,03
56	80,86	46,87	120,56	65,14	1,00	0,75	3,22	0,65	16,48	4,95	12,76	9,58

Tabela. 30. Zestawienie wyników badań pyłów drogowych pobranych w Zielonej Górze c.d. Zawartość chromu i niklu

Nr próbki	Chrom mg·kg ⁻¹				Nikiel mg·kg ⁻¹			
	Rozp. w w. król.	Rozp. w w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp.w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl
	I seria		II seria		I seria		II seria	
1	26,28	4,19	13,06	3,36	19,22	5,53	11,40	5,09
2	29,72	5,30	22,76	5,27	19,92	5,95	18,76	4,79
3	48,48	4,95	29,60	5,75	48,76	4,43	20,50	4,02
4	16,02	3,48	17,86	4,69	17,64	4,49	14,66	4,06
5	14,22	4,65	20,20	4,08	11,48	4,31	14,84	4,54
6	18,46	2,97	24,20	3,61	16,40	3,55	18,50	4,94
7	16,52	3,73	29,68	2,99	15,30	5,03	27,74	7,86
8	16,30	3,13	11,60	4,07	9,12	3,78	10,14	4,54
9	18,52	3,57	29,34	2,28	32,24	5,02	35,96	13,69
10	18,64	2,92	20,26	2,46	15,26	4,54	15,12	4,09
11	12,10	3,01	12,42	2,42	12,72	4,11	13,44	3,60
12	15,46	5,13	17,00	4,24	11,84	5,66	14,38	3,91
13	10,36	2,62	13,68	3,11	16,62	3,42	10,46	3,86
14	18,00	3,77	19,88	3,47	15,80	4,93	15,92	4,67
15	13,04	2,26	24,12	5,50	13,70	2,94	17,62	4,96
16	18,74	2,99	26,98	5,22	20,34	4,34	53,40	5,88
17	15,14	2,23	23,86	4,23	24,40	3,70	21,10	5,57
18	10,40	2,78	42,12	4,47	8,74	3,97	33,04	5,94
19	22,80	3,13	21,56	3,98	16,94	4,03	22,66	5,34
20	17,32	3,25	20,20	0,48	13,88	4,10	20,46	5,81
21	16,58	3,32	13,36	3,09	13,80	3,78	13,30	4,34
22	14,22	2,62	12,56	2,09	13,46	3,53	11,78	3,38
23	17,92	2,76	26,90	3,18	19,26	4,81	19,26	4,92
24	25,72	3,57	14,86	2,85	21,62	4,13	12,28	3,95
25	20,58	3,47	22,80	3,45	15,22	4,04	16,82	4,66
26	6,30	1,91	7,22	2,90	5,94	3,29	7,74	3,54
27	19,90	3,01	17,40	2,48	14,84	4,06	11,38	3,43

Nr próbki	Chrom				Nikiel			
	mg·kg ⁻¹				mg·kg ⁻¹			
	Rozp. w w. król.	Rozp. w w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp.w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl	Rozp. w w. król.	Rozp. w 0,1 m HCl
	I seria		II seria		I seria		II seria	
28	9,52	2,07	13,22	3,62	8,48	2,98	11,60	4,51
29	18,06	2,37	16,98	2,88	16,66	4,31	14,00	3,88
30	10,40	2,49	21,52	8,17	10,58	3,41	15,72	5,72
31	20,36	2,83	15,10	4,00	16,28	4,20	11,18	4,36
32	8,98	3,08	22,70	2,83	10,62	4,12	16,28	5,01
33	23,24	2,63	12,48	2,55	22,60	4,53	13,08	4,80
34	20,62	3,15	16,86	3,38	18,00	5,93	12,40	4,03
35	20,98	2,32	15,62	3,39	17,68	3,57	17,42	5,14
36	9,12	2,60	25,28	4,05	6,34	3,18	17,98	4,90
37	14,88	1,41	27,68	5,73	17,46	4,95	24,30	6,99
38	18,04	3,96	20,84	3,75	14,62	3,73	13,86	4,01
39	27,64	4,76	23,78	4,28	20,74	4,46	15,94	5,20
40	27,42	3,25	20,78	2,56	21,98	4,23	15,56	4,27
41	24,78	2,92	12,94	1,86	21,34	5,23	11,38	3,53
42	19,34	1,93	17,72	2,53	16,70	3,09	14,96	5,91
43	19,48	2,53	19,10	2,03	20,90	4,29	10,34	3,43
44	27,28	4,33	26,58	3,18	20,58	6,64	21,36	5,70
45	28,00	4,07	31,36	4,14	25,06	6,05	19,80	5,28
46	21,82	3,25	18,36	3,54	18,86	4,34	15,12	5,06
47	19,52	3,59	10,92	2,16	16,86	4,27	8,92	3,27
48	21,64	2,56	20,62	1,50	16,86	3,54	19,46	5,69
49	28,60	6,42	23,02	2,19	19,56	5,01	19,22	5,95
50	13,44	3,15	25,80	3,18	15,32	4,25	17,50	4,66
51	18,46	2,74	11,46	2,56	16,76	3,36	9,66	3,68
52	20,04	3,41	13,48	2,19	18,08	4,21	11,68	3,66
53	15,80	2,53	46,82	6,44	18,00	3,96	32,92	7,82
54	17,60	3,32	11,60	1,13	17,80	3,54	11,80	3,37
55	16,30	2,97	11,88	2,23	17,26	4,00	12,02	3,83
56	25,32	4,12	27,78	7,62	24,66	5,90	18,04	4,67

