



## Projekt 2

Analiza zmienności zanieczyszczenia powietrza w Krakowie pyłem zawieszonym PM2.5, w oparciu o pomiary z czujników Airly.

Jan Skwarczeński, Tomasz Sanicki, Szymon Górka

Kierunek: Geoinformatyka

Przedmiot: Metody komputerowe w badaniach klimatu i środowiska

Prowadzący:

dr inż. Małgorzata Danek

Kraków 22.10.2022



Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

## 1. Wstęp

W projekcie należało zbadać analizę zmienności zanieczyszczenia powietrza w Krakowie pyłem zawieszonym PM<sub>2.5</sub>, w oparciu o pomiary z czujników Airly.

Pył zawieszony to główny składnik smogu. Jest to również jedno z najgroźniejszych zanieczyszczeń powietrza. Pył zawieszony to mieszanina substancji organicznych oraz nieorganicznych. Jego pochodzenie może być naturalne np. popiół wulkaniczny, ale również nienaturalne np. powstałe w procesie spalania paliw. Pył zawieszony (PM) z angielskiego oznacza "Particulate Matter", czyli unoszące się w powietrzu drobne cząstki stałe lub kropelki cieczy. Bardzo często w pyłe zawieszonym znajdują się takie substancje jak: wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, metal ciężkie, azbest, siarka lub furany.

PM<sub>2,5</sub> to aerozole atmosferyczne, których średnica nie jest większa niż 2,5 mikrometrów. W ocenie wielu naukowców i ekspertów ten rodzaj zanieczyszczenia jest uznawany za najgroźniejszy dla organizmu ludzkiego. Pył jest tak drobny, że przedostaje się do krwiobiegu poprzez pęcherzyki płucne. To właśnie ten rodzaj pyłu przyczynia się do powstawania takich chorób jak astma, niewydolność płuc, nowotwory gardła i krtani, miażdżyca, niewydolność serca, zapalenie naczyń krwionośnych. Mimo iż PM<sub>2,5</sub> jest ogromnym zagrożeniem, w miejscach, gdzie normy jego stężenia zostały przekroczone nie ogłasza się alarmów. Zgodnie z wytycznymi WHO, średniodobowe stężenie PM<sub>2,5</sub> wynosi 25 mikrogramów na metr sześcienny. W Polsce norma to 20 mikrogramów na metr sześcienny.

## 2. Dane i metody

Dane do projektu zostały pobierane przez trzy dni (18-20.12.2022), o ustalonych porach dnia, (rano – 9:00, południe - 17:00 oraz wieczorem o 20:00), w celu zachowania porównywalności danych. Wszystkie dane zostały pobrane poprzez polski system obserwacji powietrza Airly, po uprzednim pozyskaniu klucza do tego serwisu. Pobrane dane początkowo były zawarte w formacie "r" które za pomocą prostych operacji, zawartych w kodzie na końcu projektu, zostały przekonwertowane do lisy. Dane zawierają dużą ilość informacji, w projekcie wykorzystaliśmy takie jak: longitude, latitude, id, elev, PM<sub>25</sub> oraz TEMPERATURE. Dodatkowo w celu głębszej analizy pozyskaliśmy dane o sile oraz kierunku wiatru w badanym obszarze przy pomocy strony <https://www.meteo.pl/>.

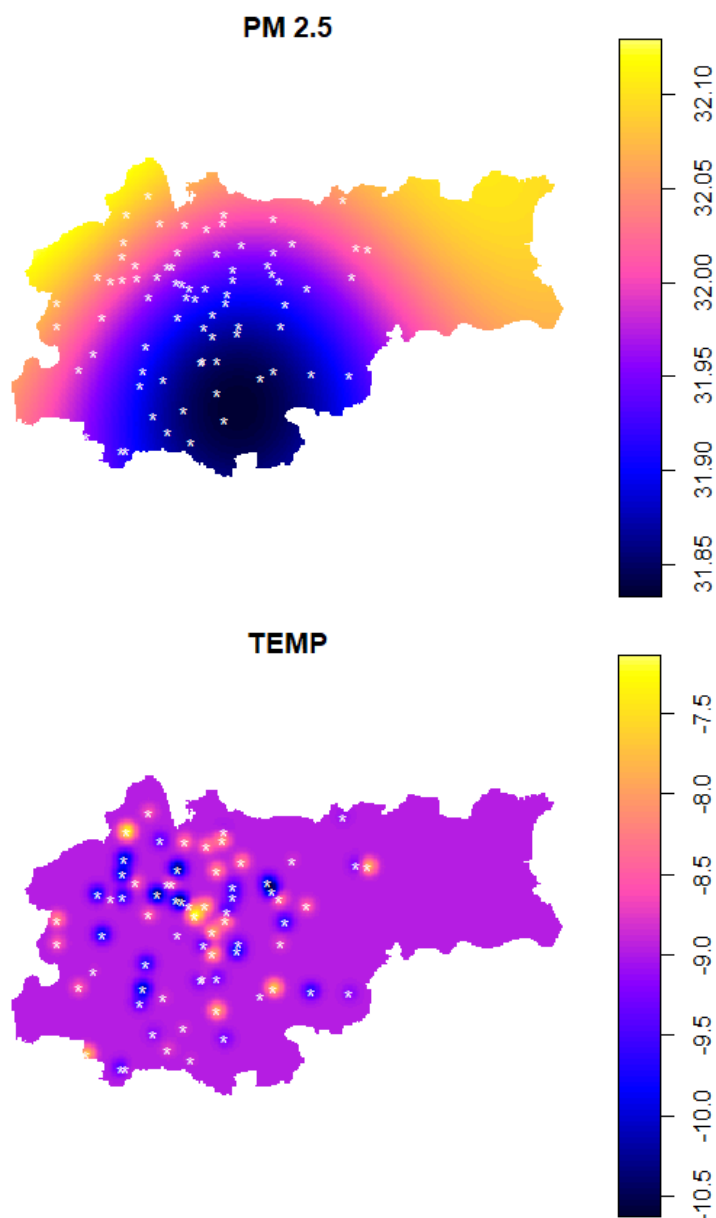
Badania użyte w projekcie bazują na analizie wynik uzyskanych przy pomocy algorytmów geostatystycznych oraz geoprzestrzennych takich jak: chi kwadrat – w celu ustalenia zależności przestrzennej czujników, oraz krigingu dla danych zanieczyszczeń oraz temperaturowych w tym – predykcji dla wizualizacji zanieczyszczeń oraz temperatury na terenie Krakowa, oraz błędu standardowego, żeby określić wartość błędu dla predykcji.

### 3. Wyniki

Dla wszystkich 3 dni wykonane zostały mapy przedstawiające rozkład PM 2.5 oraz średnią temperaturę na terenie Krakowa. Poniższe rysunki opisują sytuację w Krakowie w ciągu całego dnia. Dane z czujników były aktualizowane 3 razy dziennie. Również zostały zamieszczone wykresy z wartościami uśrednionymi dla temperatury.

**18.12.2022r**

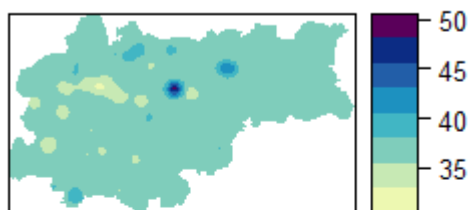
a) Godzina 9:00 (wiatr 7 km/h zach)



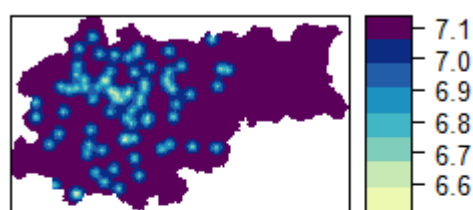
Widzimy tutaj nierównomierny rozkład pyłów PM 2.5 na terenie Krakowa. Najniższe zanieczyszczenia znajdują się na południu i centrum miasta. Natomiast największe znajdują się na wschodzie Krakowa i północnym-zachodzie miasta czyli na terenach gdzie występuje większa gęstość zaludnienia.

Widzimy tutaj że dominację koloru fioletowego co oznacza temperaturę Krakowa w okolicach  $-8.5$  Stopnia. Widzimy również że w okolicach centrum gdzie znajdują się najczęściej czujników temperatura ulega zmianie miejscami występuje temperatura w okolicach  $-10$  Stopni a czasami  $-7.5$  Stopnia.

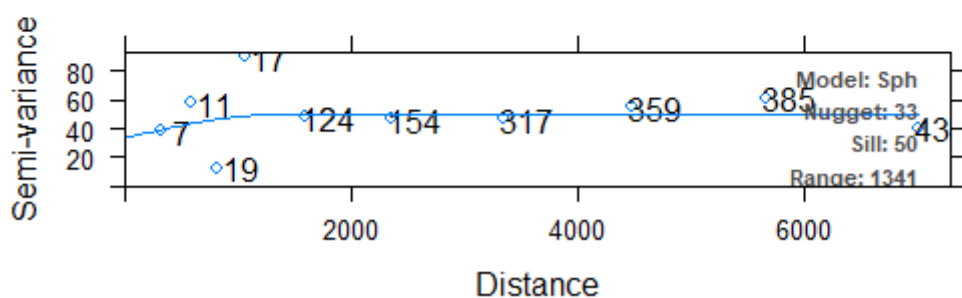
**Kriging prediction**



**Kriging standard error**

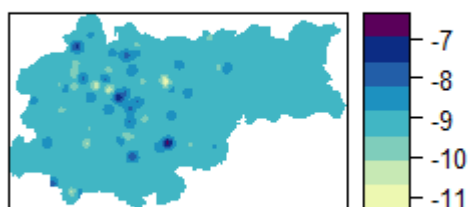


**Experimental variogram and fitted variogram model**

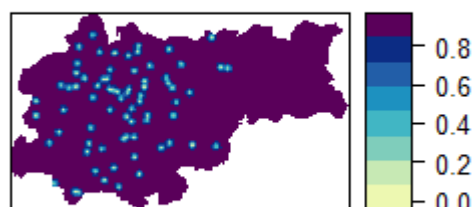


Wykres krigingu 1: Dla zanieczyszczenia powietrza PM2.5

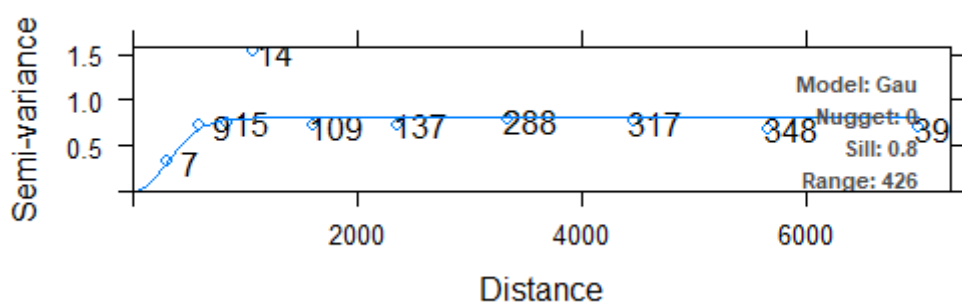
**Kriging prediction**



**Kriging standard error**

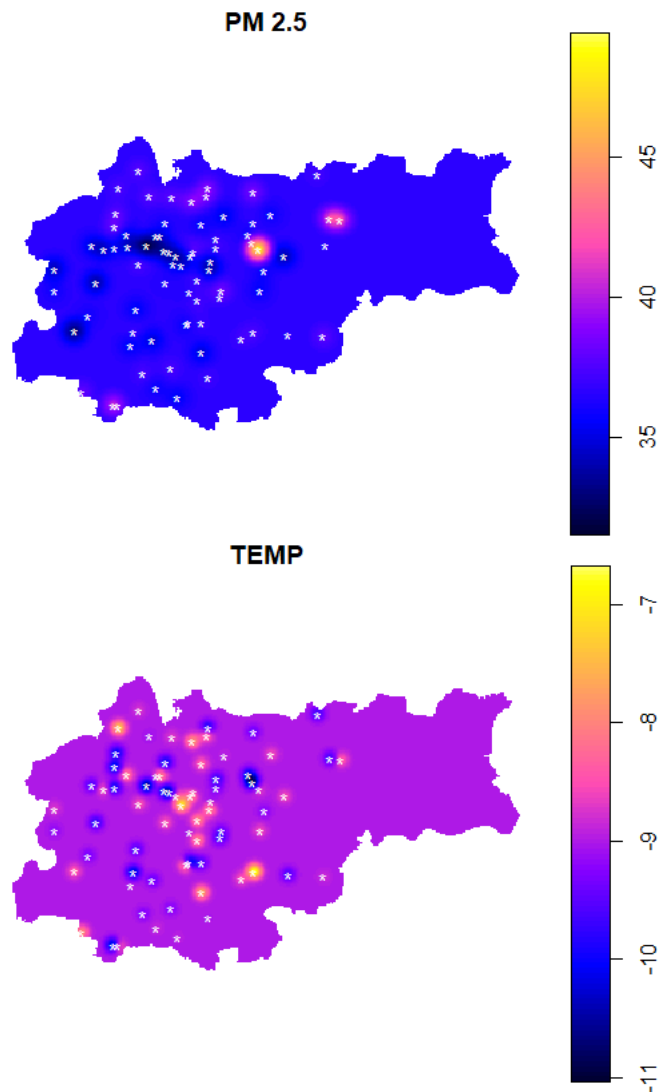


**Experimental variogram and fitted variogram model**



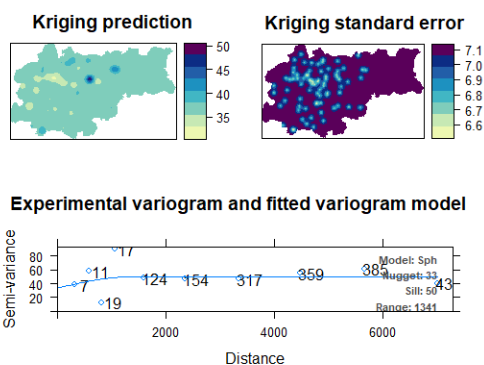
Wykres krigingu 2: Dla temperatury powietrza

b) Godzina 17:00 (wiatr 7 km/h wsch)

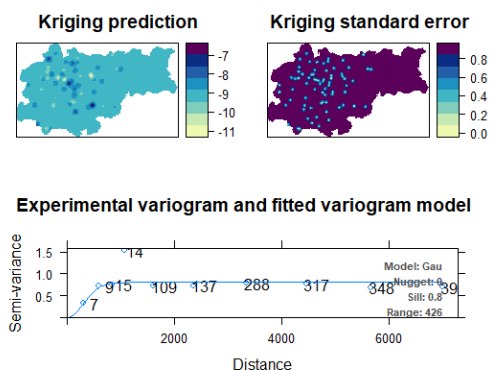


W godzinach popołudniowych występowanie pyłków na obszarze Krakowa jest bardzo podobne. Prawie cały obszar to występowanie w granicach 35-40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . W niektórych miejscach w Krakowie występuje wartość 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Temperatura dla całego Krakowa to okolice od  $-8$  do  $-9$  Stopni w okolicach czujników występuje troszkę inna sytuacja ponieważ tam temperatura jest mocno zróżnicowana dysproporcje te sięgają nawet około 4 Stopni Celsjusza.

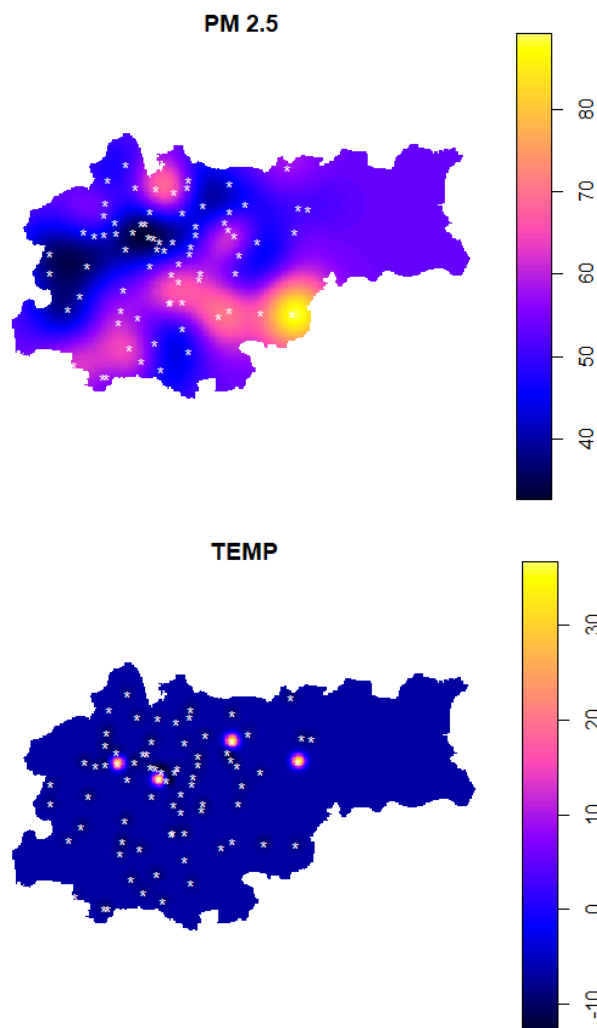


Wykres krigingu 3: Dla zanieczyszczenia powietrza PM2.5



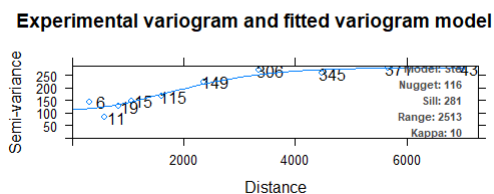
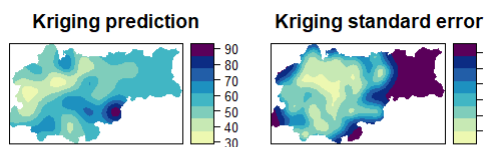
Wykres krigingu 4: Dla temperatury powietrza

c) Godzina 21:00 (wiatr 13 km/h pñn. wsch)

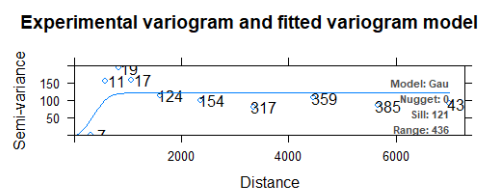
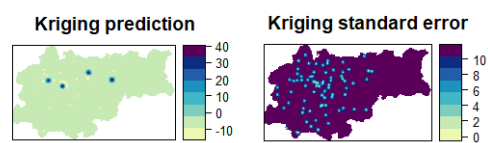


W godzinach wieczornych występowanie PM 2.5 jest bardzo zróżnicowane na badanym obszarze. Możemy zauważyć zaobserwować że obszar południowy i obszar południowo-wschodni jest terenem gdzie występowanie pyłów jest najwyższe i jest ponad 2 krotnie wyższe niż na terenach zachodnich Krakowa.

Temperatura jest jednorodnie równa dla badanego obszaru w okolicach  $-10$  Stopni Celsjusza. Tylko na 4 czujnikach występuje temperatura zdecydowanie odstająca od reszty czujników znajdujących się w mieście może to być spowodowane chwilowym złym działaniem czujników ponieważ dysproporcja jest bardzo duża i są to okolice około 40 stopni .



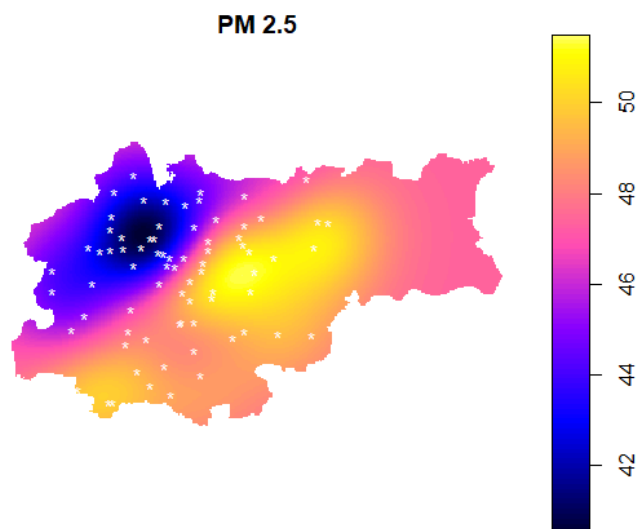
Wykres krigingu 5: Dla zanieczyszczenia powietrza PM2.5



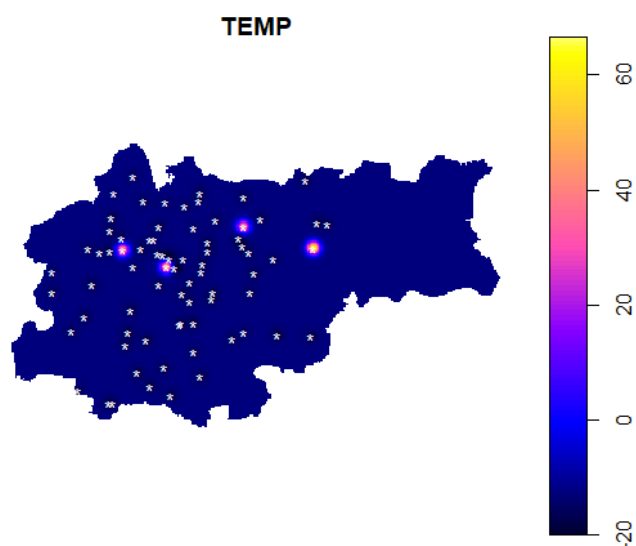
Wykres krigingu 6: Dla temperatury powietrza

19.12.2022r

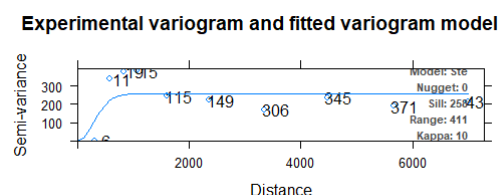
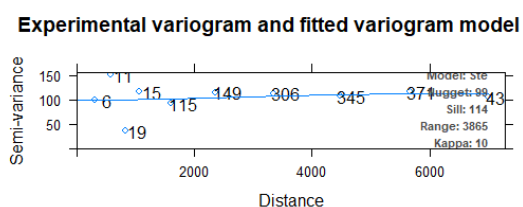
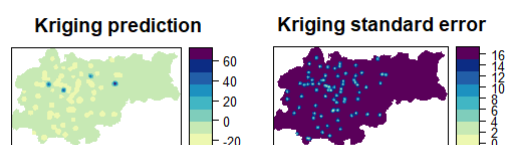
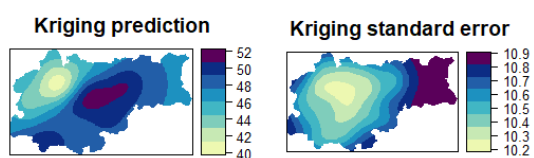
a) Godzina 9:00 (wiatr 5 km/h wsch)



Obszar najbardziej zanieczyszczony występuje w środkowej części miasta oraz na jej południu i wschodzie. Natomiast najmniejsze to tereny północne i zachodnie.



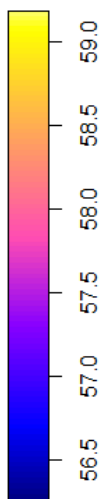
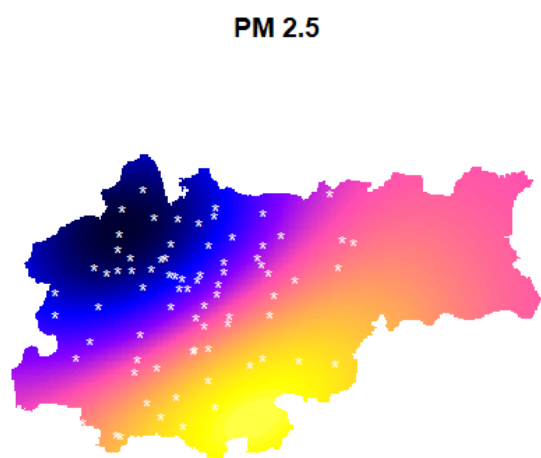
Temperatura wypadający na terenie Krakowa jest bardzo niska jak na tą godzinę ale jest bardzo równomierna. Różnice występują tylko na 4 czujnikach tak samo jak w dniu wcześniejszym.



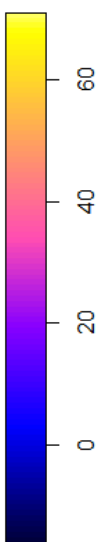
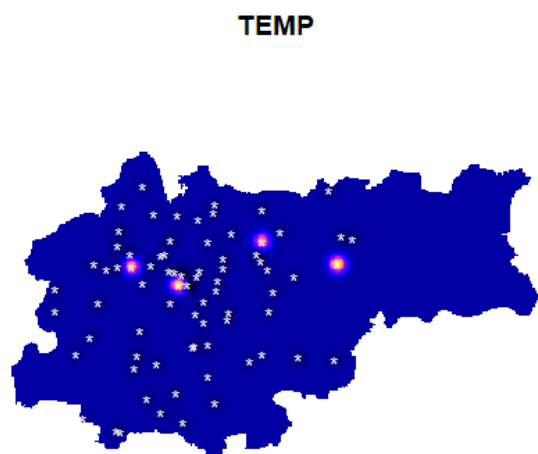
Wykres krigingu 7: Dla zanieczyszczenia powietrza PM2.5

Wykres krigingu 8: Dla temperatury powietrza

b) Godzina 17:00 (wiatr 6 km/h płn. wsch)



Tereny północne miasta cechują się najniższym występowaniem pyłów które stopniowo wzrastają w kierunku południowo wschodnim.



Temperatura dla Krakowa jest w granicach 0 stopni i występuje ona w granicach całego miasta

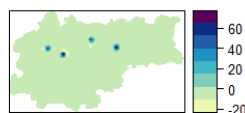
**Kriging prediction**



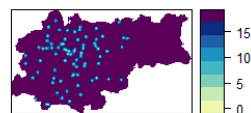
**Kriging standard error**



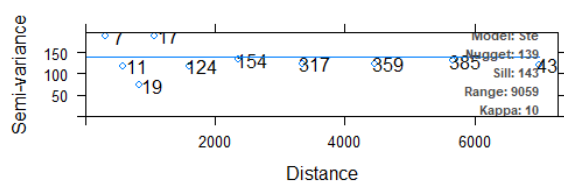
**Kriging prediction**



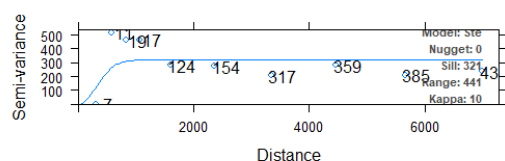
**Kriging standard error**



**Experimental variogram and fitted variogram model**



**Experimental variogram and fitted variogram model**

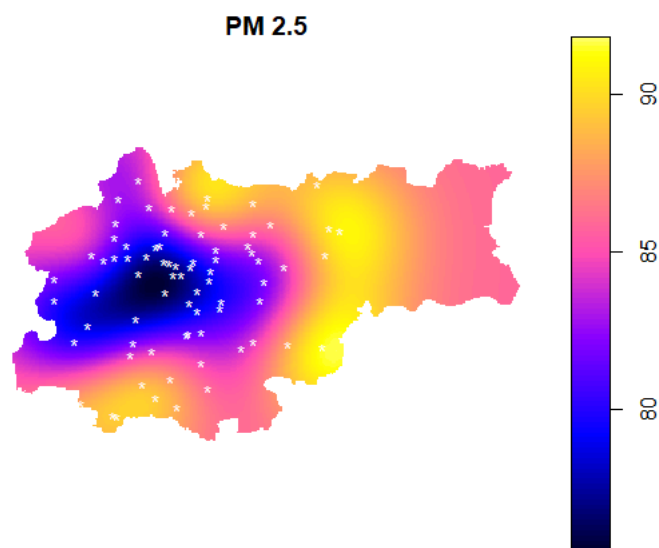


Wykres krigingu 9: Dla zanieczyszczenia powietrza PM2.5

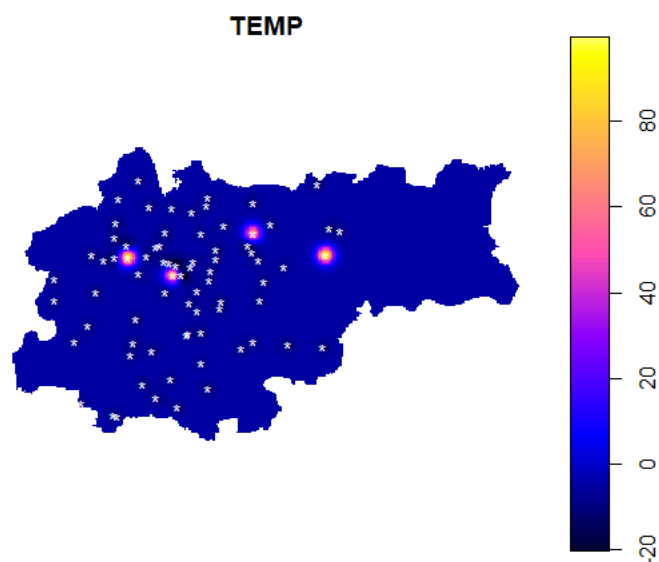
Wykres krigingu 10: Dla temperatury powietrza



c) Godzina 17:00 (wiatr 4 km/h płn. wsch)

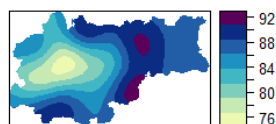


Obecność pyłków w powietrzu jest dość wysoka na tą porę dnia oscyluje ona w okolicach od 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  w zachodniej części miasta do 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  w okolicach wschodnich.



Temperatura dla całego obszaru jest jednorodna oscyluje ona w okolicach zera Stopni.

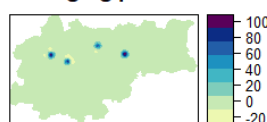
**Kriging prediction**



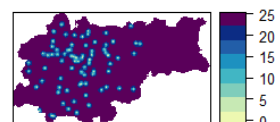
**Kriging standard error**



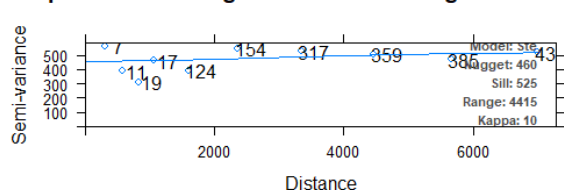
**Kriging prediction**



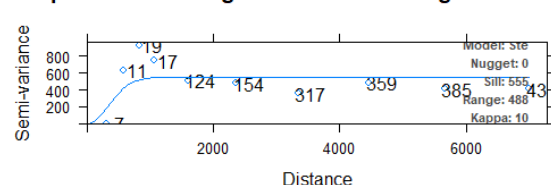
**Kriging standard error**



**Experimental variogram and fitted variogram model**



**Experimental variogram and fitted variogram model**

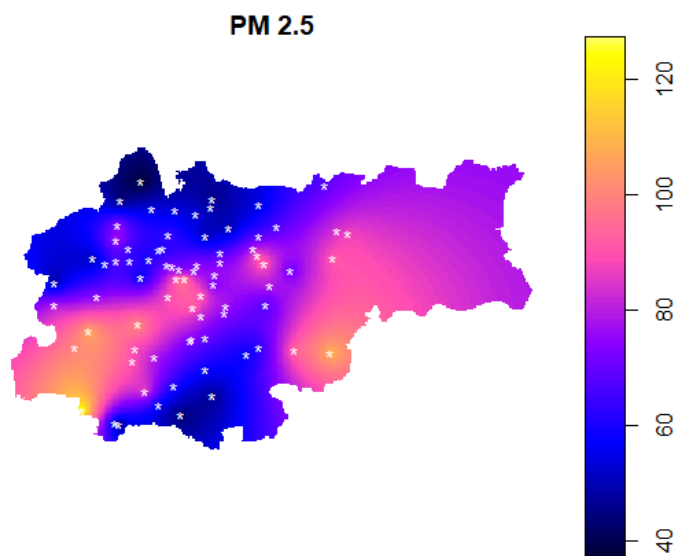


Wykres krigingu 11: Dla zanieczyszczenia powietrza PM2.5

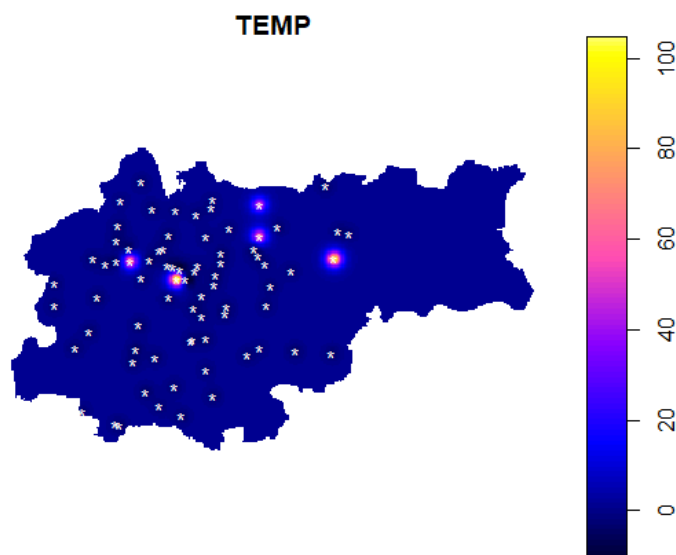
Wykres krigingu 12: Dla temperatury powietrza

20.12.2022r

a) Godzina 9:00 (wiatr 7 km/h pd. zach)

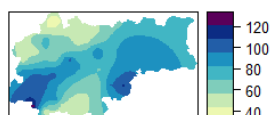


W tym dniu obecność pyłów jest bardzo wysoka w granicach od 40 do 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Najmniejsze zanieczyszczenie występuje w okolicach północnych i południowych natomiast w strefie środkowej występuje w granicach od 80 do 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

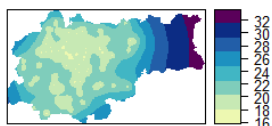


Temperatura w tym dniu dla terenu Krakowa jest równomierna szacunkowa temperatura znajduje się w okolicach zera stopni.

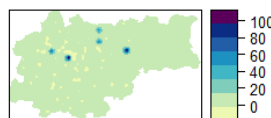
Kriging prediction



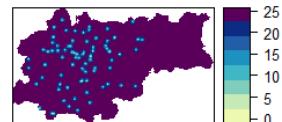
Kriging standard error



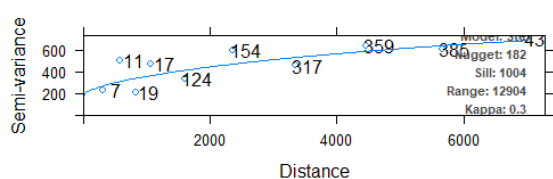
Kriging prediction



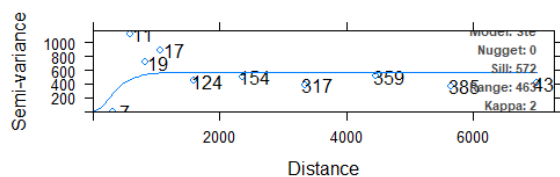
Kriging standard error



Experimental variogram and fitted variogram model



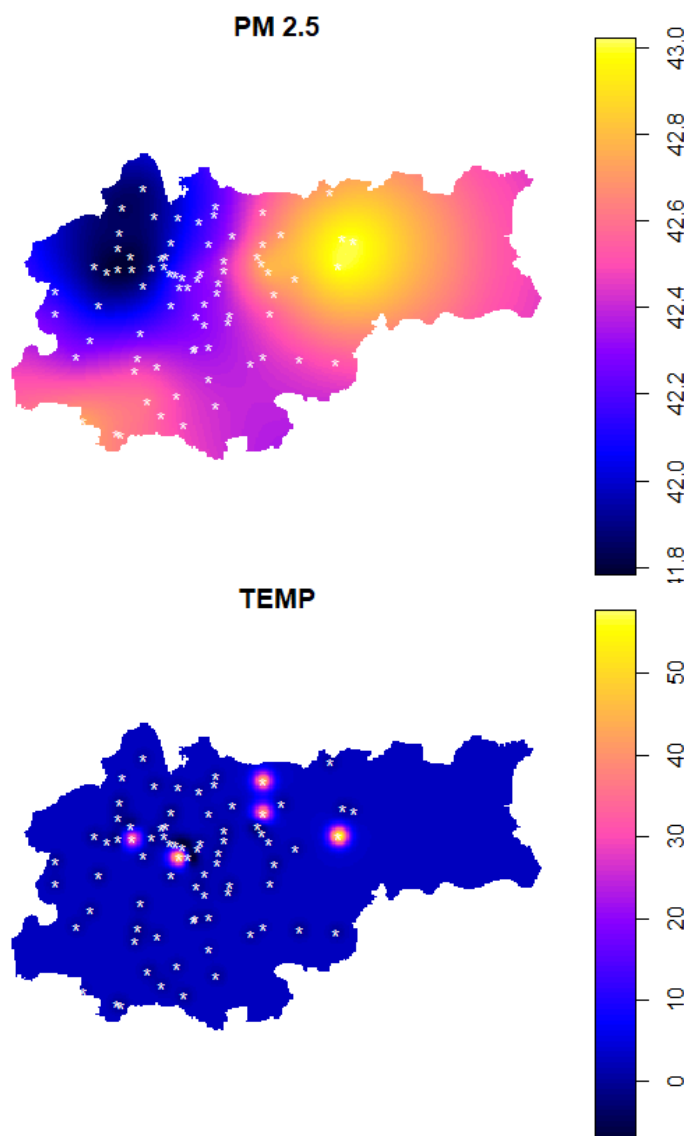
Experimental variogram and fitted variogram model



Wykres krigingu 13: Dla zanieczyszczenia powietrza PM2.5

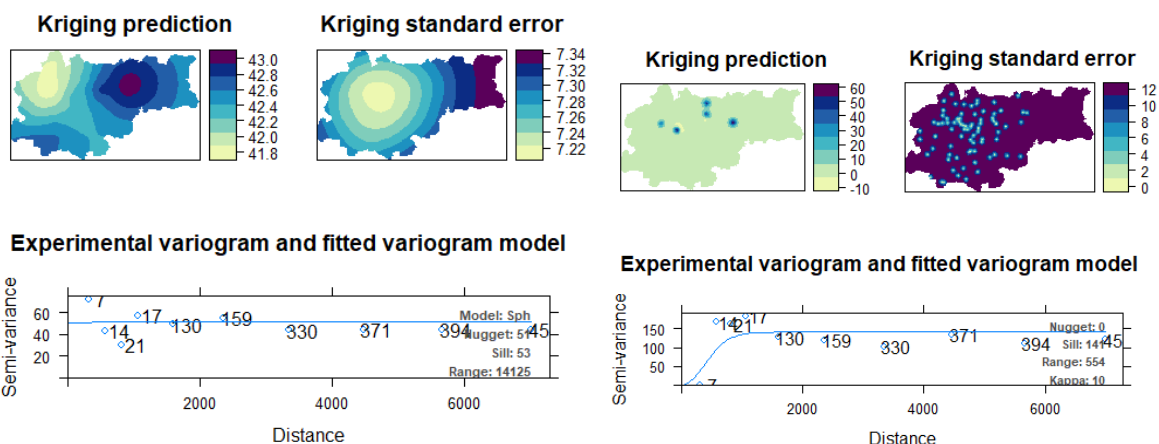
Wykres krigingu 14: Dla temperatury powietrza

b) Godzina 17:00 (wiatr 2 km/h zach)



Występowanie pyłu w powietrzu jest rozłożone na terenie równomiernie minimalnie większy poziom zanieczyszczenia występuje w okolicach początku Nowej Huty natomiast poziom pyłu jest ponad 2 krotnie mniejszy niż w godzinach porannych.

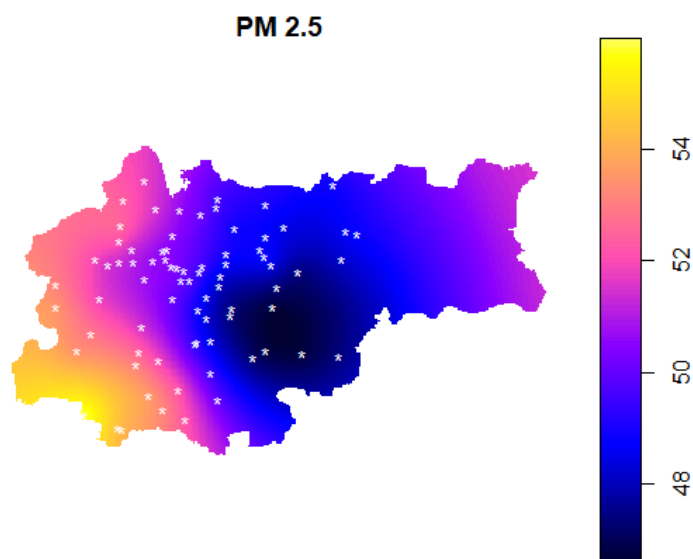
Temperatura na mapie jest podobnie rozłożona jak temperatura w godzinach porannych można zauważyć minimalny wzrost tej temperatury niż parę godzin wcześniej.



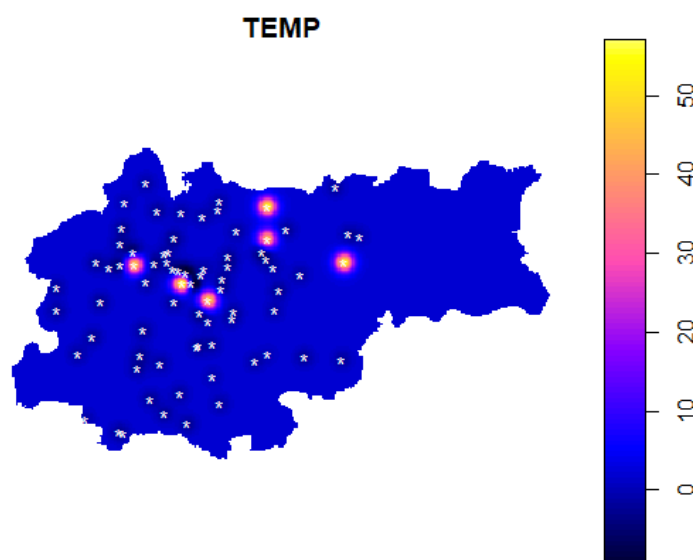
Wykres krigingu 15: Dla zanieczyszczenia powietrza PM2.5

Wykres krigingu 16: Dla temperatury powietrza

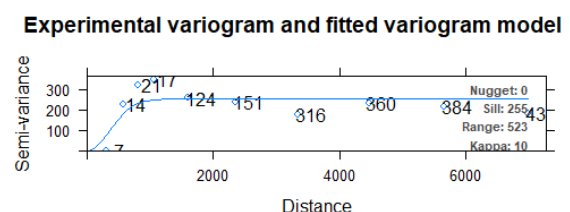
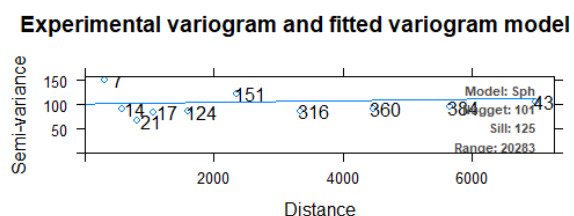
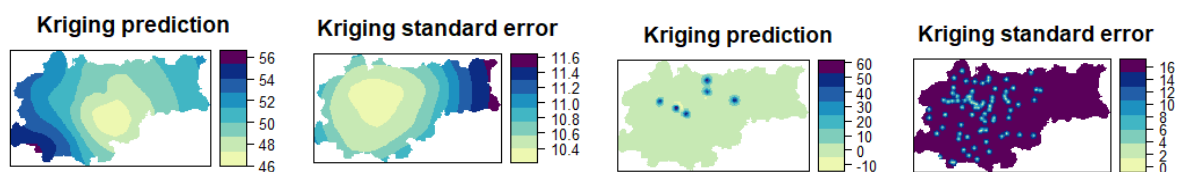
c) Godzina 21:00 (wiatr 9 km/h zach)



Występowanie pyłów w powietrzu w tym dniu jak na godziny wieczorne nie jest bardzo wysokie różnica pomiędzy miejscem gdzie występuje największa ilość a miejscem w którym występuje najmniejsza ilość występuje około 7 procent co jest bardzo małą dysproporcją.



Temperatura w tym dniu była stosunkowa wyższa niż w innych dniach co za tym idzie było również pyłów w powietrzu spowodowanym ogrzewaniem domów.



Wykres krigingu 17: Dla zanieczyszczenia powietrza PM2.5

Wykres krigingu 18: Dla temperatury powietrza

#### 4. Wnioski

Po przeanalizowaniu 3 dni możemy stwierdzić że występowanie pyłów na terenie Krakowa jest różne w zależności od miejsca w Krakowie ponieważ w niektórych miejscach w Krakowie może występować większe zanieczyszczenie spowodowane ocieplanie domów węglem czy występowanie fabryk jak np. Wschód Krakowa gdzie występuje Huta która może powodować zanieczyszczenie powietrza jak również elektro ciepłownia znajdująca się na Czyżynach która ogrzewana jest węglem Kamiennym. Dodatkowo można zauważyć że wraz z obniżeniem temperatury wzrasta poziom pyłków PM 2.5 ponieważ potrzebne jest większe zużycie energii w celu utrzymania optymalnej temperatury. Możemy również stwierdzić że największa liczba czujników znajduje się w środkowej części co może powodować mniej dokładne wyniki na innych terenach jak obrzeża miasta. Czynnikiem który również wpłynął, na wysoki poziom pyłków PM 2.5 może być brak silnego wiatru. Podczas pomiaru prędkość wiatru wahała się od 2km/h do 13 km/h co stanowi niską wartość.

#### 5. Kod R

```
#wczytanie pakietow
library(httr)
library(jsonlite)
library(utils)
library(sp)
library(sf)
library(spatstat)
library(maptools)
library(automap)
library(rgdal)
library(raster)
library(rgeos)
library(gstat)
library(tmaptools)

#wczytanie klucza API z pliku
kluczAPI <- readLines("keyAPI.txt")

#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 = kluczAPI, Accept = "application/json")
)

#przejdźcie do listy
jsonRespText<-content(r,as="text")
test15<-fromJSON(jsonRespText)
#View(test15)
```

```

#tworzymy ramkę data15 - 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 #wysokość nie będzie potrzebna, ale niech będzie dla przykładu
data15$id<-test15$id

head(data15)

#tworzymy obiekt przestrzenny
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 (potrzebne do ppp)
proj4string(data_spat) <- CRS("+proj=longlat +datum=WGS84") #określamy, jaki mamy układ
data_spat # mamy już obiekt w układzie sferycznym, który można automatycznie

#konwersja do UTM (bo tworzymy ppp, a to jego układ)
data_UTM <- spTransform(data_spat, CRS("+proj=utm +zone=34 +datum=WGS84"))

dzielnice<-st_read("dzielnice_Krakowa/dzielnice_Krakowa.shp") #układ odniesienia(CRS) to ETRS89 (Poland
CS92)
# konwertujemy do WGS84
dzielniceWGS84<-st_transform(dzielnice,crs = 4326) # "4326" to kod dla WGS84
# zostawiamy tylko kontur miasta
krakowWGS84<-st_union(dzielniceWGS84)
#przekształcamy na UTM
krakowUTM<-st_transform(krakowWGS84,CRS("+proj=utm +zone=34 +datum=WGS84"))

data15_ppp_id<-
ppp(x=data_UTM$lon,y=data_UTM$lat,marks=data.frame(elev=data_UTM$elev,id=data_UTM$id),window=as.o
win(krakowUTM))
data15_ppp_id$marks$id #mamy od razu tylko te id które są w Krakowie!

data15_ppp<-ppp(x=data_UTM$lon,y=data_UTM$lat,window=as.owin(krakowUTM))
plot(data15_ppp)

data15_ppp_e<-ppp(x=data_UTM$lon,y=data_UTM$lat,marks=data_UTM$elev,window=as.owin(krakowUTM))
plot(data15_ppp_e)

#najpierw musimy utworzyć:
##1) dwa obiekty zawierające:
###liczbę czujników
n_id<-length(data15_ppp_id$marks$id)
n_id
###id czujników
id<-data15_ppp_id$marks$id
id
##2) pustą listę do odczytów z czujników (installations) AIRLY
list_instDzien1Rano <- vector(mode = "list", length = n_id) #18.12.2022 9:02 7km/h zach
list_instDzien1Poludnie <- vector(mode = "list", length = n_id) #18.12.2022 17:04 7km/h wsch
list_instDzien1Wieczor <- vector(mode = "list", length = n_id) #18.12.2022 20:08 13 km/h pñn. wsch

list_instDzien2Rano <- vector(mode = "list", length = n_id) # 19.12.2022 8:20 5km/h wsch
list_instDzien2Poludnie <- vector(mode = "list", length = n_id) #19.12.2022 16:40 6km/h pñn, wsch.
list_instDzien2Wieczor <- vector(mode = "list", length = n_id) #19.12.2022 20:45 4 km/g pñn. wsch

list_instDzien3Rano <- vector(mode = "list", length = n_id) #20.12.2022 9:20 7km/h pd. zach
list_instDzien3Poludnie <- vector(mode = "list", length = n_id) #20.12.2022 16:20 2km/h zach

```

```

list_instDzien3Wieczor <- vector(mode = "list", length = n_id) #20.12.2022 20:45 9 km/h zach

for (i in seq(1,n_id)) {

  print(i) #to tylko pomocniczo, żeby wiedzieć, który obrót pętli
  #tworzymy ciąg znaków określający adres, pod którym znajdują się pomiary z czujnika
  str<-paste("https://airapi.airly.eu/v2/measurements/installation?installationId=",id[i],sep="")
  #pobieramy dane z adresu
  r <- GET(url=str,add_headers(apikey = kluczAPI, Accept = "application/json"))
  #przechodzimy z formatu r na json i z json na tekst
  jsonRespText<-content(r,as="text")
  inst<-fromJSON(jsonRespText)

  list_instDzien3Wieczor[[i]]<-inst #tutaj zmieniamy zmienną do zapisu

}
#koniec pętli

#zapis pełnej listy do pliku (na wszelki wypadek, bo mamy tylko 100 zapytań dziennie do AIRLY
#save(list_instDzien3Wieczor,file="saves/list_instDzien3Wieczor.Rdata") #tutaj też zmieniamy zmienną do zapisu

load(file="saves/list_instDzien3Poludnie.Rdata")

list_inst2<-list_instDzien3Poludnie #tutaj też zmieniamy zmienną

#teraz wybieramy potrzebne dane
##tworzymy pusty wektor dla danych "current"
current<-rep(NA,n_id)

##pętla do "wyciągnięcia" wartości "current"
for (i in seq(1,n_id)) {

  print(i)

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

  if (sum(logic)==1) #testujemy, czy istnieje jedno i tylko jedno takie pole (zdarzają się błędne odczyty - tych nie
  chcemy zapisać)
    current[i]<-list_inst2[[i]]$current$values[logic,2]
}

current

data15_spdf<-as.SpatialPointsDataFrame.ppp(data15_ppp_id)
coordinates(data15_spdf)
# dodajemy kolumnę current
data15_spdf$current<-current
dev.off() #bo może wariować RStudio
plot(data15_spdf)

miss <- is.na(data15_spdf$current)

pm25_auto <- autoKrige(current ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss,])
plot(pm25_auto$krige_output[1],main="PM 2.5")
points(data15_ppp_id[!miss,],pch="*",col="White")
plot(Window(data15_ppp_e),add=TRUE)

plot(pm25_auto)

```

```

#zmieńmy model i porównajmy wyniki, popatrzmy na wariogram
pm25_auto <- autoKrige(current ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss,], model="Gau")
plot(pm25_auto$krige_output[1],main="PM 2.5")
points(data15_ppp_id[!miss,],pch="*",col="White")
plot(pm25_auto)

pm25_auto <- autoKrige(current ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss,],
                        model="Gau")

show.vgms()
show.vgms(models=c('Nug', 'Sph', 'Gau', 'Pow', 'Exp'), range=1.4,
            max=2.5)

##ładna mapa

#Musimy mieć kontur Krakowa w odpowiednim formacie:
bound<-st_as_sf(krakowUTM)
plot(bound)

#Pobieramy współrzędne punktów konturu w formie macierzy:
coord<-as.data.frame(st_coordinates(krakowUTM))

#Najpierw utworzymy siatkę - prostokąt okalający kontur Krakowa:
#1. Określamy współrzędne naroży
left_down<-c( min(coord$X), min(coord$Y))
right_up<-c( max(coord$X), max(coord$Y))
#2. Ustalamy rozmiar oczka siatki (100x100 metrów)
size<-c(100,100)
#3. Obliczamy liczbę oczek siatki przypadających na długość i szerokość prostokąta:
points<- (right_up-left_down)/size
num_points<-ceiling(points) #zaokrąglenie w górę
#4. Wreszcie tworzymy siatkę...
grid <- GridTopology(left_down, size,num_points)
#5. ...i konwertujemy ją do odpowiedniego formatu, w odpowiednim układzie (tu: WGS84)
gridpoints <- SpatialPoints(grid, proj4string = CRS("+proj=utm +zone=34
+datum=WGS84"))
plot(gridpoints) #czekamy cierpliwie
#Teraz przycinamy utworzoną siatkę konturem Krakowa funkcją crop_shape z pakietu tmaptools
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)

#Rysujemy mapę z wykorzystaniem krigingu:
##uwaga: "current" zamiast "marks"!
elev_auto <- autoKrige(current ~ 1, input_data =
                        data15_spdf[!miss,],new_data=spgrid)
plot(elev_auto$krige_output[1],main="PM 2.5")
points(data15_ppp_id[!miss,],pch="*",col="White")

plot(elev_auto)

```



```
##### temperatura (skopiowane co jest wyzej z podmienionymi danymi)
for (i in seq(1,n_id)) {

  print(i)

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

  if (sum(logic)==1) #testujemy, czy istnieje jedno i tylko jedno takie pole (zdarzają się błędne odczyty - tych nie
  chcemy zapisać)
    current[i]<-list_inst2[[i]]$current$values[logic,2]
}

current

data15_spdf<-as.SpatialPointsDataFrame.ppp(data15_ppp_id)
coordinates(data15_spdf)
# dodajemy kolumnę current
data15_spdf$current<-current
dev.off() #bo może wariować RStudio
plot(data15_spdf)

miss <- is.na(data15_spdf$current)

pm25_auto <- autoKrige(current ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss,])
plot(pm25_auto$krige_output[1],main="TEMP")
points(data15_ppp_id[!miss,],pch="*",col="White")
plot(Window(data15_ppp_e),add=TRUE)

plot(pm25_auto)

#zmieńmy model i porównajmy wyniki, popatrzmy na wariogram
pm25_auto <- autoKrige(current ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss,], model="Gau")
plot(pm25_auto$krige_output[1],main="TEMP")
points(data15_ppp_id[!miss,],pch="*",col="White")
plot(pm25_auto)

pm25_auto <- autoKrige(current ~ 1, input_data = data15_spdf[!miss,],
  model="Gau")
show.vgms()
show.vgms(models=c('Nug', 'Sph', 'Gau', 'Pow', 'Exp'), range=1.4,
  max=2.5)

##ładna mapa

#Musimy mieć kontur Krakowa w odpowiednim formacie:
bound<-st_as_sf(krakowUTM)
plot(bound)

#Pobieramy współrzędne punktów konturu w formie macierzy:
coord<-as.data.frame(st_coordinates(krakowUTM))

#Najpierw utworzymy siatkę - prostokąt okalający kontur Krakowa:
#1. Określamy współrzędne naroży
left_down<-c( min(coord$X), min(coord$Y))
```

```

right_up<-c( max(coord$X), max(coord$Y))
#2. Ustalamy rozmiar oczka siatki (100x100 metrów)
size<-c(100,100)
#3. Obliczamy liczbę oczek siatki przypadających na długość i szerokość prostokąta:
points<- (right_up-left_down)/size
num_points<-ceiling(points) #zaokrąglenie w górę
#4. Wreszcie tworzymy siatkę...
grid <- GridTopology(left_down, size,num_points)
#5. ...i konwertujemy ją do odpowiedniego formatu, w odpowiednim układzie (tu: WGS84)
gridpoints <- SpatialPoints(grid, proj4string = CRS("+proj=utm +zone=34
+datum=WGS84"))
plot(gridpoints) #czekamy cierpliwie
#Teraz przycinamy utworzoną siatkę konturem Krakowa funkcją crop_shape z pakietu tmaptools
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)

#Rysujemy mapę z wykorzystaniem krigingu:
##uwaga: "current" zamiast "marks"!
elev_auto <- autoKrige(current ~ 1, input_data =
                        data15_spdf[!miss,],new_data=spgrid)
plot(elev_auto$krige_output[1],main="TEMP")
points(data15_ppp_id[!miss,],pch="*",col="White")

plot(elev_auto)

```