



AGH

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

SPRAWOZDANIE

**TEMAT: Analiza zmienności zanieczyszczenia
powietrza w Krakowie pyłem zawieszonym PM2.5**

Autorzy: Filip Hałys, Bartosz Staroń

Kierunek: Geoinformatyka

Wydział: Wydział Geologii, Geofizyki i ochrony środowiska

1. Wstęp

Celem projektu jest dokonanie analizy zmienności zanieczyszczenia powietrza w Krakowie pyłem zawieszonym PM2.5 oraz porównanie tych zmian w kontekście temperatury i wiatru.

Pył zawieszony PM2.5 jest aerozolem atmosferycznym o średnicy, która nie przekracza 2.5 mikrometra. Jak podaje WHO, PM2.5 jest najniebezpieczniejszym (najbardziej szkodliwym dla zdrowia człowieka) zanieczyszczeniem atmosferycznym. Dopuszczalne stężenie w powietrzu wynosi 25 mikrograma na metr sześcienny (średnio w ciągu roku). Polska jest krajem, który ma szczególnie wysokie stężenie tego aerozolu w powietrzu. Według danych organizacji, jak Światowa Organizacja Zdrowia, Greenpeace, AirVisual, polskie miasta są najbardziej zanieczyszczonymi w Unii Europejskiej. Przykładem może być raport WHO z 2016 roku, który stwierdza, że 33 z 50 najbardziej zanieczyszczonych miast w krajach UE są miastami polskimi. Kraków w tego typu rankingach zwykle znajduje się w czołówce, ze stężeniem PM2.5 około półtora razy większym niż stężenie dopuszczalne.

2. Dane i metody

Analizę przeprowadzono na podstawie danych o zanieczyszczeniu powietrza mierzonych przez czujniki Airly. Na początku wyznaczono średnie wartości zanieczyszczenia dla Krakowa poprzez ich estymację za pomocą różnych metod krigingu (sferycznej, parametryzacji Steina,). Analogiczne operacje wykonano dla temperatury.

Kriging eksponentialny – w tej metodzie krigingu, do wymodelowania stopnia korelacji pomiędzy wartościami w punktach, wykorzystywana jest funkcja eksponentialna.

Kriging gaussowski - do modelowania korelacji pomiędzy punktami używana jest funkcja Gaussa. Kriging ten pozwala również na estymację niepewności wyestymowanych wartości.

Kriging sferyczny - zakłada on, że korelacja między punktami maleje wraz ze wzrostem ich odległości od siebie. Z tego powodu pomiary w sąsiedztwie danego punktu mocniej wpływają na estymowaną wartość niż te położone dalej.

Kriging z zastosowaniem parametryzacji Steina - ta metoda krigingu służy poprawieniu dokładności estymacji w przypadku niedostatecznej liczby danych. Jest to możliwe dzięki dodatkowemu parametrowi, który służy do kontroli nad stopniem wygładzenia estymacji poprzez minimalizowanie wariancji lub obciążenia estymacji.

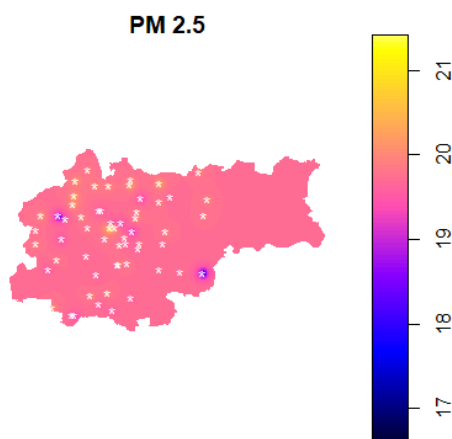
3. Wyniki

3.1 Wyniki dla dnia 21.01.2024 i godziny 09:00

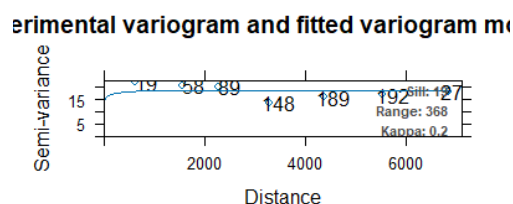
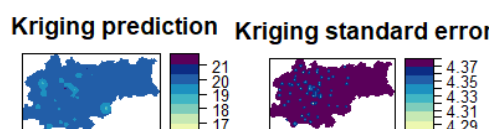
- Wykresy z dnia 21.01.2024, godzina 09:00 dla stężenia PM2.5

Dla wyżej wymienionych daty i godziny poprawnie wykonały się trzy z pięciu par wykresów. Niestety wykresy wykonane przy pomocy krigingu metodą eksponentialną i krigingu

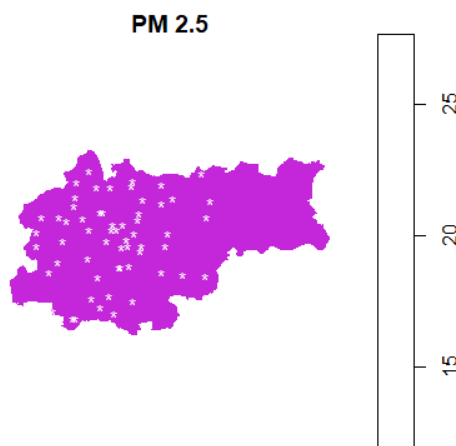
gaussowskiego (Wykresy 3,4,5 i 6) są niepoprawne. Nie przedstawiają one poprawnych wartości. Reszta wykresów jest jak najbardziej poprawnie wykonana. Wartości stężenia pyłu PM2.5 oscylują mniej więcej na poziomie 17 do 21 mikrogramów na metr sześcienny. Zauważono, że nie ma dużych różnic pomiędzy wynikami kriginu metodą standardową, a metodą z wykorzystaniem parametryzacji Steina. W metodzie kriginu sferycznego natomiast zaobserwowano, że wartości skrajne są znacznie bardziej uwidocznione (zwłaszcza na mapie z wykresu 7). Zauważono również, iż w północnej części Krakowa na każdym z wykresów stężenie jest wyższe, niż w jego południowej części.



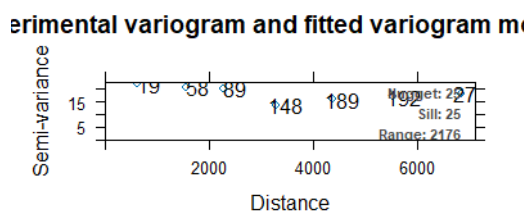
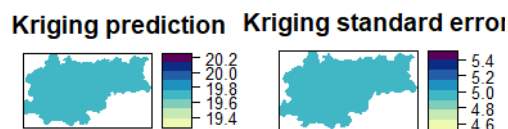
(Wyk. 1) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 standardową metodą kriginu (21.01 09:00)



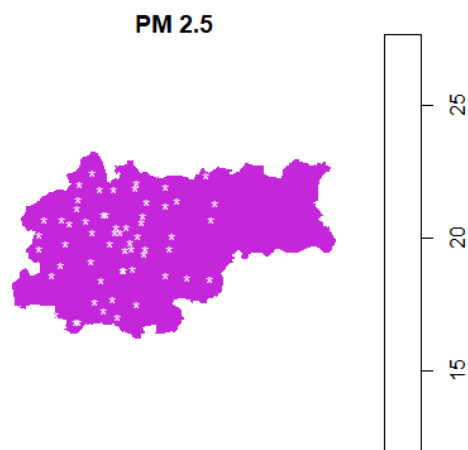
(Wyk. 2) Wariogram dla standardowej metody kriginu PM2.5 (21.01 09:00)



(Wyk. 3) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą kriginu ekspotencjalnego (21.01 09:00)

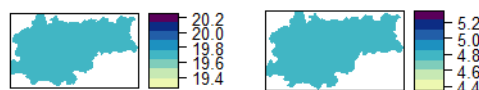


(Wyk. 4) Wariogram dla kriginu ekspotencjalnego PM2.5 (21.01 09:00)

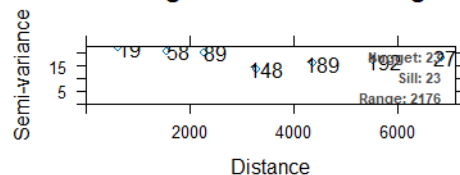


(Wyk. 5) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu gaussowskiego (21.01 09:00)

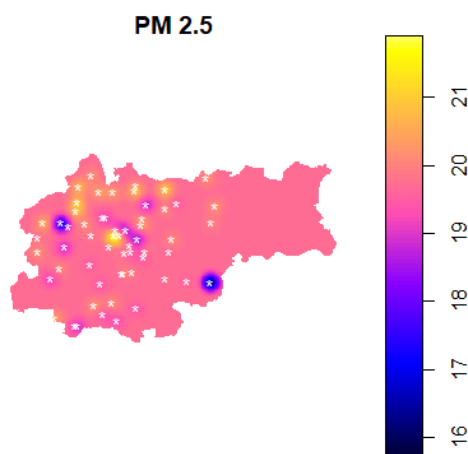
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

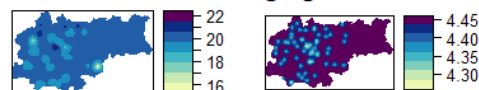


(Wyk. 6) Wariogram dla krzygu gaussowskiego PM2.5 (21.01 09:00)

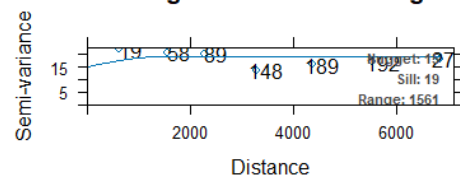


(Wyk. 7) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu sferycznego (21.01 09:00)

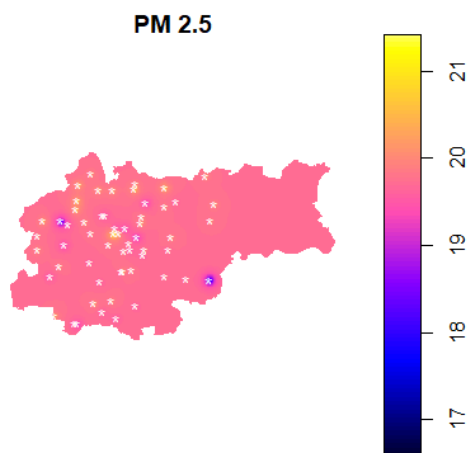
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

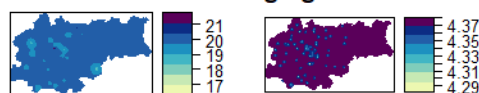


(Wyk. 8) Wariogram dla krzygu sferycznego PM2.5 (21.01 09:00)

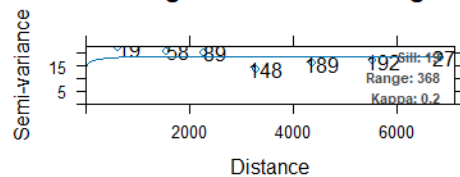


(Wyk. 9) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu z zastosowaniem parametryzacji Steina (21.01 09:00)

Kriging prediction Kriging standard error



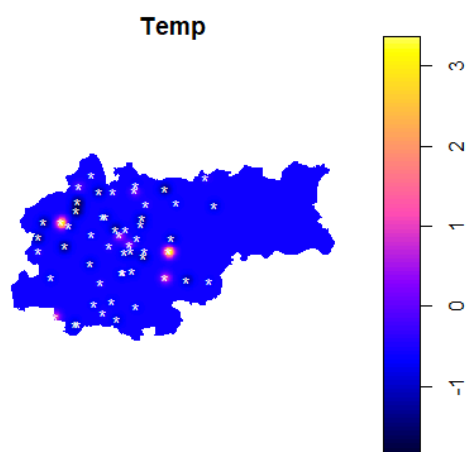
Experimental variogram and fitted variogram model



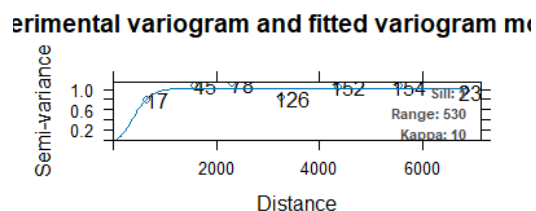
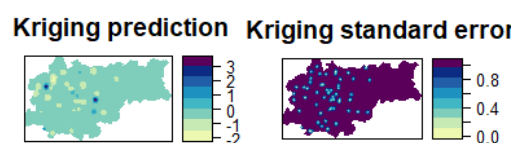
(Wyk. 10) Wariogram dla krzygu z zastosowaniem parametryzacji Steina PM2.5 (21.01 09:00)

- Wykresy z dnia 21.01.2024, godzina 09:00 dla temperatury

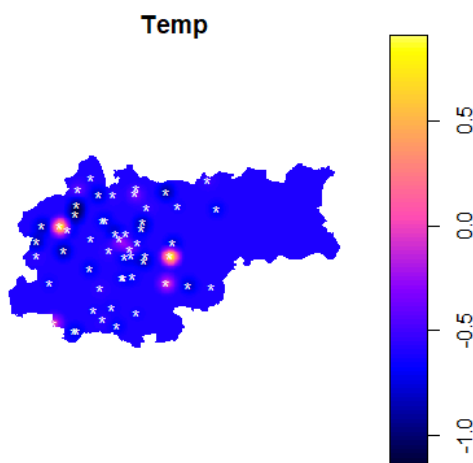
O godzinie 9 temperatura w Krakowie wyestymowana przy pomocy różnych metod krigingu była ujemna. Jedynie w okolicy niektórych punktów pomiarowych przyjmowała wartości powyżej 0°C. W zależności od zastosowanej metody wynosiły one nawet około 3 stopnie (kriging bez sprecyzowanego modelu – Wyk. 11 oraz kriging z parametryzacją Steina – Wyk. 19), natomiast w kringingu eksplotencjalnym (Wyk. 13), gaussowskim (Wyk. 15) oraz sferycznym (Wyk. 17) było to jedynie ponad 0,5 stopnia C. Ciepłsza temperatura była jednak również wyestymowana w dalszych odległościach od punktów pomiarowych.



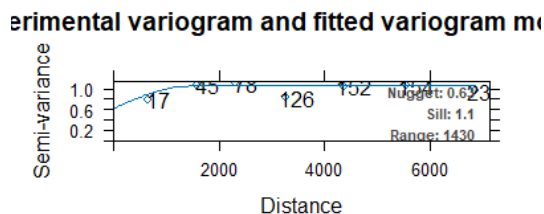
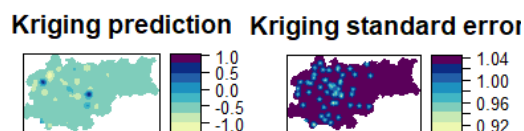
(Wyk. 11) Prognozowana mapa temperatury powietrza standardową metodą kringingu (21.01 09:00)



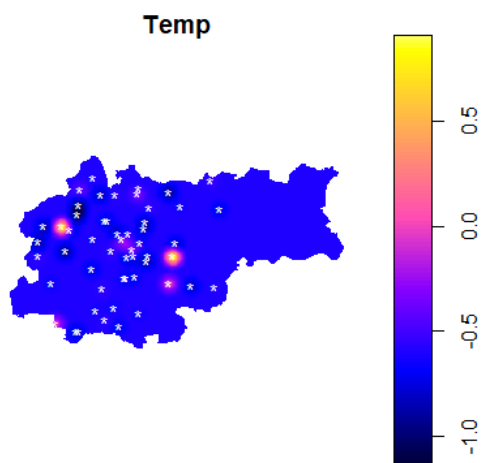
(Wyk. 12) Wariogram dla standardowej metody kringingu, temperatura (21.01 09:00)



(Wyk. 13) Prognozowana mapa temperatury powietrza metodą kringingu eksplotencjalnego (21.01 09:00)

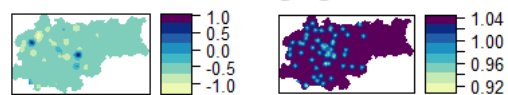


(Wyk. 14) Wariogram dla kringingu metodą eksplotencjalną, temperatura (21.01 09:00)

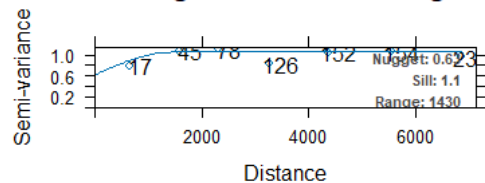


(Wyk. 15) Prognozowana mapa temperatury powietrza krigngu gaussowskiego (21.01 09:00)

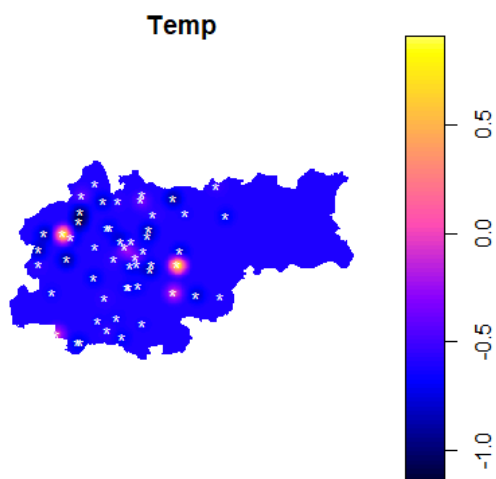
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

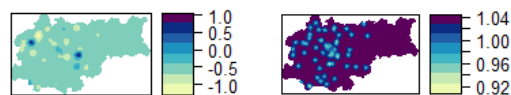


(Wyk. 16) Wariogram dla krigngu metodą gaussowską, temperatura (21.01 09:00)

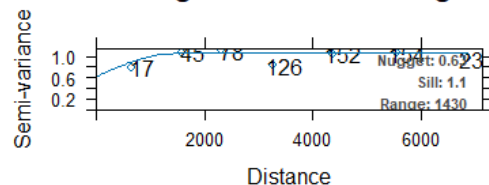


(Wyk. 17) Prognozowana mapa temperatury powietrza krigngu sferycznego (21.01 09:00)

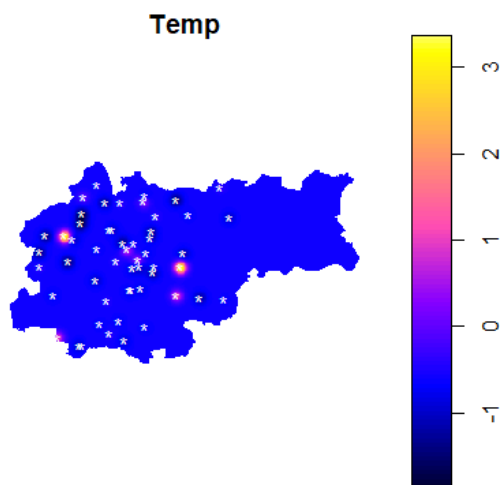
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

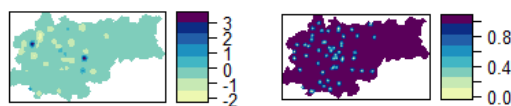


(Wyk. 18) Wariogram dla krigngu metodą sferyczną, temperatura (21.01 09:00)

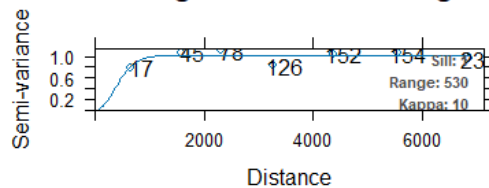


(Wyk. 19) Prognozowana mapa temperatury powietrza krigngu z zastosowaniem parametryzacji Steina (21.01 09:00)

Kriging prediction Kriging standard error

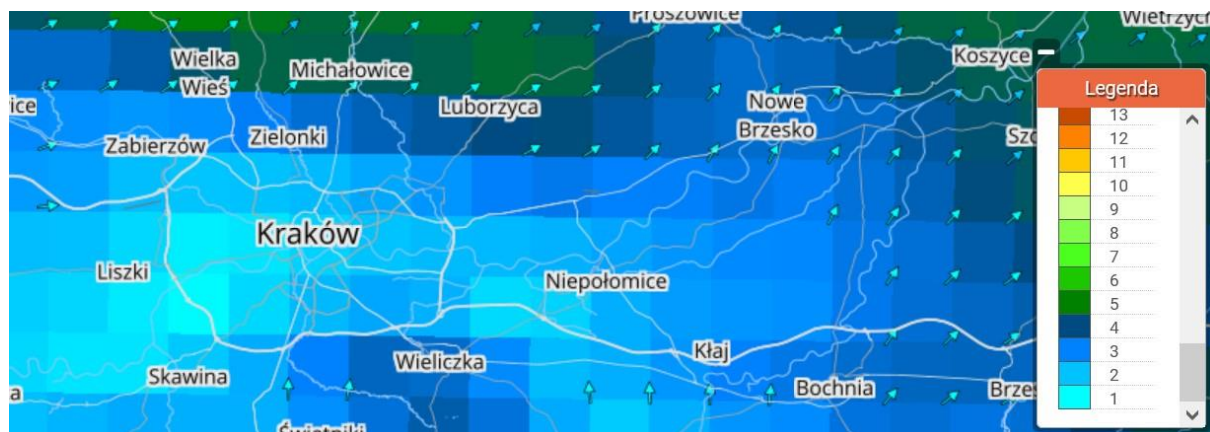


Experimental variogram and fitted variogram model



(Wyk. 20) Wariogram dla krigngu z zastosowaniem metody Steina, temperatura (21.01 09:00)

- Wykres z dnia 21.01.2024, godzina 09:00 dla wiatru

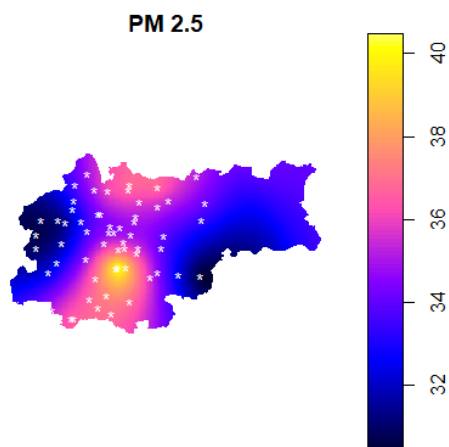


(Wyk. 21) Mapa przedstawiająca kierunki i prędkość wiatru (21.01 09:00)

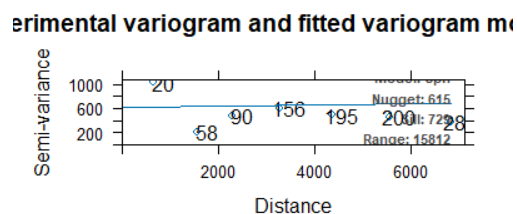
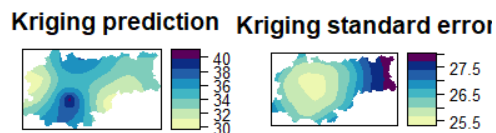
3.2 Wyniki dla dnia 21.01.2024 i godziny 20:00

- Wykresy z dnia 21.01.2024, godzina 20:00 dla stężenia PM_{2.5}

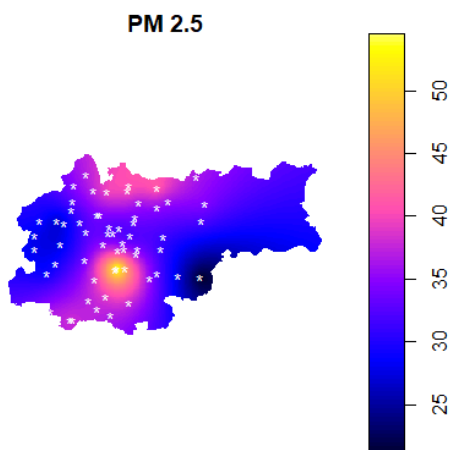
Generowanie wykresów dla godziny 20:00 (w przeciwieństwie do 09:00) przebiegło całkowicie pomyślnie. Stężenie PM_{2.5} w Krakowie w godzinach wieczornych było znacznie wyższe niż w godzinach porannych. Standardowa metoda krigingu (Wyk. 22) wyestymowała bardzo podobne wartości, jak metoda krigingu eksplotencjalnego (Wyk. 24), w zakresie lokalizacji ekstremów stężenia. Obie metody uwzględniły centrum miasta jako miejsce z najwyższym stężeniem PM_{2.5}, a zachodnią i południowo-wschodnią część jako miejsce z najniższym stężeniem. Różnica między tymi metodami jest w zakresie wartości stężenia. W standardowej metodzie (Wyk. 23) najwyższy poziom stężenia wynosi około 40 mikrogramów na metr sześcienny, natomiast w metodzie eksplotencjalnej nawet powyżej 50 (Wyk. 25). W tym przypadku wyniki krigingu metodą sferyczną są niemalże identyczne jak przy metodzie standardowej. Jest to idealnie widoczne na mapach z (Wyk. 22) i (Wyk. 28). Dla ostatniej z metod (Wyk. 30 i Wyk. 31) największe stężenie ponownie skupiło się w centrum miasta, lecz poza jednym czujnikiem, wartość stężenia jest stała i wynosi około 35 mikrogramów.



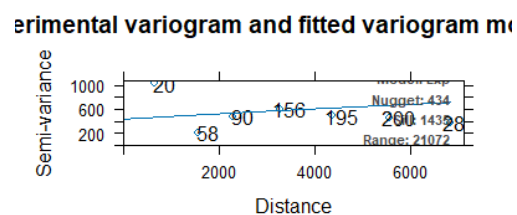
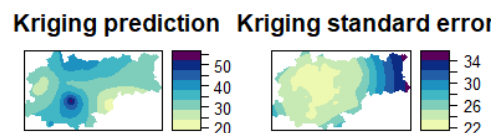
(Wyk. 22) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 standardową metodą krigingu (21.01 20:00)



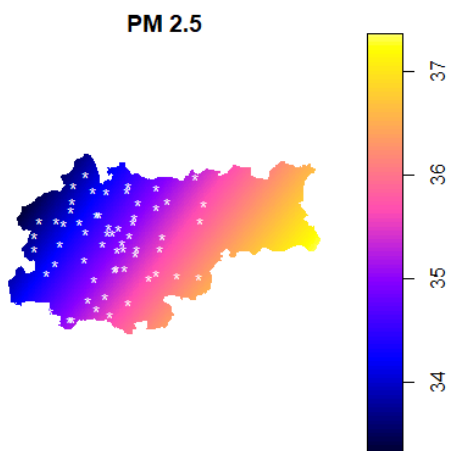
(Wyk. 23) Wariogram dla standardowej metody krigingu PM2.5 (21.01 20:00)



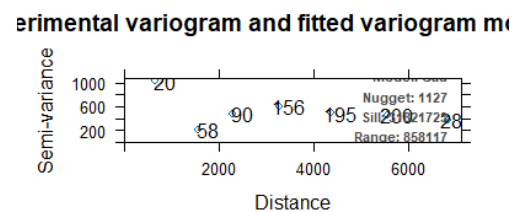
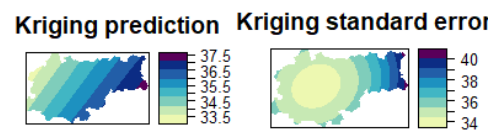
(Wyk. 24) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krigingu eksponentialnego (21.01 20:00)



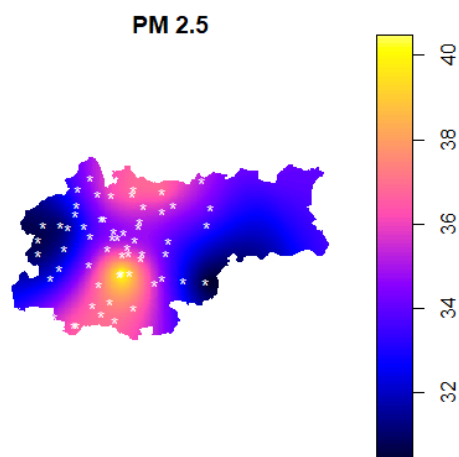
(Wyk. 25) Wariogram dla krigingu eksponentialnego PM2.5 (21.01 20:00)



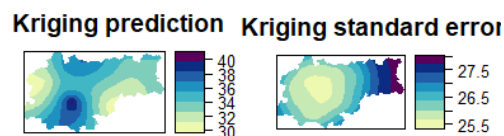
(Wyk. 26) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krigingu gaussowskiego (21.01 20:00)



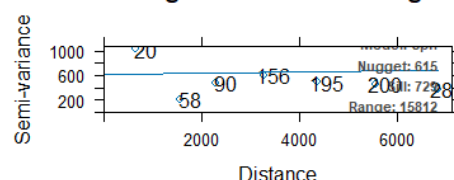
(Wyk. 27) Wariogram dla krigingu gaussowskiego PM2.5 (21.01 20:00)



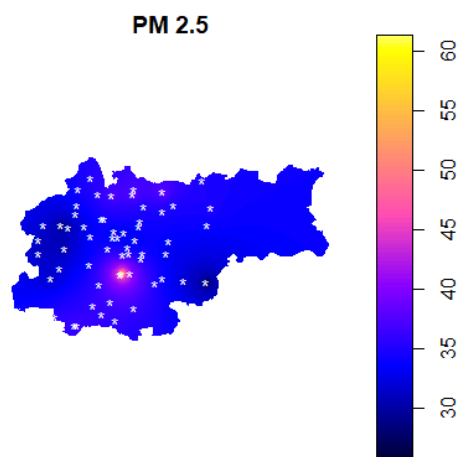
(Wyk. 28) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu sferycznego (21.01 20:00)



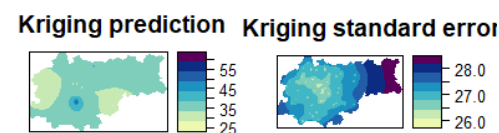
Experimental variogram and fitted variogram model for spherical kriging



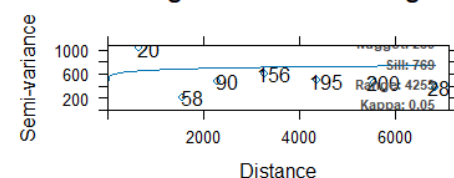
(Wyk. 29) Wariogram dla krzygu sferycznego PM2.5 (21.01 20:00)



(Wyk. 30) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu z zastosowaniem parametryzacji Steina (21.01 20:00)



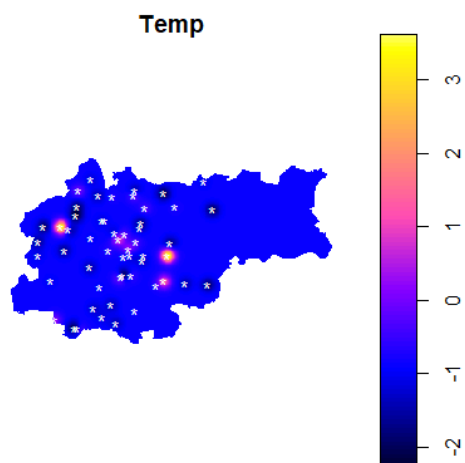
Experimental variogram and fitted variogram model for Steins kriging



(Wyk. 31) Wariogram dla krzygu z zastosowaniem parametryzacji Steina PM2.5 (21.01 20:00)

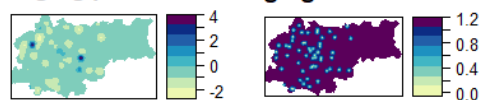
- Wykresy z dnia 21.01.2024, godzina 20:00 dla temperatury

Wieczorem temperatura w Krakowie również była ujemna. Dla większej liczby punktów pomiarowych wyestymowana temperatura wynosiła poniżej -1°C . W porównaniu do pozostałych danych z godziny 9 zmiany były niewielkie, niezależnie od zastosowanej metody krzygu.

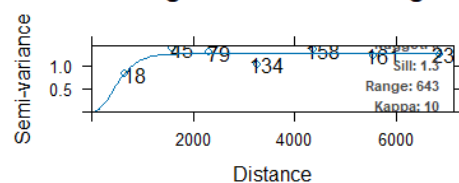


(Wyk. 32) Prognozowana mapa temperatury powietrza standardową metodą kriginu (21.01 20:00)

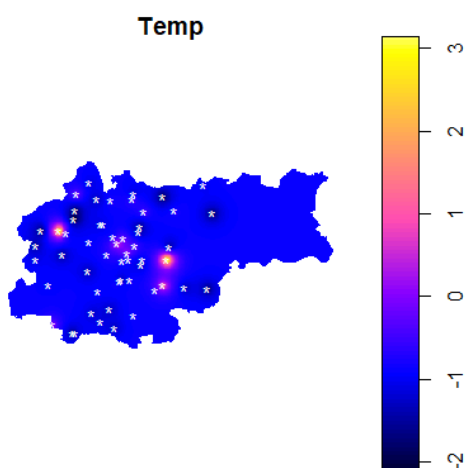
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

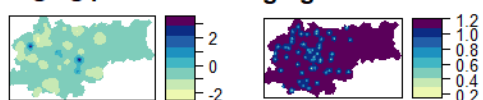


(Wyk. 33) Wariogram dla standardowej metody kriginu, temperatura (21.01 20:00)

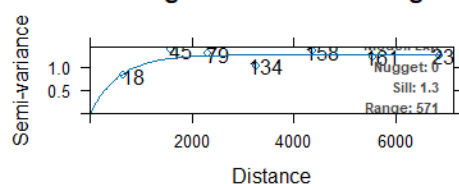


(Wyk. 34) Prognozowana mapa temperatury powietrza metodą kriginu eksponentialnego (21.01 20:00)

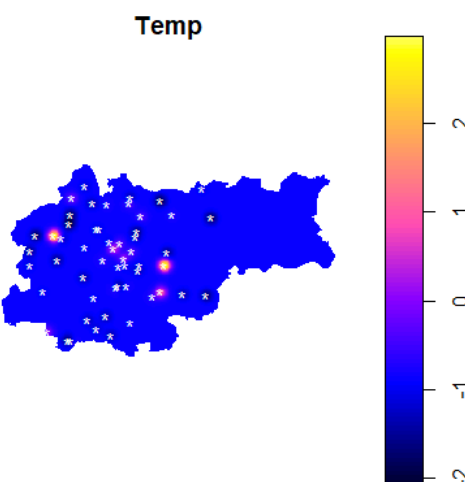
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

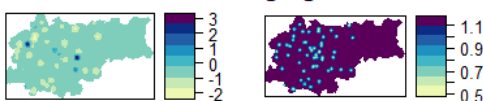


(Wyk. 35) Wariogram dla kriginu metodą eksponentialną, temperatura (21.01 20:00)

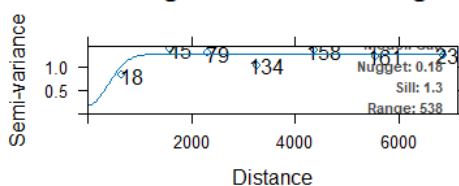


(Wyk. 36) Prognozowana mapa temperatury powietrza kriginu gaussowskiego (21.01 20:00)

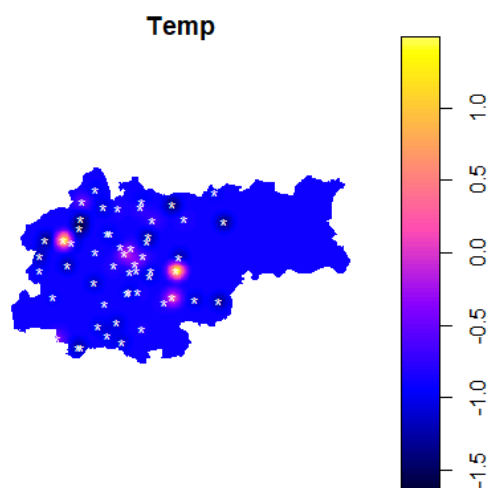
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

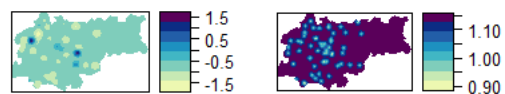


(Wyk. 37) Wariogram dla kriginu metodą gaussowską, temperatura (21.01 20:00)

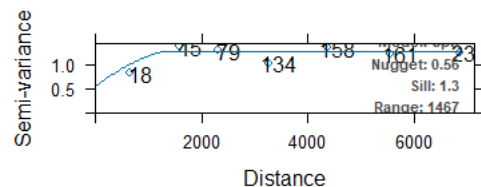


(Wyk. 38) Prognozowana mapa temperatury powietrza krugingu sferycznego (21.01 20:00)

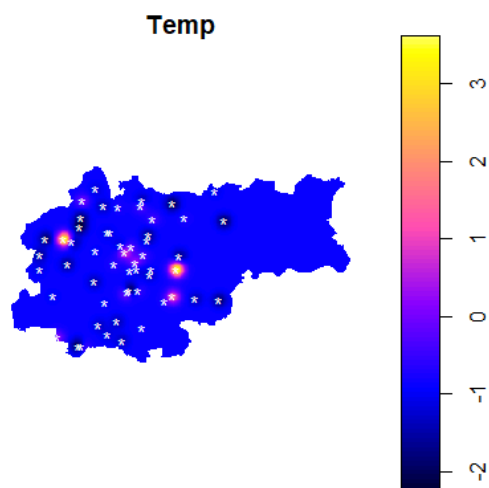
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

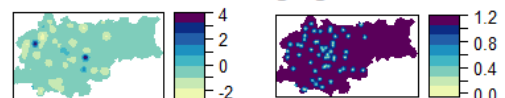


(Wyk. 39) Wariogram dla krugingu metodą sferyczną, temperatura (21.01 20:00)

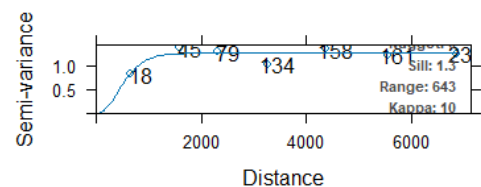


(Wyk. 40) Prognozowana mapa temperatury powietrza krugingu z zastosowaniem parametryzacji Steina (21.01 20:00)

Kriging prediction Kriging standard error

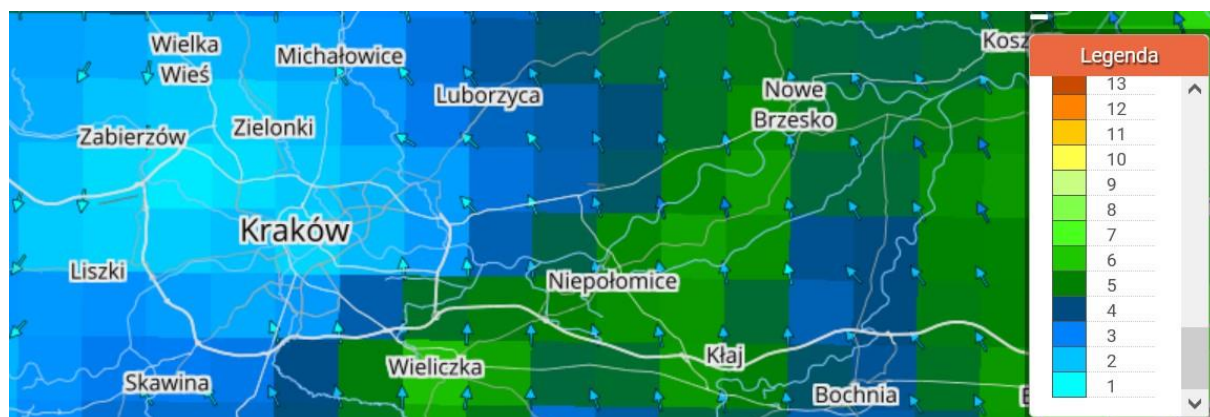


Experimental variogram and fitted variogram model



(Wyk. 41) Wariogram dla krugingu z zastosowaniem metody Steina, temperatura (21.01 20:00)

- Wykres z dnia 21.01.2024, godzina 20:00 dla wiatru

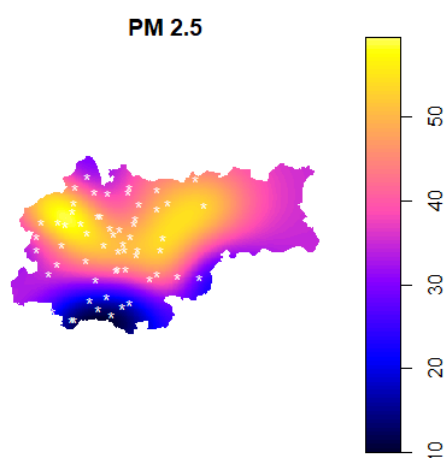


(Wyk. 42) Mapa przedstawiająca kierunki i prędkość wiatru (21.01 20:00)

3.3 Wyniki dla dnia 22.01.2024 i godziny 09:00

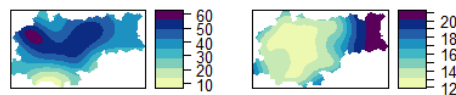
- Wykresy z dnia 22.01.2024, godzina 09:00 dla stężenia PM2.5

Wartości stężenia pyłu PM2.5 o poranku 22 stycznia były znacznie wyższe niż wartości w dniu poprzednim. Przekraczały one miejscami 50 mikrogramów na metr sześcienny, czyli znacznie powyżej normy dopuszczalnej. Zobrazowane na mapach wyniki krugingu każdej z pięciu metod są bardzo do siebie podobne. Generalnie najniższe odczytane stężenia zlokalizowano na południu miasta, najwyższe zaś w jego centralnej i zachodniej części.

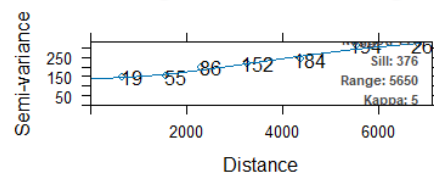


(Wyk. 43) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 standardową metodą krugingu (22.01 09:00)

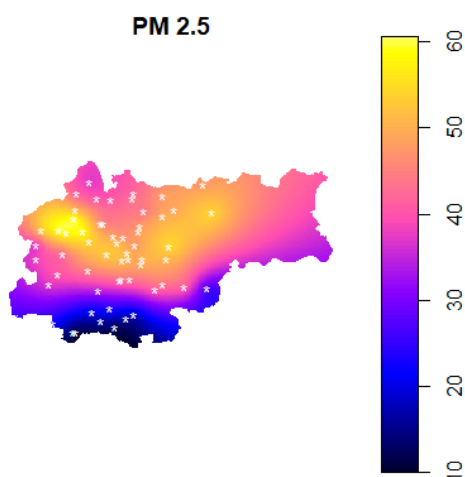
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

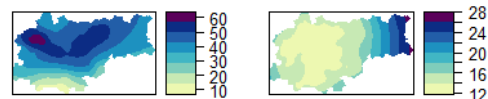


(Wyk. 44) Wariogram dla standardowej metody krugingu PM2.5 (22.01 09:00)

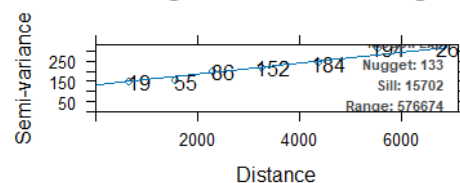


(Wyk. 45) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krugingu eksponentialnego (22.01 09:00)

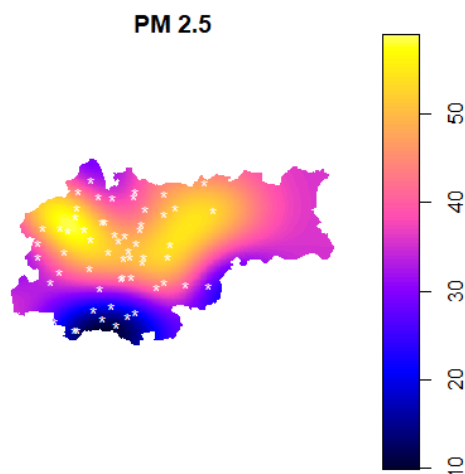
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

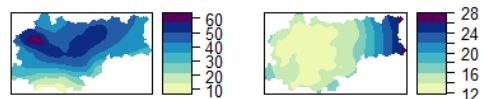


(Wyk. 46) Wariogram dla krugingu eksponentialnego PM2.5 (22.01 09:00)

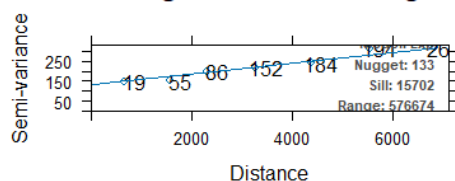


(Wyk. 47) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu gaussowskiego (22.01 09:00)

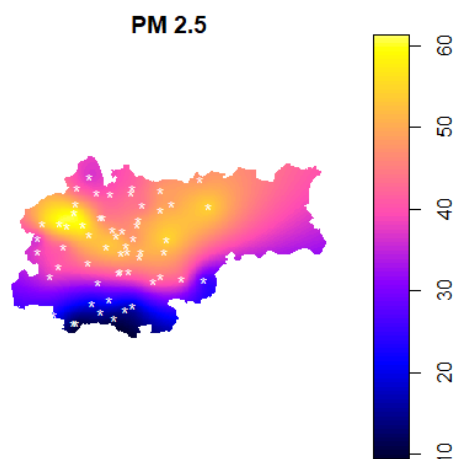
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

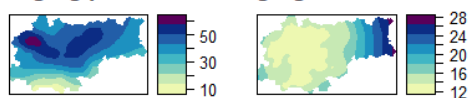


(Wyk. 48) Wariogram dla krzygu gaussowskiego PM2.5 (22.01 09:00)

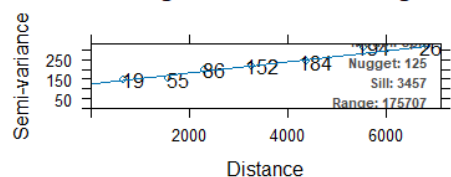


(Wyk. 49) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu sferycznego (22.01 09:00)

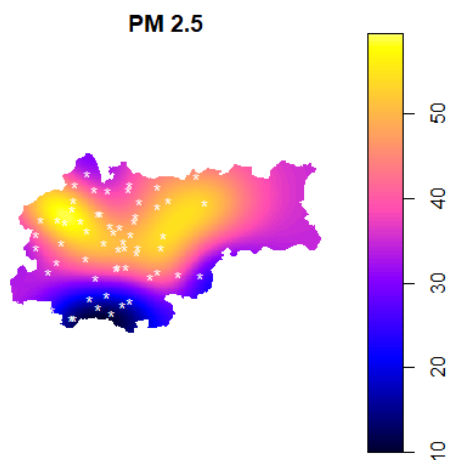
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

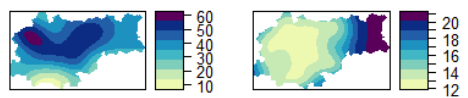


(Wyk. 50) Wariogram dla krzygu sferycznego PM2.5 (22.01 09:00)

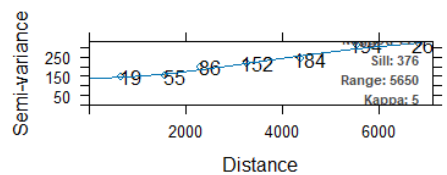


(Wyk. 51) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu z zastosowaniem parametryzacji Steina (22.01 09:00)

Kriging prediction Kriging standard error



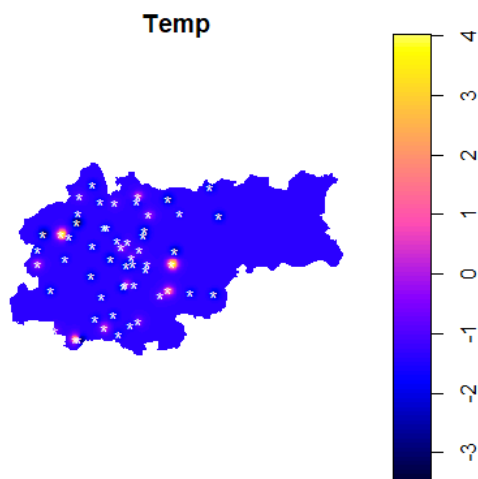
Experimental variogram and fitted variogram model



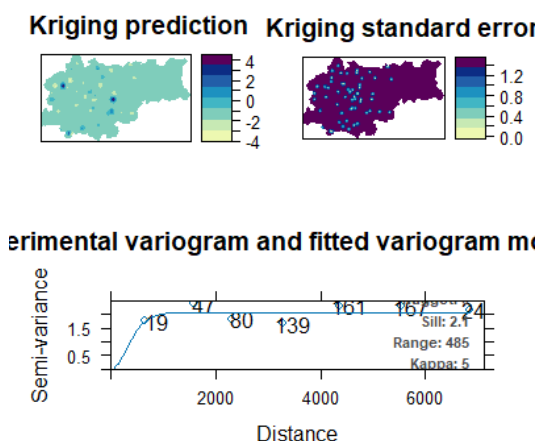
(Wyk. 52) Wariogram dla krzygu z zastosowaniem parametryzacji Steina PM2.5 (22.01 09:00)

- Wykresy z dnia 22.01.2024, godzina 09:00 dla temperatury

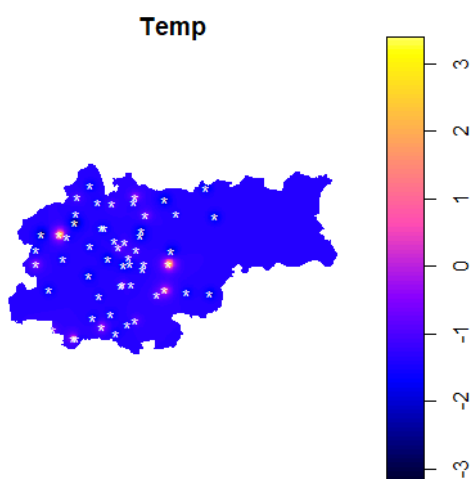
O godzinie 9 wyestymowane temperatury znacznie się różnią w zależności od zastosowanej metody kriginu. W przypadku kriginu bez zdefiniowanej metody (Wyk. 53), eksponentialnego (Wyk. 55) oraz korzystającego z parametryzacji Steina (Wyk. 61) maksymalne wartości w okolicach punktów pomiarowych wynosiły od 3 do 4 stopni Celsjusza, natomiast dla kriginu gaussowskiego (Wyk. 57) było to nieco ponad 1 stopień, a dla kriginu sferycznego (Wyk. 59) mniej niż 1°C.



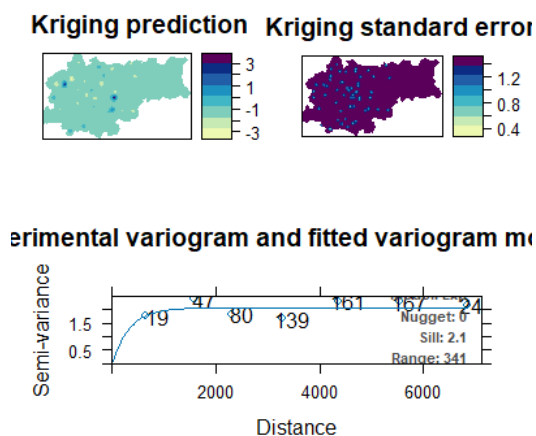
(Wyk. 53) Prognozowana mapa temperatury powietrza standardową metodą kriginu (22.01 09:00)



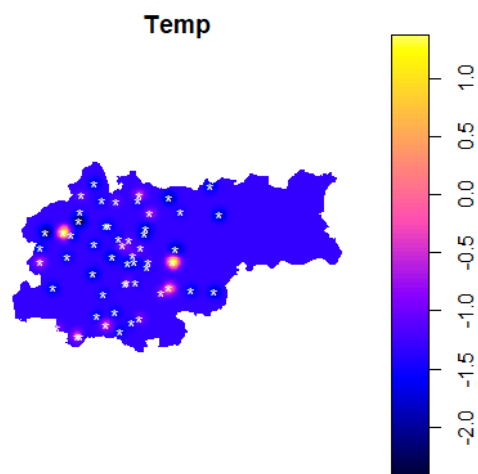
(Wyk. 54) Wariogram dla standardowej metody kriginu, temperatura (22.01 09:00)



(Wyk. 55) Prognozowana mapa temperatury powietrza metodą kriginu eksponentialnego (22.01 09:00)

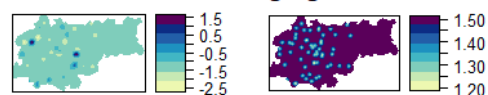


(Wyk. 56) Wariogram dla kriginu metodą eksponentialną, temperatura (22.01 09:00)

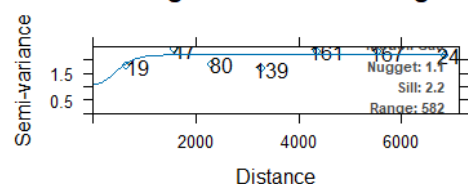


(Wyk. 57) Prognozowana mapa temperatury powietrza kriginu gaussowskiego (22.01 09:00)

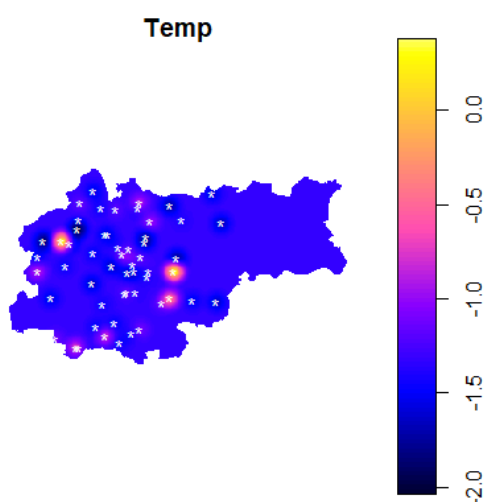
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

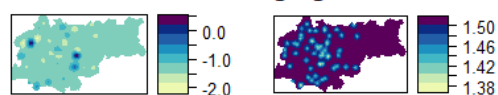


(Wyk. 58) Wariogram dla kriginu metodą gaussowską, temperatura (22.01 09:00)

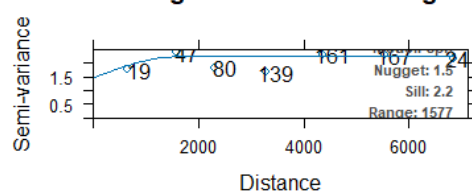


(Wyk. 59) Prognozowana mapa temperatury powietrza kriginu sferycznego (22.01 09:00)

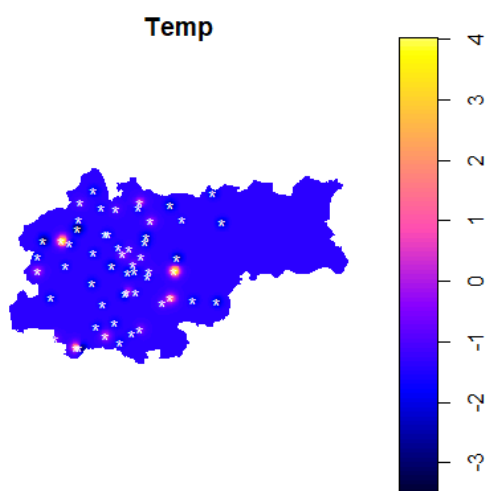
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

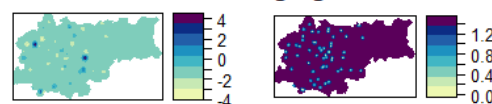


(Wyk. 60) Wariogram dla kriginu metodą sferyczną, temperatura (22.01 09:00)

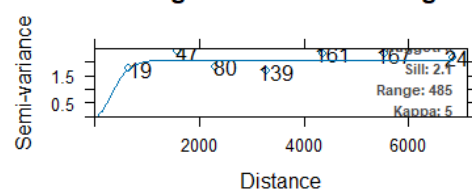


(Wyk. 61) Prognozowana mapa temperatury powietrza kriginu z zastosowaniem parametryzacji Steina (22.01 09:00)

Kriging prediction Kriging standard error

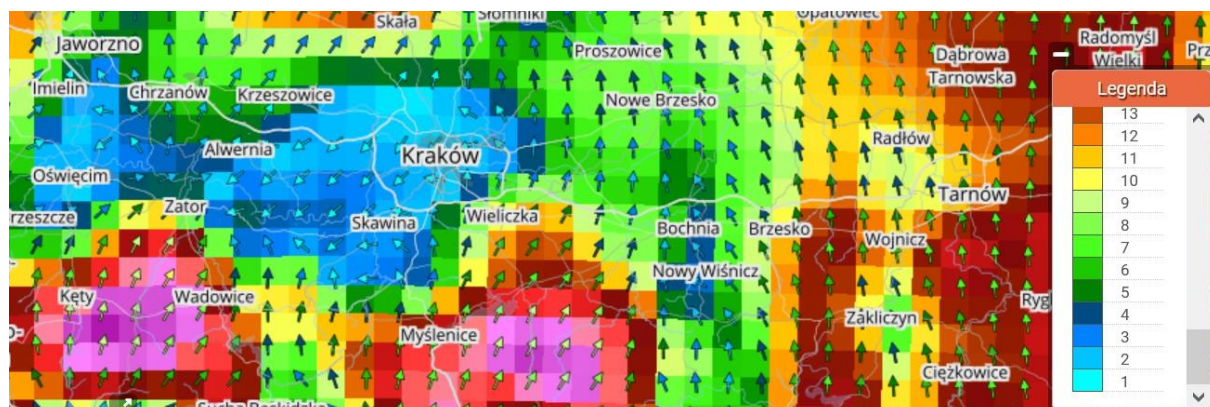


Experimental variogram and fitted variogram model



(Wyk. 62) Wariogram dla kriginu z zastosowaniem metody Steina, temperatura (22.01 09:00)

- Wykres z dnia 22.01.2024, godzina 09:00 dla wiatru

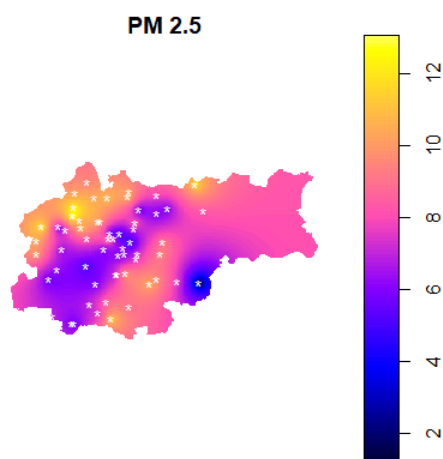


(Wyk. 63) Mapa przedstawiająca kierunki i prędkość wiatru (22.01 09:00)

3.4 Wyniki dla dnia 22.01.2024 i godziny 20:00

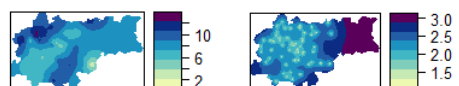
- Wykresy z dnia 22.01.2024, godzina 20:00 dla stężenia PM2.5

Wieczorem 22 stycznia zaobserwowano znaczny spadek stężenia. Wartości o godzinie dwudziestej nie przekroczyły 12 mikrogramów na metr sześcienny. Ponownie północne i północno-zachodnie części Krakowa były najbardziej zanieczyszczone. Wszystkie z pięciu metod kriginu zwróciły bardzo podobne wyniki.

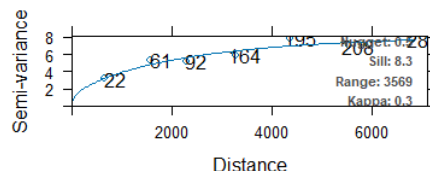


(Wyk. 64) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 standardową metodą kriginu (22.01 20:00)

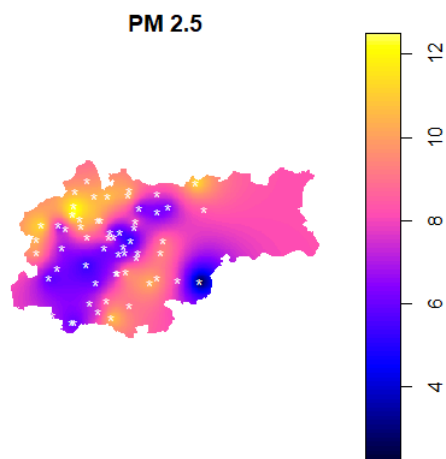
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

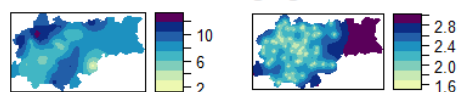


(Wyk. 65) Wariogram dla standardowej metody kriginu PM2.5 (22.01 20:00)

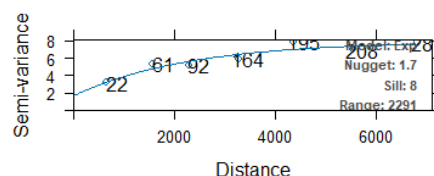


(Wyk. 66) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu eksponentialnego (22.01 20:00)

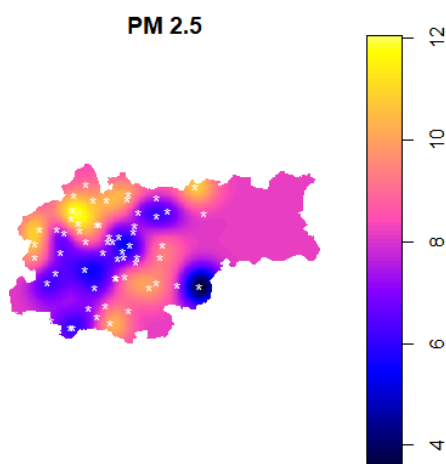
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

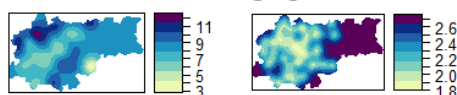


(Wyk. 67) Wariogram dla krzygu eksponentialnego PM2.5 (22.01 20:00)

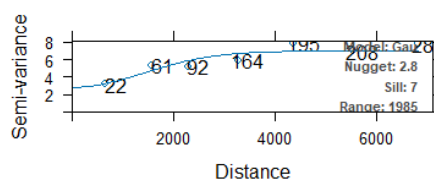


(Wyk. 68) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu gaussowskiego (22.01 20:00)

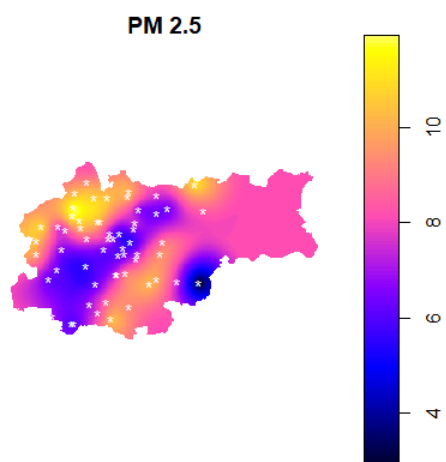
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

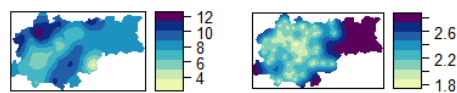


(Wyk. 69) Wariogram dla krzygu gaussowskiego PM2.5 (22.01 20:00)

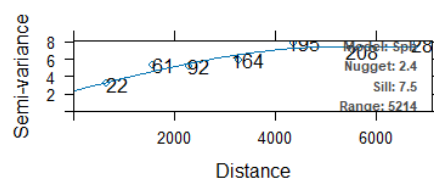


(Wyk. 70) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu sferycznego (22.01 20:00)

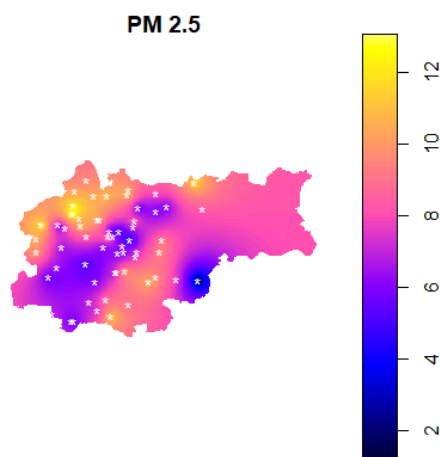
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

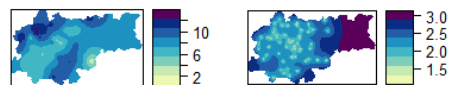


(Wyk. 71) Wariogram dla krzygu sferycznego PM2.5 (22.01 20:00)

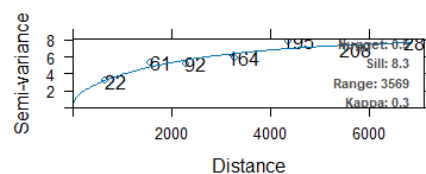


(Wyk. 72) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krigingu z zastosowaniem parametryzacji Steina (22.01 20:00)

Kriging prediction Kriging standard error



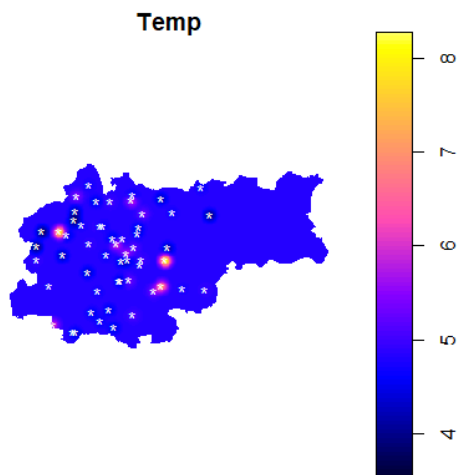
Experimental variogram and fitted variogram model



(Wyk. 73) Wariogram dla krigingu z zastosowaniem parametryzacji Steina PM2.5 (22.01 20:00)

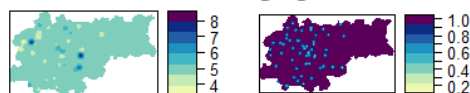
- Wykresy z dnia 22.01.2024, godzina 20:00 dla temperatury

Porównując dane temperaturowe z tymi z godziny 9 można zauważyć wzrost temperatury powietrza o 4-5 stopni C. Zarówno tej minimalnej jak i maksymalnej. Wyniki otrzymane przy użyciu większości metod krigingu były do siebie zbliżone. Jedynie w przypadku krigingu gaussowskiego temperatura maksymalna wynosiła około 7°C, zamiast 8.

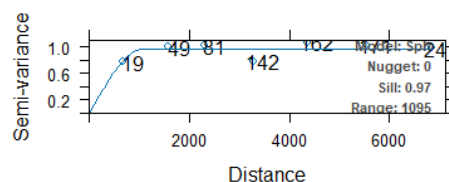


(Wyk. 74) Prognozowana mapa temperatury powietrza standardową metodą krigingu (22.01 20:00)

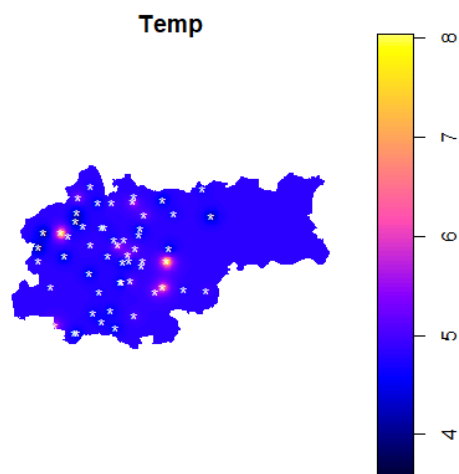
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

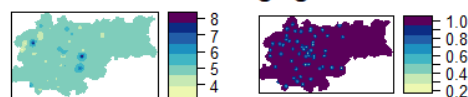


(Wyk. 75) Wariogram dla standardowej metody krigingu, temperatura (22.01 20:00)

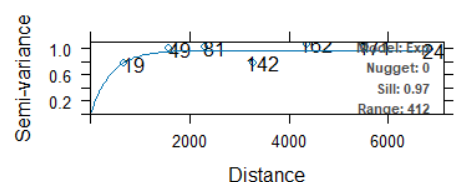


(Wyk. 76) Prognozowana mapa temperatury powietrza metodą kriginu eksponentialnego (22.01 20:00)

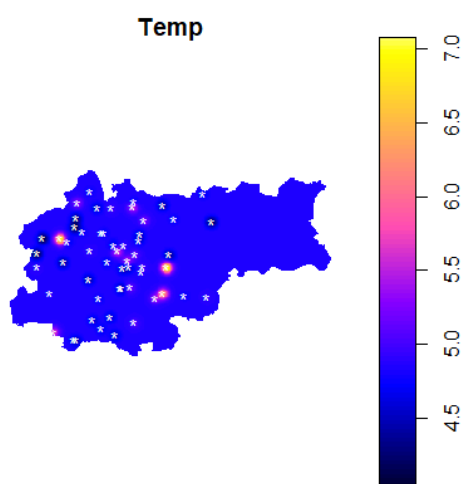
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

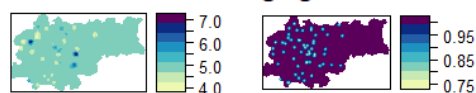


(Wyk. 77) Wariogram dla kriginu metodą eksponentialną, temperatura (22.01 20:00)

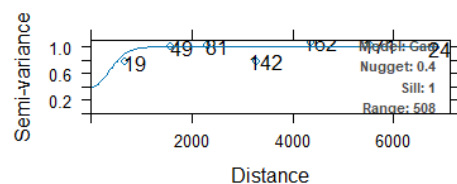


(Wyk. 78) Prognozowana mapa temperatury powietrza kriginu gaussowskiego (22.01 20:00)

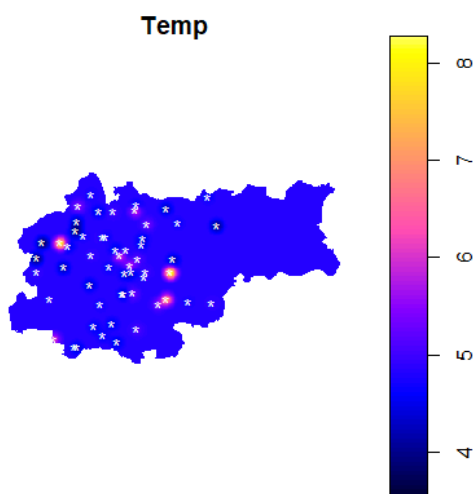
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

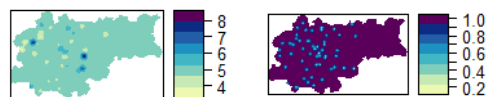


(Wyk. 79) Wariogram dla kriginu metodą gaussowską, temperatura (22.01 20:00)

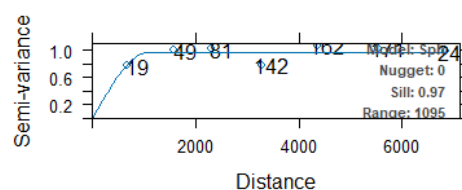


(Wyk. 80) Prognozowana mapa temperatury powietrza kriginu sferycznego (22.01 20:00)

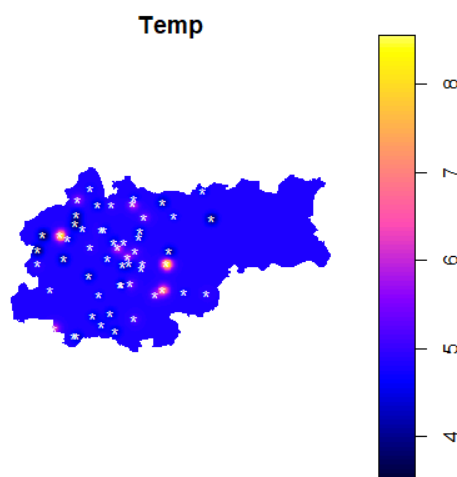
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

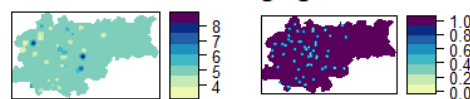


(Wyk. 81) Wariogram dla kriginu metodą sferyczną, temperatura (22.01 20:00)

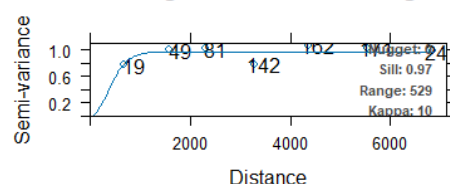


(Wyk. 82) Prognozowana mapa temperatury powietrza krigingu z zastosowaniem parametryzacji Steina (22.01 20:00)

Kriging prediction Kriging standard error

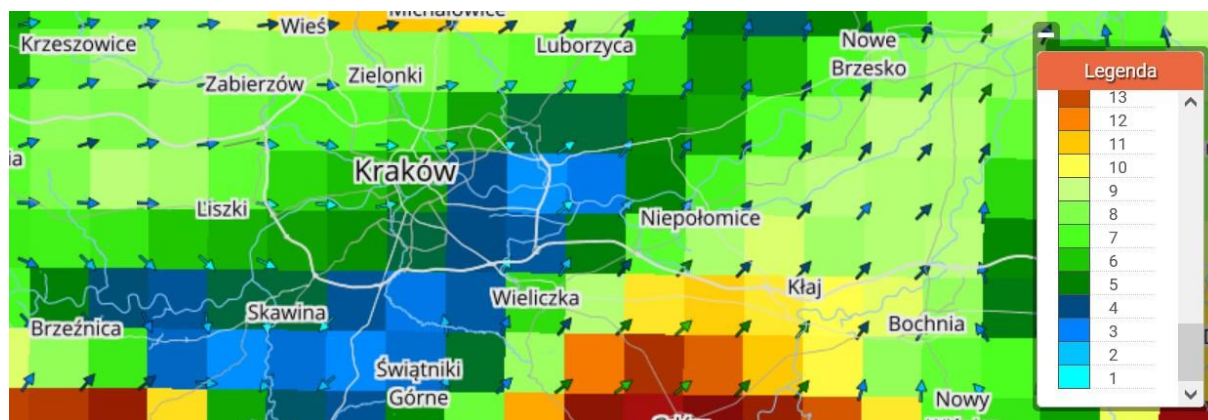


Experimental variogram and fitted variogram model



(Wyk. 83) Wariogram dla kriginu z zastosowaniem metody Steina, temperatura (22.01 20:00)

- Wykres z dnia 22.01.2024, godzina 20:00 dla wiatru

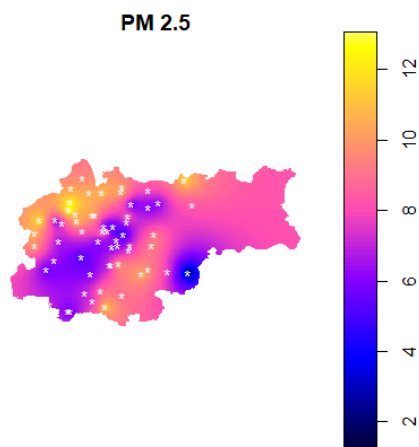


(Wyk. 84) Mapa przedstawiająca kierunki i prędkość wiatru (22.01 20:00)

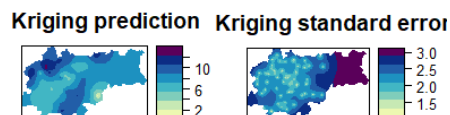
3.5 Wyniki dla dnia 23.01.2024 i godziny 09:00

- Wykresy z dnia 23.01.2024, godzina 09:00 dla stężenia PM2.5

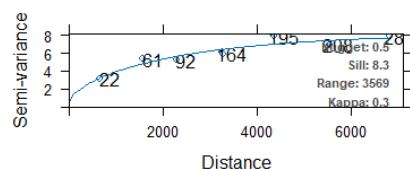
O godzinie dziewiątej dnia 23 stycznia wynik kriginu metodą standardową (Wyk. 85 i Wyk. 86) jest niemalże identyczny, jak wyniki wszystkich metod dnia poprzedniego. Jednakże reszta metod zwróciła znacznie inne wyniki, które są do siebie nawzajem podobne. Stężenie wyniosło w okolicach 20-25 mikrogramów na metr sześcienny, a jego górne ekstremum skupiło się w zachodniej, centralnej i północnej części Krakowa.



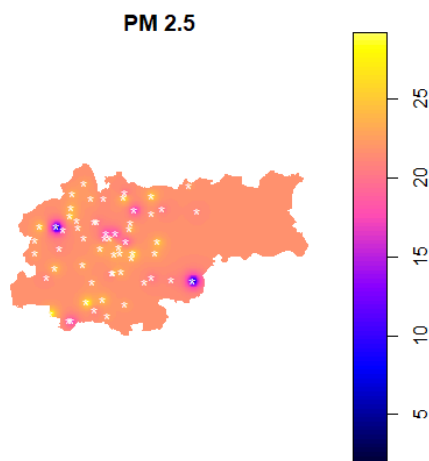
(Wyk. 85) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 standardową metodą krzygu (23.01 09:00)



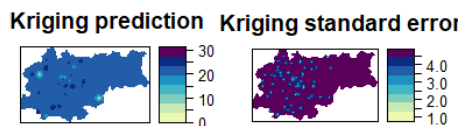
Experimental variogram and fitted variogram model



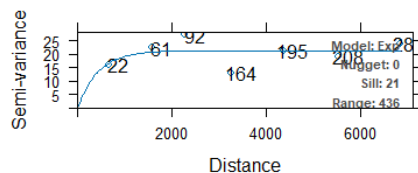
(Wyk. 86) Wariogram dla standardowej metody krzygu PM2.5 (23.01 09:00)



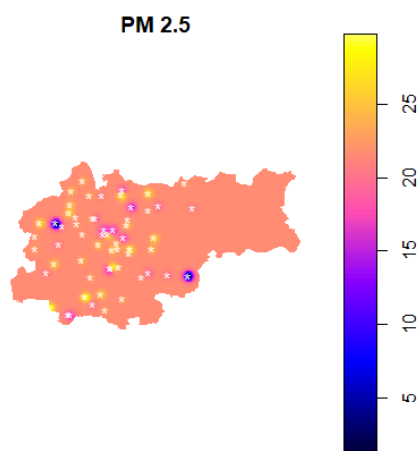
(Wyk. 87) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu eksponentialnego (23.01 09:00)



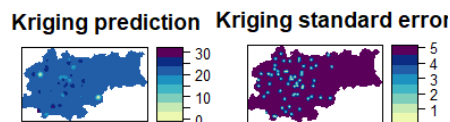
Experimental variogram and fitted variogram model



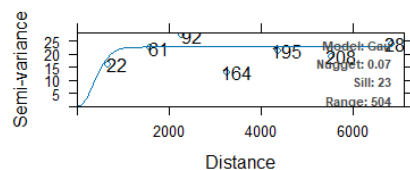
(Wyk. 88) Wariogram dla krzygu eksponentialnego PM2.5 (23.01 09:00)



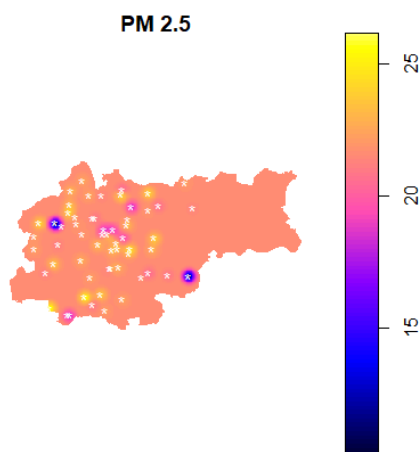
(Wyk. 89) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krzygu gaussowskiego (23.01 09:00)



Experimental variogram and fitted variogram model

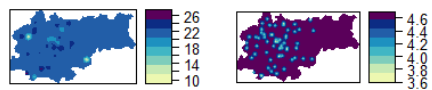


(Wyk. 90) Wariogram dla krzygu gaussowskiego PM2.5 (23.01 09:00)

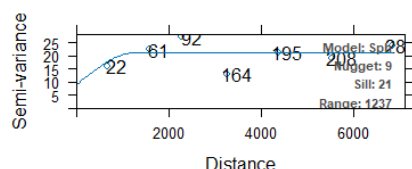


(Wyk. 91) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą kriginu sferycznego (23.01 09:00)

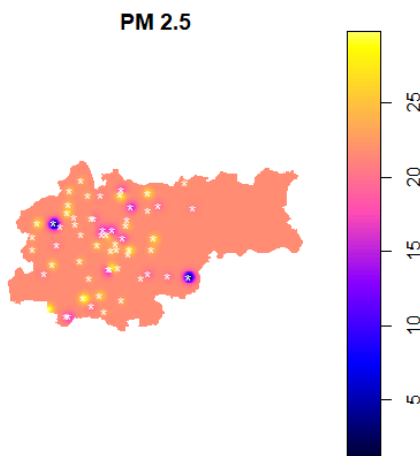
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

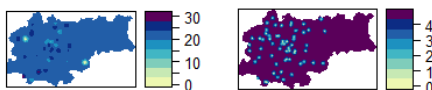


(Wyk. 92) Wariogram dla kriginu sferycznego PM2.5 (23.01 09:00)

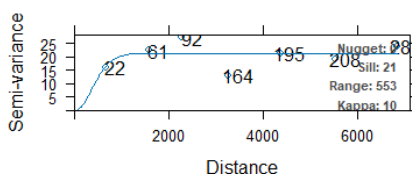


(Wyk. 93) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą kriginu z zastosowaniem parametryzacji Steina (23.01 09:00)

Kriging prediction Kriging standard error



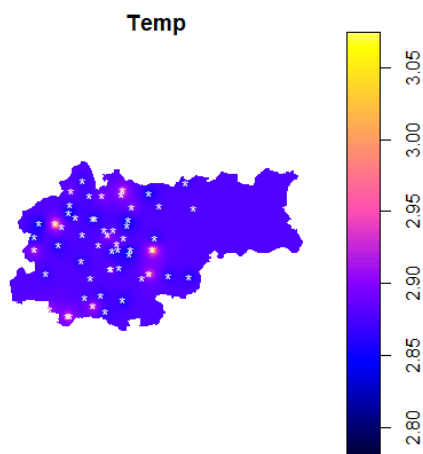
Experimental variogram and fitted variogram model



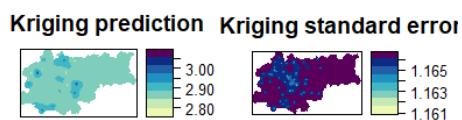
(Wyk. 94) Wariogram dla kriginu z zastosowaniem parametryzacji Steina PM2.5 (23.01 09:00)

- Wykresy z dnia 23.01.2024, godzina 09:00 dla temperatury

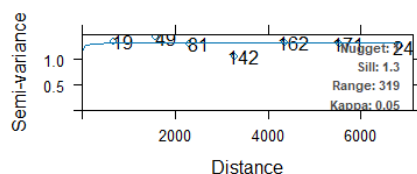
23 stycznia dla porannych pomiarów wyestymowanie wartości przy pomocy kriginu eksponentialnego (Wyk. 97) nie udało się. Dla pozostałych metod natomiast wyznaczona średnia temperatura wynosiła około 3°C. Różnice między wartościami maksymalnymi i minimalnymi były niewielkie od zaledwie 0,3 stopnia (kriging bez wyboru metody – Wyk. 95, kriging z parametryzacją Steina – Wyk. 103) do około 1 stopnia Celsjusza (kriging gaussowski – Wyk. 99, kriging sferyczny – Wyk. 101).



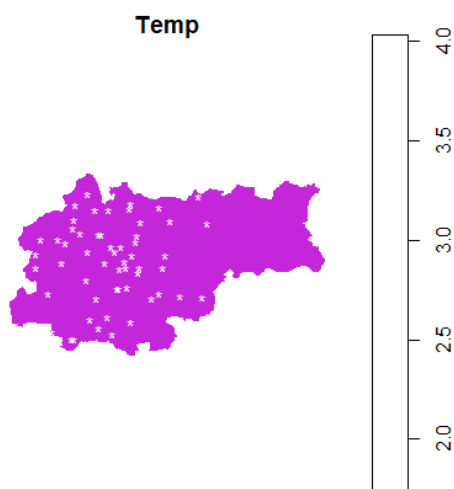
(Wyk. 95) Prognozowana mapa temperatury powietrza standardową metodą krigingu (23.01 09:00)



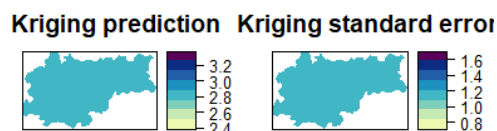
Experimental variogram and fitted variogram model for standard kriging



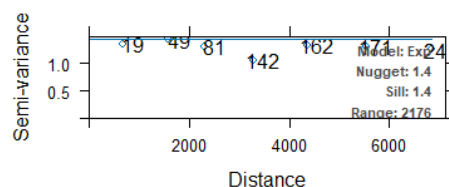
(Wyk. 96) Wariogram dla standardowej metody krigingu, temperatura (23.01 09:00)



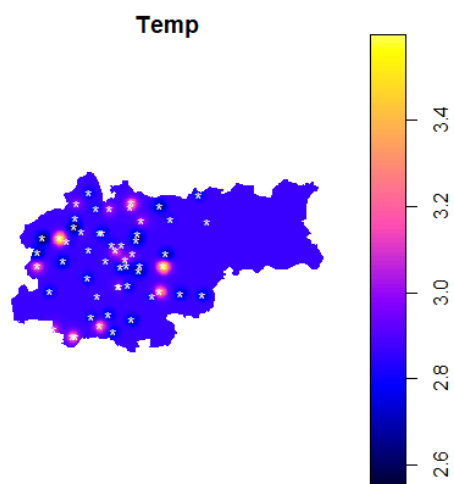
(Wyk. 97) Prognozowana mapa temperatury powietrza metodą krigingu ekwipotencjalnego (23.01 09:00)



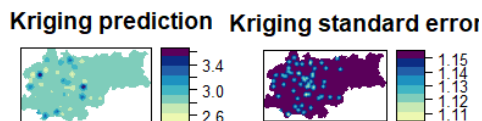
Experimental variogram and fitted variogram model for equidistant kriging



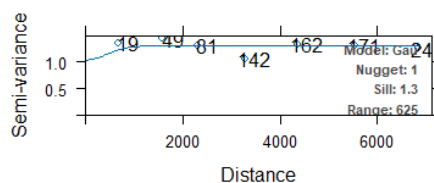
(Wyk. 98) Wariogram dla krigingu metodą ekwipotencjalną, temperatura (23.01 09:00)



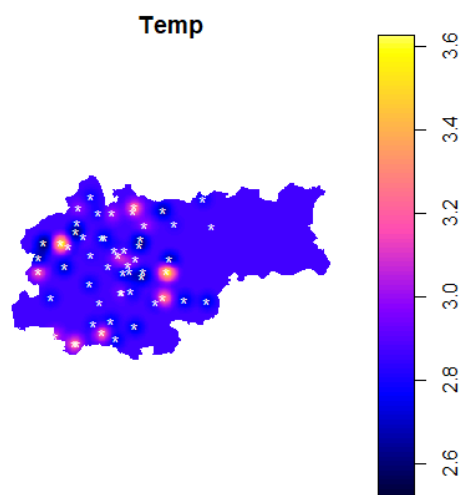
(Wyk. 99) Prognozowana mapa temperatury powietrza krigingu gaussowskiego (23.01 09:00)



Experimental variogram and fitted variogram model for Gaussian kriging

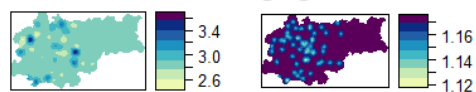


(Wyk. 100) Wariogram dla krigingu metodą gaussowską, temperatura (23.01 09:00)

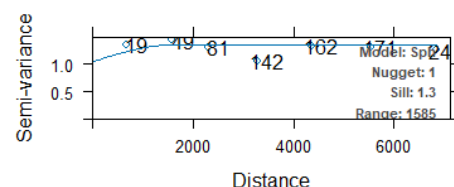


(Wyk. 101) Prognozowana mapa temperatury powietrza kriginu sferycznego (23.01 09:00)

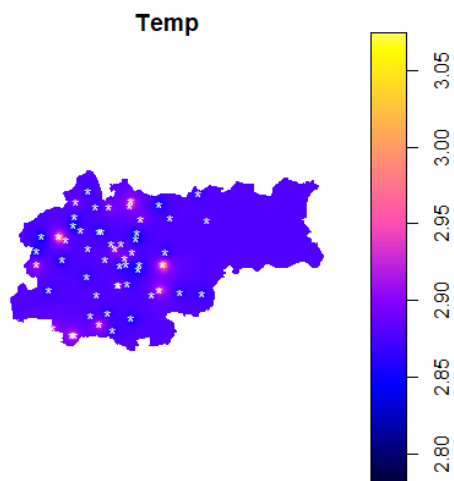
Kriging prediction Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model

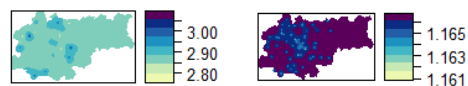


(Wyk. 102) Wariogram dla kriginu metodą sferyczną, temperatura (23.01 09:00)

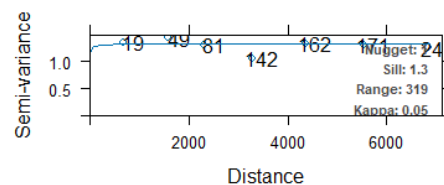


(Wyk. 103) Prognozowana mapa temperatury powietrza kriginu z zastosowaniem parametryzacji Steina (23.01 09:00)

Kriging prediction Kriging standard error

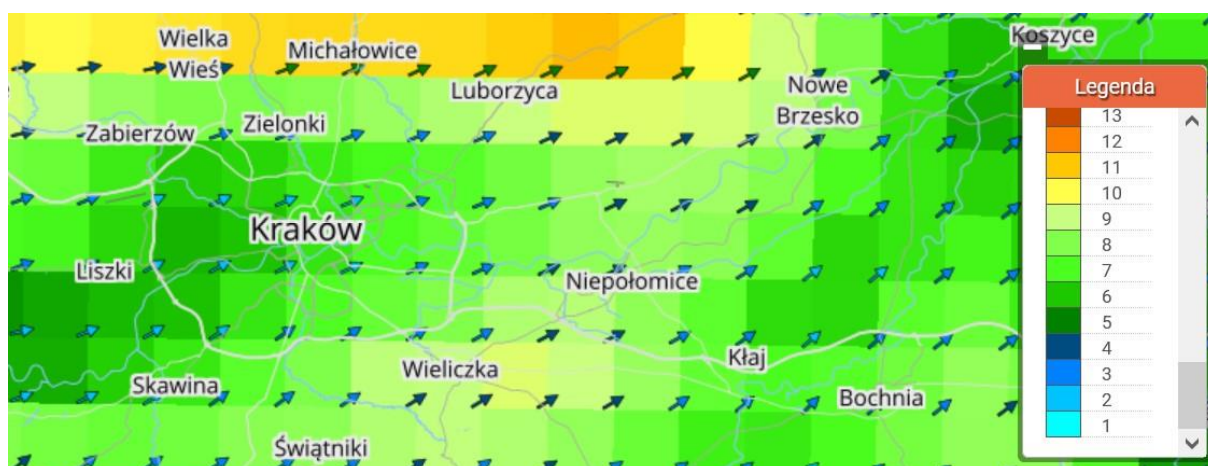


Experimental variogram and fitted variogram model



(Wyk. 104) Wariogram dla kriginu z zastosowaniem metody Steina, temperatura (23.01 09:00)

- Wykres z dnia 23.01.2024, godzina 09:00 dla wiatru

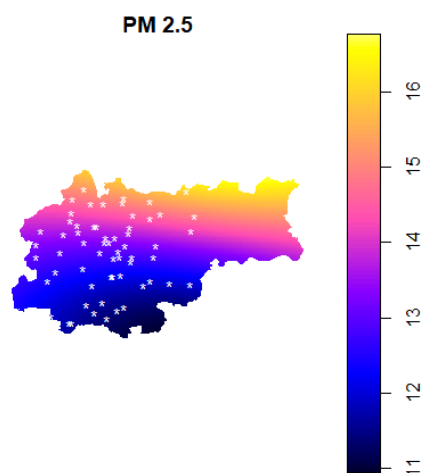


(Wyk. 105) Mapa przedstawiająca kierunki i prędkość wiatru (23.01 09:00)

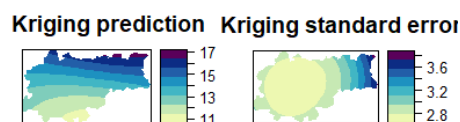
3.6 Wyniki dla dnia 23.01.2024 i godziny 20:00

- Wykresy z dnia 23.01.2024, godzina 20:00 dla stężenia PM2.5

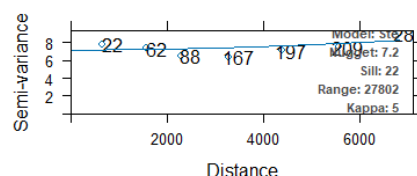
W godzinach wieczornych 23 stycznia stężenie PM2.5 w Krakowie generalnie się zmniejszyło w porównaniu z porannymi odczytami. Niestety kriging metodą sferyczną (Wyk. 112 i Wyk. 113) nie wykonał się poprawnie. Reszta metod zadziałała poprawnie, a wyniki są spójne oraz wskazują na fakt, że wartość stężenia zmieniała się wraz z szerokością geograficzną. Im bardziej na północ miasta, tym stężenie pyłu było większe i dochodziło nawet do 16 mikrogramów na metr sześcienny, podczas gdy w południowej części oscylowało w zależności od metody od 11 do 13 mikrogramów.



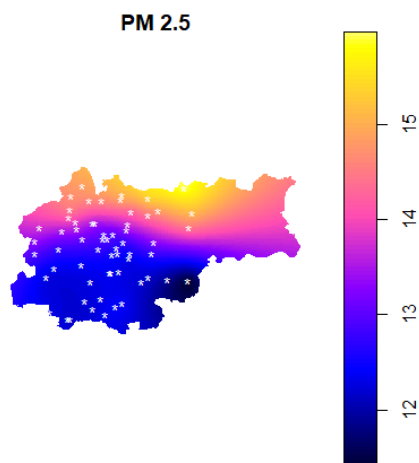
(Wyk. 106) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 standardową metodą krigingu (23.01 20:00)



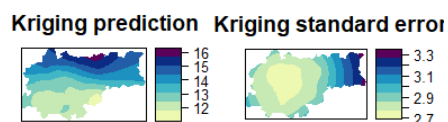
Experimental variogram and fitted variogram model



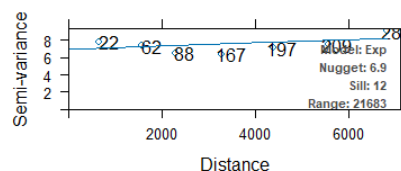
(Wyk. 107) Wariogram dla standardowej metody krigingu PM2.5 (23.01 20:00)



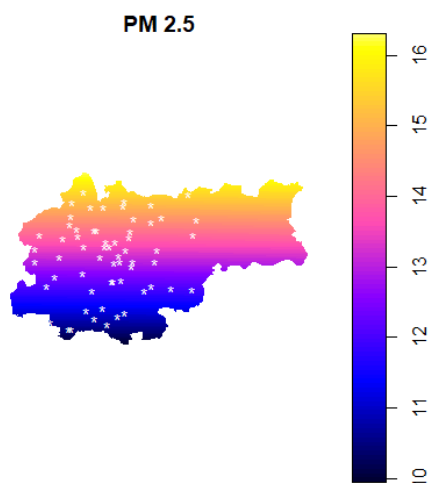
(Wyk. 108) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM_{2.5} metodą krzygu eksponentialnego (23.01 20:00)



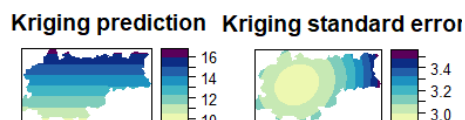
Experimental variogram and fitted variogram model for exponential kriging



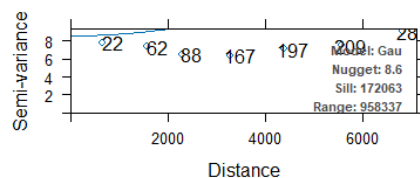
(Wyk. 109) Wariogram dla krzygu eksponentialnego PM_{2.5} (23.01 20:00)



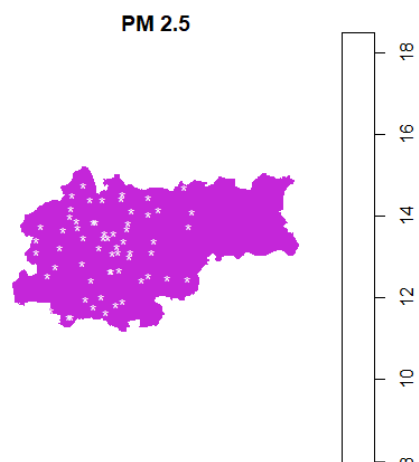
(Wyk. 110) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM_{2.5} metodą krzygu gaussowskiego (23.01 20:00)



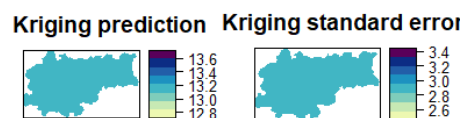
Experimental variogram and fitted variogram model for Gaussian kriging



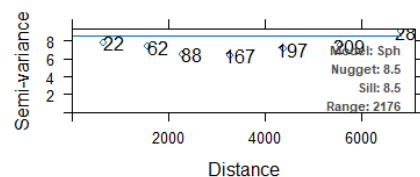
(Wyk. 111) Wariogram dla krzygu gaussowskiego PM_{2.5} (23.01 20:00)



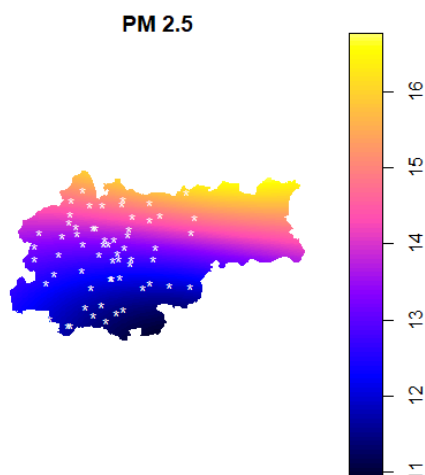
(Wyk. 112) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM_{2.5} metodą krzygu sferycznego (23.01 20:00)



Experimental variogram and fitted variogram model for spherical kriging

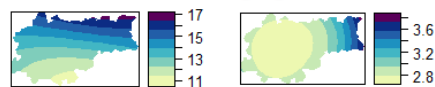


(Wyk. 113) Wariogram dla krzygu sferycznego PM_{2.5} (23.01 20:00)

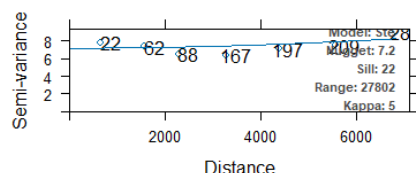


(Wyk. 114) Prognozowana mapa zanieczyszczenia powietrza przez PM2.5 metodą krigingu z zastosowaniem parametryzacji Steina (23.01 20:00)

Kriging prediction Kriging standard error



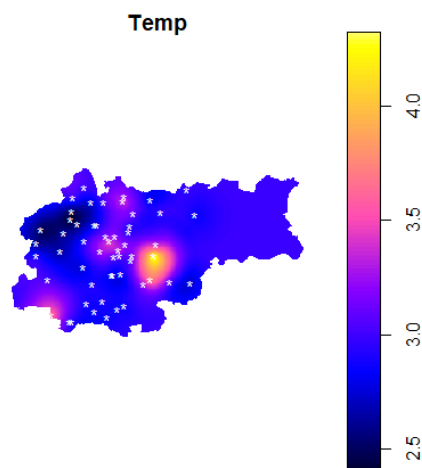
Experimental variogram and fitted variogram model



(Wyk. 115) Wariogram dla krigingu z zastosowaniem parametryzacji Steina PM2.5 (23.01 20:00)

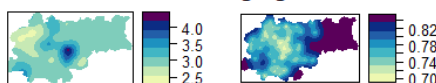
- Wykresy z dnia 23.01.2024, godzina 20:00 dla temperatury

Wieczorem temperatury znacznie się różniły od tych porannych. Temperatura minimalna wynosiła około 2,5°C na północnym-zachodzie miasta, a maksymalna ponad 4 stopnie na południowym-wschodzie Krakowa (Wyk. 116). Wszystkie zastosowane metody były w stanie wyestymować temperaturę i dla każdej z metod wyniki były zbliżone.

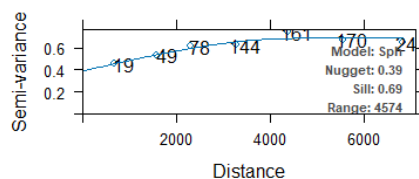


(Wyk. 116) Prognozowana mapa temperatury powietrza standardową metodą krigingu (23.01 20:00)

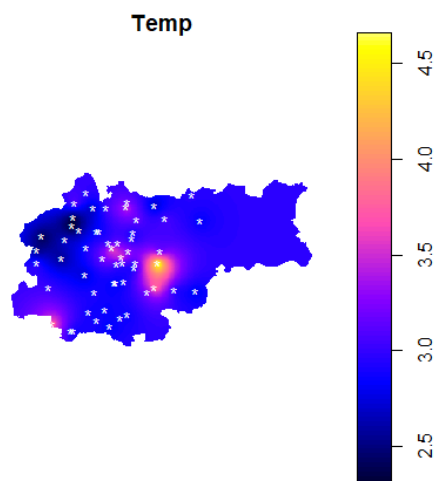
Kriging prediction Kriging standard error



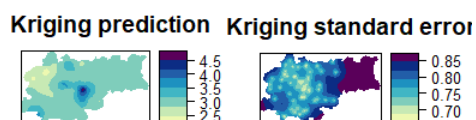
Experimental variogram and fitted variogram model



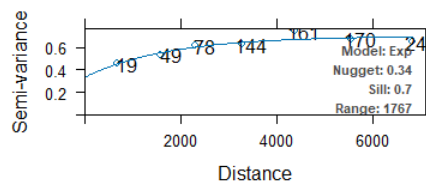
(Wyk. 117) Wariogram dla standardowej metody krigingu, temperatura (23.01 20:00)



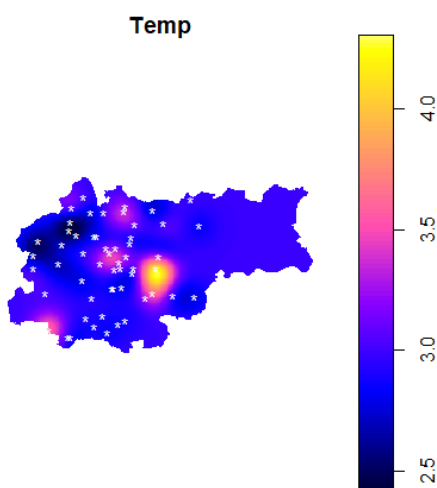
(Wyk. 118) Prognozowana mapa temperatury powietrza metodą kriginu ekwipotencjalnego (23.01 20:00)



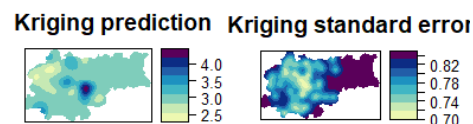
Experimental variogram and fitted variogram model for equipotential kriging



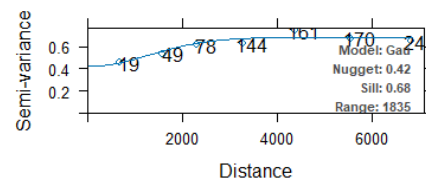
(Wyk. 119) Wariogram dla kriginu metodą ekwipotencjalną, temperatura (23.01 20:00)



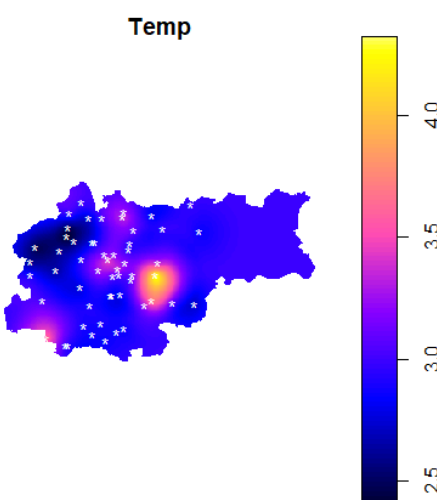
(Wyk. 120) Prognozowana mapa temperatury powietrza kriginu gaussowskiego (23.01 20:00)



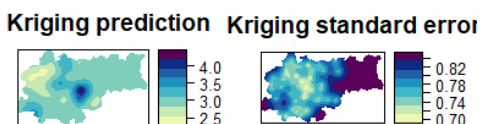
Experimental variogram and fitted variogram model for Gaussian kriging



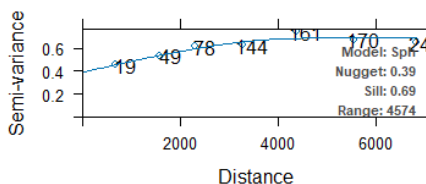
(Wyk. 121) Wariogram dla kriginu metodą gaussowską, temperatura (23.01 20:00)



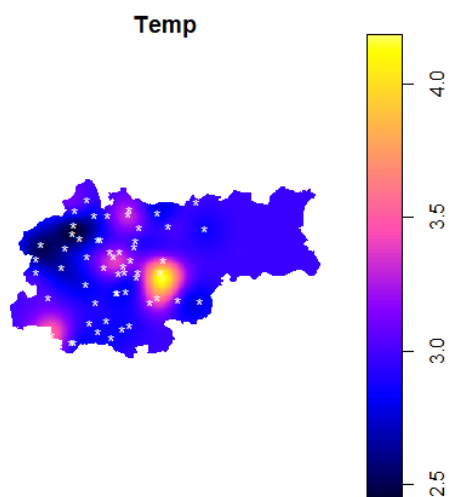
(Wyk. 123) Prognozowana mapa temperatury powietrza kriginu sferycznego (23.01 20:00)



Experimental variogram and fitted variogram model for spherical kriging

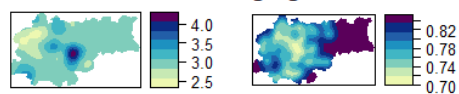


(Wyk. 124) Wariogram dla kriginu metodą sferyczną, temperatura (23.01 20:00)

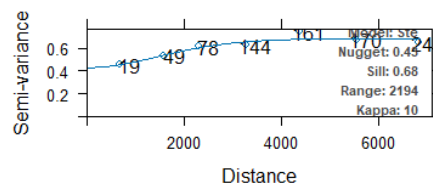


(Wyk. 125) Prognozowana mapa temperatury powietrza krigingu z zastosowaniem parametryzacji Steina (23.01 20:00)

Kriging prediction Kriging standard error

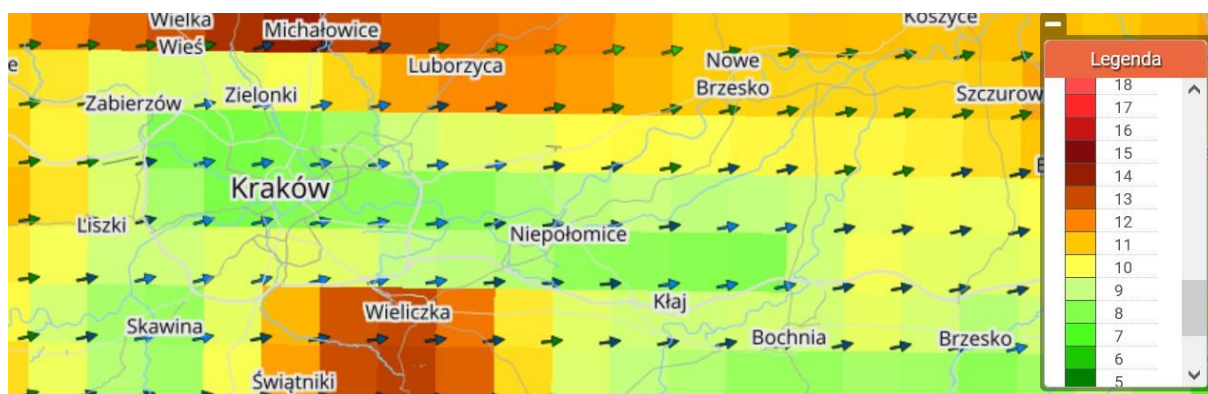


Experimental variogram and fitted variogram model



(Wyk. 126) Wariogram dla krigingu z zastosowaniem metody Steina, temperatura (23.01 20:00)

- Wykres z dnia 23.01.2024, godzina 20:00 dla wiatru



(Wyk. 127) Mapa przedstawiająca kierunki i prędkość wiatru (23.01 20:00)

4. Podsumowanie

Zaobserwowano, że istnieje zależność pomiędzy temperaturą powietrza, a stężeniem PM2.5. Najwyższe stężenie odczytano dnia 22 stycznia o poranku, kiedy to temperatura oscylowała w okolicach zera stopni Celsjusza. Wieczorem wystymowano zwykle wyższe wartości temperatur niż o poranku. Odwrotną sytuację zaobserwowano dla stężenia PM2.5; na ogół o poranku stężenie było wyższe niż wieczorem. Z tychże obserwacji wyciągnięto wniosek, iż wraz ze wzrostem temperatury zmniejsza się stężenie PM2.5 w powietrzu, a wraz z obniżaniem stężenie wzrasta.

Ponadto zauważono, że najbardziej zanieczyszczonym obszarem Krakowa jest jego północna i zachodnia część. Najniższe stężenie PM2.5 w powietrzu występuje w jego południowych rejonach. Przyczyną tego rozkładu mogą być silne południowe, zachodnie i południowo-zachodnie wiatry w analizowanym czasie, jak i nieckowata budowa geologiczna obszaru miasta.

5. Opis wykorzystanych procedur

Projekt wykonany został w całości przy pomocy języka R, w środowisku Rstudio. Wykorzystano biblioteki języka R, takie jak: http, jsonlite, sp, spatstat, sf, maptools, tmaptools, automap.

```
library(httr)
library(jsonlite)
library(sp)
library(spatstat)
library(sf)

# Zmienne przechowujące kody dostępu
apikey_bartek = "4fc0dqkz8eyE1Iq0hGkmhvevyBxfY0I0"
apikey_filip = "t81KwXzV1EJ8XjNIYvyRHnZuXESyYIdJ"

# Wykorzystanie polecenia GET do pobrania danych z Airly
r <- GET("https://airapi.airly.eu/v2/installations/nearest?lat=50.0617022&lng=19.9373569&maxDistanceKM=15&maxResults=-1",
  add_headers(apikey = apikey_bartek, Accept = "application/json")
)

# Lista
jsonRespText <- content(r,as="text")
test15 <- fromJSON(jsonRespText)

# Utworzenie ramki danych z danymi niezbędnymi do dalszej analizy; lokalizacja, wysokość, id czujników
longitude <- test15$location$longitude
latitude <- test15$location$latitude
data15 <- data.frame(longitude,latitude)
data15$elevation <- test15$elev
data15$id <- test15$id
data_spat <- data.frame(lon=data15$longitude,lat=data15$latitude,elev=data15$elev,id=data15$id)
coordinates(data_spat) <- ~lon+lat # Koordynaty
proj4string(data_spat) <- CRS("+proj=longlat +datum=WGS84") # Układ CRS

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

(Rys. 1) Pobranie i przygotowanie danych meteorologicznych


```
# Ustalenie granic Krakowa za pomocą warstwy SHP
dzielnice <- st_read("dzielnice_Krakowa.shp") # Układ odniesienia to ETRS89
# Konwersja do WGS84
dzielnicewGS84 <- st_transform(dzielnice, crs = 4326)
# Granice miasta
krakowwGS84 <- st_union(dzielnicewGS84)
# Konwersja do UTM
krakowUTM <- st_transform(krakowwGS84, CRS("+proj=utm +zone=34 +datum=WGS84"))

# Zmienna przechowująca koordynaty
XY <- coordinates(data_UTM)
# Utworzenie obiektu ppp w punktach, przycięcie danych do obszaru Krakowa
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))
```

(Rys. 2) Wczytanie danych o granicach miasta Krakowa i utworzenie obiektu ppp w punktach, które znajdują się w tychże granicach

```
# Pobieranie danych z AIRLY

n_id <- length(data15_ppp_id$marks$id) # Liczba czujników
id <- data15_ppp_id$marks$id # ID czujników

list_inst2 <- vector(mode = "list", length = n_id) # Lista, która będzie uzupełniana odczytami z czujników

# Pobieranie danych z czujników AIRLY
for (i in seq(1, n_id)) {
  # Utworzenie ciągu znaków określających adres, pod którym znajdują się pomiary z czujnika
  str <- paste("https://airapi.airly.eu/v2/measurements/installation?installationId=", id[i], sep="")
  # Pobieranie danych
  r <- GET(url=str, add_headers(apikey = apikey_bartek, Accept = "application/json"))
  # Konwersja na JSON, później na tekst
  jsonRespText <- content(r, as="text")
  inst <- fromJSON(jsonRespText)

  list_inst2[[i]] <- inst
}

# Zapis odczytów do pliku dla bezpieczeństwa
save(list_inst2, file="list_inst2.Rdata")
```

(Rys. 3) Pobieranie odpowiednich danych meteorologicznych z AIRLY

```
# Odczyt aktualnych wartości stężenia PM2.5 i temperatury
# Utworzenie pustych wektorów dla danych "Current"
current_pm <- rep(NA, n_id)
current_t <- rep(NA, n_id)
# Odczyt danych i przypisanie ich do odpowiednich wektorów
for (i in seq(1, n_id)) {
  logic_pm <- list_inst2[[i]]$current$values$name=="PM25"
  logic_t <- list_inst2[[i]]$current$values$name=="TEMPERATURE"
  if (sum(logic_pm)==1)
    current_pm[i] <- list_inst2[[i]]$current$values[logic_pm, 2]
  if (sum(logic_t)==1)
    current_t[i] <- list_inst2[[i]]$current$values[logic_t, 2]
}

# Przekształcenie obiektu ppp do obiektu spdf w celu narysowania mapy
data15_spdf <- as.SpatialPointsDataFrame.ppp(data15_ppp_id)
# Dodanie w formie kolumn wektorów, które zostały uzupełnione wartościami w pętli
data15_spdf$current_pm <- current_pm
data15_spdf$current_t <- current_t
plot(data15_spdf)

# Oznaczenie danych NA
miss_pm <- is.na(data15_spdf$current_pm)
miss_t <- is.na(data15_spdf$current_t)
```

(Rys. 4) Odczyt aktualnych danych o stężeniu PM2.5 i temperatury. Dodanie ich do reszty danych, oznaczenie danych typu NA

```

# Kriging
# Zarys Krakowa w odpowiednim formacie
bound <- st_as_sf(krakowUTM)
plot(bound)

# Wpółrzędne punktów granic Krakowa zapisane macierzowo
coord<-as.data.frame(st_coordinates(krakowUTM))

# Utworzenie siatki - prostokąt okalający Kraków

# Współrzędne naroży
left_down <- c( min(coord$X), min(coord$Y))
right_up  <- c( max(coord$X), max(coord$Y))

# Rozmiar oczka siatki (100x100 metrów)
size <- c(100,100)

# Wyznaczenie ilości oczek siatki przypadających odpowiednio na długość i szerokość prostokąta
points <- (right_up-left_down)/size
num_points <- ceiling(points) # Zaokrąglenie

# Siatka
grid <- GridTopology(left_down, size,num_points)

# Kwersja siatki do odpowiedniego formatu w układzie WGS84
gridpoints <- SpatialPoints(grid, proj4string = CRS("+proj=utm +zone=34 +datum=WGS84"))

plot(gridpoints)

# Przycięcie siatki granicami Krakowa
g <- st_as_sf(gridpoints)
cg <- crop_shape(g,bound,polygon = TRUE)
spgrid <- SpatialPixels(as_Spatial(cg))
plot(spgrid)

```

(Rys. 5) Utworzenie siatki 100x100 metrów i przycięcie jej do granic Krakowa

```

# Kriging bez określenia metody
PM25_auto <- autoKrige(current_pm ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss_pm,],new_data=spgrid)

# Kriging z czterema różnymi metodami
PM25_auto <- autoKrige(current_pm ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss_pm,],new_data=spgrid, model="Sph")
PM25_auto <- autoKrige(current_pm ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss_pm,],new_data=spgrid, model="Exp")
PM25_auto <- autoKrige(current_pm ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss_pm,],new_data=spgrid, model="Gau")
PM25_auto <- autoKrige(current_pm ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss_pm,],new_data=spgrid, model="Ste")

# Mapa
plot(PM25_auto$krige_output[1],main="PM 2.5")
# Nałożenie punktów na mapę
points(data15_ppp_id[!miss_pm,],pch="*",col="white")

# Błędy i semivariogram
plot(PM25_auto)

```

(Rys. 6) Kriging dla PM2.5


```

# Błędy i semivariogram
plot(PM25_auto)

# Kriging bez określenia metody
t_auto <- autoKrige(current_t ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss_t,], new_data=spgrid)

# Kriging z czterema różnymi metodami
t_auto <- autoKrige(current_t ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss_t,], new_data=spgrid, model="Sph")
t_auto <- autoKrige(current_t ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss_t,], new_data=spgrid, model="Exp")
t_auto <- autoKrige(current_t ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss_t,], new_data=spgrid, model="Gau")
t_auto <- autoKrige(current_t ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss_t,], new_data=spgrid, model="Ste")

# Mapa
plot(t_auto$krige_output[1], main="Temp")
# Nałożenie punktów na mapę
points(data15_ppp_id[!miss_t,], pch="*", col="white")

# Błędy i semivariogram
plot(t_auto)

```

(Rys. 7) Kriging dla temperatury