

Analiza chemiczna i środowiskowa pyłu zawieszonego PM_{2.5} w Podkowie Leśnej

Kampania pomiarowa w dniach od 6.02.2019 do 21.02.2019

Rafał Szmigielski, Krzysztof J. Rudziński, Kumar Sarang
Instytut Chemii Fizycznej PAN

Jakub Bratkowski, Zdzisław Prządka, Krzysztof Skotak, Ewa Żyfka-Zagrodzińska
Instytut Ochrony Środowiska PIB

Warszawa, 2019

Przedmiot kampanii Podkowa 2019

Pobór próbek drobnego pyłu zawieszonego PM_{2.5} przeprowadzono w Podkowie Leśnej na terenie boiska Szkoły Podstawowej im. Bohaterów Warszawy przy ul. Jana Pawła II 20 (52° 7' 6.9" N, 20° 43' 22.5" E) w okresie od 6 do 21 lutego 2019 r. Próbki pobierano w kolejnych okresach dobowych zaczynając od północy.

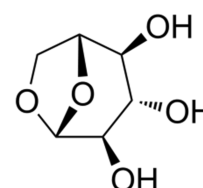
Cel kampanii

Celem kampanii było określenie udziału lokalnego spalania biomasy (głównie drewna i jego pochodnych) w Podkowie Leśnej jako źródła drobnego pyłu zawieszonego PM_{2.5} i zawartych w nim zanieczyszczeń powietrza.

Zastosowana metodyka

Próbki pyłu pobierano na filtry kwarcowe przy użyciu pobornika wysokoprzepływowego DHA-80 firmy Digitel (Szwajcaria) z głowicą PM_{2.5}. Filtry były ważone w kontrolowanych warunkach przed poborem i po poborze w celu wyznaczenia masy pobranego pyłu. Z filtrów pobrano wycinki, które poddano analizie termooptycznej w celu wyznaczenia zawartości węgla organicznego (OC) i pierwiastkowego (EC). Dla wycinków pobranych odrębnie oznaczono zawartość bezwodnika cukrowego **lewoglukoza**n w pyłe. W tym celu ekstrahowano wycinki filtra a ekstrakty poddawano upochodnieniu roztworem BSTFA i pirydyny. Analizy wykonywano metodą chromatografii cieczowej sprzężonej ze spektrometrią mas (pułapka jonowa) posługując się krzywą wzorcową.

Lewoglukoza jest markerem spalania biomasy, czyli paliw zbudowanych z długich łańcuchów polocukrowych (celulozy), co w okresie zimowym jest wskaźnikiem spalania drewna i jego pochodnych w celu ogrzewania domów (Bhattarai *et al.*, 2019). Związek ten powstaje w wyniku rozkładu w wysokiej temperaturze materiału budulcowego drewna i jego pochodnych (celulozy) – wzór chemiczny obok.



Trajektorie wsteczne mas powietrza

Trajektorie wsteczne mas powietrza napływających do miejsca zainstalowania pobornika w Podkowie Leśnej obliczano wykorzystując model transportu i dyspersji HYSPLIT udostępniony przez NOAA Air Resources Laboratory (ARL) na portalu READY (<http://www.ready.noaa.gov>) (Rolph *et al.*, 2017; Stein *et al.*, 2015).

Oszacowanie liczby źródeł zapylenia

Liczba potencjalnych źródeł pyłu PM_{2,5} oraz zawartego w nim węgla organicznego, węgla nieorganicznego i lewoglukozy była szacowana za pomocą nieujemnego rozkładu macierzy na czynniki zaimplementowanego w programie EPA PMF 5.0 (EPA, 2019).

Podkowa 2019

Wyniki

W tabeli 1 przedstawiono wyniki oznaczeń masy pyłu PM_{2,5} oraz zawartości węgla organicznego, węgla pierwiastkowego i lewoglukozy w dobowych próbkach zgromadzonych na filtrach, przeliczone na średnie dobowe stężenia masowe w 1 m³ powietrza atmosferycznego. W Tabeli 2 przedstawiono odpowiednie niepewności wyznaczonych średnich dobowych stężeń.

Tabela 1. Wyniki analiz pyłu PM_{2,5} w kampanii Podkowa 2019 podane jako średnie dobowe stężenia w powietrzu atmosferycznym

Data rozpoczęcia poboru	Data zakończenia poboru	Dzień tygodnia	ciśnienie w godzinie zakończenia	temperatura w godzinie zakończenia	średnie dobowe stężenie pyłu w powietrzu	średnie dobowe stężenie OC w powietrzu	średnie dobowe stężenie EC w powietrzu	średnie dobowe stężenie lewoglukozy w powietrzu
			hPA	°C	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³
2019-02-06	2019-02-07	środa	921,4	6,17	45,64	16,55	1,88	2,65
2019-02-07	2019-02-08	czwartek	912,5	6,1	39,33	15,87	2,01	2,49
2019-02-08	2019-02-09	piątek	912,7	7,71	41,06	11,89	1,66	1,96
2019-02-09	2019-02-10	sobota	906,6	7,89	34,87	10,68	1,10	1,50
2019-02-10	2019-02-11	niedziela	901,3	9,78	25,19	7,36	0,84	1,03
2019-02-11	2019-02-12	poniedziałek	895,1	9,06	16,44	4,89	0,67	0,54
2019-02-12	2019-02-13	wtorek	913,8	6,17	11,75	4,58	0,80	0,65
2019-02-13	2019-02-14	środa	920,7	6,62	19,94	5,28	0,95	0,67
2019-02-14	2019-02-15	czwartek	926,9	10,28	16,51	4,83	1,17	0,58
2019-02-15	2019-02-16	piątek	925,7	10,56	40,97	7,96	0,98	0,89
2019-02-16	2019-02-17	sobota	921,6	9,01	31,14	12,17	0,99	2,24
2019-02-17	2019-02-18	niedziela	917,7	10,47	37,87	15,91	1,32	2,90
2019-02-18	2019-02-19	poniedziałek	915,9	11,14	44,03	14,93	1,09	2,60
2019-02-19	2019-02-20	wtorek	906,8	11,13	50,81	15,67	1,04	2,50
2019-02-20	2019-02-21	środa	910,1	10,91	12,24	2,98	0,43	0,07

Podkowa 2019

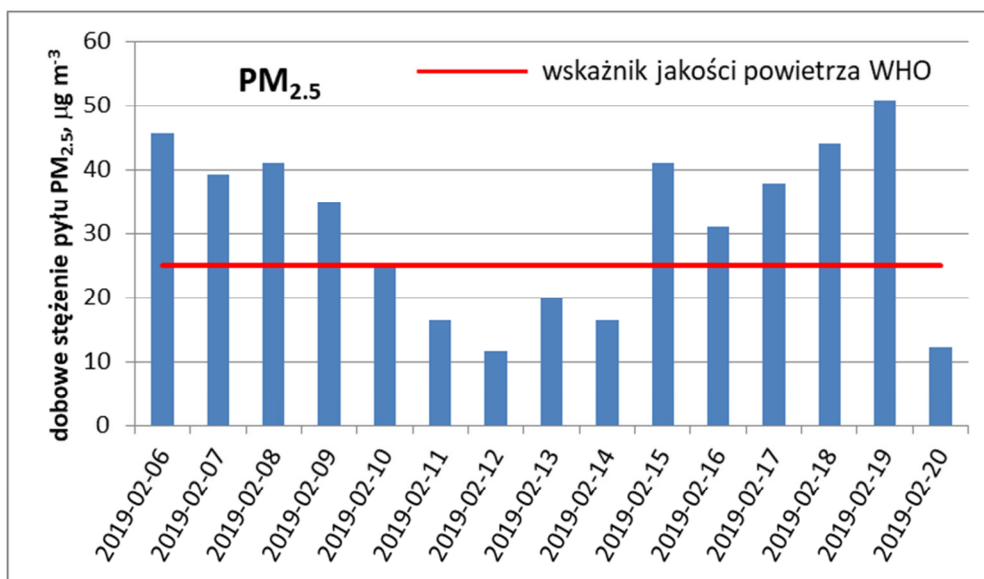
Tabela 2. Niepewności wyników analiz pyłu PM_{2.5} w kampanii Podkowa 2019

Data rozpoczęcia poboru	Data zakończenia poboru	Dzień tygodnia	niepewność stężenia pyłu w powietrzu*	niepewność stężenia OC w powietrzu	niepewność stężenia EC w powietrzu	niepewność stężenia lewoglukozy w powietrzu*
			µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³
2019-02-06	2019-02-07	środa	13,69	0,87	0,14	0,17
2019-02-07	2019-02-08	czwartek	11,80	0,84	0,14	0,16
2019-02-08	2019-02-09	piątek	12,32	0,64	0,13	0,12
2019-02-09	2019-02-10	sobota	10,46	0,58	0,10	0,10
2019-02-10	2019-02-11	niedziela	7,56	0,41	0,08	0,06
2019-02-11	2019-02-12	poniedziałek	4,93	0,29	0,08	0,03
2019-02-12	2019-02-13	wtorek	3,52	0,27	0,08	0,04
2019-02-13	2019-02-14	środa	5,98	0,31	0,09	0,04
2019-02-14	2019-02-15	czwartek	4,95	0,28	0,10	0,04
2019-02-15	2019-02-16	piątek	12,29	0,44	0,09	0,06
2019-02-16	2019-02-17	sobota	9,34	0,65	0,09	0,14
2019-02-17	2019-02-18	niedziela	11,36	0,84	0,11	0,18
2019-02-18	2019-02-19	poniedziałek	13,21	0,79	0,10	0,17
2019-02-19	2019-02-20	wtorek	15,24	0,83	0,09	0,16
2019-02-20	2019-02-21	środa	3,67	0,19	0,06	0,0044

* Niepewności średnich dobowych stężeń pyłu przyjęto za równe 30% wyznaczonych wartości

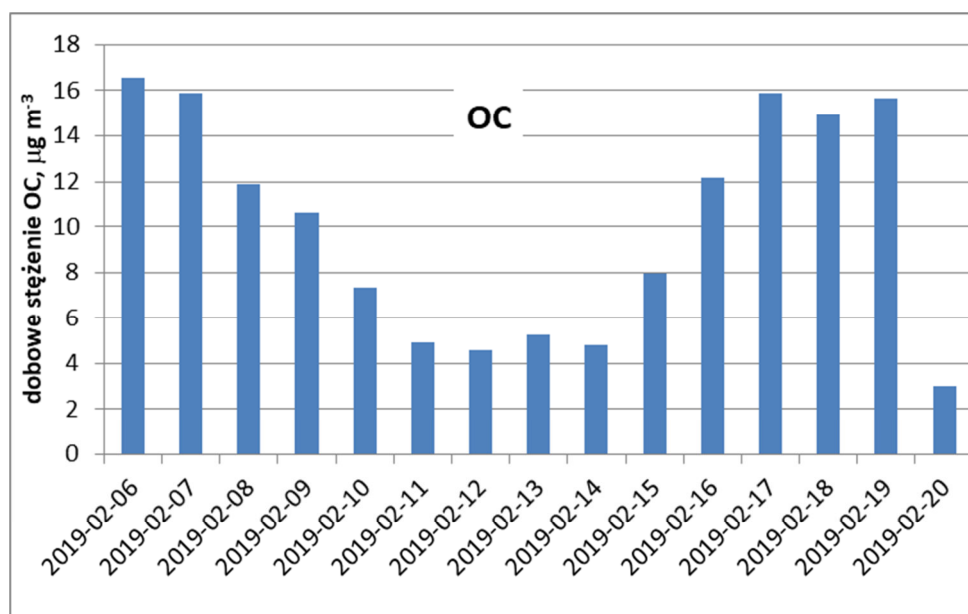
Podkowa 2019

Uzyskane wyniki można przedstawić na wykresach. Rysunek 1 pokazuje, że **w około połowie czasu kampanii przekroczona była norma jakości powietrza Światowej Organizacji Zdrowia (WHO)**. Norma ta dopuszcza średnioroczne stężenie pyłu $PM_{2.5}$ nie większe niż $25 \mu\text{g m}^{-3}$. Nie zauważono korelacji zapylenia $PM_{2.5}$ z dniami tygodnia.



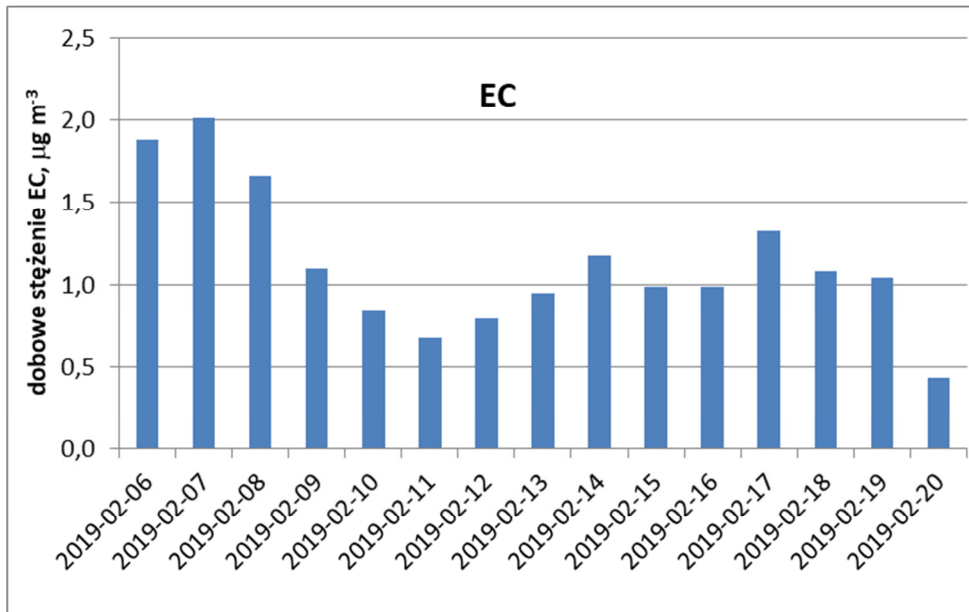
Rys. 1. Średnie dobowe stężenie pyłu zawieszonego $PM_{2.5}$ w powietrzu podczas kampanii Podkowa 2019. Czerwona linia pokazuje graniczny wskaźnik jakości powietrza WHO.

Zawartości węgla organicznego (OC) i węgla pierwiastkowego (EC) zmieniały się proporcjonalnie do stężenia pyłu zawieszonego $PM_{2.5}$ (Rys. 2 i 3).



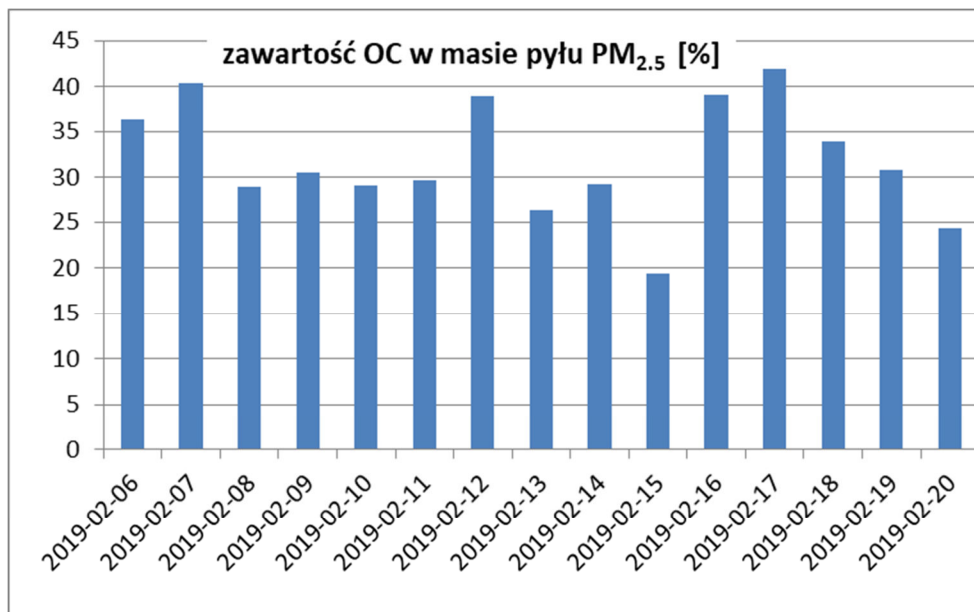
Rys. 2. Średnie dobowe stężenia węgla organicznego zawartego we frakcji $PM_{2.5}$ w powietrzu podczas kampanii.

Podkowa 2019



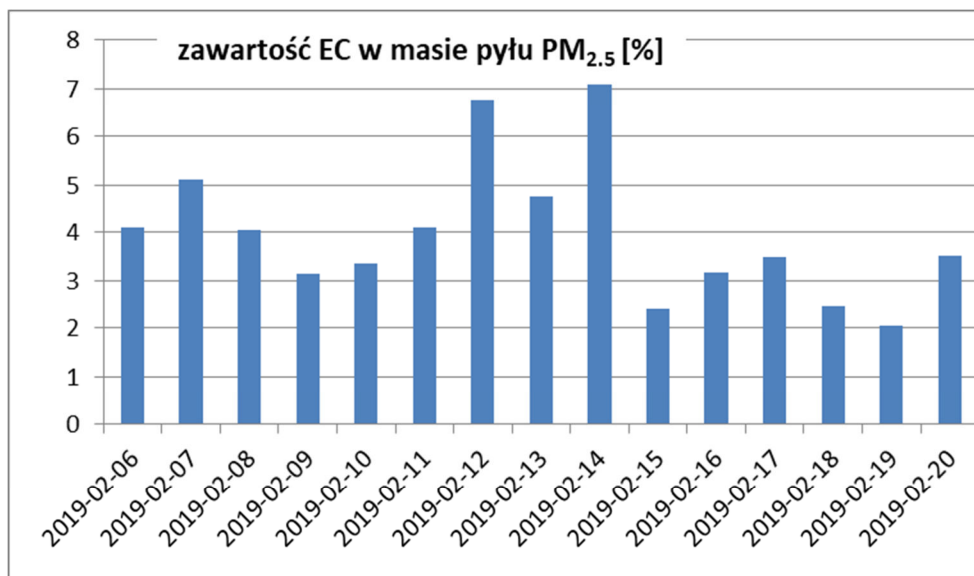
Rys. 3. Średnie dobowe stężenia węgla pierwiastkowego zawartego we frakcji $\text{PM}_{2.5}$ w powietrzu podczas kampanii.

Masa węgla organicznego stanowiła od 20 do 45 % masy pyłu zawieszonego $\text{PM}_{2.5}$, natomiast masa węgla pierwiastkowego – zaledwie od 2 do 7 % (Rys. 4 i 5).



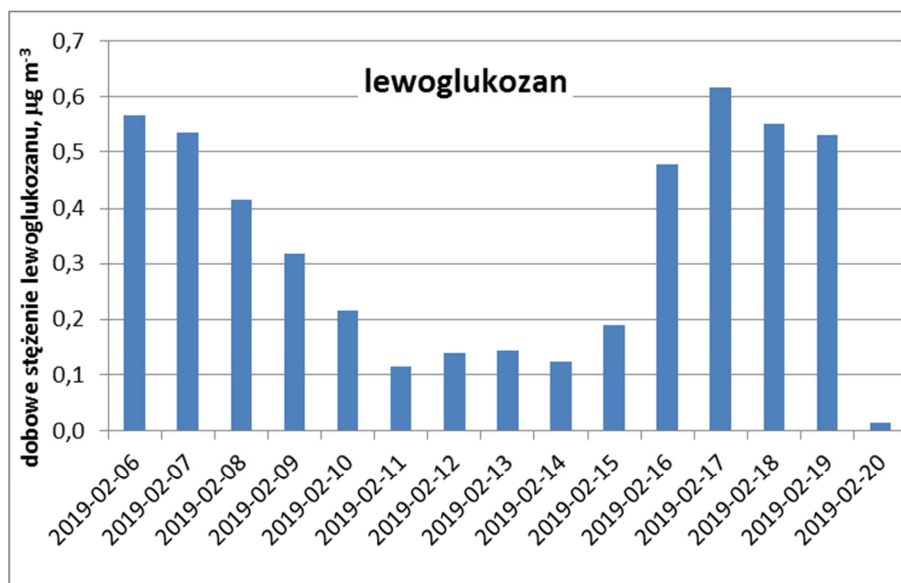
Rys. 4. Procentowa zawartość węgla organicznego w masie pyłu $\text{PM}_{2.5}$ podczas kampanii.

Podkowa 2019



Rys. 5. Procentowa zawartość węgla pierwiastkowego w masie pyłu PM_{2.5} podczas kampanii.

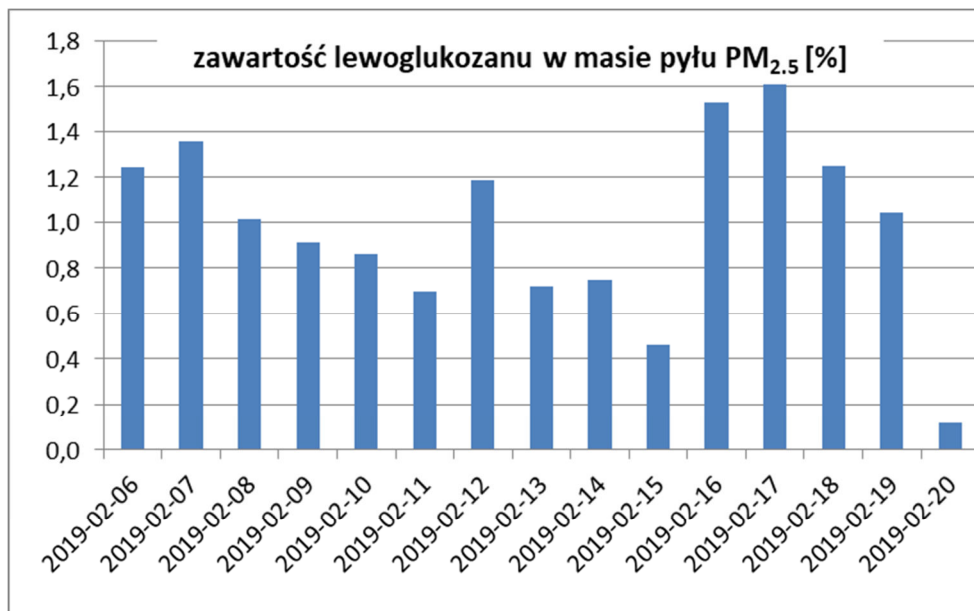
Zawartości lewoglukozy zmierzono w zakresie od 0,015 do 0,62 $\mu\text{g m}^{-3}$ powietrza (Rys. 6). Dla porównania, pył zawieszony PM_{2.5} badany w Chinach w okresach zimowych zawierał od 0,20 do 0,66 $\mu\text{g m}^{-3}$ lewoglukozy w rejonach wielkich miast i od 0,12 do 0,95 $\mu\text{g m}^{-3}$ w terenach podmiejskich (Chen *et al.*, 2017). Z kolei, stężenia lewoglukozy z frakcji PM₁ pyłu w wiejskim terenie nadmorskim na Litwie (Preila, 55°55' N, 21°04' E) mieściły się w zakresie od 0,034 do 0,683 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Ulevicius *et al.*, 2016). W belgijskim rejonie mieszkalnym przypominającym Podkowę Leśną (Hamme, Flandria 51°5'36"N, 4°6'32"E) średnie zimowe stężenie lewoglukozy z frakcji PM₁₀ wynosiło od 0,46 do 1,01 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Kahnt *et al.*, 2013) natomiast zimowe stężenia na stacjach tła regionalnego w Zielonce i na Diabłej Górze mieściły się w zakresach odpowiednio od 0,16 do 0,88 i od 0,55 do 2,40 $\mu\text{g m}^{-3}$ (wyniki nieopublikowane). Średnia dobowa zawartość lewoglukozy zmierzona w Podkowie Leśnej była proporcjonalna do zawartości pyłu zawieszonego PM_{2.5} w powietrzu.



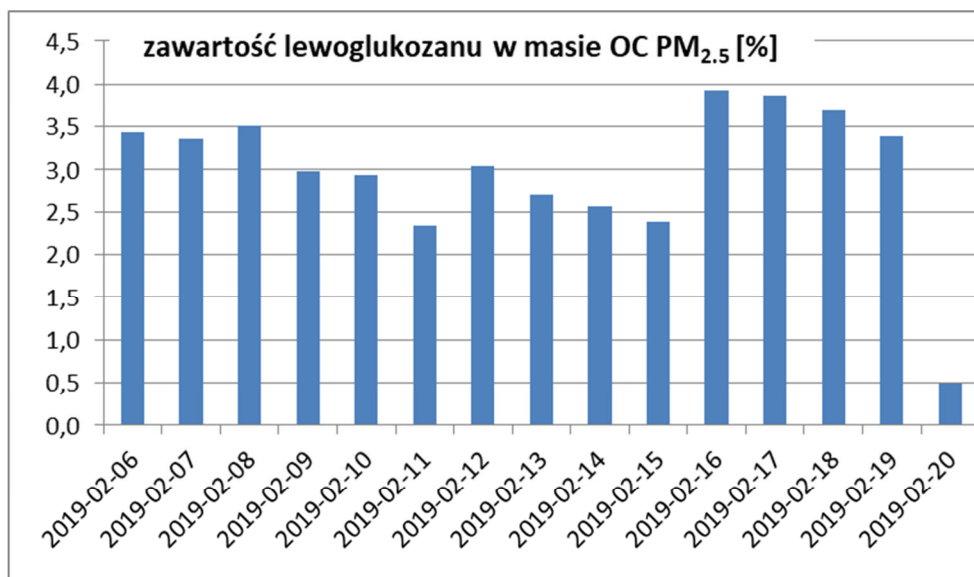
Rys. 6. Średnie dobowe stężenia lewoglukozy zawartego we frakcji PM_{2.5} w powietrzu podczas kampanii Podkowa 2019.

Podkowa 2019

Zawartość lewoglukozy w masie pyłu zawieszonego $PM_{2.5}$ zmieniała się od 0,1 do 1,6%, natomiast jego zawartość w masie węgla organicznego – od 0,5 do 4% (Rys. 7 i 8). Dla porównania, we wspomnianym wcześniej belgijskim rejonie wiejskim średnia zimowa zawartość lewoglukozy w masie frakcji PM_{10} , obliczona z danych opublikowanych przez Kahnt *et al.* (2013), wynosiła 2%, natomiast średnia zimowa zawartość w węglu organicznym tej frakcji – 10,85%.



Rys. 7. Procentowa zawartość lewoglukozy w masie pyłu $PM_{2.5}$ podczas kampanii Podkowa 2019.



Rys. 8. Procentowa zawartość lewoglukozy w masie węgla organicznego we frakcji $PM_{2.5}$ podczas kampanii Podkowa 2019.

Analiza napływu mas powietrza do Podkwy Leśnej

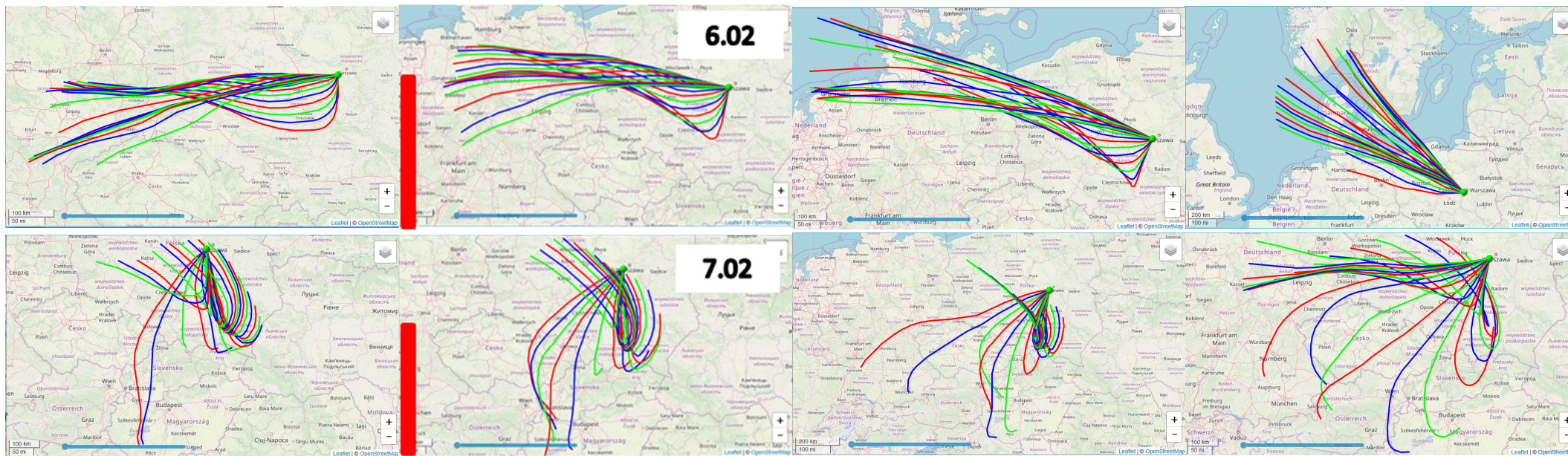
Cząstki pyłu zawieszzonego mogą pochodzić ze źródeł lokalnych i źródeł oddalonych od punktu pomiaru. Dla cząstek ze źródeł oddalonych możemy określić drogę jaką przebyły w określonym czasie aby o danej godzinie znaleźć się na określonej wysokości w punkcie, który nas interesuje – tu w punkcie poboru. W celu określenia pochodzenia mas powietrza napływających do punktu poboru próbek w Podkowie Leśnej, dla okresu ekspozycji każdego filtra wyznaczono 24-godzinne trajektorie wsteczne obliczane co godzinę ($0^{00}-1^{00}$, $1^{00}-2^{00}$, $2^{00}-3^{00}$, ..., $23^{00}-24^{00}$). wyznaczono trajektorie mas napływających na wysokościach 50, 250, 500 i 1500 m (z powodu ograniczeń wynikających z rzeźby, pokrycia i zabudowy terenu nie można obliczać trajektorii na wysokości punktu poboru próbek czyli 2 m).

50 m

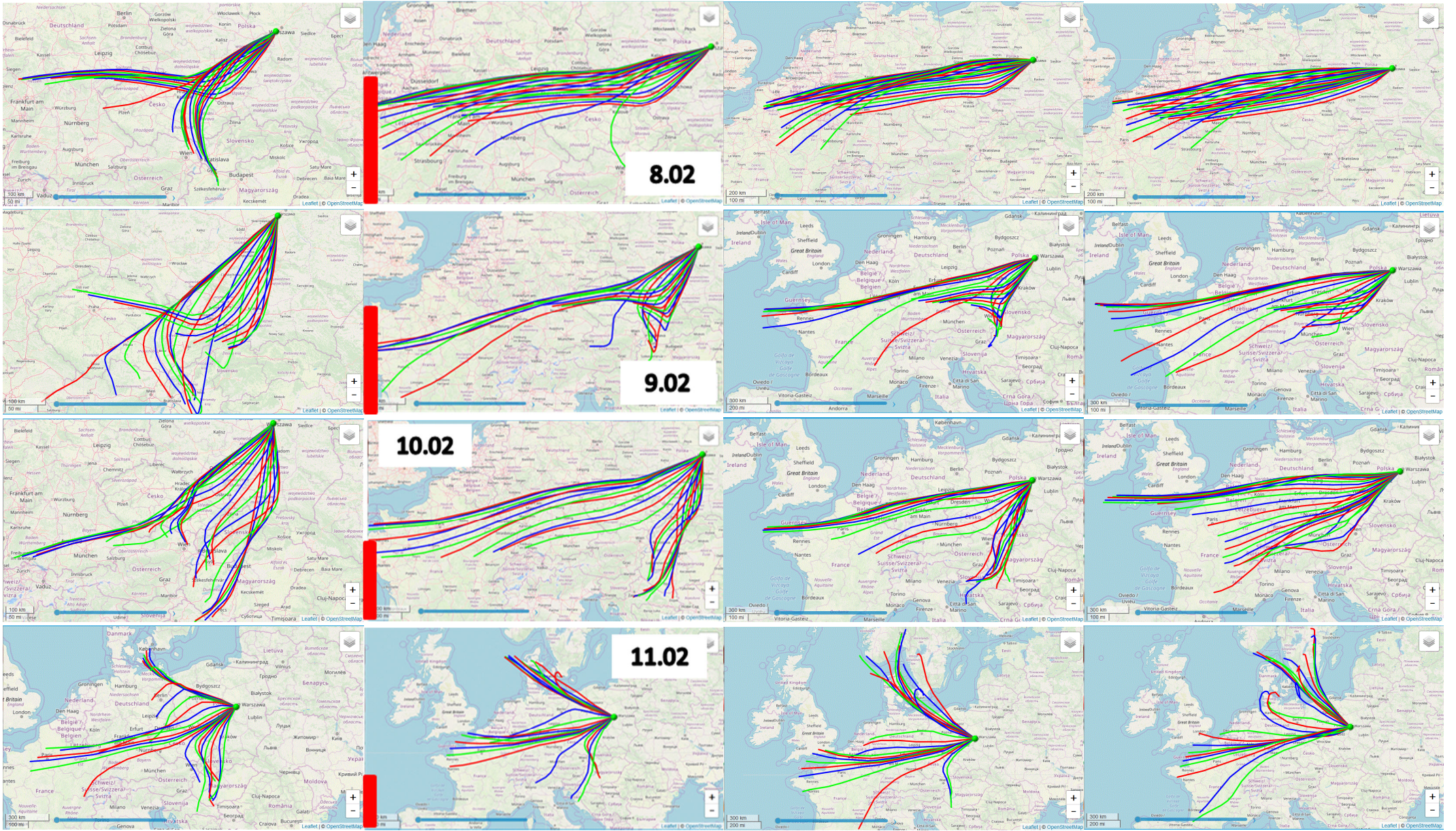
250 m

500 m

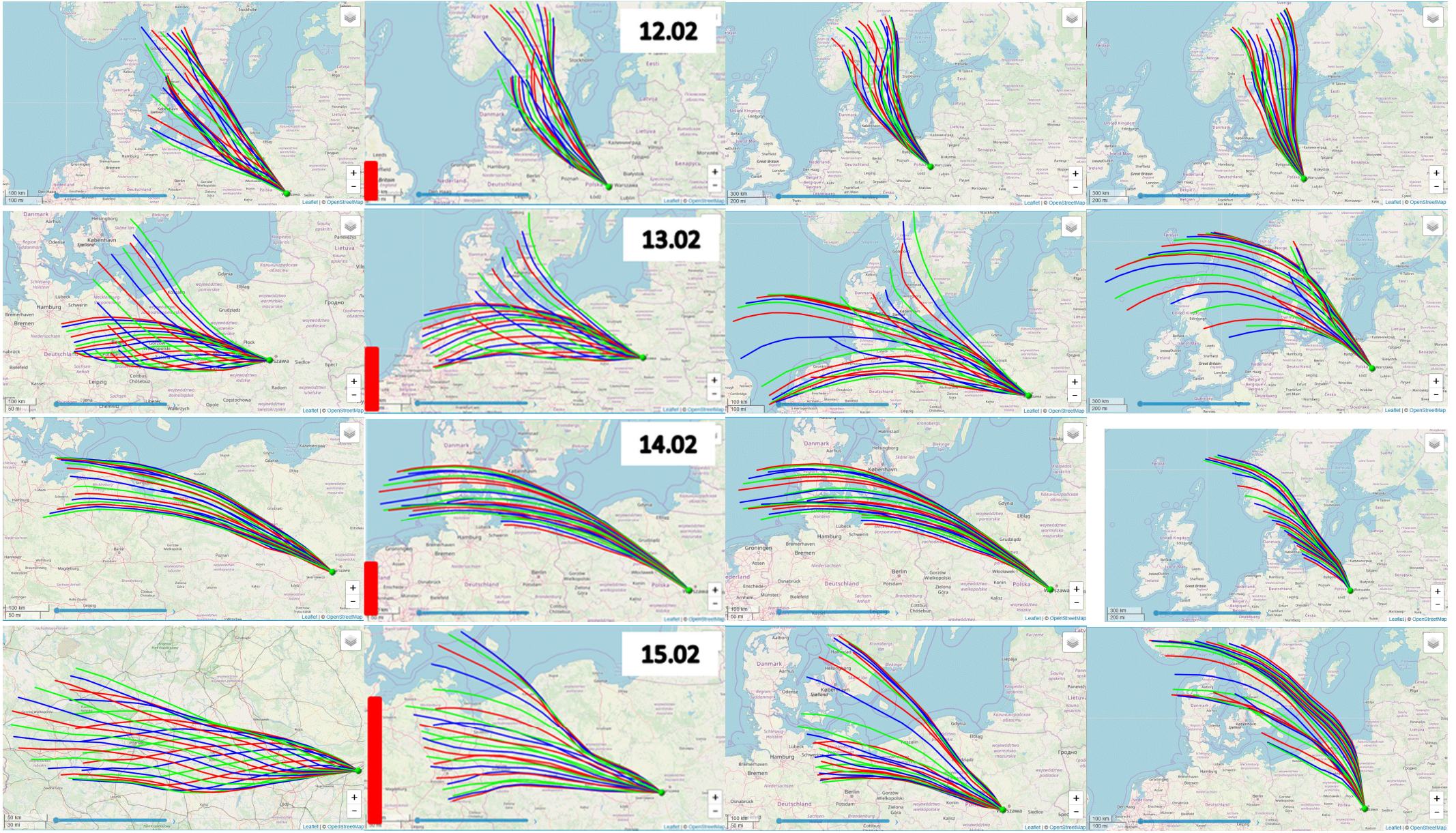
1500 m



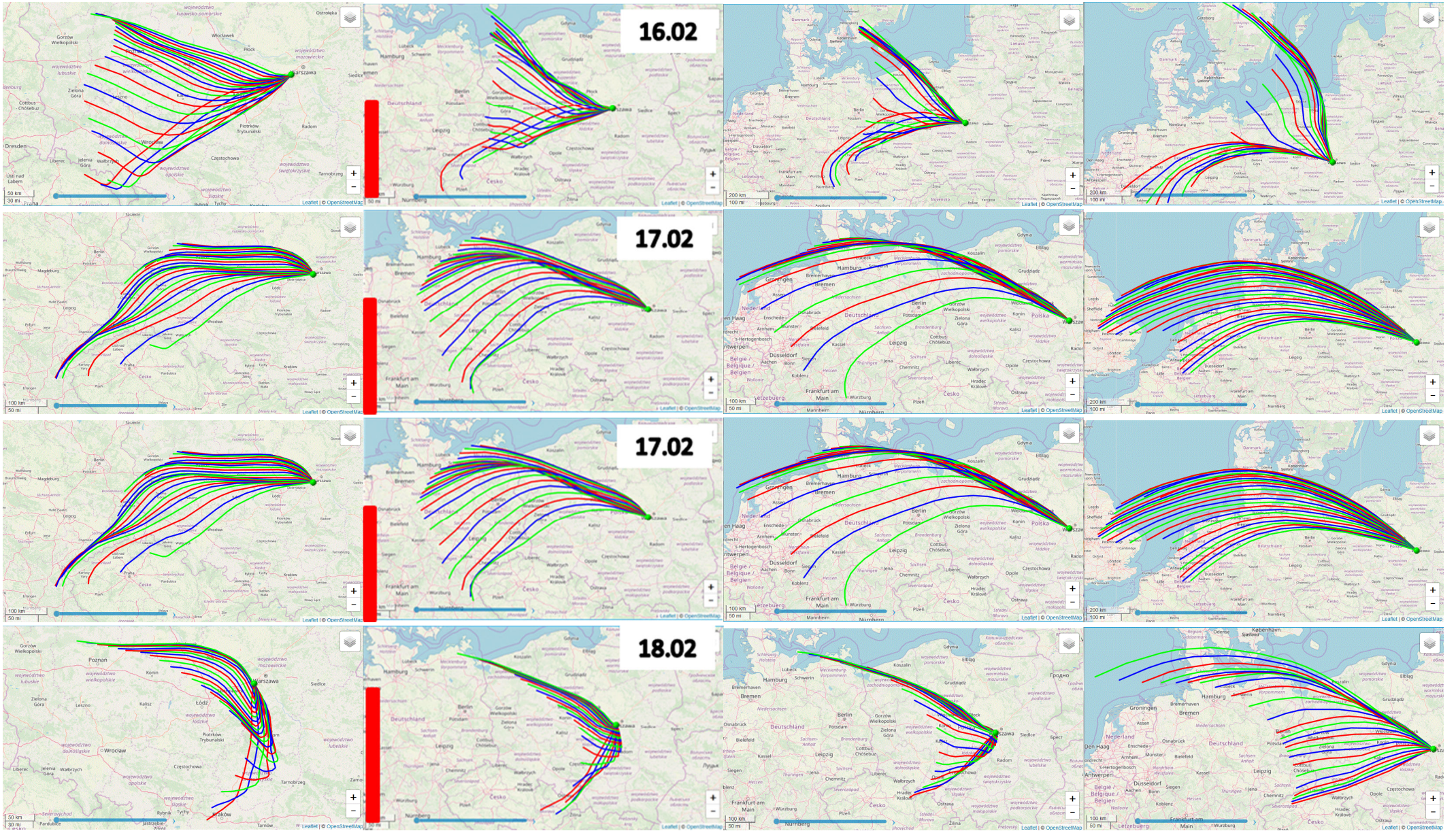
Podkowa 2019



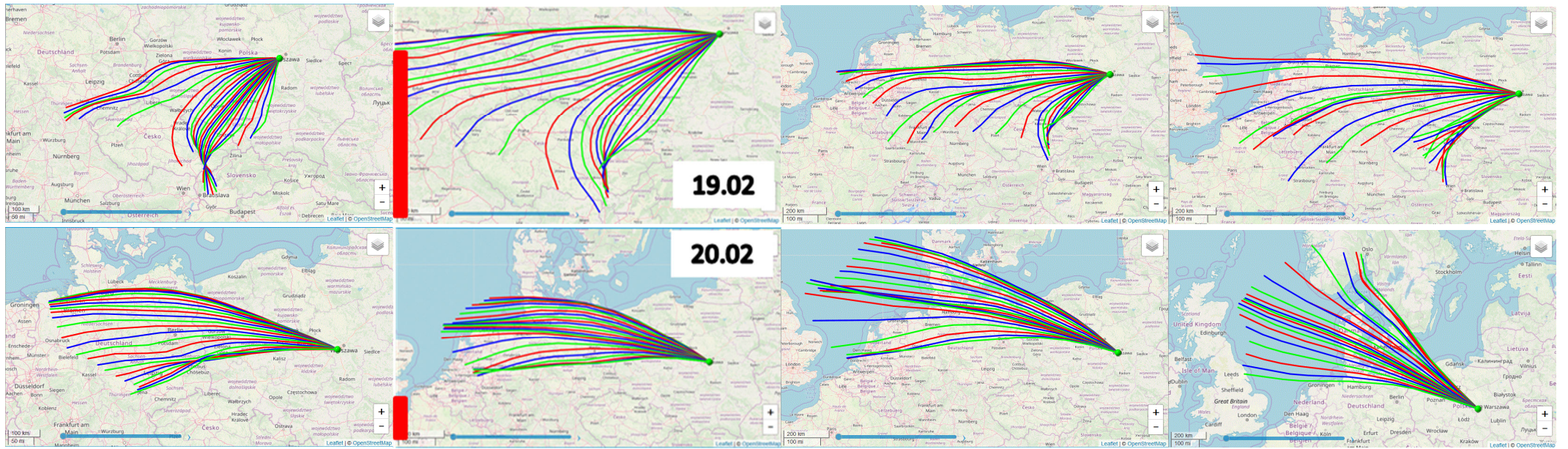
Podkowa 2019



Podkowa 2019



Podkowa 2019



Rys. 9. (na tej i poprzednich dwóch stronach) Trajektorie mas powietrza napływającego co godzinę na wysokościach 50, 250, 500 i 1500 m do punktu poboru próbek w Podkowie Leśnej (zielony punkt na mapie) w kolejnych dobach ekspozycji filtrów. Czerwone słupki mają wysokość proporcjonalną do średniego dobowego stężenia pyłu $PM_{2.5}$.

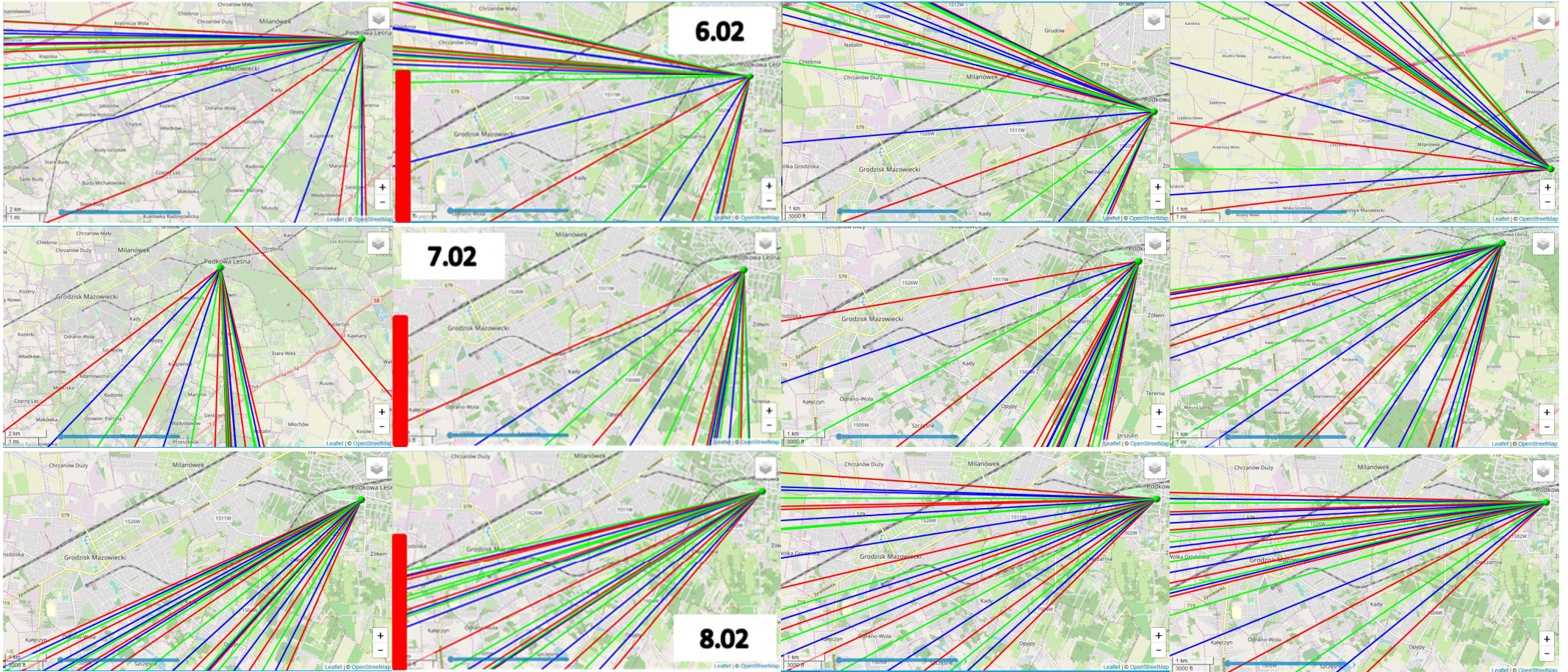
Podkowa 2019

50 m

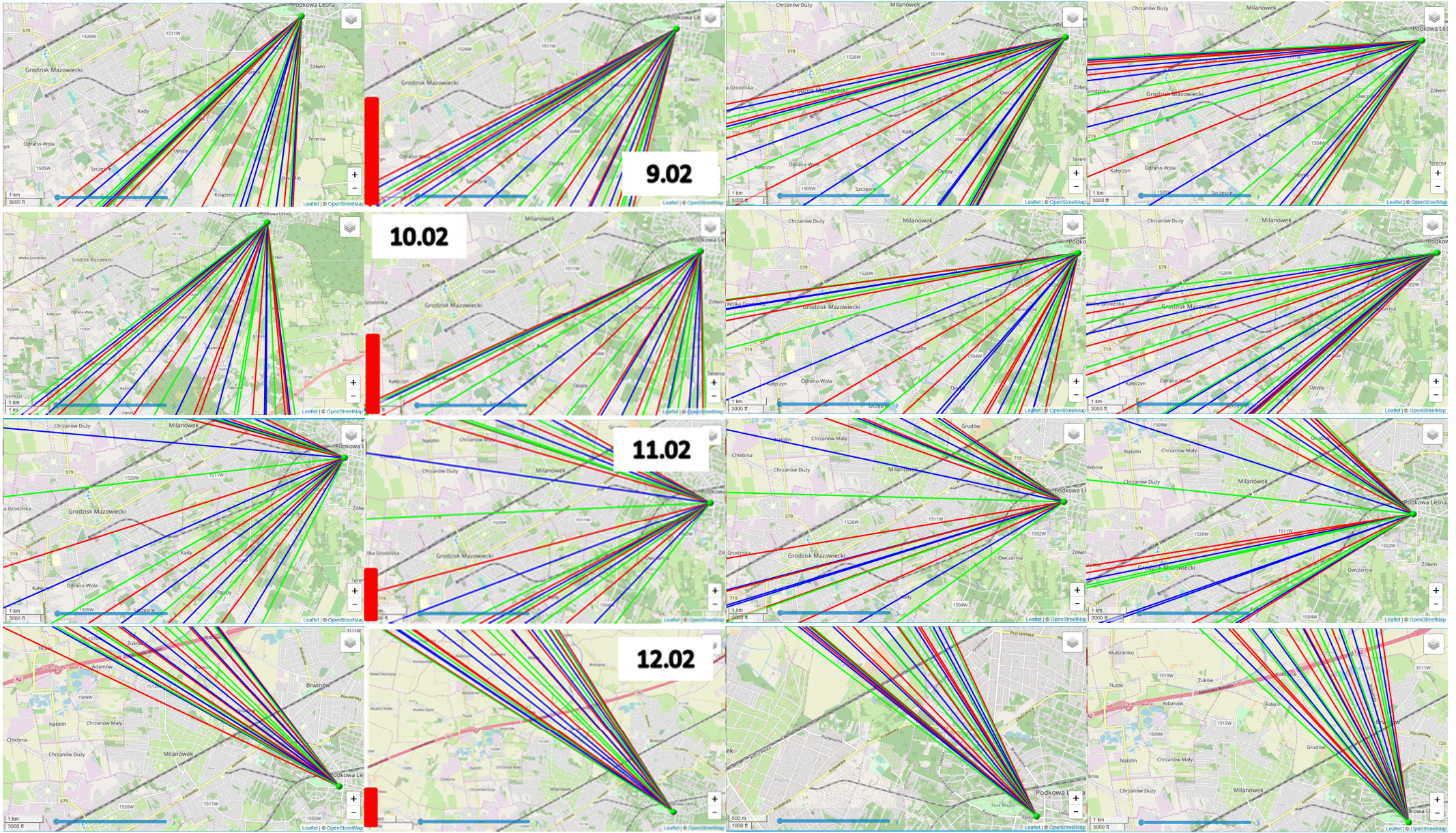
250 m

500 m

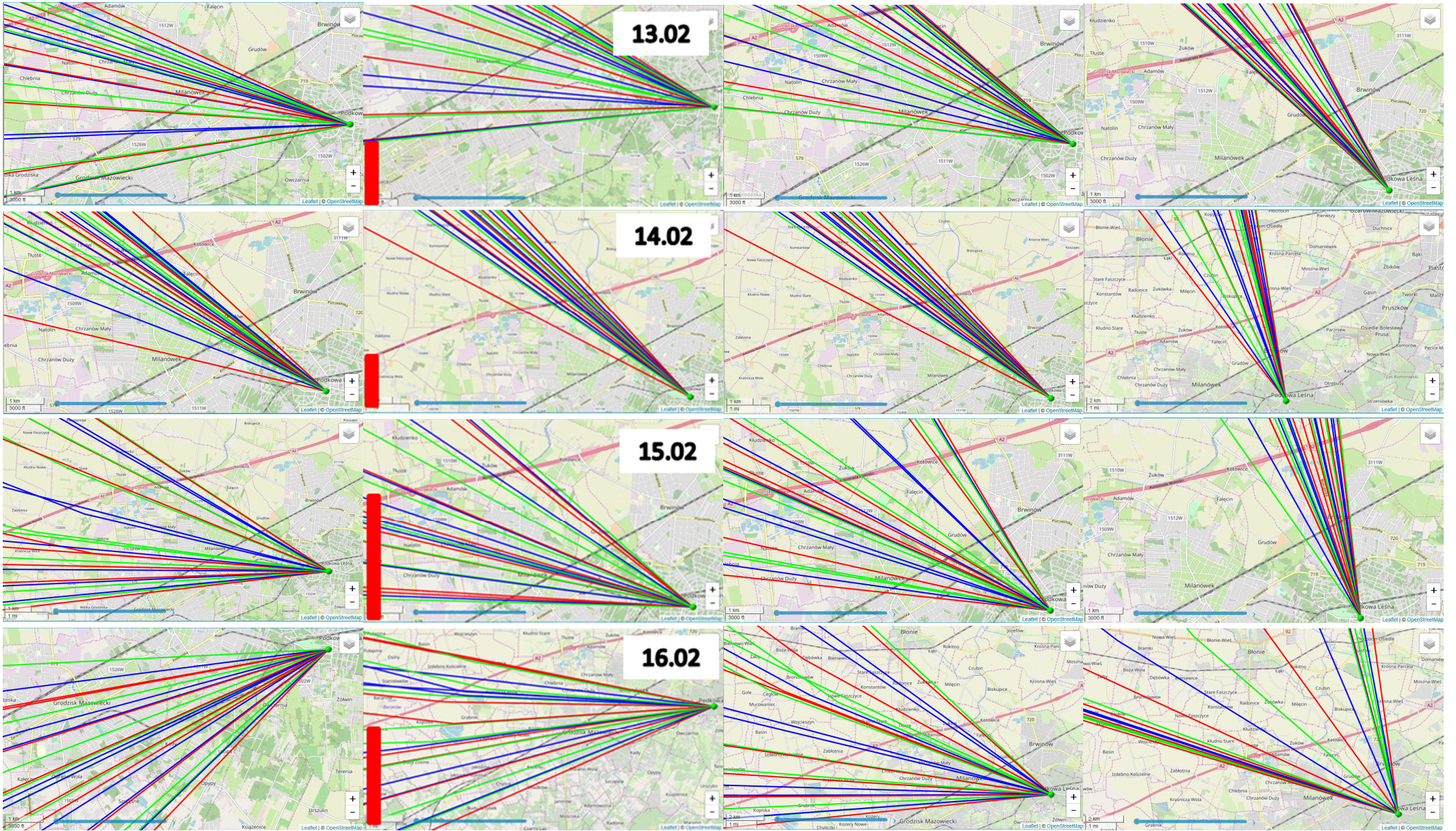
1500 m



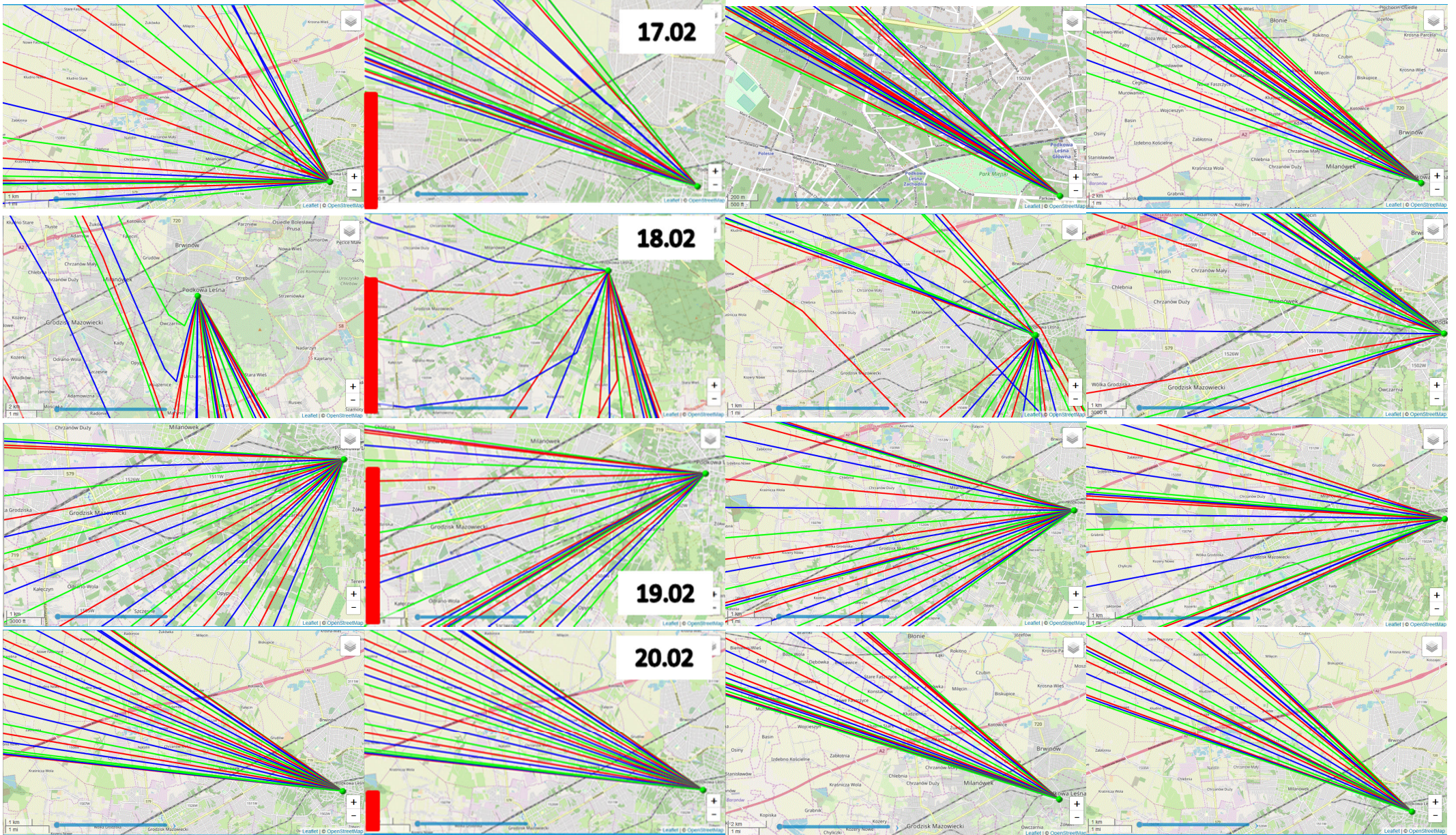
Podkowa 2019



Podkowa 2019



Podkowa 2019



Podkowa 2019

Rys. 10 (na poprzednich stronach) Trajektorie mas powietrza napływające co godzinę na wysokościach 50, 250, 500 i 1500 m z bezpośredniej okolicy Podkowy Leśnej do punktu poboru próbek w kolejnych dobach ekspozycji filtrów. Czerwone słupki mają wysokość proporcjonalną do średniego dobowego stężenia pyłu $PM_{2.5}$.



Rysunki 9 i 10 pokazują, że niższe stężenia masy pyłu drobnego zarejestrowano w dniach, w których część lub całość mas powietrza napływała z północy lub z północnego zachodu. Napływ mas zachodnich i południowych wiązał się zazwyczaj z większymi stężeniami pyłu. Analiza ruchu mas powietrza w pobliżu Podkowy Leśnej wskazuje, że największy wpływ na stężenie pyłu mogą mieć napływy z Grodziska Mazowieckiego, Grójca, Sochaczewa, Łowicza i Żyrardowa (Rys. 11). Położony na północy Brwinów nie wpływa na wzrost stężenia pyłu w Podkowie, a miejscowości położone dalej są oddzielone obszarem Puszczy Kampinoskiej. Znamienne że w badanym okresie masy powietrza nie napływały od strony Warszawy, Piaseczna i Pruszkowa.

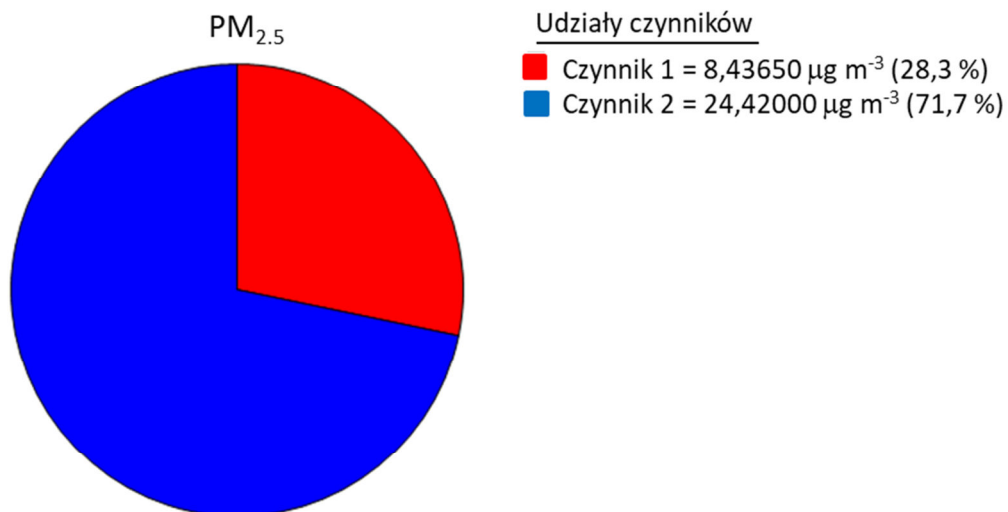
Rus. 11. Mapa okolic Podkowy Leśnej.

Oszacowanie liczby źródeł pyłu $PM_{2.5}$ oraz jego składników w kampanii Podkowa 2019

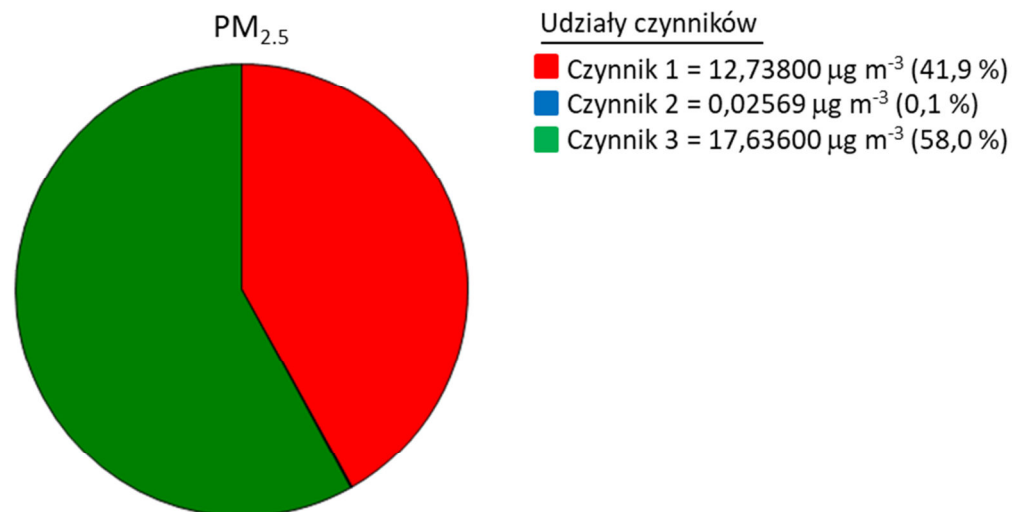
Rysunek 12 przedstawia udziały źródeł pyłu $PM_{2.5}$ oraz jego składników – węgla organicznego (OC), węgla pierwiastkowego (EC) i lewoglukozy (lewo) – uzyskane metodą modelowania PMF przy założeniu wystąpienia dwóch i trzech źródeł (inaczej – czynników). Modelowanie wykazało, że wystąpienie trzech źródeł pyłu jest mniej wiarygodne statystycznie niż wystąpienie dwóch źródeł. Zwiększanie liczby źródeł powyżej 3 powodowało dalszy spadek wiarygodności założenia.

Rys: 12:

Dwa źródła (czynniki)

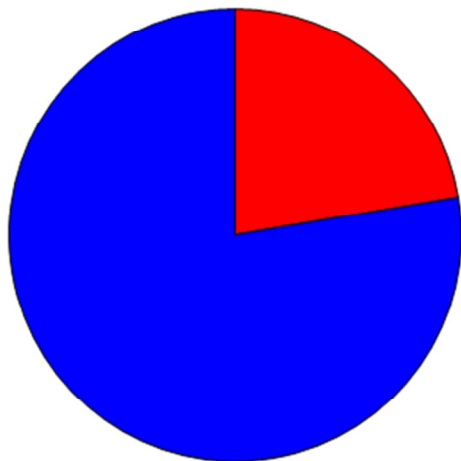


Trzy źródła (czynniki)



Podkowa 2019

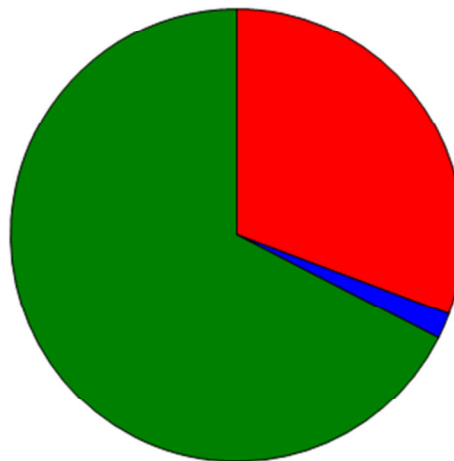
OC



Udziały czynników

- Czynnik 1 = 2,25530 $\mu\text{g m}^{-3}$ (22,3 %)
- Czynnik 2 = 7,85000 $\mu\text{g m}^{-3}$ (77,7 %)

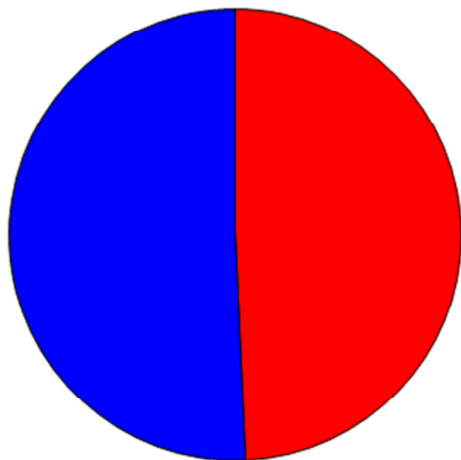
OC



Udziały czynników

- Czynnik 1 = 3,10080 $\mu\text{g m}^{-3}$ (30,7 %)
- Czynnik 2 = 0,18443 $\mu\text{g m}^{-3}$ (1,8 %)
- Czynnik 3 = 6,82630 $\mu\text{g m}^{-3}$ (67,5 %)

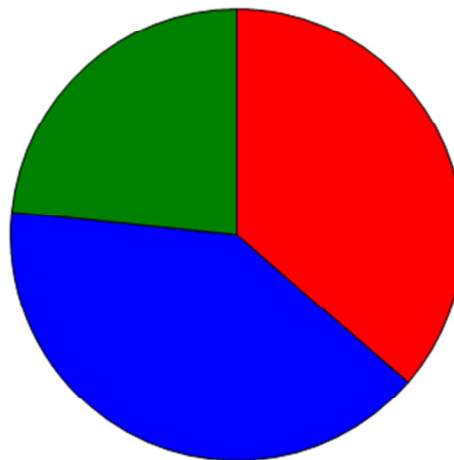
EC



Udziały czynników

- Czynnik 1 = 0,55436 $\mu\text{g m}^{-3}$ (49,3 %)
- Czynnik 2 = 0,57048 $\mu\text{g m}^{-3}$ (50,7 %)

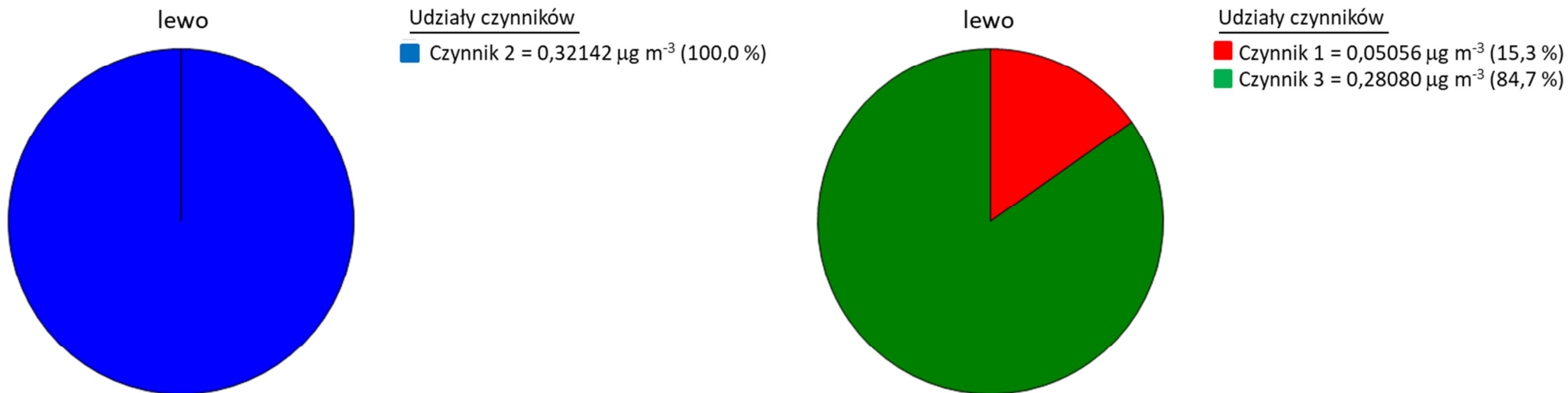
EC



Udziały czynników

- Czynnik 1 = 0,40994 $\mu\text{g m}^{-3}$ (36,3 %)
- Czynnik 2 = 0,45495 $\mu\text{g m}^{-3}$ (40,3 %)
- Czynnik 3 = 0,26377 $\mu\text{g m}^{-3}$ (23,4 %)

Podkowa 2019



Rys. 12. Oszacowanie udziałów 2 źródeł (lewa kolumna) i 3 źródeł (prawa kolumna) pyłu $\text{PM}_{2.5}$ i jego składników w próbkach dobowych z kampanii Podkowa 2019.

Niezależnie od wiarygodności statystycznej, zarówno w przypadku założenia dwóch źródeł jak i trzech źródeł modelowanie wskazuje, że w kampanii Podkowa 2019 dominują dwa źródła pyłu (czynniki 1 i 2 przy dwóch źródłach oraz czynniki 1 i 3 przy trzech źródłach). Z Rysunku 12 widać, że trzecie źródło (czynnik 2) ma wymierne znaczenie ilościowe tylko w przypadku węgla EC, natomiast w przypadkach pyłu, OC i lewoglukozy jest pomijalnie ilościowo (Tabela 3).

Tabela 3. Porównanie udziałów w modelach dwu- i trójźródłowym

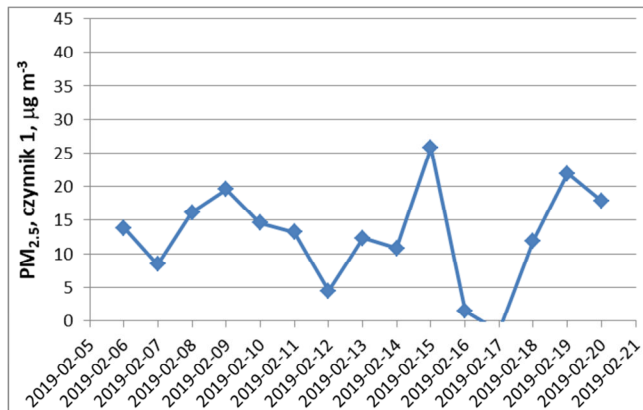
czynnik	2 źródła		składnik	3 źródła	
	udział, $\mu\text{g m}^{-3}$			czynnik	udział, $\mu\text{g m}^{-3}$
1	8,44		$\text{PM}_{2.5}$		12,74
	2,26		OC	1	3,10
	0,55		EC		0,41
	0		lewoglukozy		0,05
2	24,42		$\text{PM}_{2.5}$		17,64
	7,85		OC	3	6,82
	0,32		lewoglukozy		0,28

Podkowa 2019

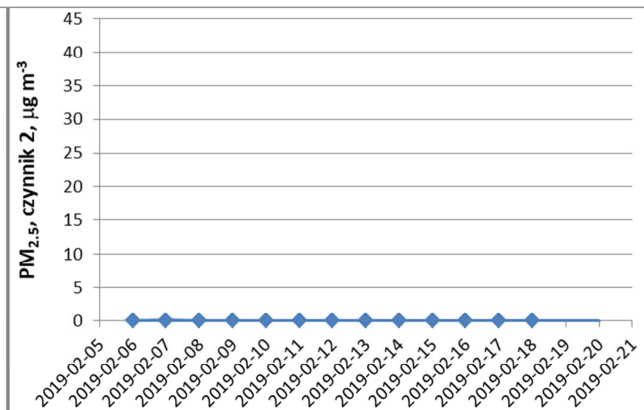
2	0,57	EC	2 + 3	0,72
		PM _{2.5}		0,03
		OC	2	0,18
		lewoglukozan		0

Z uwagi na znaczący wkład w stężenie lewoglukozanu można uznać, że **czynnik 2 w modelu dwuzródłowym i czynnik 3 w modelu trójzródłowym odpowiadają spalaniu biomasy**. Czynnik 1 w modelu dwuzródłowym odpowiada pozostałym niezidentyfikowanym źródłom, natomiast w modelu trójzródłowym można arbitralnie utożsamić go z napływem pyłu z terenów oddalonych ponieważ zawiera niewielki procent lewoglukozanu. Mało istotny czynnik 2 w modelu trójzródłowym można arbitralnie przypisać spalaniu paliw kopalnych. Udziały źródeł w każdym dniu kampanii według obydwu modeli pokazano na rysunkach 13 i 14.

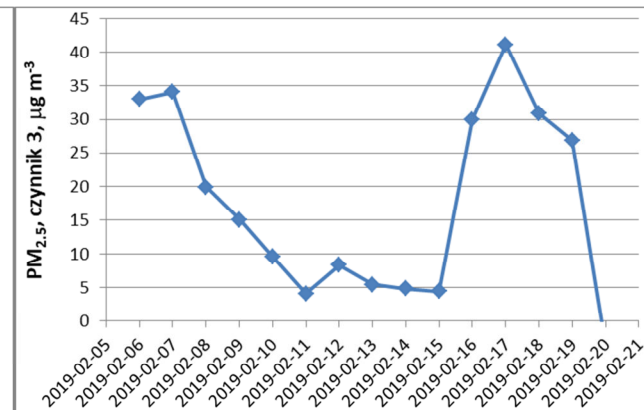
napływ



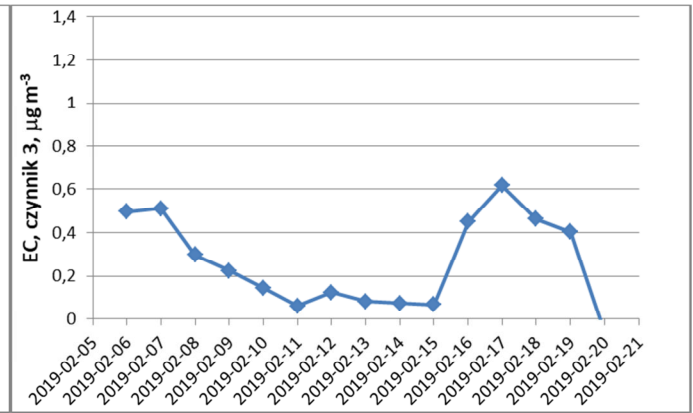
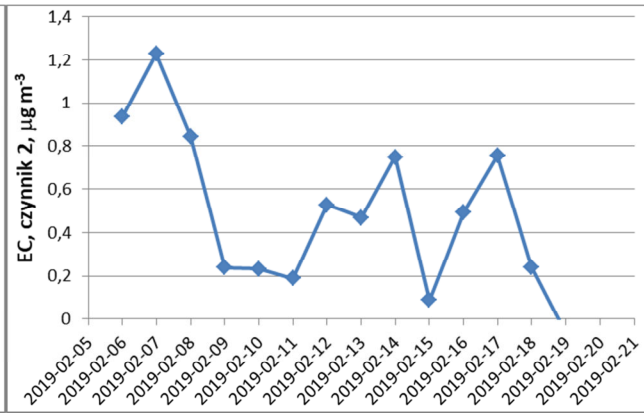
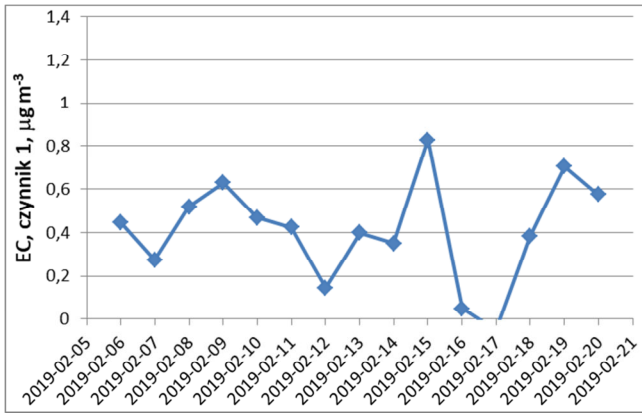
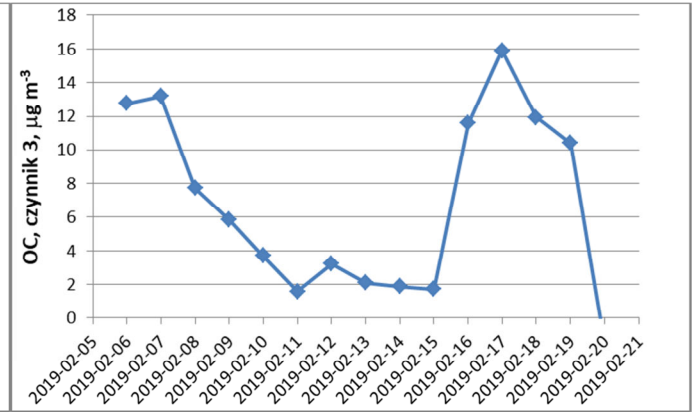
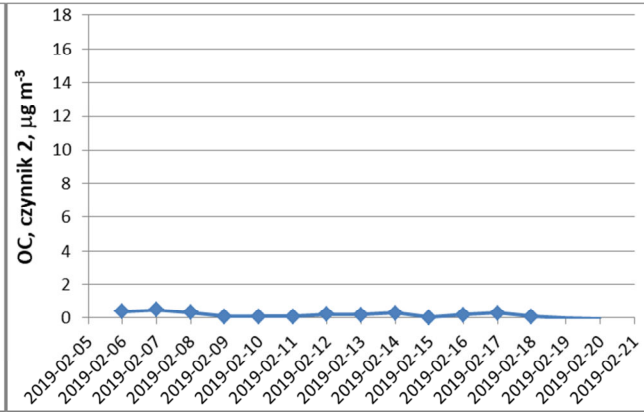
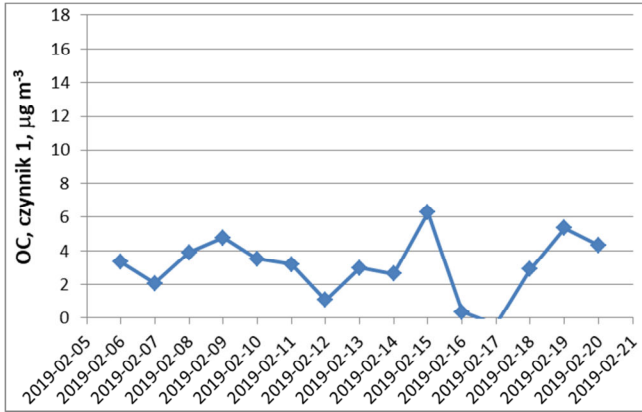
spalanie paliw mineralnych



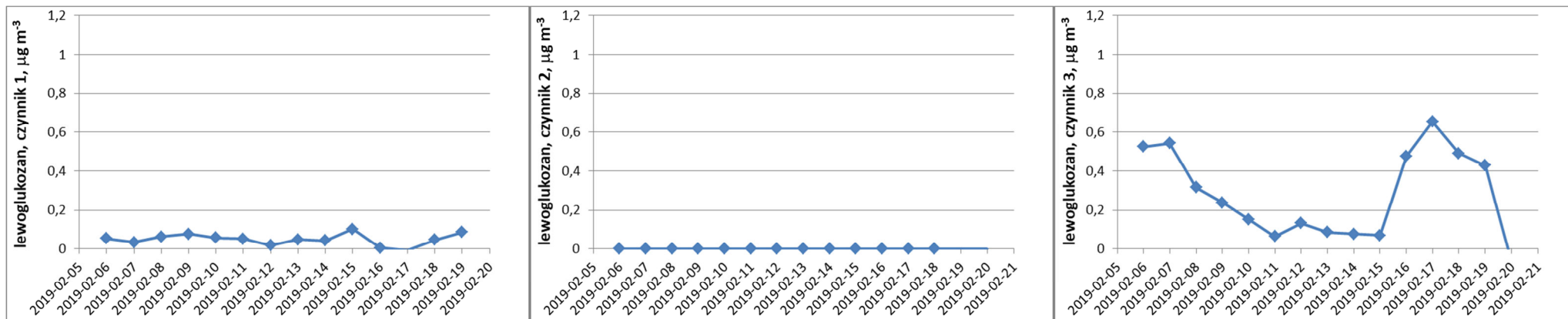
spalanie biomasy



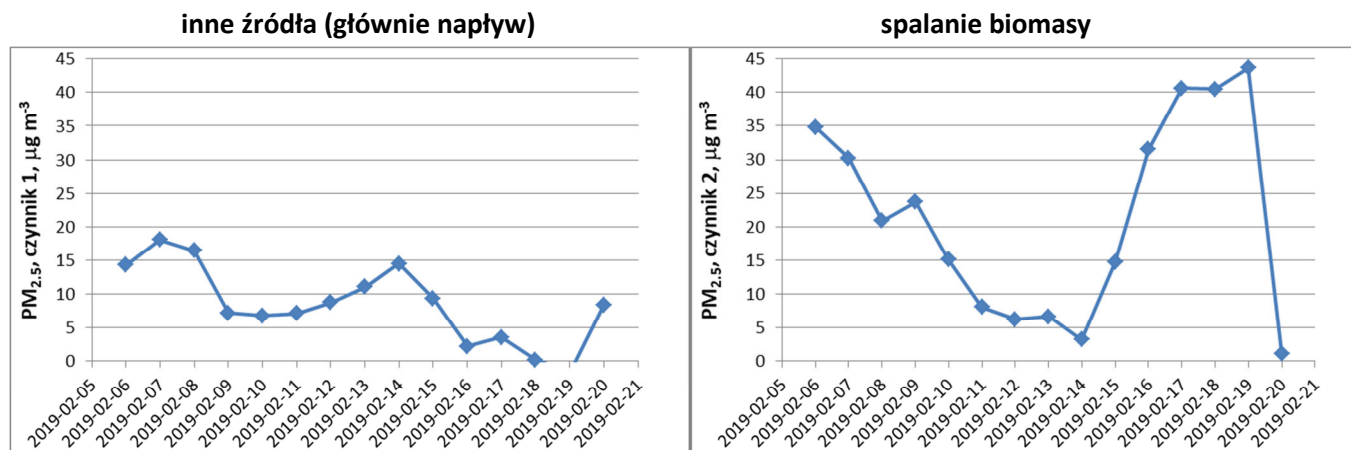
Podkowa 2019



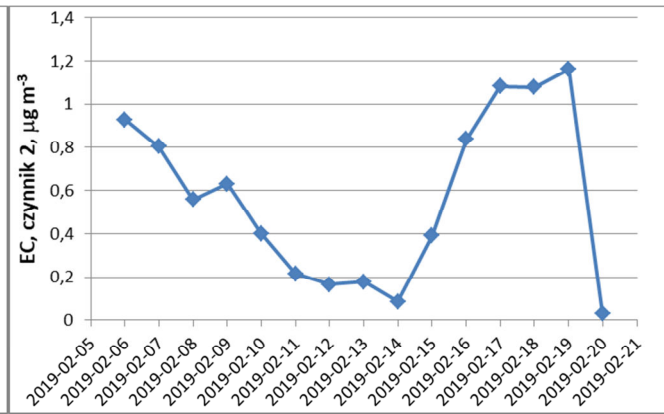
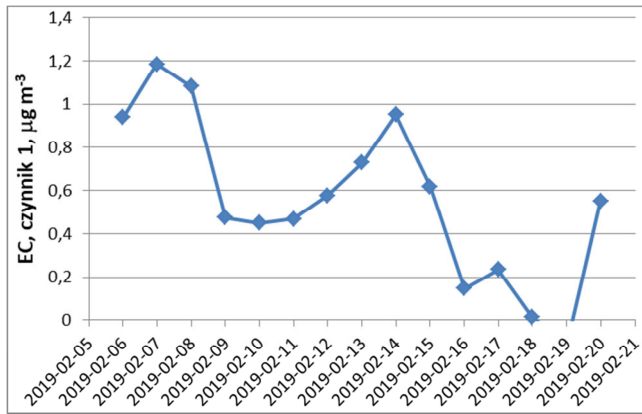
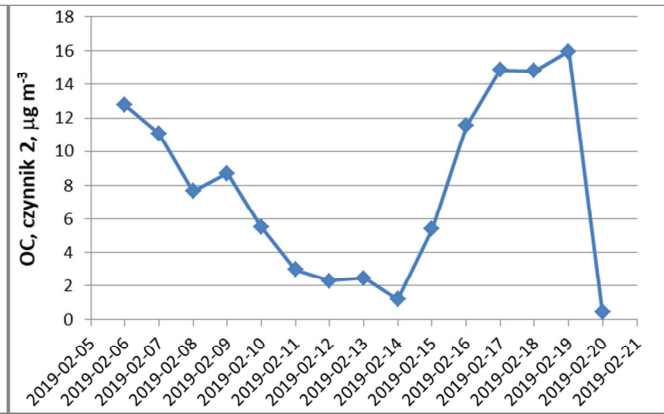
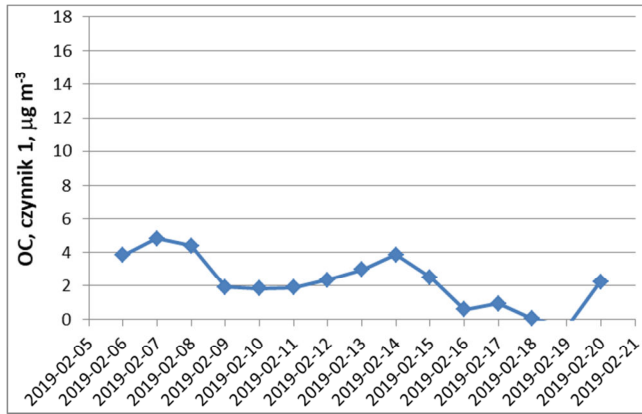
Podkowa 2019



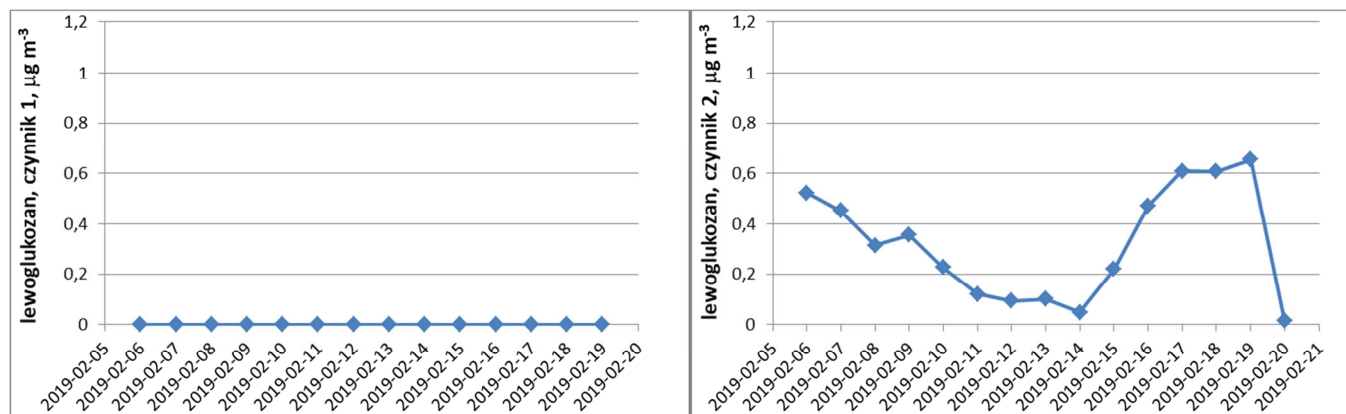
Rys. 13. Obliczone z modelu udziały 3 źródeł – napływu z terenów oddalonych, spalania paliw mineralnych i spalania biomasy – w stężeniach pyłu $\text{PM}_{2.5}$ oraz jego składników podczas kampanii Podkowa 2019.



Podkowa 2019



Podkowa 2019



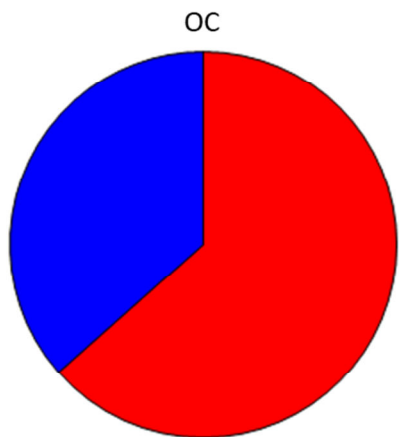
Rys. 14. (na tej i poprzednich stronach) Obliczone z modelu udziały 2 źródeł – innych źródeł (głównie napływu z terenów oddalonych) i spalania biomasy – w stężeniach pyłu $\text{PM}_{2.5}$ oraz jego składników podczas kampanii Podkowa 2019

Oszacowanie liczby źródeł z pominięciem stężenia $\text{PM}_{2.5}$

Oszacowanie liczby źródeł składników pyłu można także przeprowadzić dla OC, EC i lewoślukozanu z wyłączeniem stężenia pyłu $\text{PM}_{2.5}$ który zawiera około połowy innych, niezdefiniowanych tutaj składników. Uwzględnienie stężenia pyłu w analizie może wprowadzać dodatkową niepewność. Wyniki modelowania z pominięciem stężeń $\text{PM}_{2.5}$ przedstawiono poniżej. Na Rysunku 15 porównano udziały źródeł w przypadkach założenia występowania dwóch i trzech źródeł. Podobnie jak poprzednio, wystąpienie 3 i więcej źródeł jest mniej wiarygodne statystycznie niż wystąpienie dwóch źródeł.

Rys. 15:

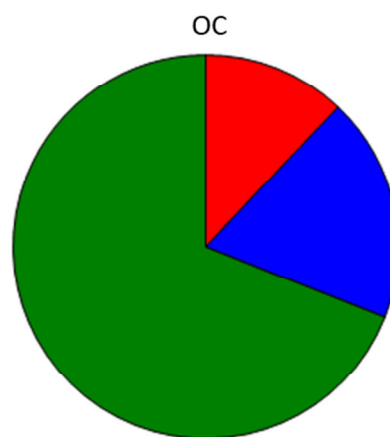
Dwa źródła (czynniki)



Udziały czynników

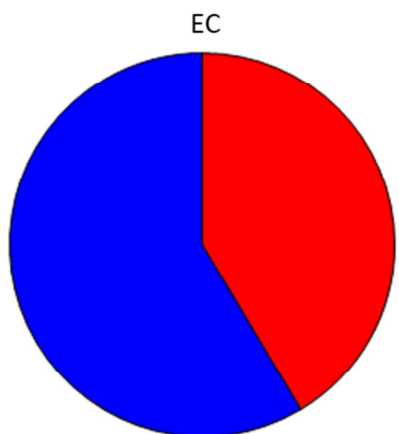
- Czynnik 1 = 6,40420 $\mu\text{g m}^{-3}$ (63,5 %)
- Czynnik 2 = 3,68400 $\mu\text{g m}^{-3}$ (36,5 %)

Trzy źródła (czynniki)



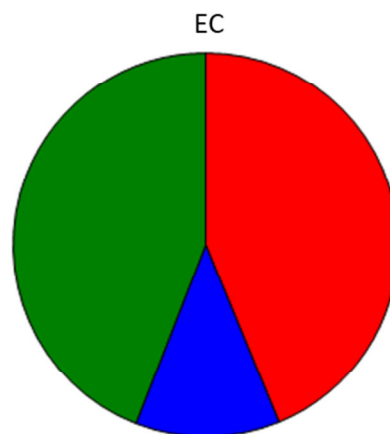
Udziały czynników

- Czynnik 1 = 1,21790 $\mu\text{g m}^{-3}$ (12,1 %)
- Czynnik 2 = 1,90760 $\mu\text{g m}^{-3}$ (18,9 %)
- Czynnik 3 = 6,96440 $\mu\text{g m}^{-3}$ (69,0 %)



Udziały czynników

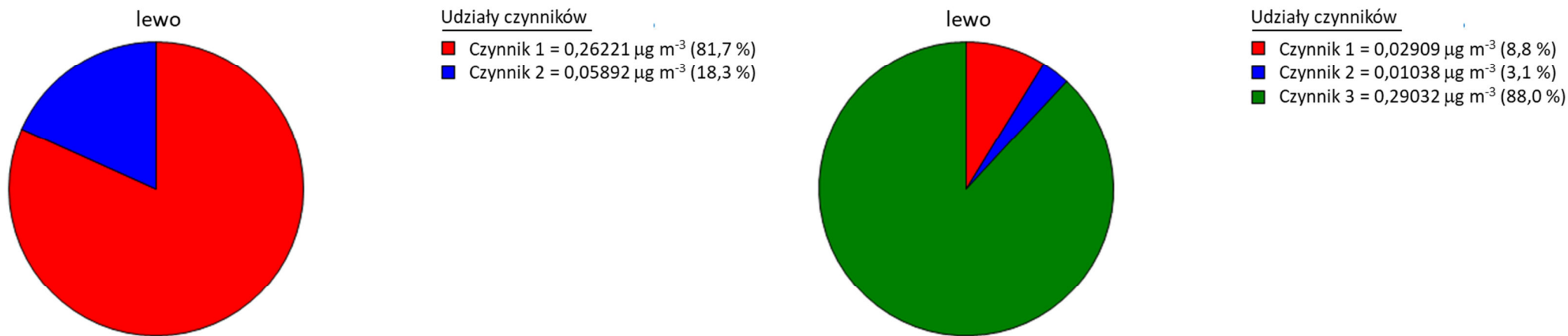
- Czynnik 1 = 0,46562 $\mu\text{g m}^{-3}$ (41,5 %)
- Czynnik 2 = 0,65752 $\mu\text{g m}^{-3}$ (58,5 %)



Udziały czynników

- Czynnik 1 = 0,49360 $\mu\text{g m}^{-3}$ (43,8 %)
- Czynnik 2 = 0,13662 $\mu\text{g m}^{-3}$ (12,1 %)
- Czynnik 3 = 0,49713 $\mu\text{g m}^{-3}$ (44,1 %)

Podkowa 2019



Rys. 15. (na tej i poprzednich stronach) Oszacowanie udziałów 2 źródeł (lewa kolumna) i 3 źródeł (prawa kolumna) składników pyłu $\text{PM}_{2.5}$ w próbkach dobowych z kampanii Podkowa 2019.

Niezależnie od wiarygodności statystycznej, porównanie udziałów na Rys. 13 i w Tabeli 3 pokazuje, że z dobrą dokładnością udziały czynnika 1 w modelu dwuźródłowym odpowiadają udziałom czynnika 3 w modelu trójźródłowym, natomiast udział czynnika 2 w modelu dwuźródłowym można rozdzielić na udziały czynnika 1 i czynnika 2 w modelu trójźródłowym.

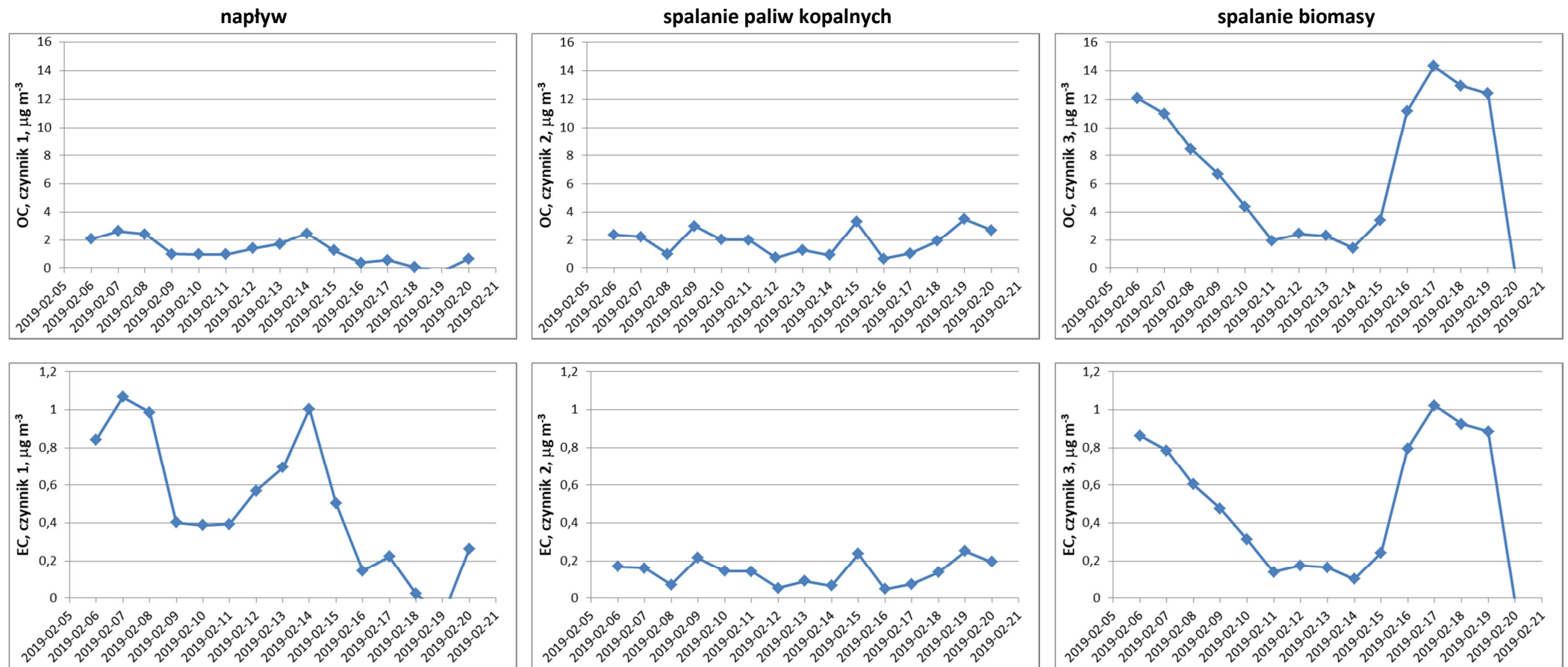
Tabela 3. Porównanie udziałów dwóch i trzech źródeł (bez uwzględnienia stężeń $\text{PM}_{2.5}$)

2 źródła		składnik	3 źródła	
czynnik	udział, $\mu\text{g m}^{-3}$		czynnik	udział, $\mu\text{g m}^{-3}$
1	6,40	OC	3	6,96
	0,47	EC		0,50
	0,06	lewoglukoza		0,29
2	3,68	OC	1 + 2	3,13
	0,66	EC		0,63
	0,06	lewoglukoza		0,04

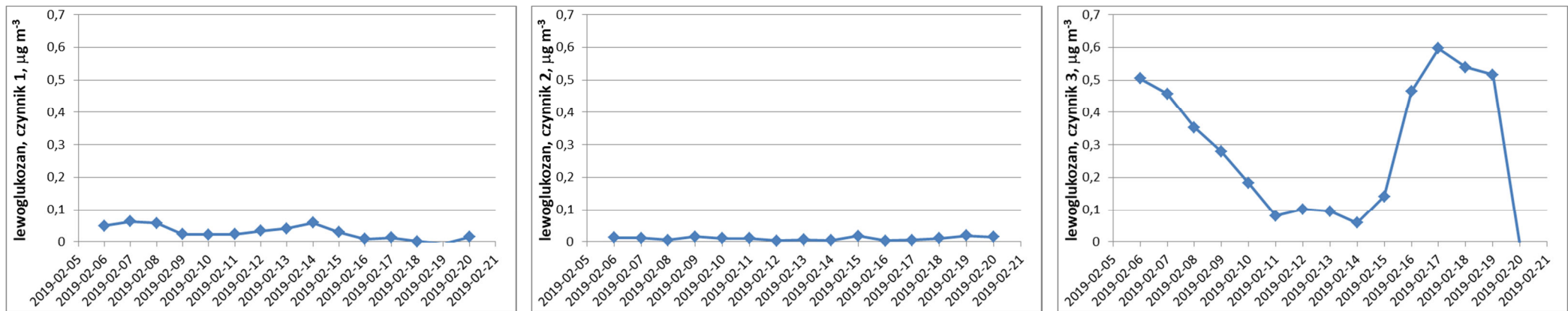
Podkowa 2019

W modelu trójźródłowym możemy przyjąć, że źródło z największym udziałem lewoglukozaonu (czynnik 3) odpowiada spalaniu biomasy (drewna), źródło z najmniejszym udziałem lewoglukozaonu (czynnik 2) odpowiada spalaniu paliw mineralnych (głównie ruch kołowy) a trzecie źródło (czynnik 1) odpowiada napływowi pyłu z terenów oddalonych. Udziały tych źródeł w pyłe zawieszonym $PM_{2,5}$ podczas całej kampanii Podkowa 2019 przedstawiono na Rysunku 16. Podobne zestawienie dla modelu dwuźródłowego – spalanie biomasy (czynnik 1) i inne, głównie napływ (czynnik 2) – pokazano na Rys. 17.

Rys. 16:

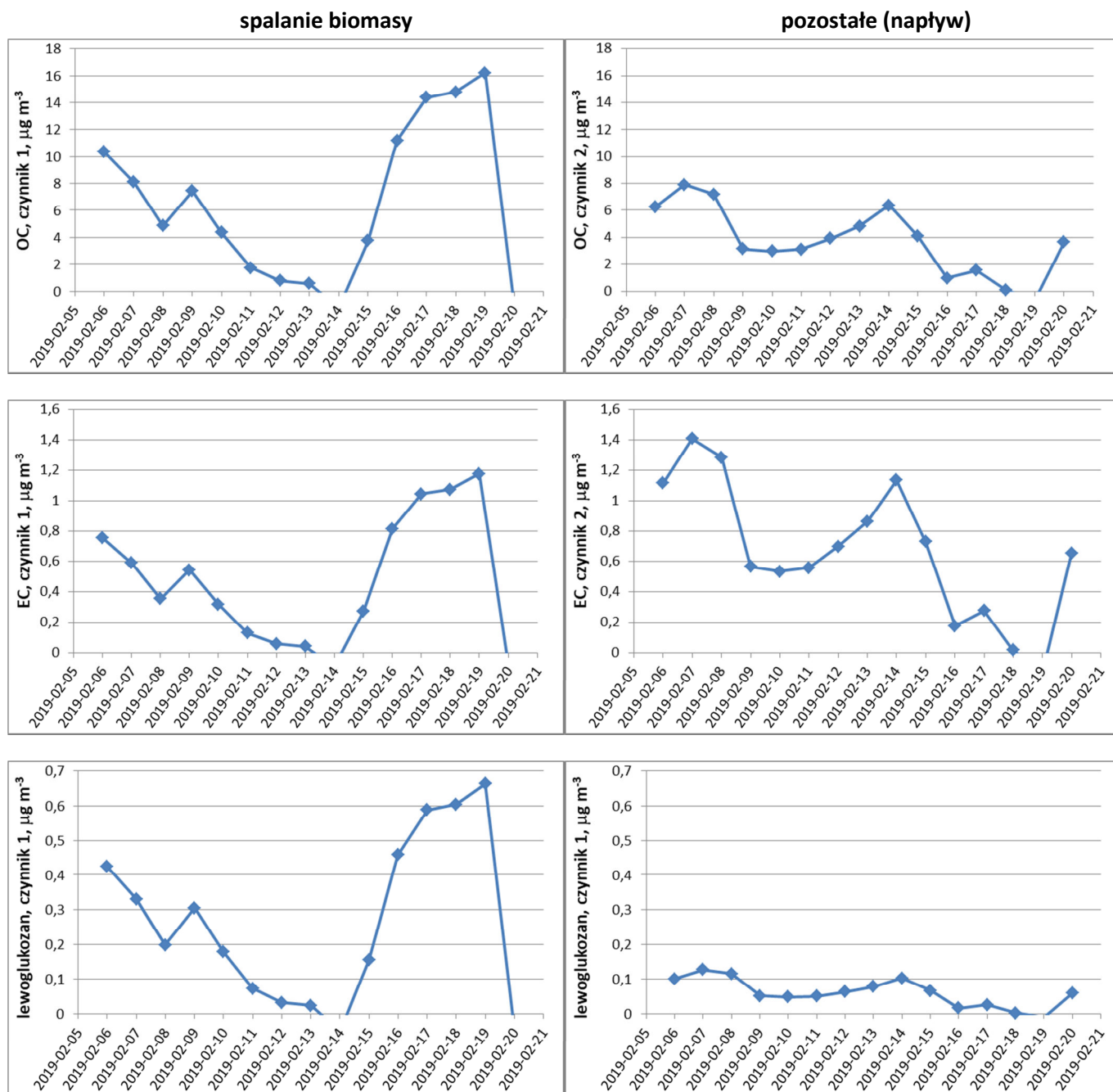


Podkowa 2019



Rys. 16. (na tej i poprzedniej stronie) Obliczone z modelu udziały 3 źródeł – napływu z terenów oddalonych, spalania paliw mineralnych i spalania biomasy – w stężeniach składników pyłu PM_{2.5} podczas kampanii Podkowa 2019

Podkowa 2019



Rys. 17. Obliczone z modelu działy 2 źródeł – innych źródeł (głównie napływu z terenów oddalonych) i spalania biomasy – w stężeniach składników pyłu $\text{PM}_{2.5}$ podczas kampanii Podkowa 2019

Podsumowanie

W dziewięciu z 15 dni kampanii zimowej Podkowa 2019 zaobserwowano przekroczenie dopuszczalnego wskaźnika jakości powietrza (Rys. 1). Masa węgla organicznego stanowiła od 20 do 45 % masy pyłu zawieszonego $PM_{2.5}$, natomiast masa węgla pierwiastkowego – od 2 do 7 % (Rys. 4 i 5). Stężenia lewoglukozy – markera spalania biomasy – mieściły się w zakresie od 0,015 do 0,62 $\mu\text{g m}^{-3}$ powietrza (Rys. 6) i nie odbiegały od wartości oznaczanych w podobnych lokalizacjach. Lewoglukoza stanowiła od 0,1 do 1,6 % masy pyłu zawieszonego $PM_{2.5}$ i od 0,5 do 4 % masy zawartego w tym pyłu węgla organicznego (Rys. 7 i 8).

Dominującym źródłem pyłu drobnego (frakcja $PM_{2.5}$) w Podkowie Leśnej okazały się procesy spalania biomasy (drewna) oraz napływy z terenów oddalonych. Z kolei, dominującym źródłem węgla organicznego (OC), który stanowi 25 – 42 % masy pyłu $PM_{2.5}$ jest spalanie biomasy. Napływ OC jest źródłem niemal dwukrotnie słabszym.

Analiza ruchu mas powietrza w okresie kampanii Podkowa 2019 wykazała, że niższe stężenia pyłu zarejestrowano w dniach, w których część lub całość mas powietrza napływała z północy lub z północnego zachodu (Rys. 9 i 10). Napływ mas zachodnich i południowych wiązał się zazwyczaj z większymi stężeniami pyłu. Potencjalne źródła pyłu napływającego do Podkowie Leśnej mogły być zlokalizowane w miejscowościach Grodzisk Mazowiecki, Grójec, Sochaczew, Łowicz i Żyrardów (Rys. 11). W okresie kampanii masy powietrza nie napływały od strony Warszawy, Piaseczna i Pruszkowa.

Podziękowania

Autorzy dziękują NOAA Air Resources Laboratory (ARL) za udostępnienie modelu transportu i dyspersji HYSPLIT oraz strony internetowej READY (<http://www.ready.noaa.gov>) wykorzystanych w niniejszej publikacji. Autorzy dziękują US Environmental Protection Agency za udostępnienie oprogramowania EPA PMF 5.0 wykorzystanego w niniejszej publikacji.

Literatura

- Bhattacharai, H., E. Saikawa, X. Wan, H. Zhu, K. Ram, S. Gao, S. Kang, Q. Zhang, Y. Zhang, G. Wu, X. Wang, K. Kawamura, P. Fu and Z. Cong; Levoglucosan as a tracer of biomass burning: Recent progress and perspectives, *Atmos. Res.* **220** (2019) 20-33.
- Chen, J., C. Li, Z. Ristovski, A. Milic, Y. Gu, M.S. Islam, S. Wang, J. Hao, H. Zhang, C. He, H. Guo, H. Fu, B. Miljevic, L. Morawska, P. Thai, Y.F. Lam, G. Pereira, A. Ding, X. Huang and U.C. Dumka; A review of biomass burning: Emissions and impacts on air quality, health and climate in China, *Science of The Total Environment* **579** (2017) 1000-1034.
- EPA; Positive Matrix Factorization Model for environmental data analyses, <https://www.epa.gov/air-research/positive-matrix-factorization-model-environmental-data-analyses> (2019).
- Kahnt, A., S. Behrouzi, R. Vermeylen, M. Safi Shalamzari, J. Vercauteren, E. Roekens, M. Claeys and W. Maenhaut; One-year study of nitro-organic compounds and their relation to wood burning in PM10 aerosol from a rural site in Belgium, *Atmos. Environ.* **81** (2013) 561-568.
- Rolph, G., A. Stein and B. Stunder; Real-time Environmental Applications and Display sYstem: READY, *Environmental Modelling & Software* **95** (2017) 210-228.
- Stein, A.F., R.R. Draxler, G.D. Rolph, B.J.B. Stunder, M.D. Cohen and F. Ngan; NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System, *Bulletin of the American Meteorological Society* **96** 12 (2015) 2059-2077.
- Ulevicius, V., S. Byčenkienė, C. Bozzetti, A. Vlachou, K. Plauškaitė, G. Mordas, V. Dudoitis, G. Abbaszade, V. Remeikis, A. Garbaras, A. Masalaite, J. Blees, R. Fröhlich, K.R. Dällenbach, F. Canonaco, J.G. Slowik, J. Dommen, R. Zimmermann, J. Schnelle-Kreis, G.A. Salazar, K. Agrios, S. Szidat, I. El Haddad and A.S.H. Prévôt; Fossil and non-fossil source contributions to atmospheric carbonaceous aerosols during extreme spring grassland fires in Eastern Europe, *Atmos. Chem. Phys.* **16** 9 (2016) 5513-5529.