

AGH

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA
W KRAKOWIE**

**Analiza zmienności zanieczyszczenia powietrza
w Krakowie pyłem zawieszonym PM_{2.5} na
podstawie wybranych metod krigingu**

Kraków 14.02.2024

Agnieszka Ramian

Marcin Adolf

Piotr Powroźnik

Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Materiały	3
3. Wyniki	4
3.1. Sobota 20.01.2024.....	4
Podsumowanie dnia:	16
3.2. Wtorek 23.01.2024.....	17
Podsumowanie dnia:	29
3.3. Czwartek 25.01.2024	30
Podsumowanie dnia:	42
4. Podsumowanie	43
5. Metody badawcze	44
6. Bibliografia.....	50

1. Wstęp

Głównym celem projektu było przeprowadzenie analizy zmienności zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM2.5 w Krakowie.

PM2.5 są to aerozole atmosferyczne o średnicy, która nie przekracza 2,5 μm . Ten rodzaj pyłu zawieszonego uznawany jest za jedno z najbardziej szkodliwych dla zdrowia ludzkiego zanieczyszczeń powietrza. Głównym tego powodem jest jego bardzo mała wielkość, która pozwala mu na bezpośrednie przedostawanie się do krwiobiegu. Długotrwałe narażenie na jego działanie może doprowadzić m.in. do:

- nasilenia astmy,
- osłabienia czułości płuc,
- miażdżycy,
- nowotworów układu oddechowego,
- problemów oddechowych u noworodków,
- zapalenia naczyń krwionośnych,
- osłabienia czynności płuc,
- zaburzeń rytmu serca
- nasilenia objawów chorób układu krwionośnego i oddechowego.

Ze względu na bardzo wysoką szkodliwość pyłu zawieszonego PM2.5 wprowadzone zostały odpowiednie normy, których przekroczenie skutkuje ogłoszeniem alarmu. Światowa organizacja zdrowia (WHO) ustaliła normę średniego dobowego stężenia pyłu zawieszonego PM2.5 na 25 mikrogramów na metr sześcienny, a roczna norma to 10 mikrogramów na metr sześcienny (Airly, 2024).

Projekt miał także na celu wykonanie analizy porównawczej różnych metod krigingu dostępnych w języku R poprzez pakiet *automap*.

2. Materiały

Przeprowadzona w projekcie analiza oparta została o dane z czujników Airly, wykorzystano dane temperaturowe oraz o pyłach PM2.5. W celu stworzenia modeli kringingu wykorzystano dane .shp z dzielnicami Krakowa pochodzące z zajęć Metody komputerowe w badaniach klimatu i środowiska.

Do przeprowadzenia analizy posłużono się również danymi o kierunku i sile wiatru pochodzącymi ze strony m.meteo.pl.

3. Wyniki

3.1. Sobota 20.01.2024

- Godzina 8:30

Prędkość wiatru: 4m/s

Kierunek wiatru: SW

Na mapie (Fig 1) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 jest praktycznie jednakowe na terenie całego Krakowa, wartości zawierają się w przedziale od 14 do 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W południowej części Krakowa zaobserwować można ognisko nieco wyższego zanieczyszczenia, natomiast w północnej części zanieczyszczenie osiąga niższe wartości.

Na mapie (Fig 2) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. -3.5°C. W okolicach czujników temperatura jest bardziej zróżnicowana, osiąga najniższe wartości równe ok. -4.5°C, a najwyższe wynoszą ok. -1.5°C.

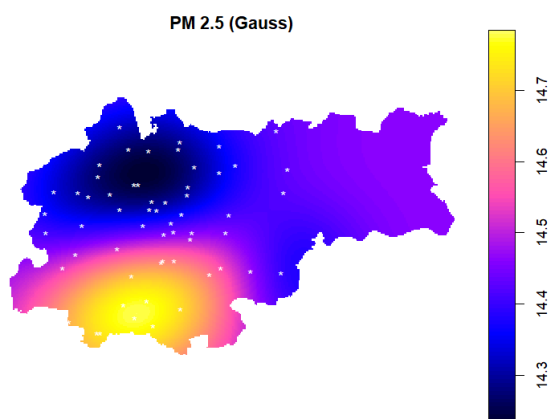


Fig 1 Mapa PM2.5 kriling Gaussowski

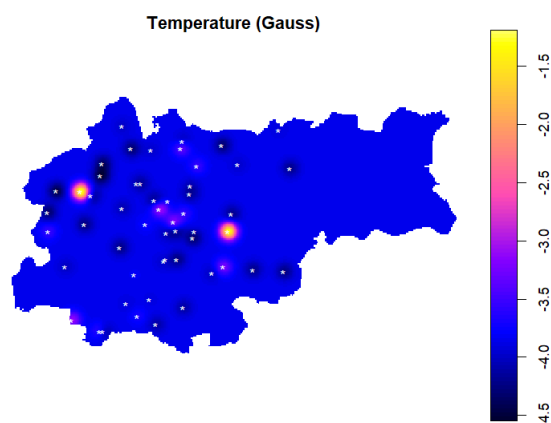


Fig 2 Mapa Temperatury kriling Gaussowski

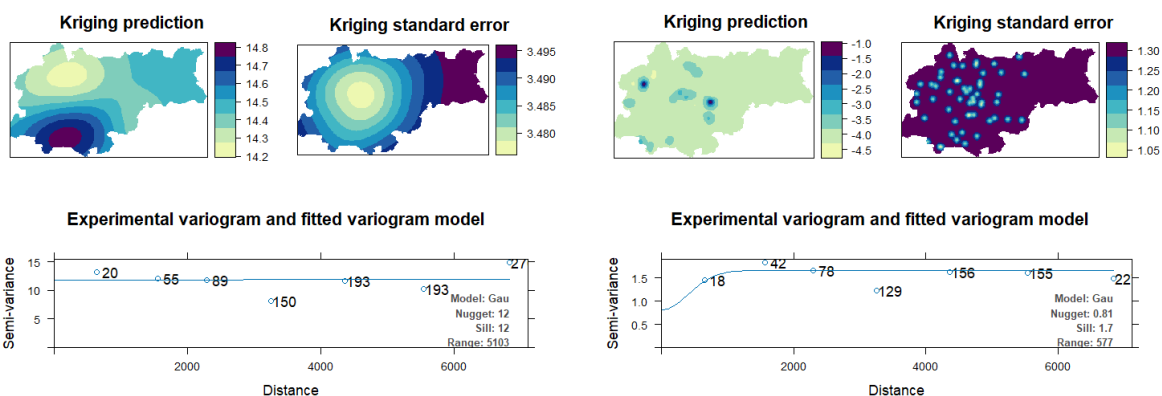


Fig 3 Wykres krilingu Gaussowskiego dla PM2.5

Fig 4 Wykres krilingu Gaussowskiego dla temperatury

Na mapie (Fig 5) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 jest praktycznie jednakowe na terenie całego Krakowa, wartości zawierają się w przedziale od 12 do 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W południowej części Krakowa zaobserwować można ognisko wyższego zanieczyszczenia osiągające wartość 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w północnej części zanieczyszczenie osiąga wartości wynoszące mniej niż 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

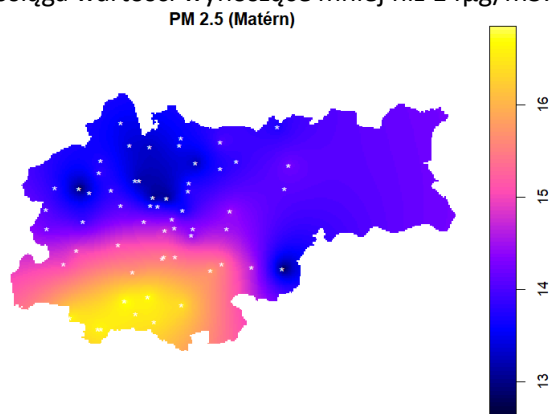


Fig 5 Mapa PM2.5 kriging Materna

Na mapie (Fig 6) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. -3°C. W okolicach czujników temperatura jest bardziej zróżnicowana, osiąga najniższe wartości równe ok. -5°C, a najwyższe wynoszą osiągają wartość 1°C.

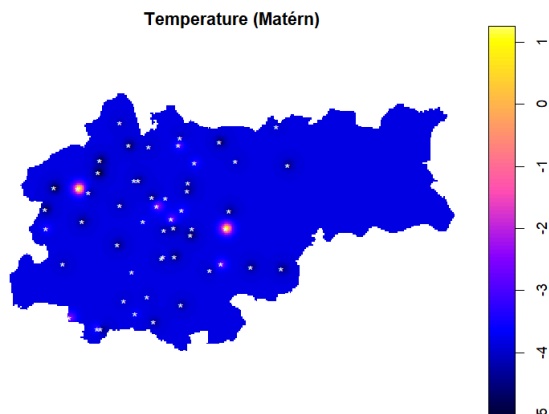


Fig 6 Mapa temperatury kriging Materna

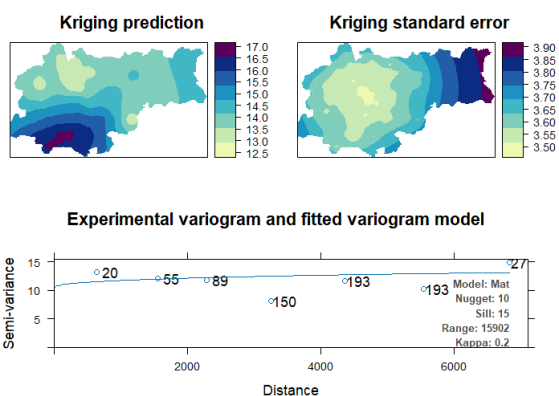


Fig 7 Wykres kringingu Materna dla PM2.5

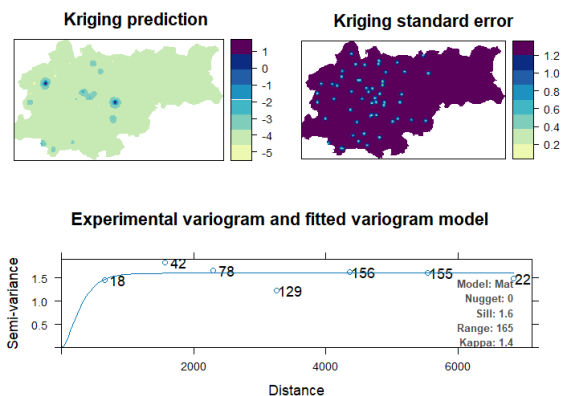


Fig 8 Wykres kringingu Materna dla PM2.5

Na mapie (Fig 9) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 na terenie Krakowa tworzy 4 strefy o różnych wartościach zanieczyszczenia, wartości stężenia PM2.5 zawierają się w przedziale od 12 do 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W południowej części Krakowa zaobserwować można ognisko wyższego zanieczyszczenia osiągające wartość powyżej 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w północnej i wschodniej części zanieczyszczenie osiąga wartości wynoszące ok. 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

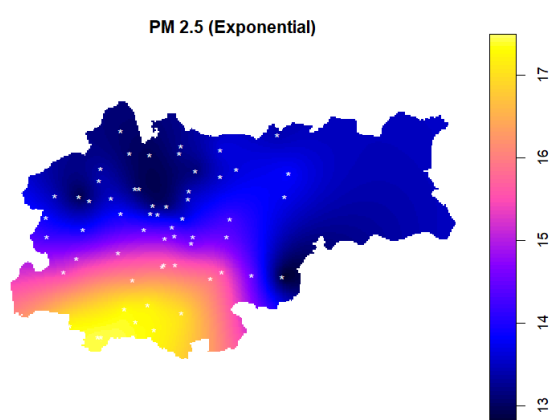


Fig 9 Mapa PM2.5 kriging Exponentialny

Na mapie (Fig 10) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. -3°C. W okolicach czujników temperatura jest bardziej zróżnicowana, osiąga najniższe wartości równe ok. -4.5°C, a najwyższe osiągają wartość do 1°C.

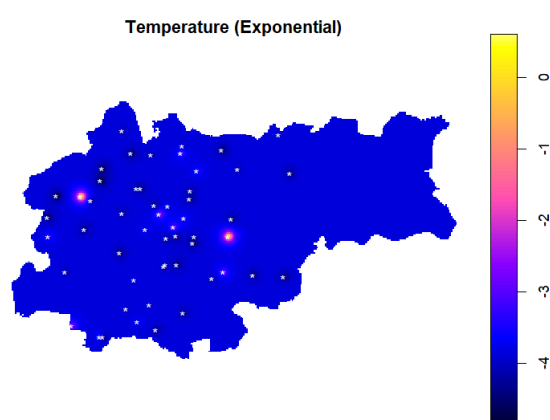


Fig 10 Mapa PM2.5 kriging Exponentialny

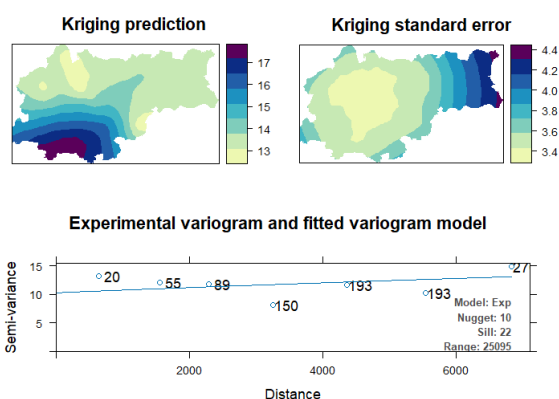


Fig 11 Wykres krigingu Exponentialnego dla PM2.5

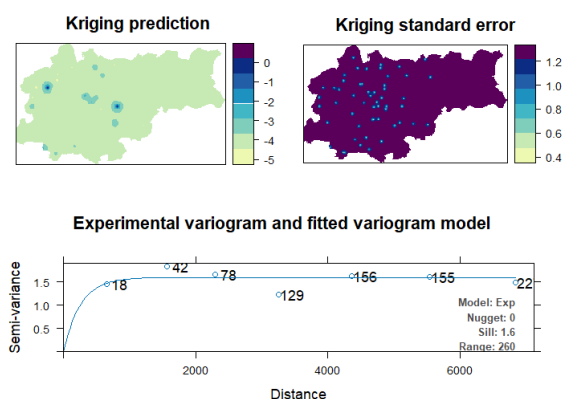


Fig 12 Wykres krigingu Exponentialnego dla temperatury

Na mapie (Fig 5) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 jest praktycznie jednakowe na terenie całego Krakowa, wartości zawierają się w przedziale od 12 do 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W południowej części Krakowa zaobserwować można ognisko wyższego zanieczyszczenia osiągające wartość 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w północnej części Krakowa zaobserwować można ognisko niższego zanieczyszczenia, które osiąga wartości wynoszące ok. 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

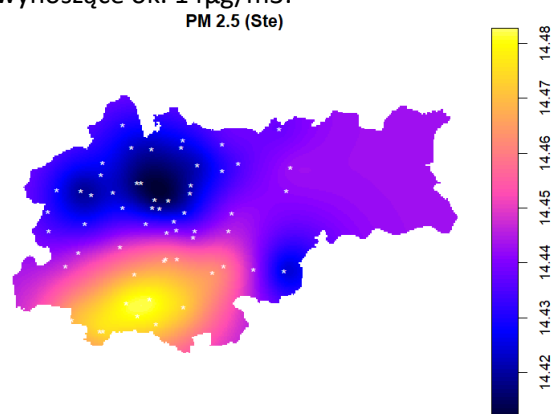


Fig 13 Mapa PM2.5 kriging Ste

Na mapie (Fig 14) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. -3°C. W okolicach czujników temperatura jest bardziej zróżnicowana, osiąga najniższe wartości równe ok. -5°C, a najwyższe wynoszą ok. 1°C.

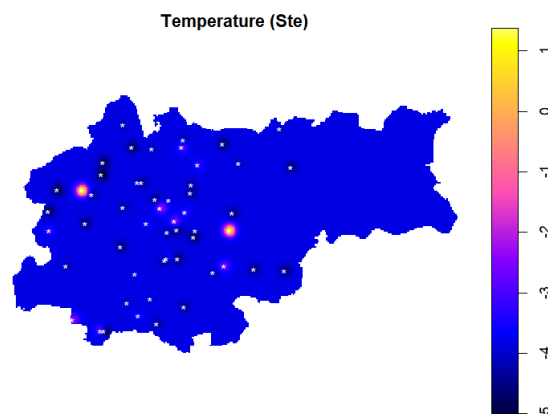


Fig 14 Mapa temperatury kriging Ste

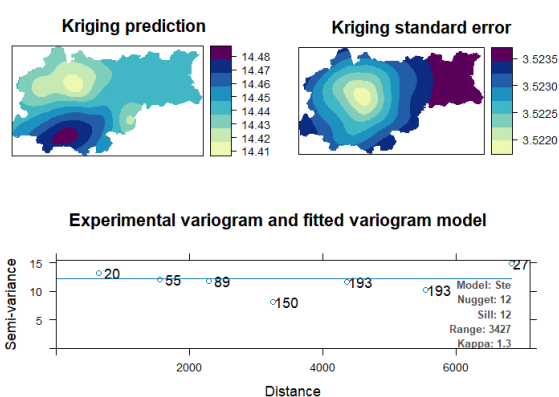


Fig 15 Wykres kringingu Ste dla PM2.5

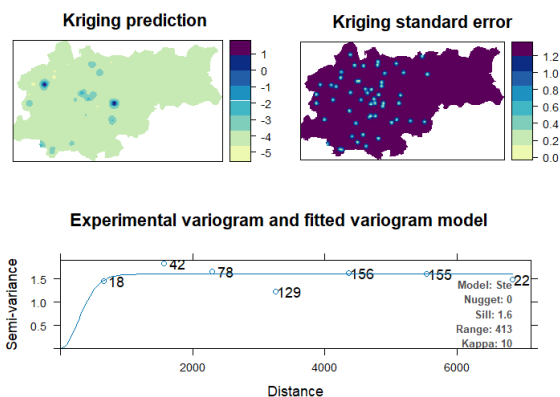


Fig 16 Wykres kringingu Ste dla temperatury

- Godzina: 18:00

Prędkość wiatru: 5m/s

Kierunek wiatru: SW

Na rysunku (Fig 17) widać nieudaną próbę narysowania mapy z wykorzystaniem krugingu Gaussowskiego.

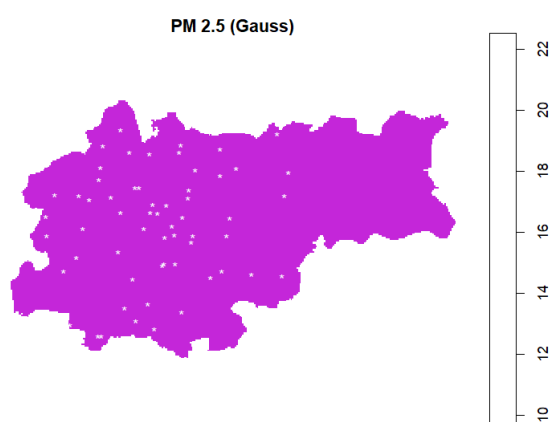


Fig 17 Mapa PM2.5 krugingu gaussowski

Temperatura powietrza na całym obszarze Krakowa (Fig 18) wynosi około -1,5 stopnia. Jest jednak sporo punktów, zwłaszcza w północno-zachodnich regionach, gdzie temperatura powietrza osiąga najniższe wartości, nawet poniżej -2 stopni. Największe wartości temperatury przekraczają 0,5 stopnia.

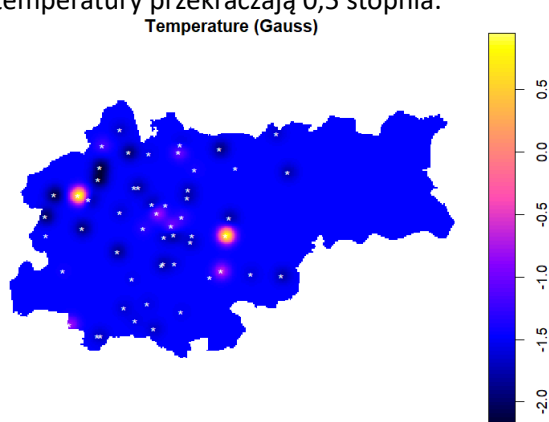


Fig 18 Mapa temperatury krugingu gaussowski

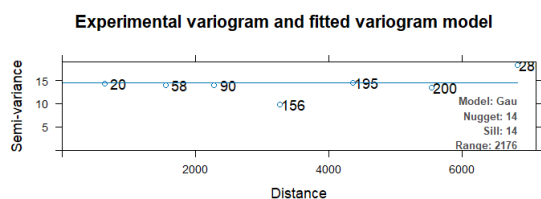
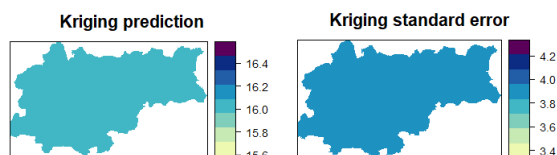


Fig 19 Wykres krugingu Gaussowskiego dla PM2.5

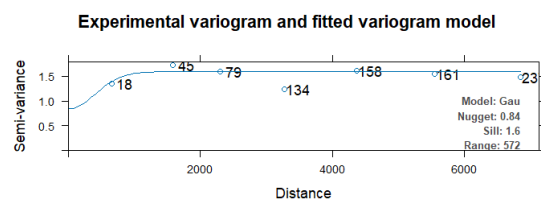
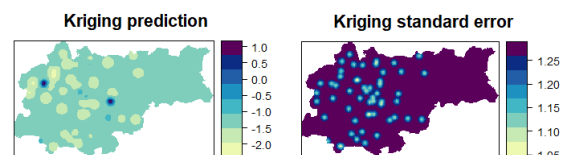


Fig 20 Wykres krugingu Gaussowskiego dla temperatury

W tej metodzie krilingu na obszarze Krakowa (Fig 21) zanieczyszczenie powietrza rozkłada się różnorodnie. Największe zanieczyszczenie PM 2,5 znajduje się w południowych rejonach i wynoszą około 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Zanieczyszczenie powietrza maleje w kierunku wschodnim a najniższa wartość nie przekracza 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

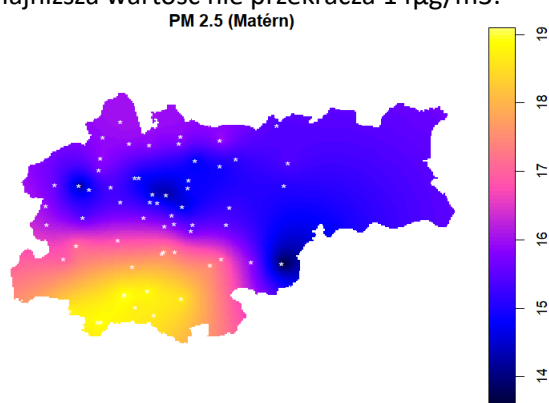


Fig 21 Mapa PM2.5 krilingu Materna

Temperatura powietrza w większości obszaru Krakowa (Fig 22) wynosi około -1 stopni. Jest wiele punktów, gdzie temperatura wynosi poniżej -2 stopni. Najwyższe odnotowane temperatury przekraczają 3 stopnie. Są to jednak niewielkie obszary, w całym regionie temperatura powietrza jest bardzo podobna.

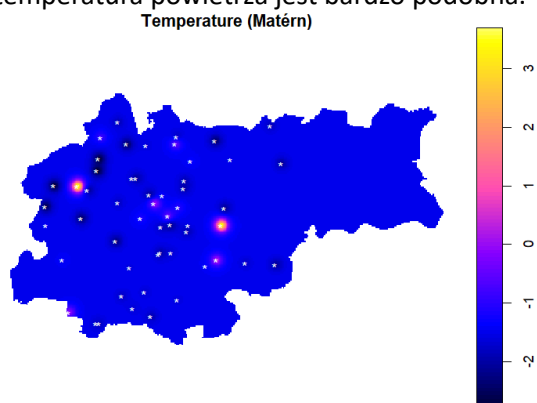


Fig 22 Mapa temperatury krilingu Materna

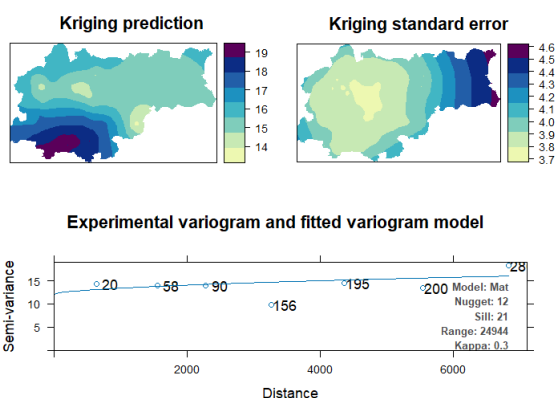


Fig 23 Wykres krilingu Materna dla PM2.5

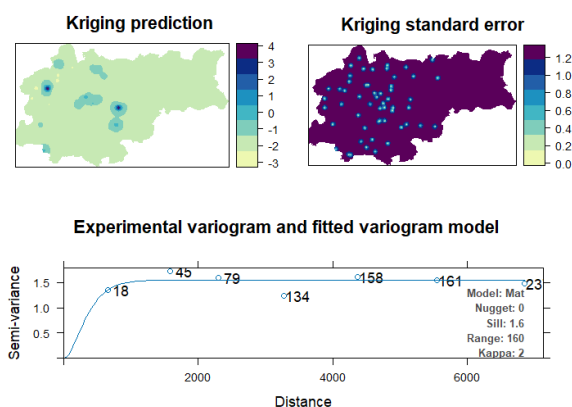


Fig 24 Wykres krilingu Materna dla temperatury

W tej metodzie krugingu na całym obszarze Krakowa (Fig 25) zanieczyszczenie powietrza jest rozłożone różnie. Najwyższe odnotowane zanieczyszczenie PM 2,5 jest w południowych regionach i wynosi $19\mu\text{g}/\text{m}^3$. Zaczyna się obniżać w kierunku wschodnim, gdzie zanieczyszczenie odznacza się najniższą wartością na poziomie poniżej $14\mu\text{g}/\text{m}^3$.

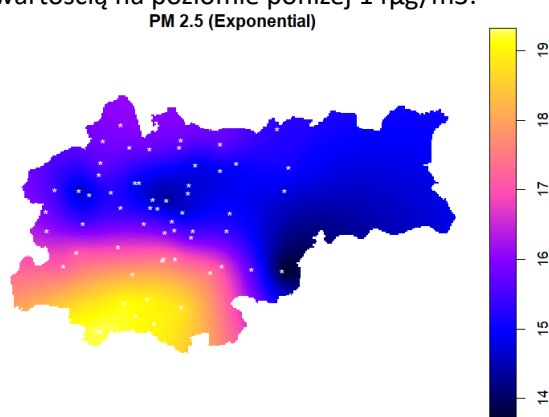


Fig 25 Mapa PM2.5 kringing Exponentialny

Temperatura powietrza na całym obszarze (Fig 26) jest podobna i wynosi około -1 stopni. W pojedynczych punktach zwłaszcza w północno-zachodnich rejonach temperatura określa się najniższą wartością i nie przekracza -2 stopni. Największe odnotowane temperatury wynoszą około 3 stopni.

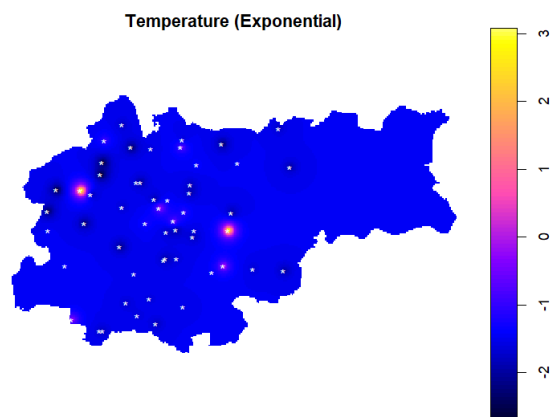


Fig 26 Mapa temperatury kringing Exponentialny

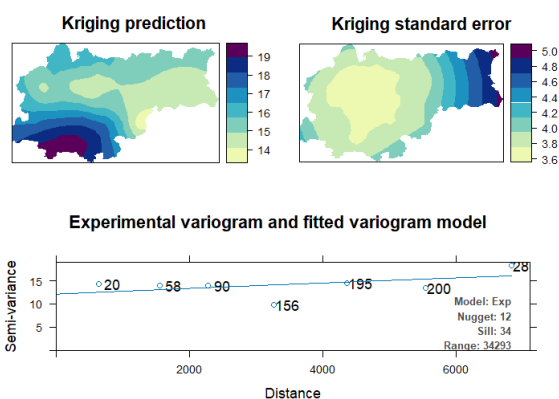


Fig 27 Wykres kringingu Exponentialnego dla PM2.5

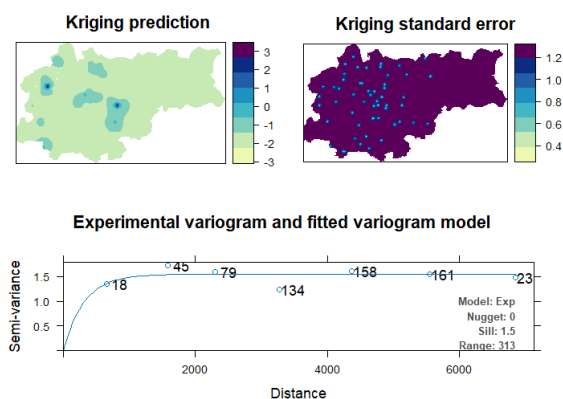


Fig 28 Wykres kringingu Exponentialnego dla PM2.5

W tej metodzie krilingu na całym obszarze Krakowa zanieczyszczenie powietrza jest rozłożone różnie. Największe odnotowane zanieczyszczenia widoczne są w południowych regionach i wynoszą $19\mu\text{g}/\text{m}^3$. Zanieczyszczenie powietrza maleje w kierunku wschodnim i najniższe wartości nie przekraczają $15\mu\text{g}/\text{m}^3$.

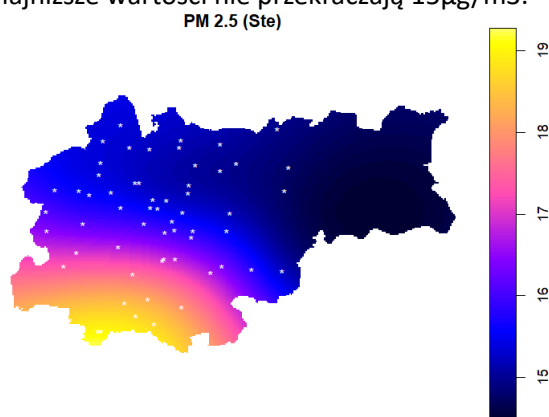


Fig 29 Mapa PM2.5 krilingu Ste

Temperatura powietrza w całym obszarze wynosi około -1 stopni. W niektórych punktach najniższa temperatura nie przekracza -2 stopni. Największe odnotowane temperatury wynoszą ponad 3 stopnie, są to jednak niewielkie obszary, w pozostałych rejonach temperatura jest odmienna.

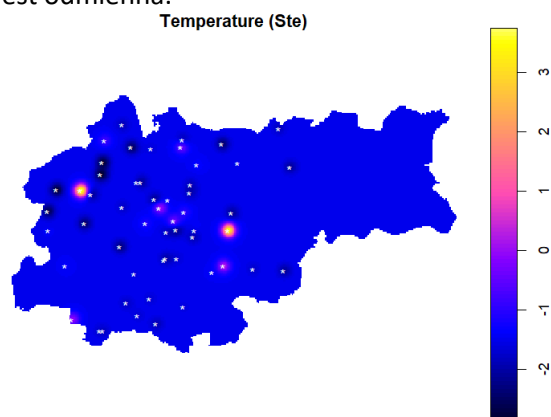


Fig 30 Mapa temperatury krilingu Ste

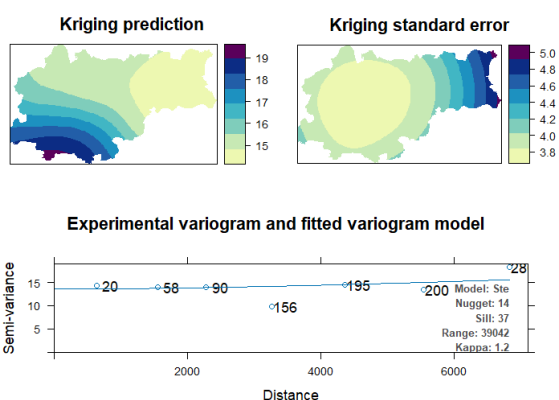


Fig 31 Wykres krilingu Ste dla PM2.5

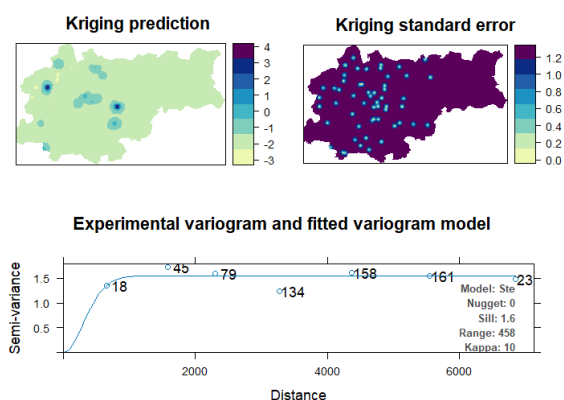


Fig 32 Wykres krilingu Ste dla temperatury

- Godzina: 20:15
Prędkość wiatru: 5m/s
Kierunek wiatru: SW

Na mapie (Fig 33) można zauważyć, że na terenie Krakowa wartości stężenia PM2.5 zawierają się w przedziale od 12 do 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a średnio wynoszą ok 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

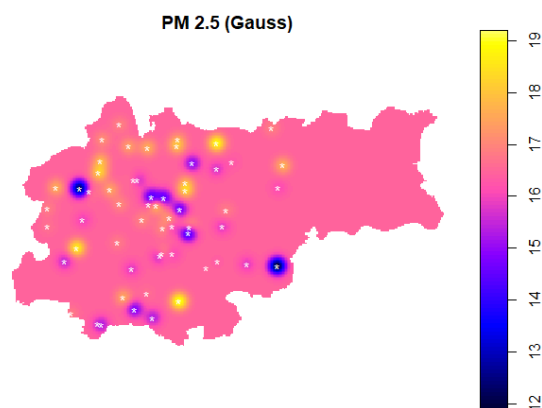


Fig 33 Mapa PM2.5 kringing gaussowski

Na mapie (Fig 35) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. -1.5°C. W okolicach czujników temperatura jest bardziej zróżnicowana, osiąga najniższe wartości równe ok. -2°C, a najwyższe wynoszą ok. 5°C.

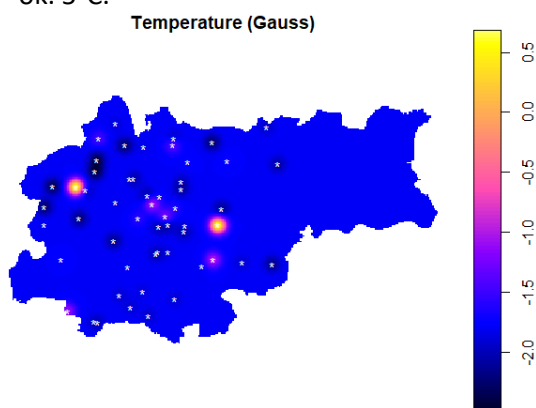


Fig 34 Mapa temperatury kringing gaussowski

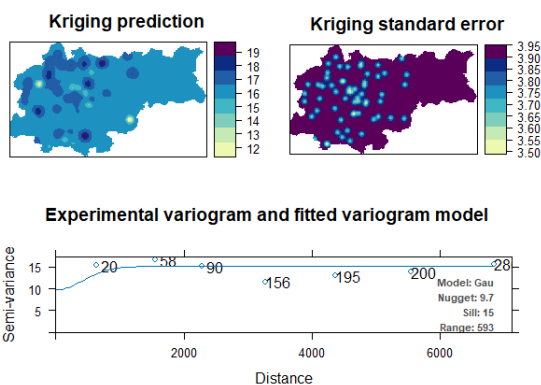


Fig 35 Wykres kringingu Gaussowskiego dla PM2.5

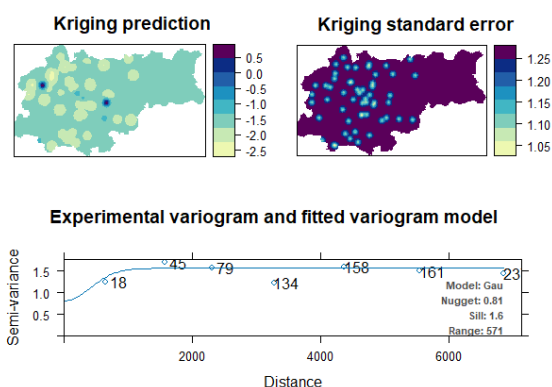


Fig 36 Wykres kringingu Gaussowskiego dla temperatury

Na mapie (Fig 37) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 na terenie całego Krakowa, średnio wynosi około 16 μ g/m³.

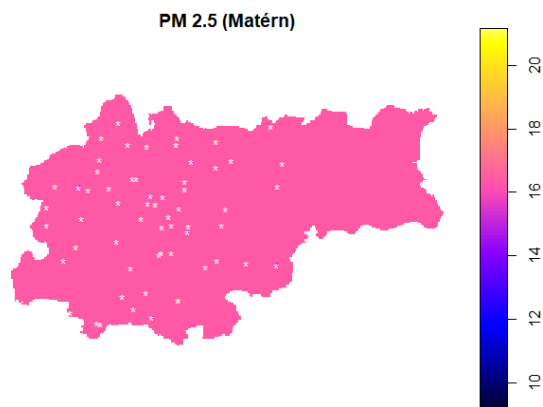


Fig 37 Mapa PM2.5 kriging Materna

Na mapie (Fig 2) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. -1.5°C. W okolicach czujników temperatura jest bardziej zróżnicowana, osiąga najniższe wartości równe ok. -3°C, a najwyższe wynoszą ok. 3°C.

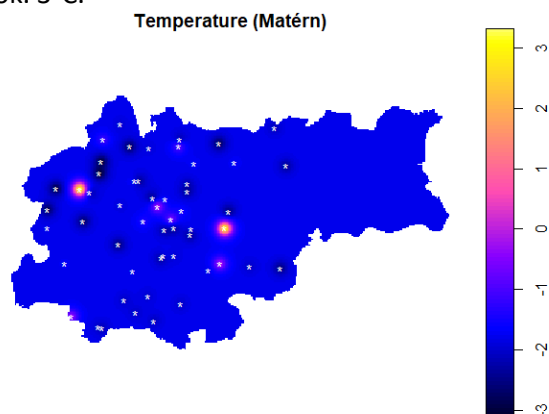


Fig 38 Mapa temperatury kriging Materna

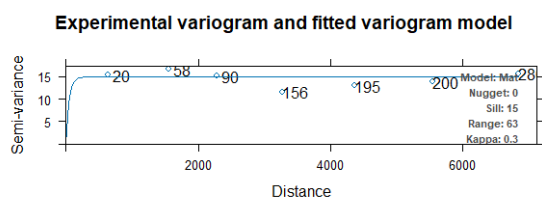
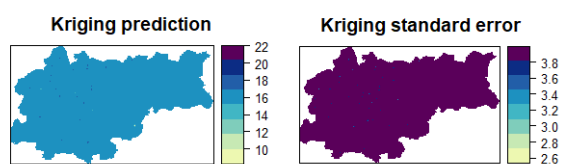


Fig 39 Wykres kringingu Materna dla PM2.5

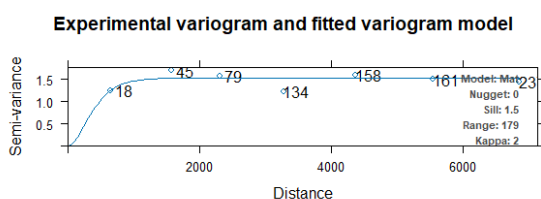
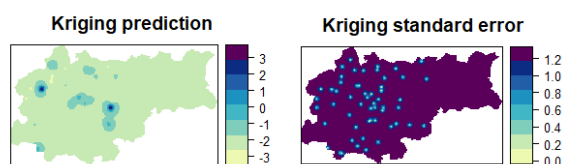


Fig 40 Wykres kringingu Materna dla temperatury

Na rysunku (Fig 41) widać nieudaną próbę narysowania mapy z wykorzystaniem krugingu exponentialnego.

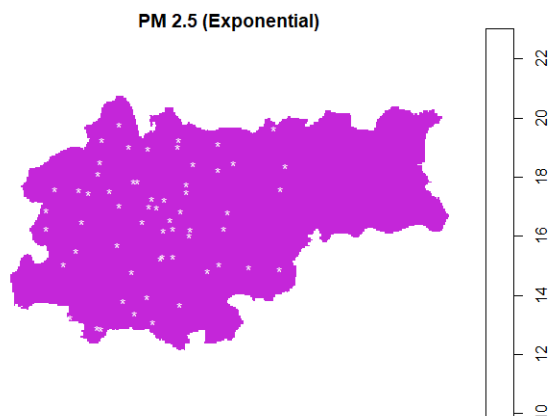


Fig 41 Mapa PM2.5 krugingu Exponentialny

Na mapie (Fig 42) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. -1.5°C . W okolicach czujników temperatura jest bardziej zróżnicowana, osiąga najniższe wartości równe ok. -2.5°C , a najwyższe wynoszą ok. 3°C .

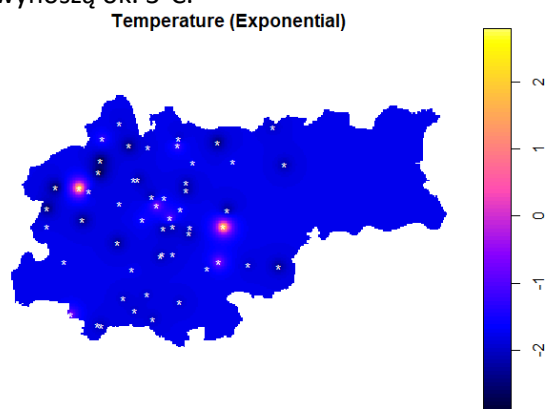


Fig 42 Mapa temperatury krugingu Exponentialny

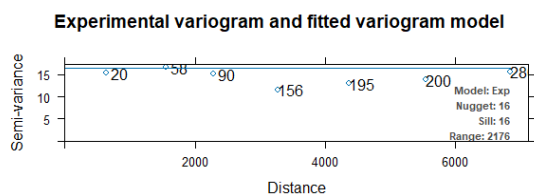
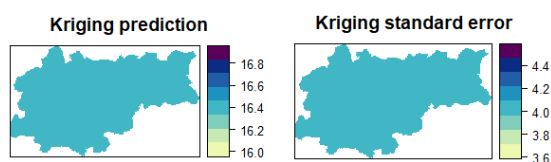


Fig 43 Wykres krugingu Exponentialnego dla PM2.5

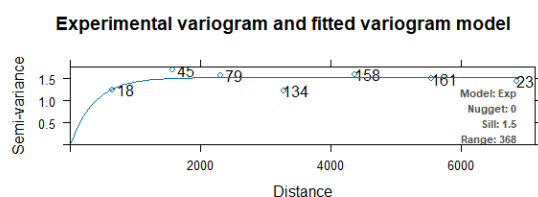
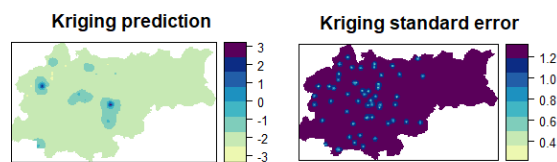


Fig 44 Wykres krugingu Exponentialnego dla temperatury

Na mapie (Fig 45) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 na terenie całego Krakowa, średnio wynosi około 16 μ g/m³.

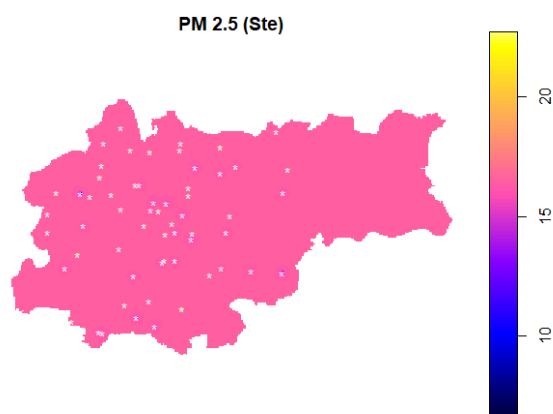


Fig 45 Mapa PM2.5 kriging Ste

Na mapie (Fig 46) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. -1.5°C. W okolicach czujników temperatura jest bardziej zróżnicowana, osiąga najniższe wartości równe ok. -3°C, a najwyższe wynoszą ok. 3°C.

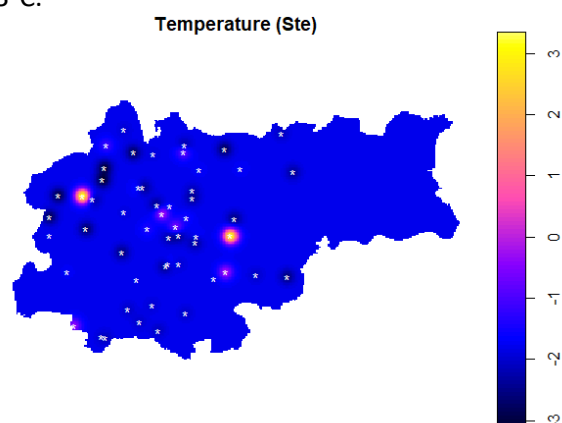


Fig 46 Mapa temperatury kriging Ste

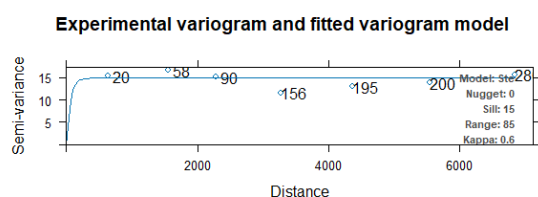
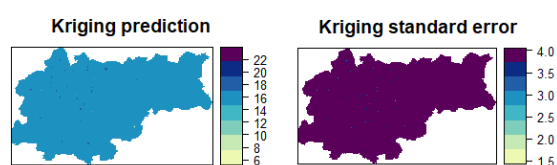


Fig 47 Wykres kringingu Ste dla PM2.5

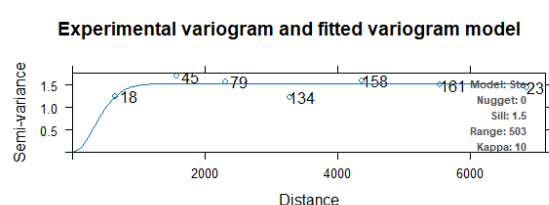
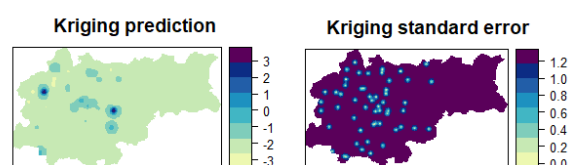


Fig 48 Wykres kringingu Ste dla temperatury

Podsumowanie dnia:

PM2.5:

Rano największe zanieczyszczenie pyłem zawieszonym możliwe jest do zaobserwowania na południu Krakowa, a najmniejsze w północno-zachodniej części miasta. Przyczyną takiej sytuacji może być wiatr wiejący z południowego zachodu. Poranna temperatura wynosiła średnio -3°C (Fig 6), a wartość PM2.5 mieściła się w przedziale od 12 do $17\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fig 5).

W godzinach popołudniowych południowa część miasta, również była obszarem charakteryzującym się największymi wartościami PM2.5. Najmniejsze zanieczyszczenie obserwowalne jest w centrum oraz na południowym wschodzie Krakowa. Popołudniu temperatura wynosiła średnio -1°C (Fig 22), a wartość PM2.5 mieściła się w przedziale od 13 do $19.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fig 21).

Porą wieczorną średnia temperatura w Krakowie wynosiła -1.5°C (Fig 38), a średnie zanieczyszczenie pyłem zawieszonym $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fig 37) i mieściło się w przedziale od 11.5 do $19.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fig 33).

Porównanie metod krigingu:

Dla danych temperaturowych wyniki otrzymane przy użyciu poszczególnych metod krigingu (Fig 2, Fig 4, Fig 6, ... , Fig 48) są bardzo do siebie podobne i różnią się w większości jedynie minimalnymi i maksymalnymi wyświetlanymi wartościami. Na tle wszystkich wyróżnia się metoda Gaussa, której użycie zwróciło wyniki, których zakresy wartości najbardziej różnią się od pozostałych, a błąd standardowy interpolacji krigingowej (Fig 4, Fig 20, Fig 34) jest najwyższy.

Obserwacje te nie mają odzwierciedlenia w przypadku wyników interpolacji dla wartości pomiarów PM2.5. Mapy przy wykorzystaniu każdej z metod udało się wykonać jedynie dla danych pierwszej serii pomiarów (Fig 1, Fig 5, Fig 9, Fig 13), gdzie najmniej dokładną okazała się metoda STE (Fig 15). Dla pomiarów w godzinie 18:00 użycie modelu gaussowskiego zwróciło mapę niezawierającą żadnych istotnych informacji (Fig 17). Sytuacja ta powtórzyła się dla pomiarów z godziny 20:15 i kringingu eksponentalnego (Fig 41).

3.2. Wtorek 23.01.2024

- Godzina: 9:00
Prędkość wiatru: 2.5m/s
Kierunek wiatru: SW

Na mapie (Fig 49) można zauważyć stężenie pyłów PM2.5 na obszarze całego Krakowa było rozłożone równomiernie a jego wartość wynosiła ok. 22 μ g/m³.

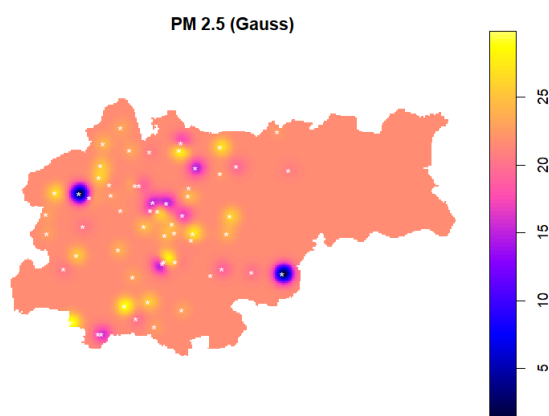


Fig 49 Mapa PM2.5 kringing Gaussowski

Na mapie (Fig 50) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. 2.7°C. W okolicach czujników temperatura osiąga najniższe wartości równe ok. 2.5°C, a najwyższe wartości dochodzą do 4°C.

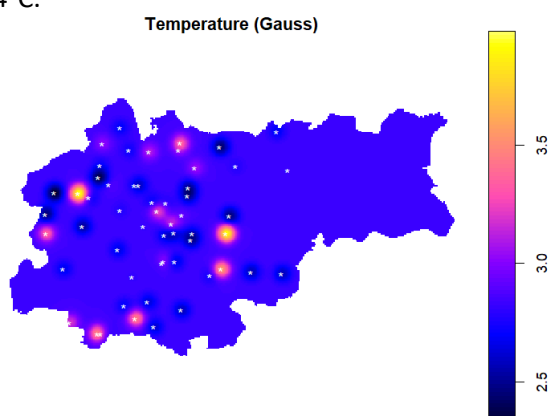


Fig 50 Mapa temperatury kringing Gaussowski

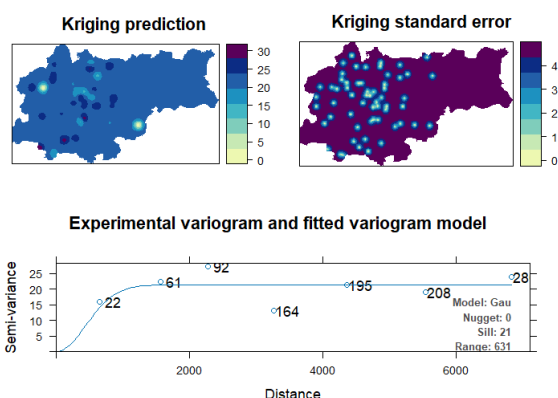


Fig 51 Wykres kringingu Gaussowskiego dla PM2.5

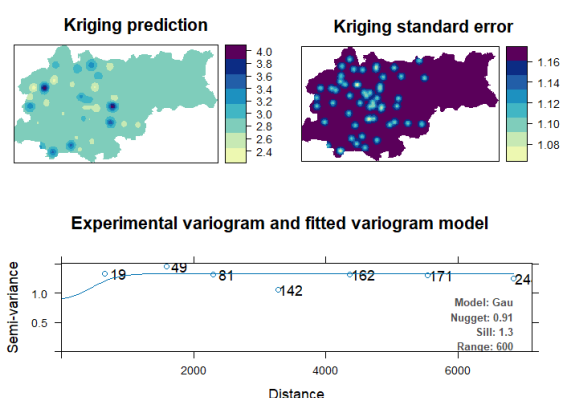


Fig 52 Wykres kringingu Gaussowskiego dla temperatury

Na mapie (Fig 53) można zauważyć stężenie pyłów PM2.5 na obszarze całego Krakowa było rozłożone równomiernie a jego wartość wynosiła ok. 22 μ g/m³.

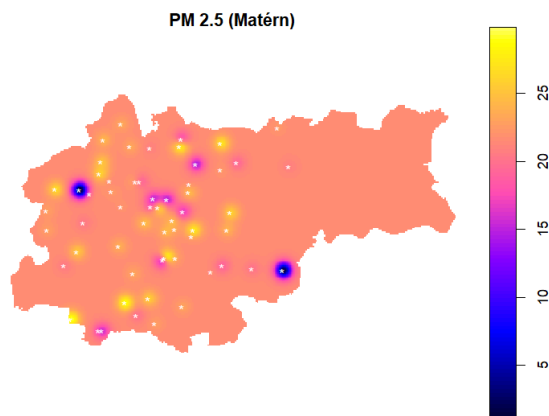


Fig 53 Mapa PM2.5 kriging Materna

Na mapie (Fig 54) można zauważyć, że temperatura powietrza terenie Krakowa wynosiła ok. 3°C. W okolicach czujników temperatura osiąga różne wartości temperatury różniące się od temperatury dla reszty Krakowa o ok. 1°C.

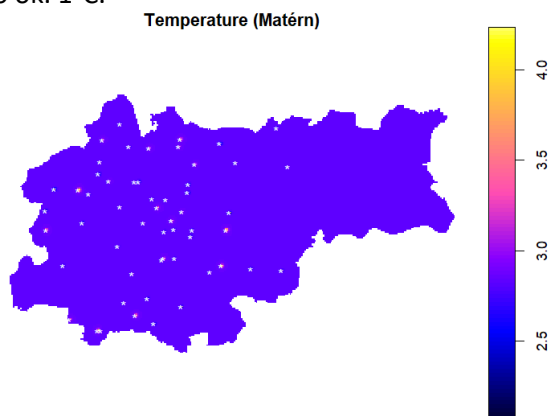


Fig 54 Mapa temperatury kriging Materna

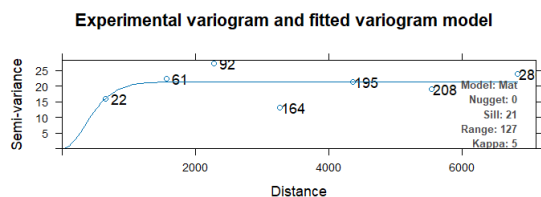
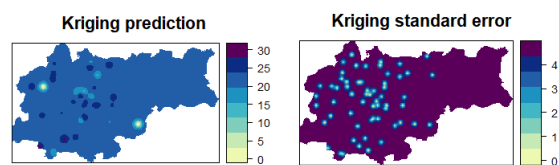


Fig 55 Wykres kringingu Materna dla PM2.5

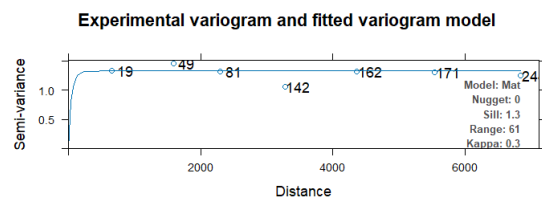
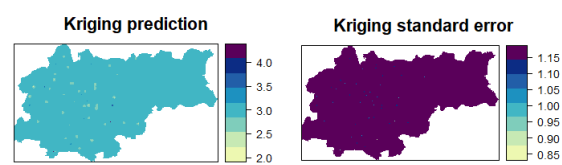


Fig 56 Wykres kringingu Materna dla temperatury

Na mapie (Fig 57) można zauważyć stężenie pyłów PM2.5 na obszarze całego Krakowa było rozłożone równomiernie a jego wartość wynosiła ok. 22 μ g/m³.

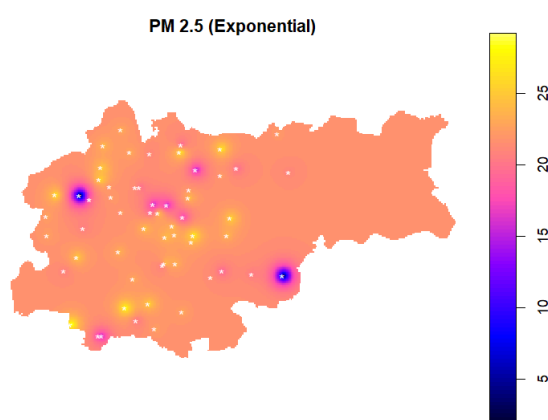


Fig 57 Mapa PM2.5 kriging Exponentialny

Na mapie (Fig 58) wymodelowana temperatura powietrza osiągała głównie 2.8°C. W okolicach czujników temperatura waha się od 2.7°C do 3.2°C.

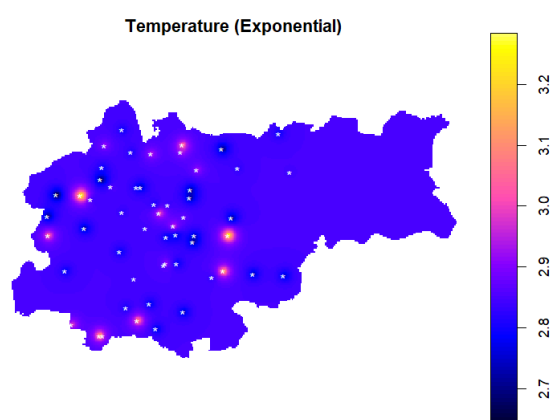


Fig 58 Mapa temperatury kriging Exponentialny

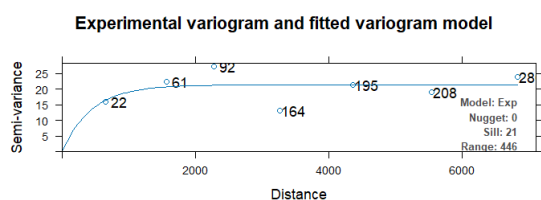
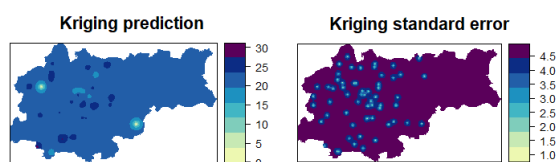


Fig 59 Wykres kringingu Exponentialnego dla PM2.5

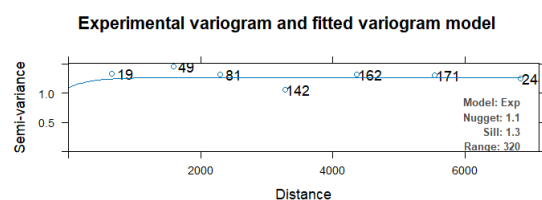
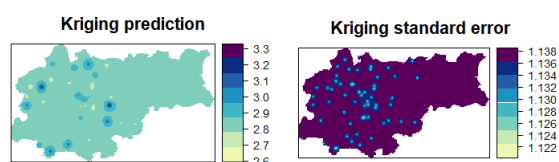


Fig 60 Wykres kringingu Exponentialnego dla temperatury

Na mapie (Fig 61) można zauważyć stężenie pyłów PM2.5 na obszarze całego Krakowa było rozłożone równomiernie a jego wartość wynosiła ok. 21 μ g/m³.

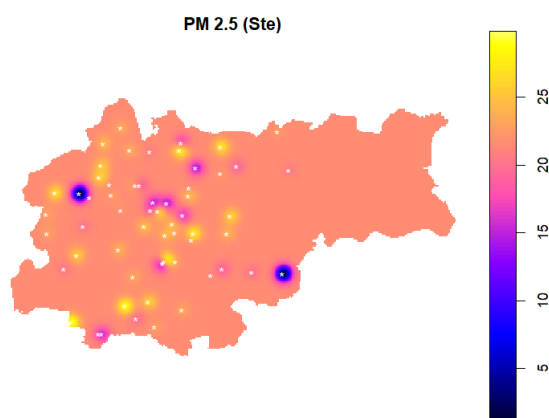


Fig 61 Mapa PM2.5 kringing Ste

Na mapie (Fig 62) wymodelowana temperatura w Krakowie wynosiła ok. 3°C. W pobliżu czujników temperatury różnią się od tego o ok. 1°C.

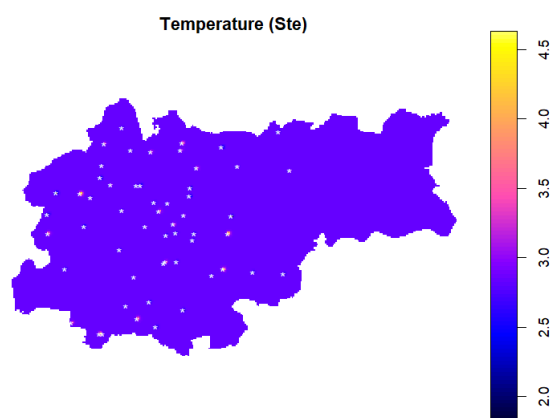


Fig 62 Mapa temperatury kringing Ste

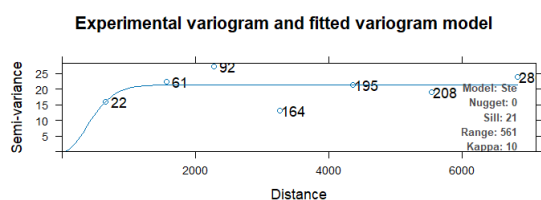
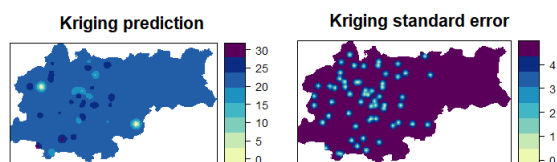


Fig 63 Wykres kringingu Ste dla PM2.5

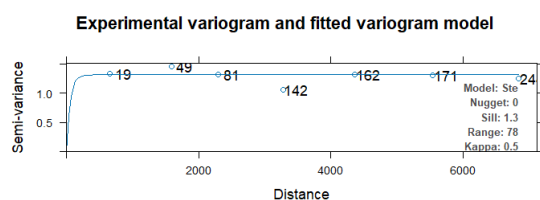
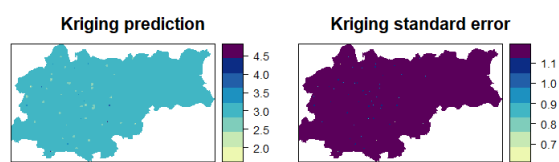


Fig 64 Wykres kringingu Ste dla temperatury

- Godzina: 18:00

Prędkość wiatru: 10m/s

Kierunek wiatru: W

W tej metodzie krugingu zanieczyszczenie powietrza pyłem PM 2,5 dla obszaru Krakowa są bardzo zróżnicowane. Największe odnotowane zanieczyszczenie koncentruje się dla północno-zachodnich regionów i przekracza 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W kolejnych regionach zanieczyszczenie zaczyna maleć do około 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w kierunku wschodnim.

PM 2.5 (Gauss)

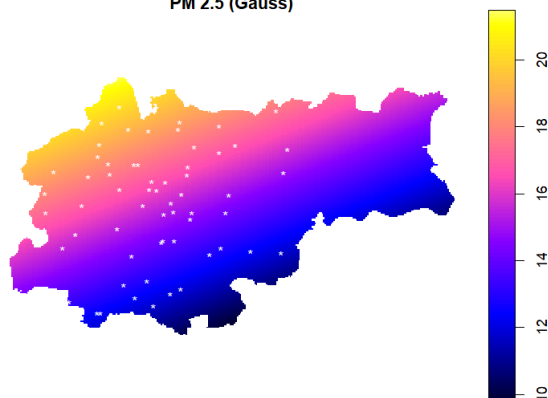


Fig 65 Wykres krugingu Gaussowski dla PM 2,5

Temperatura powietrza jest w większości obszarów na poziomie około 3,4 stopni. Są jednak regiony, gdzie największe temperatury wynoszą około 4,4 stopni. Najniższe odnotowane temperatury są widoczne w zachodnich obszarach.

Temperature (Gauss)

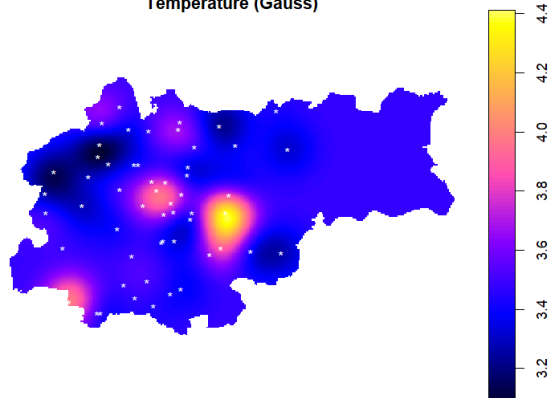
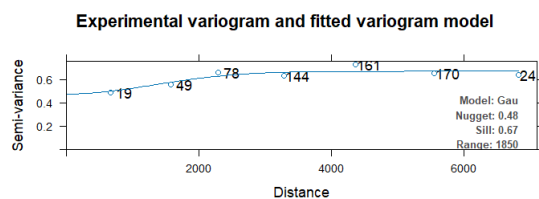
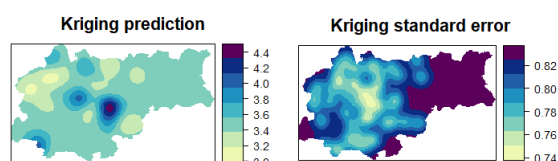
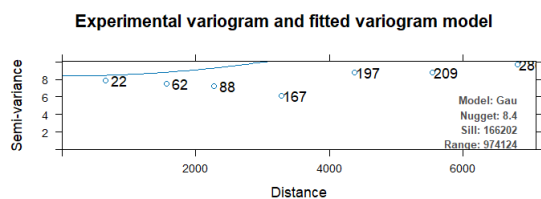
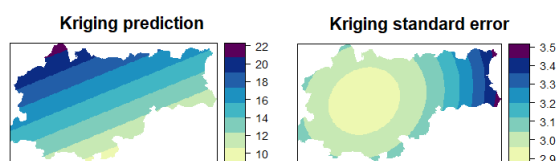
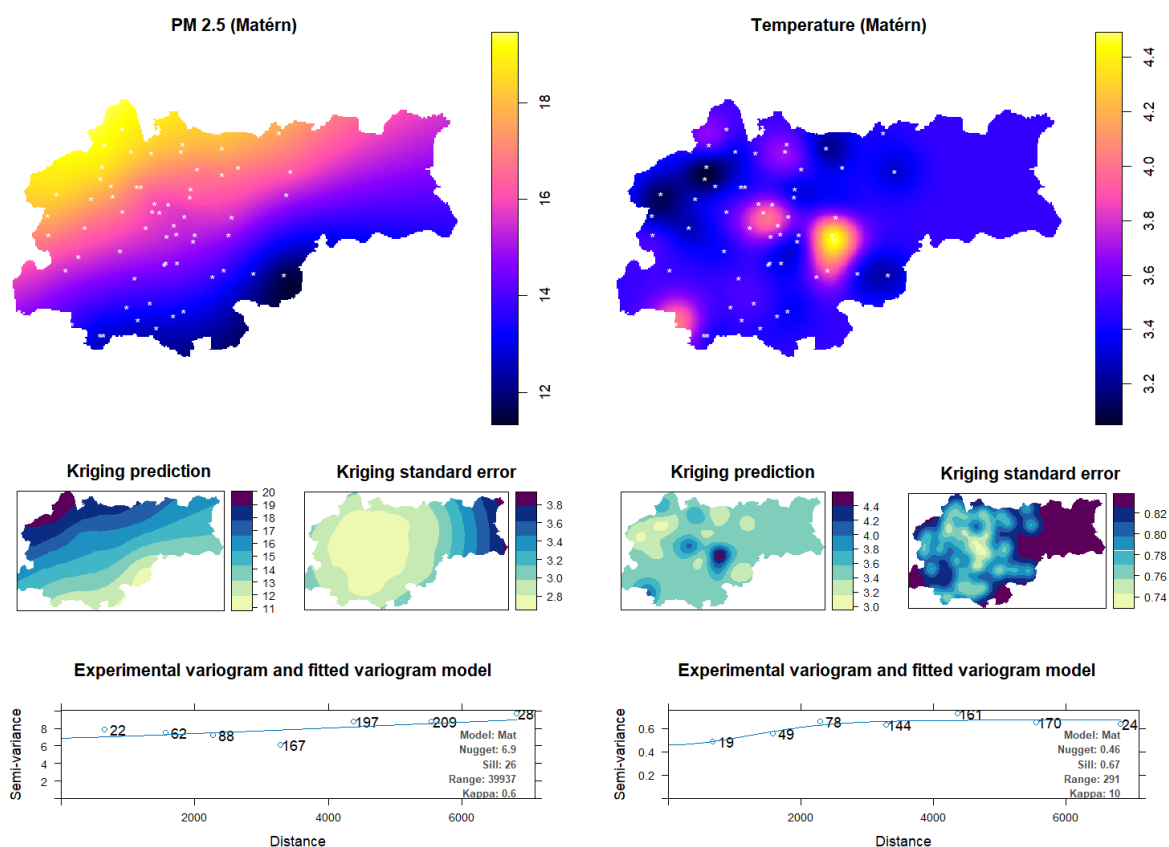


Fig 66 Wykres krugingu Gaussowski dla temperatury



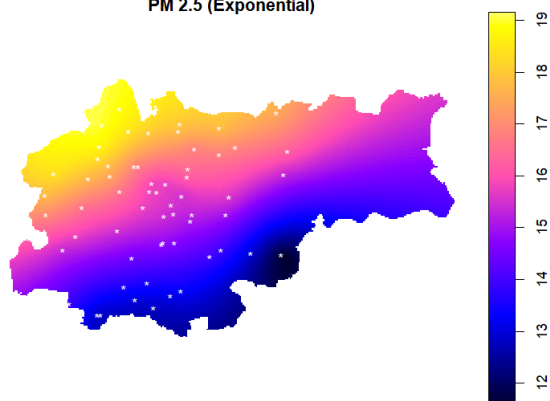
Dla przedstawionego obszaru Krakowa zanieczyszczenie powietrza jest dość różne w zależności od regionu. Największe odnotowane zanieczyszczenie widać w północno-zachodnich obszarach i wynosi ponad 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Najniższe wartości zanieczyszczenia powietrza wynosi w niektórych regionach około 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Temperatura powietrza jest w całym obszarze bardzo podobna, największe wartości przekraczają 4,4 stopnie, zaś najniższe w zachodnich regionach wynoszą poniżej 3,2 stopnia. W większości obszarów temperatura powietrza wynosi około 3,4 stopnia co sprawia że obszar jest pokryty dość jednorodnie.



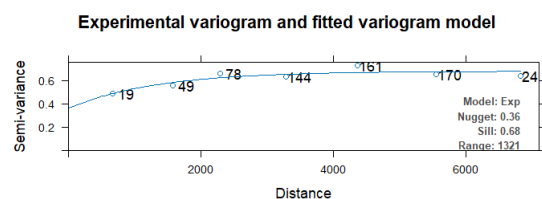
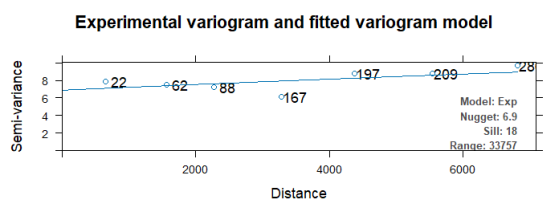
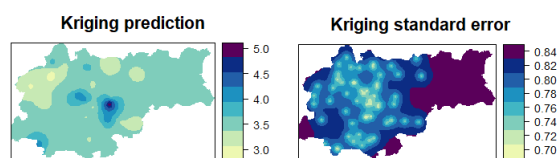
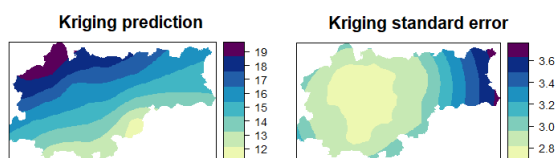
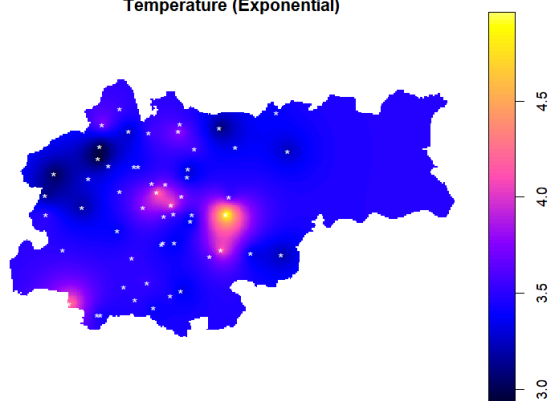
W tej metodzie kriginu zanieczyszczenie powietrza w obszarze Krakowa rozkłada się dość różnie, najwyższe wartości zanieczyszczeń powietrza wynoszą około 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i są one właściwie w północno-zachodnich regionach. Odnotowania te maleją w kierunku wschodnim, gdzie najniższe zanieczyszczenie wynosi około 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

PM 2.5 (Exponential)



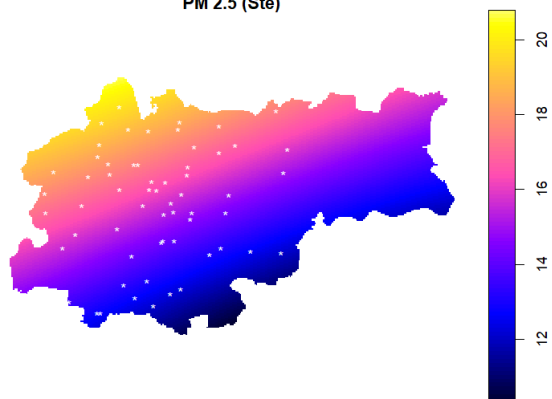
Temperatura powietrza jest na całym obszarze bardzo podobna i wynosi około 3,2-3,4 stopni. Są jednak nieliczne regiony, gdzie temperatura przekracza nawet 4,5 stopnia. W zachodnich obszarach odnotowane są temperatury, które wynoszą około 2,9 stopni.

Temperature (Exponential)

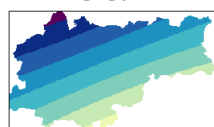


W tej metodzie kriginu zanieczyszczenie powietrza w obszarze Krakowa jest bardzo rozłożone od najwyższych wartości ponad 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do regionów poniżej 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Największe odnotowane zanieczyszczenie zachowane jest w północno-zachodnich obszarach. Zanieczyszczenie powietrza maleje w kierunku wschodnim.

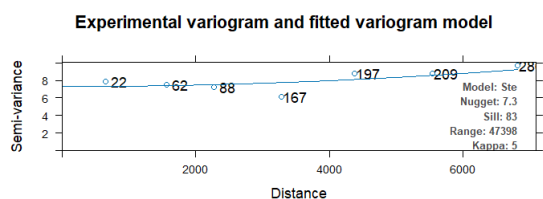
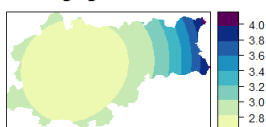
PM 2.5 (Ste)



Kriging prediction

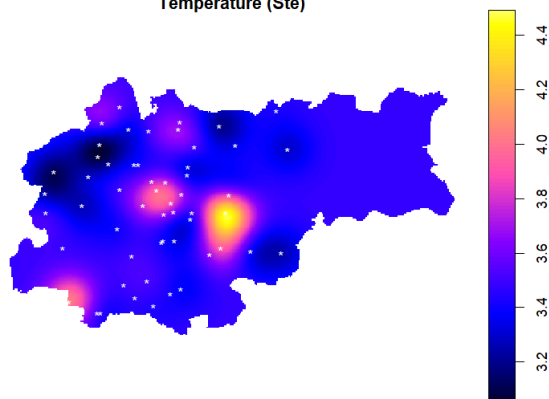


Kriging standard error

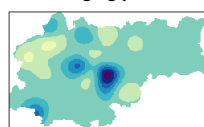


Temperatura powietrza z wykorzystaniem tej metody kriginu wynosi w całym obszarze około 3,4 stopnia. Największe odnotowane wartości przekraczają 4,4 stopnia, w zachodnich regionach najniższe temperatury wynoszą około 3,2 stopni. Są to jednak obszary w znacznie mniejszej skali, w całym obszarze widać bardzo podobne temperatury.

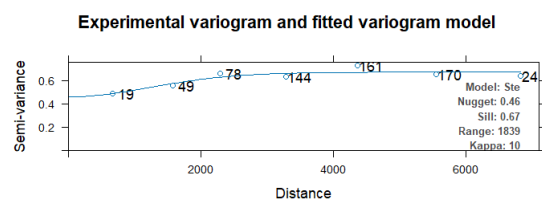
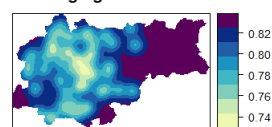
Temperature (Ste)



Kriging prediction



Kriging standard error



- **Godzina: 20:15**

Prędkość wiatru: 5m/s

Kierunek wiatru: SW

Na mapie (Fig 81) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 stopniowo zmniejsza się z północy na południe. Wartości zawierają się w przedziale od ok. 10 do 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W południowej części Krakowa zaobserwować można niższy stopień zanieczyszczenia osiągający wartości mniejsze lub równe 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w północnej części Krakowa zaobserwować można wyższy stopień zanieczyszczenia, który osiąga wartości wynoszące ok. 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

PM 2.5 (Gauss)

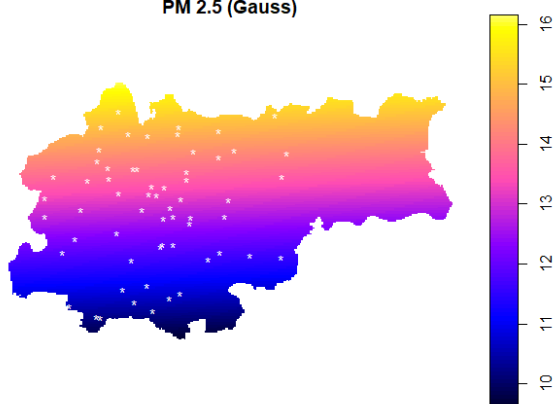


Fig 81 Mapa PM2.5 kringing gaussowski

Na mapie (Fig 82) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. 3°C. W okolicach czujników temperatura jest najbardziej zróżnicowana. W centralnej części miasta zaobserwować można najcieplejszy obszar, gdzie temperatura osiąga wartości bliskie 4°C. Najchłodniejszym obszarem natomiast, jest północno-zachodnia część Krakowa, gdzie wartości temperatury wynosiły poniżej 2.5°C.

Temperature (Gauss)

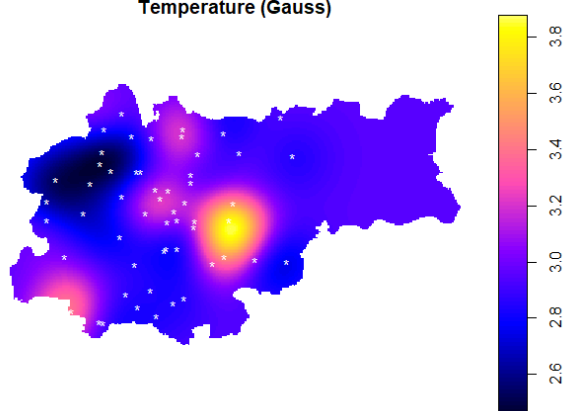


Fig 82 Mapa temperatury kringing gaussowski

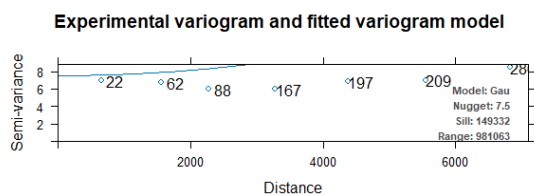
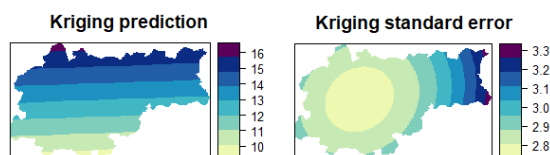


Fig 83 Wykres kringingu gaussowskiego dla PM2.5

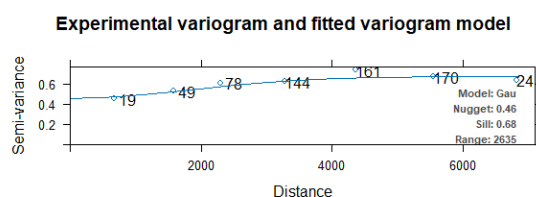
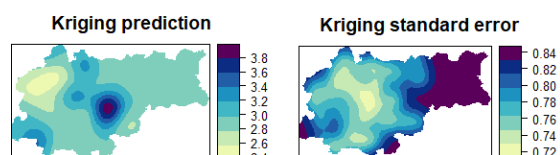


Fig 84 Wykres kringingu gaussowskiego dla temperatury

Na mapie (Fig 85) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 stopniowo zmniejsza się z północy na południe. Wartości zawierają się w przedziale ok. od 11 do 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W południowo-wschodniej części Krakowa zaobserwować można niższy stopień zanieczyszczenia osiągający wartości mniejsze lub równe 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w północnej części Krakowa zaobserwować można wyższy stopień zanieczyszczenia, który osiąga wartości większe niż 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

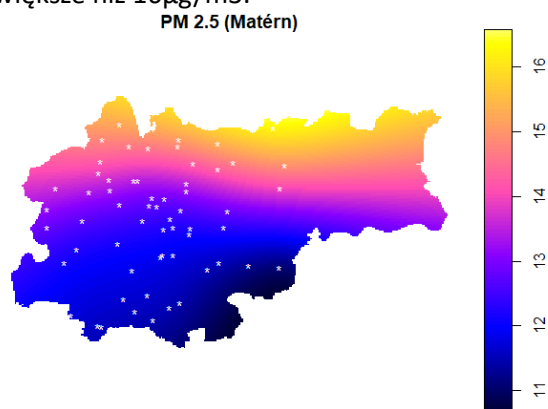


Fig 85 Mapa PM2.5 kriging Materna

Na mapie (Fig 86) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. 3°C. W okolicach czujników temperatura jest najbardziej zróżnicowana. W centralnej części miasta zaobserwować można najcieplejszy obszar, gdzie temperatura osiąga wartości bliskie 4°C. Najchłodniejszym obszarem natomiast, jest północno-zachodnia część Krakowa, gdzie wartości temperatury wynosiły poniżej 2.5°C.

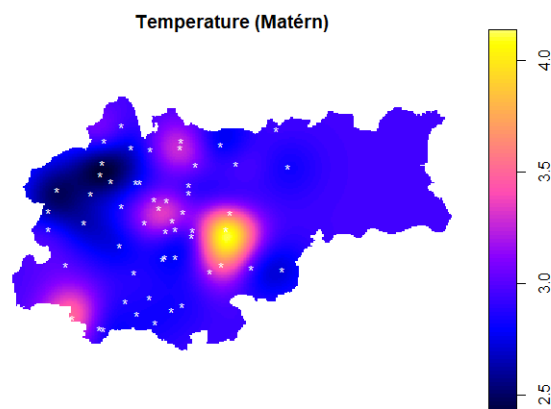


Fig 86 Mapa temperatury kriging Materna

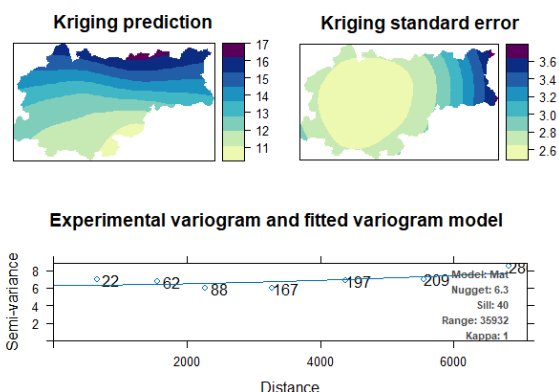


Fig 87 Wykres kringingu Materna dla PM2.5

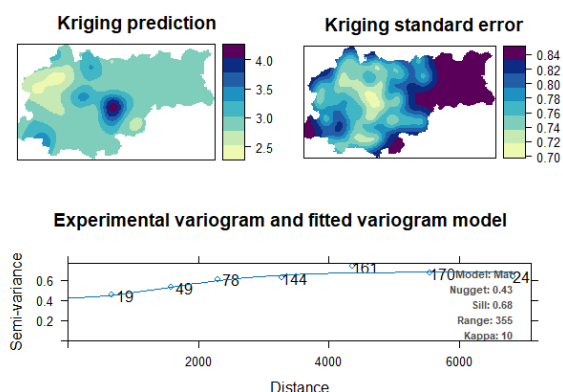


Fig 88 Wykres kringingu Materna dla temperatury

Na mapie (Fig 89) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 stopniowo zmniejsza się z północy na południe. Wartości zawierają się w przedziale ok. od 11 do 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na wschodzie południowej części Krakowa zaobserwować można niższy stopień zanieczyszczenia osiągający wartość 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w centrum północnej części Krakowa zaobserwować można ognisko wyższego zanieczyszczenia osiągające wartości większe niż 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

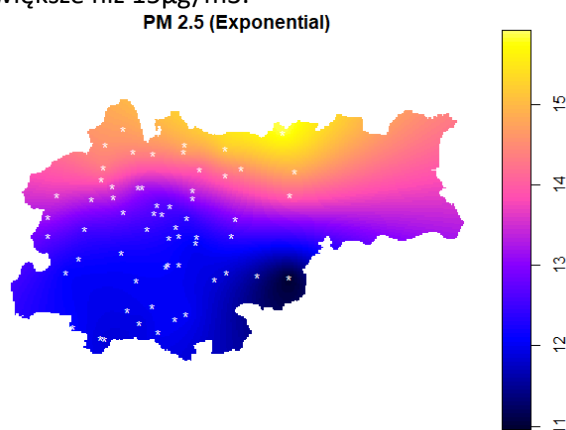


Fig 89 Mapa PM2.5 kriging Exponentialny

Na mapie (Fig 90) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. 3°C. W okolicach czujników temperatura jest najbardziej zróżnicowana. W centralnej części miasta zaobserwować można najcieplejszy obszar, gdzie temperatura osiąga wartości bliskie 4.5°C. Najchłodniejszym obszarem natomiast, jest północno-zachodnia część Krakowa, gdzie wartości temperatury wynosiły poniżej 2.5°C.

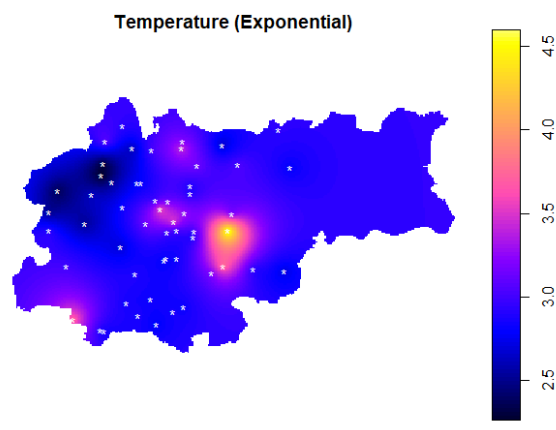


Fig 90 Mapa temperatury kriging Exponentialny

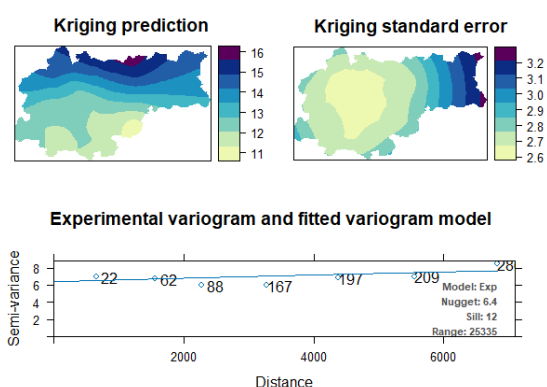


Fig 91 Wykres kringingu Exponentialnego dla PM2.5

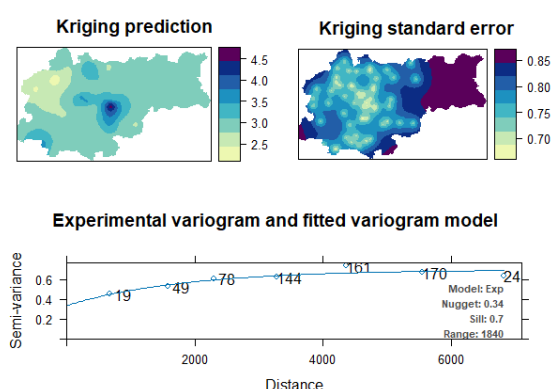


Fig 92 Wykres kringingu Exponentialnego dla temperatury

Na mapie (Fig 93) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 stopniowo zwiększa się z południe na północny wschód. Wartości zawierają się w przedziale ok. od 11 do 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W południowej części Krakowa zaobserwować można niższy stopień zanieczyszczenia osiągający wartości poniżej 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w północno-wschodniej części Krakowa zaobserwować można obszar zanieczyszczenia, gdzie jego wartości są większe niż 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

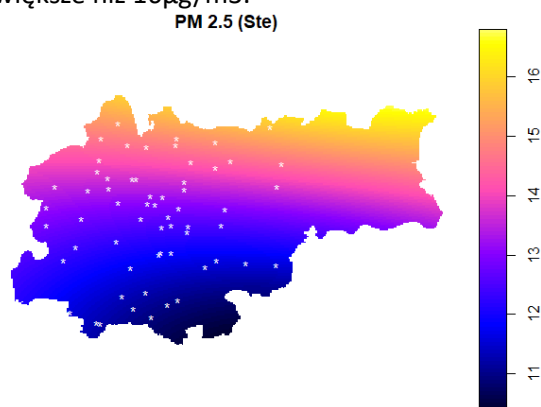


Fig 93 Mapa PM2.5 kriging Ste

Na mapie (Fig 94) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. 3°C. W okolicach czujników temperatura jest najbardziej zróżnicowana. W centralnej części miasta zaobserwować można najcieplejszy obszar, gdzie temperatura osiąga wartości bliskie 4°C. Najchłodniejszym obszarem natomiast, jest północno-zachodnia część Krakowa, gdzie wartości temperatury wynosiły poniżej 2.5°C.

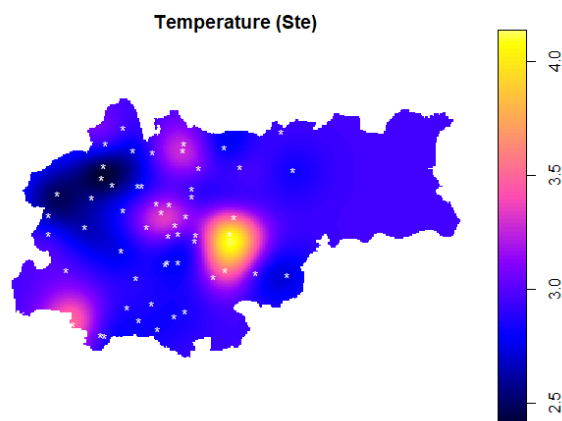


Fig 94 Mapa temperatury kriging Ste

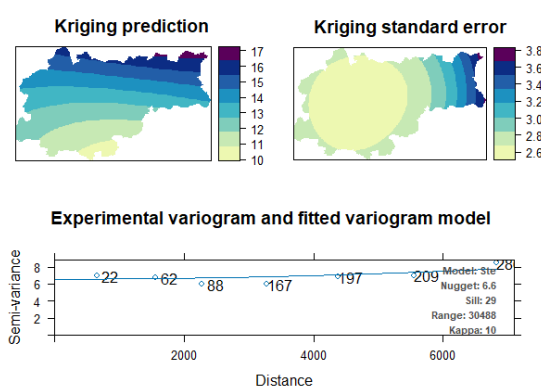


Fig 95 Wykres kringingu Ste dla PM2.5

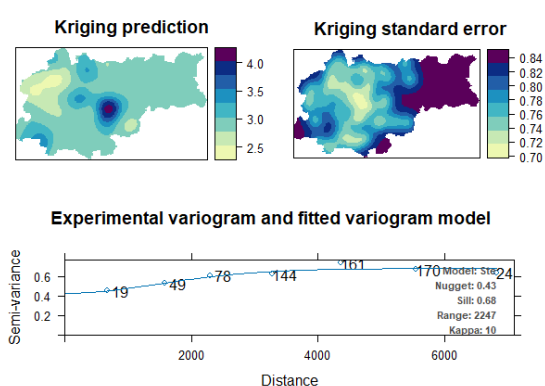


Fig 96 Wykres kringingu Ste dla temperatury

Podsumowanie dnia:

PM2.5:

Rano temperatura średnia wartość temperatury wynosiła 3°C (Fig 62). Stężenie pyłów zawieszonych na terenie Krakowa było rozłożone równomiernie, średnio wynosząc około 21µg/m³ (Fig 61). Popołudniu temperatura powietrza nieznacznie wzrosła do 3.4°C. Największe odnotowane zanieczyszczenie powietrza możliwe było do zaobserwowania dla północno-zachodnich regionów Krakowa, a jego wartości mieściły się w przedziale od 11 do 19µg/m³.

Wieczorem temperatura powietrza na terenie miasta wynosiła ok. 3°C (Fig 86). Najwyższy poziom zanieczyszczenia koncentrował się na północy Krakowa, a południowo-wschodnia część miasta była obszarem, w którym poziom ten był najniższy (Fig 85). Wartości stężenia PM2.5 mieściły się w przedziale od 10 do 17µg/m³.

Porównanie metod krigingu:

Dla popołudniowych i wieczornych pomiarów temperatury wyniki krigingu są do siebie bardzo zbliżone. Natomiast dla porannych pomiarów widoczne jest podobieństwo pomiędzy krigiem eksponentialnym (Fig 58) i gaussowskim (Fig 50), oraz Ste (Fig 54) i Materna (Fig 62).

3.3. Czwartek 25.01.2024

- Godzina: 9:00
Prędkość wiatru: 7m/s
Kierunek wiatru: W

Na mapie (Fig 97) zaobserwować można, że poziom zanieczyszczenia powietrza pyłami PM2.5 uклада się w sposób liniowy. Największe wartości stężenia pyłów w powietrzu występują na zachodzie ($3.55\mu\text{g}/\text{m}^3$), a największe na wschodzie.

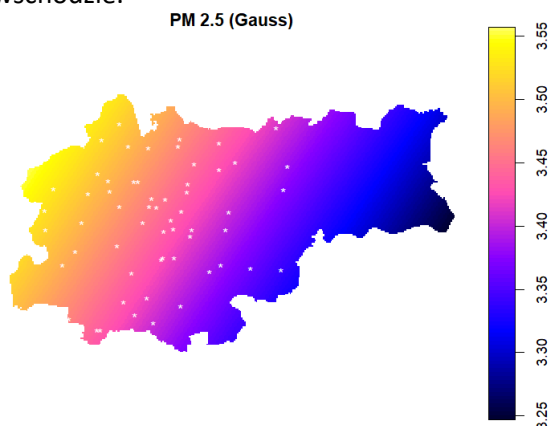


Fig 97 Mapa PM2.5 kriging Gaussowski

Na mapie (Fig 98) można zauważyć, że na znacznej części Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. 2.8°C . Na mapie widoczne są ogniska o wyższej temperaturze powietrza sięgającej 3.6°C . Ogniska wyższej temperatury występują w pobliżu centrum Krakowa.

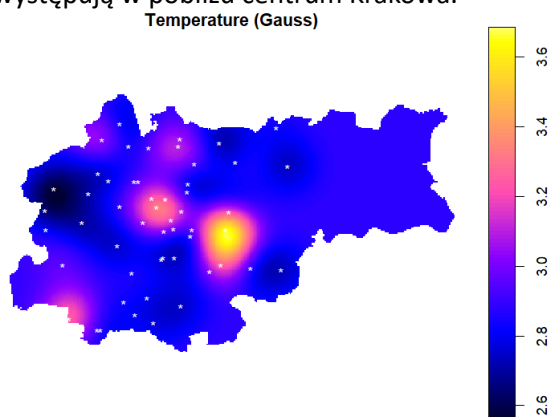


Fig 98 Mapa temperatury kriging Gaussowski

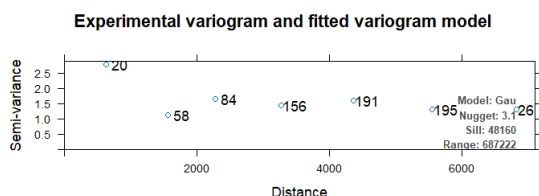
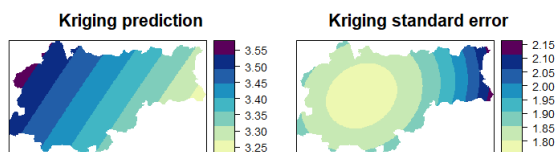


Fig 99 Wykres kringingu Gaussowskiego dla PM2.5

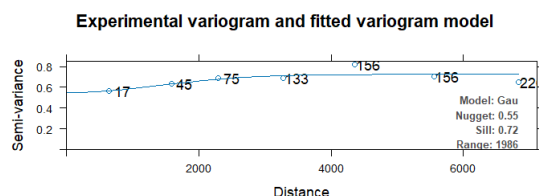
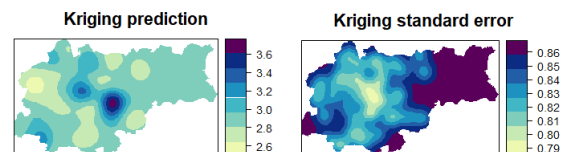


Fig 100 Wykres kringingu Gaussowskiego dla temperatury

Na mapie (Fig 101) wymodelowana wartość stężenia pyłów PM2.5 w powietrzu wynosiła $3.5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Zauważyć można, że w okolicy centrum Krakowa ilość pyłów w powietrzu była nieco większa, sięgała $3.8\mu\text{g}/\text{m}^3$.

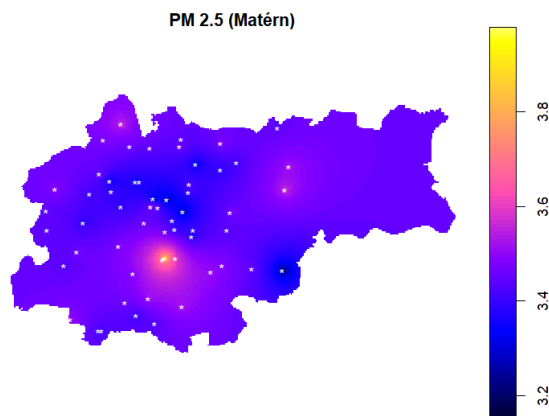


Fig 101 Mapa PM2.5 kriging Materna

Na mapie (Fig 102) temperatura powietrza w Krakowie osiąga wartość ok. 2.8°C . Zauważyć można także kilka obszarów o większej wartości temperatury powietrza osiągającej wartość 3.6°C , największe z nich zlokalizowane są w pobliżu centrum Krakowa.

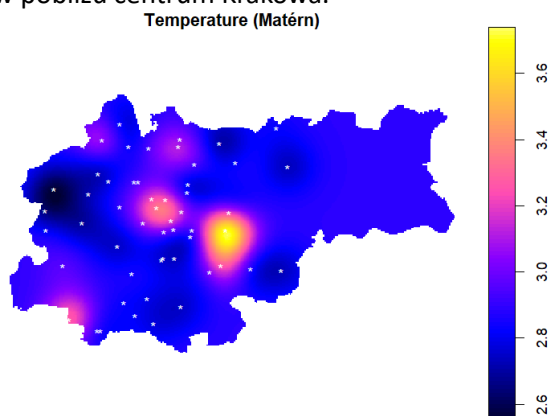


Fig 102 Mapa temperatury kriging Materna

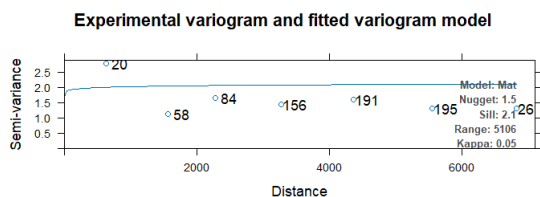
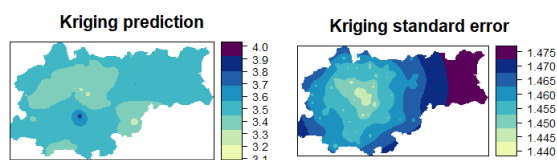


Fig 103 Wykres kringingu Materna dla PM2.5

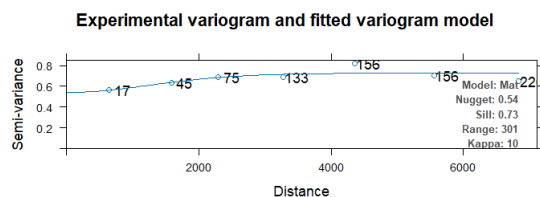
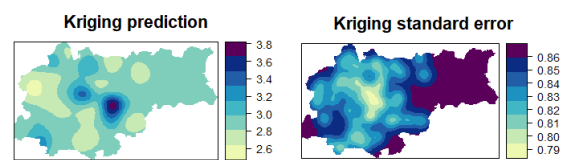


Fig 104 Wykres kringingu Materna dla temperatury

Na mapie (Fig 105) wymodelowana wartość stężenia pyłów PM2.5 jest bardzo zróżnicowana. W na północ oraz wschód od centrum Krakowa zaobserwować można najniższe wartości stężenia pyłów PM2.5, ilość pyłów w powietrzu sięgała $3.1\mu\text{g}/\text{m}^3$. We wschodniej części (Nowa Huta), północno-zachodniej (Bronowice) oraz w pobliżu centrum (Łagiewniki) ilość pyłów w powietrzu była najwyższa i sięgała $3.8\mu\text{g}/\text{m}^3$.

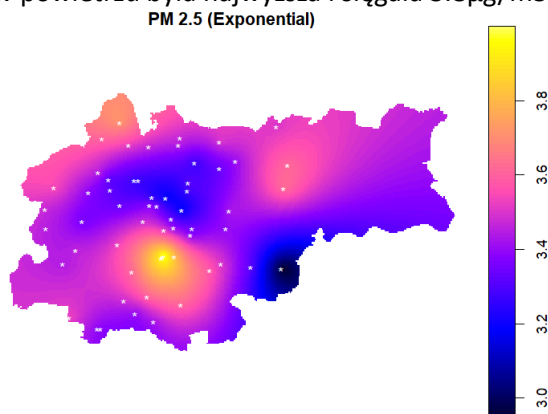


Fig 105 Mapa PM2.5 kriging Exponentialny

Na mapie (Fig 106) temperatura powietrza w Krakowie osiąga stosunkowo podobną wartość równą ok. 3°C . Zaobserwować można kilka obszarów o wyższej temperaturze sięgającej 4°C . Obszary te są stosunkowo niewielkie.

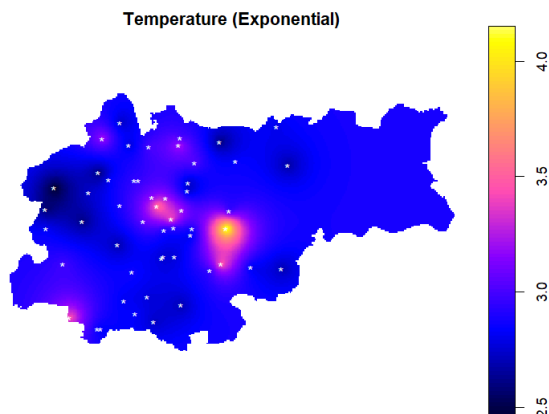


Fig 106 Mapa temperatury kriging Exponentialny

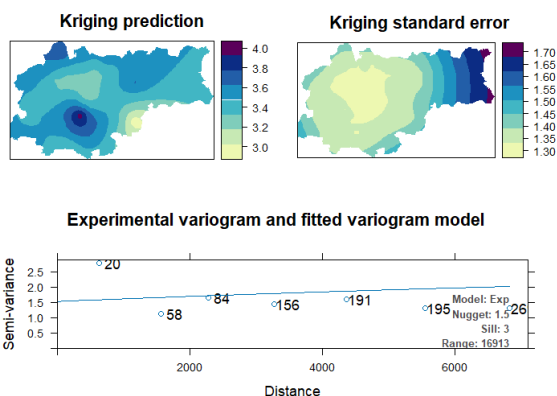


Fig 107 Wykres kringingu Exponentialnego dla PM2.5

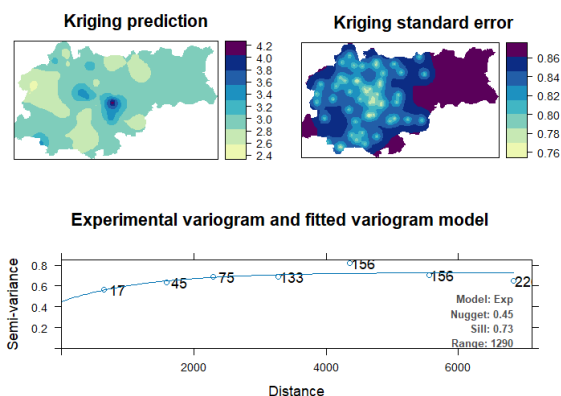


Fig 108 Wykres kringingu Exponentialnego dla temperatury

Na mapie (Fig 109) zaobserwować można, że wartość stężenia pyłów w powietrzu jest praktycznie jednakowa dla całego Krakowa i wynosi ok. $3.5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Największą wartość wynoszącą $4\mu\text{g}/\text{m}^3$ zaobserwowano w centrum Krakowa w dzielnicy Podgórze.

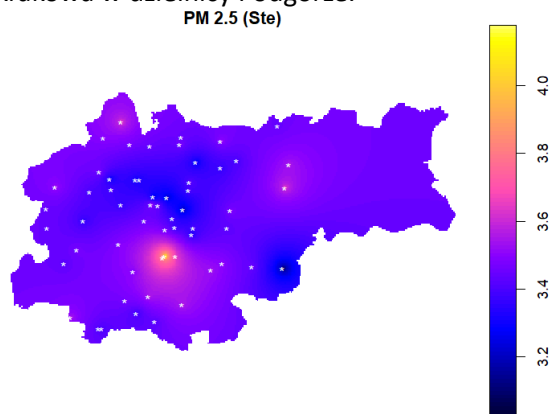


Fig 109 Mapa PM2.5 kriging Ste

Na mapie (Fig 110) temperatura powietrza w Krakowie wynosiła ok. 2.8°C . Widoczne są ogniska z wyższą temperaturą powietrza sięgającą 3.6°C .

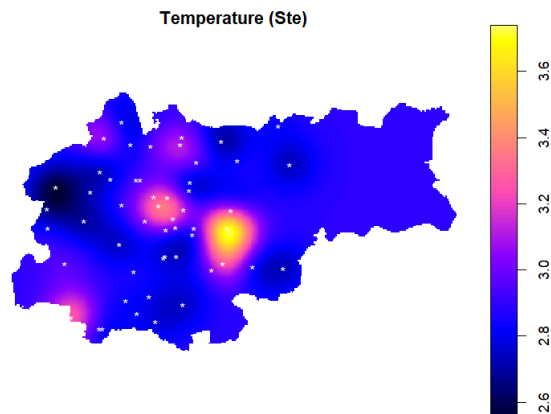


Fig 110 Mapa temperatury kriging Ste

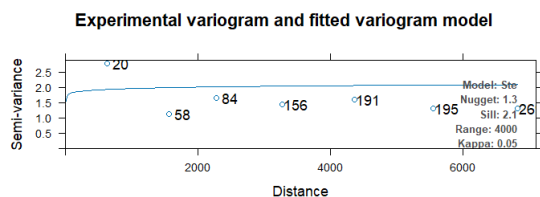
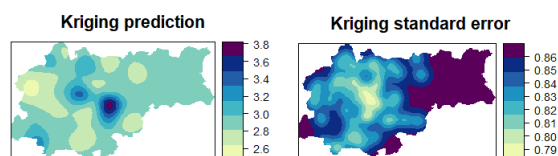
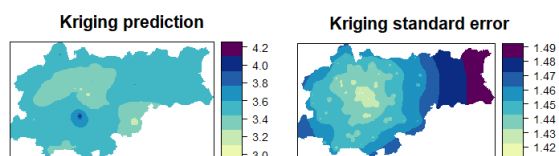


Fig 111 Wykres kringingu Ste dla PM2.5

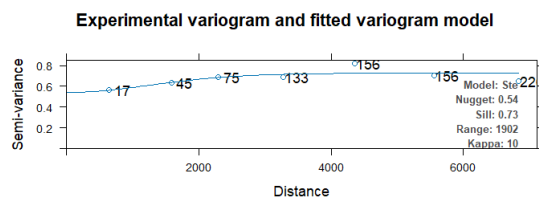


Fig 112 Wykres kringingu Ste dla temperatury

- Godzina: 16:40

Prędkość wiatru: 10m/s

Kierunek wiatru: W

Na mapie (Fig 113) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 nieznacznie zwiększa się z południa na północny wschód. Wartości zawierają się w przedziale ok. od 3.5 do 5.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W południowej części Krakowa zaobserwować można niższy stopień zanieczyszczenia osiągający wartości poniżej 3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w północno-wschodniej części Krakowa zaobserwować można obszar silniejszego zanieczyszczenia, którego wartości są większe niż 5.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

PM 2.5 (Gauss)

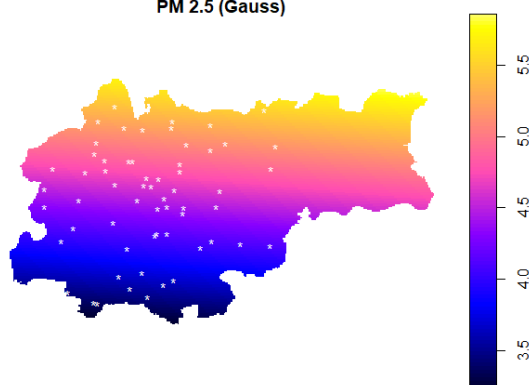


Fig 113 Mapa PM2.5 kriging Gaussowski

Na mapie (Fig 114) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. 4°C. W okolicach czujników temperatura jest najbardziej zróżnicowana. W centralnej części miasta zaobserwować można najcieplejszy obszar, gdzie temperatura osiąga wartości bliskie 4.4°C. Najchłodniejszym obszarem natomiast, jest północno-zachodnia część Krakowa, gdzie wartości temperatury wynosiły poniżej 3.6°C.

Temperature (Gauss)

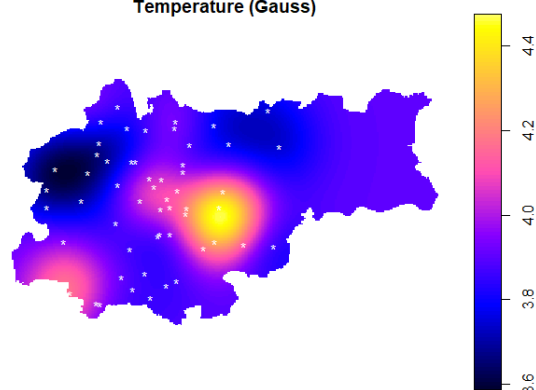
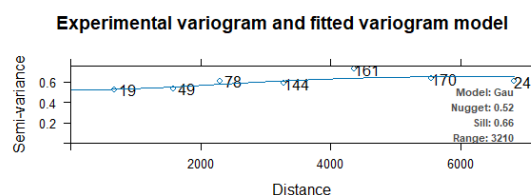
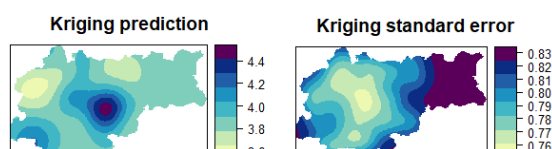
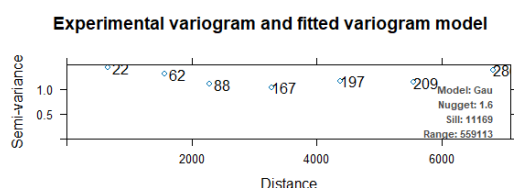
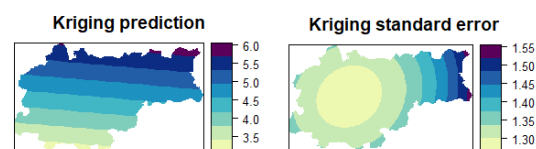


Fig 114 Mapa temperatury kriging Gaussowski



Na mapie (Fig 117) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 jest praktycznie jednakowe na terenie całego Krakowa, a jego wartość wynosi około $4.5\mu\text{g}/\text{m}^3$. W południowej części miasta zaobserwować można kilka ognisk niższego zanieczyszczenia o wartościach $4.40\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w północnej części Krakowa zaobserwować można ogniska wyższego zanieczyszczenia, którego wartości osiągają $4.7\mu\text{g}/\text{m}^3$.

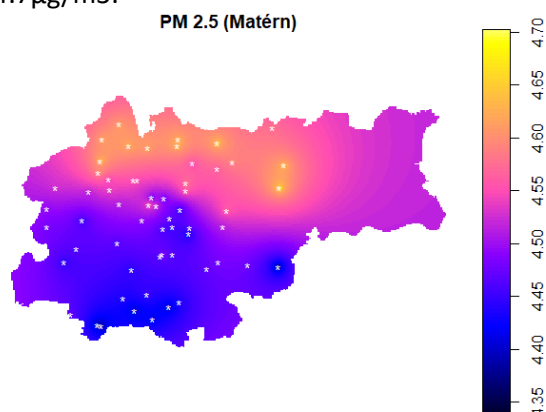


Fig 117 Mapa PM2.5 kriging Materna

Na mapie (Fig 118) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. 4°C . W okolicach czujników temperatura jest najbardziej zróżnicowana. W centralnej części miasta zaobserwować można najcieplejszy obszar, gdzie temperatura osiąga wartości wyższe niż 4.4°C . Najchłodniejszym obszarem natomiast, jest północno-zachodnia część Krakowa, gdzie wartości temperatury wynosiły 3.6°C .

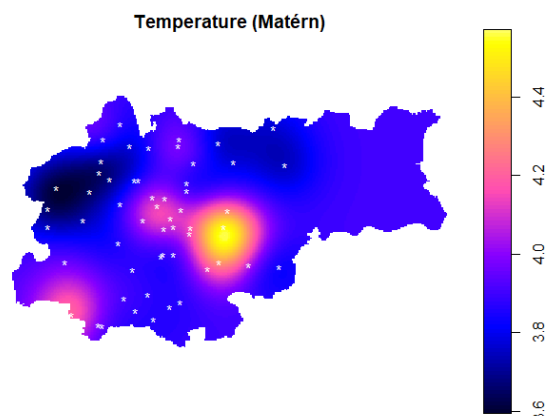


Fig 118 Mapa temperatury kriging Materna

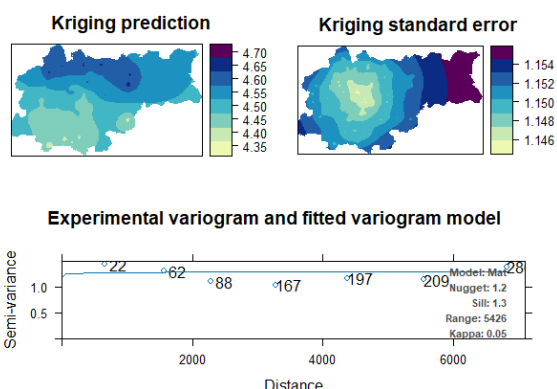


Fig 119 Wykres kringingu Materna dla PM2.5

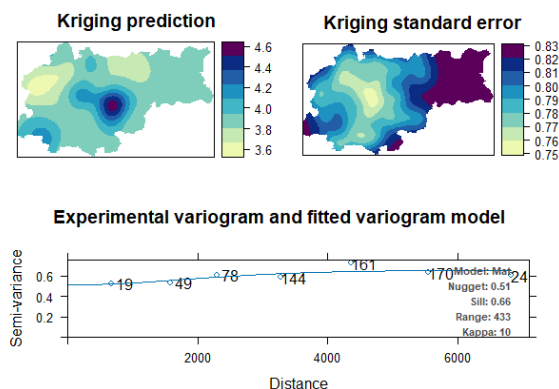


Fig 120 Wykres kringingu Materna dla temperatury

Na mapie (Fig 121) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 jest praktycznie jednakowe na terenie całego Krakowa, a jego wartości wahają się w przedziale od 4 do 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W południowej części miasta zaobserwować można obszar niższego zanieczyszczenia, natomiast w północnej części zaobserwować można ogniska wyższego zanieczyszczenia, którego wartości osiągają 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

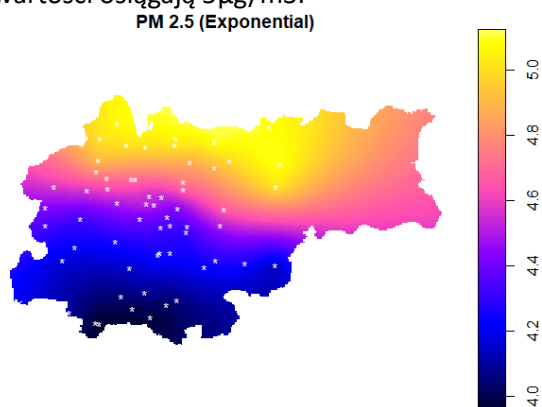


Fig 121 Mapa PM2.5 kriging Exponentialny

Na mapie (Fig 122) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. 4°C. W okolicach czujników temperatura jest najbardziej zróżnicowana. W centralnej części miasta zaobserwować można najcieplejszy obszar, gdzie temperatura osiąga wartości bliskie 4.6°C. Najchłodniejszym obszarem natomiast, jest północno-zachodnia część Krakowa, gdzie wartości temperatury wynosiły poniżej 3.6°C.

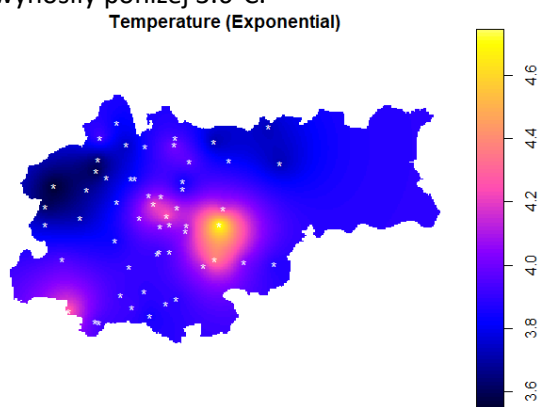


Fig 122 Mapa temperatury kriging Exponentialny

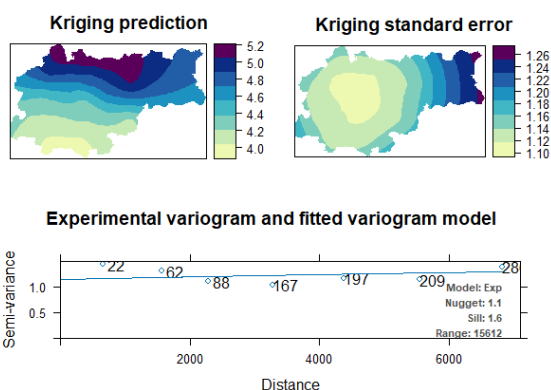


Fig 123 Wykres kringingu eksponentialnego dla PM2.5

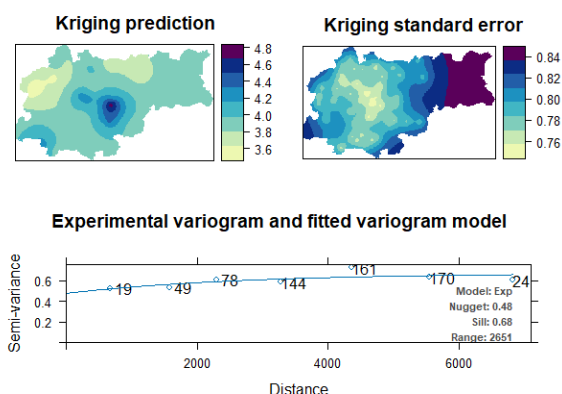


Fig 124 Wykres kringingu eksponentialnego dla PM2.5

Na mapie (Fig 125) można zauważyć, że zanieczyszczenie powietrza pyłami PM 2.5 jest praktycznie jednakowe na terenie całego Krakowa, a jego wartość wynosi około $4.5\mu\text{g}/\text{m}^3$. W południowej części miasta zaobserwować można obszar niższego zanieczyszczenia o wartościach mniejszych lub równych $4.40\mu\text{g}/\text{m}^3$, natomiast w północnej części Krakowa zaobserwować można ogniska wyższego zanieczyszczenia, którego wartości osiągają $4.8\mu\text{g}/\text{m}^3$.

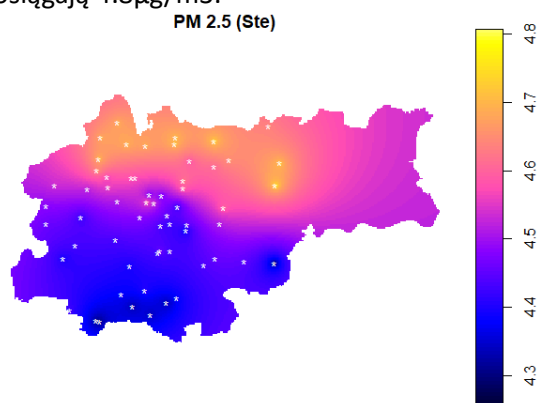


Fig 125 Mapa PM2.5 kriging Ste

Na mapie (Fig 114) można zauważyć, że na terenie całego Krakowa temperatura powietrza wynosiła ok. 4°C . W okolicach czujników temperatura jest najbardziej zróżnicowana. W centralnej części miasta zaobserwować można najcieplejszy obszar, gdzie temperatura osiąga wartości przekraczające 4.4°C . Najchłodniejszym obszarem natomiast, jest północno-zachodnia część Krakowa, gdzie wartości temperatury wynosiły 3.6°C .

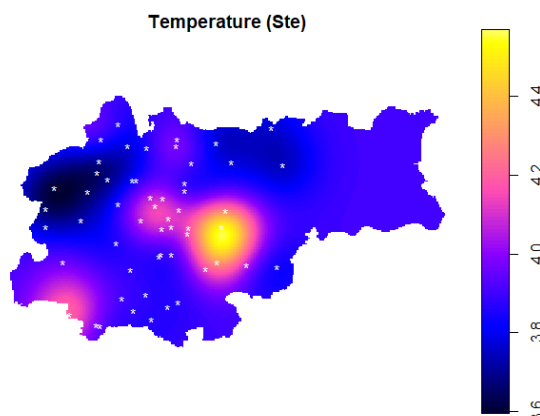


Fig 126 Mapa temperatury kriging Ste

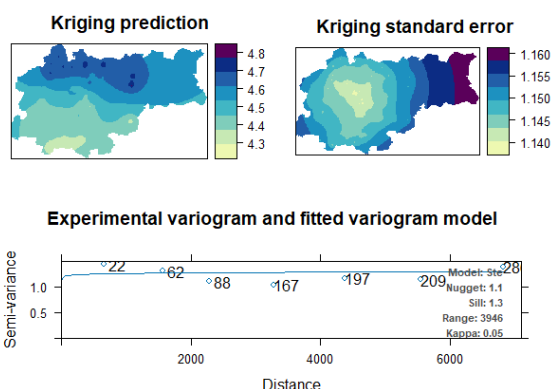


Fig 127 Wykres kringingu Ste dla PM2.5

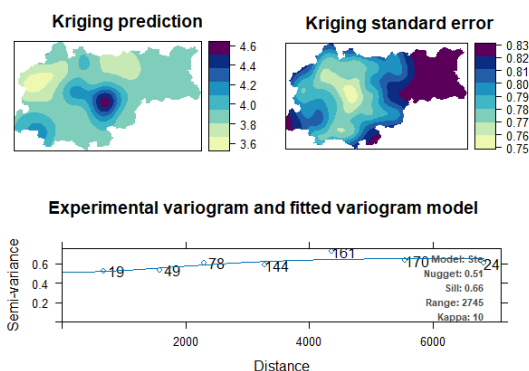


Fig 128 Wykres kringingu Ste dla temperatury

- Godzina: 21:40

Prędkość wiatru: 7,5 m/s

Kierunek wiatru: NW

Zanieczyszczenie pyłem PM 2.5 (Fig 129) jest w regionie Krakowa bardzo zróżnicowane, największe widać od strony zachodniej obszaru ok. $9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i zaczyna stopniowo maleć w kierunku wschodnim do wartości $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Zjawisko to jak widać może mieć sporo wspólnego z kierunkiem wiatru, który wieje w kierunku wschodnim.

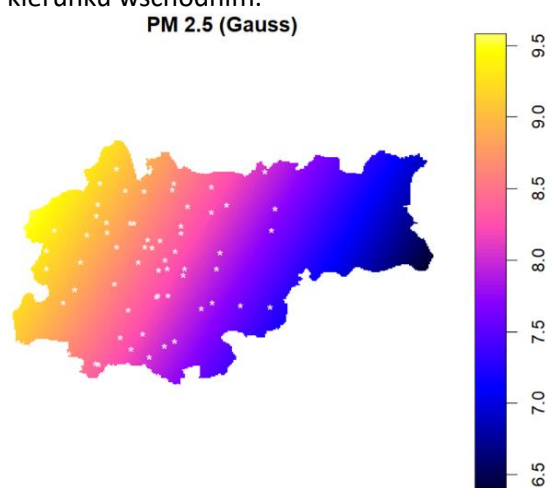
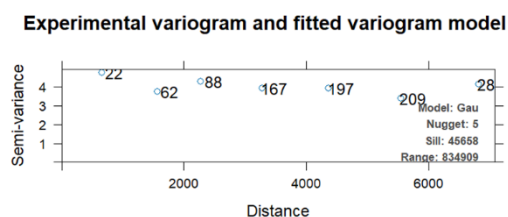
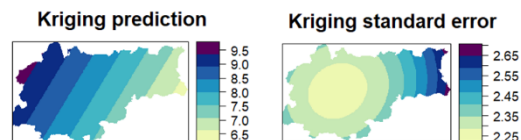


Fig 129 Wykres krigingu Gaussowski dla PM 2,5



Temperatura w znacznej większości obszaru (Fig 130) wynosi ponad 2,5 stopnia. Zdarzają się określone punkty zwłaszcza w środkowej części, gdzie wartości temperatury wynoszą ponad 3 stopni. Najniższe temperatury wyznaczone dla niektórych obszarów wynoszą około 2 stopni.

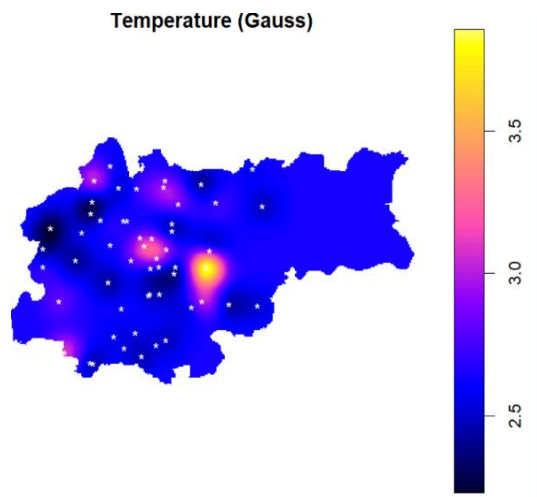
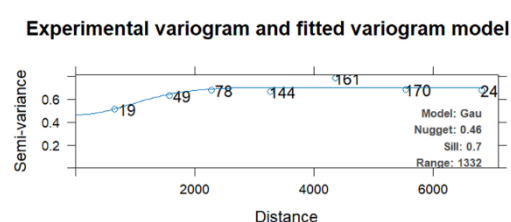
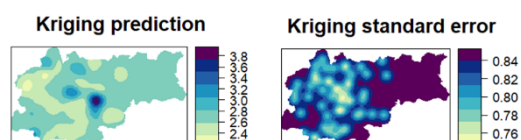


Fig 130 Wykres krigingu Gaussowski dla temperatury



Zanieczyszczenie powietrza dla obszaru Krakowa (Fig 131) wynosi w znacznej większości 8,4-8,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. W północno-zachodniej części obszaru widać obszary o największej intensywności zanieczyszczeń na poziomie ponad 8,6. Zdarzają się jednak też obszary o wartości zanieczyszczenia pyłem 8,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

PM 2.5 (Matérn)

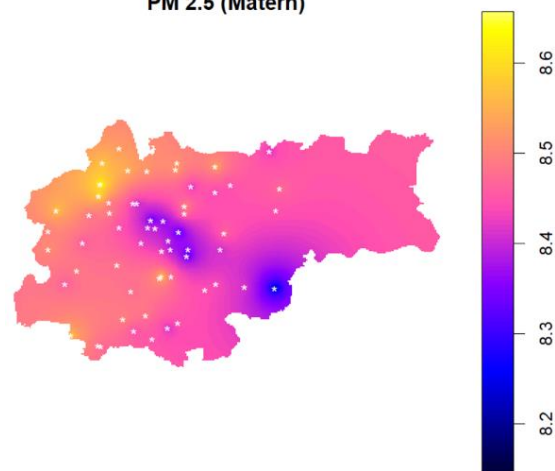
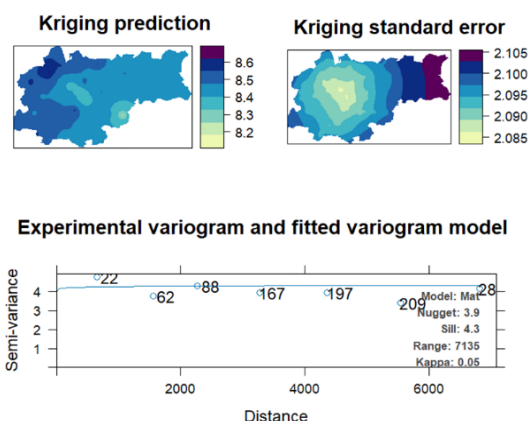


Fig 131 Wykres krigingu Materna dla PM 2,5



Temperatura powietrza w znacznej większości (Fig 132) dla tej metody krigingu wynosi ponad 2,5 stopnia, są jednak pojedyncze regiony gdzie temperatura przekracza 4 stopnie, są jednak też te zachodnie rejony gdzie temperatura wynosi około 2 stopni.

Temperature (Matérn)

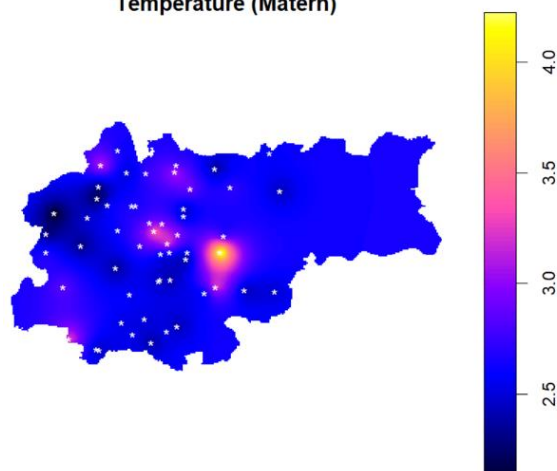
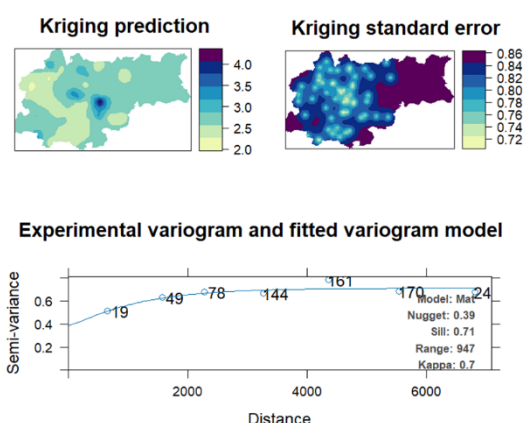


Fig 132 Wykres krigingu Materna dla temperatury



W tej metodzie kriginu zanieczyszczenie powietrza pyłem PM 2,5 wynosi 7,8-8,8 dla obszaru Krakowa (Fig 133). Jest ono dość zróżnicowane, znacznie większe w północno-zachodnich rejonach i maleje w kierunku wschodnim.

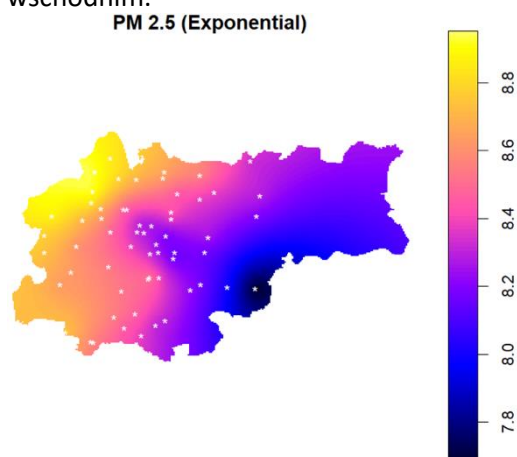


Fig 133 Wykres kriginu Exponential dla PM 2,5

Temperatura powietrza wynosi ponad 2,5 stopnia w większości obszarów (Fig 134), są jednak obszary gdzie temperatura wynosi około 4,5 stopnia. Najniższe temperatury w zachodnich regionach wynoszą około 2 stopni.

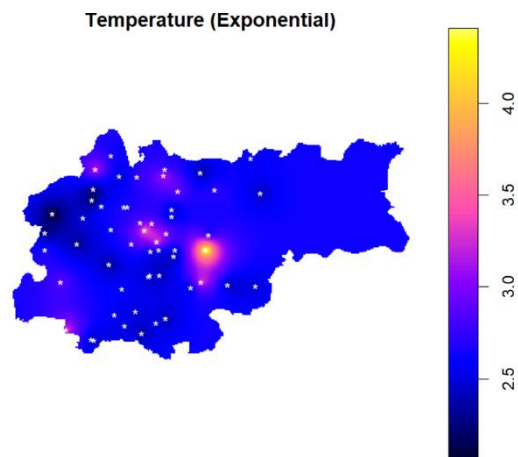
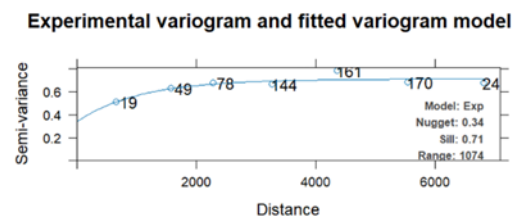
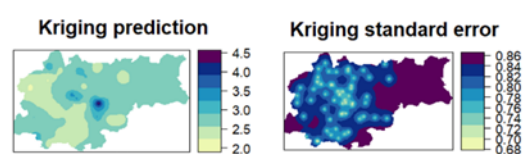
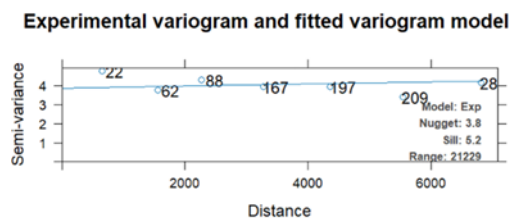
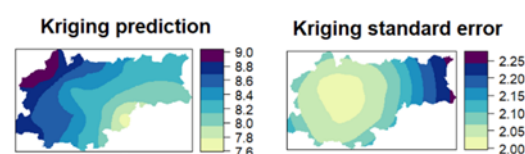


Fig 134 Wykres kriginu Exponential dla temperatury



Dla całego regionu Krakowa zanieczyszczenie powietrza (Fig 135) wynosi bardzo zbliżone, największe wartości odnotowywane są w północno-zachodnich regionach na poziomie około 8,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, zaś najniższe wartości nieco ponad 8,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w kierunku wschodnim. W tej metodzie krigingu wartości znacznie więc różnią się od wcześniejszych typów krigingu.

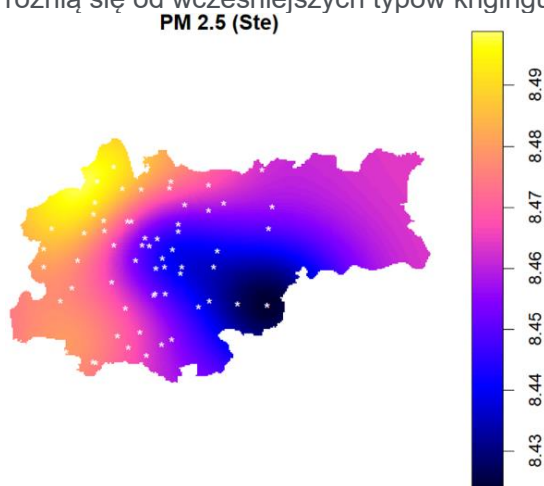


Fig 135 Wykres krigingu Ste dla PM 2.5

Temperatura powietrza wynosi w większości regionów (Fig 136) ponad 2,5 stopnia. Największe wartości przekraczają 4 stopnie w nielicznych punktach. Najniższe odnotowania na zachodnich obszarach wynoszą około 2 stopni.

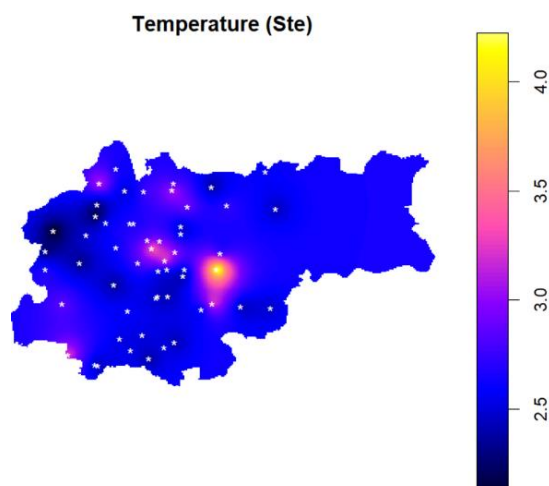
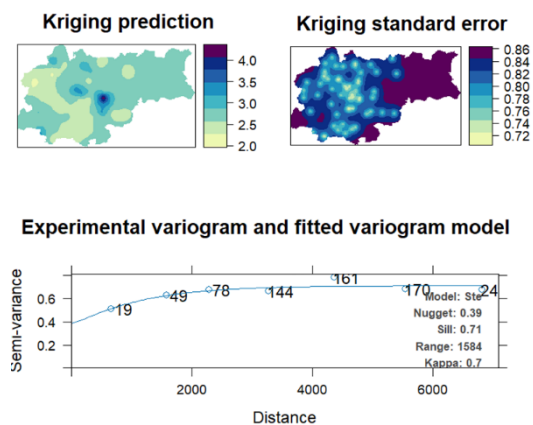
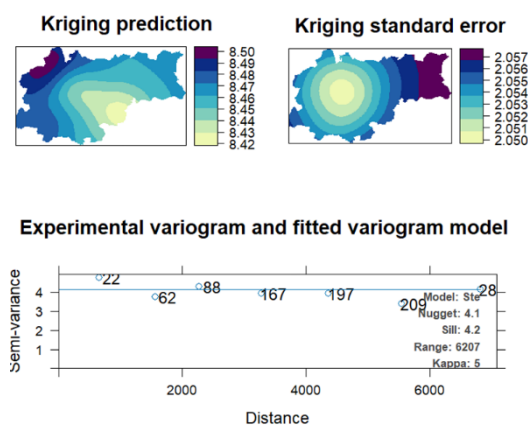


Fig 136 Wykres krigingu Ste dla temperatury



Podsumowanie dnia:

PM2.5:

Rano najwyższe wartości PM2.5 zaobserwowano w okolicach centrum Krakowa (Fig 101, Fig 105, Fig 109). Na terenie miasta średnie zanieczyszczenie wynosiło ok. $3.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, miejscami osiągając wartości bliskie $4\mu\text{g}/\text{m}^3$. Średnia temperatura była równa 2.8°C .

W porze popołudniowej północna część miasta była obszarem o największej wartości stężenia pyłów zawieszonych w powietrzu, sięgającej około $5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jednakże różnica pomiędzy najwyższymi a najniższymi wartościami nie przekraczała $1\mu\text{g}/\text{m}^3$. Popołudniu średnia temperatura powietrza wynosiła 4°C .

Porą wieczorną największe wartości PM2.5 odnotowywane były w północno-zachodniej części Krakowa. Zanieczyszczenie pyłem mieściło się w przedziale od 8.3 do $8.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fig 131). Były to najwyższe wartości odnotowane tego dnia. Średnia wieczorna temperatura była równa 2.5°C .

Tego dnia odnotowano najniższe wartości stężenia PM2.5 wśród wszystkich trzech dni.

Porównanie metod krigingu:

Na mapach PM2.5, które utworzone zostały przy użyciu krigingu gaussowskiego (Fig 97, Fig 113, Fig 129) poziom zanieczyszczenia pyłami układają się w sposób liniowy.

Wartości PM2.5 na mapach, do których stworzenia użyto modelu Materna (Fig 101, Fig 117, Fig 131) rozkładają się na terenie miasta w sposób najbardziej równomierny. Z wyjątkiem wieczornego pomiaru, mapy te są wizualnie zbliżone do tych będących wynikami użycia krigingu Ste (Fig 109, Fig 125).

4. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonej analizy zauważyć można często występujący związek pomiędzy kierunkiem wiatru a rozkładem zanieczyszczenia pyłami PM 2.5. Najczęściej tereny Krakowa z kierunku których wiał wiatr odznaczały się wyższym zanieczyszczeniem pyłami PM 2.5 (Fig 5, Fig 21, Fig 65, Fig 97, Fig129). W przypadku gdy prędkość wiatru nie była wystarczająco silna zanieczyszczenie pyłami rozkłada się równomiernie (Fig 57). W jednym przypadku zaobserwowano odwrotną zależność gdzie tereny z kierunku których wiał wiatr odznaczały się niższą wartością pyłów PM 2.5 (Fig 81). Zauważyć można także że stężenie pyłów w powietrzu jest zmienne w zależności od pory dnia, rano osiągało najniższe wartości natomiast wieczorem wartość ta rosła by w porze nocnej osiągnąć najwyższą wartość. Zauważyć to bardzo dobrze można na mapach z soboty oraz z czwartku. Można także zwrócić uwagę na wzrost zanieczyszczenia powietrza pyłami związany ze spadkiem temperatury. Spowodowane jest to tym, że w zimniejsze dni elektro cieplownie oraz elektrownie na terenie Krakowa muszą pracować ze zwiększoną mocą.

W celu przeprowadzenia analizy zastosowano 4 metody kringingu: Gaussa, Materna, Exponentialnego i Ste. Mapy stworzone przy użyciu kringingu Materna, Exponentialnego oraz Ste bardzo często dawały dość podobne wizualnie wyniki, natomiast w przypadku kringingu Gaussowskiego zauważono, że ma on tendencje do tworzenia modeli na których wartości zanieczyszczenia pyłami rozłożone były w postaci pasów będących do siebie praktycznie równoległych (Fig 65, Fig 81, Fig 97). Zastosowanie kringingu Gaussowskiego wiązało się także z największymi wartościami błędów, natomiast najmniejsze wartości błędów uzyskano przy zastosowaniu kringingu Materna oraz Ste. W każdym przypadku największe błędy zauważono we wschodniej części Krakowa, wiąże się to z bardzo niską ilością czujników w tamtym rejonie Krakowa. Powoduje to, że wymodelowane tam wartości mogą najgorzej odzwierciedlać faktyczny stan powietrza.

5. Metody badawcze

```
#wczytanie potrzebnych bibliotek

library(jsonlite)

library(httr)

library(sp)

library(sf)

library(maptools)

library(tmaptools)

library(automap)

library(spatstat)


#klucz do api airly

klucz = "xxxxxxx"


#sciezka do zapisu danych

fileName = "list_inst22.Rdata"


#pobranie danych o czujnikach w odległości 15km od ratusza

r <- GET("https://airapi.airly.eu/v2/installations/nearest?lat=50.0617022&lng=19.9373569&maxDistanceKM=15&maxResults=-1",
  add_headers(apikey = klucz, Accept = "application/json")
)


#zamiana na liste

jsonRespText<-content(r,as="text")

test15<-fromJSON(jsonRespText)


#stworzenie ramki z danymi o lokalizacji, wysokości i id czujników

longitude<-test15$location$longitude

latitude<-test15$location$latitude

data15<-data.frame(longitude,latitude)

data15$elevation<-test15$elev

data15$id<-test15$id

head(data15)


#stworzenie obiektu przestrzennego

data_spat<-data.frame(lon=data15$longitude,lat=data15$latitude,elev=data15$elev,id=data15$id)

coordinates(data_spat) <- ~lon+lat #określamy, które elementy to koordynaty
```

```

proj4string(data_spat) <- CRS("+proj=longlat +datum=WGS84") #określenie układu wsp.
data_spat #obiekt w układzie sferycznym, który można automatycznie konwertować

#konwersja do UTM
data_UTM <- spTransform(data_spat, CRS("+proj=utm +zone=34 +datum=WGS84"))

#utworzenie konturu Krakowa
#utworzenie krakowUTM
dzielnice<-st_read("dzielnice_Krakowa.shp") #układ odniesienia(CRS) to ETRS89 (Poland CS92)
#konwersja do WGS84
dzielniceWGS84<-st_transform(dzielnice,crs = 4326) #"4326" to kod dla WGS84
#zostawienie tylko konturu miasta
krakowWGS84<-st_union(dzielniceWGS84)
#przekształcenie na UTM
krakowUTM<-st_transform(krakowWGS84,CRS("+proj=utm +zone=34 +datum=WGS84"))

#utworzenie obiektu ppp, tylko z czujnikami w Krakowie
XY<-coordinates(data_UTM)
data15_ppp_id<-ppp(x=XY[,1],y=XY[,2],marks=data.frame(elev=data_UTM$elev,id=data_UTM$id),window=as.owin(krakowUTM))
data15_ppp_id$marks$id #tylko te id które są w Krakowie

#####pobieranie danych z AIRLY dla wybranych czujników (tych z data15_ppp_id)#####
#utworzenie obiektu z liczbą czujników
n_id<-length(data15_ppp_id$marks$id)
n_id
#utworzenie obiektu z id czujników
id<-data15_ppp_id$marks$id
id
#pusta lista do odczytów z czujników
list_inst2 <- vector(mode = "list", length = n_id)

#pobranie danych z czujników AIRLY
for (i in seq(1,n_id)) {

  str<-paste("https://airapi.airly.eu/v2/measurements/installation?installationId=",id[i],sep="")

```

```

#pobranie danych z adresu

r <- GET(url=str,add_headers(apikey = klucz, Accept = "application/json"))

#przejscie z formatu r na json i z json na tekst
jsonRespText<-content(r,as="text")
inst<-fromJSON(jsonRespText)

list_inst2[[i]]<-inst #zapisanie odczytu
}

#zapis pełnej listy do pliku
save(list_inst2,file=fileName)

#load("list_inst2.Rdata")

#informacje o pierwszym czujniku
list_inst2[[1]]

##### Przygotowanie danych PM2.5 #####
#pusty wektor dla danych "current"
current_PM25<-rep(NA,n_id)

#wyciągnięcie wartości "current" PM2.5 za pomocą pętli
for (i in seq(1,n_id)) {

  logic<-list_inst2[[i]]$current$values$name=="PM25" #zmienna do wyszukania pól "PM25"

  if (sum(logic)==1) #test, czy istnieje jedno i tylko jedno takie pole
    current_PM25[i]<-list_inst2[[i]]$current$values[logic,2]
}

#przekształcenie obiektu data15_ppp_id do obiektu spdf (aby móc narysować mapę)
data15_spdf_PM25<-as.SpatialPointsDataFrame.ppp(data15_ppp_id)
coordinates(data15_spdf_PM25)
#dodanie kolumny current_PM25

```

```

data15_spdf_PM25$current_PM25<-current_PM25

#dev.off() #Jesli potrzeba
plot(data15_spdf_PM25)

#Pozbycie sie wartosci NA
miss_PM25 <- is.na(data15_spdf_PM25$current_PM25)

##### Przygotowanie danych Tmp #####
#stworzenie pustego wektora dla danych "current"
current_tmp<-rep(NA,n_id)

#wyciagniecie wartości "current" PM2.5
for (i in seq(1,n_id)) {

  logic<-list_inst2[[i]]$current$values$name=="TEMPERATURE" #do wyszukania pól o nazwie "PM25"

  if (sum(logic)==1) #testujemy, czy istnieje jedno i tylko jedno takie pole
    current_tmp[i]<-list_inst2[[i]]$current$values[logic,2]
}

#zobaczmy utworzony wektor
current_tmp

#przekształcenie obiektu data15_ppp_id do obiektu spdf (aby móc narysować mapę)
data15_spdf_tmp<-as.SpatialPointsDataFrame.ppp(data15_ppp_id)
coordinates(data15_spdf_tmp)
#dodanie kolumny current_PM25
data15_spdf_tmp$current_tmp<-current_tmp
#dev.off() #Jesli potrzeba
plot(data15_spdf_tmp)

#Pozbycie sie wartosci NA
miss_tmp <- is.na(data15_spdf_tmp$current_tmp)

```

Przygotowanie siatki

#wczytywanie zrysu krakowa

bound<-st_as_sf(krakowUTM)

plot(bound)

#pobranie współrzędnych punktów konturu w formie macierzy

coord<-as.data.frame(st_coordinates(krakowUTM))

#stworzenie siatki - prostokąt okalający kontur Krakowa

#współrzędne naroży

left_down<-c(min(coord\$X), min(coord\$Y))

right_up<-c(max(coord\$X), max(coord\$Y))

#ustalenie rozmiaru oczka siatki (100x100 metrów)

size<-c(100,100)

##przeliczenie ile oczek siatki przypada na długość i szerokość naszego prostokąta

points<- (right_up-left_down)/size

num_points<-ceiling(points) #zaokrąglenie w górę

#stworzenie siatki

grid <- GridTopology(left_down, size,num_points)

#kwersja siatki do WGS84

gridpoints <- SpatialPoints(grid, proj4string = CRS("+proj=utm +zone=34 +datum=WGS84"))

plot(gridpoints)

#przyciecie siatki konturem

g<-st_as_sf(gridpoints)#konwersja do formatu na którym działa crop_shape

cg<-crop_shape(g,bound,polygon = TRUE)

spgrid <- SpatialPixels(as_Spatial(cg))#konwersja z powrotem do st i następnie do SpatialPixels

plot(spgrid)

PM2.5 kriging i narysowne map

#Gauss

PM25_auto <- autoKrige(current_PM25 ~ 1, input_data = data15_spdf_PM25[!miss_PM25,],new_data=spgrid, model="Gau")

plot(PM25_auto\$krige_output[1],main="PM 2.5 (Gauss)")

points(data15_ppp_id[!miss_PM25,],pch="*",col="White")

plot(PM25_auto)

#Matérn

PM25_auto <- autoKrige(current_PM25 ~ 1, input_data = data15_spdf_PM25[!miss_PM25,],new_data=spgrid, model="Mat")

plot(PM25_auto\$krige_output[1],main="PM 2.5 (Matérn)")


```
points(data15_ppp_id[!miss_PM25,],pch="*",col="White")
```

```
plot(PM25_auto)
```

```
#Exponential
```

```
PM25_auto <- autoKrige(current_PM25 ~ 1, input_data = data15_spdf_PM25[!miss_PM25,],new_data=spgrid, model="Exp")
```

```
plot(PM25_auto$krige_output[1],main="PM 2.5 (Exponential)")
```

```
points(data15_ppp_id[!miss_PM25,],pch="*",col="White")
```

```
plot(PM25_auto)
```

```
#Ste
```

```
PM25_auto <- autoKrige(current_PM25 ~ 1, input_data = data15_spdf_PM25[!miss_PM25,],new_data=spgrid, model="Ste")
```

```
plot(PM25_auto$krige_output[1],main="PM 2.5 (Ste)")
```

```
points(data15_ppp_id[!miss_PM25,],pch="*",col="White")
```

```
plot(PM25_auto)
```

```
##### Temperatura krining i narysownie map #####
```

```
#Gauss
```

```
tmp_auto <- autoKrige(current_tmp ~ 1, input_data = data15_spdf_tmp[!miss_tmp,],new_data=spgrid, model="Gau")
```

```
plot(tmp_auto$krige_output[1],main="Temperature (Gauss)")
```

```
points(data15_ppp_id[!miss_tmp,],pch="*",col="White")
```

```
plot(tmp_auto)
```

```
#Matern
```

```
tmp_auto <- autoKrige(current_tmp ~ 1, input_data = data15_spdf_tmp[!miss_tmp,],new_data=spgrid, model="Mat")
```

```
plot(tmp_auto$krige_output[1],main="Temperature (Matérn)")
```

```
points(data15_ppp_id[!miss_tmp,],pch="*",col="White")
```

```
plot(tmp_auto)
```

```
#Exponenta
```

```
tmp_auto <- autoKrige(current_tmp ~ 1, input_data = data15_spdf_tmp[!miss_tmp,],new_data=spgrid, model="Exp")
```

```
plot(tmp_auto$krige_output[1],main="Temperature (Exponential)")
```

```
points(data15_ppp_id[!miss_tmp,],pch="*",col="White")
```

```
plot(tmp_auto)
```

```
#Ste
```

```
tmp_auto <- autoKrige(current_tmp ~ 1, input_data = data15_spdf_tmp[!miss_tmp,],new_data=spgrid, model="Ste")
```

```
plot(tmp_auto$krige_output[1],main="Temperature (Ste)")
```

```
points(data15_ppp_id[!miss_tmp,],pch="*",col="White")
```

```
plot(tmp_auto)
```

6. Bibliografia

Dane o wietrze: <https://m.meteo.pl>

Informacje o PM2.5: <https://airly.org/pl/pyl-zawieszony-czym-jest-pm10-a-czym-pm2-5-aerozole-atmosferyczne/>