



Projekt koncepcyjny systemu sm-s i bazy danych dla ZR dla miast z transportem publicznym. Conceptual design of an SMS system and database for SD in cities with public transport.

dr inż. Anna Pławiak-Mowna, prof. UZ

Interreg



Kofinanciert von
der Europäischen Union
Współfinansowany przez
Unię Europejską

Brandenburg – Polska

Projekt BBPL0300099 – „Transgraniczny stacjonarno-mobilny system monitorowania i predykcji poziomu zrównoważonego rozwoju miast Zielona Góra i Cottbus”



UNIWERSYTET
ZIELONOGÓRSKI

Transgraniczny System sm-s: Od Danych do Zrównoważonego Rozwoju Zielonej Góry i Cottbus

Step 1: Data Sources (data acquisition)

KROK 1: ŹRÓDŁA DANYCH (AKWIZYCJA)



Mobilne Sensory na Autobusach (40 szt.)



Stacjonarne Sensory w Kluczowych Punktach (40 szt.)

Inteligentna Sieć 80 Sensorów w Zielonej Górze i Cottbus

Pomiary w Czasie Rzeczywistym:
Co 10-30 sekund rejestracja pyłów (PM1, PM2.5, PM10), gazów (NO2, SO2, CO, O3), parametrów meteo, lokalizacji GPS.

PM1, PM2.5 PM10
NO2, SO2, CO...
GPS
METEO

Automatic IoT transmission

Automatyczna Transmisja IoT (GSM, JSON)

stationary mobile

40

40

Centralna Baza Danych SQL na Serwerach Uniwersyteckich

A Centralized Database Computer Center University of Zielona Góra

Step 2: Processing and KPIs

KROK 2: PRZETWARZANIE I WSKAŹNIKI KPI



FILAR ŚRODOWISKOWY

Analiza jakości powietrza, identyfikacja obiektów generujących zanieczyszczenia, monitorowanie wpływu lokalnych działań na emisję.



FILAR EKONOMICZNY

Wskaźniki wykorzystania transportu publicznego, koszty eksploatacji, czas ładowania pojazdów elektrycznych, optymalizacja tras.



FILAR SPOŁECZNY

Badanie poziomu bezpieczeństwa, dostępności usług miejskich, edukacji, zaangażowania mieszkańców w korzystanie z systemów informacyjnych.

Data-driven sustainability
Environmental
Social
Governance

Step 3: Analysis and final outcomes

KROK 3: ANALIZA AI I REZULTATY KOŃCOWE

Dynamic digital sustainability map



Modele Predykcji i Sztuczna Inteligencja

AI and predictive analytics



DYNAMICZNA CYFROWA MAPA ZR

Interaktywna wizualizacja poziomu zrównoważonego rozwoju przez WWW, "heatmaps" zanieczyszczeń w czasie rzeczywistym.



REKOMENDACJE DLA DECYDENTÓW (JST)

Gotowe narzędzia wspomagania decyzji w zakresie modernizacji transportu, planowania infrastruktury i strategii niskoemisyjnych dla Zielonej Góry i Cottbus.



APLIKACJA MOBILNA DLA MIESZKAŃCÓW

Bezpośredni dostęp do danych o jakości powietrza w okolicy, alerty zdrowotne i wskazówki dotyczące aktywności.

Website and live pollution heatmaps

Recommendations for Decision-Makers

Resident app

CEL 11 ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU (SDG 11): Zrównoważone miasta i społeczności, zapewnienie mieszkańcom bezpiecznego i czystego środowiska życia.

NotebookLM

Interreg



Kofinanciert von der Europäischen Union
Współfinansowany przez Unię Europejską

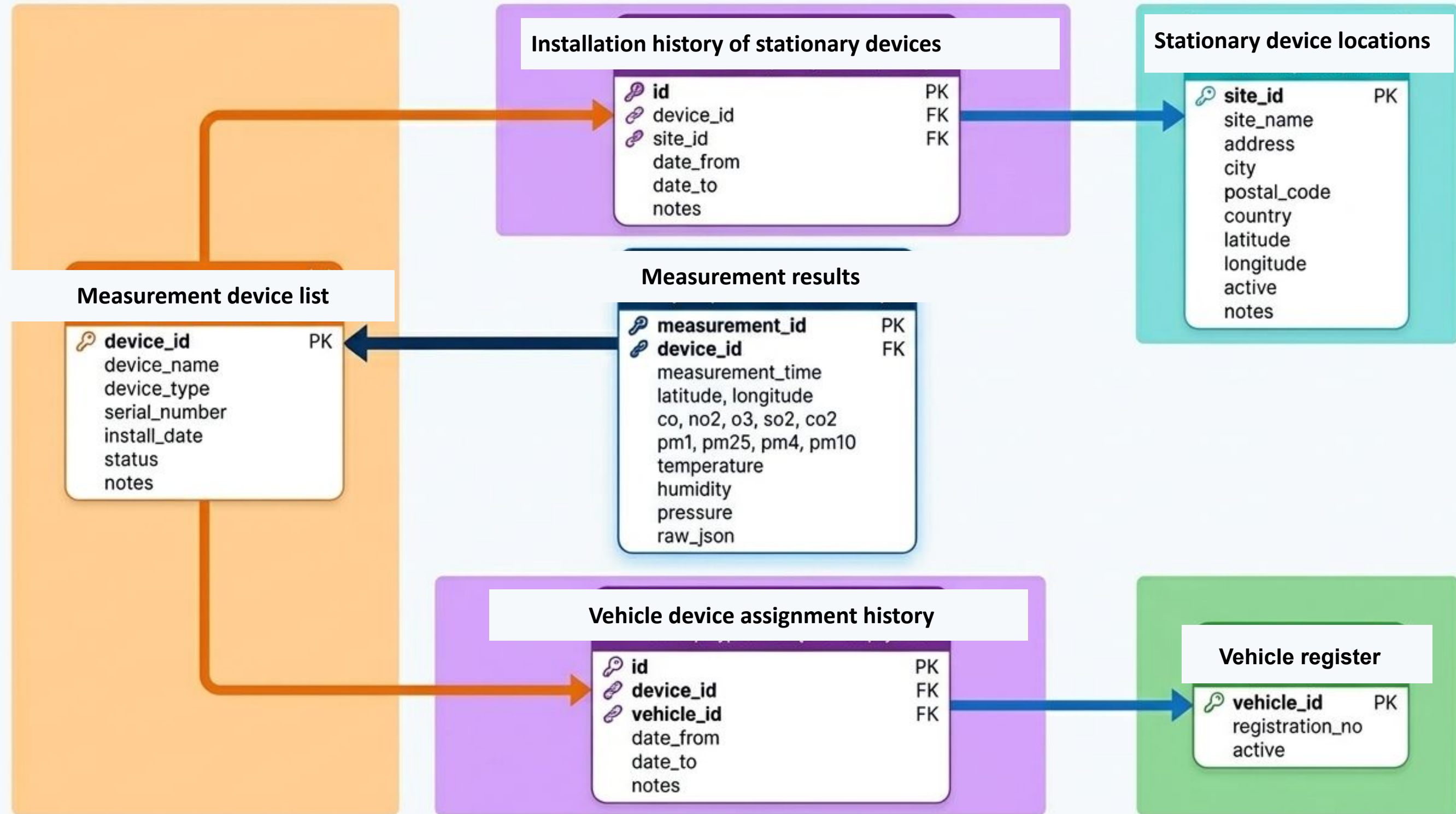
Brandenburg – Polska

Projekt BBPL0300099 – „Transgraniczny stacjonarno-mobilny system monitorowania i predykcji poziomu zrównoważonego rozwoju miast Zielona Góra i Cottbus”



UNIwersytet
ZIELONOGÓRSKI

System Data Architecture and ERD



Devices

This table acts as the central registry for all measurement devices involved in the project.

1. **unique device identifier** – `device_id`
2. **device name** – `device_name`
3. **device type** – `device_type` ('stationary' or 'mobile')
4. **serial number** – `serial_number`
5. **installation date** – `install_date`
6. **current device status** – `status` (e.g., 'active', 'inactive', 'service')
7. **additional information** – `notes`

Measurement

This table acts as the core component of the system, storing measurement data transmitted by sensors. Each record corresponds to a single reading taken by a specific device at a specific time and location.

1. **measurement identifier** – `measurement_id`
2. **unique device identifier** – `device_id`
3. **measurement time** – `measurement_time` (UTC – Coordinated Universal Time)
4. **geolocation data** – (`latitude`, `longitude`)
5. **a wide range of air quality readings and meteorological parameters** – (`co`, `no2`, `o3`, `so2`, `co2`, `pm1`, `pm25`, `pm4`, `pm10`, `temperature`, `humidity`, `pressure`)
6. **raw data frame payload** – `raw_json`

Vehicles

This table acts as the registry for vehicles equipped with mobile sensors (e.g., public transit buses).

- 1. unique vehicle identifier – `vehicle_id`**
- 2. vehicle registration number – `registration_no`**
- 3. flag indicating whether the vehicle is active – `active`**

Sites

This table acts as the registry for stationary monitoring points within the urban area.

1. **unique monitoring point identifier** – `site_id`
2. **point name** – `site_name`
3. **exact address** – `address`, `city`, `postal_code`, `country`
4. **point geolocation** – `latitude`, `longitude`
5. **activity status** – `active`
6. **additional information** – `description`

Device_vehicle_history

This table acts as the registry for the assignment history of individual measurement devices to vehicles.

1. **unique identifier** – `id`
2. **device identifier** – `device_id`
3. **vehicle identifier** – `vehicle_id`
4. **dates defining the device installation period on a given vehicle** – `date_from`, `date_to`

Device_site_history

This table acts as the registry for the installation history of measurement devices at stationary monitoring points.

1. **unique identifier** – `id`
2. **unique device identifier** – `device_id`
3. **monitoring point identifier** – `site_id`
4. **active period at a given location** – `date_from`, `date_to`
5. **additional notes** – `notes`

Data Acquisition Pipeline: From Device/Sensor to Database

Architektura Akwizycji Danych w Systemie sm-s: Od Sensora do Bazy Danych

Physical Layer: Sensor Network

Warstwa Fizyczna: Sieć Sensorów



Sensory Mobilne

80 Inteligentnych Punktów Pomiarowych:

40 sensorów mobilnych w autobusach,
40 stacjonarnych punktów w Zielonej Górze
i Cottbus.

Częstotliwość Próbkowania:

Stacjonarne co 1 minutę (1440/dobę) vs.
Mobilne co 1 sekundę (86 400 odczytów/dobę).



Sensory Stacjonarne

40
mobile sensors

Sampling rate
stationary
every minute
1,440 per day
mobile
every second
86,400 per day

Spatial precision and sampling

Precyzja Przestrzenna i Próbkowanie



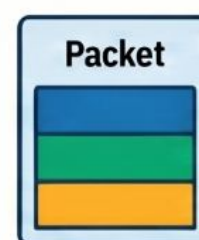
Speed	Distance in 1 s
30 km/h	8.3 m
40 km/h	11.1 m
50 km/h	13.9 m



pollution map along
transit corridors

Data transmission and optimization

Transmisja i Optymalizacja Danych



Struktura Ramki JSON i Protokołu TCP/IP

approx.
480 B



Pojedynczy pomiar

Pakiet grupowy
(60 odczytów)

Data buffering:
50–100 measurement
records per transmission
(reduces network load).

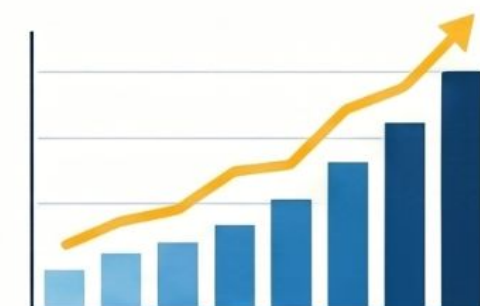
Storage and analytics

Składowanie i Analiza (Back-end)



Baza danych SQL gromadzi kompletne dane:
stężenia gazów (CO, CO2, NO2, O3, SO2), pył
(PM1, PM2,5, PM4, PM10) oraz parametry met
(temperatura, wilgotność, ciśnienie).

measurements	
Wyniki pomiarów środowiskowych	
measurement_id	PK
device_id	FK
measurement_time	
latitude, longitude	
co, no2, o3, so2, co2	
pm1, pm25, pm4, pm10	
temperature	
humidity	
pressure	
raw_json	



25–47 GB/month

Optymalizacja Transmisji Danych w Systemie sm-s:

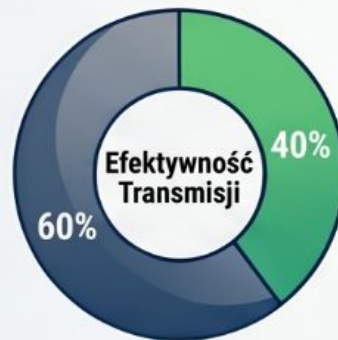
Data transmission optimization



Anatomia Danych i Problem Efektywności

Struktura pojedynczego odczytu danych (240 Bajtów – rozmiar ramki JSON)

Klucze (75 B)	Wartości parametrów (120 B)	Skłębina formatu JSON (45 B)
------------------	--------------------------------	---------------------------------



The Problem:
Individual sending drops efficiency to ~40% (560–640 B/reading).

The Solution:
Data grouped into 60-measurement batches via MQTT.

Performance:
Easily handles 7M daily measurements.
Cloud Storage:
27.5–74.6 GB/month of data growth.

Rozwiązanie: Grupowanie i MQTT



1 pakiet = 60 odczytów

Zamiast wysyłać każdy punkt osobno, system grupuje dane, co drastycznie redukuje wpływ narzutu nagłówków sieciowych.

Cyfrowa Droga Danych: Proces Weryfikacji i Bezpieczeństwa w Systemie sm-s

Verification and security process

1. Wejście

Input



Wysoka
częstotliwość
odczytów:
86 400
odczytów
dziennie
(co
1 sekunda)

Pozyskanie danych
JSON (ang. JavaScript Object Notation)



2. Back-End – Moduł Auto-walidacji i Filtracji

Module for automatic validation and filtering



out of range
testing sensor
cross-consistency



Satellite Quality Check:
Continuously monitoring connection status
Geofence Validation:
Verifies valid lat/lon coordinate ranges for the urban area.

3. Składowanie – Architektura Baz Danych

Database Architecture / Storage

device_site_history		device_vehicle_history	
PK	ID	PK	ID
	device info		device info
	timestamp		timestamp
	longitude		longitude
	history		device_vehicle history

Location-agnostic
History tables (device_site / device_vehicle) decoupling physical locations from unique device IDs.



Time-Series DB: Optimized for high-speed, continuous ingestion of time-ordered data.
Data Lake: Centralized repository for massive scale storage of raw data in any format.

4. Analiza – Silnik AI/ML w CK UZ

AI/ML Analytics Engine
Centrum Komputerowe Uniwersytetu Zielonogórskiego



Advances AI hotspot detection

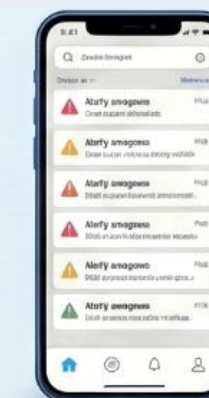
Feeding Data to AI/ML Engine /
Data Transfer to AI/ML Engine

5. Front-End – Dostęp i Aplikacje

Frontend Access & Apps



Dynamic Maps & KPI Reports
for Local Governments



Citizen Notification Systems

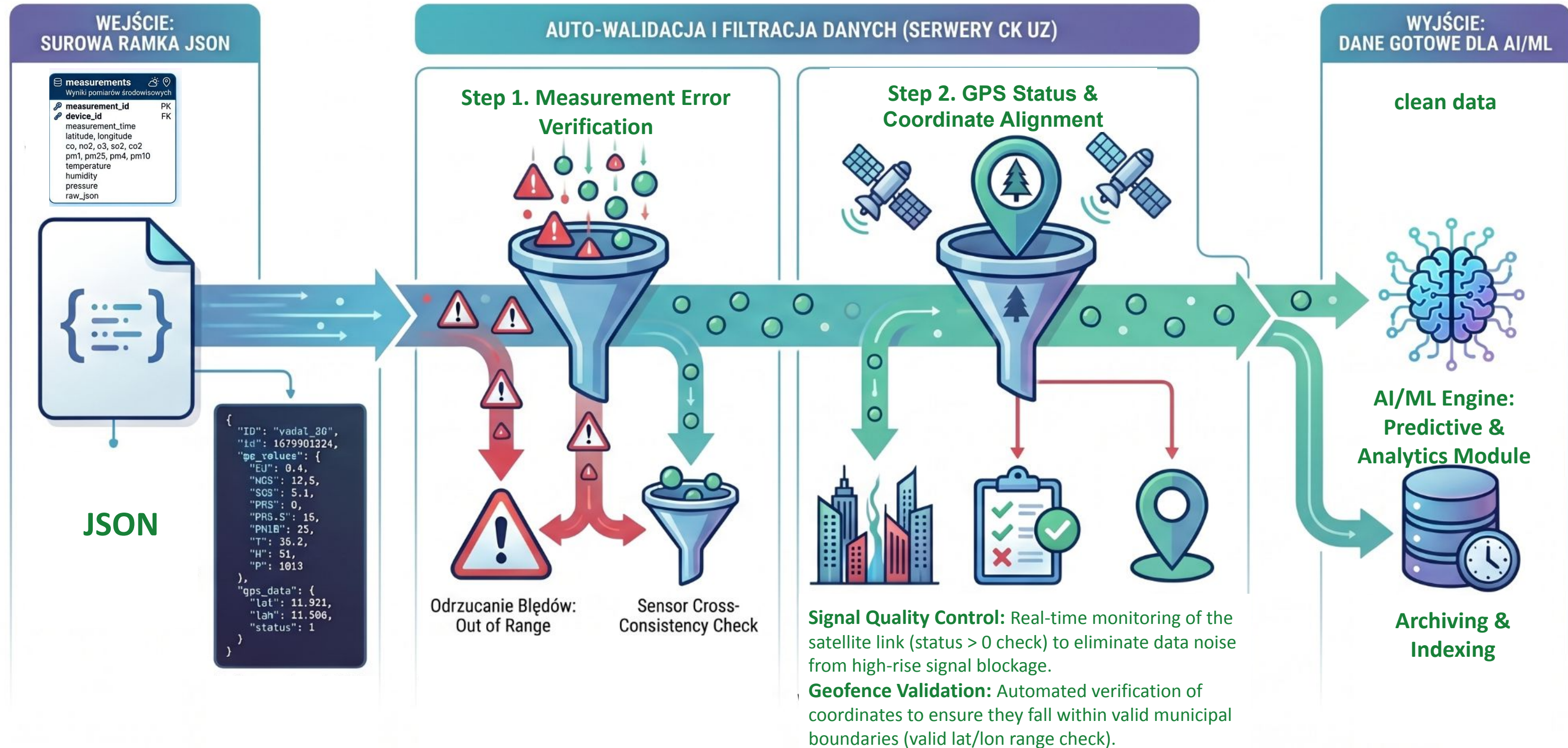


Real-Time Smog Alerts

Pre-processing Danych w Systemie sm-s

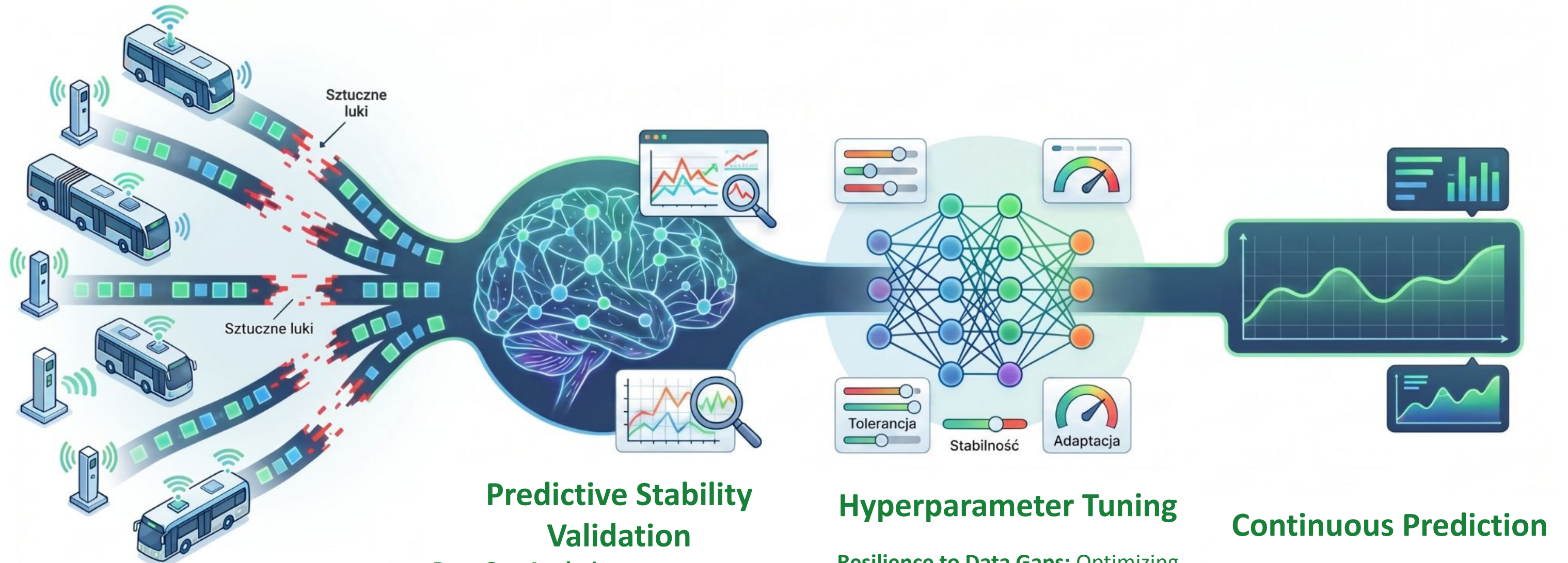
Data Preprocessing Pipeline

Data Ready for AI/ML Processing



Analiza Wrażliwości AI: Budowanie Odporności Systemu sm-s

AI Sensitivity Analysis: Key to Building System Resilience



Sensor Outage Simulation

Data Gap Analysis:

Assessing how missing readings from transit corridors impact AI prediction errors.

Hyperparameter Tuning

Resilience to Data Gaps: Optimizing AI models to withstand short-term missing data.

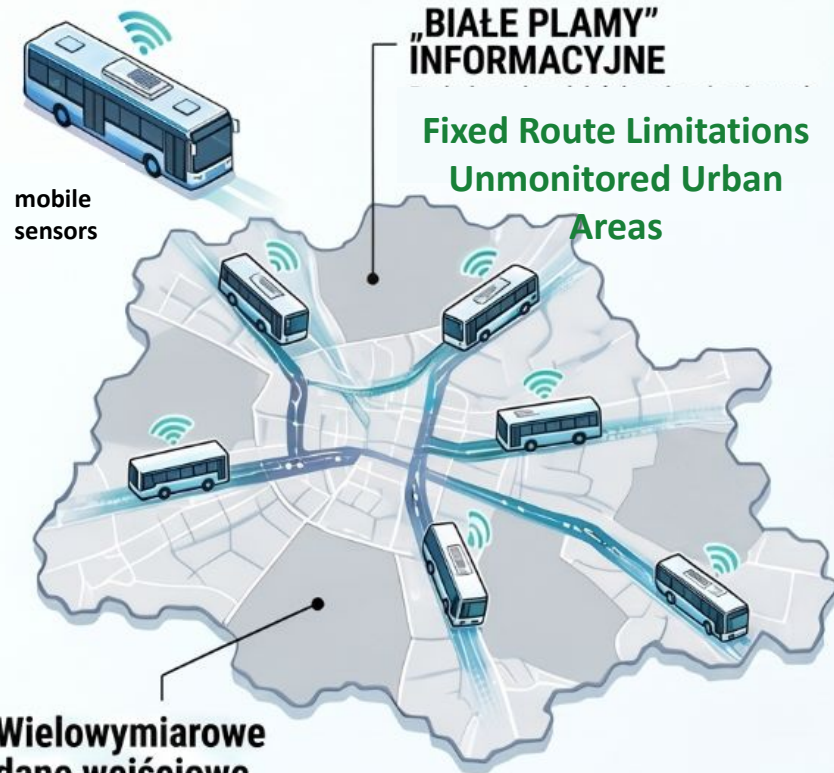
Prediction Continuity: Maintaining accurate forecasts using historical corridor patterns.

Continuous Prediction

Predykcja Przestrzenna Spatio-Temporal Prediction

Conventional Monitoring Limitations

Luki w danych mobilnych



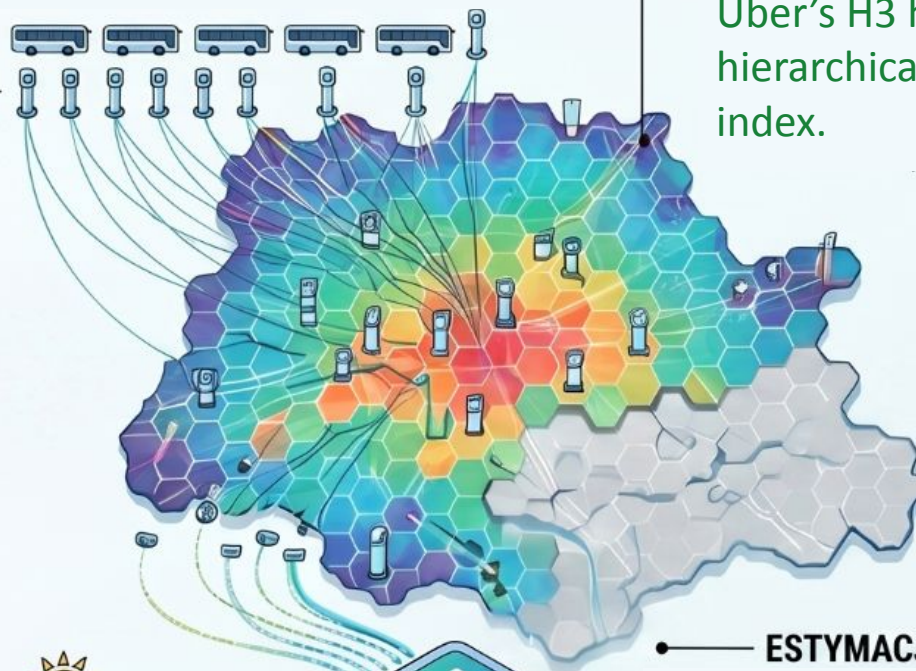
Wielowymiarowe dane wejściowe
Multidimensional Inputs

Weather Conditions
Time of Day
Traffic Density

Solution: Hybrid Network and Spatial Intelligence

80 ZINTEGROWANYCH PUNKTÓW POMIAROWYCH

Total: 80 Measurement Points
-> 40 Mobile Sensors -> 40 Stationary Sensors



MAPOWANIE W SIATCE H3 UBER

Core Framework:
Uber's H3 hexagonal hierarchical spatial index.



POGODA



PORA DNIA



RUCH ULICZNY (ITS)



ESTYMACJA PM2.5 i NOx

Predictive Estimation for unmonitored hexagons

PRZESTRZENNA INTERPOLACJA AI

AI Spatial Interpolation

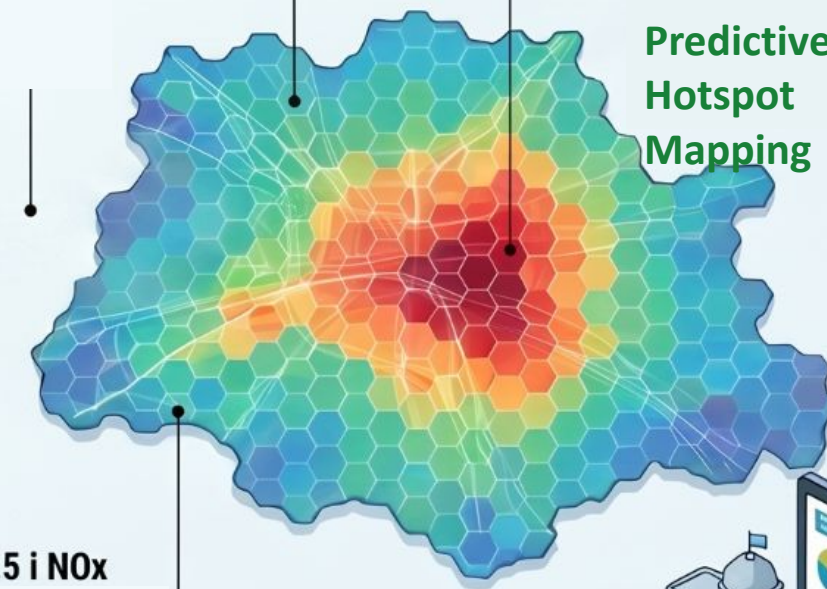
Impact: Digital Support for Smart Cities

CIĄGŁOŚĆ MONITOROWANIA W CZASIE RZECZYWISTYM

Continuous Real-Time Monitoring

PREDYKCJA HOTSPOTÓW

Predictive Hotspot Mapping



WIARYGODNE RAPORTY DLA JST

Reliable Reports for Local Authorities



Porównanie możliwości: Tradycyjny monitoring vs. System sm-s z predykcją AI

	Tradycyjne stacje stacjonarne	System sm-s
Zasięg przestrzenny:	Punktowy (mały)	Pełne pokrycie miasta (siatka H3)
Reakcja na luki w danych:	Brak danych	Automatyczna interpolacja AI
Mobilność:	Brak	Wysoka (40 autobusów)
Uwzględnienie ruchu ITS:	Rzadko	Tak (kluczowy parametr predykcji)

NotebookLM

Logotype:



UZ

UNIwersYTET ZIELONOGÓRSKI

btu

Brandenburgische Technische Universität Cottbus



Miasta:



Interreg



Kofinansiert von der Europäischen Union
Współfinansowany przez Unię Europejską

Brandenburg – Polska

Projekt BBPL0300099 – „Transgraniczny stacjonarno-mobilny system monitorowania i predykcji poziomu zrównoważonego rozwoju miast Zielona Góra i Cottbus”

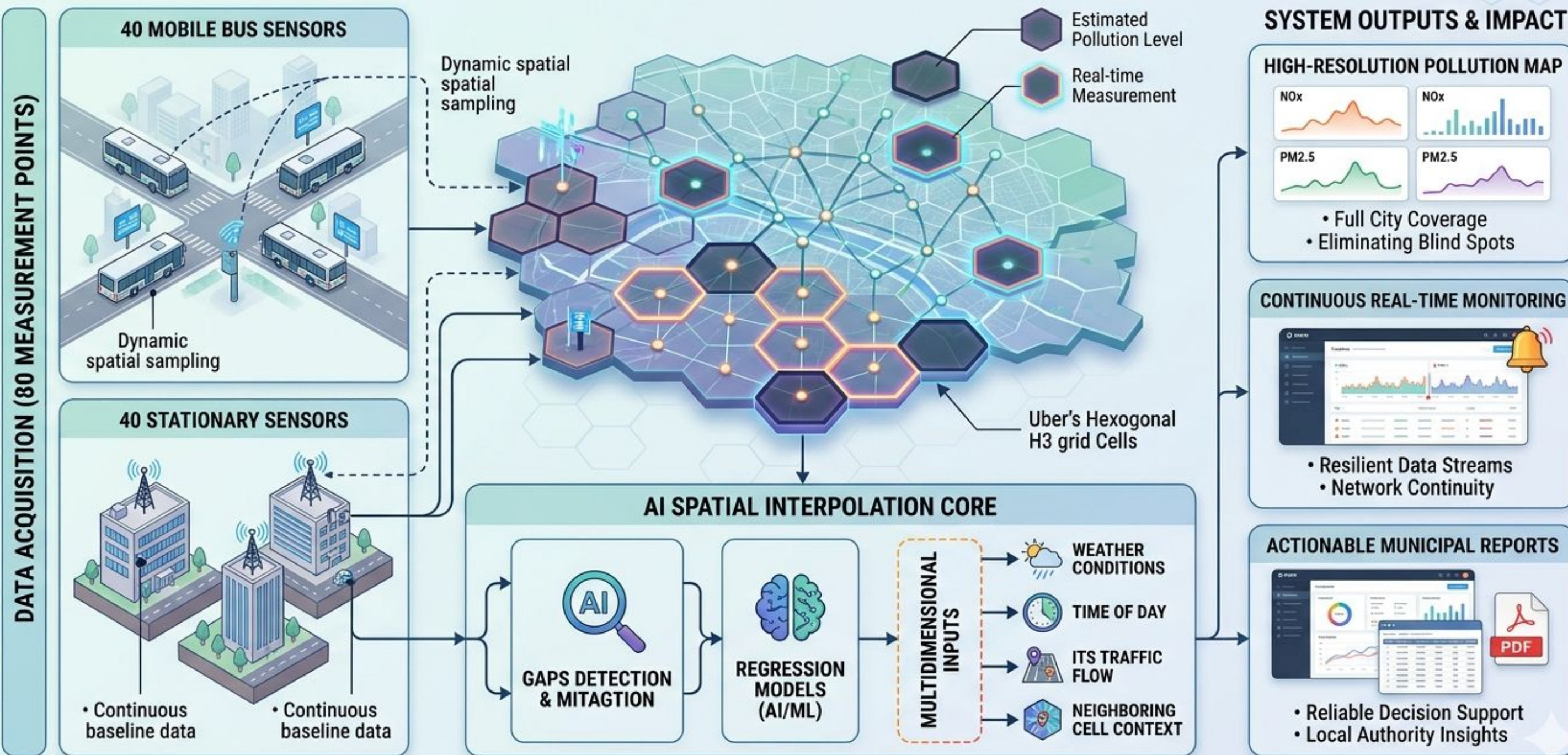


UNIwersYTET ZIELONOGÓRSKI



SM-S

SM-S SYSTEM ARCHITECTURE & AI PREDICTIVE WORKFLOW



Interreg



Kofinanciert von
der Europäischen Union
Współfinansowany przez
Unię Europejską

Brandenburg – Polska

Projekt BBPL0300099 – „Transgraniczny stacjonarno-mobilny system monitorowania i predykcji poziomu zrównoważonego rozwoju miast Zielona Góra i Cottbus”

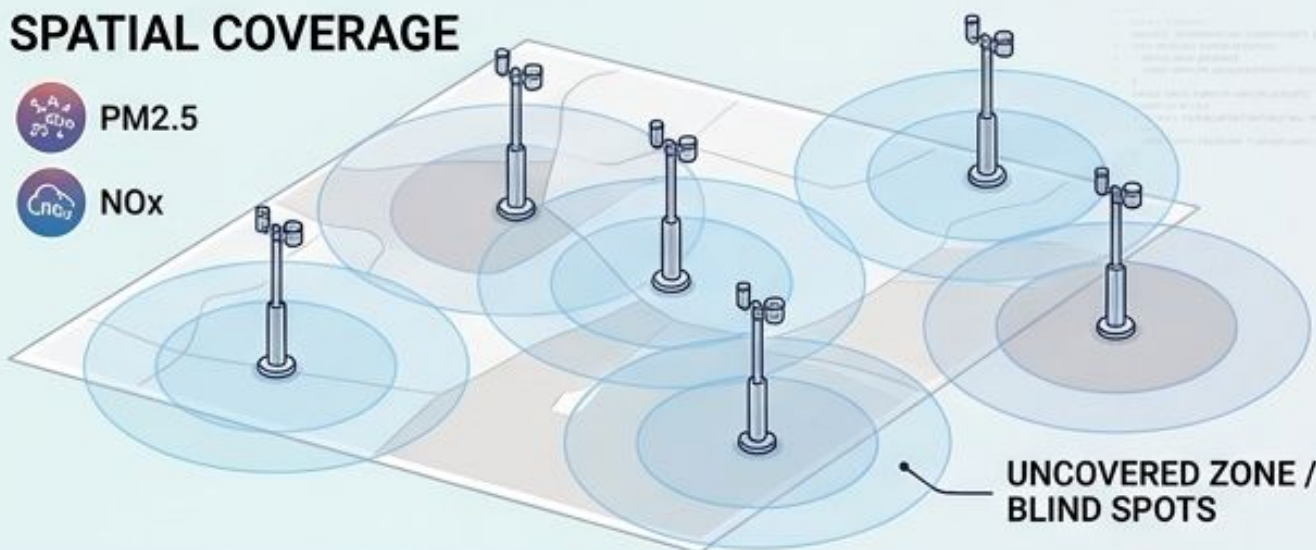


UNIwersytet
ZIELONOGÓRSKI

COMPARATIVE ANALYSIS: TRADITIONAL VS. AI-POWERED SM-S SYSTEM

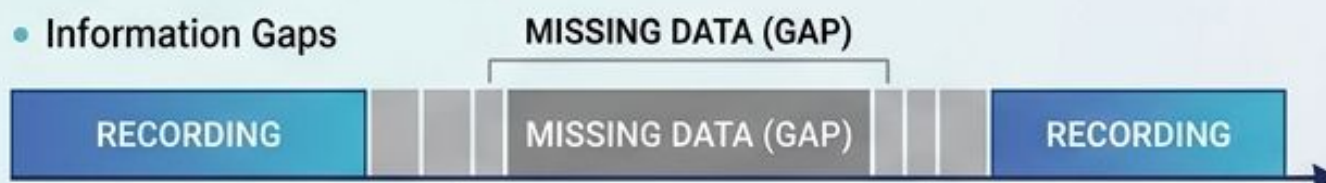
TRADITIONAL STATIONARY MONITORING

SPATIAL COVERAGE



DATA GAP HANDLING

- Information Gaps



- Information Gaps
- Discontinuous Tracking

MOBILITY



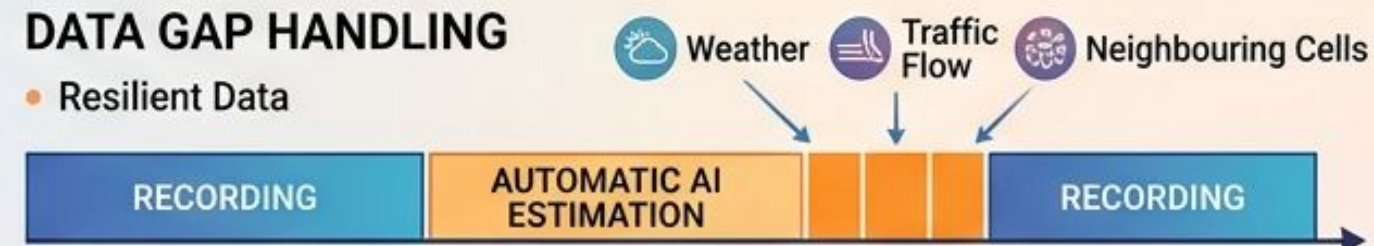
AI-POWERED SM-S SYSTEM (HYBRID NETWORK & GEO-INTELLIGENCE)

SPATIAL COVERAGE



DATA GAP HANDLING

- Resilient Data



- Resilient Data
- Continuous Real-Time Monitoring

MOBILITY

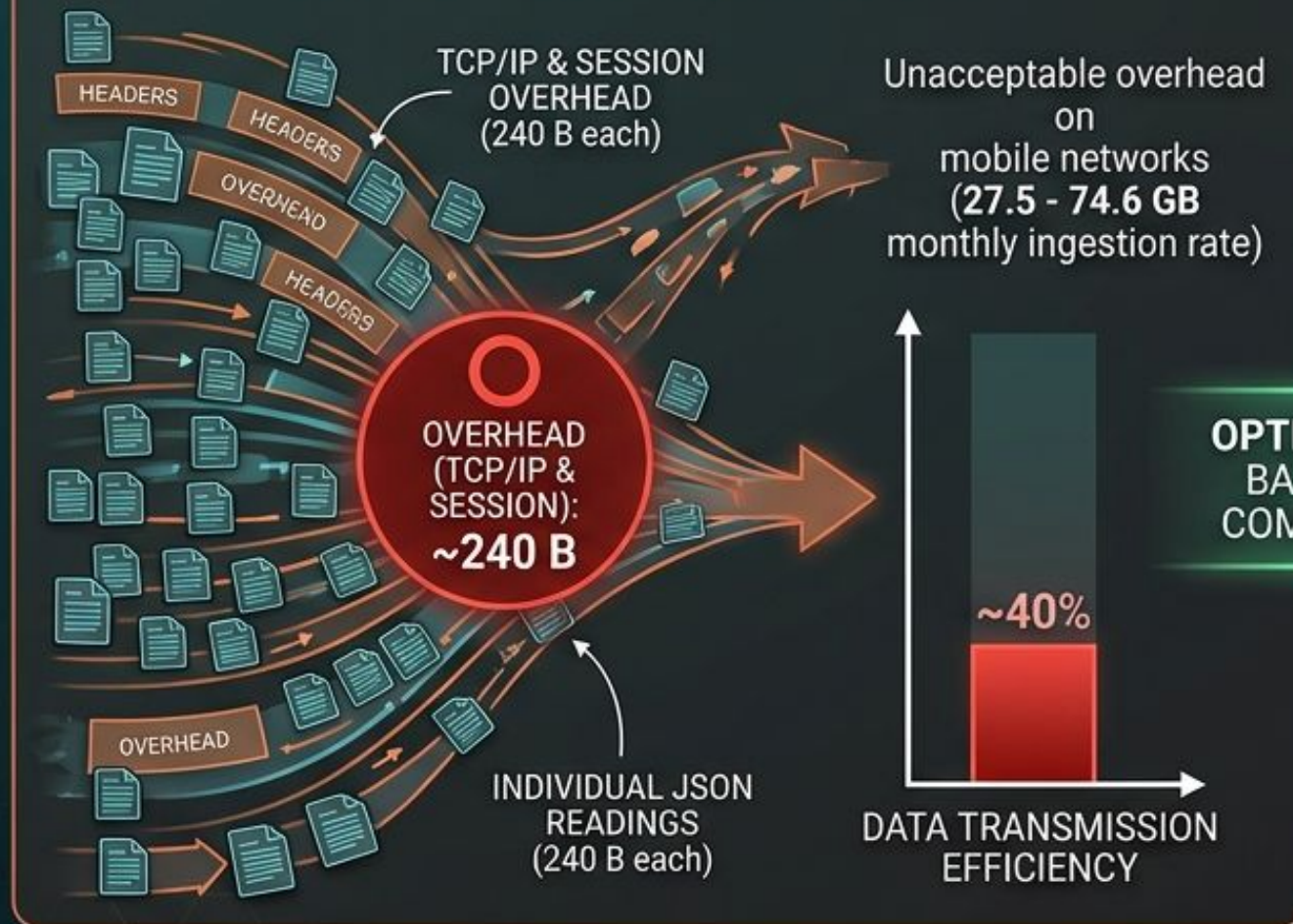


*Based on a 80-point data network (40 stationary, 40 mobile sensors)

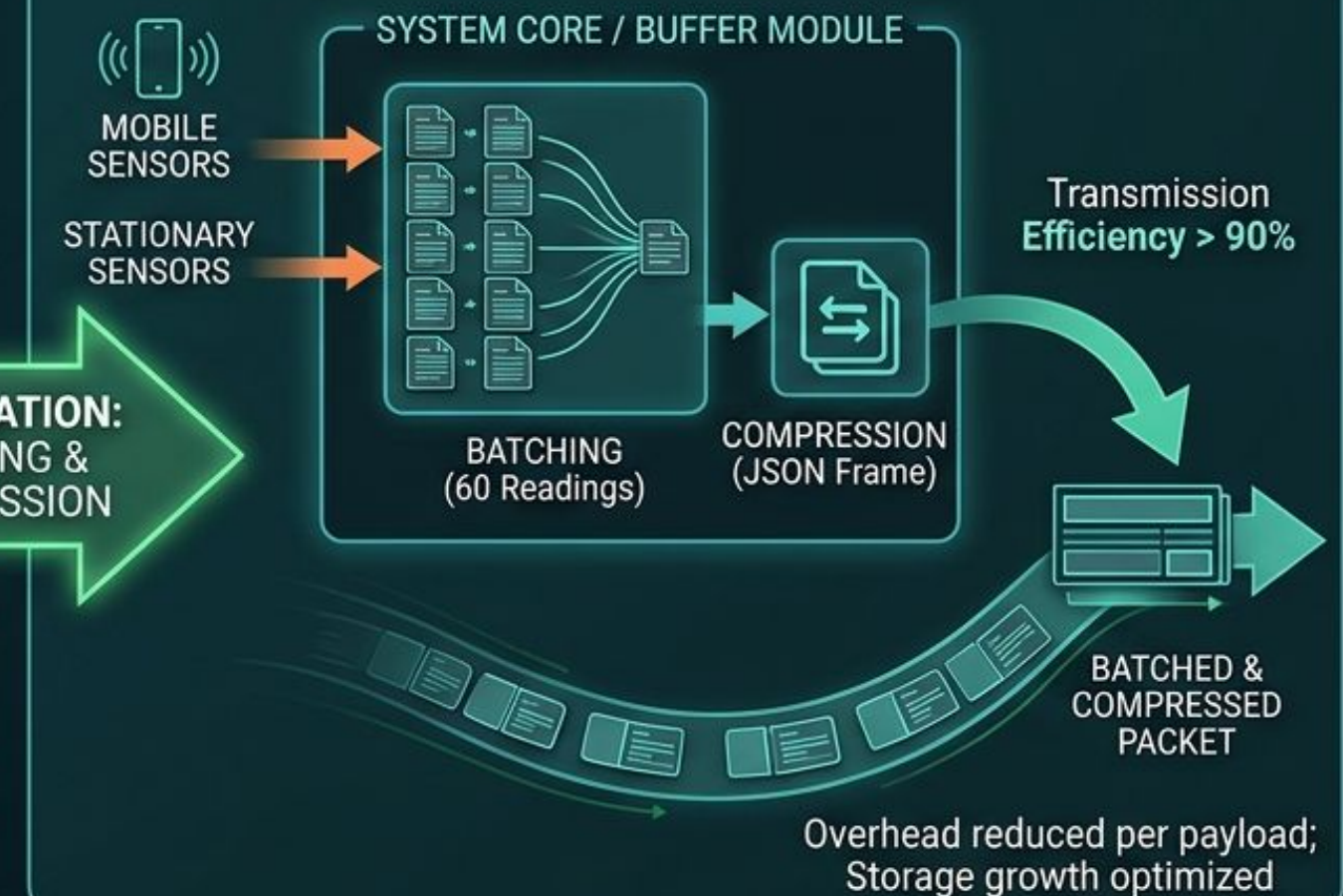
DATA VOLUME OPTIMIZATION STRATEGY

Handling 210 Million Monthly Measurements

UNOPTIMIZED NETWORK STATE



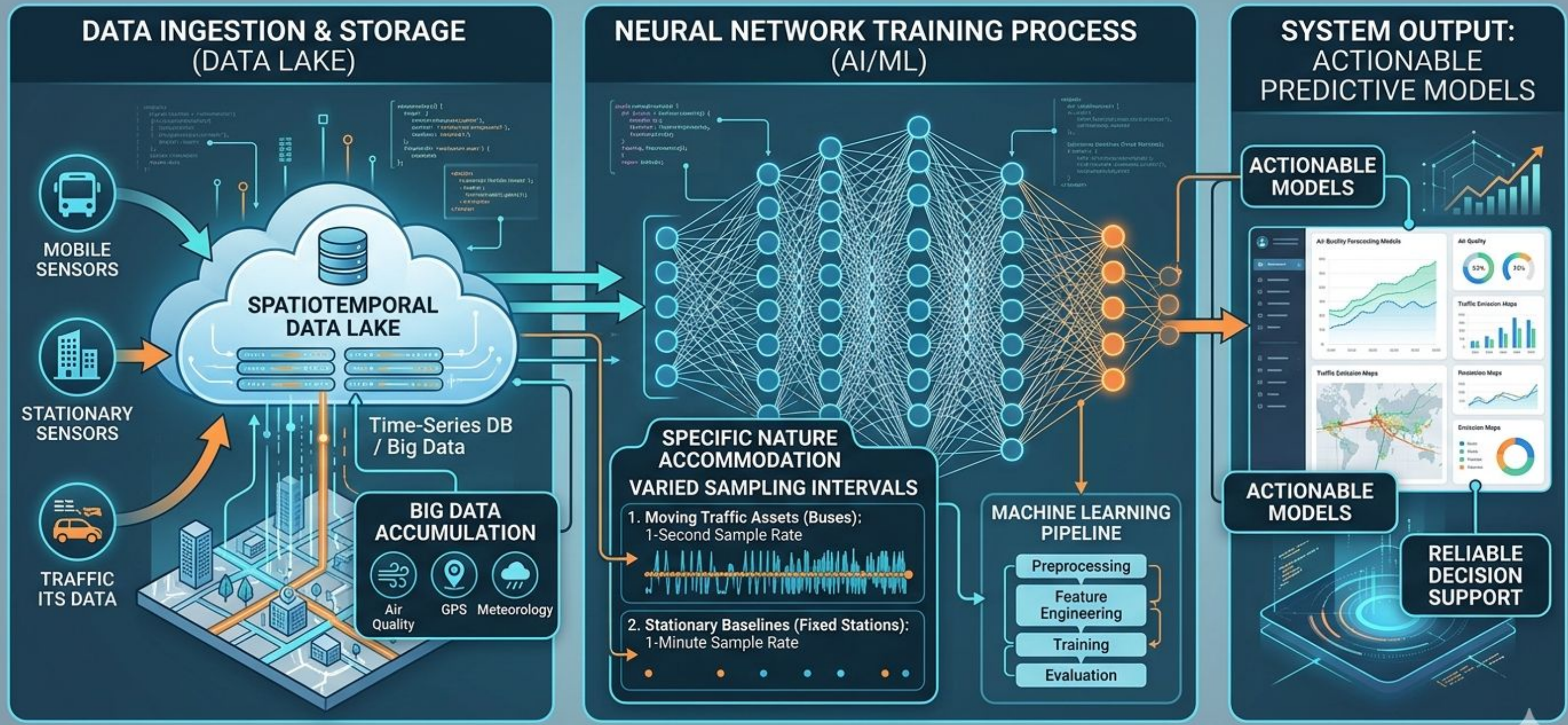
OPTIMIZED SYSTEM ARCHITECTURE



FINAL OUTCOME:

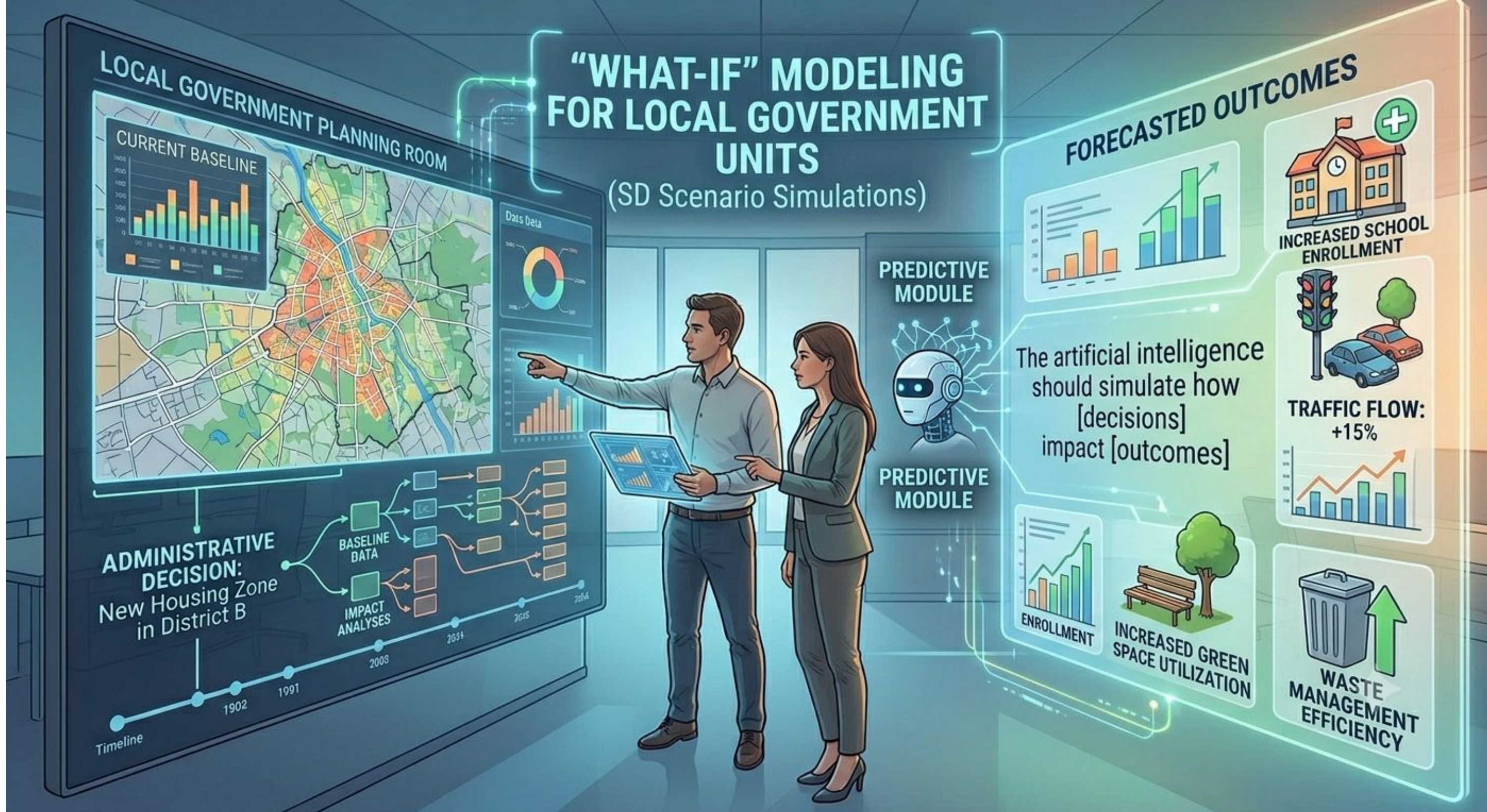
ELIMINATING INDIVIDUAL-RAME TCP/IP OVERHEAD & ACHIEVING RESILIENT, HIGH-EFFICIENCY DATA INGESTION FOR ALL 80 SENSORS

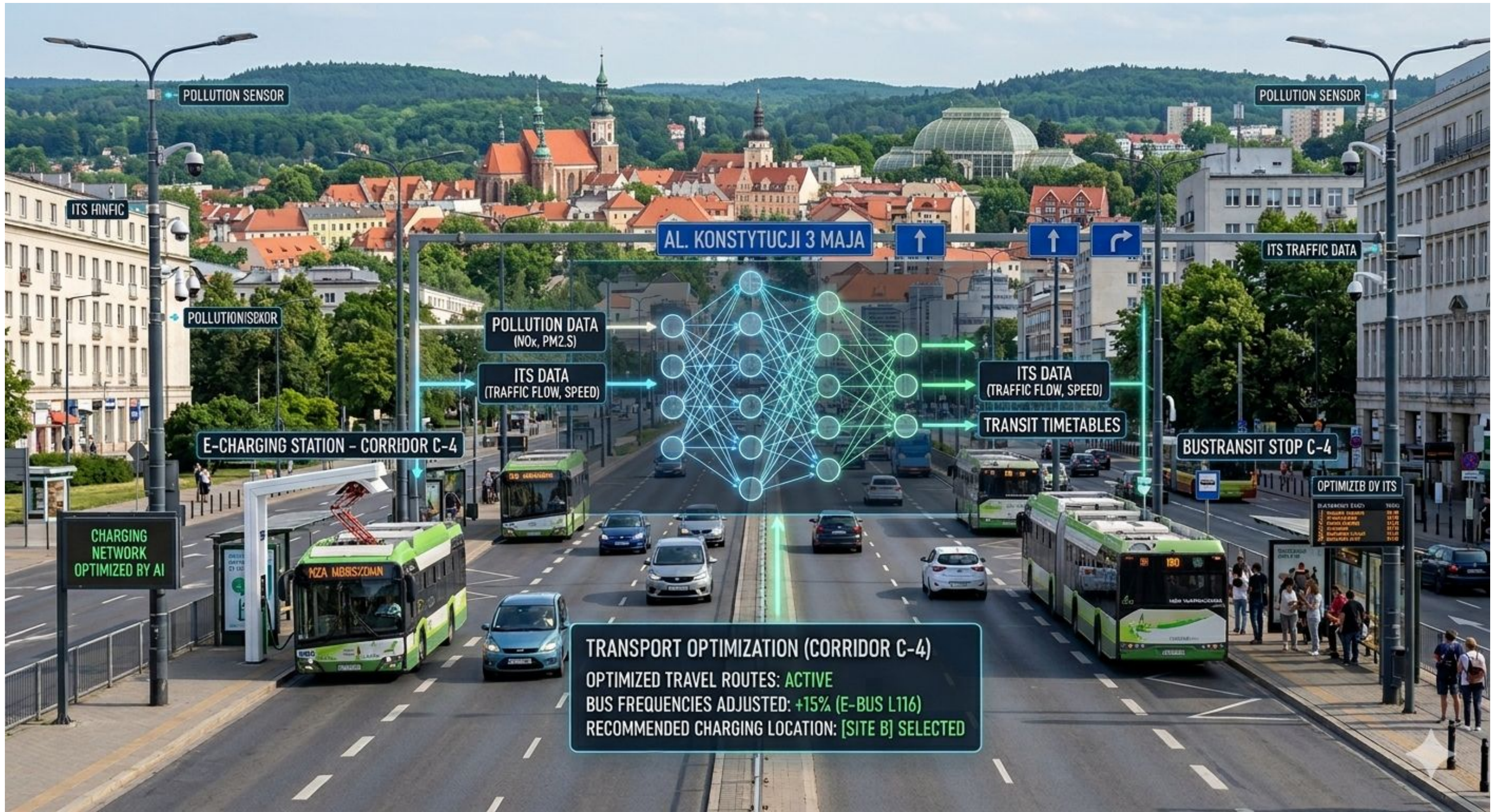
AI PREDICTIVE MODULE GUIDELINES: Modeling & Training Framework



TRANSFORMING ACCUMULATED DATA INTO ACCURATE FORECASTS FOR CITY AUTHORITIES & CITIZENS









WORKSHOP QUESTIONS

STANDARD VERSION (RECOMMENDED FOR TECHNICAL WORKSHOPS)

1. HOW TO IMPLEMENT EVENT-DRIVEN DATA LOGGING IN SMS

EVENT-DRIVEN DATA LOGGING

Identify Event (e.g., Sensor threshold, Aforme) Trigger Logic (Whereprovides) Log to Local Buffer or Queue (e.g., Kafka) Async Transfer to Long-term Storage

1. HOW TO IMPLEMENT EVENT-DRIVEN DATA LOGGING IN SMS: EDGE COMPUTING VS. CLOUD COMPUTING

CRITERIA	Local	SMS
LATENCY	» Low	✓ Higher
BANDWIDTH	» Reduced	✓ Higher
CDST	» Lower Data Transfer	✓ Higher Storage Cost
COMPUTATION	» Localized	✓ Centralized
CONTROL	» Direct Control	✓ Distributed Control

MOB PARTNERS

TECH SOLUTIONS

2924 WORKSHOP PERFORMERS

Interreg



Kofinanziert von
der Europäischen Union
Współfinansowany przez
Unię Europejską

Brandenburg – Polska

Projekt BBPL0300099 – „Transgraniczny stacjonarno-mobilny system monitorowania i predykcji poziomu zrównoważonego rozwoju miast Zielona Góra i Cottbus”



UNIwersytet
Zielonogórski

OPTIMIZING STATIONARY SENSOR PLACEMENT AND CRITERIA (Advanced Version)

SENSOR PLACEMENT METHODS



DEFINING SENSOR LOCATION CRITERIA

CORE CRITERIA

Monitoring Objective

REGULATORY COMPLIANCE



RESEARCH DATA



Representativeness

MICRO-SCALE vs. MACRO-SCALE



Proximity to Sources

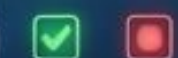
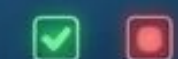
DIRECT SOURCE



BACKGROUND LEVELS



Yes No



IMPLEMENTATION CRITERIA

- ☒ POWER AVAILABILITY
- ☒ MAINTENANCE ACCESS
- ☒ NETWORK REDUNDANCY
- ☒ DATA QUALITY ASSURANCE

Thank you for your attention

Interreg



Kofinanciert von
der Europäischen Union
Współfinansowany przez
Unię Europejską

Brandenburg – Polska

Projekt BBPL0300099 – „Transgraniczny stacjonarno-mobilny system monitorowania i predykcji poziomu zrównoważonego rozwoju miast Zielona Góra i Cottbus”



**UNIwersytet
Zielonogórski**