

# Stacjonarno-mobilny system monitorowania i predykcji poziomu zrównoważonego rozwoju miast Zielona Góra i Cottbus

Dr inż. Grzegorz Pająk



UNIWERSYTET  
ZIELONOGÓRSKI

**Interreg**

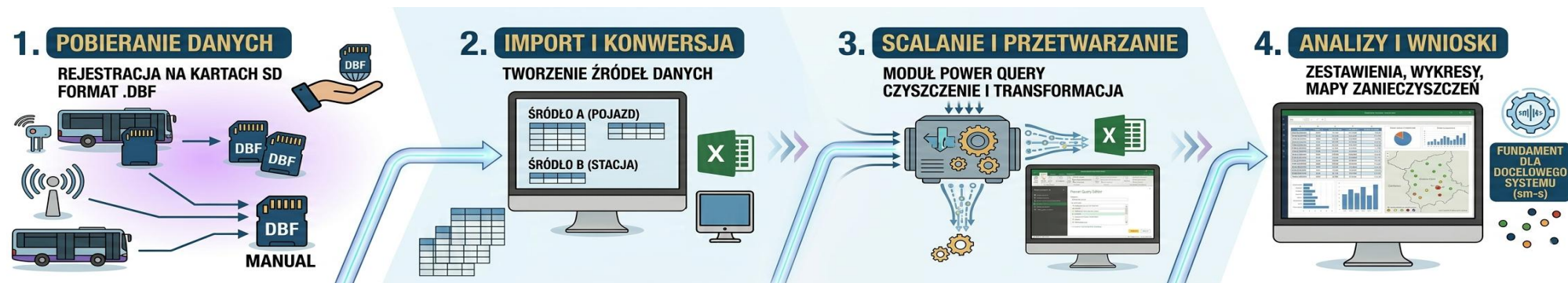


Kofinansiert von  
der Europäischen Union  
Współfinansowany przez  
Unię Europejską

**Brandenburg – Polska**

# Projekt pilotażowy (maj – lipiec 2022 r.)

- **Niewielka skala:** 2 czujniki deweloperskie, po jednym na miasto.
- **Platforma pomiarowa:** czujniki na autobusach z silnikiem diesla (zakłócenia elektromagnetyczne w autobusach elektrycznych), pomiary stacjonarne w 4 wybranych punktach.
- **Akwizycja danych:** proces manualny, zapis danych na kartach SD, ręczne przesyłanie plików przez e-mail do koordynatora i import do lokalnych baz typu desktop.
- **Zakres analiz:** pomiary pyłów (PM 1.0-10), tlenku azotu (NO), ozonu (O3), parametrów meteo (temperatura, punkt rosy, wilgotność) oraz pozycja na podstawie odczytu GPS.



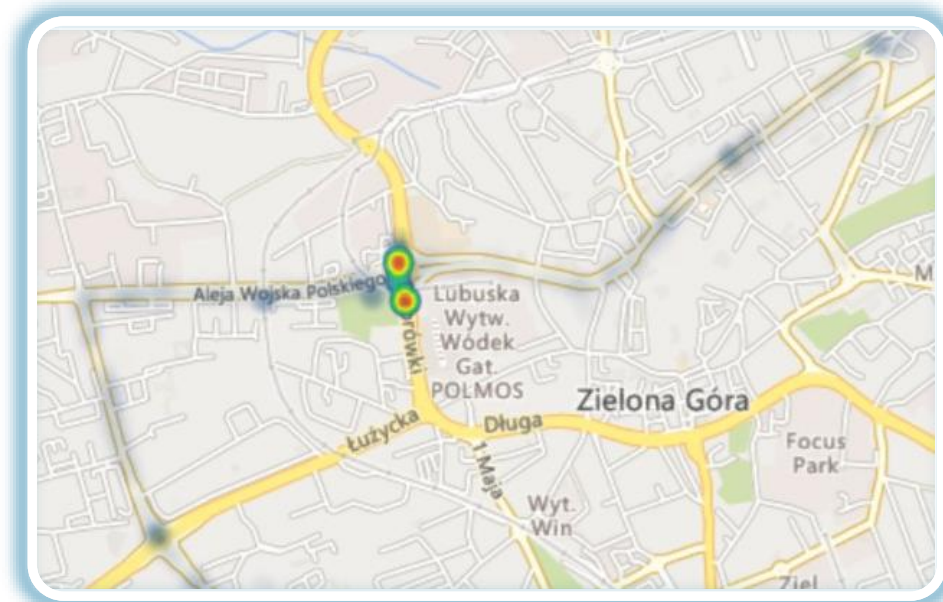
# Projekt pilotażowy – wnioski

## Sukces techniczny

- Pilotaż udowodnił, że mobilne sensory są w stanie zidentyfikować źródła punktowe, których nie widzą stacje stacjonarne.
- Potwierdzono zasadność wykorzystania autobusów jako dynamicznej platformy pomiarowej dla parametrów zrównoważonego rozwoju.

## Problemy

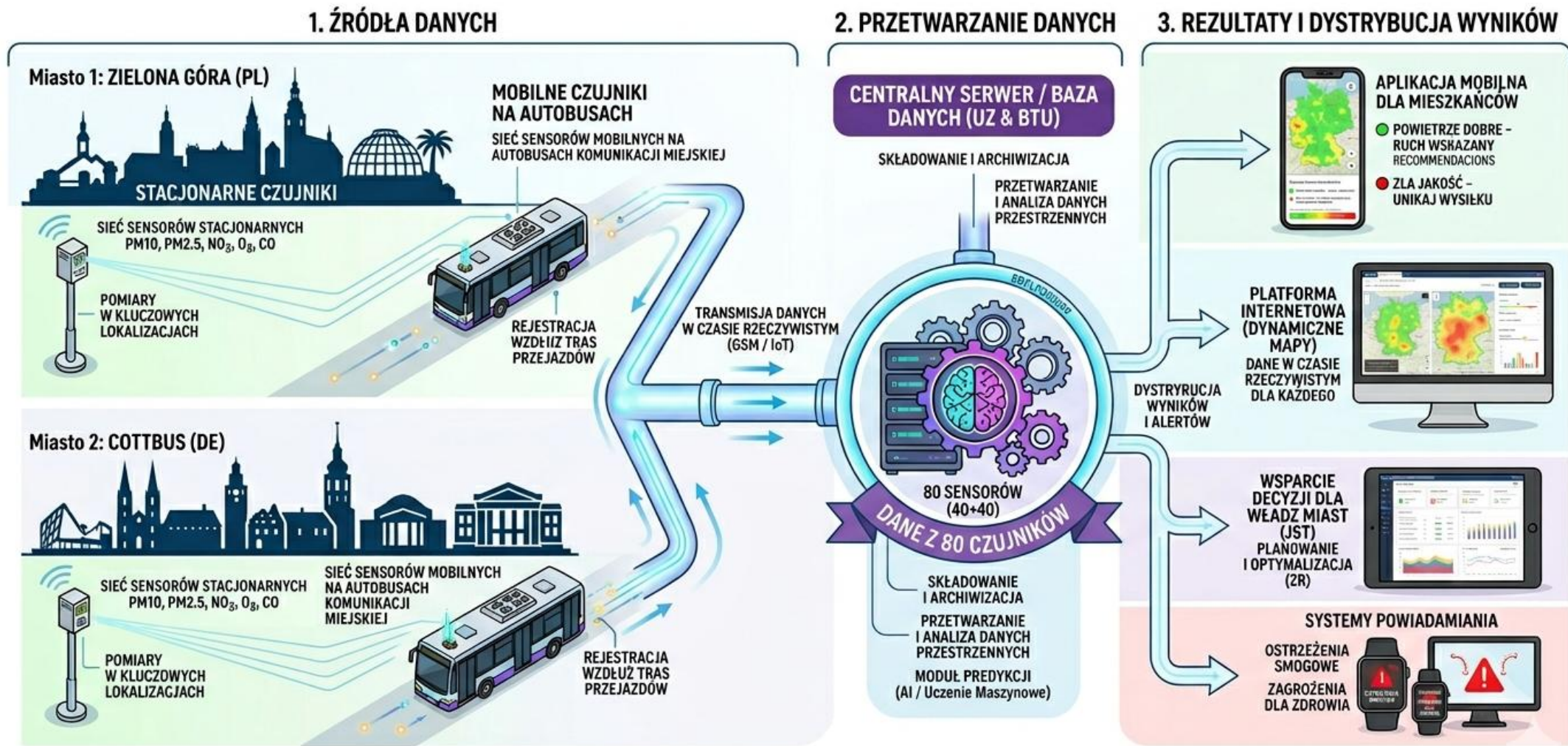
- Jakość danych (błędy GPS).
- Manualne zbieranie danych uniemożliwiało analizę w czasie rzeczywistym i było nieefektywne przy większej skali.
- Baza danych typu desktop okazała się niewydolna dla dużych zbiorów.



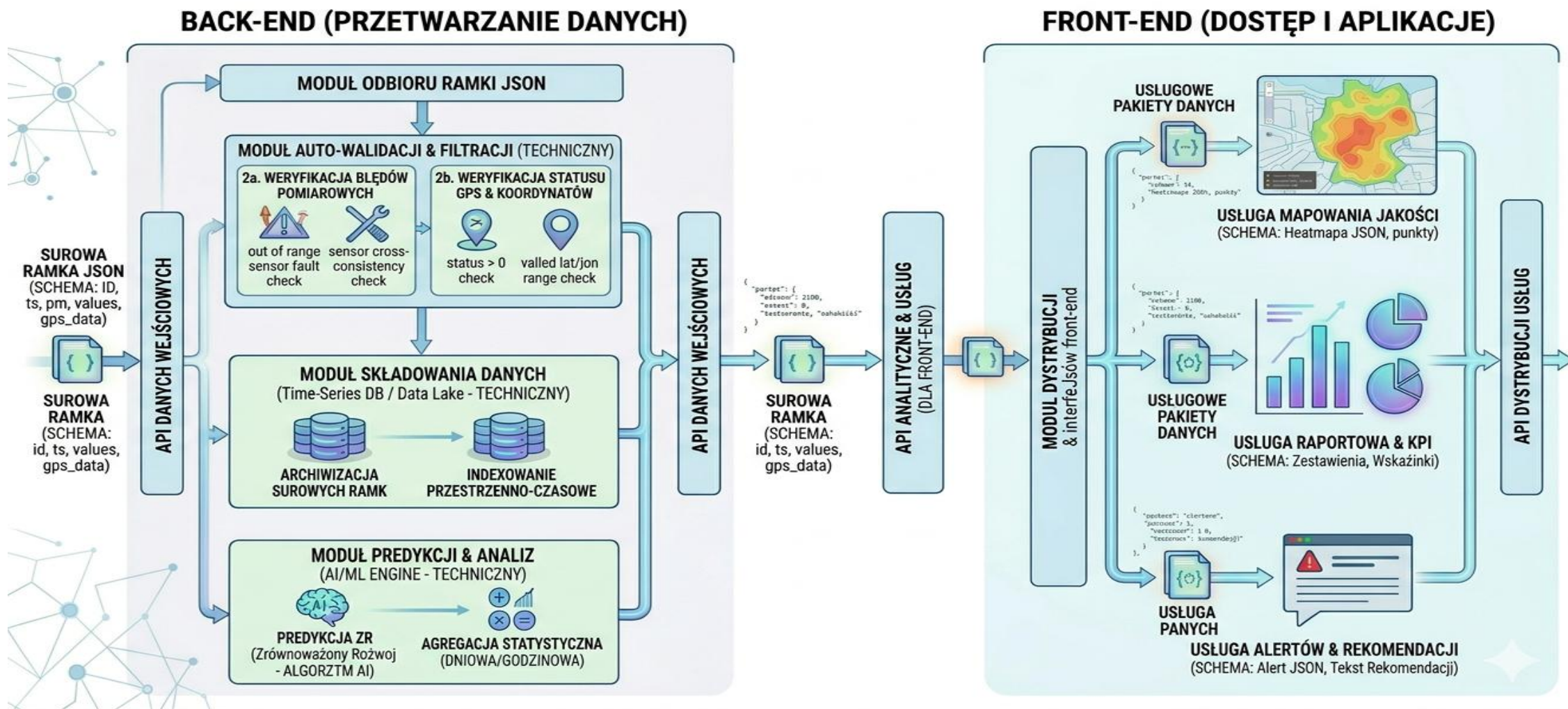
# Projekt pilotażowy vs. System sm-s

Cecha	Projekt pilotażowy	System sm-s
Liczba sensorów	1 mobilny, 2 lokalizacje stacjonarne	40 mobilnych + 40 stacjonarnych
Transmisja danych	Manualna (karta SD + e-mail)	Automatyczna on-line
Baza danych	Desktop (Excel+Power Query)	Baza SQL na serwerze CK UZ
Analiza	Statyczna, post-factum	Dynamiczna z wykorzystaniem narzędzi statystycznych i metod AI
Skala	Lokalna (wybrane trasy)	Pełne pokrycie miast
Sensory	Deweloperskie	Autorskie urządzenia przygotowane zgodnie z wymogami projektu

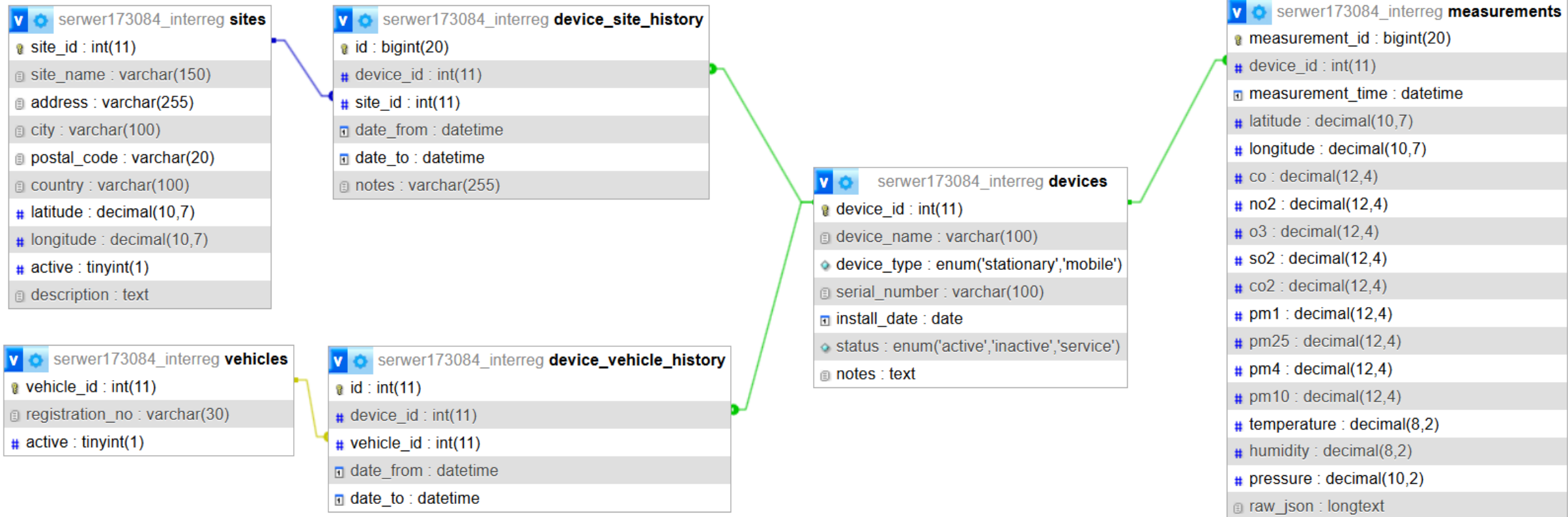
# Konceptcja systemu sm-s



# Proces automatycznego przetwarzania danych



# Struktura bazy danych



# Struktura bazy danych

- **measurements:** najważniejszy element systemu, przechowuje dane pomiarowe przesyłane przez czujniki, każdy rekord odpowiada jednemu odczytowi wykonanemu przez dane urządzenie w określonym czasie i miejscu;
- **devices:** centralny rejestr urządzeń pomiarowych;
- **vehicles, sites:** rejestr pojazdów, wykaz stałych punktów pomiarowych;
- **device\_vehicle\_history, device\_site\_history:** historii przypisań urządzeń pomiarowych do pojazdów oraz stacjonarnych punktów pomiarowych.

**Kluczowa cecha:** odseparowanie informacji o lokalizacji (pojazd, miejsce) od informacji o urządzeniu pomiarowym; jeden czujnik może być przenoszony, a historia zmian jest zapisana bez ingerencji w dane pomiarowe.

# Częstotliwość pomiarów

## Sensory stacjonarne

- Pomiar co 1 minutę: **1 440/dzień**

## Sensory mobilne

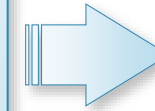
- Długość i szerokość z dokładnością 4 miejsc po przecinku, tzn.  $0.0001^\circ$  (projekt pilotażowy):
  - Szerokość geograficzna:  $1^\circ \approx 111320 \text{ m}$ , stąd  $0.0001^\circ \approx 11.1 \text{ m}$
  - Długość geograficzna (dla  $52^\circ$ ):  $111320 \cdot \cos(52^\circ) \approx 68500 \text{ m}$ , stąd  $0.0001^\circ \approx 6.9 \text{ m}$
- Dystans przejechany w czasie 1 sekundy:
  - $50 \text{ km/h}$  ok.  $13.9 \text{ m}$
  - $40 \text{ km/h}$  ok.  $11.1 \text{ m}$
  - $30 \text{ km/h}$  ok.  $8.3 \text{ m}$
- Pomiar co 1 sekundę: **86 400/dzień** (realnie 50%).

# Rozmiar pakietu pomiarowego

- Rozmiar ramki JSON (UTF-8, zminimalizowana) ok. 240 B w tym:
  - klucze: ok. 75 B,
  - wartości: ok. 120 B,
  - składnia JSON: ok. 45 B.
- Nagłówek protokołu (TCP ok. 40 B na pakiet).
- Narzut komunikacyjny ok. 280-360 B w tym:
  - nawiązanie połączenia: 3 pakiety, ok. 120-180 B,
  - potwierdzenie: pakiet zwrotny, ok. 40-60 B,
  - zakończenie połączenia: 2-4 pakietów, ok. 120 B.
- Łącznie: 560-640 B, efektywność ok. 40%.
- Wnioski: grupowanie pomiarów, utrzymanie otwartego połączenia (protokół MQTT?).

Ramka JSON

```
{ id: 999,  
  date: 2026-04-26,  
  time: 13:30:47,  
  latitude: 52.0380 N,  
  longitude: 15.3000 E,  
  CO: 1000.0,  
  NO2: 20.00,  
  O3: 10.00,  
  SO2: 20.00,  
  CO2: 32000,  
  PM1: 1000.0,  
  PM2.5: 1000.0,  
  PM4: 1000.0,  
  PM10: 1000.0,  
  T: 25.36,  
  H: 68.57,  
  P: 1005.4 }
```



server173084_interreg measurements	
measurement_id	bigint(20)
device_id	int(11)
measurement_time	datetime
latitude	decimal(10,7)
longitude	decimal(10,7)
co	decimal(12,4)
no2	decimal(12,4)
o3	decimal(12,4)
so2	decimal(12,4)
co2	decimal(12,4)
pm1	decimal(12,4)
pm25	decimal(12,4)
pm4	decimal(12,4)
pm10	decimal(12,4)
temperature	decimal(8,2)
humidity	decimal(8,2)
pressure	decimal(10,2)
raw_json	longtext

# Zapotrzebowanie na transfer danych (1 sensor)

## Sensor stacjonarny

Pomiary	Rozmiar pakietu [B]	MB/dzień	GB/miesiąc
1440	560-640	0,77-0,88	0,02-0,03

## Sensor mobilny

Pomiary	Rozmiar pakietu [B]	MB/dzień	GB/miesiąc
86 400	560-640	46,14-52,73	1,35-1,54

Ramka JSON

```
{ id: 999,
  date: 2026-04-26,
  time: 13:30:47,
  latitude: 52.0380 N,
  longitude: 15.3000 E,
  CO: 1000.0,
  NO2: 20.00,
  O3: 10.00,
  SO2: 20.00,
  CO2: 32000,
  PM1: 1000.0,
  PM2.5: 1000.0,
  PM4: 1000.0,
  PM10: 1000.0,
  T: 25.36,
  H: 68.57,
  P: 1005.4 }
```



server173084\_interreg measurements

measurement_id : bigint(20)
device_id : int(11)
measurement_time : datetime
latitude : decimal(10,7)
longitude : decimal(10,7)
co : decimal(12,4)
no2 : decimal(12,4)
o3 : decimal(12,4)
so2 : decimal(12,4)
co2 : decimal(12,4)
pm1 : decimal(12,4)
pm25 : decimal(12,4)
pm4 : decimal(12,4)
pm10 : decimal(12,4)
temperature : decimal(8,2)
humidity : decimal(8,2)
pressure : decimal(10,2)
raw_json : longtext

## Grupowanie danych z sensorów mobilnych (1 pakiet = 60 pomiarów)

Pomiary	Rozmiar pakietu [B]	MB/dzień	GB/miesiąc
1 440	$60 \cdot 240 + (40 + 280) = 14720$	20,21	0,59
	$60 \cdot 240 + (40 + 360) = 14800$	20,32	0,60

# Przyrost zasobów w centralnym repozytorium

## Pojedynczy pomiar

- Rozmiar wiersza tabeli ok. 120-360 B w tym:
  - dane stałe: ok. 100 B,
  - dane zmienne (?JSON?): ok. 240 B,
  - narzut systemowy: ok. 20 B.
- Indeks (device\_id + measurement\_time): ok. 20 B na wiersz.

### Ramka JSON

```
{ id: 999,  
  date: 2026-04-26,  
  time: 13:30:47,  
  latitude: 52.0380 N,  
  longitude: 15.3000 E,  
  CO: 1000.0,  
  NO2: 20.00,  
  O3: 10.00,  
  SO2: 20.00,  
  CO2: 32000,  
  PM1: 1000.0,  
  PM2.5: 1000.0,  
  PM4: 1000.0,  
  PM10: 1000.0,  
  T: 25.36,  
  H: 68.57,  
  P: 1005.4 }
```



senwer173084_interreg measurements	
measurement_id	bigint(20)
device_id	int(11)
measurement_time	datetime
latitude	decimal(10,7)
longitude	decimal(10,7)
co	decimal(12,4)
no2	decimal(12,4)
o3	decimal(12,4)
so2	decimal(12,4)
co2	decimal(12,4)
pm1	decimal(12,4)
pm25	decimal(12,4)
pm4	decimal(12,4)
pm10	decimal(12,4)
temperature	decimal(8,2)
humidity	decimal(8,2)
pressure	decimal(10,2)
raw_json	longtext

## Przyrost zasobów (2 miasta)

Pomiary/dzień [mln]	Przyrost/dzień [GB]	Pomiary/miesiąc [mln]	Przyrost/miesiąc [GB]
7	0,92-2,49	210	27,49-74,61

Dziękuję za uwagę  
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

dr inż. Grzegorz Pająk  
*g.pajak@iim.uz.zgora.pl*