

# ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY STĘŻENIAMI METALI CIĘŻKICH I PYŁU PM10 A PARAMETRAMI METEOROLOGICZNYMI W REJONIE PUSZCZY BORECKIEJ W LATACH 2005–2011

Zdzisław Prządka, Anna Degórska, Krzysztof Skotak

**Prządka Z., Degórska A., Skotak K., 2012:** Zależność pomiędzy stężeniami metali ciężkich i pyłu PM10 a parametrami meteorologicznymi w rejonie Puszczy Boreckiej w latach 2005–2011 (*The relationship between the concentrations of heavy metals and PM10 and meteorological parameters in the Puszcza Borecka region in the years 2005-2011*), *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Vol. 13, s. 85–92.

**Zarys treści:** W opracowaniu przedstawiono ocenę wpływu wybranych parametrów meteorologicznych na stężenia pyłu PM10 i zawartych w nim metali ciężkich, mierzonych na poziomie tła regionalnego w północno-wschodniej Polsce. Przedstawione zależności w postaci współczynników determinacji obliczono na podstawie wyników pomiarów wykonanych na Stacji Puszcza Borecka Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego w latach 2005–2011. Zależności stężeń zanieczyszczeń pyłowych od warunków meteorologicznych przedstawiono w ujęciu sezonowym i rocznym, wskazując na ogólne trendy w rejonach o niskiej antropopresji.

**Słowa kluczowe:** pył zawieszony PM10, metale ciężkie, parametry meteorologiczne, współczynnik determinacji, niska antropopresja.

**Key words:** PM10 particulate matter, heavy metals, meteorological parameters, coefficients of determination, low anthropopressure.

Zdzisław Prządka, Anna Degórska, Krzysztof Skotak, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Stacja Kompleksowego Monitoringu Środowiska Puszcza Borecka, ul. Kolektorska 4, 01-692 Warszawa, e-mail: bn@ios.edu.pl

## 1. Wprowadzenie

Wiele badań pokazuje, że drobny pył zawieszony ma istotny wpływ na zdrowie ludzkie, m.in. ze względu na zawarty w nim duży ładunek substancji szkodliwych, w tym metale ciężkie (WHO, 2006). Ze względu na swoje właściwości fizyczne i chemiczne oraz częste przekraczanie na znacznym obszarze wartości określonych w celu ochrony zdrowia jest on obecnie w centrum uwagi zarówno naukowców, zajmujących się poznaniem mechanizmów wpływu pyłu na środowisko oraz zdrowie, jak i decydentów (w szczególności władz rządowych i samorządowych), odpowiedzialnych m.in. za wdrażanie polityki ekologicznej, programów ochrony atmos-

fery oraz ochronę zdrowia publicznego (EAŚ, 2010; GIOŚ, 2010). Szkodliwość zdrowotna pyłu wynika nie tylko z jego względnie dużej ilości w Polsce, ale także z tego, że niektóre jego składniki, jak na przykład sadza, stanowią nośniki szkodliwych związków, w tym metali ciężkich (WHO, 2007). Drobne cząstki pyłu, pochodzące w różnej proporcji zarówno ze źródeł naturalnych, jak i antropogenicznych, często nie różniące się od siebie pod względem fizycznym, posiadają odmienne właściwości chemiczne i toksyczne. Ze względu na swoją wagę i rozmiary mogą one przez długi czas pozostawać w powietrzu w postaci zawiesiny. Warunki meteorologiczne, m.in. dzięki wymywaniu zanieczyszczeń i inicjowaniu reakcji chemicznych, w znacznym stop-

niu przyczyniają się do eliminacji cząstek pyłu z otaczającego powietrza (Czarnecka, Kalbarczyk, 2008; Majewski i in., 2009). Celem pracy realizowanej w ramach zadań statutowych Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego (IOŚ-PIB), było określenie wpływu wybranych parametrów meteorologicznych na obserwowane wysokości stężeń pyłu PM10 (o frakcji ziaren poniżej 10 µm) i zawartych w nim metali ciężkich na poziomie tła regionalnego w północno-wschodniej Polsce.

## 2. Metodyka badań

Pomiary zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM10 i zawartych w nim metali ciężkich, takich jak cynk (Zn), ołów (Pb), nikiel (Ni), miedź (Cu), chrom (Cr), kadm (Cd) i arsen (As) wykonano w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMS) na Stacji Kompleksowego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Puszcza Borecka IOŚ-PIB (Stacja). Analizy sporządzono w Laboratorium Monitoringu Środowiska IOŚ-PIB na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska na podstawie umowy finansowanej ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Stacja zlokalizowana jest w województwie warmińsko-mazurskim, w rejonie charakteryzującym się niską antropopresją. Usytuowana jest na zachodnim skraju dużego kompleksu leśnego Puszczy Boreckiej, w pobliżu jeziora Łękuk, z dala od siedzib ludzkich, ośrodków przemysłowych i węzłów komunikacyjnych. Od 1993 r. badania prowadzone na Stacji związane są m.in. z oceną przenoszenia zanieczyszczeń na duże odległości i przemianami chemicznymi substancji pierwotnych, zachodzącymi pomiędzy źródłami emisji a obszarem, do którego zanieczyszczenia docierają, kształtowanymi przez warunki meteorologiczne. Pył zawieszony PM10 i zawarte w nim metale ciężkie zostały

wprowadzone do programu pomiarowego Stacji w roku 2005.

Stężenia pyłu zawieszzonego PM10 określano metodą wagową przy użyciu wysokoobjętościowego pobornika pyłu typu DHA-80 firmy Digitel. Metody oznaczeń metali ciężkich przedstawiono w tabeli 1.

Oznaczenia metali ciężkich prowadzono w zbiorczych próbkach tygodniowych (łączonych z dobowych próbek pyłu pobieranego na filtry kwarcowe). Poza wykonywanymi pomiarami jakości powietrza na Stacji prowadzono również równoległe pomiary parametrów meteorologicznych. Pomiary te wykonywano z wykorzystaniem automatycznego systemu Milos 500 w zakresie: temperatury (T) i wilgotności względnej powietrza (RH), ciśnienia atmosferycznego (Pa), wysokości (PR), czasu trwania (DPR) i natężenia opadu (PI), prędkości wiatru (WS), natężenia całkowitego promieniowania słonecznego (SR) i usłonecznienia (SD). Zależności pomiędzy obserwowanymi stężeniami pyłu zawieszzonego PM10 i zawartymi w nim metalami ciężkimi a parametrami meteorologicznymi zostały przedstawione w postaci współczynników determinacji (na poziomie ufności 95%), przy określonych współczynnikach istotności krytycznej rozkładu t Studenta z wykorzystaniem metody regresji liniowej zwykłej. Analizę danych przeprowadzono w ujęciu rocznym (I–XII) i sezonowym: dla chłodnej (IX–IV) i ciepłej (V–X) połowy roku.

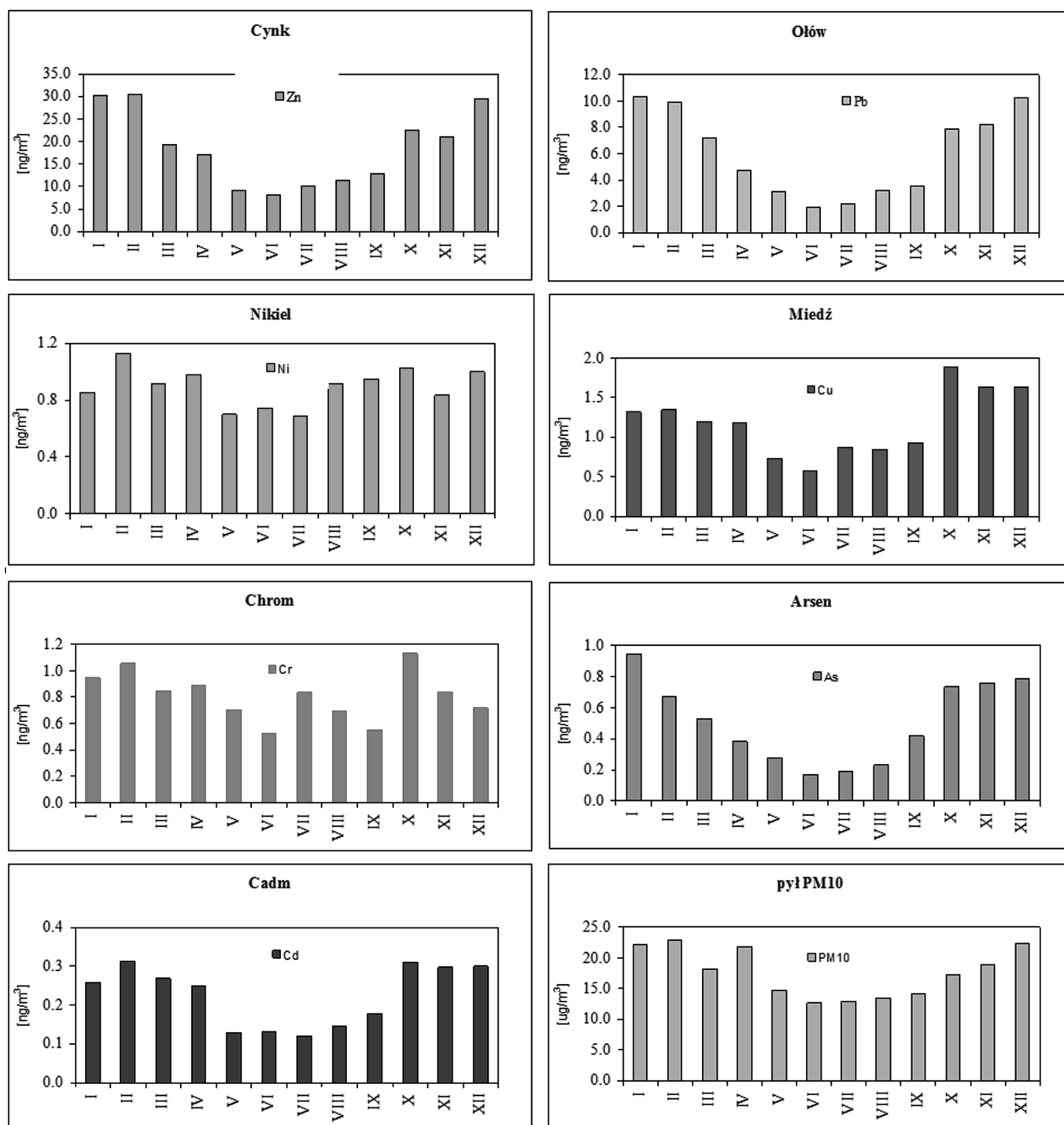
## 3. Wyniki

Podstawę analizy wyników pomiarów stanowiły uśrednione dla każdego miesiąca wartości stężeń zanieczyszczeń powietrza i wartości parametrów meteorologicznych uzyskane w okresie 2005–2011. Na ryc. 1 przedstawiono uśrednione dla całego analizowanego okresu przebiegi zmian stężeń metali ciężkich zawartych w pyłe zawieszonym PM10.

Tab. 1. Metodyka oznaczenia stężenia pyłu PM10 i zawartych w nim metali ciężkich

Tab. 1. Measurement methods of PM10 particulate matter and heavy metals concentration

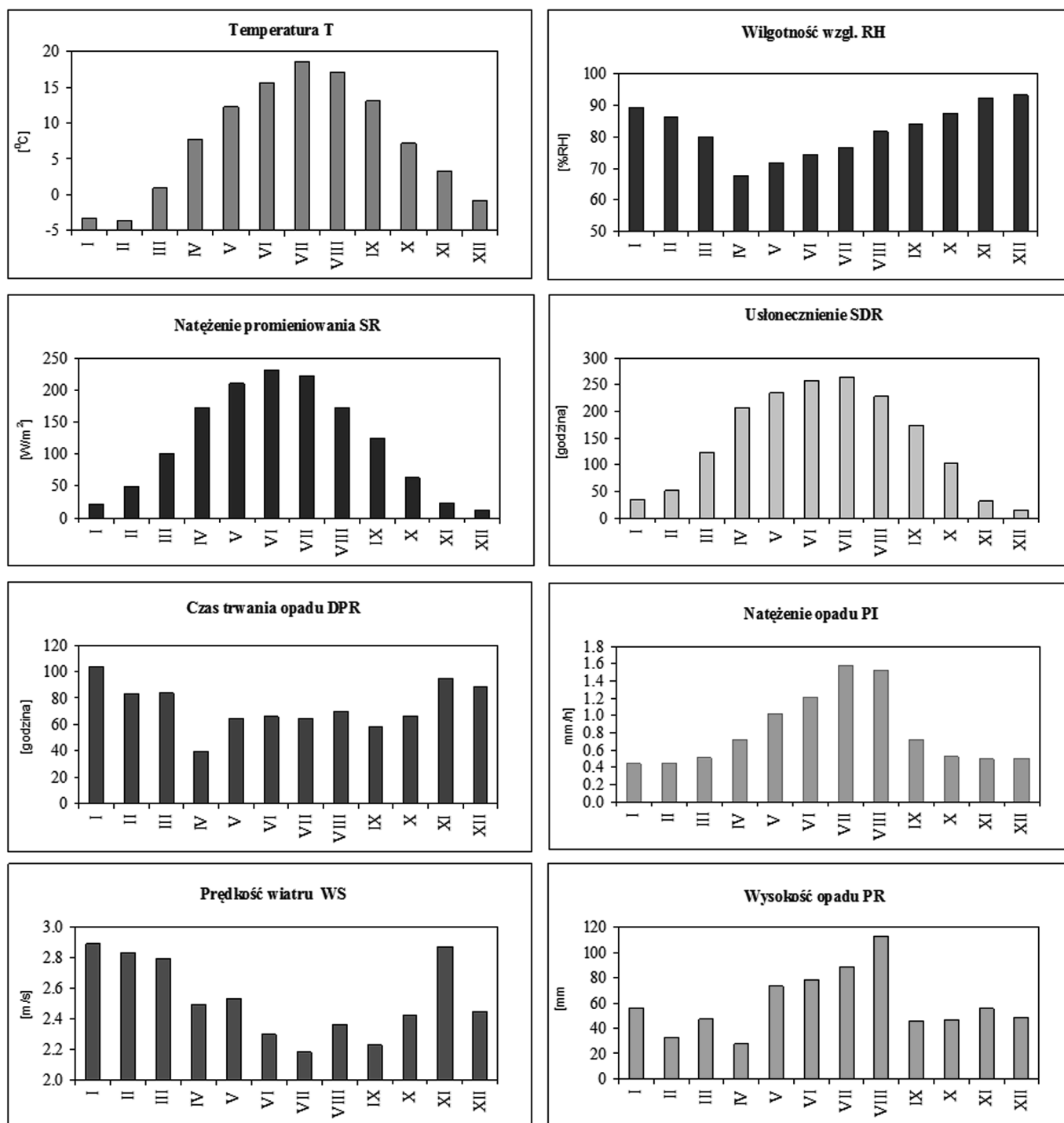
Wskaźnik <i>Indicator</i>	Czas uśredniania <i>Averaging time</i>	Metoda poboru próbek <i>Method of sampling</i>	Metoda oznaczania <i>Method for determination</i>
Pył PM10	dość	pobornik pyłu typu DHA-80, Digitel	wagowa
As	próbka tygodniowa łączona z dobowych wyników		ICP-AES/GF-AAS
Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni			ICP-AES
Oznaczenia: ICP-AES – plazmowa spektrometria atomowa emisyjna GF-AAS – spektrometria atomowa z kuwetą grafitową			



Ryc. 1. Zmienność średnich stężeń metali ciężkich zawartych w pyłe PM10 w poszczególnych miesiącach w latach 2005–2011  
 Fig. 1. The changes of monthly average heavy metals concentration in PM10 for the years 2005–2011

Uzyskane wyniki pokazują, że zmiany stężenia pyłu PM10 mają wyraźny charakterystyczny sezonowy wpływ w skali roku: najwyższe wartości występują w zimie (XII–II), a najniższe w lecie (VI–VIII). Typowe dla rejonu Stacji były podwyższone stężenia pyłu zawieszonego w kwietniu (tzw. lokalne maksimum kwietniowe w przebiegu rocznym). W tym miesiącu

również dla stężeń niklu i chromu uzyskano wartości maksymalne. Wykonane analizy pokazały, że cynk i ołów należą do metali, których udział procentowy w pyłe zawieszonym PM10 w rejonie Stacji jest największy. Ich przebiegi są zbliżone do przebiegu pyłu PM10. Podobnie sytuacja wygląda dla arsenu i kadmu, których stężenia są jednak na znacznie niższym poziomie.



Ryc. 2. Zmienność średnich miesięcznych wartości elementów meteorologicznych w latach 2005–2011

Fig. 2. The changes of monthly average meteorological parameters values in 2005–2011

Przebiegi wybranych parametrów meteorologicznych, które charakteryzują zmiany sezonowe w rejonie Stacji w okresie 2005–2011 przedstawiono na ryc. 2. Analiza uzyskanych wyników pokazuje, że dla badanego rejonu można wyróżnić charakterystyczne okresy w skali roku:

- czerwiec–lipiec, okres o największych wartościach natężenia całkowitego promieniowania słonecznego

go i usłonecznienia, najwyższej temperaturze powietrza oraz największych wartościach wysokości opadu deszczu i jego natężenia;

- styczeń–luty, okres z najmniejszym dopływem energii słonecznej do podłoża, a zatem z najmniejszymi wartościami promieniowania słonecznego, najniższą temperaturą powietrza i natężeniem opadu całkowitego oraz z największymi prędkościami

wiatru i największymi wartościami wilgotności względnej powietrza;

- kwiecień, okres najsuchszy w ciągu roku, z najmniejszymi wartościami wilgotności względnej powietrza i wysokości opadu całkowitego,
- listopad, okres występowania bardzo silnych wiatrów z wysokimi wartościami wilgotności względnej powietrza i czasu trwania opadu.

Przedstawione powyżej wyniki mają znaczący wpływ na sezonową zmienność analizowanych zanieczyszczeń pyłowych w czasie, która wynika m.in. z sezonowej zmiany w dopływie energii promieniowania słonecznego do powierzchni ziemi oraz okresowych zmian wielkości emisji zanieczyszczeń powietrza. Szczególnie widoczne jest to w okresie zimowym (od listopada do kwietnia), w którym emitowana jest do atmosfery zwiększona ilość zanieczyszczeń pyłowych powstałych ze spalania paliw kopalnych i biomasy do celów grzewczych, głównie z elektrowni i elektrociepłowni oraz indywidualnych pieców (z tzw. niskiej niekontrolowanej emisji komunalnej). Obserwowane wysokości stężeń pyłu zawieszonego PM10 są wówczas nawet kilkakrotnie wyższe niż w okresie letnim (lipiec–sierpień). W kwietniu i listopadzie wyraźnie zauważalny jest moment wpływu okresu grzewczego na jakość powietrza atmosferycznego. W tych miesiącach znaczący wpływ na wysokość obserwowanych stężeń pyłu PM10 ma również wtórna emisja pyłu z powierzchni gleby, zazwyczaj pozbawionej w tych okresach pokrywy śnieżnej lub roślinnej (ograniczającej resuspensję) i intensywnie uprawianej (wzruszanej na gruntach ornych).

Badania pokazują, że w przypadku metali ciężkich obserwuje się nieco inne zmiany sezonowe niż dla PM10. Zmiany te są różne w zależności od rodzaju zanieczyszczenia. Najbardziej nieregularne przebiegi uzyskano dla Cr i Cu, gdzie wartości maksymalne stężeń występowały w październiku, minimalne zaś w czerwcu. W przeciwieństwie do nich Zn, Pb i As charakteryzują się przebiegami najbardziej zbliżonymi do obserwowanych sezonowych zmian pyłu PM10. Dla tych metali maksymalne wartości występowały w zimie (w tym w kwietniu), natomiast minimalne latem.

W celu określenia zależności pomiędzy uzyskanymi stężeniami analizowanych zanieczyszczeń pyłu i parametrami meteorologicznymi obliczono współczynniki determinacji dla chłodnej (XI–IV) i ciepłej (V–X) połowy roku oraz osobno dla roku. Wyrażone w procentach wartości współczynników determinacji, obliczone dla stężeń pyłu i metali oraz parametrów meteorologicznych zestawiono w tabelach 2–4. Zależności odwrotnie proporcjonalne zaznaczono znakiem „-”.

### 3.1. Pył zawieszony

Dla chłodnej połowy roku najwyższą odwrotnie proporcjonalną korelację stężenia pyłu PM10 otrzymano z wysokością i czasem trwania opadu oraz prędkością wiatru i nieco niższą z temperaturą powietrza (tab. 2). Niewielką korelację wyników PM10 uzyskano również z ciśnieniem atmosferycznym. Nie zaobserwowano żadnej korelacji stężenia pyłu z natężeniem promieniowania słonecznego i usłonecznieniem oraz z wilgotnością względną powietrza.

Odmianą sytuację obserwuje się w ciepłej połowie roku, gdzie najwyższy współczynnik korelacji stężenia pyłu PM10 uzyskano w zestawieniu z wynikami natężenia opadu, natężenia promieniowania słonecznego i z temperaturą powietrza (tab. 3). Dla pozostałych parametrów meteorologicznych, obliczone korelacje są słabo zaznaczone.

Analiza obliczonych współczynników korelacji w skali roku pokazała, że największe wartości współczynnika determinacji dla stężenia pyłu PM10 odnoszą się do głównych wskaźników klimatycznych, tj. temperatury powietrza, natężenia i wysokości opadu oraz natężenia promieniowania słonecznego i usłonecznienia (tab. 4). Zaskakujący jest fakt, że obliczona zależność pomiędzy wysokością stężenia pyłu PM10 oraz czasem trwania opadu jest bardzo niska. Występujące różnice we współczynnikach determinacji, dotyczących charakterystyk opadu, obliczone oddzielnie dla dwóch sezonów i roku świadczą o złożoności procesu wymywania cząsteczek pyłu przez opady, gdzie decydującą rolę mogą odgrywać inne niebadane czynniki, takie jak: wielkość i rodzaj kropel deszczu i płatków śniegu oraz frakcja cząsteczek pyłu zawieszonego. Z przedstawionej analizy danych wynika także, że zmniejszenie poziomu stężenia pyłu podczas występowania opadów może być spowodowane nie tylko ich wymywaniem, ale również innymi czynnikami pośrednio wpływającymi na zmianę emisji zanieczyszczeń, takimi jak np. wzrost temperatury powietrza podczas przechodzenia frontu ciepłego z opadami w sezonie grzewczym.

### 3.2. Metale ciężkie

Przeprowadzone analizy pokazują, że wpływ parametrów meteorologicznych na zawarte w pyłach PM10 stężenia metali ciężkich jest inny niż obserwowany na stężenia samego pyłu. W chłodnej połowie roku (tab. 2) najsilniej skorelowane ujemnie z temperaturą powietrza, natężeniem promieniowania słonecznego i usłonecznieniem są zanieczyszczenia najbardziej znaczące pod względem

Tab. 2. Współczynniki determinacji pomiędzy średnimi miesięcznymi stężeniami pyłu zawieszonego PM10 i metali ciężkich a elementami meteorologicznymi dla chłodnej połowy roku w latach 2005–2011

Tab. 2. The coefficients of determination between the average monthly concentrations of PM10 and heavy metals and the meteorological elements for cool half of year in 2005–2011

Metale w PM10 Metals in PM10	Elementy meteorologiczne – chłodna połowa roku / Meteorological elements – cool half year								
	Temperatura T Temperature	Wilgotność względna RH Relative humidity	Ciśnienie Pa Pressure	Wysokość opadu PR Precipitation amount	Czas trwania opadu PD Precipitation duration	Natężenie opadu PI Precipitation intensity	Prędkość wiatru WS Wind speed	Natężenie promieniowania SR Solar radiation	Ustalonecznienie SD Sun duration
Pył PM10	-9%	0%	2%	-30%	-18%	-4%	-22%	0%	0%
As	-9%	9%	0%	0%	0%	-3%	0%	-15%	-16%
Zn	-27%	13%	1%	-2%	0%	-4%	0%	-17%	-20%
Pb	-22%	13%	2%	-1%	0%	-5%	-1%	-22%	-23%
Cd	0%	2%	1%	-1%	-2%	0%	-1%	-4%	-5%
Cr	-3%	1%	1%	-7%	-11%	0%	-2%	-1%	-1%
Cu	-1%	0%	3%	-4%	-3%	-1%	0%	0%	-1%
Ni	-3%	-5%	3%	-4%	-7%	-3%	-8%	-1%	-1%

Tab. 3. Współczynniki determinacji pomiędzy średnimi miesięcznymi stężeniami pyłu zawieszonego PM10 i metali ciężkich a elementami meteorologicznymi dla ciepłej połowy roku w latach 2005–2011

Tab. 3. The coefficients of determination between the average monthly concentrations of PM10 and heavy metals and the meteorological elements for warm half of year in 2005–2011

Metale w PM10 Metals in PM10	Elementy meteorologiczne – chłodna połowa roku / Meteorological elements – cool half year								
	Temperatura T Temperature	Wilgotność względna RH Relative humidity	Ciśnienie Pa Pressure	Wysokość opadu PR Precipitation amount	Czas trwania opadu PD Precipitation duration	Natężenie opadu PI Precipitation intensity	Prędkość wiatru WS Wind speed	Natężenie promieniowania SR Solar radiation	Ustalonecznienie SD Sun duration
Pył PM10	-13%	1%	9%	-8%	-2%	-19%	6%	-13%	-6%
As	-13%	12%	1%	-6%	0%	-12%	0%	-22%	-18%
Zn	-14%	20%	3%	-4%	0%	-10%	0%	-30%	-22%
Pb	-21%	13%	5%	-10%	-2%	-12%	0%	-29%	-27%
Cd	-8%	7%	2%	-6%	-2%	-7%	0%	-15%	-11%
Cr	-13%	7%	6%	-13%	-5%	-14%	0%	-19%	-16%
Cu	-3%	6%	2%	-1%	-0%	-3%	0%	-5%	-3%
Ni	-2%	1%	6%	-3%	-5%	-1%	0%	-2%	0%

Tab. 4. Współczynniki determinacji pomiędzy średnimi miesięcznymi stężeniami pyłu zawieszonego PM10 i metali ciężkich a elementami meteorologicznymi dla roku w latach 2005–2011

Tab. 4. The coefficients of determination between the average monthly concentrations of PM10 and heavy metals and the meteorological elements for a year in 2005–2011

Metale w PM10 Metals in PM10	Elementy meteorologiczne – chłodna połowa roku / Meteorological elements – cool half year								
	Temperatura T Temperature	Wilgotność względna RH Relative humidity	Cisnienie Pa Pressure	Wysokość opadu PR Precipitation amount	Czas trwania opadu PD Precipitation duration	Natężenie opadu PI Precipitation intensity	Prędkość wiatru WS Wind speed	Natężenie promieniowania SR Solar radiation	Usłonecznienie SD Sun duration
Pył PM10	-40%	4%	1%	-24%	-2%	-28%	0%	-22%	-21%
As	-25%	16%	0%	-8%	1%	-20%	2%	-32%	-30%
Zn	-46%	23%	0%	-12%	1%	-26%	3%	-43%	-43%
Pb	-47%	21%	1%	-14%	1%	-28%	3%	-47%	-47%
Cd	-8%	7%	1%	-7%	1%	-8%	0%	-15%	-14%
Cr	-20%	2%	1%	-17%	3%	-15%	0%	-18%	-17%
Cu	-4%	2%	0%	-0%	2%	-2%	0%	-4%	-4%
Ni	-3%	0%	4%	-4%	-4%	-1%	-1%	-1%	0%

zawartości w pyłe, czyli cynk i ołów. Wysokości stężeń tych metali są także zależne wprost proporcjonalnie z wilgotnością względną powietrza. Charakterystyczną cechą wpływu warunków meteorologicznych na wysokości stężeń Zn i Pb w chłodnej połowie roku jest brak ich korelacji z wysokością opadu i jego charakterystykami (DPR, PI). Podobną, lecz nieco słabszą korelacją z parametrami meteorologicznymi charakteryzuje się arsen. Dla pozostałych poddanych analizie metali ciężkich (Cu, Cd, Cr, Ni) współczynniki determinacji są znacznie niższe (na poziomie poniżej kilku procent). Na uwagę zasługuje jednak występowanie odwrotnej korelacji dla tych zanieczyszczeń w odniesieniu do czasu trwania opadu (korelacja dla As, Zn i Pb w tym przypadku nie występuje).

W cieplej połowie roku korelacje stężeń takich metali, jak: cynk, ołów, arsen i kadm, z temperaturą i wilgotnością względną powietrza, natężeniem promieniowania i usłonecznieniem są na wyższych poziomach niż w sezonie chłodnym (tab. 3). Znaczące wartości współczynników korelacji tych metali uzyskano z natężeniem opadu przy prawie całkowitym braku korelacji z jego czasem trwania, co potwierdza złożoność zachodzących przemian metali zawartych w pyłe podczas występowania opadów.

Analiza uzyskanych współczynników korelacji w skali roku pokazała, że najwyższe wartości współczynnika determinacji dla metali najbardziej zależnych

od warunków meteorologicznych (Pb, Zn, As i Cd) odnoszą się do temperatury powietrza, natężenia promieniowania słonecznego i usłonecznienia, wilgotności względnej (zależnej wprost proporcjonalnie), wysokości opadu i jego natężenia (tab. 4).

#### 4. Podsumowanie

Na obszarze północno-wschodniej części Polski, w regionie pozamiejskim, w jakim znajduje się Stacja Puszcza Borecka, najwyższe średnie stężenia pyłu zawieszonego PM10 występują w chłodnej połowie roku (IX–IV). W latach 2005–2011 miesięczne wartości stężeń zimą kształtowały się przeciętnie na poziomie bliskim  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i były o 35% wyższe od obserwowanych w cieplej połowie roku (V–X).

Najwyższe stężenia metali ciężkich występujące w miesiącach zimowych (XII–I) były kilkakrotnie wyższe od obserwowanych w cieplej połowie roku (V–X). Najwyższe stężenia występowały w przypadku cynku i ołowiu, przy czym stężenia Zn były trzykrotnie wyższe od stężeń Pb.

Przeprowadzone analizy pokazały, że stężenia pyłu zawieszonego PM10 i zawartych w nim metali ciężkich charakteryzują się zmiennością sezonową, zależną przede wszystkim od temperatury powietrza (na którą

znaczący wpływ ma dopływ energii promieniowania słonecznego), od wysokości i natężenia opadów atmosferycznych oraz w mniejszym stopniu od wilgotności względnej powietrza. Jak wykazała analiza statystyczna współczynniki determinacji są statystycznie istotne (na poziomie ufności 95%, liczebności próbek  $L_p = 84$  i współczynnika krytycznego rozkładu Studenta  $T_{kryt} = 2,002$ ) dla stężenia PM10 z temperaturą powietrza, natężeniem i wysokością opadu, natężeniem promieniowania słonecznego i usłonecznieniem.

Najsilniejsze zależności między stężeniami pyłu zawieszonego PM10 a wysokością i czasem trwania opadu oraz prędkością wiatru występują w chłodnej połowie roku. Dla tego okresu współczynniki determinacji są statystycznie istotne (poziom ufności = 95%,  $L_p = 42$  i  $T_{kryt} = 2,049$ ) dla stężenia PM10 z wysokością opadu i prędkością wiatru.

W cieplej połowie roku zależności te są dużo słabsze (statystycznie nieistotne), natomiast znaczenia nabierają zależności związane z natężeniem promieniowania słonecznego i temperaturą powietrza.

Wpływ warunków meteorologicznych na stężenia zawartych w pyłe metali ciężkich jest zróżnicowany. W skali roku współczynniki determinacji są statystycznie istotne (na poziomie ufności 95%,  $L_p = 84$  i  $T_{kryt} = 2,002$ ) dla As, Zn i Pb z temperaturą i wilgotnością względną powietrza, natężeniem opadu, natężeniem promieniowania słonecznego i usłonecznieniem.

W chłodnej połowie roku stężenia tych metali są najsilniej skorelowane ujemnie z temperaturą powietrza i warunkami solarnymi oraz wilgotnością względną powietrza (korelacja dodatnia). Współczynniki determinacji są statystycznie istotne (na poziomie ufności 95%,  $L_p = 42$  i  $T_{kryt} = 2,049$ ), dla stężenia Zn i Pb z temperaturą powietrza, natężeniem promieniowania słonecznego i usłonecznieniem.

W cieplej połowie roku zależność stężeń tych zanieczyszczeń od warunków meteorologicznych jest jeszcze wyraźniej zaznaczona (z wyjątkiem zależności z temperaturą, która jest słabiej zaznaczona i z natężeniem opadu, która jest silniejsza). Współczynniki determinacji są statystycznie istotne (na poziomie ufności 95%,  $L_p = 42$ ,  $T_{kryt} = 2,049$ ), dla stężeń As, Zn i Pb z natężeniem promieniowania słonecznego i usłonecznieniem, dla Pb z temperatura powietrza oraz dla Zn z wilgotnością względną powietrza.

Wpływ takich parametrów jak ciśnienie atmosferyczne i prędkość wiatru jest najslabiej zaznaczony zarówno dla roku, jak i jego chłodnej i cieplej połowy.

Podsumowując można stwierdzić, że najważniejszymi czynnikami sprzyjającymi redukcji stężeń pyłu zawieszonego PM10 i zawartych w nim metali ciężkich jest wzrost natężenia promieniowania słonecznego, tem-

peratury powietrza i opadów oraz spadek wilgotności względnej powietrza.

## 5. Literatura

- WHO Regional Office for Europe, 2006:** *Air quality guidelines*. Global update 2005. Copenhagen.
- Europejska Agencja Środowiska, 2010:** *Środowisko Europy 2010 – Stan i prognozy. Synteza*.
- Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2010:** *Raport o stanie środowiska w Polsce 2008*. Biblioteka Monitoringu Środowiska.
- World Health Organization, Copenhagen, 2007:** *Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution*.
- Czarnecka M., Kalbarczyk R., 2008:** *Warunki meteorologiczne kształtujące zmienność stężenia pyłu zawieszonego na Pomorzu*. *Acta Agrophisica*, 11 (2), 357–368.
- Majewski G. i in., 2009:** *Analiza zmienności wybranych zanieczyszczeń powietrza w zależności od opadów atmosferycznych w rejonie Ursynowa*. *Acta Agrophisica*, 13 (2): 419–434.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 marca 2008 r. w sprawie poziomu niektórych substancji w powietrzu**. DzU 2008, nr 47, poz. 281.
- Józwiak M., Wróblewski H., 2008:** *Dynamika pyłu zawieszonego na podstawie wyników uzyskanych w Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej w latach 1994–2000*. *Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, nr 3: 87–93.



THE RELATIONSHIP BETWEEN  
THE CONCENTRATIONS OF HEAVY METALS  
AND PM10 AND METEOROLOGICAL  
PARAMETERS IN THE PUSZCZA BORECKA  
REGION IN THE YEARS 2005-2011

*Summary*

The assessment of the impact chosen meteorological parameters on the concentrations of particulate matter (PM10) and it contains heavy metals at the level of regional background in North-Eastern Poland was the aim of research. Analysis of data based on the results of the measurements carried out on the Puszcza Borecka Station of Institute of Environmental Protection – National Research Institute in the years 2005–2011. The calculated coefficients of determination are presented in terms of seasonal and annual basis. Presented analyzes showed that most factors contributing to the decrease in the PM10 concentration in the colder half of the year are growth of height and duration of precipitation and increase in wind speed. In the warm season, the intensity of the precipitation, the air temperature and the intensity of the solar radiation play most important rule.

Effects of meteorological conditions on concentration of heavy metals is varied. Referring to the highest concentrations of metals (zinc, lead and arsenic), it can be concluded that in the colder half of the year the factors contributing most to their decrease concentrations are increase air temperature, increase irradiance and decrease relative humidity of the air. In the warm half of the year, the increase in intensity of solar radiation and precipitation, air temperature and decrease relative humidity air contributes the most to the decline concentration of most heavy metals contained in PM10 particulate matter. Effect of wind speed and air pressure on the concentration of heavy metals in PM10 proved to be the smallest.