

RAPORT

Mobilne pomiary stężeń pyłów zawieszonych w obrębie Krakowa, Podhala oraz Górnego Śląska

Jakub Bartyzel, Łukasz Chmura, Michał Gałkowski
Mirosław Zimnoch, Kazimierz Różański

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Katedra Zastosowań Fizyki Jądrowej
Zespół Fizyki Środowiska

Raport wykonano na zlecenie
Stowarzyszenia „*Krakowski Alarm Smogowy*”.

Kraków, maj 2016



Spis treści

Spis treści.....	3
1. Wstęp	5
2. Kampania testowa – miasto Kraków 5-6.11.2015.....	7
3. Kampanie mobilne Kraków – Górny Śląsk.....	11
3.1. Kampania pomiarowa 30-31.10.2015	11
3.2. Kampania pomiarowa 4-5.03.2016	17
4. Kampanie mobilne Kraków – Podhale.....	23
4.1. Kampania pomiarowa 10-11.12.2015	23
4.2. Kampania pomiarowa 31.03-01.04.2016	30
5. Kampanie mobilne Kraków (powiat).....	37
5.1. Kampania pomiarowa 16-17.03.2016	37
5.2. Kampania pomiarowa 24-25.03.2016	45
6. Kampanie mobilne Kraków (miasto)	51
6.1. Kampania pomiarowa 16-17.12.2015	51
6.2. Kampania pomiarowa 23-24.01.2016	57
6.3. Kampania pomiarowa 6-7.04.2016	62
7. Wnioski.....	70
Referencje	72
Aneks A.....	73
Aneks B.....	77

1. Wstęp

Badania zaprezentowane w niniejszym raporcie zostały wykonane w Zespole Fizyki Środowiska działającym w strukturze Katedry Zastosowań Fizyki Jądrowej, Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, na zlecenie Stowarzyszenia Krakowski Alarm Smogowy.

Głównym celem badań było oszacowanie rozkładu przestrzennego stężeń atmosferycznych zanieczyszczeń pyłowych klasy PM₁₀ na obszarze województwa Małopolskiego oraz Górnego Śląska, przy użyciu mobilnych platform pomiarowych wykorzystujących mierniki zanieczyszczenia powietrza udostępnione przez stowarzyszenie Krakowski Alarm Smogowy. Dzięki zastosowaniu urządzeń pracujących z wysoką rozdzielczością czasową oraz cechujących się dużą precyzją, możliwe było rozszerzenie wiedzy na temat rozmieszczenia stref potencjalnych przekroczeń dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń PM₁₀, a także dynamiki czasowej i charakteru ich zmienności.

Raport przedstawia rezultaty 10 kampanii pomiarowych, obejmujących swoim zasięgiem tereny województw Małopolskiego i Śląskiego. Rezultaty uzyskane w trakcie pomiarów terenowych zostały uzupełnione analizami warunków meteorologicznych, w oparciu o dane pochodzące ze stacji naziemnych zarządzanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB), a także analizami przebiegów czasowych i dynamiki stężeń zanieczyszczeń, mierzonych przez państwową sieć monitoringu w ramach zadań Wojewódzkich Inspektoratów Ochrony Środowiska.

Metodologia pomiarów

Pomiary wykonywano z wykorzystaniem przenośnych pyłomierzy DustTrak 8530 firmy TSI doposażonych w tor kondycjonowania powietrza (podgrzewany wlot powietrza atmosferycznego w celu uniknięcia pomiaru frakcji ciekłej aerozoli, niezbędny podczas prowadzenia pomiarów w warunkach zalegającej mgły) oraz możliwość logowania położenia urządzenia z wykorzystaniem technologii GPS. Wszystkie dodatkowe elementy układu pomiarowego zostały zaprojektowane i wykonane przez pracowników Zespołu Fizyki Środowiska WFiIS AGH. W okresie poprzedzającym realizację zlecenia (grudzień 2014 - luty 2015) zmodyfikowano zakupione przez stowarzyszenie Krakowski Alarm Smogowy komercyjne pyłomierze DustTrak 8530 firmy TSI do przewidywanych badań oraz wdrożono odpowiednie procedury kalibracyjne. Wyniki tych prac opisano w aneksie A do niniejszego raportu. Pomiary terenowe wraz z analizą otrzymanych wyników zostały wykonane w okresie listopad 2015 – kwiecień 2016. Dla zapewnienia zgodności z pomiarami referencyjnymi prowadzonymi przez Inspektoraty ochrony Środowiska, w ramach realizacji zlecenia wykonano również serię kalibracji pyłomierzy DustTrak 8530 firmy TSI w oparciu o metodę grawimetryczną. W celu sprawdzenia poprawności przeprowadzonych kalibracji, uruchomiono równoległe pomiary stężeń pyłu zawieszonego wykorzystując urządzenie referencyjne (miernik pyłu firmy LECKEL) stosowane przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, prowadzący z urzędu monitoring jakości powietrza. Otrzymane wyniki również przedstawiono w aneksie A.

W trakcie trwania kampanii prowadzono pomiary stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ wraz z jednoczesnym zapisem położenia urządzenia pomiarowego. Zapis danych prowadzony był z częstotliwością 5 Hz. Ponieważ kampanie pomiarowe wykonywane były z użyciem samochodu osobowego, poruszającego się po drogach publicznych, zdecydowano się na prowadzenie ich w godzinach nocnych. Niskie natężenie ruchu ulicznego w godzinach nocnych pozwoliło zredukować wpływ źródeł PM₁₀ związanych z transportem kołowym na mierzone wartości stężeń. Dodatkowym atutem prowadzenia kampanii w godzinach nocnych była stabilność warunków meteorologicznych. Występujące w trakcie pomiarów nocne inwersje temperatury redukowały mieszanie pionowe atmosfery i charakteryzowały się niskimi prędkościami wiatrów. Mierzone w takich warunkach

podwyższone stężenia pyłu PM10 można było wiązać głównie z lokalnymi źródłami emisji zanieczyszczeń pyłowych (niska emisja).

Stosowane oznaczenia

Na mapach zamieszczonych w niniejszym raporcie stosowane są dwie odrębne skale barwne reprezentujące mierzone stężenia pyłu zawieszonego PM10. Podstawowa skala (Tabela 1.1) została oparta o skalę Polskiego Indeksu Jakości Powietrza (PIJP) opracowanego przez GIOŚ (GIOŚ, 2015). Została ona odpowiednio zmodyfikowana dla uzyskania płynnych przejść pomiędzy wartościami przedziałów stężeń. Celem zastosowania skali uzupełniającej (por. Rys. 3.1.6.) było zaprezentowanie miejsc występowania wartości ekstremalnych, tzn. stężeń o wartościach przekraczających $500 \mu\text{g m}^{-3}$. W tym przypadku nie stosowano sztywnego przypisania barw do wartości stężeń.

Tabela 1.1 Skala barwna reprezentująca mierzone stężenie pyłu zawieszonego PM10 na podstawie Polskiego Indeksu Jakości Powietrza (PIJP) (GIOŚ, 2015), uzupełniona o dodatkowe klasy barwne odpowiadające wyższym zakresom stężeń.

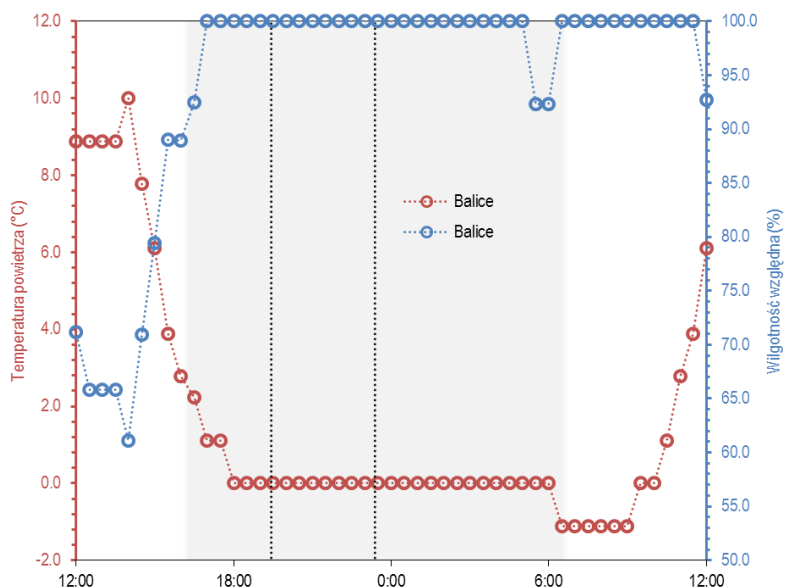
Jakość powietrza	PM10 [$\mu\text{g m}^{-3}$]
Bardzo dobra	10
Dobra	40
Umiarkowana	80
Dostateczna	120
Zła	170
Bardzo zła	250
Poza skalę GIOŚ ¹	350
	500

Na wszystkich mapach zamieszczonych w niniejszym opracowaniu, przedstawiających przebieg kampanii pomiarowych, linie ciągłe wyznaczają trasę przejazdu w trakcie danej kampanii pomiarowej, a ich kolor w danym punkcie odpowiada rejestrowanemu stężeniu. Czarnymi krzyżykami zaznaczono na mapach czas przejazdu przez dany punkt trasy. Pozwala to lepiej zobrazować zmienność czasową stężenia PM10, szczególnie w przypadkach, gdy pomiar prowadzony był dwukrotnie po tej samej części trasy w ciągu jednej nocy. Wszystkie godziny na wykresach i mapach podano w czasie CET (Central European Time – czas środkowoeuropejski). Prostokątami z odpowiednim oznaczeniem kolorystycznym (z podanymi wartościami liczbowymi) oznaczono na mapach średnie godzinne wartości stężenia na stacjach WIOŚ odpowiadające godzinie przejazdu platformy mobilnej w pobliżu stacji. Symbol „B.d.” oznacza brak danych ze stacji pomiarowej w okresie trwania pomiarów mobilnych.

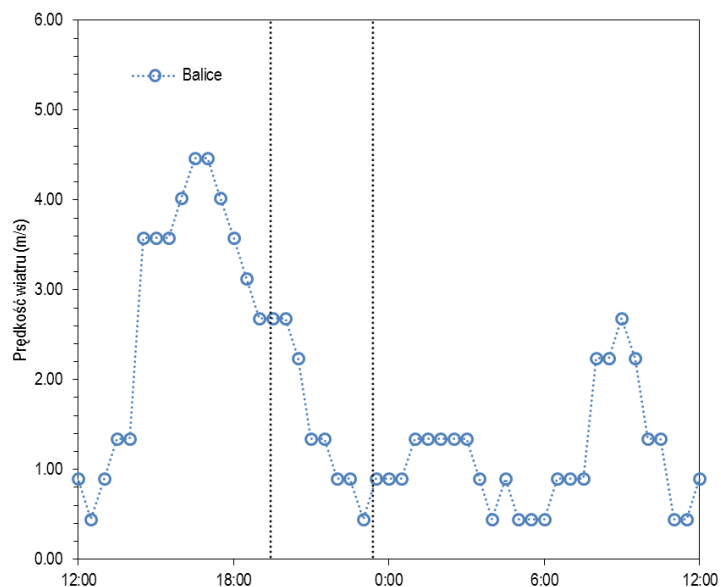
¹ Wartości te nie mają odpowiedników w Polskim Indeksie Jakości Powietrza (GIOŚ, 2015). Wartości powyżej $200 \mu\text{g m}^{-3}$ oznaczane są w PIJP klasą jakości „bardzo zła” i kolorem ciemnoczerwonym. W niniejszym opracowaniu rozszerzenie skali było konieczne ze względu na częste obserwacje wartości powyżej $200 \mu\text{g m}^{-3}$.

2. Kampania testowa – miasto Kraków 5-6.11.2015

Istotnym elementem przeprowadzonych badań były pomiary testowe mające na celu oszacowanie wpływu przemieszczania się układu pomiarowego na wartość mierzonych stężeń. Podczas pierwszej kampanii mobilnej prowadzonej w obrębie miasta Krakowa zostały przeprowadzone testy wpływu lokalizacji punktu poboru powietrza w pojeździe na mierzone wartości. Kampania w obrębie miasta Krakowa prowadzona była w godzinach 19:26 – 23:23 CET. Warunki atmosferyczne panujące na stacji meteorologicznej Krakowie-Balice przedstawiają wykresy 2.1 oraz 2.2.



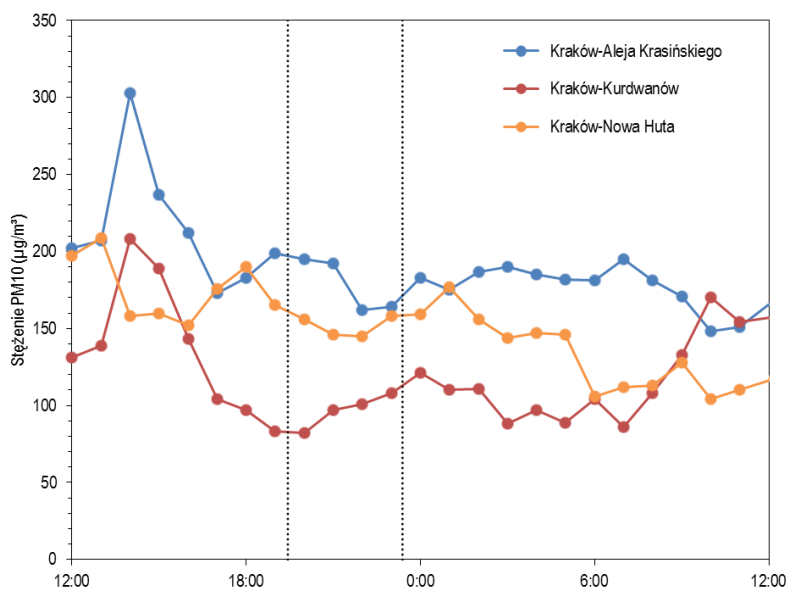
Rys. 2.1. Temperatura oraz wilgotność względna powietrza mierzone na stacji IMGW Kraków-Balice w dniach 5-6.11.2015 [NCDC, 2016]. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości temperatury, kolorem niebieskim wilgotność względną powietrza. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych. Kolorem szarym oznaczono okres od zachodu do wschodu Słońca.



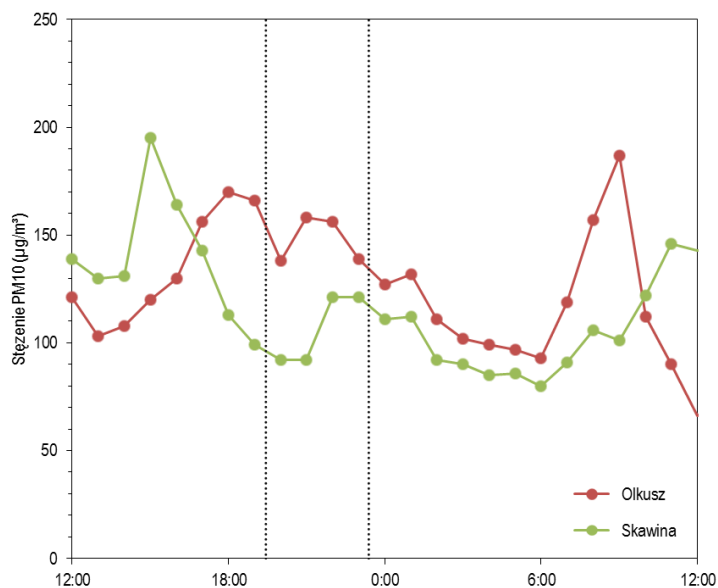
Rys. 2.2. Prędkość wiatru na stacji IMGW Kraków-Balice mierzona w dniach 5-6.11.2015 [NCDC, 2016]. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec prowadzenia pomiarów mobilnych.

Jak wynika z rys. 2.1 oraz rys. 2.2, że pomiary stężeń pyłu zawieszonego prowadzone były w stabilnych warunkach meteorologicznych, przy stałej wartości temperatury oraz przy malejącej w trakcie prowadzenia kampanii prędkości wiatru.

Na wykresach 2.3 oraz 2.4 przedstawiono wartości średnich godzinnych stężeń pyłu zawieszonego PM10 na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie, w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych.

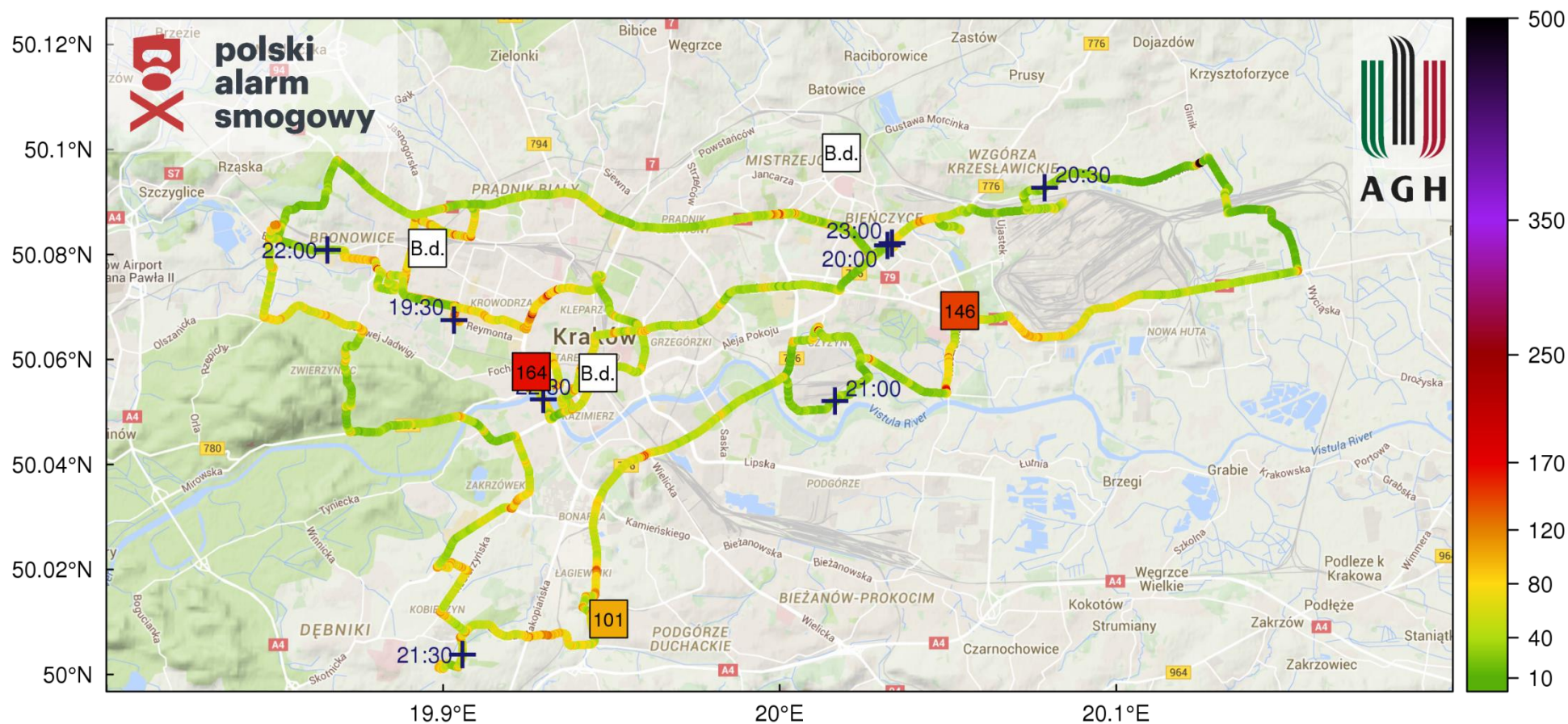


Rys. 2.3. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM10 mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 5-6.11.2015. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.



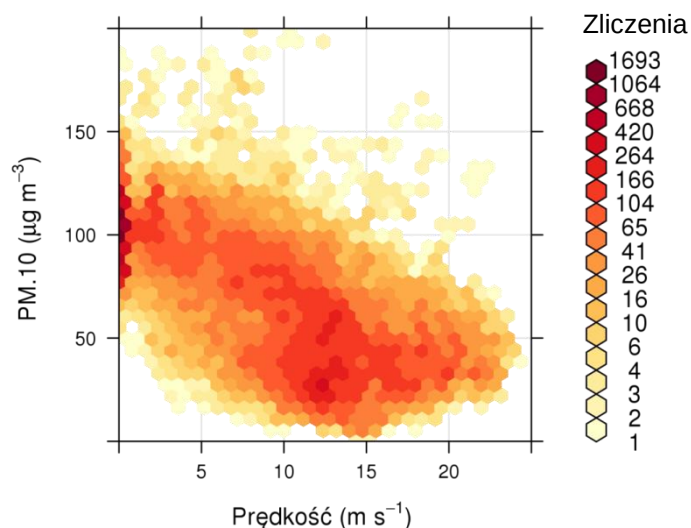
Rys. 2.4. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM10 mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 5-6.11.2015. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Jak wynika z rys. 2.3 oraz rys. 2.4, w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych stężenia pyłów zawieszonych PM10 na trzech stacjach w Krakowie oraz na stacji w Olkuszu i Skawinie były stabilne i ukształtowały się w zakresie 100-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

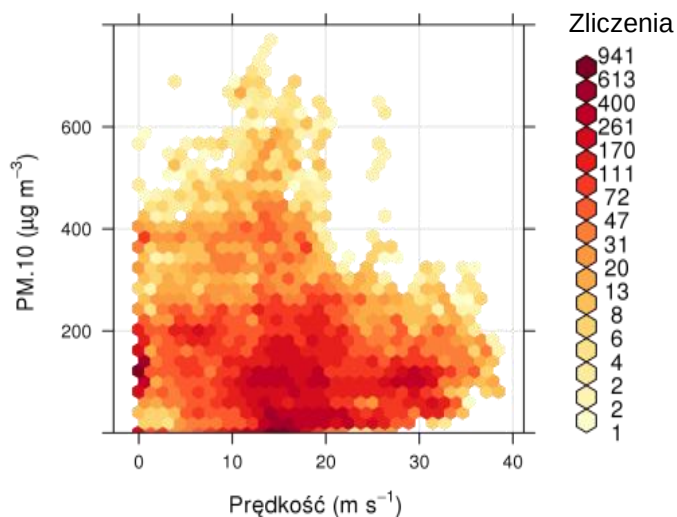


Rys. 2.5. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 obserwowane w trakcie kampanii pomiarowej prowadzonej w dniach 5-6.11.2015r. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.

Przedstawiony na rysunku 2.5 obraz stężeń PM10 mierzony w trakcie testowej kampanii pomiarowej wykazuje wyraźny brak zgodności wartości zmierzonych za pomocą platformy mobilnej z pomiarami prowadzonymi na odpowiednich stacjach WIOŚ w Krakowie. Dane zebrane w ramach tej kampanii pozwoliły stwierdzić, że umieszczenie punktu czerpania powietrza względem geometrii pojazdu ma kluczowe znaczenie dla jakości uzyskanych danych. Na wykresie 2.6 zaprezentowano występowanie zależności pomiędzy prędkością poruszania się platformy mobilnej, a mierzonymi stężeniami pyłów zawieszonych PM10, w przypadku nieoptymalnego zainstalowania punktu poboru mierzonego powietrza atmosferycznego. W przeprowadzonych później kampaniach pomiarowych zwracano szczególną uwagę na umiejscowienie inletu urządzenia pomiarowego (por. rys. 2.7). Dzięki temu nie obserwowano zależności mierzonych stężeń od prędkości pojazdu.



Rys. 2.6. Zależność mierzonych stężeń pyłu zawieszonego PM10 od prędkości poruszania się pojazdu w kampanii testowej (5-6.11.2015r.).

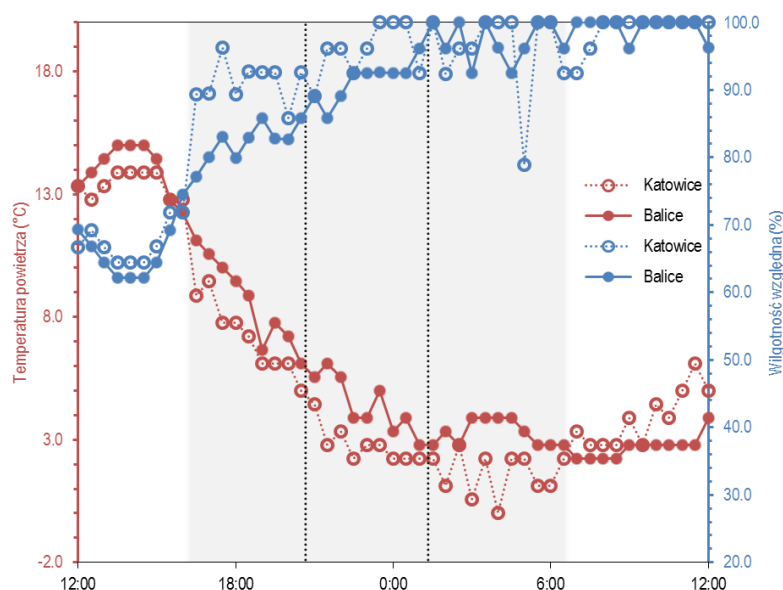


Rys. 2.7. Zależność mierzonych stężeń pyłu zawieszonego PM10 od prędkości poruszania się pojazdu w kampanii prowadzonej w dniach 10-11.12.2015r. w rejonie Podhala.

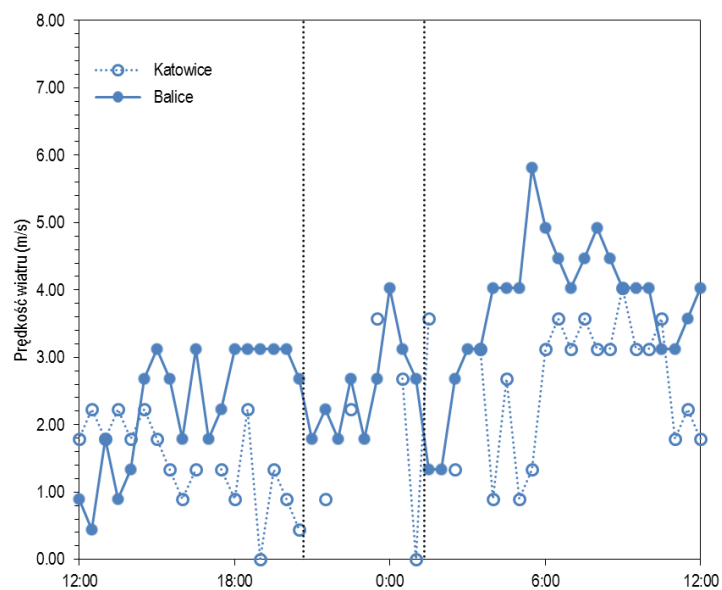
3. Kampanie mobilne Kraków – Górny Śląsk

3.1. Kampania pomiarowa 30-31.10.2015

Pierwsze pomiary mobilne na obszarze Górnego Śląska wykonane zostały w dniach 30-31.10.2015, w godzinach 20:39 – 01:19 CET. Warunki atmosferyczne panujące na stacjach meteorologicznych w Krakowie oraz w Katowicach, przedstawione są na wykresach 3.1.1 oraz 3.1.2. Pozwalają one zakładać, iż dolna troposfera pozostawała w stanie równowagi stabilnej z silnie rozwiniętą warstwą inwersyjną, przy obniżającej się temperaturze powietrza, wilgotności powietrza rosnącej aż do wysycenia (lokalnie zalegająca mgła) oraz prędkości wiatru nieprzekraczającej 4 m/s. Obserwacje warunków meteorologicznych prowadzone w trakcie pomiarów potwierdzają te założenia.

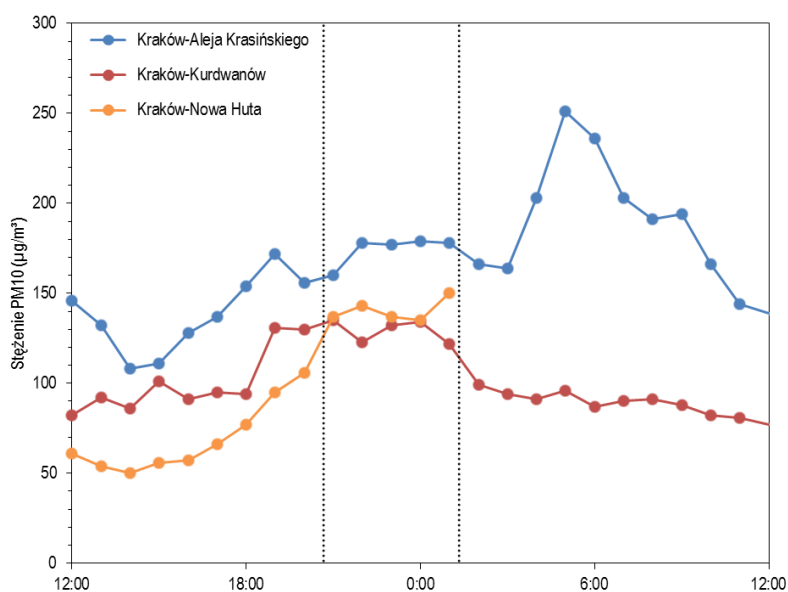


Rys. 3.1.1. Temperatura oraz wilgotność względna powietrza mierzone na stacjach IMGW Kraków-Balice oraz Katowice, w dniach 30-31.10.2015 [NCDC, 2016]. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości temperatury a kolorem niebieskim wilgotność względną powietrza. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych. Kolorem szarym oznaczono okres od zachodu do wschodu Słońca.

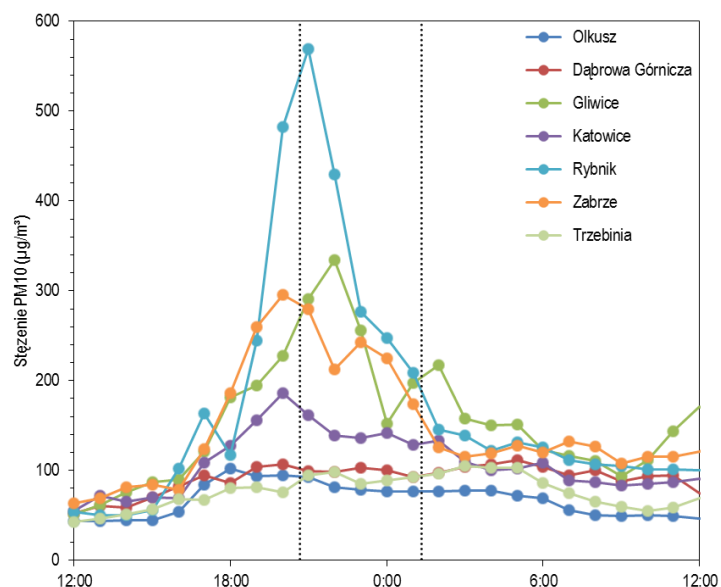


Rys. 3.1.2. Prędkość wiatru mierzona na stacjach IMGW Kraków-Balice oraz Katowice w dniach 30-31.10.2015 [NCDC, 2016]. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Na wykresach 3.1.3 oraz 3.1.4 przedstawiono wartości średnich godzinnych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ na stacjach należących do WIOŚ w Katowicach oraz Krakowie w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych.



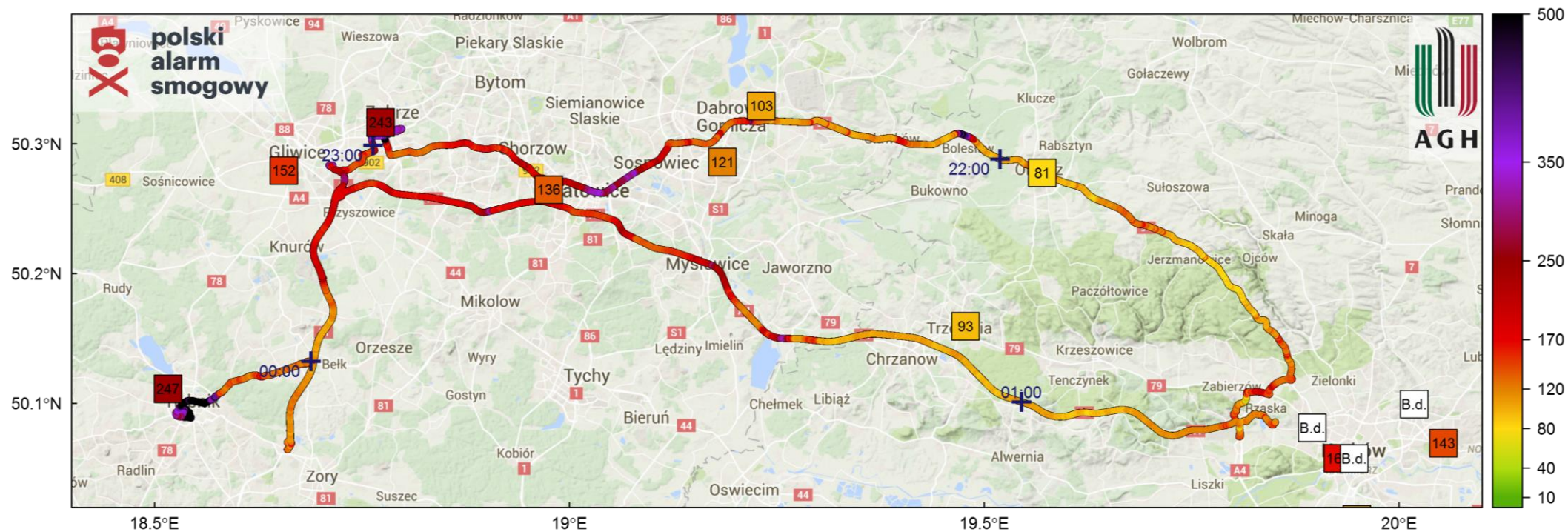
Rys. 3.1.3. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM₁₀ mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 30-31.10.2015r. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.



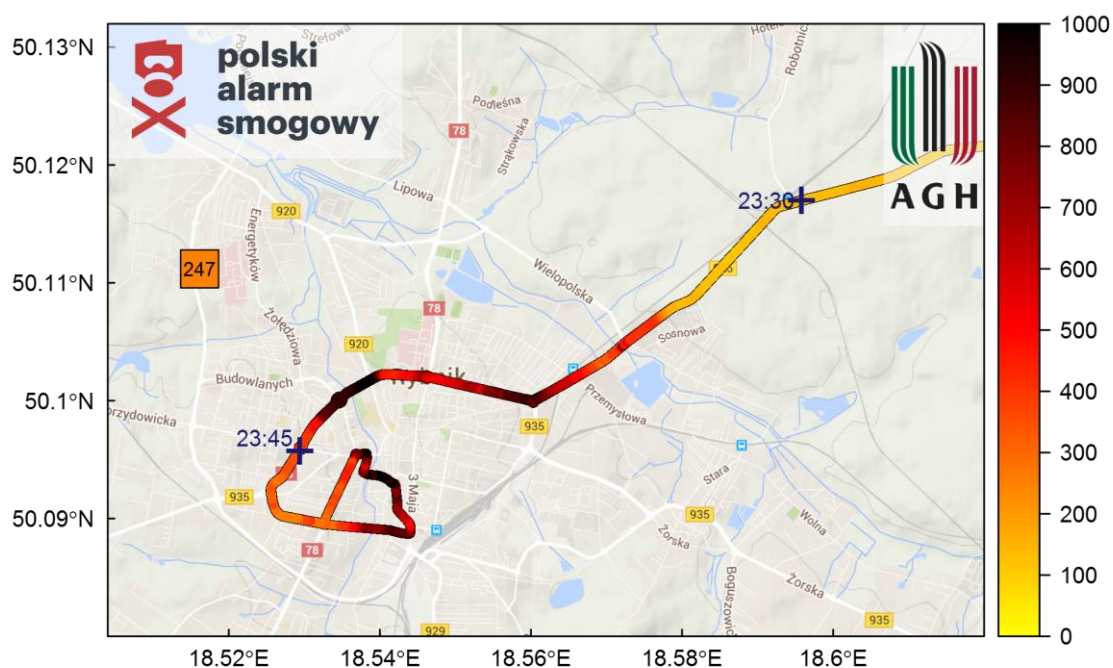
Rys. 3.1.4. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM10 mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Katowicach i w Krakowie w dniach 30-31.10.2015r. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Na wykresie 3.1.3 widać, iż w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych stężenia pyłów zawieszonych PM10 w Krakowie były stabilne i utrzymywały się na poziomie $100 - 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dla stacji należących do WIOŚ w Katowicach i w Krakowie (wykres 3.1.4) zauważyć można również stabilne wartości stężeń na poziomie $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na stacjach Olkusz, Trzebinia, Dąbrowa Górnicza, Katowice. Natomiast wartości na stacjach Zabrze, Rybnik, Gliwice odbiegają od tła regionalnego i dochodzą do wartości, odpowiednio $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $569 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz $334 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

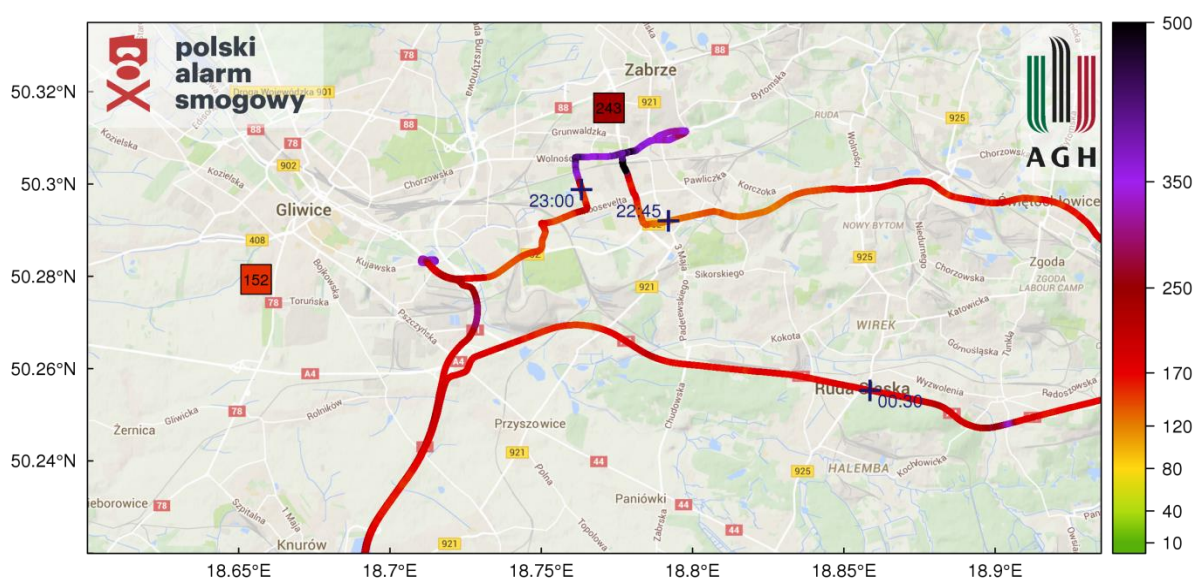
Rysunki 3.1.5 – 3.1.9 przedstawiają mapy zmierzonych wartości stężeń pyłu zawieszonego PM10 w trakcie trwania pomiarów mobilnych. Na mapie zamieszczonej na rysunku 3.1.5 przedstawiono dane pochodzące z całej kampanii pomiarowej. Na rysunkach 3.1.6 – 3.1.9 przedstawiono wybrane fragmenty przeprowadzonej kampanii pomiarowej, odpowiednio okolice Rybnika, Zabrze i Gliwic, Katowic oraz Krakowa. Na rysunku 3.1.6 wykorzystana skala kolorów odbiega od stosowanej przez GIOŚ z uwagi na konieczność podkreślenia wysokich wartości mierzonych stężeń.



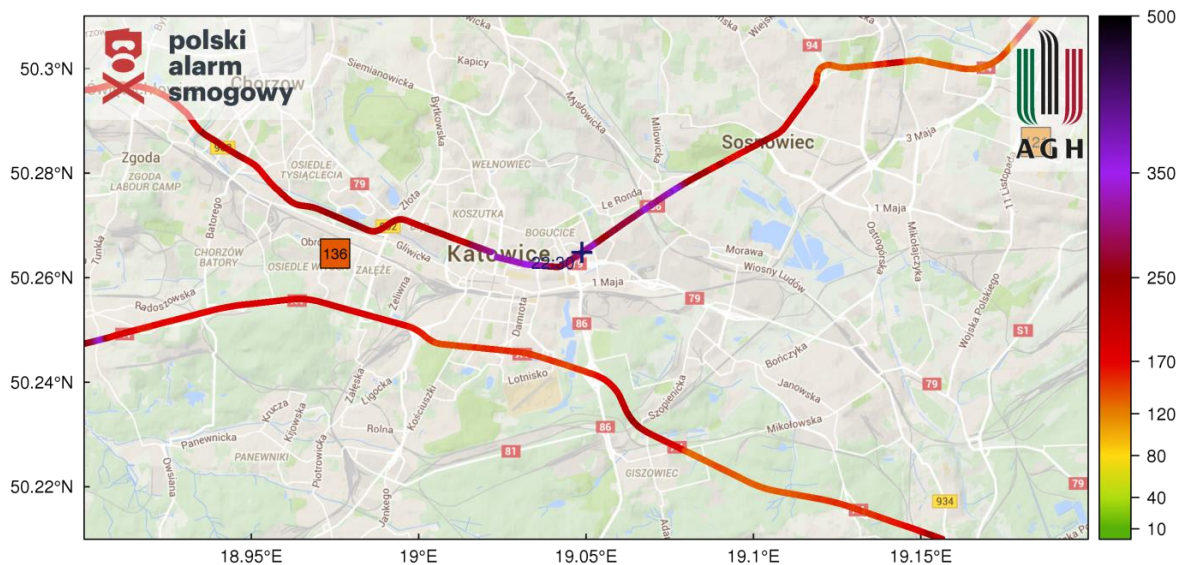
Rys. 3.1.5. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 obserwowane w trakcie kampanii pomiarowej prowadzonej w dniach 30-31.10.2015r. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



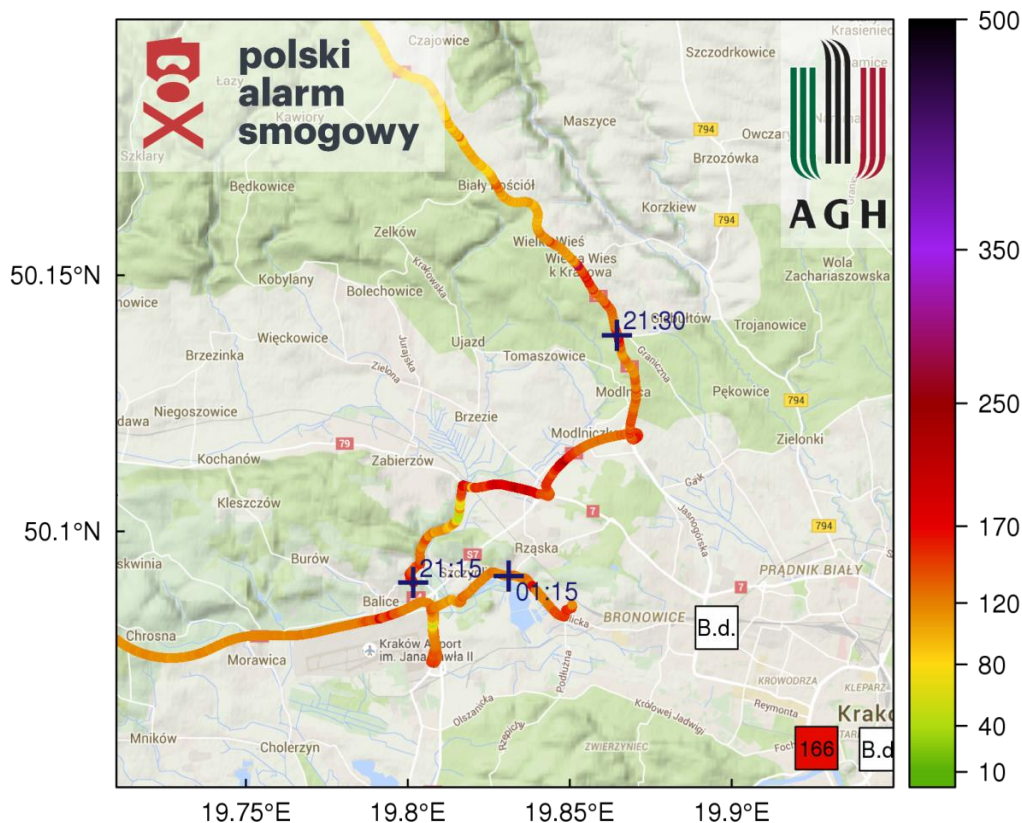
Rys. 3.1.6. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Rybnika w dniach 30-31.10.2015r. Skala kolorystyczna dopasowana do bardzo wysokich stężeń PM10.



Rys. 3.1.7. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Zabrze oraz Gliwic w dniach 30-31.10.2015r. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 3.1.8. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Katowic w dniach 30-31.10.2015r. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



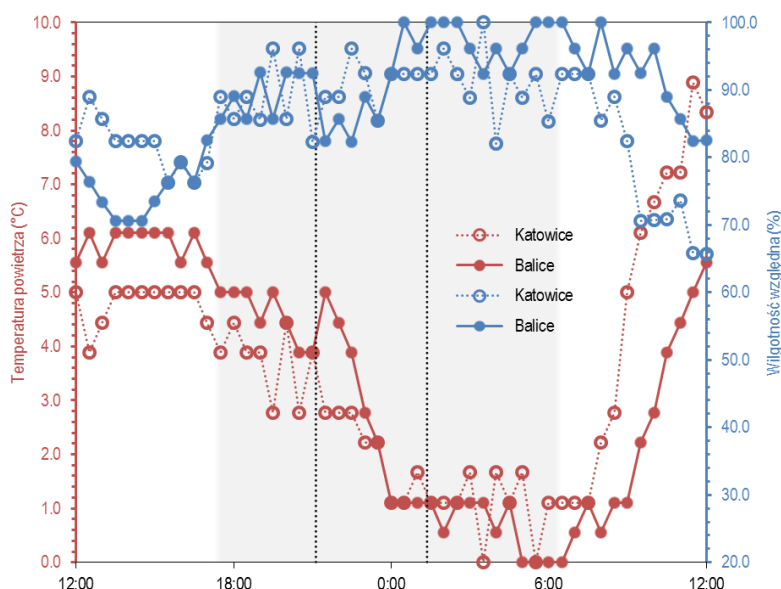
Rys. 3.1.9. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Krakowa w dniach 30-31.10.2015r. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.

Z uzyskanych danych można wywnioskować, iż w trakcie prowadzenia kampanii tło regionalne dla okolic Krakowa było na poziomie 80-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast na Górnym Śląsku na poziomie 150-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lokalne wartości ekstremalne (hot-spots) zaobserwować można w takich miejscach jak Rybnik oraz okolice Zabrze, z wartościami dochodzącymi odpowiednio do 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W okolicach Katowic wartości stężeń pyłu zawieszonego PM10 dochodziły do 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w granicach Krakowa do 150-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

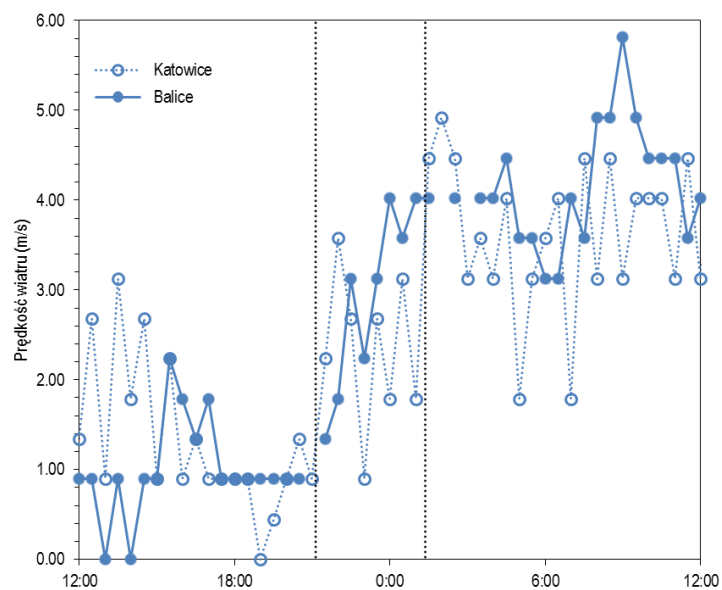
Mimo iż omawiana kampania pomiarowa została przeprowadzona tydzień przed kampanią testową opisaną w rozdz. 2, jej wyniki można uznać za wiarygodne ponieważ analiza relacji pomiędzy prędkością pojazdu a mierzonymi stężeniami pyłu zawieszonego nie wykazała statystycznie istotnej korelacji. Wszystkie pozostałe kampanie były prowadzone wykorzystaniem wniosków wypływających z kampanii testowej.

3.2. Kampania pomiarowa 4-5.03.2016

Druga kampania pomiarowa na obszarze Górnośląskiego Śląska przeprowadzona została w nocy z 4 na 5 marca 2016, w godzinach 21:04 – 01:22 CET. Warunki atmosferyczne panujące na stacjach meteorologicznych Kraków-Balice oraz Katowice przedstawione zostały na rys. 3.2.1 oraz 3.2.2. Wskazują one na podobną do występującej w poprzedniej kampanii pomiarowej stabilność dolnej troposfery, przy obniżającej się temperaturze, rosnącej wilgotności względnej powietrza, oraz prędkości wiatru nie przekraczającej 4 m/s. Obserwacje warunków atmosferycznych w trakcie trwania pomiarów (miejscami znaczne ograniczenie widzialności, nawet do wielkości poniżej 50m, w wyniku występowania mgły i zapylenia) potwierdziły występowanie warunków inwersyjnych.

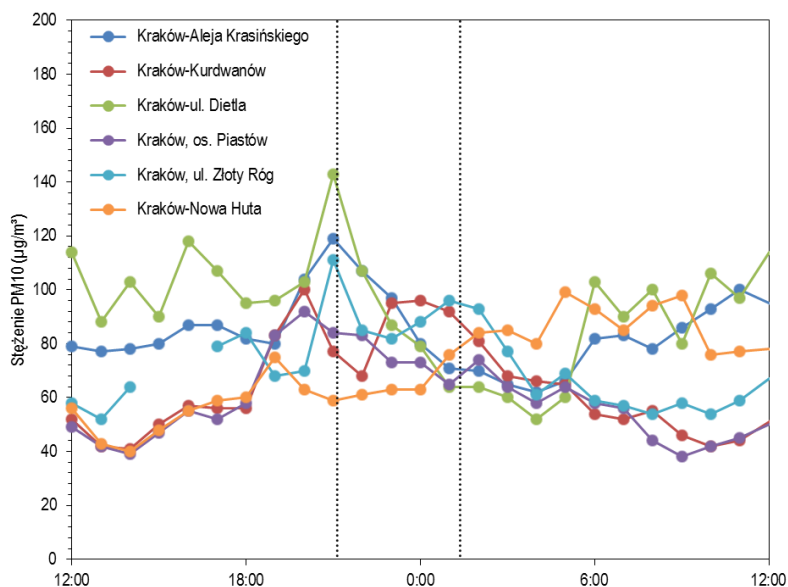


Rys. 3.2.1. Temperatura oraz wilgotność względna powietrza mierzone na stacjach IMGW Kraków-Balice oraz Katowice, w dniach 4-5.03.2016 [NCDC, 2016]. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości temperatury a kolorem niebieskim wilgotność względna powietrza. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych. Kolorem szarym oznaczono okres od zachodu do wschodu Słońca.

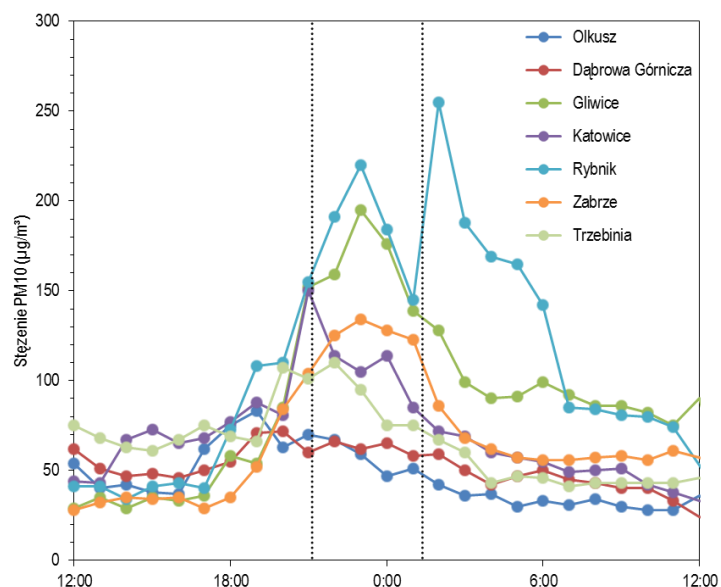


Rys. 3.3.2. Prędkość wiatru mierzona na stacjach IMGW Kraków-Balice oraz Katowice w dniach 4-5.03.2016 [NCDC, 2016]. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Na rys. 3.2.3 oraz 3.2.4 przedstawiono wartości średnich godzinnych stężeń pyłu zawieszonego PM10 na stacjach należących do WIOŚ w Katowicach oraz Krakowie w okresie prowadzenia pomiarów.



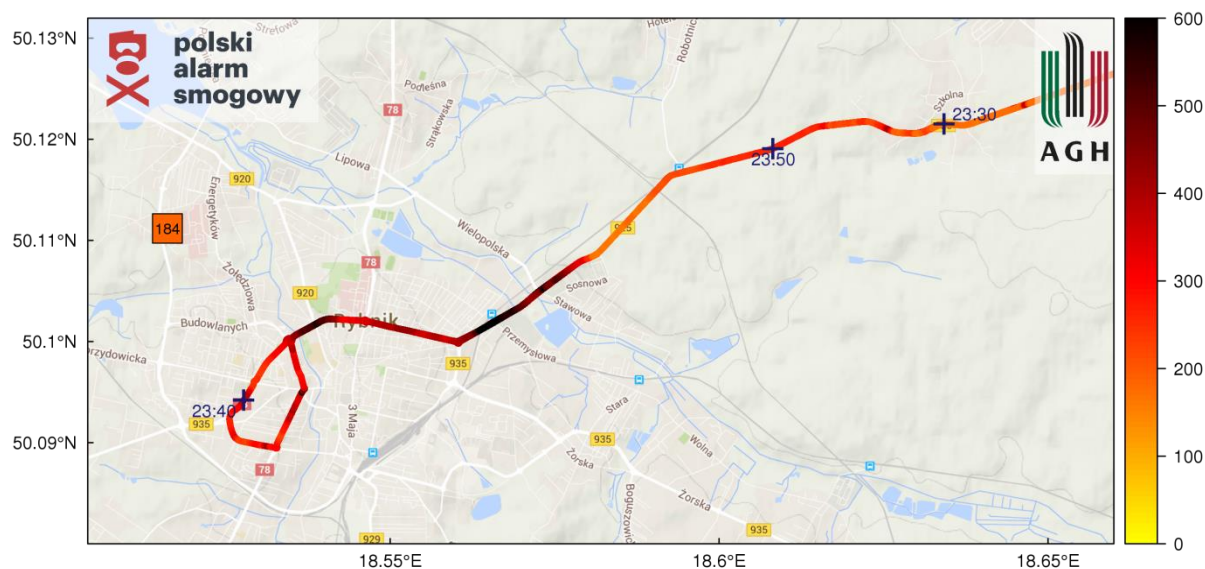
Rys. 3.2.3. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM10 mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 4-5.03.2016r. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.



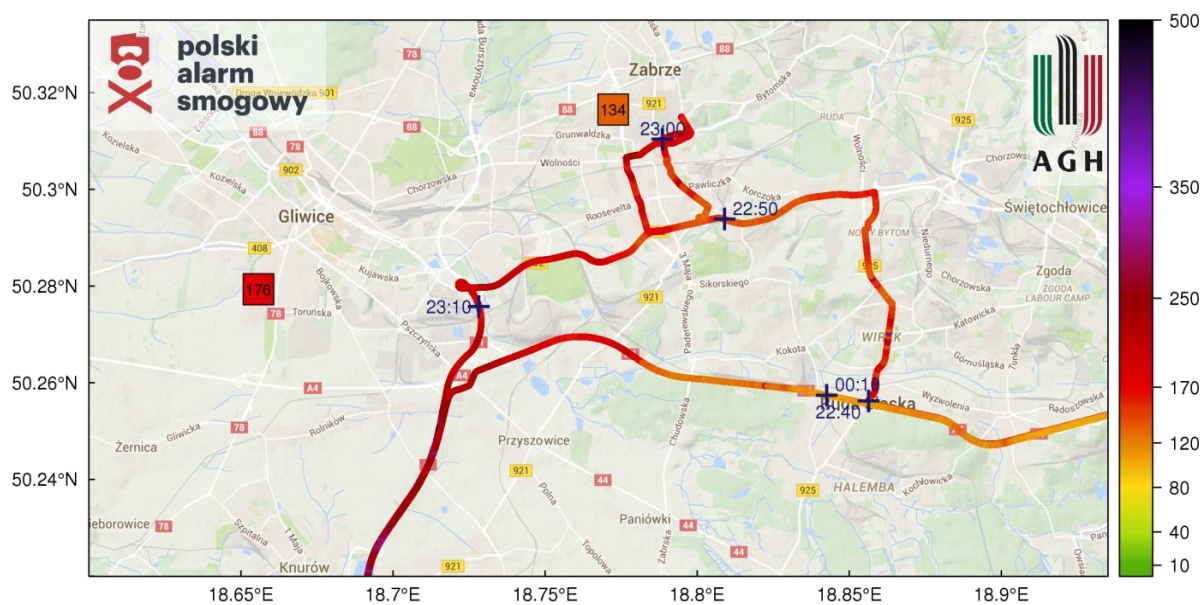
Rys. 3.2.4. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM10 mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Katowicach i w Krakowie w dniach 4-5.03.2016r. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Jak widać z rys. 3.2. w okresie prowadzenia pomiarów rozrzut stężeń pyłów zawieszonych PM10 w Krakowie miał tendencję malejącą, od początkowej wartości 60-140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 60-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w późnych godzinach nocnych. Dla stacji należących do WIOŚ w Katowicach i w Krakowie (rys. 3.2.4) zauważyć można również stabilne wartości stężeń na poziomie 50-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na stacjach Trzebinia, Dąbrowa Górnicza, Olkusz. Natomiast wartości na stacjach Zabrze, Rybnik, Gliwice, Katowice odbiegają od tła regionalnego i dochodzą do wartości, odpowiednio 134 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

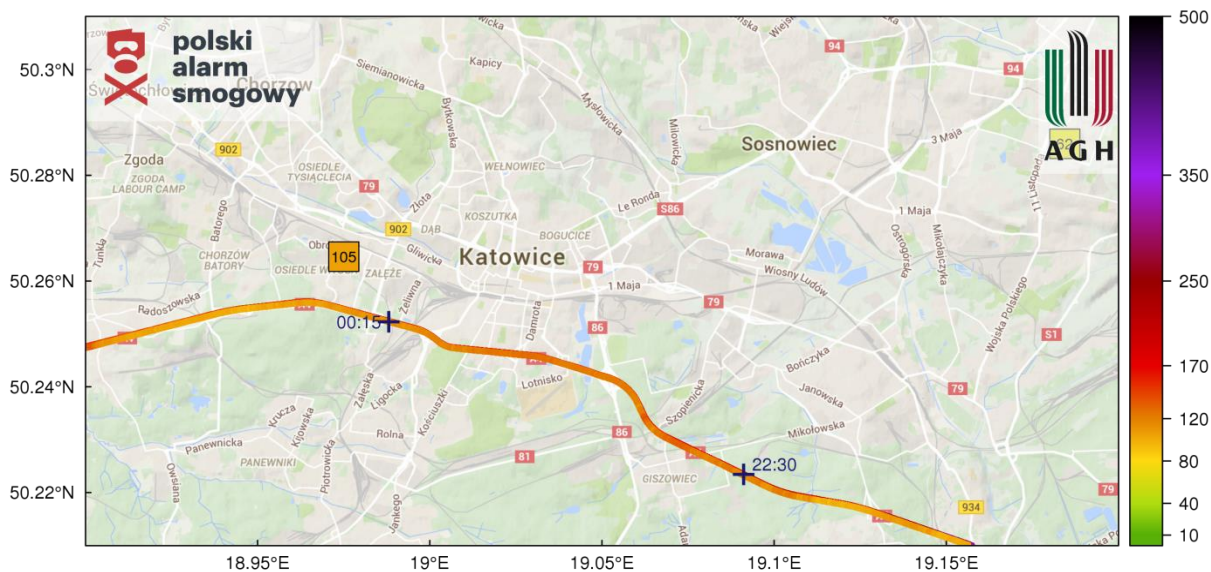
Rysunki 3.2.5 – 3.2.9 przedstawiają mapy zmierzonych wartości stężeń pyłu zawieszonego PM10. Na mapie zamieszczonej na rysunku 3.2.5 przedstawiono komplet danych zebranych w trakcie kampanii pomiarowej. Na rysunkach 3.2.6 oraz 3.2.9 przedstawiono wybrane fragmenty trasy przejazdu obejmujące odpowiednio okolice Rybnika, Zabrze i Gliwic, Katowic oraz Krakowa. Na rysunku 3.2.6 wykorzystana skala kolorów odbiega od stosowanej przez GIOŚ z uwagi na konieczność pokazania wysokich wartości mierzonych stężeń.



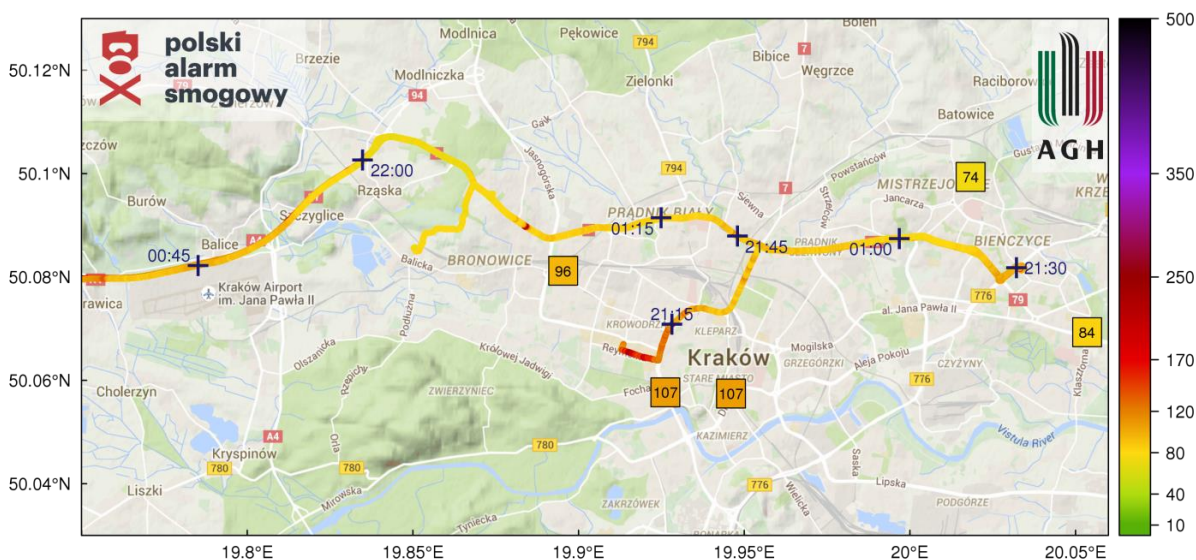
Rys 3.2.6. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Rybnika w dniach 4-5.03.2016r. Skala kolorystyczna inna niż stosowana przez GIOŚ.



Rys. 3.2.7. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Zabrze oraz Gliwic w dniach 4-5.03.2016r. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 3.2.8. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Katowic dniach 4-5.03.2016r. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 3.2.9. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Krakowa w dniach 4-5.03.2016r. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.

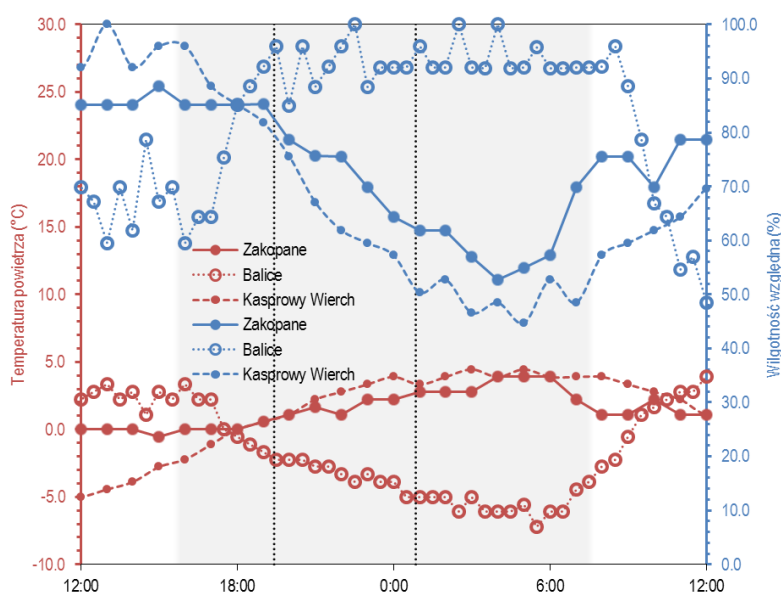
Z uzyskanych danych wywnioskować można, iż w trakcie prowadzenia kampanii tło regionalne dla okolic Krakowa było na poziomie $60-100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast na Górnym Śląsku na poziomie $120-200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lokalne wartości ekstremalne (hot-spots) zaobserwować można w takich miejscach jak Rybnik oraz okolice Zabrze z wartościami dochodzącymi odpowiednio do $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$. W okolicach Katowic zaobserwować możemy wartości dochodzące do $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w granicach Krakowa obserwujemy stężenia na poziomie $100-150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Z pomiarów przeprowadzonych na obszarze Górnego Śląska oraz w okolicach Krakowa wywnioskować można, że w tym pierwszym obszarze mamy do czynienia z podniesionymi wartościami tła lokalnego. Ekstremalne wartości stężeń pyłu zawieszonego PM10 zaobserwowano w miejscowościach takich jak Zabrze, Rybnik czy Gliwice również położonych na obszarze Górnego Śląska.

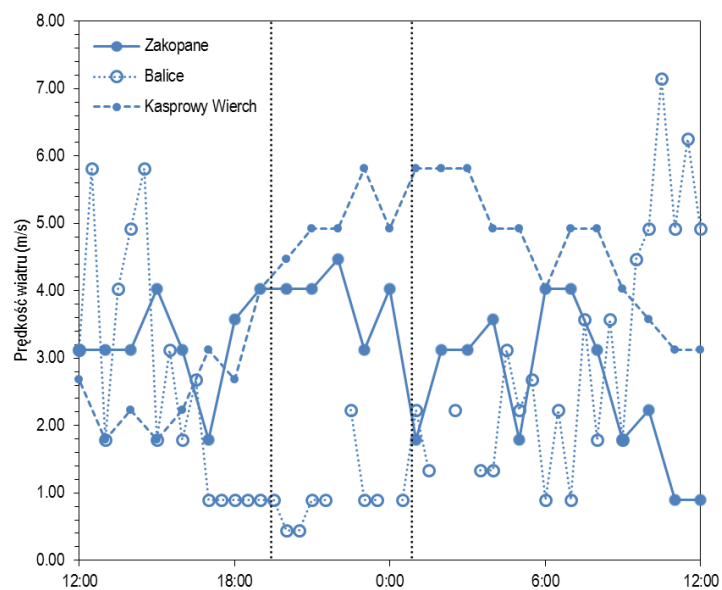
4. Kampanie mobilne Kraków – Podhale

4.1. Kampania pomiarowa 10-11.12.2015

Kolejne dwa przejazdy zostały wykonane na obszarze od Krakowa po rejon Podhala. Ich celem było dokonanie oceny zmienności stężenia zanieczyszczeń PM₁₀ na terenie mniejszych miejscowości, w których nadal dominującym paliwem grzewczym są węgiel i drewno. Pierwsza kampania wykonywana została w nocy z 10 na 11 grudnia 2015 roku w godzinach 19:25 – 00:51 CET. Warunki atmosferyczne panujące na stacjach meteorologicznych Kraków-Balice, Zakopanem oraz Kasprowy Wierch przedstawiają wykresy 4.1.1 oraz 4.1.2.



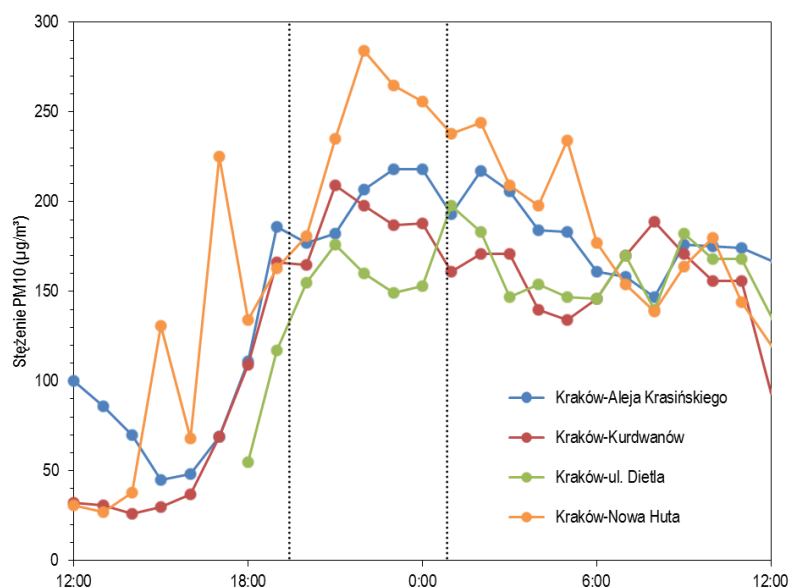
Rys. 4.1.1. Temperatura oraz wilgotność względna powietrza mierzone na stacjach IMGW Kraków-Balice, Zakopanem oraz Kasprowy Wierch w dniach 10-11.12.2015 [NCDC, 2016]. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości temperatury a kolorem niebieskim wilgotność względną powietrza. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych. Kolorem szarym oznaczono okres od zachodu do wschodu słońca.



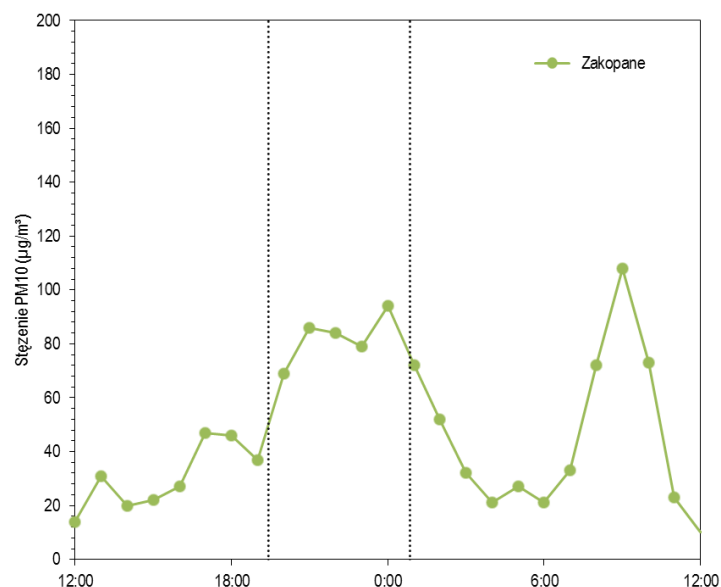
Rys. 4.1.2. Prędkość wiatru mierzona na stacjach IMGW Kraków-Balice, Zakopane oraz Kasprowy Wierch w dniach 10-11.12.2015 [NCDC, 2016] Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec prowadzenia pomiarów mobilnych.

Wykresy przedstawione na rys. 4.1.1 oraz 4.1.2 pokazują, że pomiary stężeń pyłu zawieszonego prowadzone były w stabilnych warunkach meteorologicznych, przy rozwijającej się inwersji temperatur (rosnąca temperatura na stacjach położonych na większej wysokości oraz malejąca lub rosnąca wolniej na stacjach położonych niżej) oraz prędkości wiatru nie przekraczającej 4 m/s (z wyłączeniem Kasprowego Wierchu).

Na rysunkach 4.1.3 oraz 4.1.4 przedstawiono wartości średnich godzinnych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych.



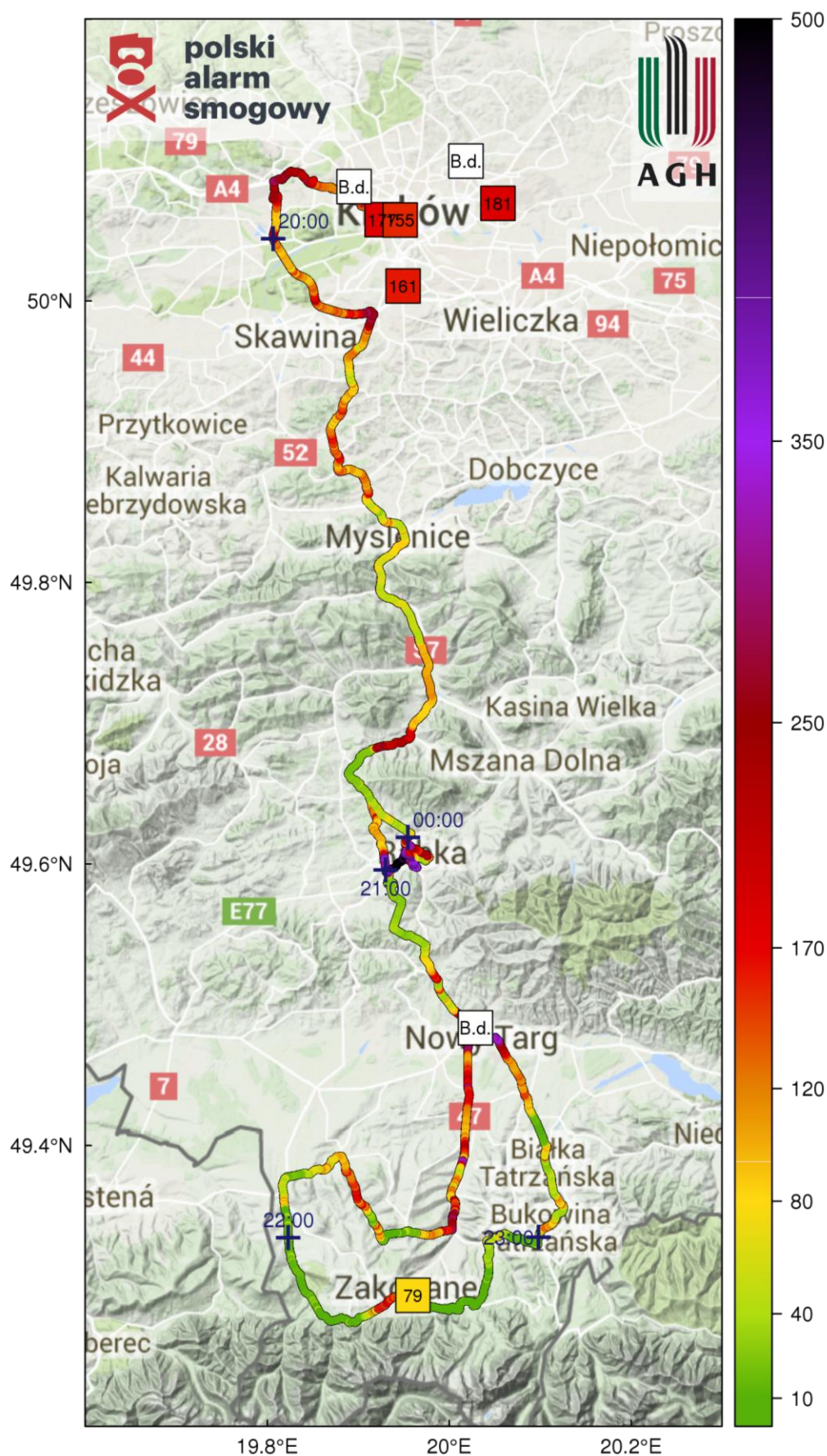
Rys. 4.1.3. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM₁₀ mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 10-11.12.2015. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.



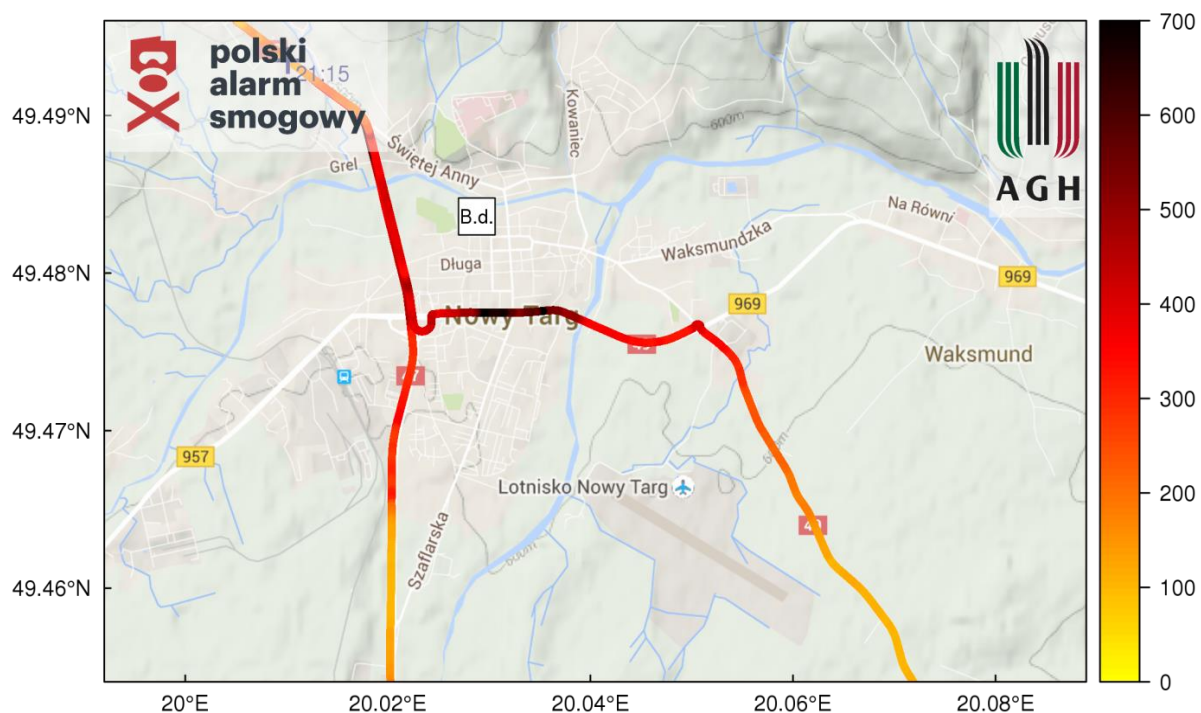
Rys. 4.1.4. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM10 mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 10-11.12.2015. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Na rysunku 4.1.3 można zauważyć, iż w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych stężenia pyłów zawieszonych PM10 w Krakowie, za wyjątkiem stacji w Nowej Hucie, były stabilne na poziomie 150-220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W tym samym czasie pomiary prowadzone na stacji w Nowej Hucie osiągnęły wartość stężenia PM10 około 280 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dla stacji w Zakopanem (Wykres 4.1.4) zauważyć można również stabilne wartości stężeń na poziomie 60-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

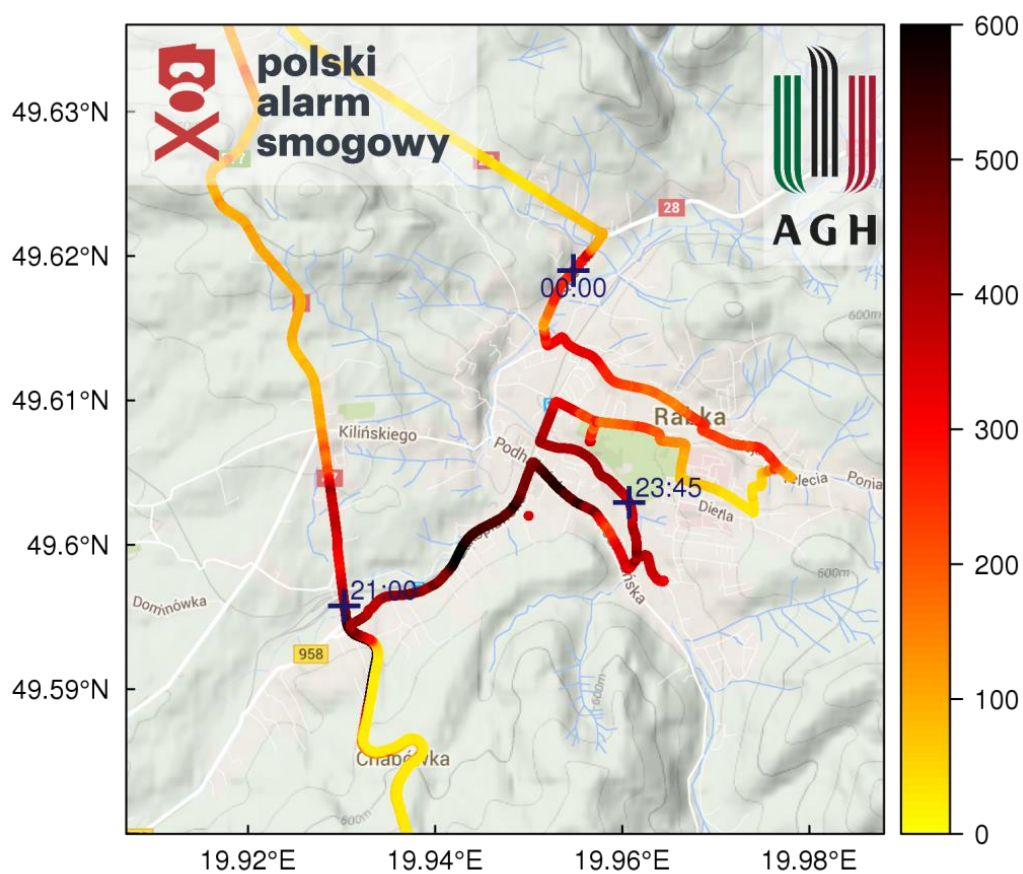
Rysunki 4.1.5 – 4.1.9 przedstawiają mapy zmierzonych wartości stężeń pyłu zawieszonego PM10 w trakcie kampanii. Na mapie zamieszczonej na rysunku 4.1.5 przedstawiono dane pochodzące z całej kampanii pomiarowej. Na rysunkach 4.1.6 oraz 4.1.9 przedstawiono wybrane fragmenty trasy przejazdu, obejmujące odpowiednio okolice Nowego Targu, Rabki, Krakowa oraz Zakopanego. Na rysunkach 4.1.6 oraz 4.1.7 wykorzystana skala kolorów odbiega od stosowanej przez GIOŚ z uwagi na konieczność pokazania wysokich wartości mierzonych stężeń.



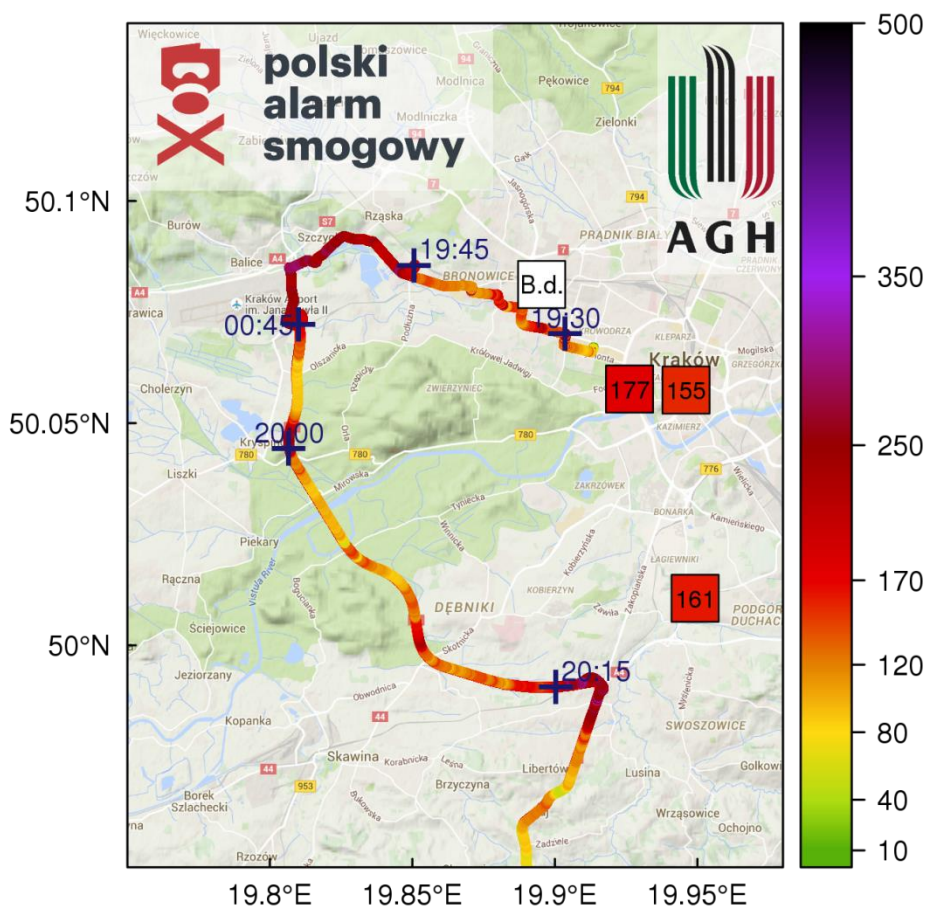
Rys. 4.1.5. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ obserwowane w trakcie kampanii pomiarowej prowadzonej w dniach 10-11.12.2015. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



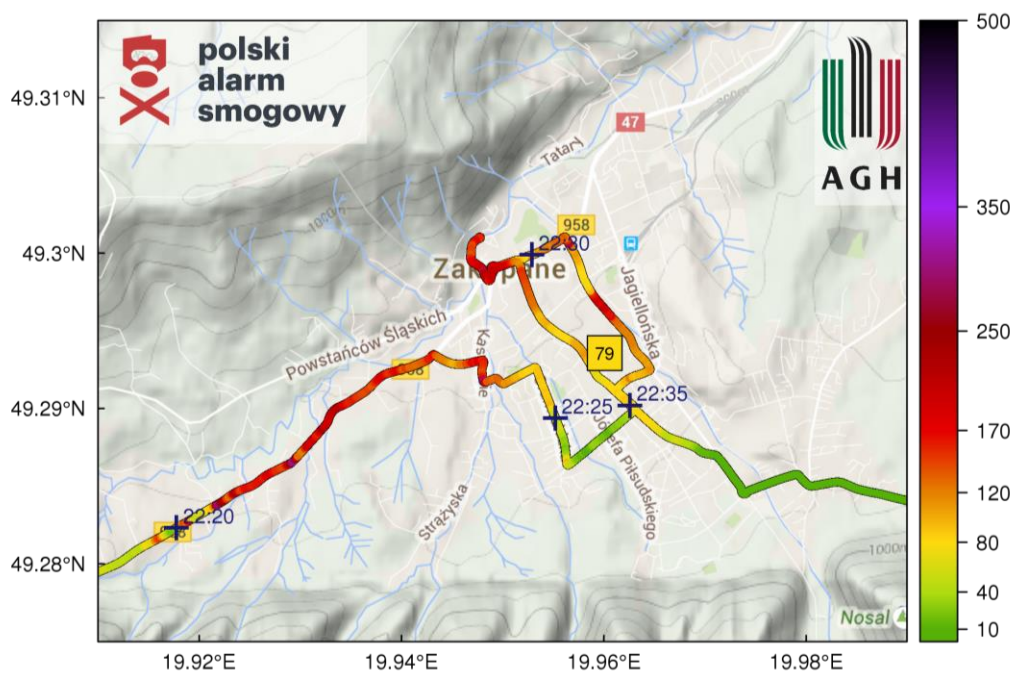
Rys 4.1.6. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Nowego Targu w dniach 10-11.12.2015. Skala kolorystyczna inna niż stosowana przez GIOŚ.



Rys 4.1.7. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Rabki w dniach 10-11.12.2015. Skala kolorystyczna inna niż stosowana przez GIOŚ.



Rys 4.1.8. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Krakowa w dniach 10-11.12.2015. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.

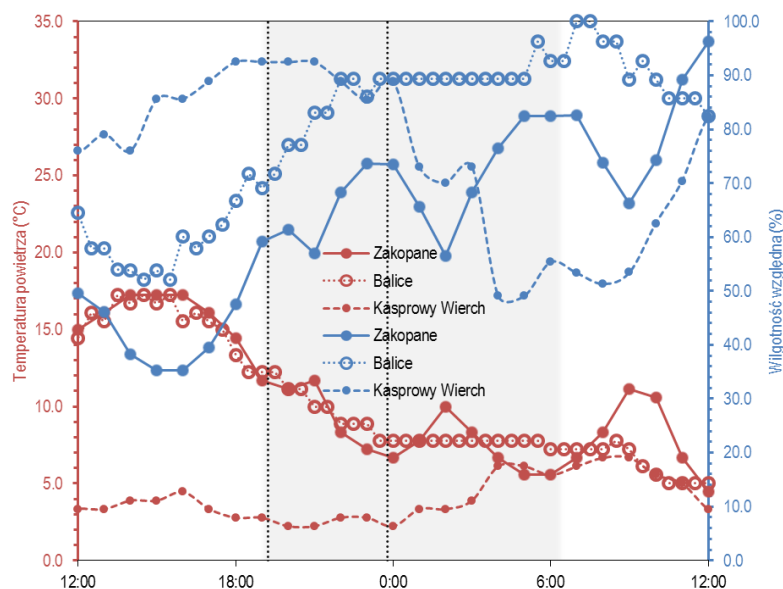


Rys 4.1.9. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Zakopanego w dniach 10-11.12.2015. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.

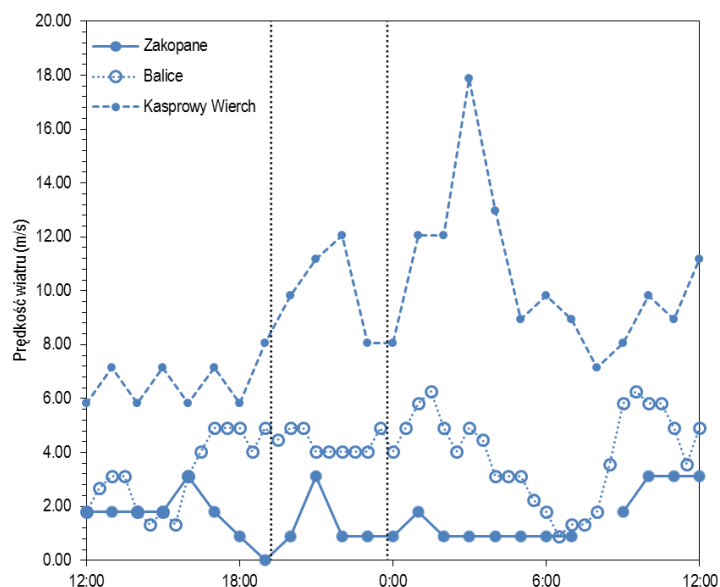
Z uzyskanych danych można wnioskować że w trakcie prowadzenia kampanii tło regionalne dla okolic Krakowa było na poziomie 80-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast na Podhalu na poziomie 0-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lokalne wartości ekstremalne (hot-spoty) zaobserwowano w takich miejscach jak Rabka oraz Nowy Targ, z wartościami dochodzącymi odpowiednio do 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W Zakopanem obserwowane były wartości stężeń dochodzące do 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w obrębie Krakowa były one nieco wyższe na poziomie 100-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Wyraźnie widać w okolicach Krakowa miejsca o podwyższonych stężeniach pyłów zawieszonych PM10, takie jak Balice czy osiedle Kliny na południu miasta. W Zakopanem, stężenia pyłów bardzo silnie różnicują się z wysokością ponad dnem doliny, od wartości przekraczających 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w okolicach stacji kolejki na Gubałówkę do 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na rondzie w Kuźnicach. Podobną sytuację zaobserwowano w Rabce: w najniższych położonych punktach miejscowości stężenia PM10 dochodziły do wartości około 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i malały wraz z rosnącą wysokością do wartości około 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Obrazuje to jak istotny wpływ na poziom zanieczyszczeń w miejscowościach położonych w ciasnych kotlinach górskich ma topografia terenu.

4.2. Kampania pomiarowa 31.03-01.04.2016

Kolejna kampania pomiarowa prowadzona była nocą z 31 marca na 1 kwietnia 2016 roku w godzinach 19:14 – 23:47 CET. Warunki atmosferyczne panujące na stacjach meteorologicznych Kraków-Balice, Zakopane oraz na Kasprowy Wierch przedstawiają rys. 4.2.1 oraz 4.2.2.



Rys. 4.2.1. Temperatura oraz wilgotność względna powietrza mierzone na stacjach IMGW Kraków-Balice, Zakopane oraz Kasprowy Wierch w dniach 31.03-01.04.2016 [NCDC, 2016]. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości temperatury a kolorem niebieskim wilgotność względną powietrza. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych. Kolorem szarym oznaczono okres od zachodu do wschodu Słońca.

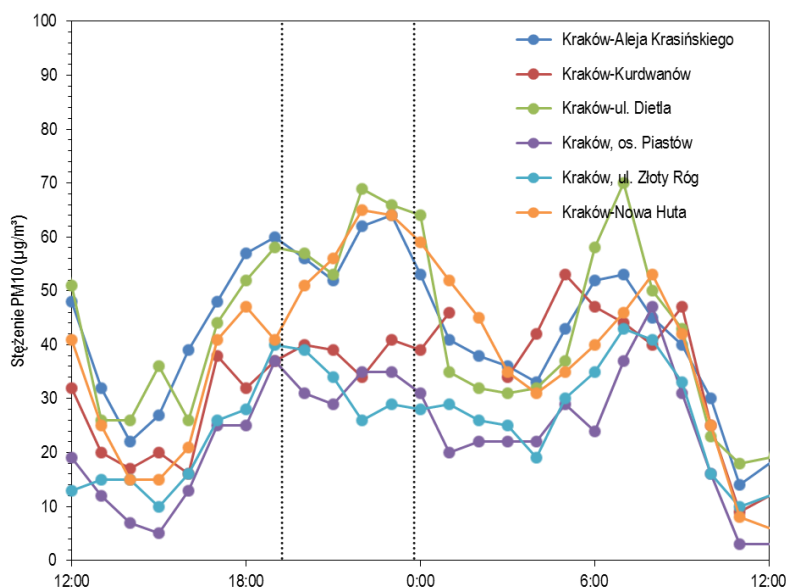


Rys. 4.2.2. Prędkość wiatru mierzona na stacjach IMGW Kraków-Balice, Zakopane oraz Kasprowy Wierch w dniach 31.03-01.04.2016 [NCDC, 2016]. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

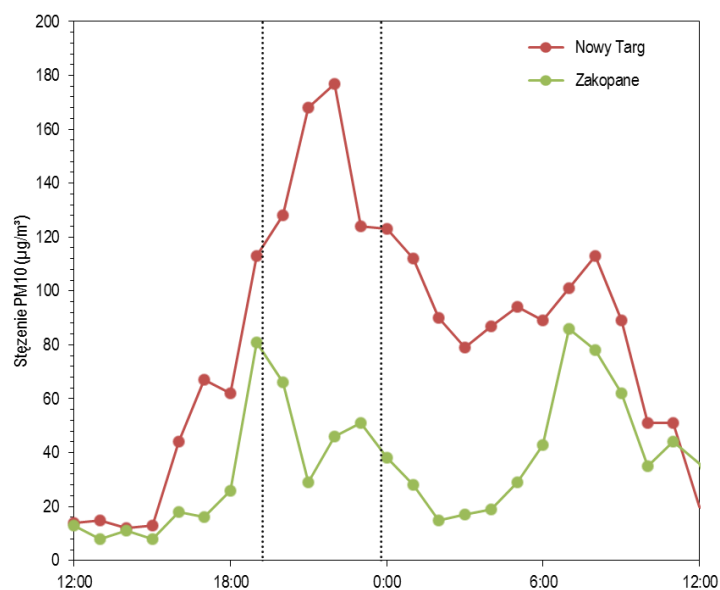
Jak wynika z rys. 4.2.1 oraz 4.2.2 pomiary stężeń pyłu zawieszonego prowadzone były w stabilnych warunkach meteorologicznych, przy rozwijającej się inwersji temperatury (stabilna

temperatura na stacjach położonych na większej wysokości oraz malejąca na stacjach położonych niżej) oraz prędkości wiatru nie przekraczającej 5 m/s (z wyłączeniem Kasprowego Wierchu). W tym przypadku warunki pogodowe były nieco odmienne w stosunku do poprzedniej kampanii opisanej w rozdziale 4.1 (wyższa temperatura powietrza oraz silniejszy wiatr obserwowany w górnych warstwach atmosfery), co znalazło również swoje odzwierciedlenie w mierzonych stężeniach pyłu zawieszonego PM₁₀, z uwagi na mniejsze emisje powierzchniowe i możliwe silniejsze rozcieńczanie emitowanych zanieczyszczeń.

Na rysunkach 4.2.3 oraz 4.2.4 przedstawiono wartości średnich godzinnych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych.

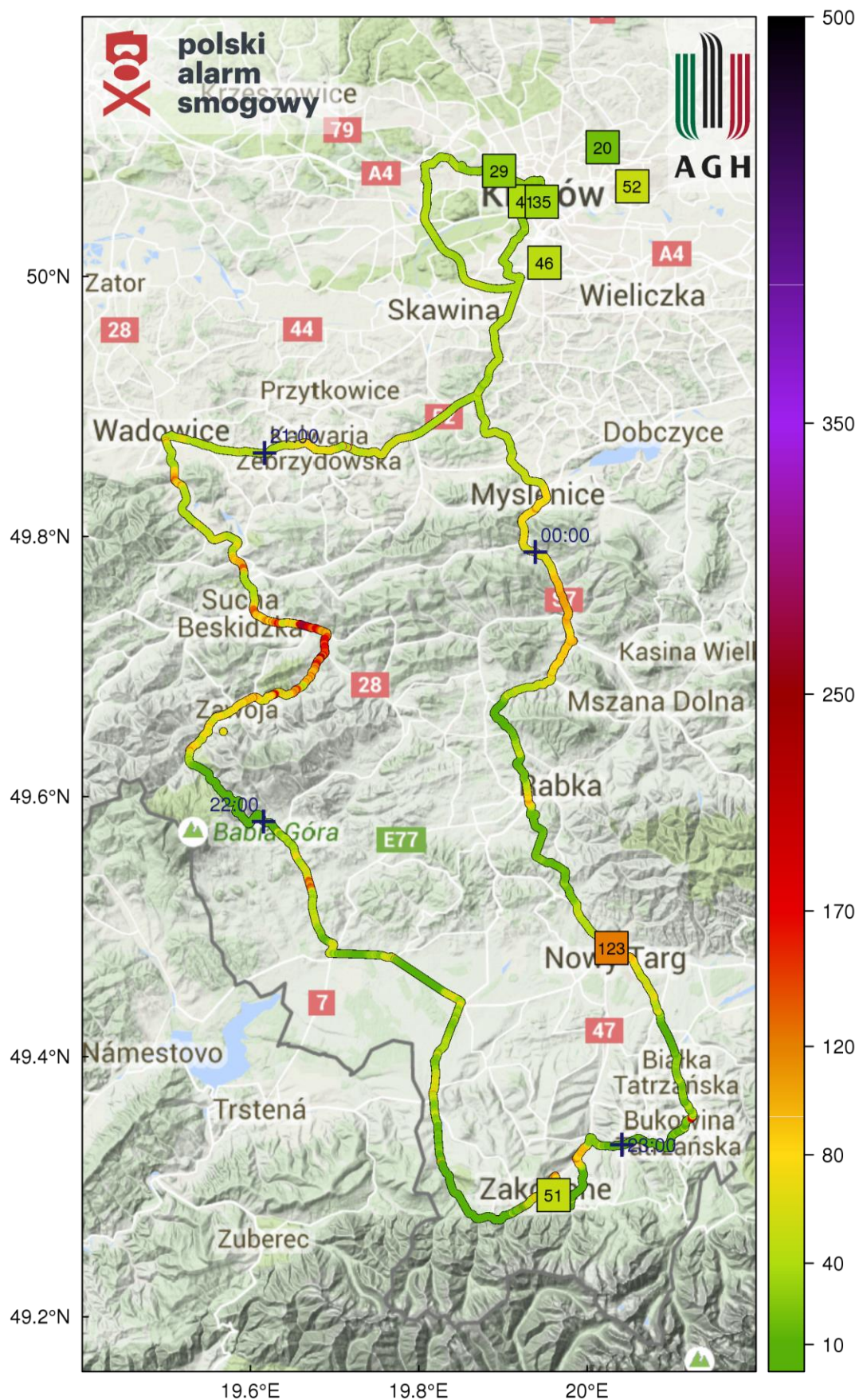


Rys. 4.2.3. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM₁₀ mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 31.03-01.04.2016. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

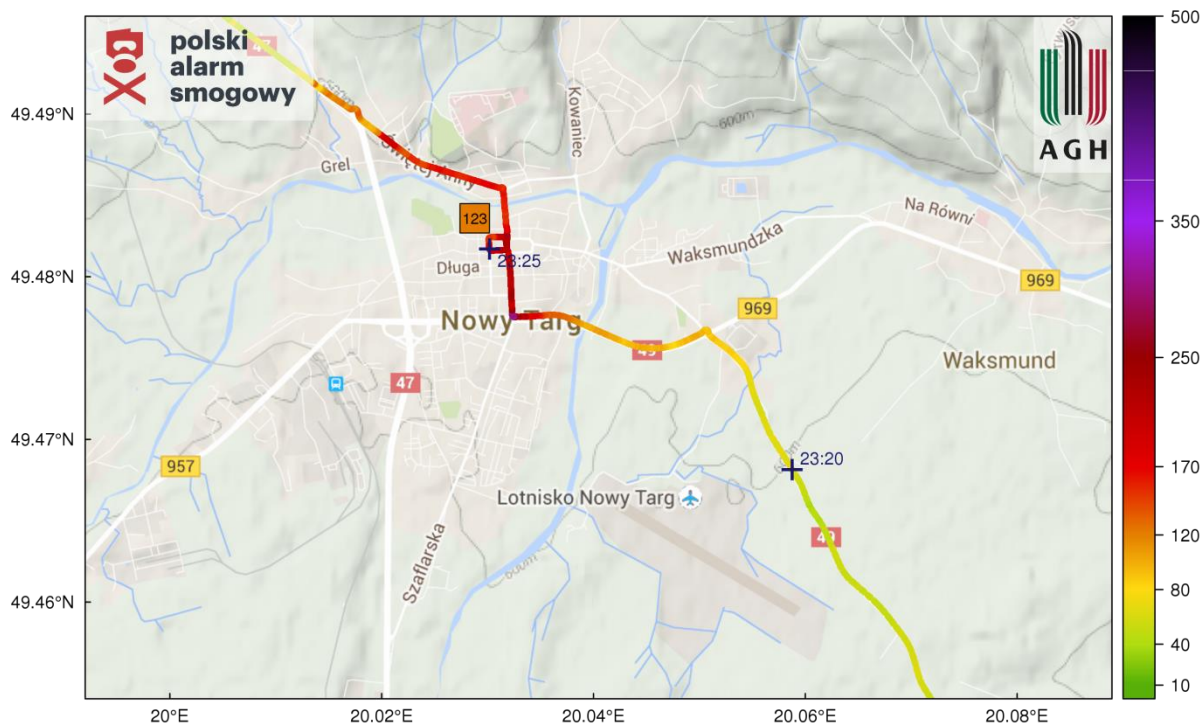


Rys. 4.2.4. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM₁₀ mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 31.03-01.04.2016. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

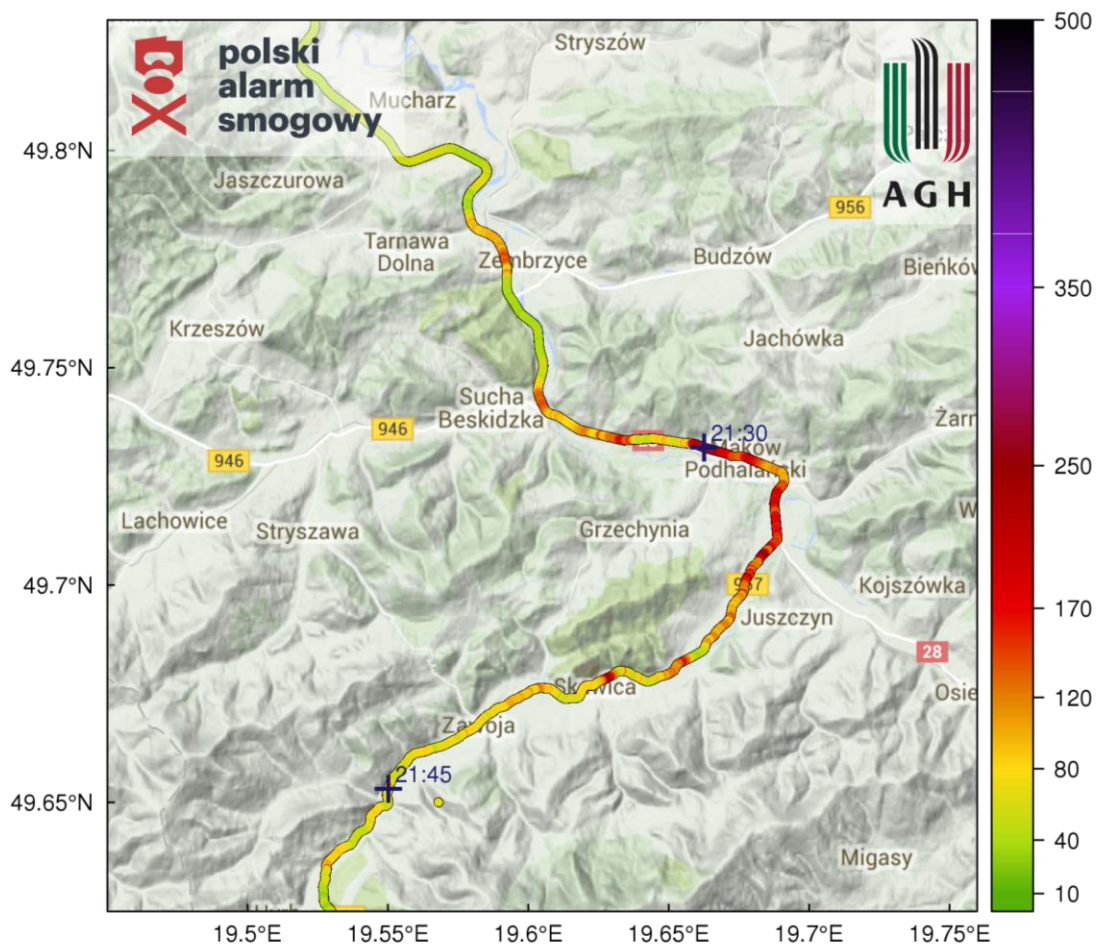
Na rysunku 4.2.3 widać iż w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych stężenia pyłów zawieszonych PM10 w Krakowie były stabilne, z wyjątkiem stacji w Nowej Hucie, i ukształtowały się na dwóch poziomach w zależności od regionu 25-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kurdwanów, Bronowice, os. Piastów - obrzeża) oraz 50-70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (al. Krasińskiego, u. Dietla - centrum). Dla stacji w Zakopanem (wykres 4.2.4) zauważyć można również stabilne (malejące) wartości stężeń na poziomie 30-70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ekstremalne wartości stężeń (120-180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) zaobserwowano na stacji w Nowym Targu. Rysunki 4.2.5 – 4.2.9 przedstawiają mapy zmierzonych wartości stężeń pyłu zawieszonego PM10 w trakcie trwania pomiarów mobilnych. Na mapie zamieszczonej na rysunku 4.2.5 przedstawiono dane pochodzące z całej kampanii pomiarowej. Na wykresach 4.2.6 raz 4.2.9 przedstawiono wybrane fragmenty trasy przejazdu, obejmującej odpowiednio okolice Nowego Targu, Makowa Podhalańskiego, Krakowa oraz Zakopanego.



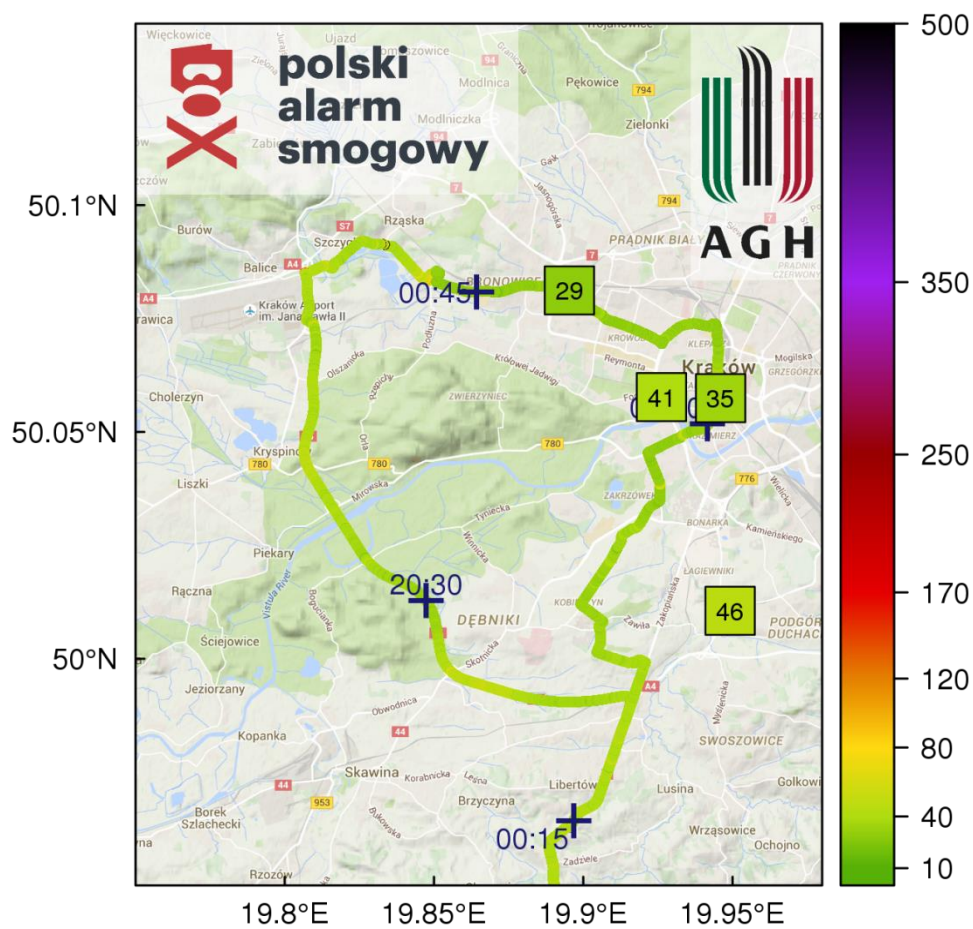
Rys. 4.2.5. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 obserwowane w trakcie kampanii pomiarowej prowadzonej w dniach 31.03-01.04.2016r. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



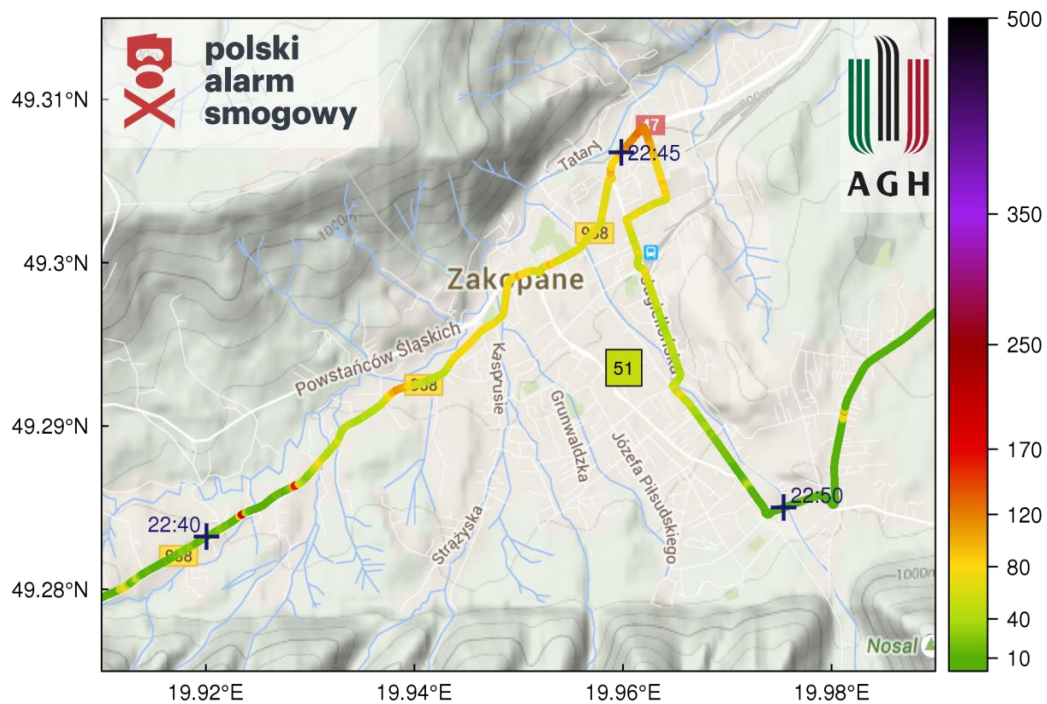
Rys. 4.2.6. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Nowego Targu w dniach 31.03-01.04.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 4.2.7. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Makowa Podhalańskiego w dniach 31.03-01.04.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 4.2.8. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Krakowa w dniach 31.03-01.04.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



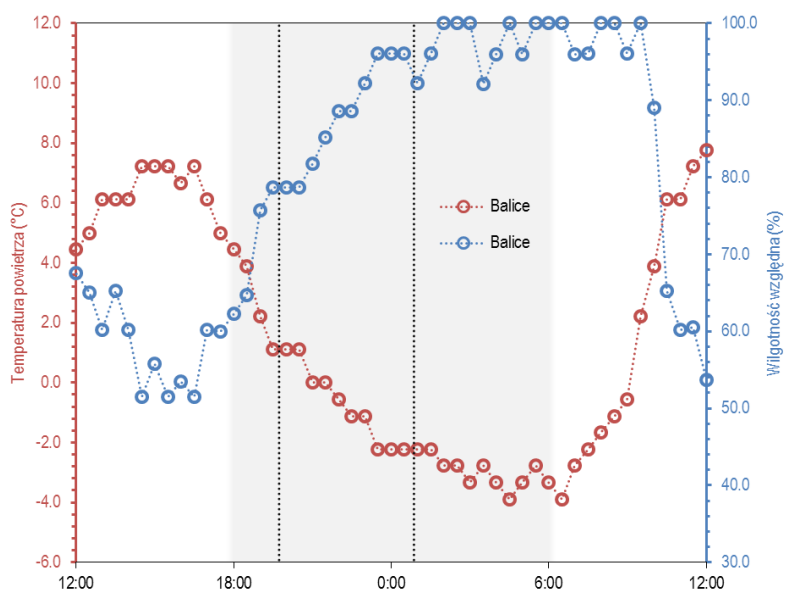
Rys. 4.2.9. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Zakopanego w dniach 31.03-01.04.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.

Dane otrzymane w ramach tej kampanii pomiarowej pokazują, iż tło regionalne dla okolic Krakowa było na poziomie 30-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast na Podhalu na poziomie 0-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lokalne wartości ekstremalne (hot-spoty) widoczne były w takich miejscach jak Nowy Targ oraz Maków Podhalański, z wartościami dochodzącymi do 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W Zakopanem zmierzono wartości dochodzące do 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ z wyraźną stratyfikacją pionową stężeń, natomiast w obrębie Krakowa obserwujemy stężenia na poziomie 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, homogenicznie rozłożone na całym obszarze miasta, bez wyraźnych maksimów w obszarach, w których obserwowane były podwyższone stężenia w trakcie innych kampanii pomiarowych.

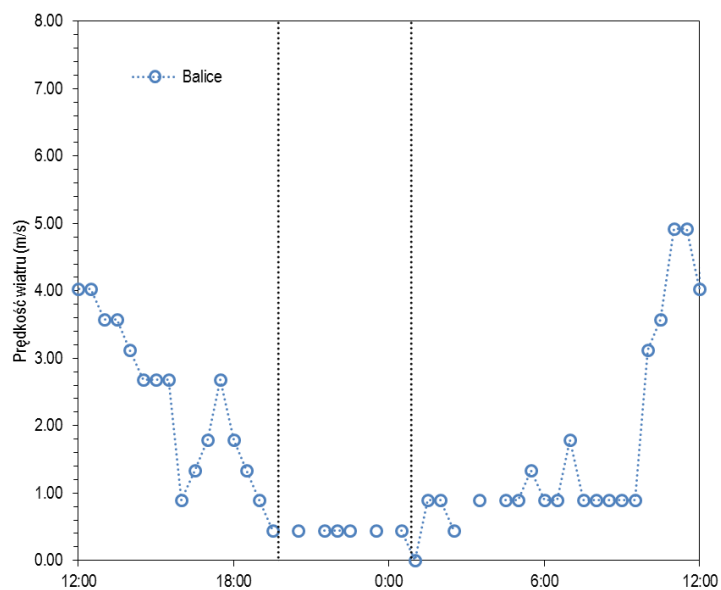
5. Kampanie mobilne Kraków (powiat)

5.1. Kampania pomiarowa 16-17.03.2016

Pomiary wykonywane były w godzinach 19:44 – 00:52 CET. Temperaturę i wilgotność powietrza mierzoną w tym okresie na stacji meteorologicznej w Kraków-Balice przedstawiają wykresy 5.1.1 oraz 5.1.2.



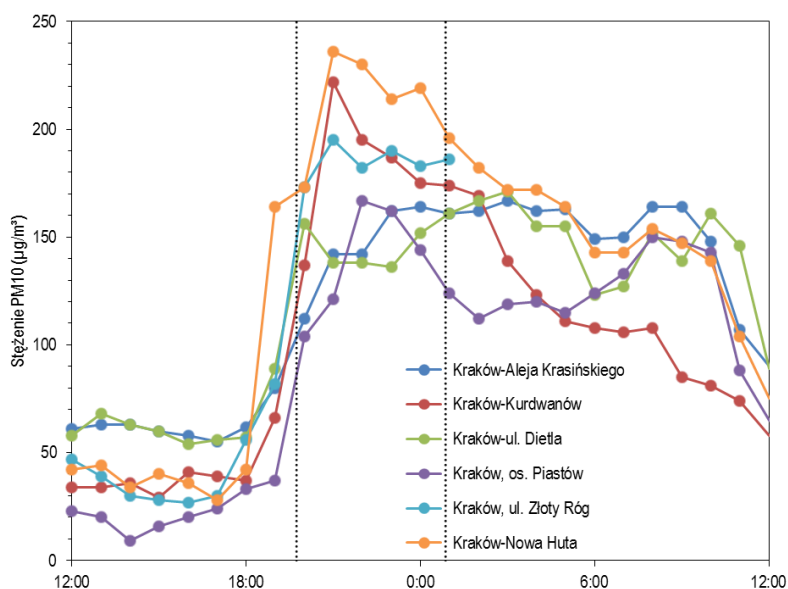
Rys. 5.1.1. Temperatura oraz wilgotność względna powietrza mierzone na stacji IMGW Kraków-Balice w dniach 16-17.03.2016 [NCDC, 2016]. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości temperatury a kolorem niebieskim wilgotność względną powietrza. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych. Kolorem szarym oznaczono okres od zachodu do wschodu Słońca.



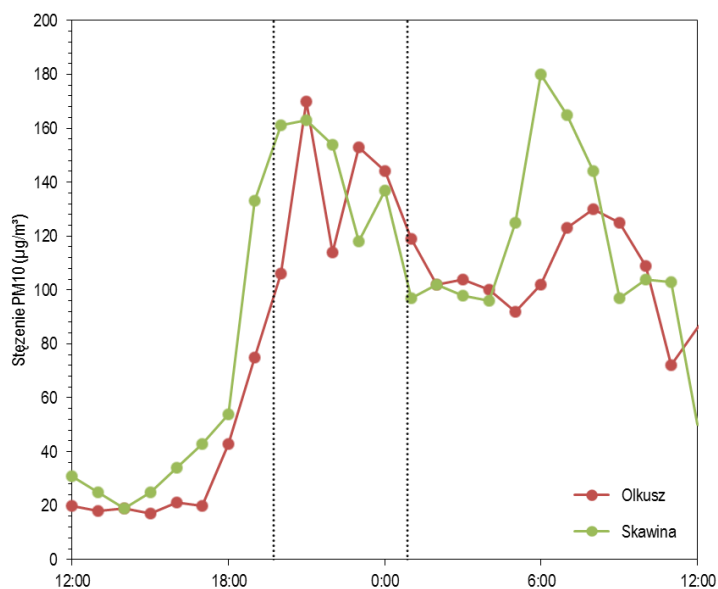
Rys. 5.1.2. Prędkość wiatru na stacji IMGW Kraków-Balice mierzona w dniach 16-17.03.2016 [NCDC, 2016]. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Przebiegi zmian parametrów meteorologicznych pokazane na wykresach 5.1.1 oraz 5.1.2 wskazują, że pomiary stężeń pyłu zawieszonego prowadzone były w stabilnych warunkach meteorologicznych, przy malejącej wartości temperatury, dochodzącej do -4°C , oraz minimalnej prędkości wiatru.

Na wykresach 5.1.3 oraz 5.1.4 przedstawiono wartości średnich godzinnych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych.



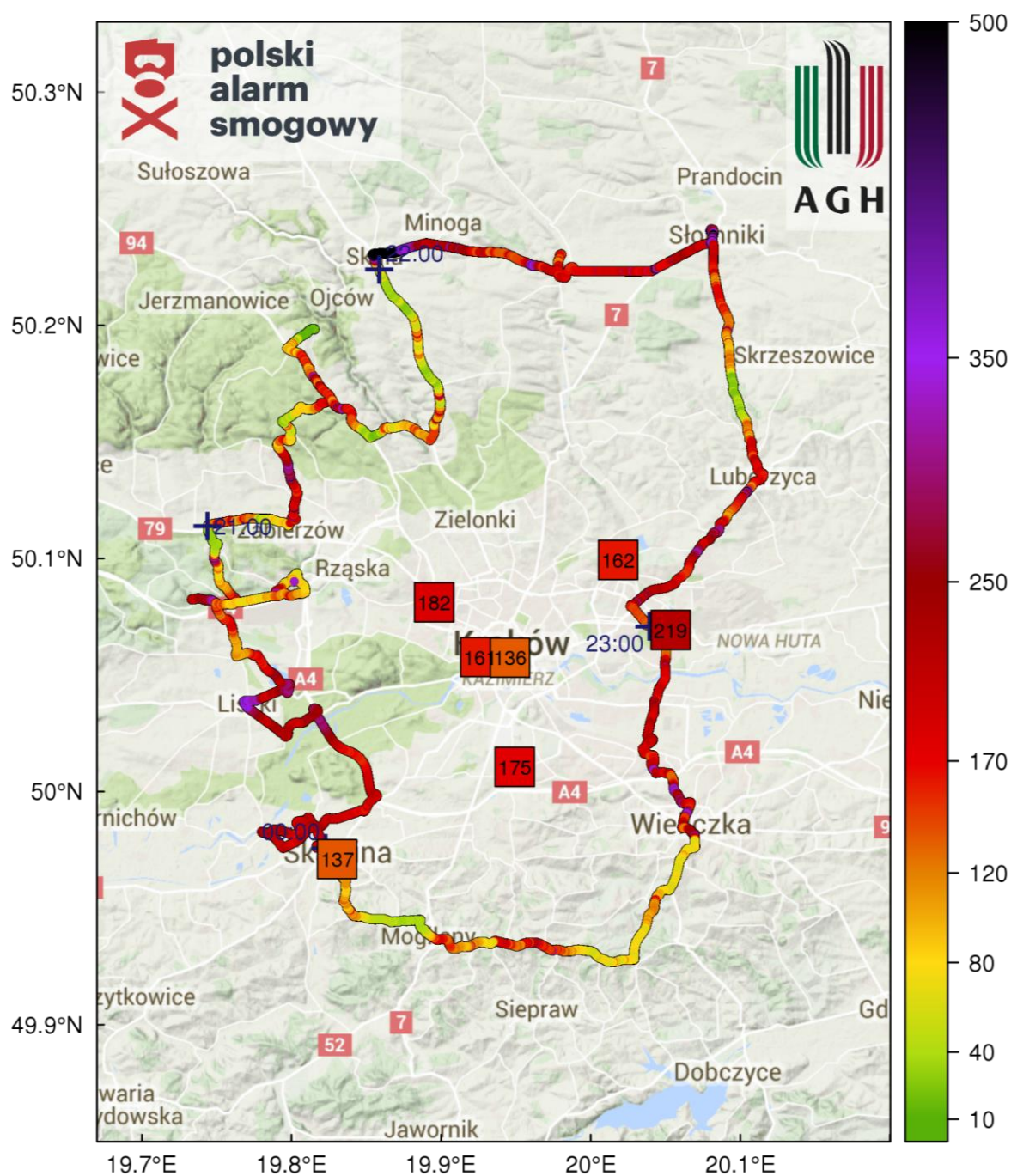
Rys. 5.1.3. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM₁₀ mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 16-17.03.2016. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.



Rys. 5.1.4. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM₁₀ mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 16-17.03.2016. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Wykres pokazany na rys. 5.1.3 pokazuje, iż w trakcie prowadzenia pomiarów mobilnych stężenia pyłów zawieszonych PM₁₀ w Krakowie oraz w Olkuszu i w Skawinie były na względnie stałym poziomie zmieniały się w zakresie $140\text{--}240\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$.

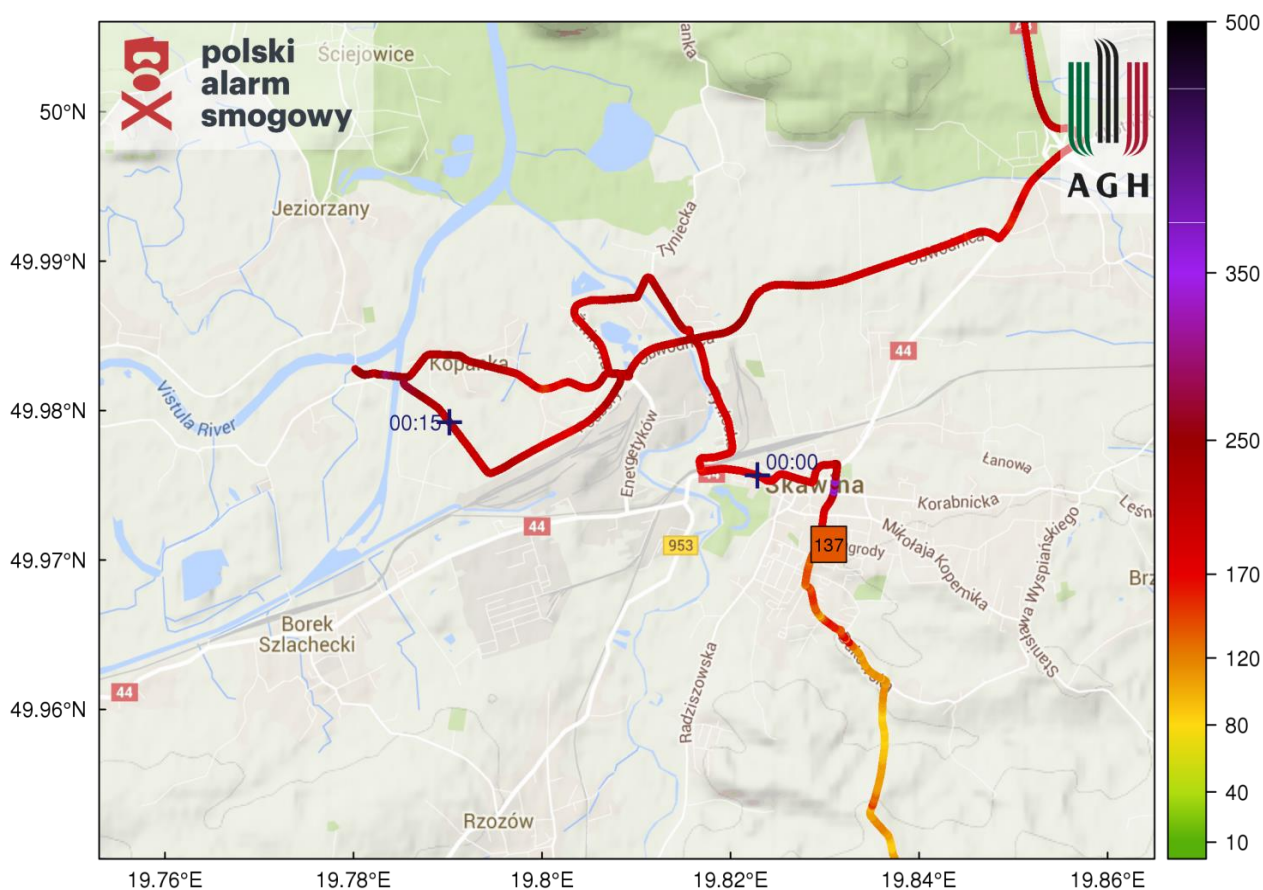
Rysunki 5.1.5 – 5.1.10 przedstawiają mapy zmierzonych wartości stężeń pyłu zawieszonego PM10 w trakcie trwania pomiarów mobilnych. Na mapie zamieszczonej na rysunku 5.1.5 przedstawiono komplet danych zebranych w trakcie kampanii pomiarowej. Na wykresach 5.1.6 - 5.1.10 przedstawiono wybrane fragmenty kampanii pomiarowej. Na rysunku 5.1.6 skala kolorów odbiega od stosowanej przez GIOŚ z uwagi na konieczność wykazania wysokich wartości mierzonych stężeń.



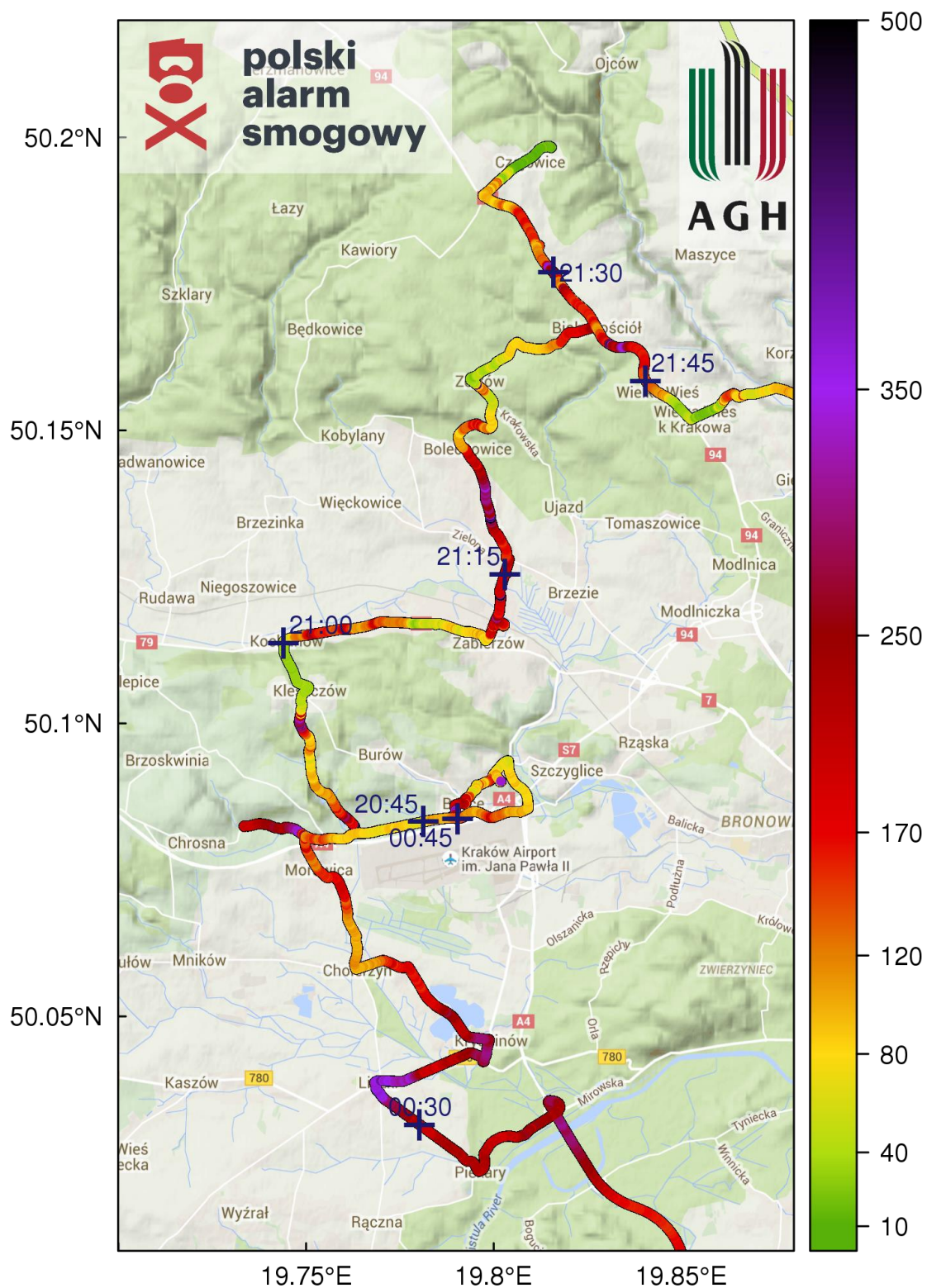
Rys. 5.1.5. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 obserwowane w trakcie kampanii pomiarowej prowadzonej w dniach 16-17.03.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



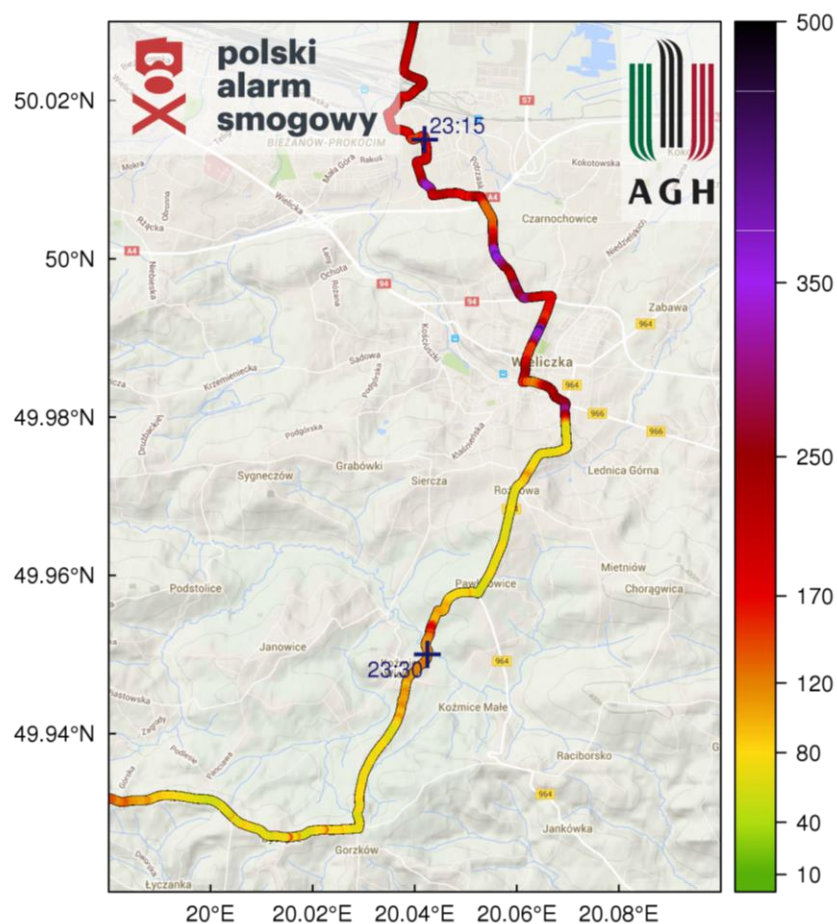
Rys. 5.1.6. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Skawy (woj. małopolskie) w dniach 16-17.03.2016. Skala kolorystyczna inna niż stosowana przez GIOŚ.



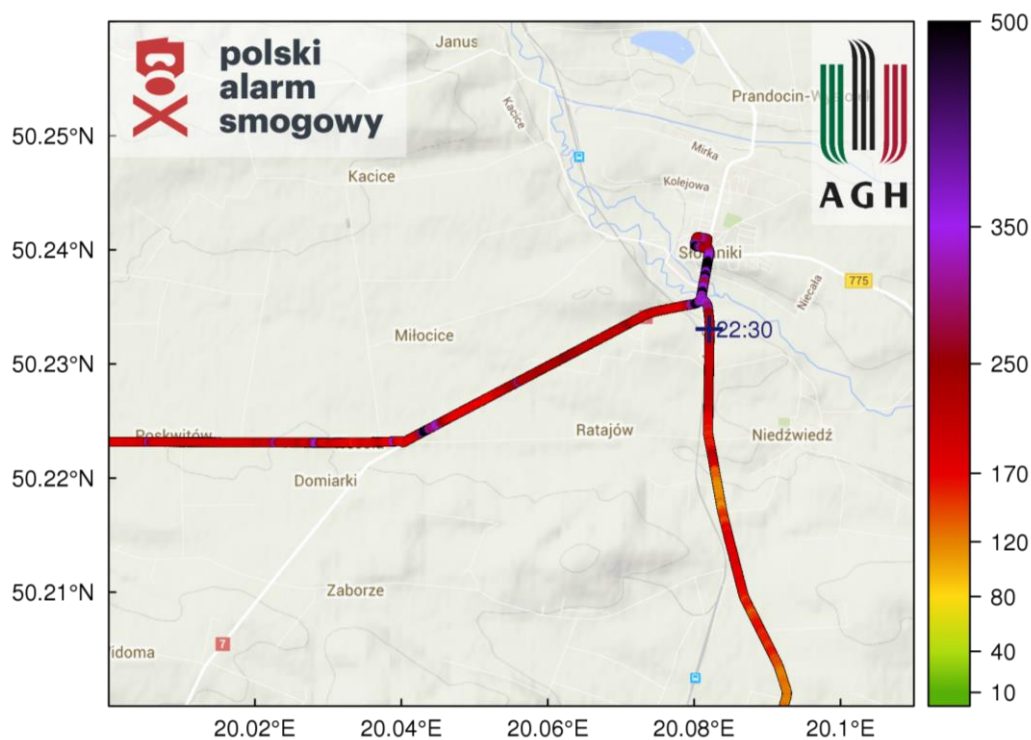
Rys. 5.1.7. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Skawiny w dniach 16-17.03.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 5.1.8. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 na odcinku od DK 94 do Piekary w dniach 16-17.03.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 5.1.9. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Wieliczki w dniach 16-17.03.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



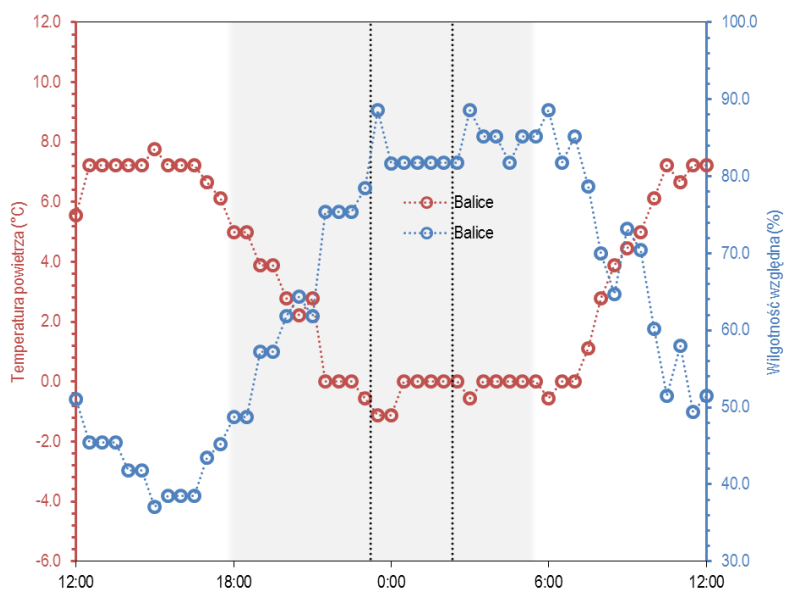
Rys. 5.1.10. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w okolicach Słomnik w dniach 16-17.03.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.

Przedstawione dane pokazują iż w trakcie kampanii pomiarowej tło regionalne dla okolic Krakowa było na poziomie 20-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (minimalne wartości stężenia PM10 zanotowane podczas kampanii). Lokalne wartości ekstremalne (hot-spoty) wystąpiły w Skale, Kryspinowie, Liszkach, Piekarach oraz Skawinie, z wartościami dochodzącymi odpowiednio do ponad 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 280 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, oraz 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Wartości odbiegające od tła występują również w regionie od Wieliczki przez Nową Hutę po Luborzycę.

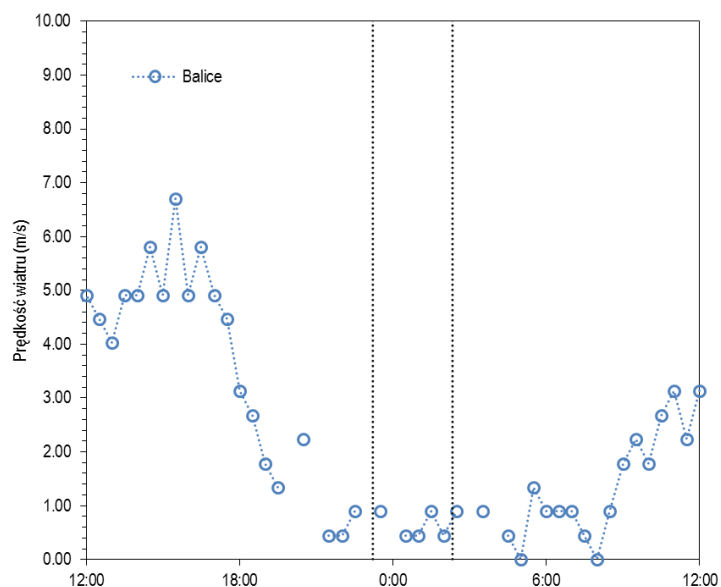
W omawianej kampanii widać znaczną zmienność mierzonych stężeń PM10 na całym obszarze prowadzonych pomiarów. Jest to zjawisko charakterystyczne podczas okresów wysokiej dynamice narostu stężeń (por. rys. 5.1.3, 5.1.4), gdzie wpływ dyspersji zanieczyszczeń pyłowych nie spowodował uśrednienia stężeń na większym obszarze. W takich warunkach obszary o podwyższonych stężeniach identyfikować można jako rejony występowania silnych lokalnych źródeł pyłów zawieszonych.

5.2. Kampania pomiarowa 24-25.03.2016

Pomiary wykonane zostały w godzinach 23:13 – 02:20 CET. Temperaturę i wilgotność względną powietrza mierzoną w tym okresie na stacji meteorologicznej Kraków-Balice przedstawiają rys. 5.2.1 oraz 5.2.2.



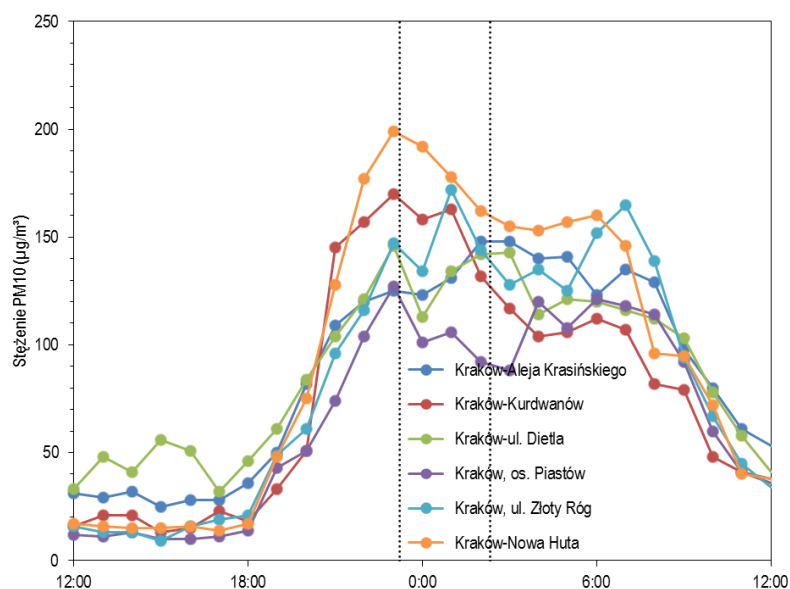
Rys. 5.2.1. Temperatura oraz wilgotność względna powietrza mierzona na stacji IMGW Kraków-Balice w dniach 24-25.03.2016 [NCDC, 2016]. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości temperatury a kolorem niebieskim wilgotność względną powietrza. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych. Kolorem szarym oznaczono okres od zachodu do wschodu Słońca.



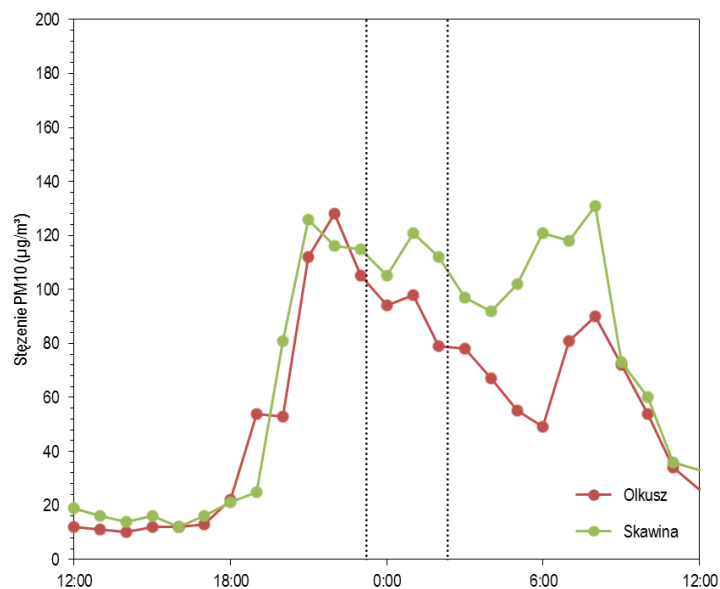
Rys. 5.2.2. Prędkość wiatru mierzona na stacji IMGW Kraków-Balice w dniach 24-25.03.2016 [NCDC, 2016]. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec prowadzenia pomiarów mobilnych.

Zmiany temperatury i wilgotności względnej powietrza w trakcie kampanii, pokazane na rys. 5.2.1 oraz 5.2.2, wskazują że pomiary stężeń pyłu zawieszonego prowadzone były w stabilnych warunkach meteorologicznych (silna inwersja temperatur), przy stałej wartości temperatury oraz w warunkach praktycznie bezwietrznych. Potwierdzają to również obserwacje poczynione w trakcie prowadzenia pomiarów.

Na rysunkach 5.2.3 oraz 5.2.4 przedstawiono wartości średnich godzinnych stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ mierzone na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie, w okresie w którym prowadzone były prowadzenia pomiarów mobilne.



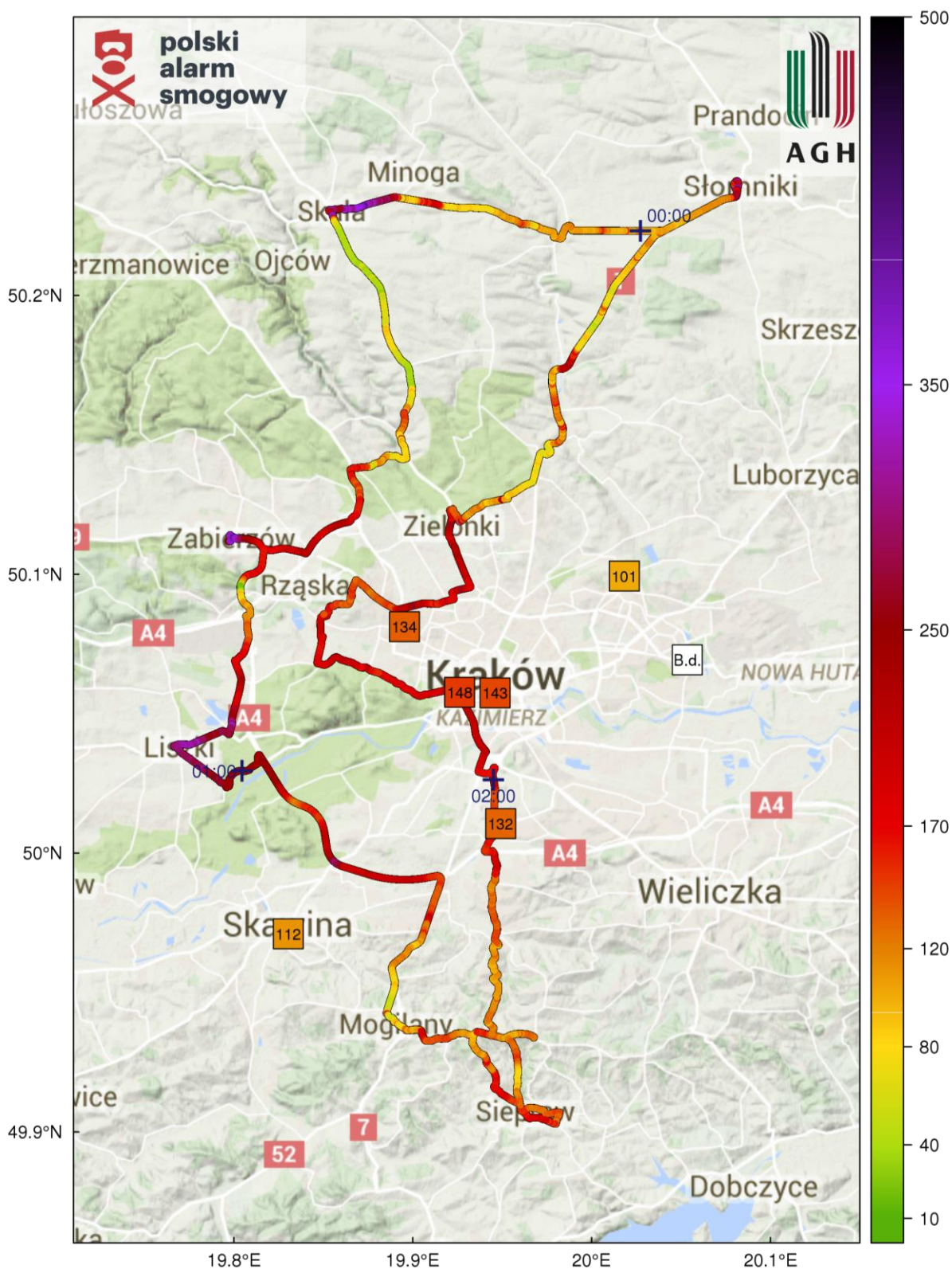
Rys. 5.2.3. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM₁₀ mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 24-25.03.2016. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.



Rys. 5.2.4. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM₁₀ mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 24-25.03.2016. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec prowadzenia pomiarów mobilnych.

Jak pokazuje rys. 5.2.3, w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych stężenia pyłów zawieszonych PM10 w Krakowie oraz w Olkuszu i Skawinie kształtowały się w zakresie od 100 do 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Rysunki 5.2.5 – 5.2.7 przedstawiają rozkład przestrzenny stężenia pyłów PM10 wzdłuż trasy przejazdu. Na mapie zamieszczonej na rysunku 5.2.5 przedstawiono dane dla całej kampanii pomiarowej. Na wykresach 5.2.6 oraz 5.2.7 przedstawiono wybrane fragmenty trasy przejazdu, pokazujące odpowiednio okolice Skały, Zabierzowa oraz Kryspinowa. Skala kolorów użyta na rysunkach 5.2.6 i 5.2.7 odbiega od stosowanej przez GIOŚ z uwagi na konieczność pokazania wysokich wartości mierzonych stężeń.



Rys. 5.2.5. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 obserwowane w trakcie kampanii pomiarowej prowadzonej w dniach 24-25.03.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.

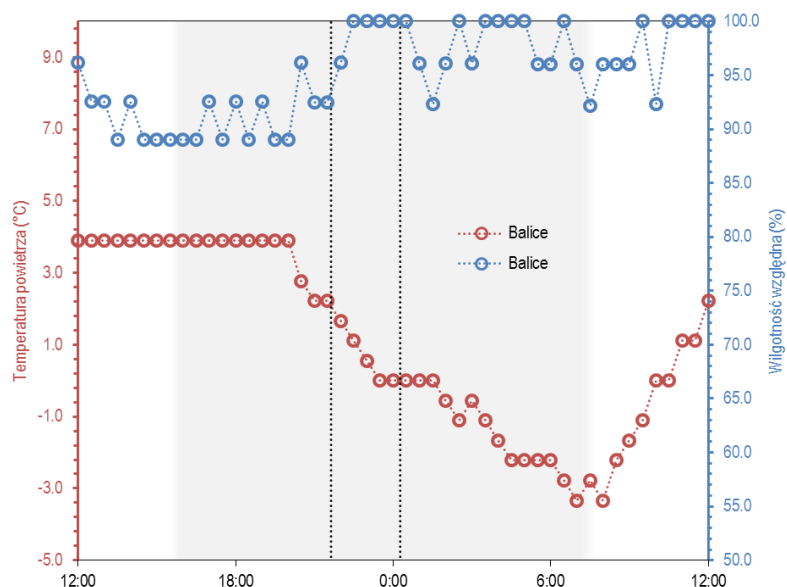
Tło regionalne stężenia PM₁₀ dla okolic Krakowa w trakcie prowadzenia pomiarów było na poziomie 50-60 µg/m³. Lokalne wartości ekstremalne (hot-spoty) obserwowano w Skale, Zabierzowie, Kryspinowie oraz Liszkach z wartościami dochodzącymi odpowiednio do 400 µg/m³, 350 µg/m³, 320 µg/m³ oraz 350 µg/m³.

Omawiana kampania pomiarowa oraz kampania z okresu 16-17.03.2016 r zostały wykonane w bardzo podobnych warunkach meteorologicznych. W obu przypadkach panowały warunki bezwietrzne. W przypadku omawianej kampanii panowały wyższe temperatury powietrza, co spowodować mogło niższe wartości emisji powierzchniowych pochodzących ze źródeł związanych z ogrzewaniem budynków. Obie kampanie ujawniły maksima stężeń PM₁₀ na podobnych obszarach.

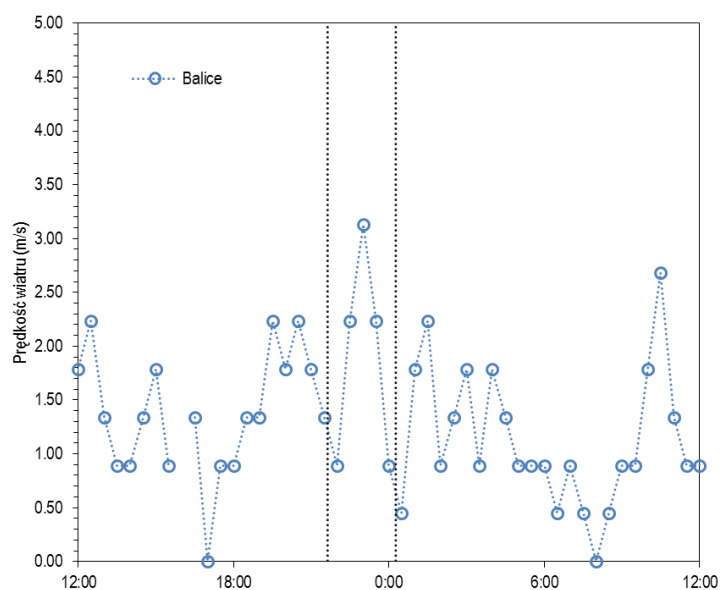
6. Kampanie mobilne Kraków (miasto)

6.1. Kampania pomiarowa 16-17.12.2015

Pierwsza kampania pomiarowa na obszarze miasta Krakowa z równoległym wykorzystaniem 2 zestawów urządzeń wykonana została w godzinach 21:38 – 00:16 CET, w okresie 16-17.12.2015. Zmiany parametrów meteorologicznych (temperatura, wilgotność względna, prędkość wiatru) na stacji meteorologicznej w Kraków-Balice przedstawiają wykresy 6.1.1 oraz 6.1.2.



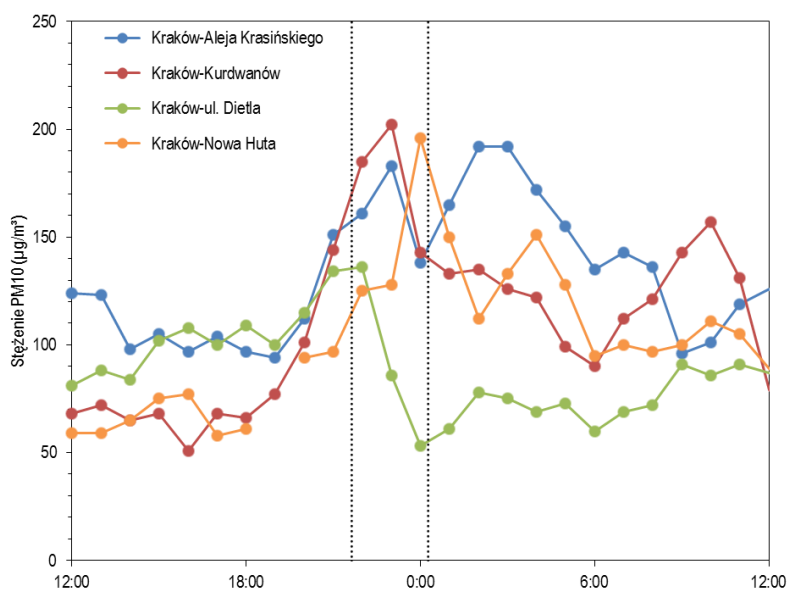
Rys. 6.1.1. Temperatura oraz wilgotność względna powietrza mierzone na stacji IMGW Kraków-Balice w dniach 16-17.12.2015 [NCDC, 2016]. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości temperatury a kolorem niebieskim wilgotność względną powietrza. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych. Kolorem szarym oznaczono okres od zachodu do wschodu Słońca.



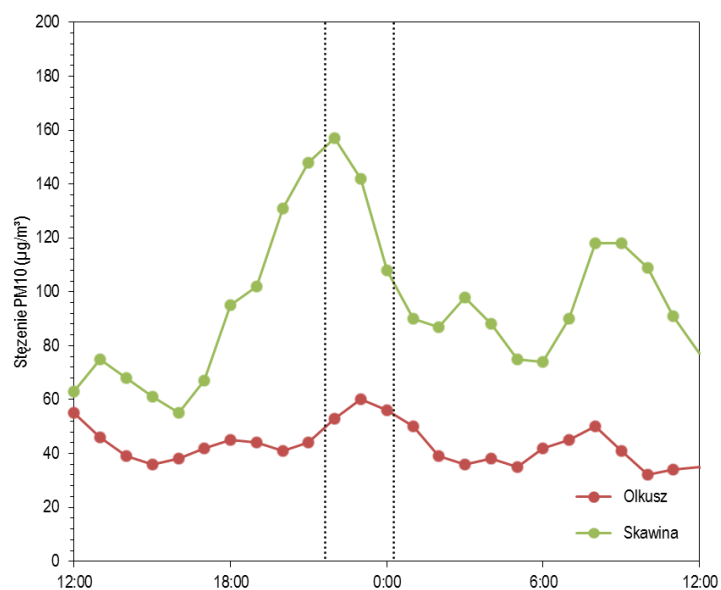
Rys. 6.1.2. Prędkość wiatru mierzona na stacji IMGW Kraków-Balice w dniach 16-17.12.2015 [NCDC, 2016]. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Jak wynika z wykresów przedstawionych na rys. 6.1.1 oraz 6.1.2, pomiary stężeń pyłu zawieszonego prowadzone były w stabilnych warunkach meteorologicznych, przy wolno malejącej temperaturze (około 0°C), wilgotności powietrza bliskiej 100 %, oraz przy wietrze nie przekraczającym 3 m/s.

Na rys. 6.1.3 oraz 6.1.4 przedstawiono wartości średnich godzinnych stężeń pyłu zawieszonego PM10 mierzonego na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych.



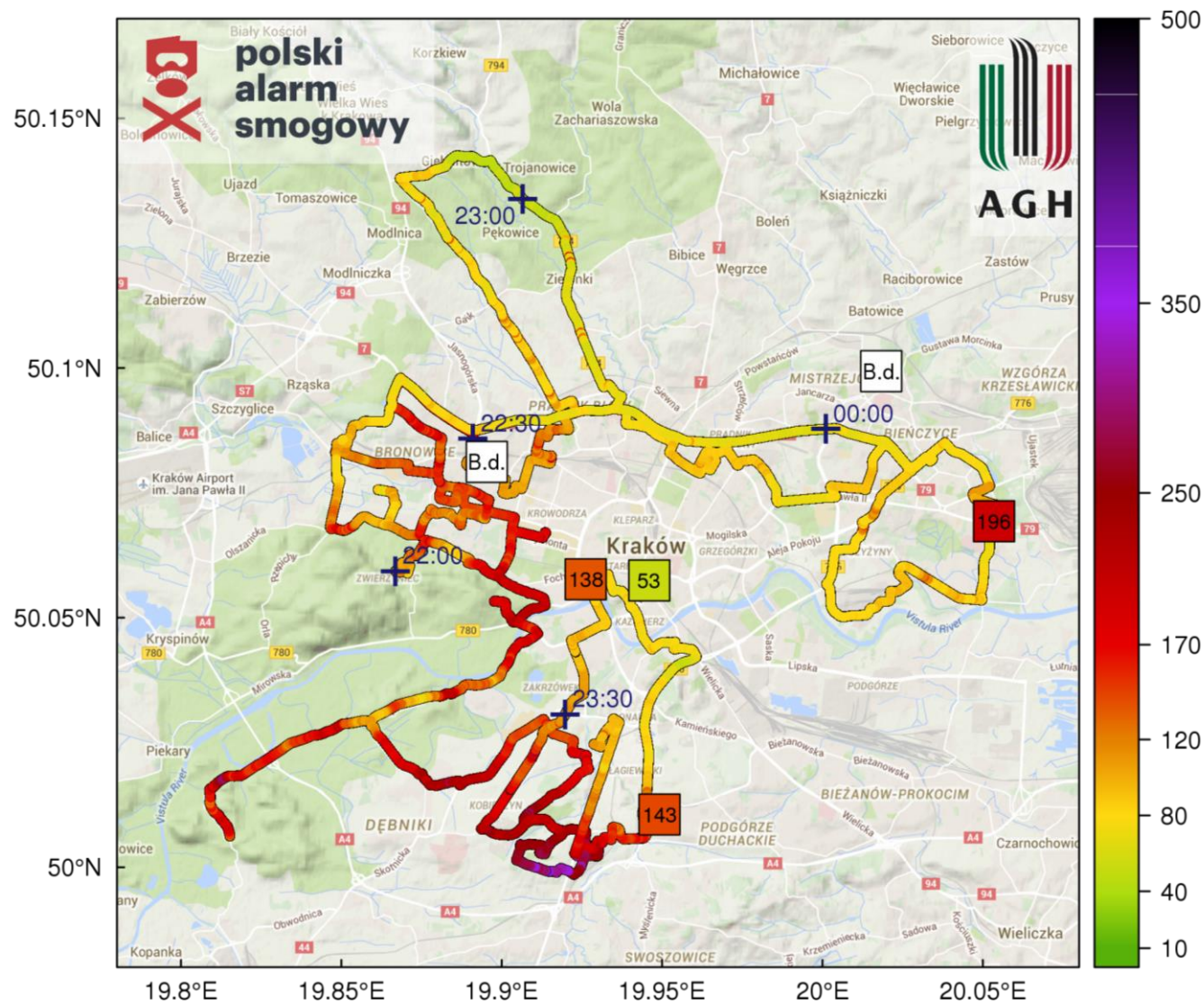
Rys. 6.1.3. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM10 mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 16-17.12.2015. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.



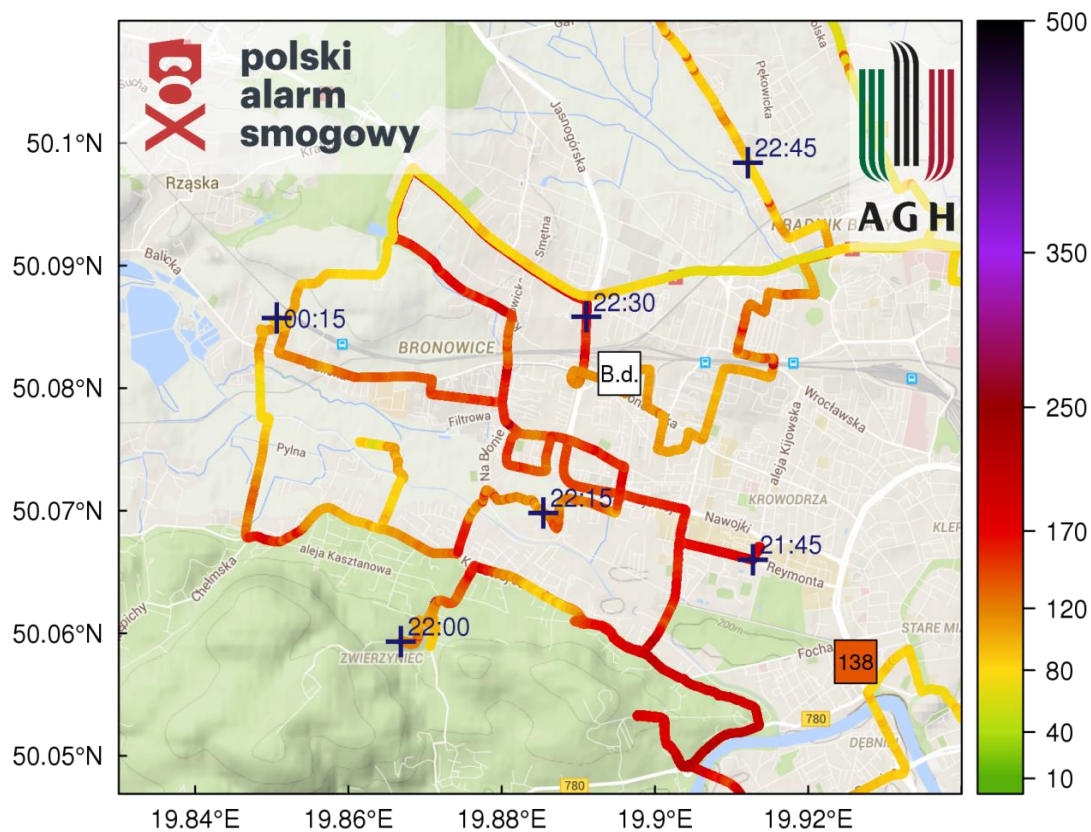
Rys. 6.1.4. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM10 mierzonych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 16-17.12.2015. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec prowadzenia pomiarów mobilnych.

Jak wynika z rys. 6.1.3, w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych stężenia pyłów zawieszonych PM10 w Krakowie mierzone na stacji przy al. Krasieńskiego, na osiedlu Kurdwanów oraz w Nowej Hucie, utrzymywały się na poziomie 130-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tylko stacja na ul. Dietla wykazała trend malejący do wartości około 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pod koniec kampanii pomiarowej. Stacja w Olkuszu (rys. 6.1.4) charakteryzowała się w tym okresie małymi zmianami stężeń na poziomie około 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mierzone stężenia na stacji w Skawinie (rys. 6.1.4) malały w rozważanym okresie od wartości około 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

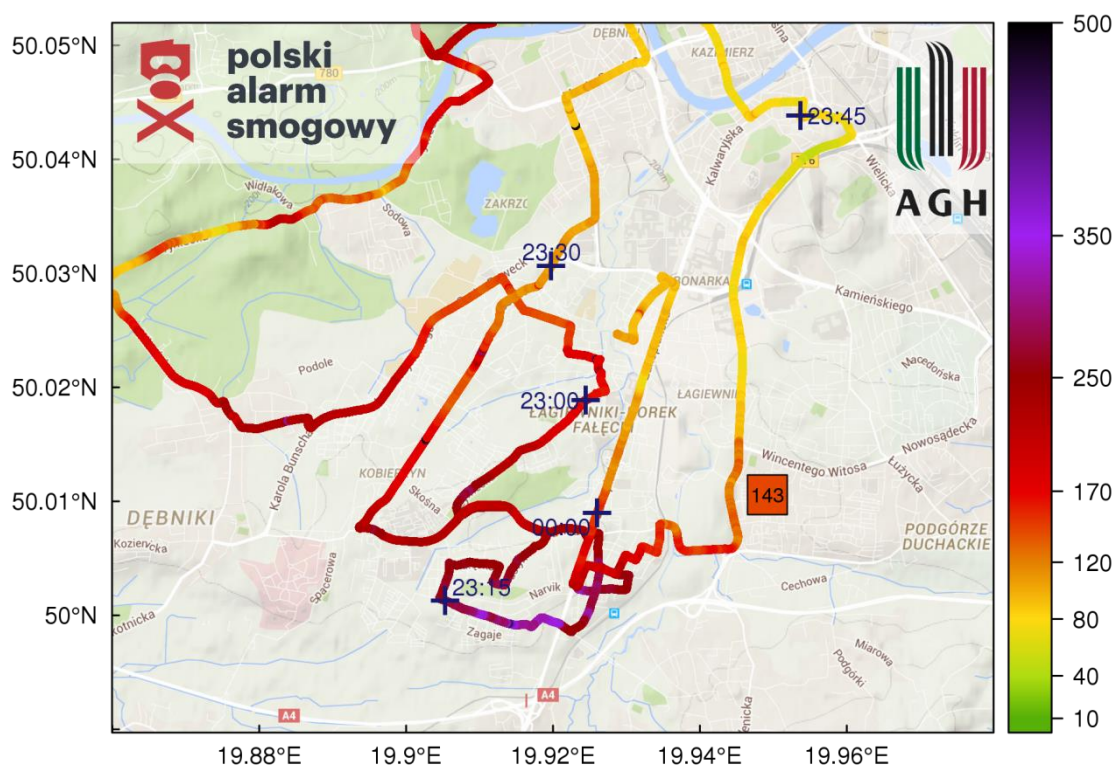
Rysunki 6.1.5 – 6.1.7 przedstawiają rozkład przestrzenny stężenia pyłów PM10 wzdłuż trasy przejazdu. Na mapie zamieszczonej na rysunku 6.1.5 przedstawiono dane dla całej kampanii pomiarowej. Skala kolorów odpowiada skali przyjętej przez GIOŚ i obejmuje zakres od 0 do 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na rys. 6.1.6 oraz 6.1.7 przedstawiono wybrane fragmenty trasy przejazdu, przedstawiające odpowiednio dzielnice Bronowice oraz Klify.



Rys. 6.1.5. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 obserwowane w trakcie kampanii pomiarowej prowadzonej w dniach 16-17.12.2015. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 6.1.6. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 mierzone w dzielnicy Bronowice w dniach 16-17.12.2015. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.

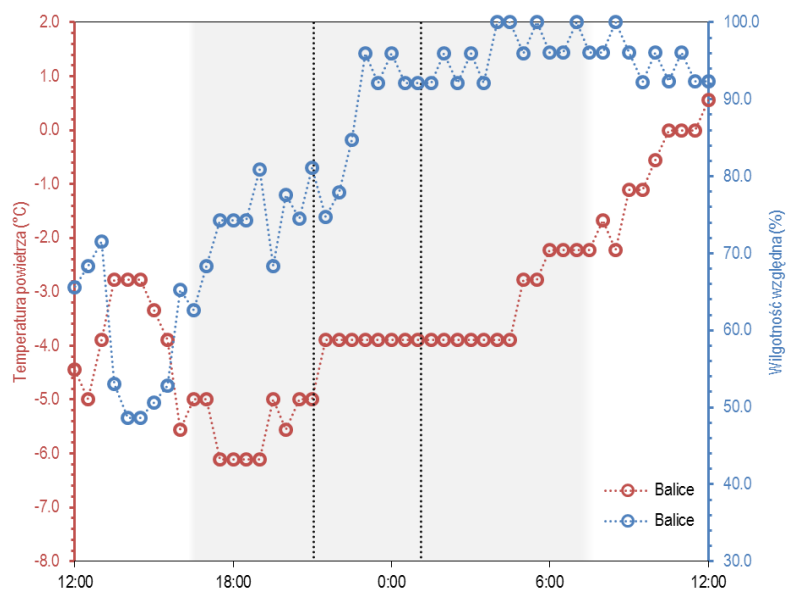


Rys. 6.1.7. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 mierzone w dzielnicy Kliny w dniach 16-17.12.2015. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.

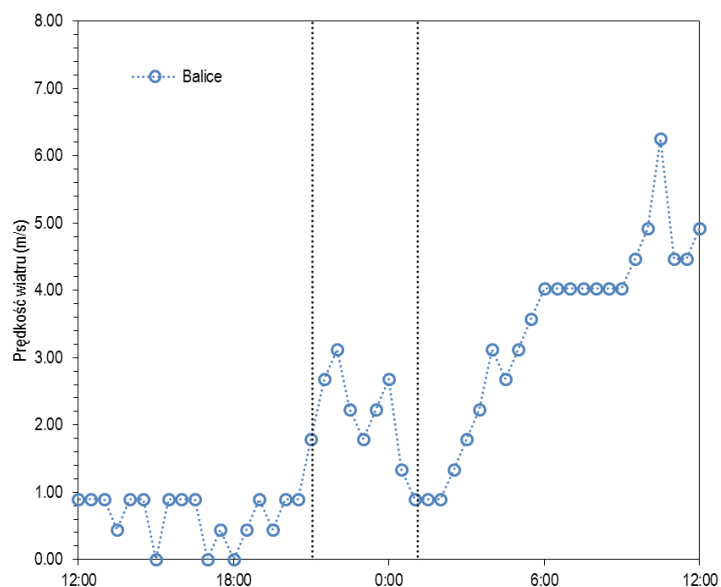
Wartości tła stężeń pyłów PM10 dla Krakowa kształtowały się w trakcie omawianej kampanii pomiarowej na poziomie 50-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Wartości ekstremalne (hot-spots) obserwowane były w dzielnicach Klina, Bronowice oraz w okolicy ul. Tynieckiej, z wartościami dochodzącymi odpowiednio do 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Uzyskane dane pozwalają lokalizować główne źródła pyłów zawieszonych w obszarach o gęstszej zabudowie jednorodzinnej.

6.2. Kampania pomiarowa 23-24.01.2016

Pomiary w kolejnej kampanii wykonane zostały w godzinach 21:03 – 01:07 CET. Zmiany parametrów meteorologicznych (temperatura, wilgotność względna, prędkość wiatru) mierzonych na stacji meteorologicznej w Kraków-Balice przedstawiają rys. 6.2.1 oraz 6.2.2.



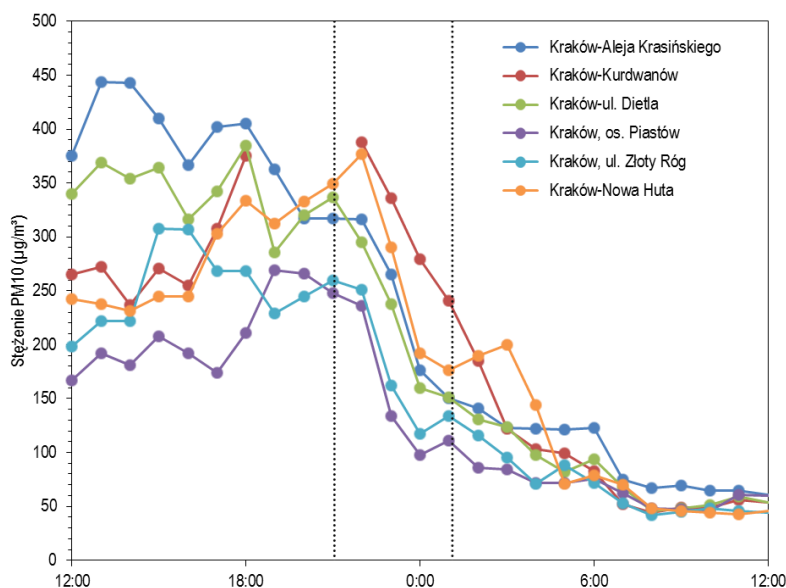
Rys. 6.2.1. Temperatura oraz wilgotność względna powietrza mierzone na stacji IMGW Kraków-Balice w dniach 23-24.01.2016 [NCDC, 2016]. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości temperatury a kolorem niebieskim wilgotność względną powietrza. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych. Kolorem szarym oznaczono okres od zachodu do wschodu Słońca.



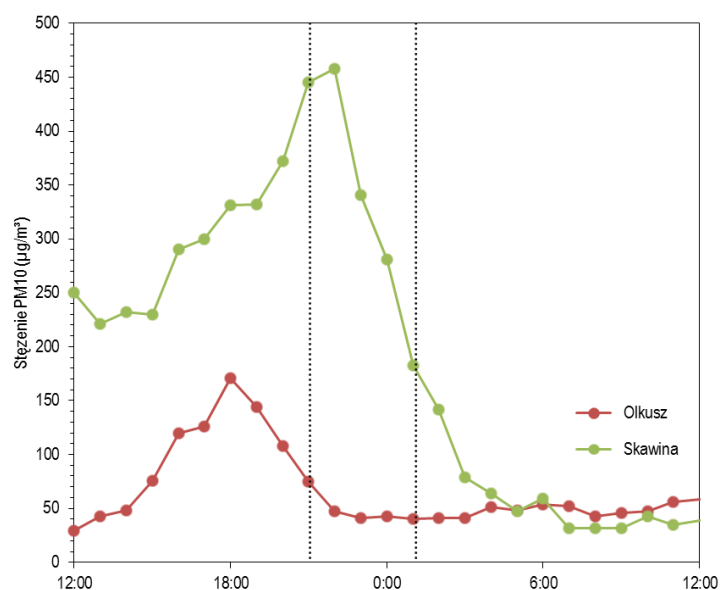
Rys. 6.2.2. Prędkość wiatru mierzona na stacji IMGW Kraków-Balice w dniach 23-24.01.2016 [NCDC, 2016]. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Jak wynika z rys. 6.2.1 oraz 6.2.2, pomiary stężeń pyłu zawieszonego prowadzone były w stabilnych warunkach meteorologicznych, przy stałej wartości temperatury, rosnącej wilgotności względnej powietrza oraz przy wietrze nie przekraczającym 3 m/s.

Na rys. 6.2.3 oraz 6.2.4 przedstawiono wartości średnich godzinnych stężeń pyłu zawieszonego PM10 na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych.



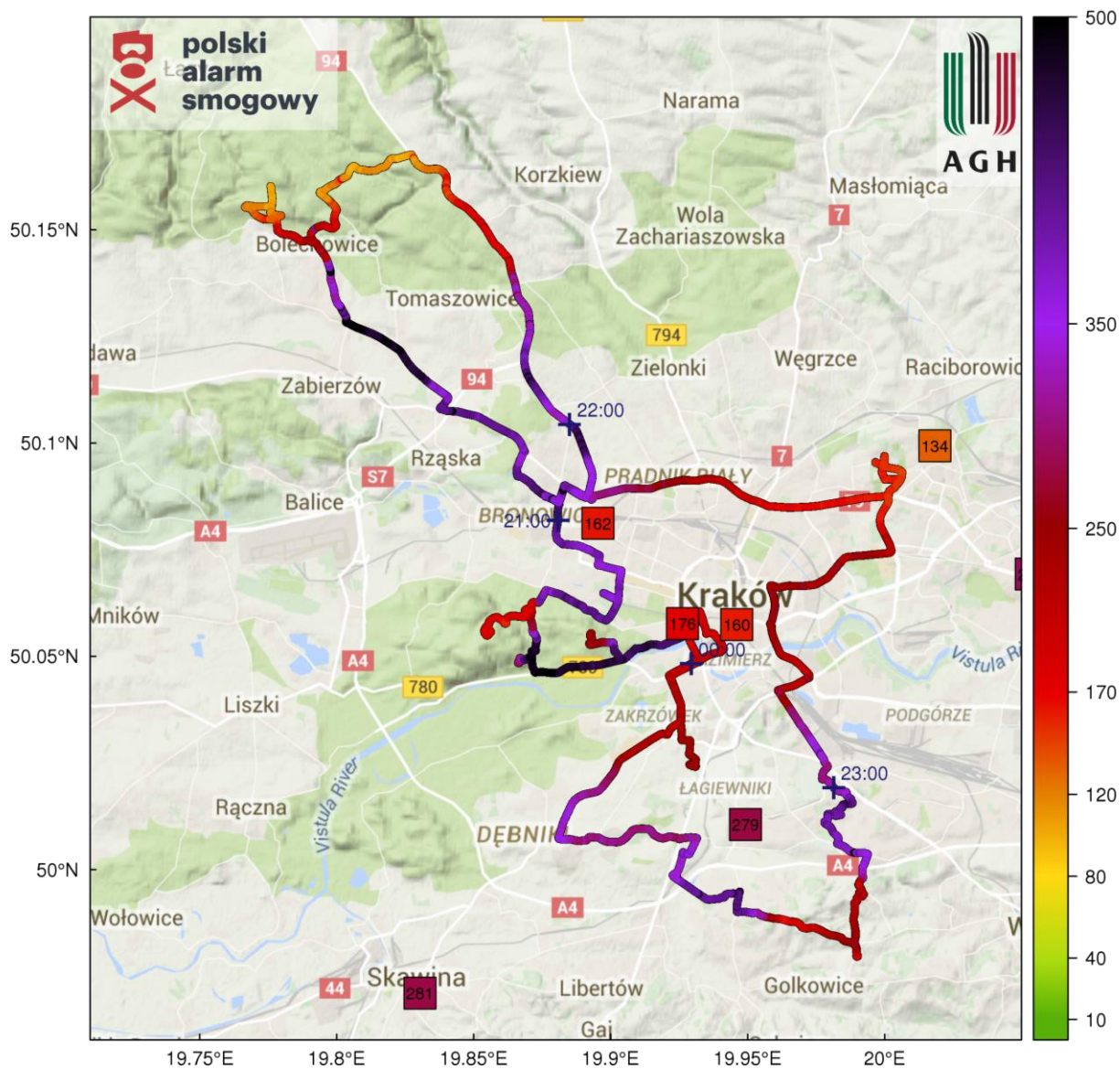
Rys. 6.2.3. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM10 mierzone na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 23-24.01.2016. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec prowadzenia pomiarów mobilnych.



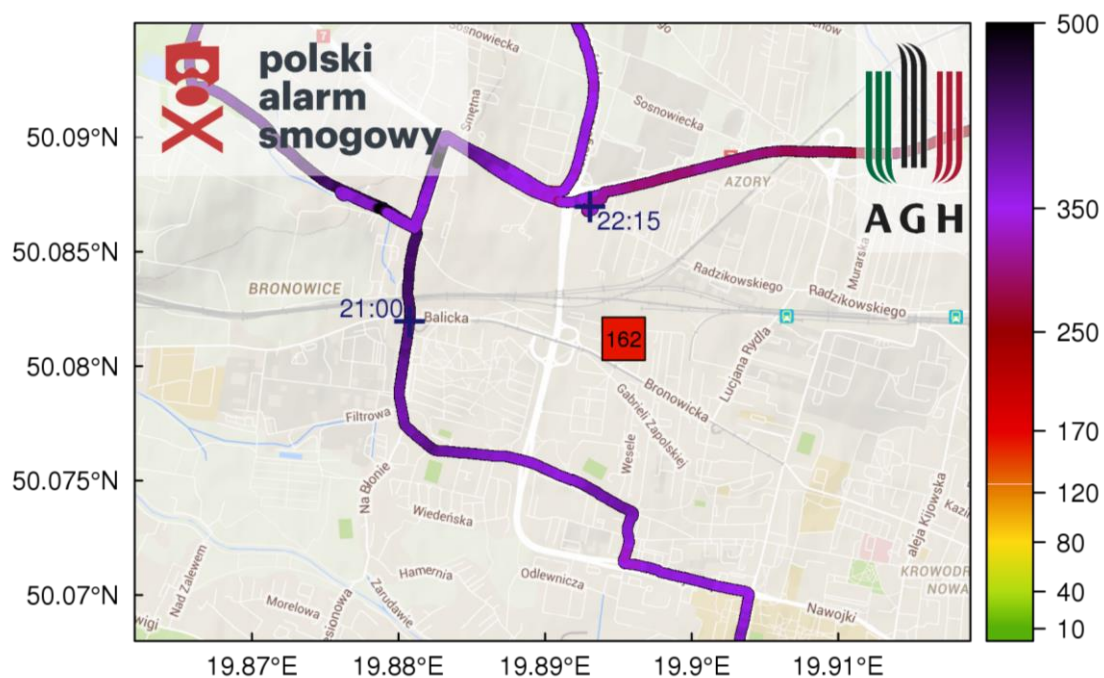
Rys. 6.2.4. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM10 mierzone na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie w dniach 23-24.01.2016. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Stężenia pyłów zawieszonych PM10 w Krakowie oraz Olkuszu w okresie prowadzenia pomiarów miały tendencję malejącą od wartości ekstremalnych osiągających do $400 - 450 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do wartości poniżej $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w końcowym czasie prowadzenia pomiarów (rys. 6.2.3 i 6.2.4). Wartości stężeń PM10 mierzone na stacji w Olkuszu były na poziomie $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

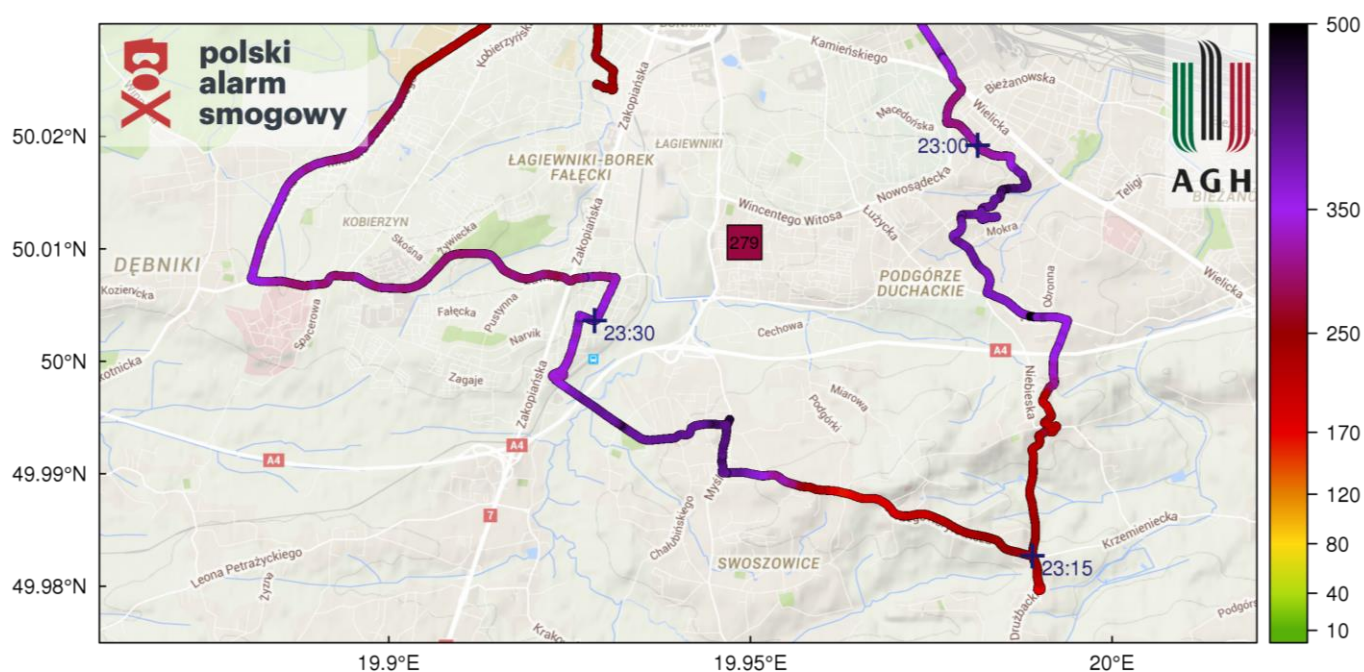
Rysunki 6.2.5 – 6.2.8 przedstawiają rozkład przestrzenny stężenia pyłów PM10 wzdłuż trasy przejazdu. Na mapie zamieszczonej na rysunku 6.2.5 przedstawiono dane pochodzące reprezentujące całą kampanię pomiarową. Na rysunkach 6.2.6 – 6.2.8 przedstawiono wybrane fragmenty trasy.



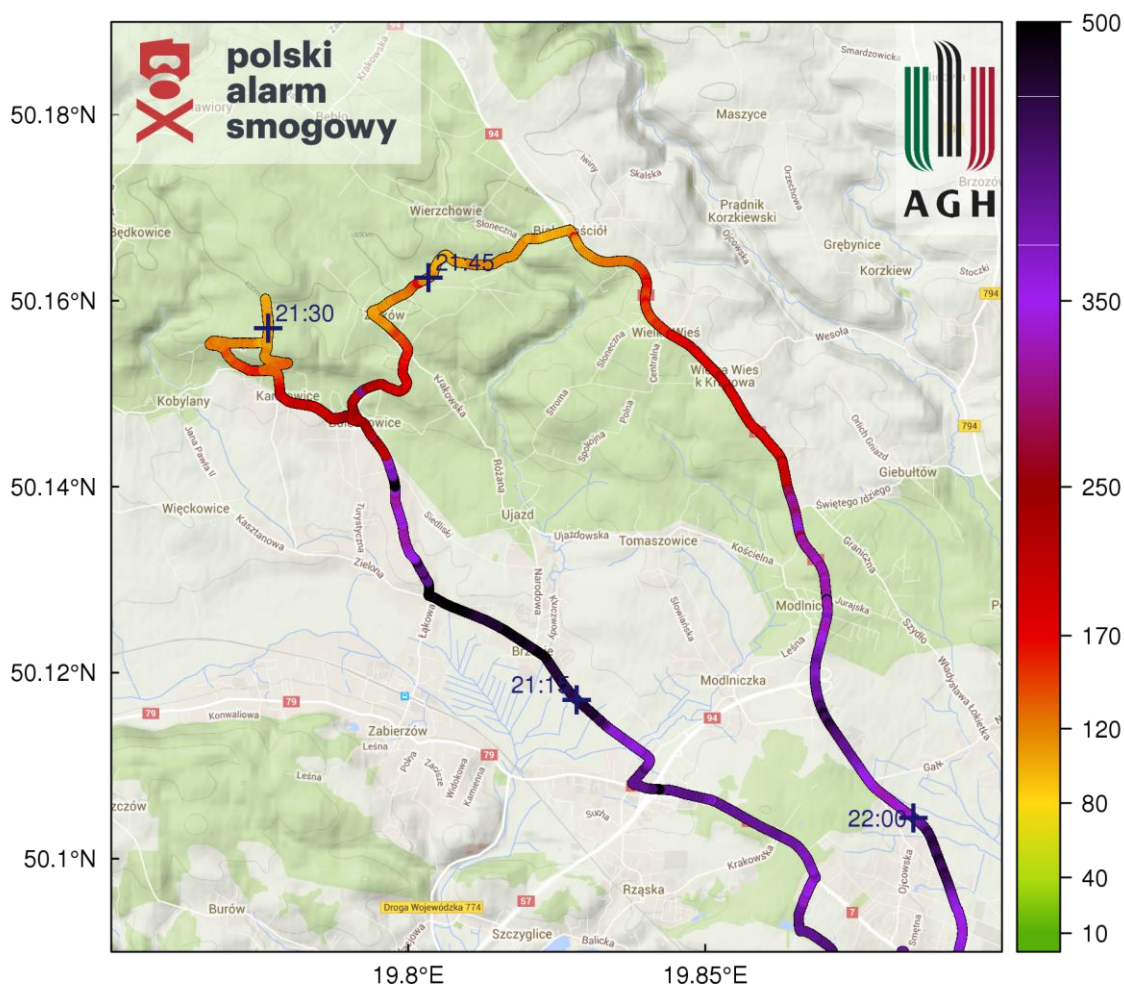
Rys. 6.2.5. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 na obszarze prowadzonej kampanii pomiarowej w dniach 23-24.01.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 6.2.6. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w dzielnicy Bronowice w dniach 23-24.01.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 6.2.7. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w dzielnicach Swoszowice, Bieżanów w dniach 23-24.01.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 6.2.8. Stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ w okolicach Bolechowic w dniach 23-24.01.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.

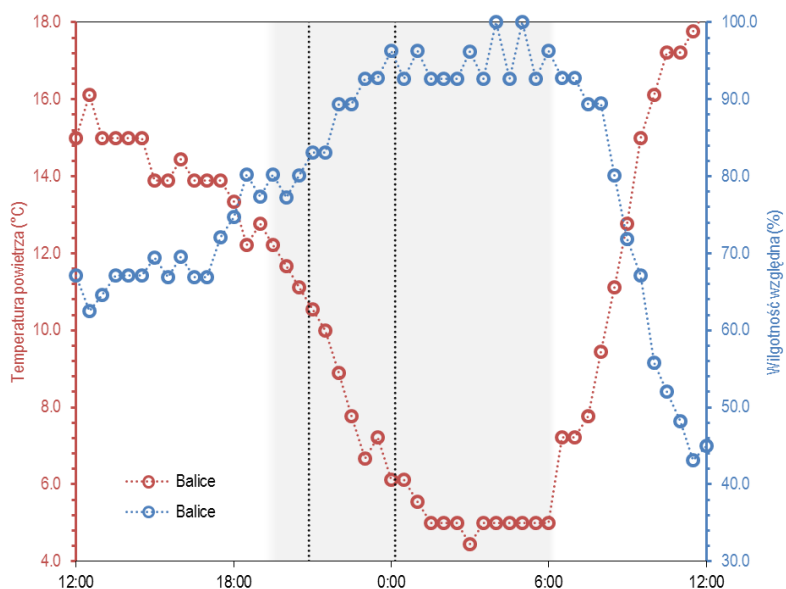
Z uzyskanych danych widać, że w trakcie prowadzenia kampanii tło regionalne dla okolic Krakowa było na poziomie $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (stacja WIOŚ w Olkuszu). Lokalne wartości ekstremalne (hot-spoty) dochodzące do $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wystąpiły w okolicach Modlniczki, Bronowic, ul. Tynieckiej, dzielnicy Kliny oraz Bieżanów.

Silne zróżnicowanie mierzonych stężeń PM₁₀ pomiędzy obrębem miasta Krakowa, gdzie wystąpiły wartości ekstremalne, a okolicznymi miejscowościami gdzie mierzono dużo niższe stężenia pyłów zawieszonych, świadczyć mogą o małej grubości warstwy inwersyjnej w trakcie prowadzenia pomiarów. Na terenach położonych powyżej kotliny Krakowskiej mogło dochodzić do dyspersyjnego rozmycia emitowanych pyłów zawieszonych bądź nawet, w warunkach słabej konwekcji, do ich mieszania pionowego.

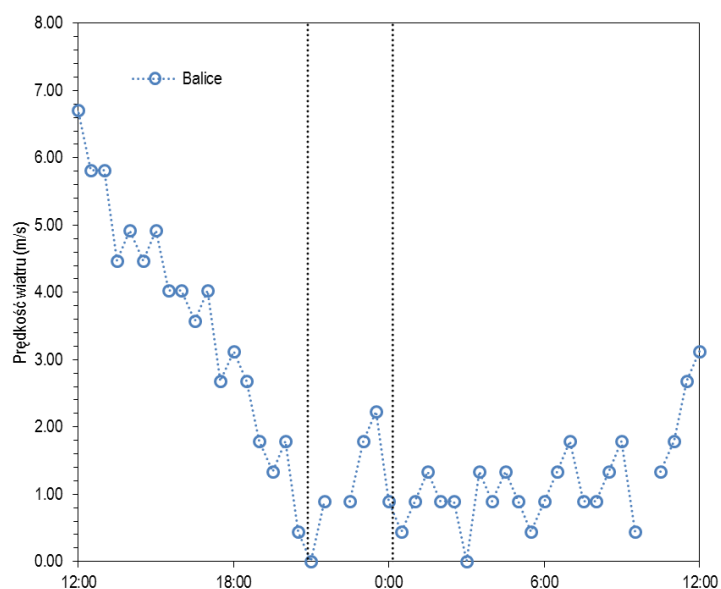
Różnice pomiędzy pomiarami mobilnymi a wartościami mierzonymi na stacjach przez WIOŚ wynikać mogą z dużej dynamiki zmian stężeń pyłów w czasie wykonywania pomiarów mobilnych (por. rys. 6.2.3.).

6.3. Kampania pomiarowa 6-7.04.2016

Kampania z równoległym wykorzystaniem 5 urządzeń pomiarowych przeprowadzona została w godzinach 20:52 – 00:09 CET. Zmiany parametrów meteorologicznych (temperatura, wilgotność względna, prędkość wiatru) mierzonych na stacji meteorologicznej w Kraków-Balice przedstawiają rys. 6.3.1 oraz 6.3.2.



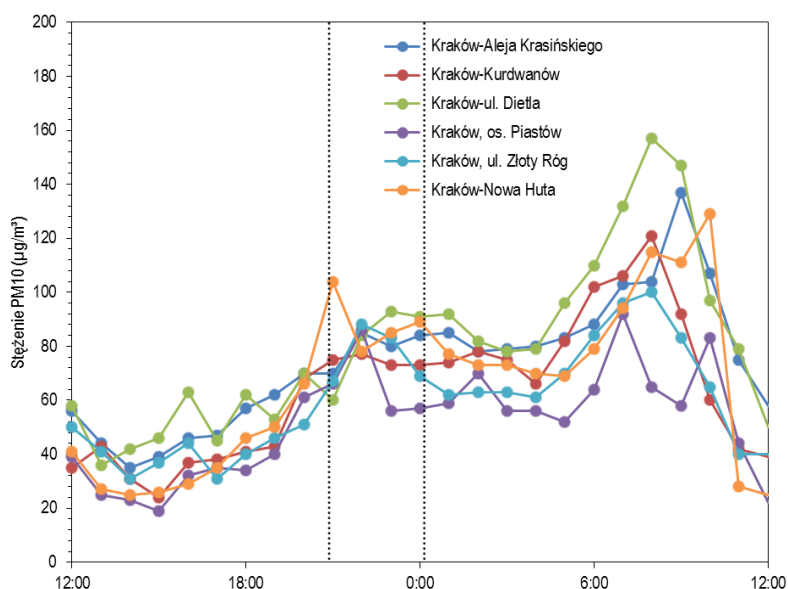
Rys. 6.3.1. Temperatura oraz wilgotność względna powietrza mierzone na stacji IMGW Kraków-Balice w dniach 6-7.04.2016 [NCDC, 2016]. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości temperatury a kolorem niebieskim wilgotność względną powietrza. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych. Kolorem szarym oznaczono okres od zachodu do wschodu Słońca.



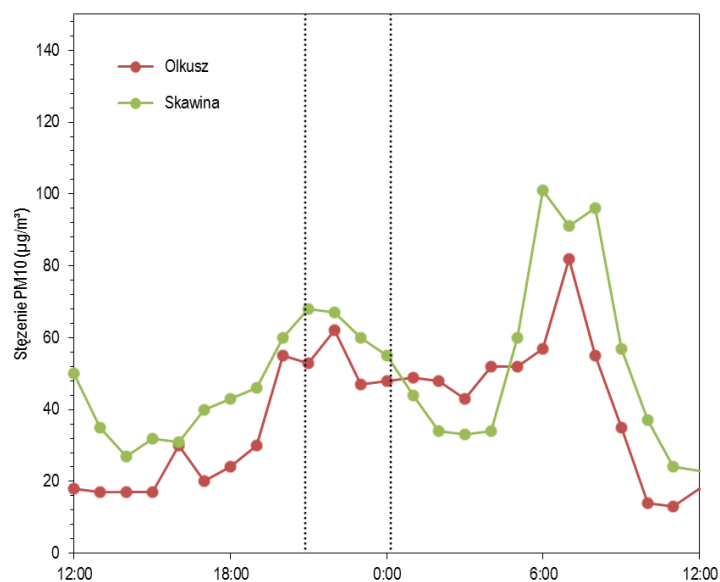
Wykres 6.3.2. Prędkość wiatru mierzona na stacji IMGW Kraków-Balice w dniach 6-7.04.2016. [NCDC, 2016] Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Pomiary stężeń pyłu zawieszonego prowadzone były w stabilnych warunkach meteorologicznych, przy szybko malejącej temperaturze powietrza, rosnącej wilgotności, oraz w warunkach praktycznie bezwietrznych (rys. 6.3.1. i 6.3.2.).

Na rys. 6.3.3 oraz 6.3.4 przedstawiono wartości średnich godzinnych stężeń pyłu zawieszonego PM10 mierzonego w okresie prowadzenia pomiarów mobilnych na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie.



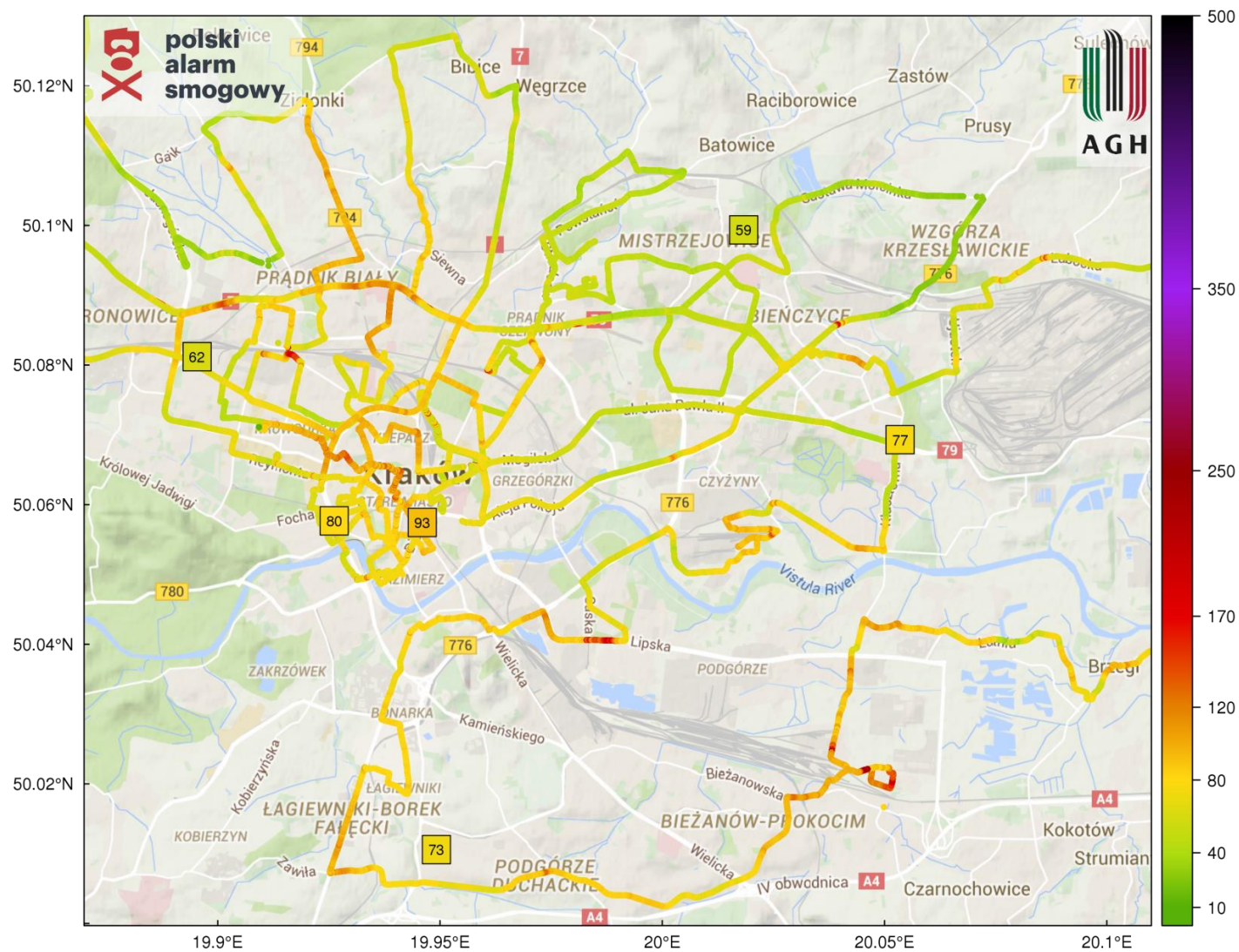
Rys. 6.3.3. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM10 mierzone w dniach 6-7.04.2016 na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie, zlokalizowanych w obrębie aglomeracji krakowskiej. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.



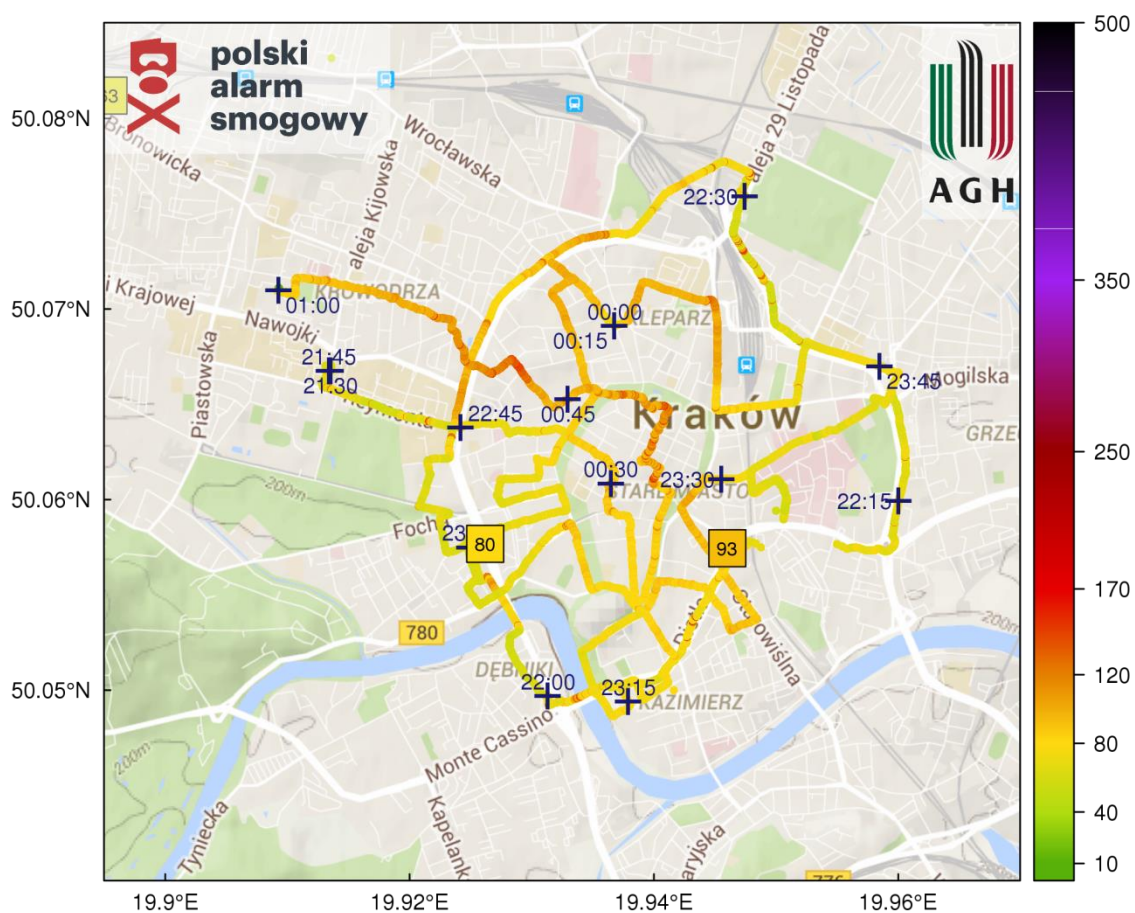
Rys. 6.3.4. Średnie godzinne stężenia pyłów zawieszonych PM10 mierzone w dniach 6-7.04.2016 na stacjach należących do WIOŚ w Krakowie, zlokalizowanych w okolicy Krakowa. Pionowe przerywane linie oznaczają początek oraz koniec pomiarów mobilnych.

Jak wynika z rys. 6.3.3, mierzone stężenia pyłów zawieszonych PM10 w Krakowie oraz w Olkuszu i Skawinie utrzymywały się na podobnym poziomie (ok. 50-90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

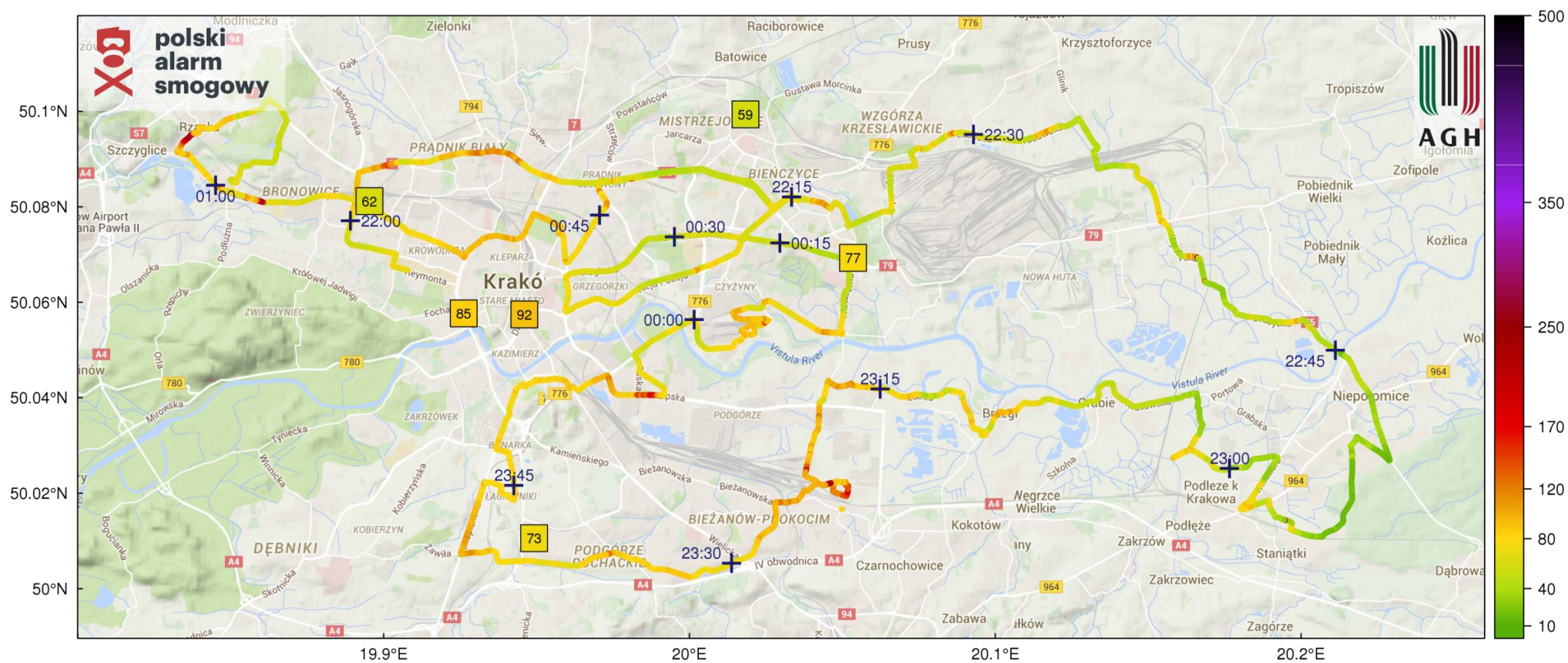
Rysunki 6.3.5 – 6.3.10 przedstawiają przestrzenny rozkład stężenia pyłów PM10 wzdłuż trasy przejazdu. Na mapie zamieszczonej na rysunku 6.3.5 przedstawiono dane reprezentujące całą kampanię pomiarową. Na rysunkach 6.3.6 - 6.3.10 przedstawiono wybrane fragmenty trasy przejazdu.



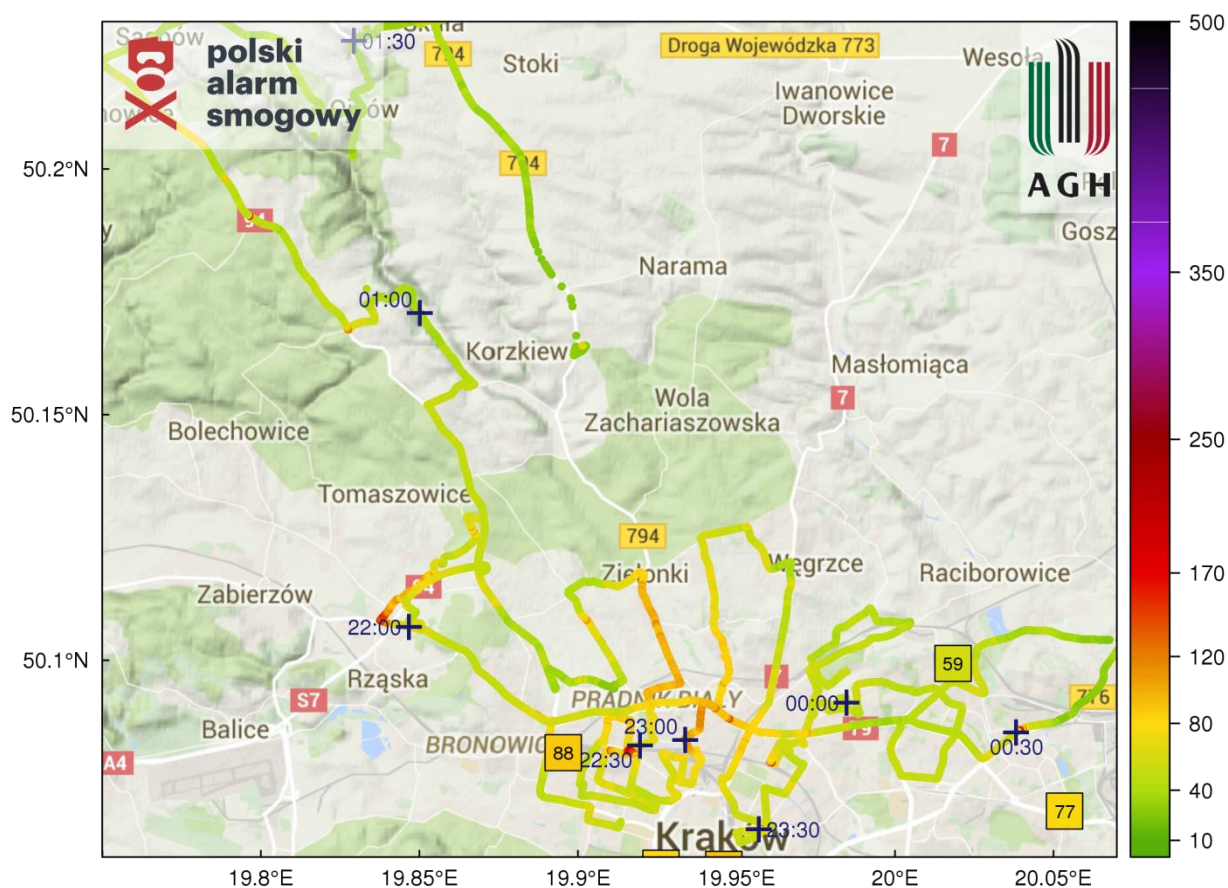
Rys. 6.3.5. Stężenie pyłu zawieszonego PM10 na obszarze miasta Krakowa w dniach 6-7.04.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 6.3.6. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w centrum Krakowa. Pomiary przeprowadzono w dniach 6-7.04.2016 za pomocą miernika zamontowanego na platformie ciągniętej przez rower. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



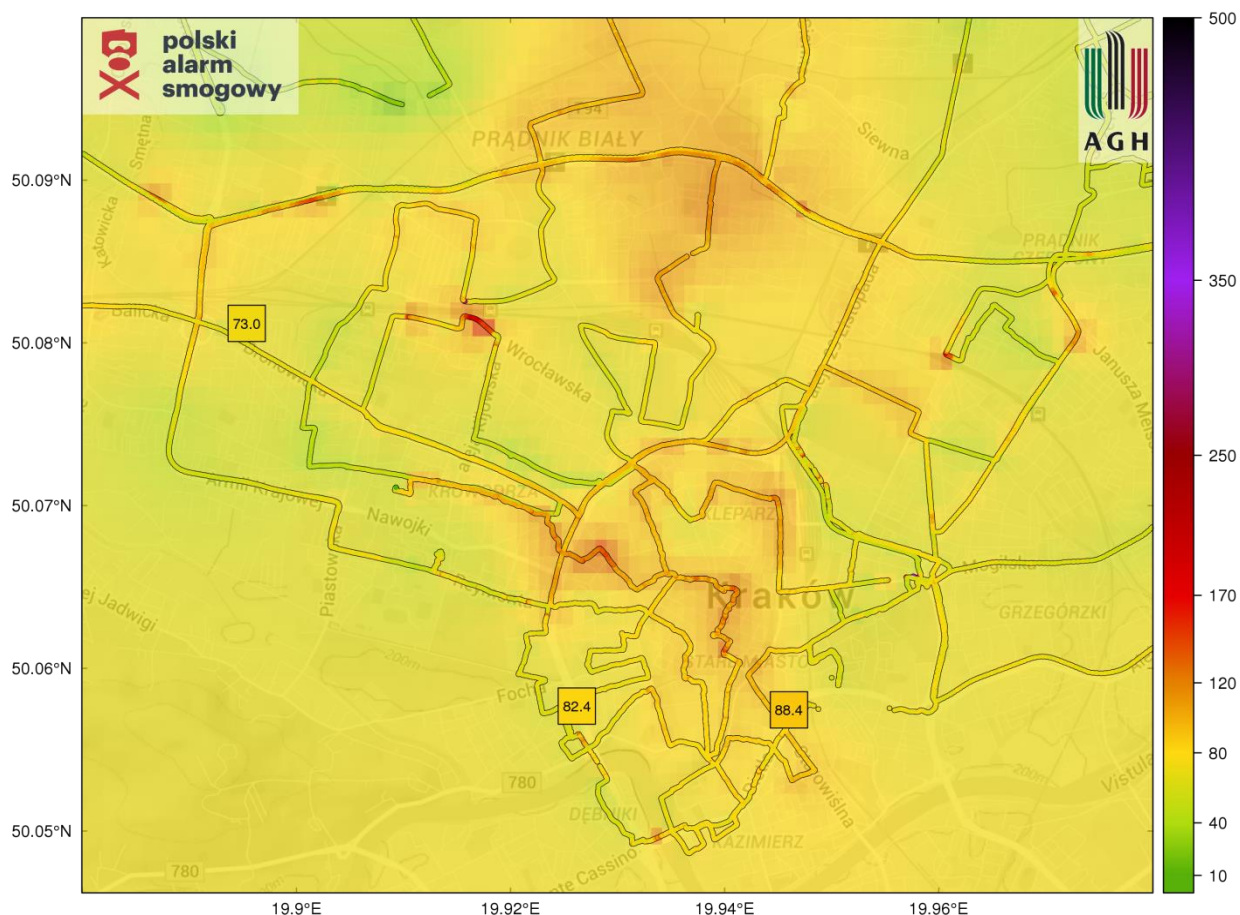
Rys. 6.3.7. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w Krakowie i okolicach (rejon Wschód) w dniach 6-7.04.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 6.3.8. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w Krakowie i okolicach (rejon Północ) w dniach 6-7.04.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 6.3.9. Stężenia pyłu zawieszonego PM10 w Krakowie i okolicach (rejon Północ - zbliżenie) w dniach 6-7.04.2016. Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.



Rys. 6.3.10. Interpolacja przestrzenna stężenia PM₁₀ w aglomeracji krakowskiej na podstawie wyników pomiarów przeprowadzonych w nocy z 6 na 7 kwietnia 2014. Zastosowana metoda: IDW (*Inverse Distance Weighting*). Skala kolorystyczna zgodna ze stosowaną przez GIOŚ.

Z uzyskanych danych można wywnioskować, iż w trakcie prowadzenia kampanii tło regionalne dla okolic Krakowa było na poziomie 20-30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lokalne wartości ekstremalne (hot-spots) dochodzące do wartości 100-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ widoczne były w takich dzielnicach miasta jak: Centrum (Rynek Główny), Bronowice, Klina oraz Złocień. Dzięki dużej gęstości przestrzennej przeprowadzonych pomiarów udało się sporządzić przestrzenną mapę rozkładu stężenia PM₁₀ dla centrum miasta Krakowa (Rys. 6.3.10).

7. Wnioski

Zaprezentowane w niniejszym raporcie informacje o rozkładzie czasowym i przestrzennym stężeń frakcji PM₁₀ pyłów zawieszonych uzyskano w wyniku przeprowadzenia 10 kampanii pomiarowych obejmujących swoim zakresem obszar Górnego Śląska, Podhala oraz Krakowa i okolic. Dane pomiarowe zostały uzyskane za pomocą specjalnie oprzyrządowanych pyłomierzy zainstalowanych na platformach mobilnych (samochodach osobowych lub rowerach).

W badaniach pyłów zawieszonych, mobilne pyłomierze zapewniające wysoką rozdzielczość czasową pomiarów stosowało dotychczas jedynie kilka zespołów badawczych na świecie (Peters i in. 2013, Kauhaniemi i in. 2014, Bukowiecki i in. 2002, Westerdahl i in. 2005). W Polsce, ta nowatorska metodologia została zastosowana po raz pierwszy w badaniach przedstawionych w niniejszym raporcie. Dynamiczny obraz zmian stężeń pyłów PM₁₀ w atmosferze uzyskany przy pomocy tej metodologii, nie może być interpretowany w identyczny sposób jak wyniki stacjonarnego monitoringu jakości powietrza prowadzone przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska. W szczególności, bezpośrednie odnoszenie obserwowanych poziomów stężeń pyłów zawieszonych do obowiązujących norm regulujących poziomy dopuszczalne stężeń dla wartości średniodobowych oraz średniorocznych (Dz. U. z 2012 r., poz. 1032; PN-EN 12341; PN-EN 14907) jest nieuprawnione.

Nie zmienia to faktu, iż zastosowanie mobilnej metodologii pomiarowej pozwoliło z nie spotykaną dotąd rozdzielczością przestrzenną i czasową określić poziomy zanieczyszczenia pyłami frakcji PM₁₀ na badanych obszarach. Metodologia ta umożliwiła identyfikację wielu tzw. hot-spotów, a nawet wytypowanie grupy kilku budynków będących prawdopodobnym źródłem bardzo wysokich lokalnych poziomów zapylenia.

Poza zapyleniem powodowanym przez źródła niskiej emisji zaobserwowano również w kilku przypadkach wyraźnie podwyższone stężenia pyłów emitowanych przez samochody wyposażone w przestarzałe i zużyte jednostki napędowe. Najczęściej powodem zanieczyszczeń komunikacyjnych były silniki Diesla, jednak zaobserwowano również bardzo wyraźny wzrost zapylenia powodowany przez zużyte silniki benzynowe. Powyższe efekty, ze względu na nocną porę prowadzonych pomiarów (znikomy ruch samochodowy) mają jednak marginalny wpływ na zaprezentowane rezultaty.

Dobór nocnej pory wykonywania pomiarów, poza uniknięciem intensywnego ruchu samochodów na drogach, miał na celu uzyskanie wyraźnego obrazu rozmieszczenia potencjalnych hot-spotów, tzn. obszarów i rejonów o ekstremalnie wysokich poziomach stężeń pyłu PM₁₀. Pomiary prowadzone w nocy, podczas okresów inwersji termicznej w warstwie granicznej atmosfery oraz słabego wiatru, ze względu na ograniczone procesy dyspersji emitowanych zanieczyszczeń i utrzymywanie się ich blisko powierzchni, pozwolił z większą czułością zidentyfikować te obszary, na których może częściej dochodzić do podwyższonych stężeń pyłu zawieszonego w powietrzu. Pomiary pokazały również, że chwilowe stężenia PM₁₀ mogą wielokrotnie przekraczać wartości średniogodzinne podawane przez stacje monitoringu jakości powietrza WIOŚ.

Innym problemem jest ustalenie jak długo tak mierzone, ekstremalnie wysokie stężenia utrzymują się w danym rejonie. Często, podniesiony poziom zanieczyszczeń jest wynikiem n.p. uzupełnienia węgla w konkretnym palenisku i po kilkunastu minutach poziom PM₁₀ znacząco opada. Wskazują na to kampanie, w których dokonano dwukrotnego przejazdu tą samą trasą, podczas których obserwowano znacznie różniące się poziomy stężeń PM₁₀. Bezpośrednie obserwacje prowadzone w trakcie dwukrotnych przejazdów przez ten sam rejon potwierdzały uzyskane wyniki pomiarów (gęste smugi dymu wydobywające się z kominów konkretnych domów). W takich sytuacjach trudno wyrokować o rzeczywistej ekspozycji na zanieczyszczenia osób przebywających na takim obszarze. Zostały jednak również zidentyfikowane obszary, na których systematycznie rejestrowano podwyższone wartości stężeń PM₁₀. W takim przypadku zasadne jest uznanie potencjalnie podwyższonej ekspozycji na pyły i wytypowanie danego obszaru do prowadzenia monitoringu stacjonarnego.

W trakcie dwóch kampanii pomiarowych przeprowadzonych na terenie Górnego Śląska obszarami o znacznie podwyższonych stężeniach PM10 okazały się być centra Zabrze, Gliwice i Rybnika. Potwierdzają to również pomiary stacjonarne prowadzone przez WIOŚ (średniogodzinne stężenia PM10 na stacjach WIOŚ dochodziły do $570 \mu\text{g}/\text{m}^3$). W trakcie pomiarów mobilnych obserwowano lokalnie znacznie większe wartości stężeń (do $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$). W przypadku Katowic wyniki nie były tak jednoznaczne, choć wartości chwilowe również osiągały wysokie wartości (ponad $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Pomiary wykazały również poniesioną wartość tła regionalnego w ciągu nocy dla obszaru Górnego Śląska, wahająca się między 150 a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ciekawe wyniki uzyskano dla pomiarów prowadzonych w rejonie Podhala. Zaobserwowano silną zależność zapylenia od wysokości nad poziomem morza. Pomiary prowadzone na terenie Zakopanego wykazały pełny przedział rejestrowanych stężeń PM10 (od 0 do $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) w zależności od elewacji terenu, przy wartościach stężeń rejestrowanych przez stację WIOŚ na równi Krupowej na poziomie $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Wskazuje to na konieczność uwzględniania również rzeźby terenu przy wyborze punktów do monitoringu stacjonarnego jakości powietrza. Poza Zakopanem, podwyższone wartości stężeń PM10 obserwowano również z Nowym Targu, Rabce i Makowie Podhalańskim. Nie stwierdzono natomiast znacząco wyższych stężeń w okolicach Myślenic. Regułą okazały się również znacząco wyższe stężenia pyłów na odcinkach tras przejazdów przecinających obszary o wyższej gęstości zaludnienia (np. odcinek między Krakowem a Myślenicami oraz między Nowym Targiem a Zakopanem).

Pomiary mobilne prowadzone w obrębie aglomeracji krakowskiej pokazały generalnie większe stężenia PM10 w miejscowościach okalających Kraków niż w samym centrum Krakowa. Rekordowo wysokie stężenie PM10, przekraczające $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, zarejestrowano 16.03.2016 w Skale. Podwyższone wartości obserwowano również regularnie w Zabierzowie, Kryspinowie, Skawinie, Zielonkach, Słomnikach i Wieliczce.

W nocy z 6 na 7 kwietnia 2016 wykonano pomiary równocześnie 3 pyłomierzami uzyskując gęste pokrycie przestrzenne w stosunkowo krótkim czasie. Wyniki pozwoliły na skonstruowanie poglądowej mapy rozkładu stężeń pyłów PM10 dla obszaru śródmieścia Krakowa (rys. 6.3.10). Zidentyfikowano rejon miasta, dla których systematycznie obserwowano podwyższone stężenia pyłów. Obszary te (Bronowice, Kliny, okolice ul. Tynieckiej) pokrywają się z rejonami zabudowy jednorodzinnej, w których możemy się spodziewać emisji pyłów ze spalania słabej jakości węgla oraz niskiej jakości kotłów. Jednakże, nie w każdym rejonie zabudowy jednorodzinnej obserwowano ten efekt.

Podsumowując, metodologia mobilnych pomiarów stężeń pyłu PM10 umożliwia uzyskanie bogatego zbioru danych dla znacznych obszarów w stosunkowo krótkim czasie. Jednakże, interpretacja wyników pomiarów mobilnych jest bardziej złożona niż to ma miejsce w przypadku pomiarów stacjonarnych i wymaga uwzględnienia aktualnej dynamiki warstwy granicznej atmosfery. Dane pomiarowe prezentowane w niniejszym raporcie, ze względu na brak pełnej informacji o tej dynamice, należy traktować jako rekonesansowe. Wskazują one jednak na duży potencjał pomiarów mobilnych. Powiązanie uzyskiwanych tą metodą danych z pomiarami stacjonarnymi prowadzonym w różnym otoczeniu oraz modelowaniem dyspersji zanieczyszczeń atmosferycznych powinno pozwolić w przyszłości znacznie precyzyjniej określać rozkład czasowo-przestrzenny zanieczyszczeń pyłowych. Wymaga to jednak kontynuacji badań zmierzających m.in. do wypracowania algorytmów interpolacji danych, ich asymilacji w modelach numerycznych, a także wypracowania rutynowej metodyki kontroli jakości i oceny niepewności uzyskiwanych danych.

Referencje

J. Peters, J. Theunis, M. Van Poppel, P. Berghmans; Monitoring PM10 and Ultrafine Particles in Urban Environments Using Mobile Measurements; *Aerosol and Air Quality Research*, 13: 509–522, 2013

M. Kauhaniemi, A. Stojiljkovic, L. Pirjola, A. Karppinen, J. Härkönen, K. Kupiainen, L. Kangas, M. A. Aarnio, G. Omstedt, B. R. Denby, and J. Kukkonen; Comparison of the predictions of two road dust emission models with the measurements of a mobile van; *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 9155–9169, 2014

N. Bukowiecki, J. Dommen, A.S.H. Prevot, R. Richter, E. Weingartner, U. Baltensperger; A mobile pollutant measurement laboratory—measuring gas phase and aerosol ambient concentrations with high spatial and temporal resolution; *Atmospheric Environment* 36, 5569–5579, 2002

D. Westerdahl, S. Fruin, T. Sax, P. M. Fine, C. Sioutas; Mobile platform measurements of ultrafine particles and associated pollutant concentrations on freeways and residential streets in Los Angeles; *Atmospheric Environment* 39, 3597–3610, 2005

NCDC; 2016; National Climatic Data Center - Climate Data Online; adres: <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/> [dostęp: styczeń - kwiecień 2016]

GIOŚ, 2015; Ocena jakości powietrza – bieżące dane pomiarowe – GIOŚ; adres: <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current#> [dostęp: 10.04.2016]

Google Maps; 2016; adres: <https://maps.google.pl/>

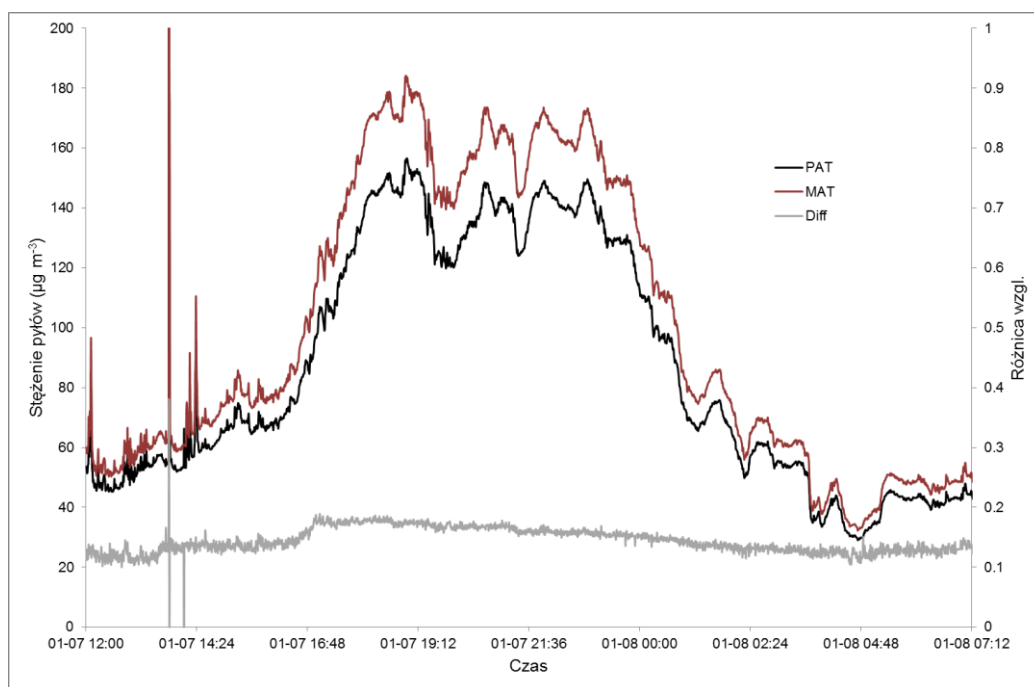
Aneks A.

Kalibracja i walidacja pomiarów prowadzonych z użyciem pyłomierzy DustTrackII firmy TSI.

**Raport sporządzony przez:
mgr inż. Jakub Bartyzel**

Pyłomierze TSI DustTrak II są urządzeniami, których zasada działania oparta jest o rozpraszanie promieniowania laserowego na cząsteczkach aerozolu zawartego w mierzonym powietrzu. Przy wysokich wilgotnościach znaczącą część zawartego w powietrzu aerozolu stanowią drobne krople pary wodnej. Dla wyeliminowania wpływu wody zawartej w powietrzu na pomiar rzeczywistych stężeń pyłu zawieszonego, należy przeprowadzić zawartą w próbce wodę do fazy gazowej. W celu odparowania zawartej w powietrzu wody należy powietrze ogrzać o kilkadziesiąt stępn celcjusza powyżej punktu rosy. Dla tego celu skonstruowano przepływowe podgrzewacze montowane pomiędzy miejscem poboru próby powietrza a pyłomierzem DustTrack. Podgrzewacz ogrzewa powietrze w liniowym przepływie na odcinku 20cm. Nominalna moc podgrzewacza (40W) pozwala na ogrzanie powietrza w niemal każdych warunkach atmosferycznych. W celu ułatwienia pomiarów terenowych podgrzewacz ma możliwość pracy zarówno przy zasilaniu 230V AC jak również 24V DC. Sterowanie temperaturą podgrzewacza odbywa się za pomocą modułu PID. W przeprowadzonych testach powietrze na wejściu do pyłomierza miało temperaturę na poziomie 48°C.

Na rysunku 1 przedstawiono porównanie odczytów stężeń PM_{2.5} dwóch skalibrowanych pyłomierzy przy czym jeden (PAT) wyposażony był w ogrzewacz mierzonego powietrza natomiast drugi (MAT) mierzył bezpośrednio powietrze atmosferyczne. Pyłomierze ustawione były w jednym punkcie i mierzyły powietrze doprowadzane z zewnątrz. Średnia wilgotność względna powietrza w okresie pomiaru wynosiła 62.5%.



Rys. 1. Porównanie pomiędzy pyłomierzami z podgrzewaniem próbki oraz bez podgrzewania.

Z rys. 1 widać wyraźnie iż różnice pomiędzy pyłomierzami wahają się pomiędzy 10 a 15%, przy czym wyniki z pyłomierza nie wyposażonego w kondycjonowanie powietrza mierzonego są wyraźnie zawyżane.

Kolejnym, ważnym etapem przygotowania pyłomierzy do pomiarów jest ich kalibracja. Pierwotna kalibracja producenta pyłomierzy TSI zakłada ich porównanie z pyłomierzem referencyjnym w obecności pyłu wzorcowego zwanego Arizona Road Dust. Pył wzorcowy jest w tym przypadku pyłem mineralnym. Z literatury wiadomo, iż pył w środowisku miejskim składa się w ok. 40% z węgla elementarnego. Albedo takiego pyłu może w sposób znaczący różnić się od albedo pyłu wzorcowego używanego przez TSI. Zakładając iż albedo „pyłu krakowskiego” będzie niższe niż pyłu wzorcowego, wyniki podawane przez pyłomierze skalibrowane fabrycznie będą zawyżane. W celu uniknięcia tych rozbieżności skalibrowano pyłomierze TSI w oparciu o metodę grawimetryczną.

Pyłomierze zaopatrzone w ogrzewanie toru próbki dokonywały pomiarów w dwóch 24 godzinnych cyklach w okresie 15-17 stycznia 2015 roku. W pierwszym cyklu mierzone były pyły PM_{2.5} natomiast w drugim PM₁₀. Równoległe z zastosowaniem odpowiednich impaktorów zbierane były pyły na filtrze służącym do pomiarów grawimetrycznych. Otrzymane wyniki przedstawiono w Tabeli 1.

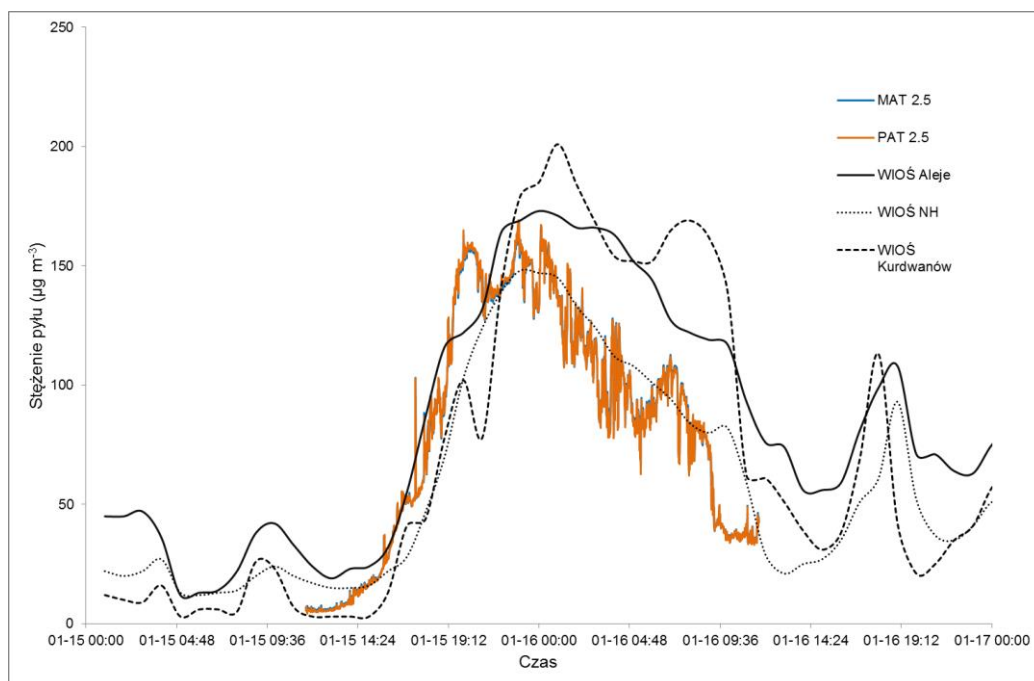
Tabela 1. Wyniki kalibracji grawimetrycznej pyłomierzy TSI (wartości średnie z 24h).

Fracja	Metoda grawimetryczna ($\mu\text{g m}^{-3}$)	MAT		PAT	
		($\mu\text{g m}^{-3}$)	wsp.	($\mu\text{g m}^{-3}$)	wsp.
PM 2.5	83.85	350	0.2397	315	0.2662
PM 10	67.08	166	0.4041	166	0.4040

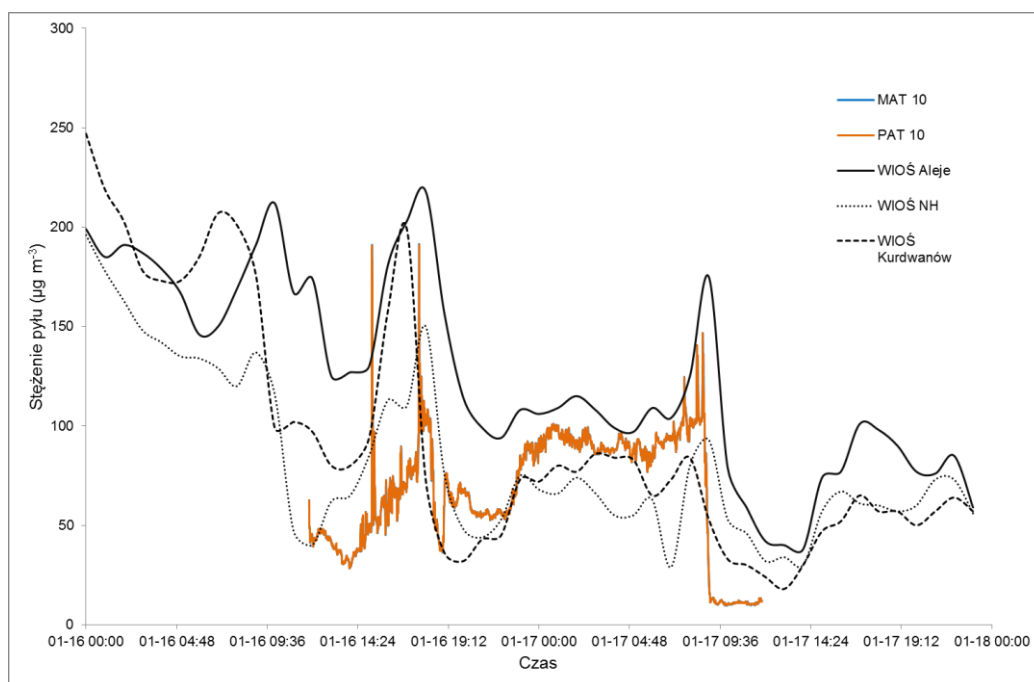
Niepewność wyliczonych współczynników wynosi 0.008 na poziomie ufności 95%.

Zawartości pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym w trakcie czasie kalibracji przedstawiono na rys. 2 i 3. Rysunki przedstawiają mierzone wartości stężenia danej frakcji pyłu po

dokonaniu poprawek kalibracyjnych. Na przebiegi uzyskane przez pyłomierze DustTrak nałożono wartości raportowane dla trzech punktów pomiarowych WIOŚ w Krakowie. Z rysunków widać doskonałą zgodność pomiędzy odczytami z dwóch pyłomierzy fotometrycznych oraz zbierność otrzymanych trendów oraz zakresów zmienności stężeń pyłu zawieszonego z danymi raportowanymi przez WIOŚ.

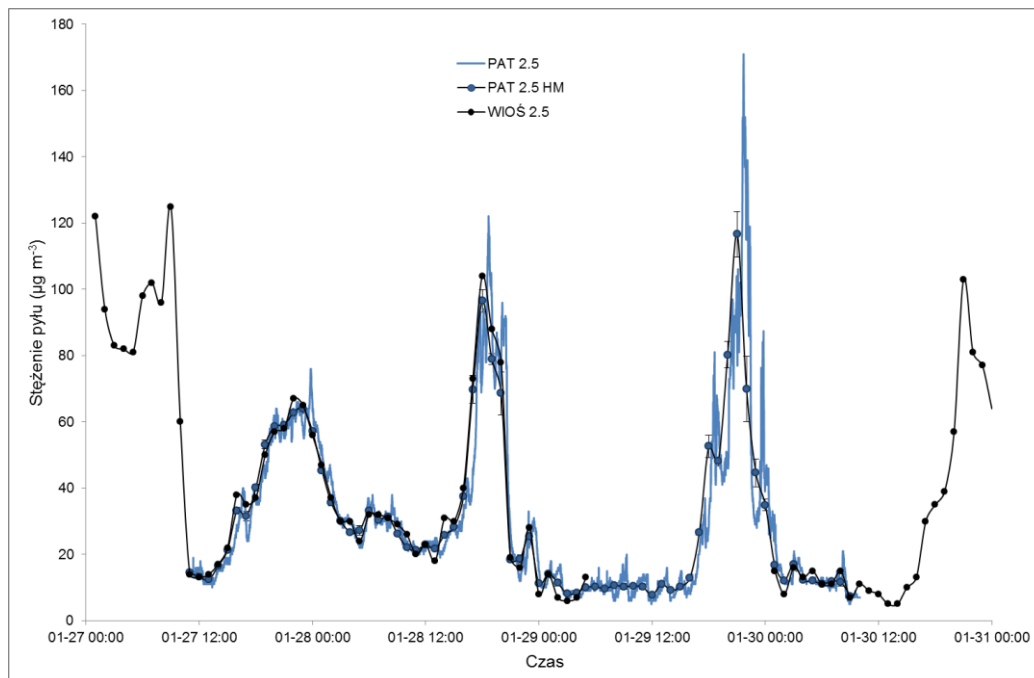


Rys. 2. Wyniki kalibracji grawimetrycznej pyłomierzy fotometrycznych (PAT i MAT) dla pyłu zamieszonego PM2.5 w odniesieniu do stężeń raportowanych przez WIOŚ w Krakowie.



Rys. 3. Wyniki kalibracji grawimetrycznej pyłomierzy fotometrycznych (PAT i MAT) dla pyłu zamieszonego PM10 w odniesieniu do stężeń raportowanych przez WIOŚ w Krakowie.

Ponieważ dane uzyskiwane z pyłomierzy DustTrak mają być porównywane bezpośrednio z danymi prezentowanymi przez WIOŚ w Krakowie, przeprowadzono bezpośrednie porównanie stężeń pyłu PM_{2.5} mierzonych na stacji WIOŚ położonej w dzielnicy Kurdwanów ze stężeniami mierzonymi pyłomierzem DustTrack (PAT) uprzednio skalibrowanym grawimetrycznie. Został on zainstalowany w stacji na okres 3 dni (27 do 30 stycznia 2015).



Rys. 4. Porównanie stężeń frakcji PM_{2.5} mierzonych skalibrowanym grawimetrycznie pyłomierzem DustTrack (PAT) (niebieska krzywa ciągła oraz średnie godzinne) oraz wyników prezentowanych przez WIOŚ dla stacji Kurdwanów (średnie godzinne).

Na rysunku 4 przedstawiono porównanie wyników otrzymanych z pyłomierza DustTrak z danymi zwalidowanymi dostarczonymi przez WIOŚ dla stacji Kurdwanów. Dla pyłomierza DustTrak przedstawiono dane bezpośrednie, mierzone co 30s (niebieska linia) oraz średnie godzinowe (granatowe punkty), wyniki WIOŚ otrzymywane metodą absorpcji promieniowania beta dostępne są wyłącznie w formie średnich godzinowych (czarne punkty). Podane na rysunku słupki obrazują zmienność danych mierzonych pyłomierzem TSI na poziomie ufności 95%. Jak widać z rysunku, zgodność między obiema metodami pomiarowymi jest bardzo dobra. Średnie różnice nie przekraczają 10% wartości mierzonej.

Aneks B.

Rozbudowa i doposażenie pyłomierzy DustTrak II firmy TSI

Raport sporządzony przez:
dr inż. Jakub Bartyzel

Rozbudowa i doposażenie pyłomierzy DustTrak II miała na celu dostosowanie pyłomierzy do pomiarów mobilnych oraz pomiarów stacjonarnych z quasi ciągłą transmisją danych. Tworzony układ pomiarowy bazuje na pyłomierzu TSI DustTrak II. Zasada działania urządzenia oparta jest o rozpraszanie promieniowania laserowego na cząsteczkach aerozolu zawartego w mierzonym powietrzu.

Urządzenie DustTrak II nie jest odporne na bezpośrednie działanie warunków atmosferycznych. Pyłomierz zabudowano w obudowie o stopniu szczelności IP66. Przepusty kablowe zamontowane w obudowie również zachowują odpowiedni poziom szczelności. Wyłącznie w spodniej części obudowy wykonano otwory umożliwiające ucieczkę z obudowy powietrza pompowanego przez pyłomierz. Do zastosowań mobilnych można urządzenie DustTrak przymocować do obudowy.

Zarówno pyłomierz jak i zamontowane peryferia wymagają ciągłego zasilania. W urządzeniach DustTrakII zamontowane są fabrycznie akumulatory typu Li-Ion (6600 mAh). Pozwalają one na ciągłą pracę urządzenia przez około 6 godzin. Dla zapewnienia ciągłego zasilania zarówno przy pomiarach stacjonarnych jak i mobilnych zainstalowano w obudowie moduł zasilania. Pyłomierz wymaga napięcia zasilania 24V DC. Moduł zasilania zapewnia na wyjściu napięcie 24V DC. W module zainstalowano zasilacz impulsowy 230V AC o wydajności prądowej 3.2 A oraz przetwornicę DC/DC o tolerancji napięć wejściowych 9.2 – 18V DC oraz wydajności prądowej 2.1 A. Moduł zasilający wyposażony został we wtyczkę do-gniazdkową 230V AC oraz we wtyczkę pasującą do gniazda zapalniczki samochodowej 12V DC. Wybór źródła zasilania następuje za pomocą odpowiedniego przełącznika. Moduł zasilania posiada dwa wyjścia, do podłączenia pyłomierza TSI oraz pozostałych peryferii.

Głównym elementem wykonawczym pozwalającym na akwizycję oraz obróbkę danych jest mikrokontroler Atmega 2560 na płycie prototypowej Arduino. Zarówno mikrokontroler jak i pozostałe peryferia elektroniczne zostały zabudowane w plastikowej obudowie zamontowanej w głównej obudowie odpornej na warunki atmosferyczne. W obudowie zainstalowano przetwornicę DC/DC pozwalającą na zasilanie układów elektronicznych napięciem 12V DC.

Przy wysokich wilgotnościach znaczącą część zawartego w powietrzu aerozolu stanowią drobne krople pary wodnej. Dla wyeliminowania wpływu wody zawartej w powietrzu na pomiar rzeczywistych stężeń pyłu zawieszonego, należy przeprowadzić zawartą w próbce wodę do fazy gazowej. W celu odparowania zawartej w powietrzu wody należy powietrze ogrzać o kilkadziesiąt stopni Celsjusza powyżej punktu rosy. Skonstruowano przepływowy podgrzewacz montowany w obudowie pomiędzy miejscem poboru próby powietrza a pyłomierzem DustTrak. Podgrzewacz ogrzewa powietrze w liniowym przepływie na odcinku około 20 cm. Nominalna moc podgrzewacza (40W) przy zasilaniu napięciem 24V DC pozwala na ogrzanie powietrza w niemal każdych warunkach

atmosferycznych. Podgrzewacz sterowany jest przez mikrokontroler Atmega za pomocą przełącznika mechanicznego oraz opto-przełącznika. Sterowanie odbywa się w oparciu o odczyt temperatury bloku grzewczego oraz temperatury na wyjściu z podgrzewacza. Dobór mocy podgrzewacza realizowany jest przez algorytm różniczkująco- całkujący (PID) zaimplementowany w mikrokontrolerze.

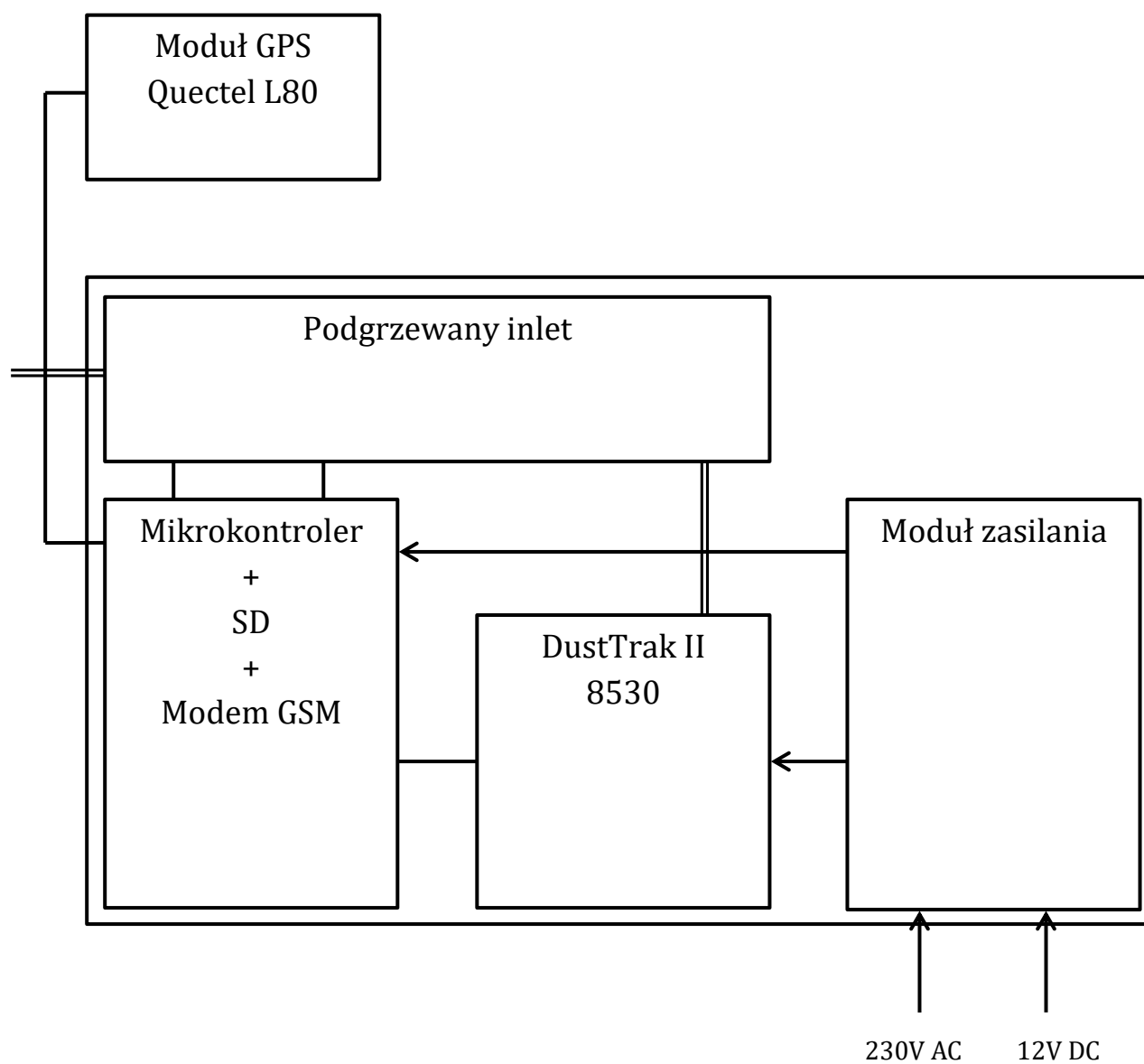
Pyłomierz DustTrak II wyposażony jest w moduł komunikacji sieciowej. Komunikacja wymaga jednak użycia oprogramowania TrakPro. Na czas zgrywania danych z pyłomierza konieczne jest zatrzymanie pomiarów. Nie istnieje możliwość zautomatyzowania zgrywania danych w oprogramowaniu TrakPro. Wykorzystano wyjście analogowe pyłomierza DustTrak na które podawane jest napięcie 0-5V bezpośrednio powiązane z wartością mierzonej w powietrzu zawartości aerozolu. Napięcie z wyjścia analogowego pyłomierza podane zostało na wejście konwertera analogowo cyfrowego mikrokontrolera Atmega 2560. Mikrokontroler przelicza mierzone napięcie na wartość korespondującą z pomiarem pyłomierza DustTrak II.

Przy pomiarach mobilnych konieczna jest szybka identyfikacja położenia pyłomierza oraz bezpośrednie przypisanie położenia do mierzonej wartości. Przy pomiarach stacjonarnych znajomość położenia pozwala na identyfikację punktu w jakim dokonywane są pomiary. Wykorzystano moduł odbiornika GPS Quectel L80. Moduł daje możliwość odczytu położenia z częstotliwością 5Hz. Pyłomierz wraz z zabudową można montować w pojeździe. W celu eliminacji zakłóceń wynikających z obecności elementów ekranujących moduł GPS zamontowano w zewnętrznej obudowie o stopniu szczelności IP66 połączonej z główną obudową oraz mikrokontrolerem kablem o długości 2m. Zaopatrzenie obudowy modułu GPS w magnes neodymowy pozwala na montaż modułu GPS na dachu pojazdu, w którym instalowany jest pyłomierz.

Mikrokontroler został połączony z modułem pozwalającym na zapis danych na kartę pamięci SD. Dane pochodzące z pyłomierza, modułu GPS (długość i szerokość geograficzna, wysokość nad poziomem morza, prędkość, data, godzina), temperatura inletu logowane są na kartę SD umieszczoną w obudowie elektroniki z częstotliwością taktowania modułu GPS. Dane zapisane na karcie pamięci umożliwiają prowadzenie późniejszej interpretacji, przy pomiarach mobilnych oraz walidację przy pomiarach stacjonarnych.

Wartości mierzone przez pyłomierz uzyskiwane z wyjścia analogowego oraz dane GPS uśredniane są w interwale 5 min. Następnie wysyłane są na serwer za pomocą modemu GSM/GPRS podłączonego do mikrokontrolera. Dla minimalizacji zakłóceń modem wyposażony jest w antenę zewnętrzną zamocowaną na spodniej części pokrywy obudowy pyłomierza.

Powyższa konfiguracja zabudowy pyłomierza pozwala na prowadzenie ciągłych pomiarów stacjonarnych z możliwością wysyłania otrzymywanych danych (stężenie pyłu zawieszonego, współrzędne geograficzne) na serwer w interwale 5 min. Przy pomiarach mobilnych wysyłanie danych na serwer można wyłączyć gdyż są one zbierane na kartę pamięci zamontowaną w urządzeniu z częstotliwością taktowania modułu GPS. Moduł zasilania pozwala na zastosowanie urządzenia w pomiarach stacjonarnych z zasilaniem 230V AC jak również w pomiarach mobilnych przy zasilaniu z gniazda zapalniczki samochodowej lub akumulatora. Ogrzewanie powietrza dostającego się do pyłomierza pozwala uniknąć zawyżania otrzymywanych wartości spowodowanego obecnością cząsteczek wody w mierzonym powietrzu.



Rys. 1. Schemat zabudowy pyłomierza DustTrak II