



RAPORT Z PILOTAŻU SZEROKOPASMOWY MONITORING PEM W RUCHU (SMR PEM)

Warszawa, grudzień 2025



Projekt finansowany ze środków Ministerstwa Cyfryzacji



METRYKA

Dane	Opis
Tytuł dokumentu	RAPORT Z PILOTAŻU SZEROKOPASMOWY MONITORING PEM W RUCHU (SMR PEM)
Autor dokumentu	Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy (IŁ-PIB)
Nr pracy IŁ-PIB	01.10.1.01.01.5
Nr Podzadania	1
Nazwa Podzadania	Pomiary pól elektromagnetycznych (PEM) wytwarzanych przez stacje bazowe telefonii komórkowej – kontynuacja prac z 2016-2024 r.
Umowa dotacji celowej	Nr 1/DT/2025 z dnia 6 marca 2025 r.
Rodzaj dokumentu	Produkt podzadania 1 – Raport z pilotażowych badań szerokopasmowego monitoringu PEM w ruchu
Załączniki	Załącznik 1. Wyniki pomiarów przeprowadzonych w Warszawie Załącznik 2. Wyniki pomiarów przeprowadzonych we Wrocławiu

SPIS TREŚCI

RAPORT Z PILOTAŻU	1
WYKAZ TABLIC	3
WYKAZ RYSUNKÓW	4
1. WPROWADZENIE.....	6
1.1 Podstawa opracowania	6
1.2 Zakres podzadania	6
1.3 Zakres opracowania i cel pracy.....	6
2. PODSUMOWANIE, WNIOSKI, REKOMENDACJE.....	7
3. PRZYGOTOWANIE DO PILOTAŻU	9
3.1 Wybrana konfiguracja sprzętowa.....	9
3.2 Szkolenie	12
4. PRÓBNE URUCHOMIENIE SYSTEMU	13
4.1 Funkcjonalność systemu.....	13
4.2 Przykłady wizualizacji wyników mobilnych pomiarów PEM na mapach.....	14
4.3 Inne sposoby wizualizacji wyników pomiarów.....	16
5. PROGRAM BADAŃ PILOTAŻOWYCH	19
5.1 Projektowanie tras pomiarowych	19
6. URUCHOMIENIE PILOTAŻOWEGO SYSTEMU	24
6.1 Wykonawcy badań	24
6.2 Aparatura i oprzyrządowanie wykorzystane do badań	24
6.3 Architektura systemu	25
6.4 Konfiguracja stacji monitorujących	25
6.5 Zbieranie danych	26
6.6 Prezentacja danych.....	26
6.7 Dane rejestrowane przez stację monitorującą.....	27
7. WYNIKI PILOTAŻOWYCH POMIARÓW	28
7.1 Trasy przejazdów	28
7.2 Wyniki pomiarów – zestawienie i podsumowanie	30

WYKAZ TABLIC

Tabl. 1 Dostępne opcje wersji stacji monitorujących firmy Narda model AMB-8059.....	10
Tabl. 2 Typowe zastosowania dostępnych modeli sond pomiarowych.....	11
Tabl. 3 Specyfikacja techniczna sondy pomiarowej firmy Narda model EP-1B-06.....	12
Tabl. 4 Wykaz aparatury pomiarowej	24
Tabl. 5 Wykaz przejazdów na terenie Warszawy	28
Tabl. 6 Wykaz przejazdów na terenie Wrocławia	29
Tabl. 7 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach w Warszawie	31
Tabl. 8 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach w Warszawie w różnych porach dnia.....	32
Tabl. 9 „Zagęszczenie” SBTK wzdłuż tras, a najwyższe wyniki natężenia	33
Tabl. 10 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach we Wrocławiu	34
Tabl. 11 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach we Wrocławiu w różnych porach dnia ...	35
Tabl. 12 „Zagęszczenie” SBTK wzdłuż tras, a najwyższe wyniki natężenia	36

WYKAZ RYSUNKÓW

Rys. 1 Stacja monitorująca zamontowana na dachu samochodu (drive testy - Warszawa) ...	13
Rys. 2 Stacja monitorująca zamontowana na dachu samochodu (drive testy - Wrocław).....	14
Rys. 3 Szczegółowe wyniki pomiaru PEM w wybranym punkcie na trasie pomiarowej.....	15
Rys. 4 Wyniki pomiaru PEM na fragmencie trasy pomiarowej.....	15
Rys. 5 Wyniki pomiaru PEM na trasie w odniesieniu do określonych poziomów	16
Rys. 6 Wykres liniowy zarejestrowanych wyników	16
Rys. 7 Wykres kolumnowy wyników zgrupowanych według wartości	17
Rys. 8 Wykres pierścieniowy częstości występowania wyników o danych wartościach	17
Rys. 9 Przykład wizualizacji agregacji wyników pomiaru PEM z podkładem mapowym	18
Rys. 10 Przykład sposobu wizualizacji statystyk agregacji wyników pomiaru PEM.....	18
Rys. 11 Rozmieszczenie SBTK 5g3600 na terenie Warszawy	20
Rys. 12 Schemat wszystkich tras na terenie Warszawy	21
Rys. 13 Schemat wszystkich tras na terenie Warszawy i rozmieszczenie SBTK 5g3600.....	22
Rys. 14 Schemat jednej z tras na terenie Warszawy.....	23
Rys. 15 Schemat architektury pilotażowego systemu monitoringu w ruchu (SMR PEM)	25
Rys. 16 Okno programu sterującego stacją monitorującą	26
Rys. 17 Fragment programu konwertującego wyniki do formatu CSV.....	27
Rys. 18 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach w Warszawie	31
Rys. 19 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach w Warszawie w różnych porach dnia	32
Rys. 20 „Zagęszczenie” SBTK wzdłuż tras, a najwyższe wyniki natężenia.....	33
Rys. 21 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach we Wrocławiu	34
Rys. 22 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach we Wrocławiu w różnych porach dnia	35
Rys. 23 „Zagęszczenie” SBTK wzdłuż tras, a najwyższe wyniki	36

WYKAZ SKRÓTÓW

Skrót	Rozwinięcie
IŁ-PIB	Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy
MC	Ministerstwo Cyfryzacji
PEM	Pole elektromagnetyczne
PIBUK	Platforma informatyczna systemu badań i diagnozowania właściwości usług komunikacji elektronicznej
SBTK	Stacja Bazowa Telefonii Komórkowej
SI2PEM	<i>System Informacyjny o Instalacjach wytwarzających Promieniowanie ElektroMagnetyczne</i> – publiczna baza danych zawierająca informacje o polu elektromagnetycznym w środowisku, prowadzona przez Ministra Cyfryzacji
SRM PEM	Szerokopasmowy Ruchomy Monitoring PEM
5g3600	Umowny symbol stacji bazowej systemu 5G pracującej na częstotliwościach z zakresu 3400 – 3800 MHz

1. WPROWADZENIE

1.1 Podstawa opracowania

Umowa dotacji celowej Nr 1/DT/2025 z dnia 6 marca 2025 r.

Podzadanie nr 1: *Pomiary pól elektromagnetycznych (PEM) wytwarzanych przez stacje bazowe telefonii komórkowej – kontynuacja prac z lat 2016-2024 r.*

1.2 Zakres podzadania

Zakres podzadania nr 1 obejmował m.in. zakup, instalację i uruchomienie pilotażowego systemu szerokopasmowego monitoringu PEM w ruchu (zakres częstotliwości od 300 kHz do 40 GHz). Działania wykonane w tej części podzadania obejmowały:

- **cykl testów próbnych** działania systemu obejmujących: konfigurację i uruchomienie modelowego systemu z wykorzystaniem egzemplarza zastępczego stacji monitorującej Narda AMB-8903/00, będącej funkcjonalnym odpowiednikiem zamawianych urządzeń;
- **zakup dwóch kompletów** przyrządów szerokopasmowych wyposażonych w sondy pomiarowe, działających w zakresie częstotliwości od 300 kHz do 40 GHz wraz z niezbędnym oprzyrządowaniem;
- **szkolenie** pracowników IŁ-PIB w zakresie instalacji elementów, konfiguracji i uruchomienia systemu oraz funkcjonalności i obsługi systemu;
- **instalację i uruchomienie systemu pilotażowego** obejmujące próbną instalację stacji na samochodzie, sprawdzenie działania podczas tzw. drive testów;
- **zaplanowanie tras do prowadzenia pilotażowych badań** szerokopasmowego monitoringu PEM w ruchu z uwzględnieniem następujących kryteriów:
 - trasy na terenie Warszawy oraz Wrocławia, zwłaszcza w centrach miast, na obszarach z jak największą liczbą lokalizacji SBTK;
 - pozwalających na prowadzenie badań łącznie przez około 80 godzin.
- **przeprowadzenie cyklu pomiarów pilotażowych**;
- **opracowanie sposobów wizualizacji** uzyskanych wyników, w formie map, zestawień tabelarycznych i wykresów;
- **opracowanie raportu** z pilotażu monitoringu PEM w ruchu.

1.3 Zakres opracowania i cel pracy

Niniejsze opracowanie stanowi jeden z produktów podzadania 1 pt. **Raport z pilotażowych badań szerokopasmowego monitoringu PEM w ruchu** i nazywany jest dalej Raportem. Raport wraz z załącznikami przedstawia:

- wyniki oraz wnioski z wykonanego cyklu pilotażowych pomiarów z zastosowaniem systemu monitoringu stacjonarnego PEM na wyznaczonych trasach w Warszawie i we Wrocławiu;
- rekomendacje w zakresie stosowania monitoringu PEM w ruchu.

Uruchomienie i przeprowadzenie pomiarów z wykorzystaniem pilotażowego systemu szerokopasmowego monitoringu PEM w ruchu miało na celu:

- zweryfikowanie funkcjonalności przyrządów szerokopasmowych wyposażonych w sondy pomiarowe oraz ich oprogramowania w trakcie tzw. drive testów;
- zaproponowanie rozwiązań dla krajowego monitoringu PEM w ruchu.

2. PODSUMOWANIE, WNIOSKI, REKOMENDACJE

Stacja monitoringu firmy Narda model AMB-8059-00 z dołączoną sondą pomiarową model EP-1B-06 to urządzenie umożliwiające ciągłą, szerokopasmową rejestrację natężenia pola elektromagnetycznego w ruchu w zakresie częstotliwości od 300 kHz do 40 GHz. Uzyskane wyniki pomiarów dają zatem możliwość, w przeciwieństwie do wyników klasycznych chwilowych pomiarów PEM, dokonania obserwacji zmian wartości PEM w dłuższym czasie z okresu obserwacji, na dużym terenie oraz w mniej korzystnych warunkach pogody. Ponadto stacja monitoringu rejestruje cały szereg danych (innych niż wartość natężenia PEM), które mogą być użyteczne podczas późniejszej interpretacji wyników.

Stacja monitorująca, wraz z zestawem montażowym do samochodu, to urządzenie o niewielkiej wadze około 3 kg. Jej wymiary pozwalają na wygodny transport nawet typowym samochodem osobowym. Magnetyczna podstawa montażowa umożliwia bezpieczną i szybką instalację stacji na dachu każdego samochodu (z wyjątkiem samochodów z dachami niemagnetycznymi).

Stacja umożliwia monitorowanie PEM szerokich obszarów geograficznych podczas jazdy. Zarejestrowane dane PEM są powiązane ze współrzędnymi geograficznymi GPS, aby wspomóc późniejszą prezentację wyników na mapach oraz zidentyfikować obszary wymagające bardziej szczegółowych pomiarów. Bezpośrednie odczyty w samochodzie, z wykorzystaniem laptopa, są możliwe za pomocą łącza światłowodowego. Proste oprogramowanie pokazuje, w czasie rzeczywistym, wartości natężenia pola elektrycznego i zgodnie z zaleceniem ITU-T K.113 możliwe jest monitorowanie pozyskiwania danych oraz ustawienie alarmu świetlnego i akustycznego, który aktywuje się w zależności od prędkości pojazdu.

Po zakończeniu pomiarów, oprócz zapisywania wyników w formacie GPX, użytkownik może wybrać zapis pliku KML, w pełni kompatybilnego z publicznie dostępną przeglądarką Google Earth Pro, która pozwala na uzyskanie maksymalnego potencjału wizualizacji wyników. Dane pomiarowe z sond są podzielone na poziomy zgodnie z zaleceniem ITU-T K.113 oraz limitami określonymi przez użytkownika. Na mapie, oprócz trasy, wartości w terenie są oznaczone różnymi kolorami w zależności od ich krytyczności. Dla każdego zbieranego zestawu danych możliwe jest również wyświetlenie dodatkowych danych, takich jak temperatura i wilgotność powietrza, napięcie baterii, prędkość przemieszczania, przyspieszenie, data i czas.

Pierwsza konfiguracja stacji monitorującej odbywa się z wykorzystaniem oryginalnego oprogramowania uruchamianego na komputerze dołączonym do urządzenia przewodem dostarczonym przez producenta. Tak skonfigurowana stacja jest gotowa do pomiaru.

W ramach pilotażu wykonane zostały pomiary na zaproponowanych trasach na terenie Warszawy i Wrocławia.

Zebrane wyniki uzyskane w trakcie realizacji pilotażowych pomiarów PEM oraz ich analiza, oprócz obserwowanych różnic wynikających z różnych miejsc prowadzenia pomiarów, wskazują na pewne prawidłowości odnośnie kształtowania poziomów PEM w środowisku, które są powiązane z porą wykonywania pomiarów.

Pilotażowe uruchomienie SMR PEM pozwoliło na sformułowanie poniższych uwag, wniosków i spostrzeżeń dotyczących stosowania systemu i realizacji tzw. drive testów:

1. Prowadząc pomiary PEM w ruchu należy liczyć się ze stosunkowo dużym rozmiarem danych rejestrowanych w pamięci stacji monitorującej (np. wyniki z przejazdu trwającego ok. 5 godzin zawierają ok. 80 tys. rekordów, a zapisany zestaw zajmuje ok. 94 MB) oraz znaczącym czasem ich pobierania na komputer sterujący oraz zarządzania pamięcią stacji.
2. Z uwagi na relatywnie długie czasy trwania procedur zarządzania pamięcią stacji w czasie uruchamiania pomiaru, w przypadku potrzeby przerw w pomiarach, zaleca się stosowanie pauz, a nie ich kończenie i ponowne uruchamianie.
3. Planując długotrwałe pomiary wyjazdowe na terenie kraju zaleca się zaopatrzenie w ładowarkę samochodową do laptopa oraz dodatkowy zewnętrzny nośnik danych.
4. Należy liczyć się z ograniczeniami wynikającymi z zatorów na drogach, czy też objazdów oraz z wymaganiami zachowania optymalnej dla realizacji pomiarów prędkości. Ponadto, planując trasy pomiarowe w centrach dużych miast korzystne jest ograniczenie czasu przejazdu pojedynczej trasy do ok. 3 godzin, mając na uwadze bezpieczeństwo ruchu drogowego.
5. Prowadzenie pomiarów w pobliżu napowietrznych linii elektroenergetycznych średnich i wysokich napięć, obarczone jest błędem na odległościach do kilkudziesięciu metrów od tych linii. Podczas pomiarów stwierdzono istotne zwiększenie wartości zmierzonych na odległościach do ok. 20-40 m od linii wysokiego napięcia 110 kV.
6. Obrazowanie wyników pomiarów na mapach wymaga wcześniejszego ustalenia jednolitych przedziałów wyświetlanych wartości oraz przyporządkowanych im kolorów. W pliku KML zakresy oraz kolory są dobierane przez aplikację według ustalonego przez użytkownika limitu.
7. Należy wziąć pod uwagę dostępność pojazdów i potencjalne zapewnienie pojazdów zapasowych (na wypadek zdarzeń losowych, które mogą wystąpić w trakcie realizacji pomiarów PEM w ruchu).
8. Planując długie trasy w centrach miast należy wziąć pod uwagę odporność kierowców na stres związany z intensywnym ruchem ulicznym i odpowiednio dobrać długość oraz czas jazdy i/lub zapewnić osoby mogące zastąpić kierowcę w czasie pomiaru.

3. PRZYGOTOWANIE DO PILOTAŻU

Przygotowanie do pilotażu szerokopasmowego monitoringu PEM w ruchu obejmowało:

- przegląd dostępnych na rynku przyrządów;
- opracowanie wymagań dla odpowiedniej konfiguracji sprzętowej;
- przeprowadzenie postępowania ofertowego;
- realizację szkolenia.

3.1 Wybrana konfiguracja sprzętowa

W efekcie przeprowadzonego postępowania ofertowego, do realizacji pilotażu zamówione zostały dwa zestawy przyrządów szerokopasmowych z sondami pomiarowymi wraz z niezbędnym oprzyrządowaniem. W skład jednego zestawu wchodzi:

- stacja monitoringu pola elektromagnetycznego firmy Narda model AMB-8059-00 wraz z zestawem do montażu na dachu samochodu;
- sonda pomiarowa model EP-1B-06 do pomiarów w zakresie częstotliwości od 300 kHz do 40 GHz.

Specyfikacja zamówionych zestawów pomiarowych:

1. Szerokopasmowa, stacjonarna stacja monitoringu pola elektromagnetycznego firmy Narda model AMB-8059-00, w tym:
 - stacja monitoringu pola elektromagnetycznego model AMB-8059-00;
 - oprogramowanie do komputera PC;
 - Wi-Fi;
 - łącze optyczne;
 - GPS;
 - baterie Li-Ion;
 - uchwyt do montażu na dachu samochodu;
 - certyfikat kalibracji.
2. Sonda pomiarowa firmy Narda model EP-1B-06 do pomiarów w zakresie częstotliwości od 300 kHz do 40 GHz.

Dostępne opcje różnych wariantów stacji monitorujących firmy Narda model AMB-8059 przedstawiono w Tabl. 1.

Typowe zastosowania dostępnych modeli sond pomiarowych dla różnych zakresów częstotliwości przedstawiono w Tabl. 2.

Specyfikację techniczną sondy pomiarowej firmy Narda model EP-1B-06 przedstawiono w Tabl. 3.

Tabl. 1 Dostępne opcje wersji stacji monitorujących firmy Narda model AMB-8059

Oznakowanie wersji	AMB-8059/03	AMB-8059/02	AMB-8059/01	AMB-8059/00
Ogniwo fotowoltaiczne i akumulator	✓		✓	
Wbudowany modem 2G/3G	✓	✓		
Wi-Fi	✓	✓	✓	✓
Złącze Ethernet	✓		✓	
USB	✓	✓	✓	
RS232	✓		✓	
Łącze optyczne	✓		✓	✓
GPS	✓	✓	✓	✓
Czas pracy na baterii 6-12 miesięcy (Li-Ion)		✓		✓
Zdalne sterowanie	✓	✓	✓	✓
Stała instalacja zewnętrzna	S		S	
Instalacja wewnętrzna		S		S
Pomiary mobilne typu drive-test				N, W
S – sugerowane N – niezbędne W – wymagane zastosowanie uchwytu do montażu na dachu samochodu				

Tabl. 2 Typowe zastosowania dostępnych modeli sond pomiarowych

Zakres częstotliwości	100 kHz – 3 GHz	100 kHz – 7 GHz	10 Hz – 5 kHz	300 kHz – 18 GHz	300 kHz – 40 GHz	100 kHz – 3 GHz / 100 kHz – 862 MHz / 933 MHz – 3 GHz	100 kHz – 3 GHz / GSM900 / GSM1800 / UMTS	100 kHz – 7 GHz / GSM900 / GSM1800 / UMTS	10 Hz – 5 kHz
Składowa pola (izotropowo)	E	E	E	E	E	E	E	E	H
Liczba zakresów	1	1	1	1	1	3	4	4	1
Model sondy	EP-1B-01	EP-1B-03	EP-1B-04	EP-1B-05	EP-1B-06	EP-3B-01	EP-4B-01	EP-4B-02	HP-1B-01
Telefonia komórkowa	●	●		●	●	●	●	●	
Radiofonia / TV	●	●		●	●	●	●	●	
Radiolinie		○		●	●	○	○	○	
Komunikacja satelitarna				●	●				
Radary				●	●				
Przemysł	●	●	●			●	●	●	●
Kolej			●						●
Linie energetyczne			●						●
Stacje transformatorowe			●						●
● – większa użyteczność ○ – zróżnicowana użyteczność E – składowa elektryczna H – składowa magnetyczna									

Tabl. 3 Specyfikacja techniczna sondy pomiarowej firmy Narda model EP-1B-06

EP-1B-06 Sonda pola elektrycznego	
Zakres częstotliwości	od 300 kHz do 40 GHz
Zakres pomiarowy	0,5 V/m do 800 V/m (zakres dynamiki > 64 dB)
Rozdzielczość pomiaru	0,01 V/m
Przesterowanie	1200 V/m
Nierównomierność dla 6 V/m	od 1 MHz do 1 GHz: $\pm 1,5$ dB od 1 GHz do 12 GHz: $\pm 3,5$ dB od 12 GHz do 23 GHz: $\pm 4,0$ dB od 23 GHz do 40 GHz: $\pm 5,0$ dB
Liniiowość	$\pm 0,5$ dB (typowo $\pm 0,3$ dB) (1,2 V/m do 200 V/m) dla 200 MHz
Anizotropowość dla 200 MHz	$\pm 0,8$ dB (typowo 0,5 dB dla 930 MHz i 1800 MHz)
Tłumienie składowej pola H	> 20 dB
Wymiary i waga	450 mm $\times$ 55 mm $\varnothing$, 180 g

3.2 Szkolenie

W ramach umowy na dostawę zamówionych zestawów stacji monitorujących i sond pomiarowych, przedstawiciele producenta i dostawcy przeprowadzili w dn. 16.09.2025 r. szkolenie w zakresie funkcjonalności i obsługi systemu szerokopasmowego monitoringu PEM w ruchu oraz warsztaty w zakresie konfiguracji stacji monitorujących. W szkoleniu tym wzięli udział pracownicy IŁ-PIB z Warszawy i Wrocławia:

- Dagmara Dykiert-Głowacz,
- Piotr Karpeta,
- Konrad Łakomiec,
- Jakub Obarowski,
- Tomasz Sędek,
- Tomasz Tomczyk,
- Jakub Warszawski,
- Mikołaj Waszkiewicz.

Szkolenie pozwoliło między innymi na zapoznanie się z funkcjonalnościami stacji monitorujących, ich budową i parametrami pracy, w tym związanymi z zasilaniem, transmisją danych, itp. Poznano ogólną architekturę systemu szerokopasmowego monitoringu, możliwości transferu danych, dostępne interfejsy, formaty przechowywanych danych. Istotnym elementem szkolenia była prezentacja konfiguracji stacji oraz omówienie możliwych przyczyn zakłóceń pomiarów.

4. PRÓBNE URUCHOMIENIE SYSTEMU

Próbne testy prowadzone były na terenie Warszawy i miały na celu głównie weryfikację oferowanych funkcjonalności stacji monitorujących.

Próbne uruchomienie systemu szerokopasmowego mobilnego monitoringu PEM (SMR PEM) potwierdziło pożądane funkcjonalności oraz możliwość różnych sposobów wizualizacji wyników mobilnych pomiarów PEM na mapach oraz w formie wykresów.

4.1 Funkcjonalność systemu

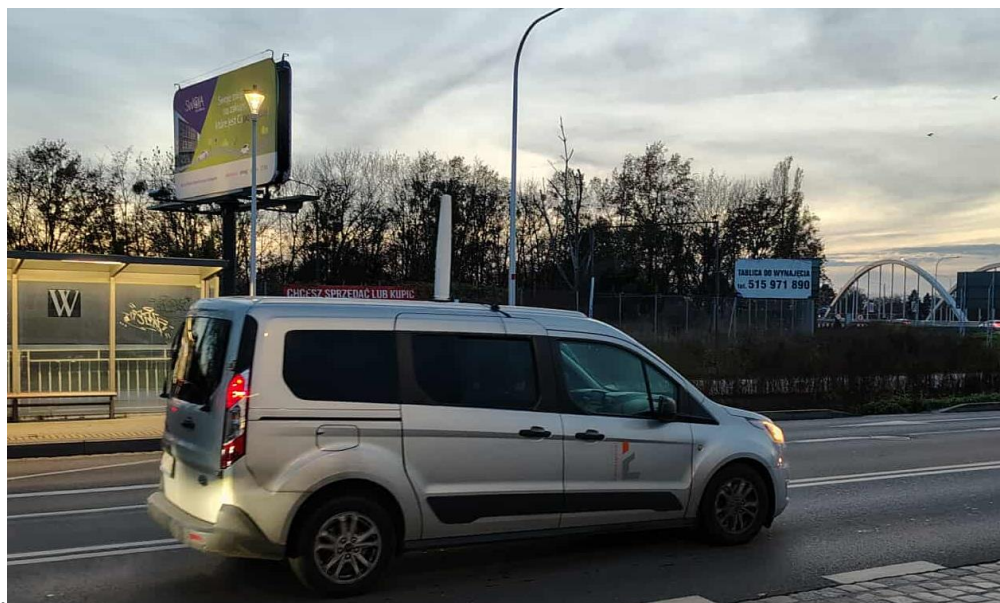
Mobilny monitoring PEM umożliwia szybkie mapowanie rozległych obszarów geograficznych. Wykonywane podczas jazdy samochodem pomiary pola elektromagnetycznego są rejestrowane, a następnie obrazowane na mapach, dzięki czemu możliwe jest sprawna identyfikacja i wskazanie tych obszarów, które wymagają wykonania szczegółowych pomiarów PEM.

Monitoring mobilny może być np. realizowany z zastosowaniem stacji monitorującej firmy Narda model AMB-8059-00 z zestawem do montażu na dachu pojazdu (patrz: Tabl. 1). W tym zautomatyzowanym rozwiązaniu do monitorowania PEM możliwa jest praca z wymiennymi modelami sond pomiarowych dla różnych zakresów częstotliwości (od 10 Hz do 40 GHz). Do rejestracji współrzędnych geograficznych stosowany jest pokładowy odbiornik GPS, uzyskiwanie informacji w czasie rzeczywistym umożliwia łącze optyczne, a łatwą wymianę danych – zintegrowany interfejs Wi-Fi. Systemowy adapter samochodowy, stacja monitorująca i sondy pomiarowe są zoptymalizowane do zastosowań mobilnych charakteryzujących się m.in. występowaniem wibracji.

Magnetyczna podstawa pozwala na bezpieczny i szybki montaż stacji monitorującej na metalowym dachu samochodu (Rys. 1, Rys. 2).



Rys. 1 Stacja monitorująca zamontowana na dachu samochodu (drive testy - Warszawa)

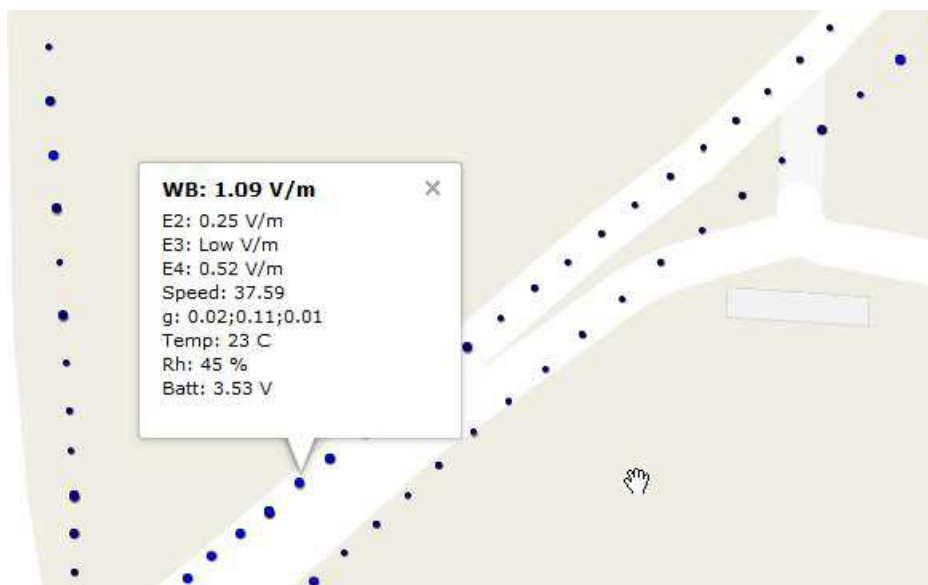


Rys. 2 Stacja monitorująca zamontowana na dachu samochodu (drive testy - Wrocław)

Rozwiązanie umożliwia bezpośredni odczyt danych w pojeździe z wykorzystaniem laptopa połączonego ze stacją monitorującą za pomocą światłowodu. Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskuje się dostęp do wyników pomiarów w czasie rzeczywistym, bez zakłócania samego procesu pomiarowego. Dane pomiarowe są rejestrowane wraz ze współrzędnymi GPS, co pozwala na sprawne obrazowanie wyników pomiarów na mapach. Dane pobrane ze stacji monitorującej są konwertowane do formatu plików GPX lub KML. Oprogramowanie sieciowe (wizualizer GPS lub Google Earth) lokuje wyniki pomiarów na trasie przejazdu w formie kół, których rozmiar i kolor odnoszą się do poziomów predefiniowanych przez użytkownika. Dodatkowo można ustawić alarm dźwiękowy ostrzegający o przekroczeniu pewnej ustalonej progowej wartości PEM, co pozwala na podjęcie szybkiej decyzji dalszego przebiegu procesu pomiarowego.

4.2 Przykłady wizualizacji wyników mobilnych pomiarów PEM na mapach

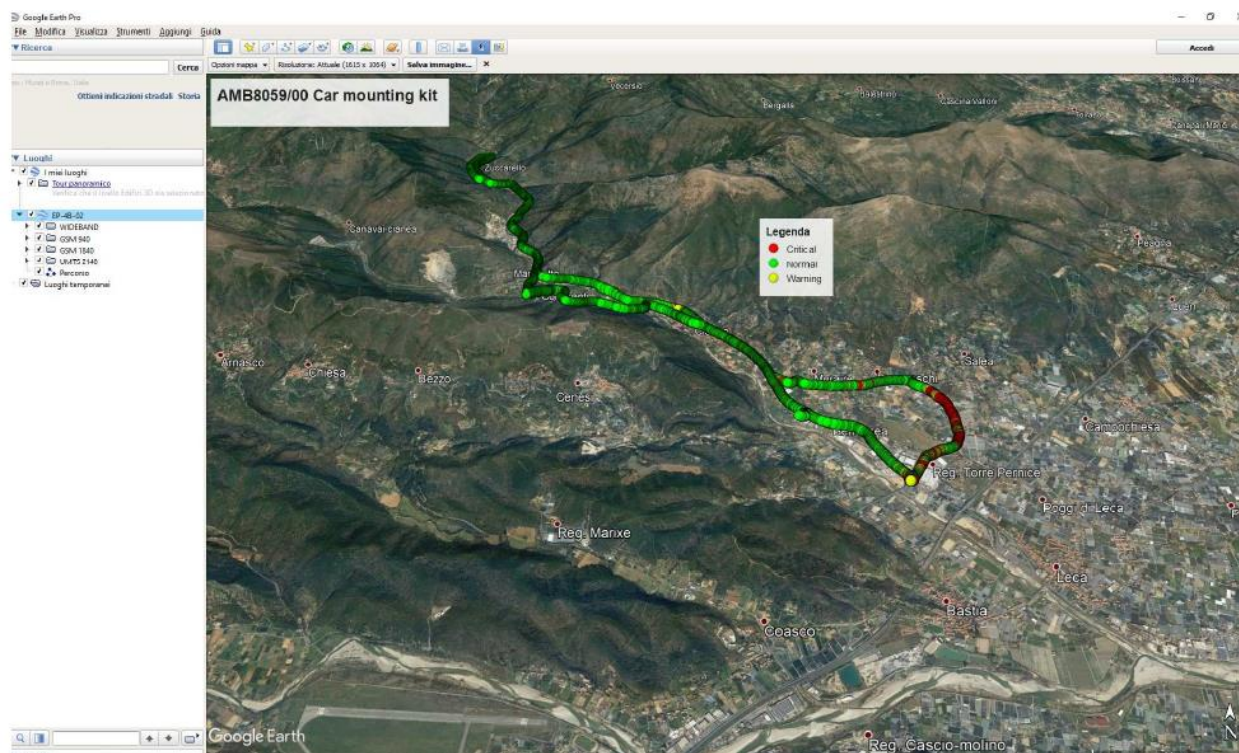
Kolejne rysunki przedstawiają przykłady wizualizacji wyników mobilnych pomiarów PEM, w tym: szczegółowe dane dotyczące wybranego punktu na trasie pomiarowej (Rys. 3), wybrany fragment trasy pomiarowej z wynikami pomiarów PEM zobrazowanymi zgodnie z przyjętą kolorystyką (Rys. 4) oraz całość trasy pomiarowej z wynikami pomiarów PEM w odniesieniu do kilku ustawionych poziomów (Rys. 5).



Rys. 3 Szczegółowe wyniki pomiaru PEM w wybranym punkcie na trasie pomiarowej



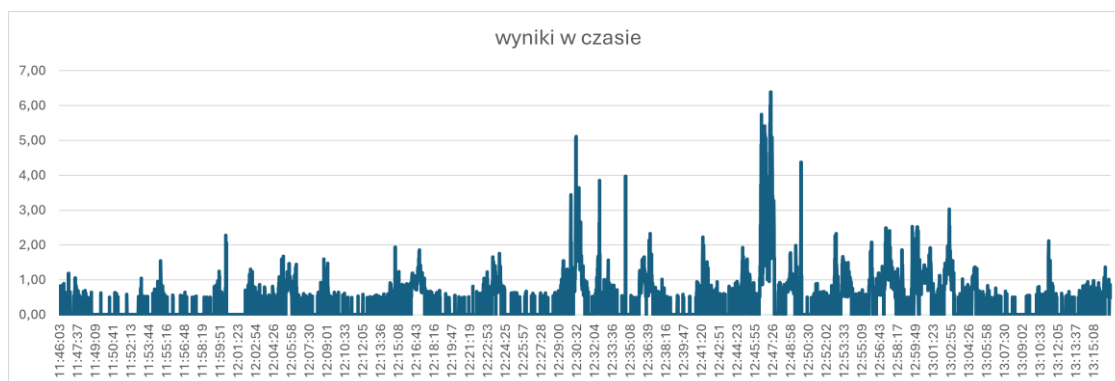
Rys. 4 Wyniki pomiaru PEM na fragmencie trasy pomiarowej



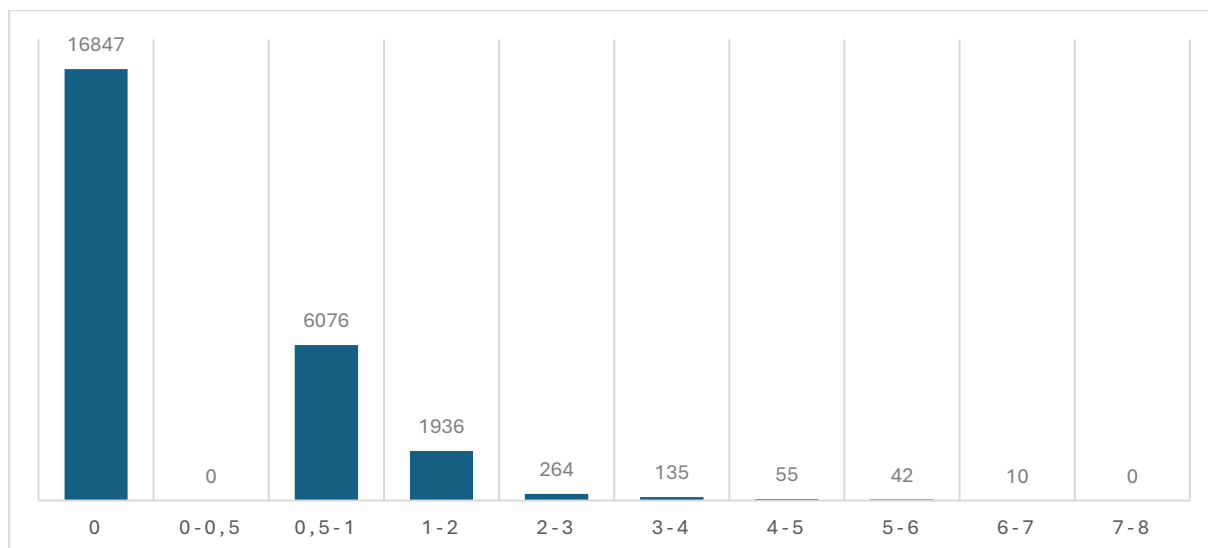
Rys. 5 Wyniki pomiaru PEM na trasie w odniesieniu do określonych poziomów

4.3 Inne sposoby wizualizacji wyników pomiarów

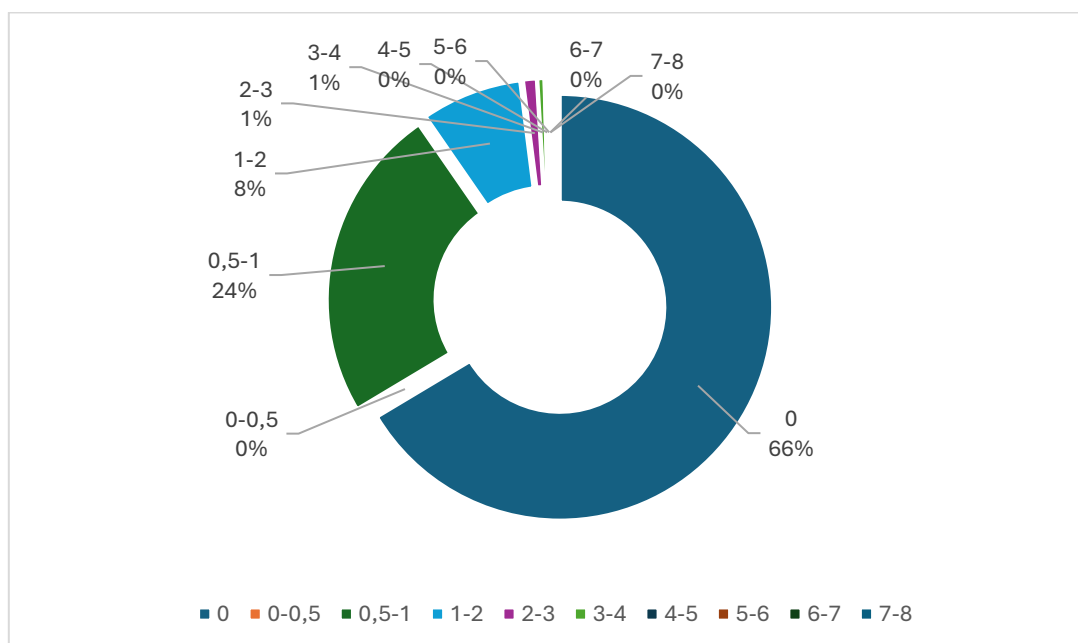
Innym sposobem wizualizacji wyników pomiarów są wykresy generowane np. przez oprogramowanie arkuszy kalkulacyjnych Microsoft Excel. Przykładowe wykresy, w tym wykres liniowy wyników w czasie, wykres kolumnowy zgrupowanych wyników, wykres pierścieniowy obrazujący częstości występowania wyników przedstawiono na rysunkach: Rys. 6, Rys. 7 i Rys. 8.



Rys. 6 Wykres liniowy zarejestrowanych wyników

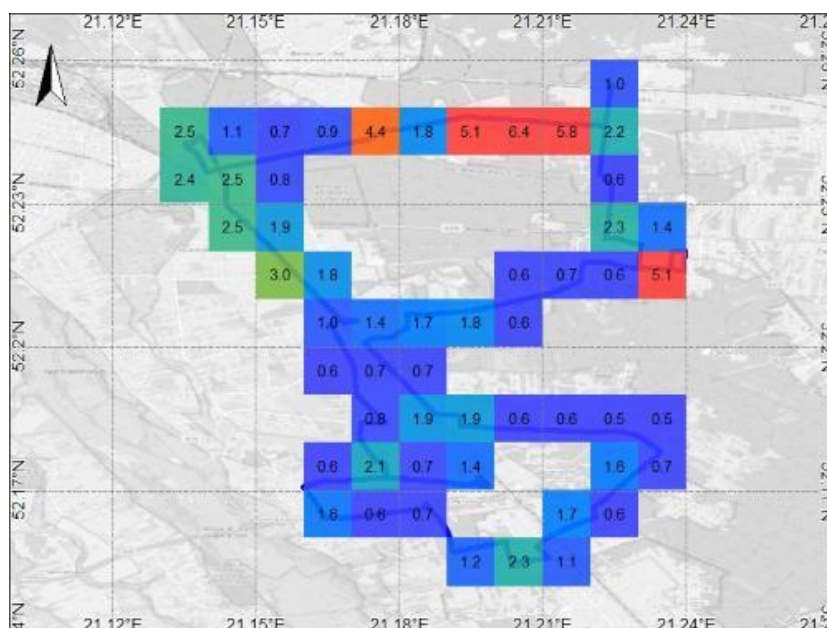


Rys. 7 Wykres kolumnowy wyników zgrupowanych według wartości

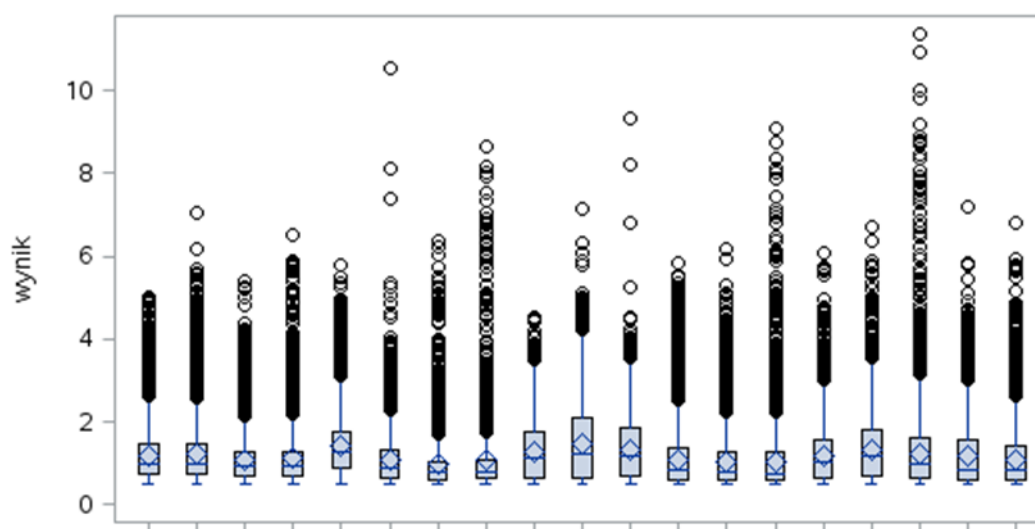


Rys. 8 Wykres pierścieniowy częstości występowania wyników o danych wartościach

Na rysunkach: Rys. 9 oraz Rys. 10 przedstawiono dwa przykłady innych sposobów wizualizacji agregacji i statystyk wyników pomiarów.



Rys. 9 Przykład wizualizacji agregacji wyników pomiaru PEM z podkładem mapowym



Rys. 10 Przykład sposobu wizualizacji statystyk agregacji wyników pomiaru PEM

5. PROGRAM BADAŃ PILOTAŻOWYCH

Wiedza i doświadczenia zdobyte w trakcie próbnego uruchomienia systemu zostały wykorzystane przy uzgadnianiu programu badań pilotażowych szerokopasmowego monitoringu PEM w ruchu.

Uzgodnienia dotyczyły:

- konfiguracji stacji monitorujących – jednakowa konfiguracja obydwu stacji;
- uruchomienia systemu – jednoczesne uruchomienie obydwu stacji, po sprawdzeniu komunikacji z serwerem;
- prowadzenia pomiarów – wzdłuż trasach pomiarowych leżących w granicach administracyjnych miasta Warszawa oraz miasta Wrocław, wyznaczonych z uwzględnieniem kryteriów oraz metodologii opisanej w pkt. 5.1;
- miejsca gromadzenia wyników pomiarów – w jednej bazie danych;
- obrazowania wyników pomiarów – zgodnie z wybranymi propozycjami przedstawionymi w pkt. 4.2 i pkt. 4.3.

5.1 Projektowanie tras pomiarowych

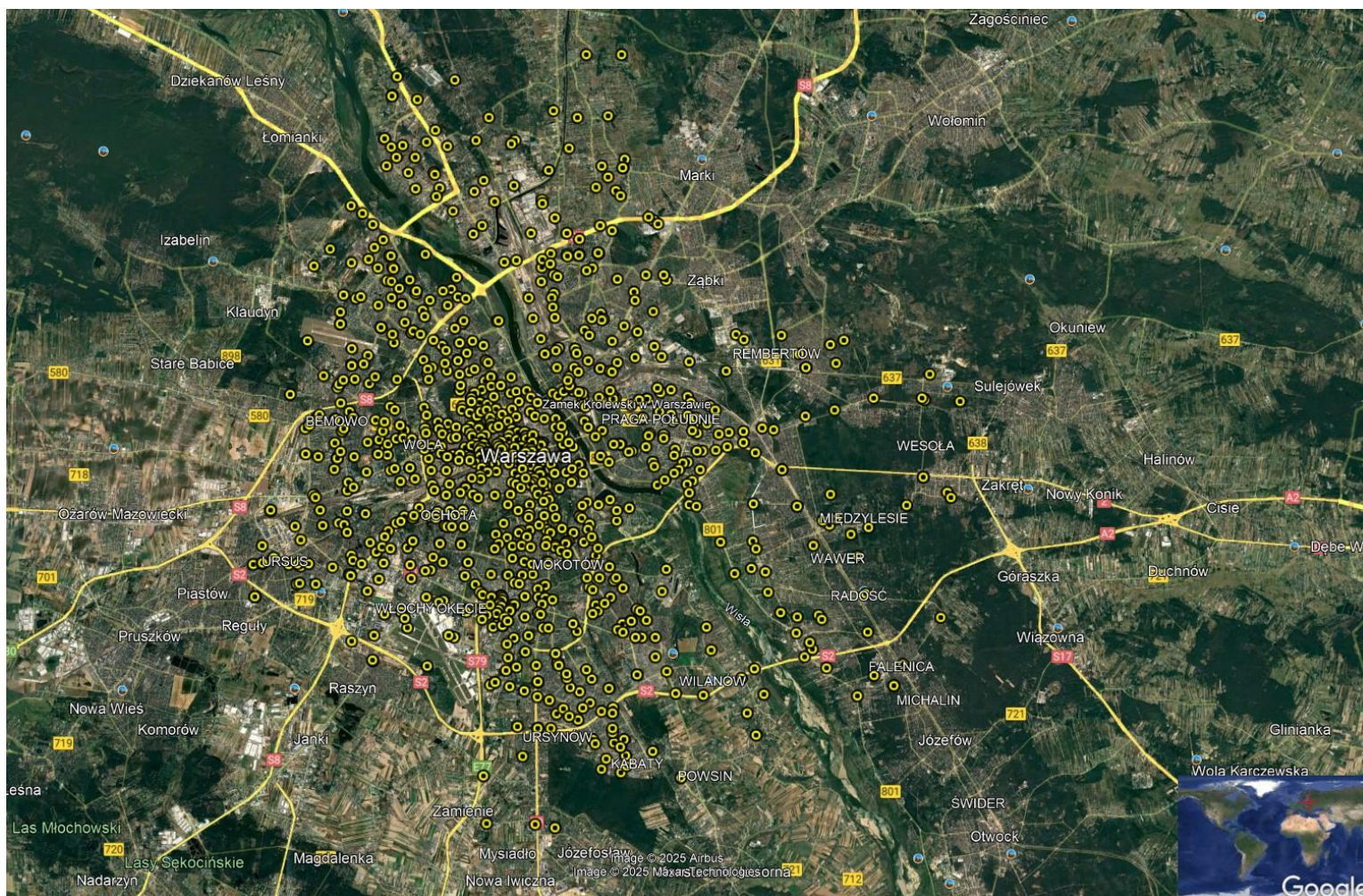
Projektowanie tras pomiarowych realizowane było zgodnie z ustalonymi kryteriami:

- a) trasy zostały wyznaczone w Warszawie oraz Wrocławiu, zwłaszcza w centrach miast, na obszarach z jak największą liczbą lokalizacji SBTK;
- b) trasy uwzględniają obszary o różnej gęstości i bliskości SBTK 5g3600:
 - dużej, średniej i małej;
 - obszary w centrum miasta, obrzeża miasta, obszary podmiejskie w granicach miasta;
- c) przy wyznaczaniu tras uwzględnione zostały m.in. lokalizacje SBTK 5g3600 znajdujące się w wykazie pozwoleń UKE z dnia 25.08.2025 r.;
- d) przy określaniu liczby SBTK na trasie brano pod uwagę lokalizacje dla których wydano pozwolenia 5g3600, wzdłuż tras przejazdowych w odległości do ok. 250 m od ulic, którymi przebiegały trasy;
- e) trasy były realizowane w różnych porach w ciągu dnia: np. godz. 8-12, 12-16, 16-20;
- f) dla celów porównawczych założono przejazdy na tych samych trasach powtarzane w różnych porach dnia;
- g) łącznie zrealizowano 30 przejazdów pozwalających na zebranie wyników badań z ok. 80 godzin pomiarów.

Przy projektowaniu tras wykorzystywane było oprogramowanie Google Earth Pro.

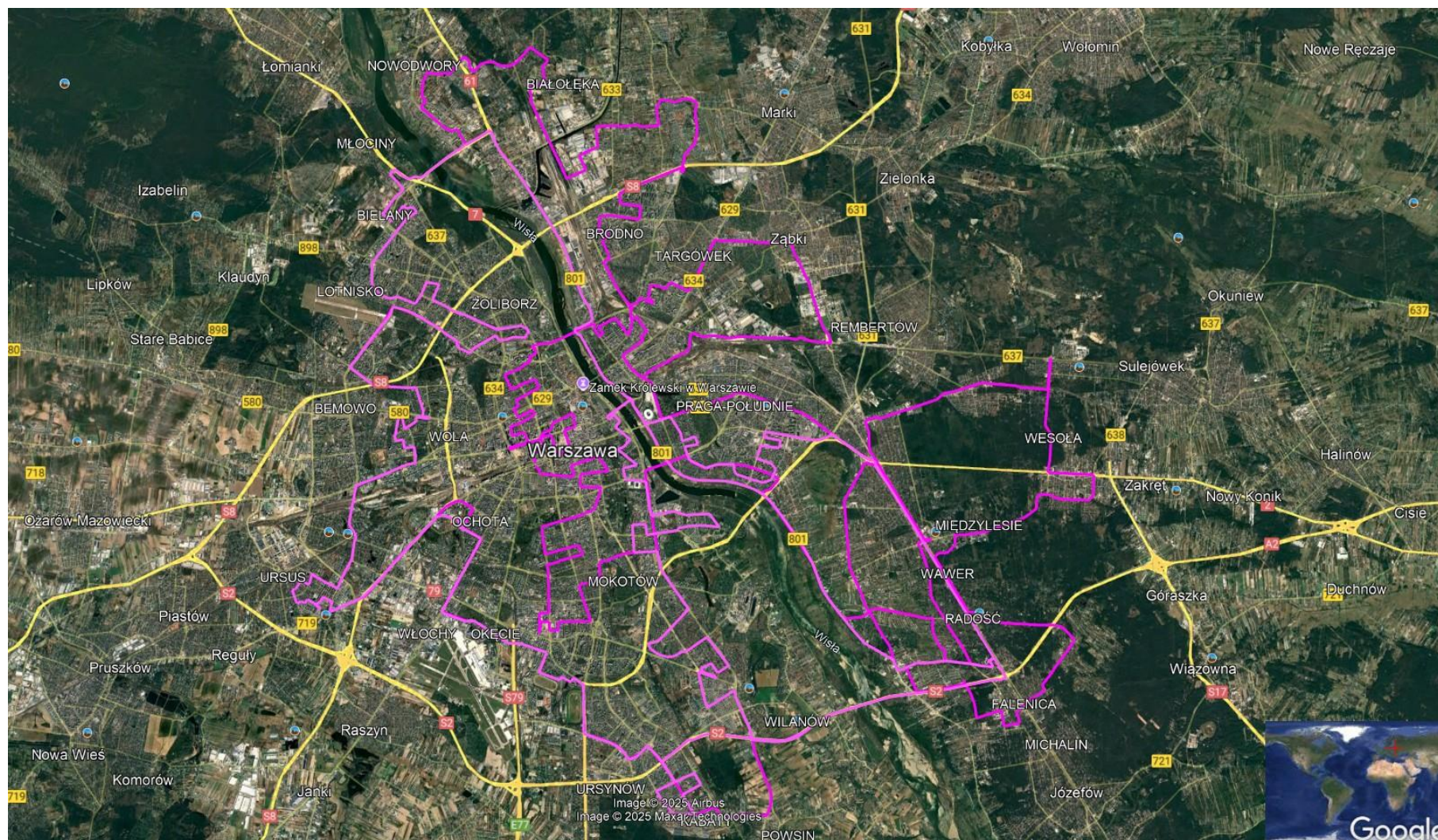
Poniżej przedstawiono cztery przykładowe mapy dla miasta Warszawy, obrazujące:

- rozmieszczenie SBTK 5g3600 (Rys. 11);
- schemat wszystkich zaplanowanych tras (Rys. 12);
- wszystkie zaplanowane trasy z rozmieszczonymi na nich SBTK 5g3600 (Rys. 13);
- schemat jednej z zaplanowanych tras w Warszawie (Rys. 14).

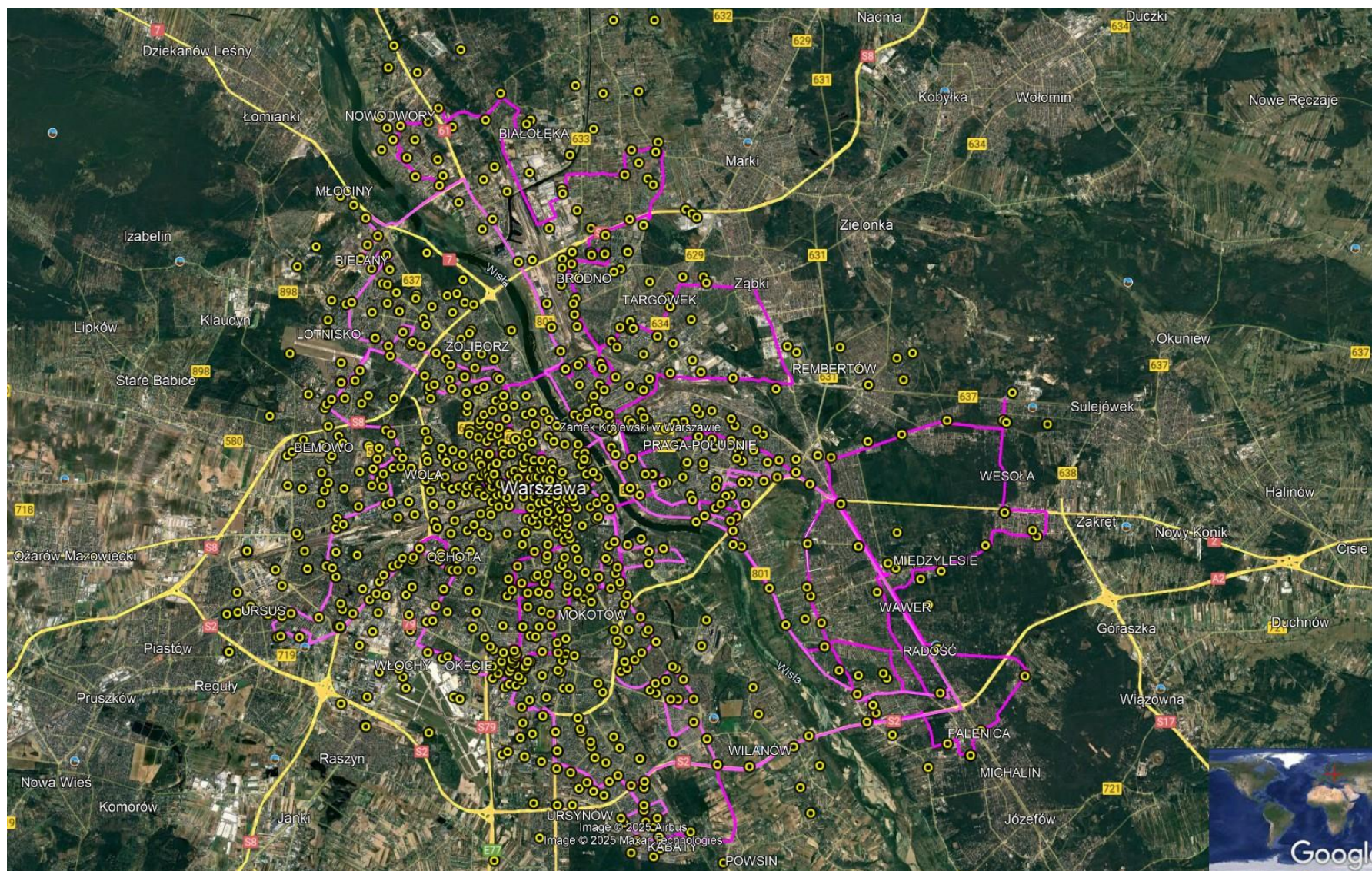


Rys. 11 Rozmieszczenie SBTK 5g3600 na terenie Warszawy

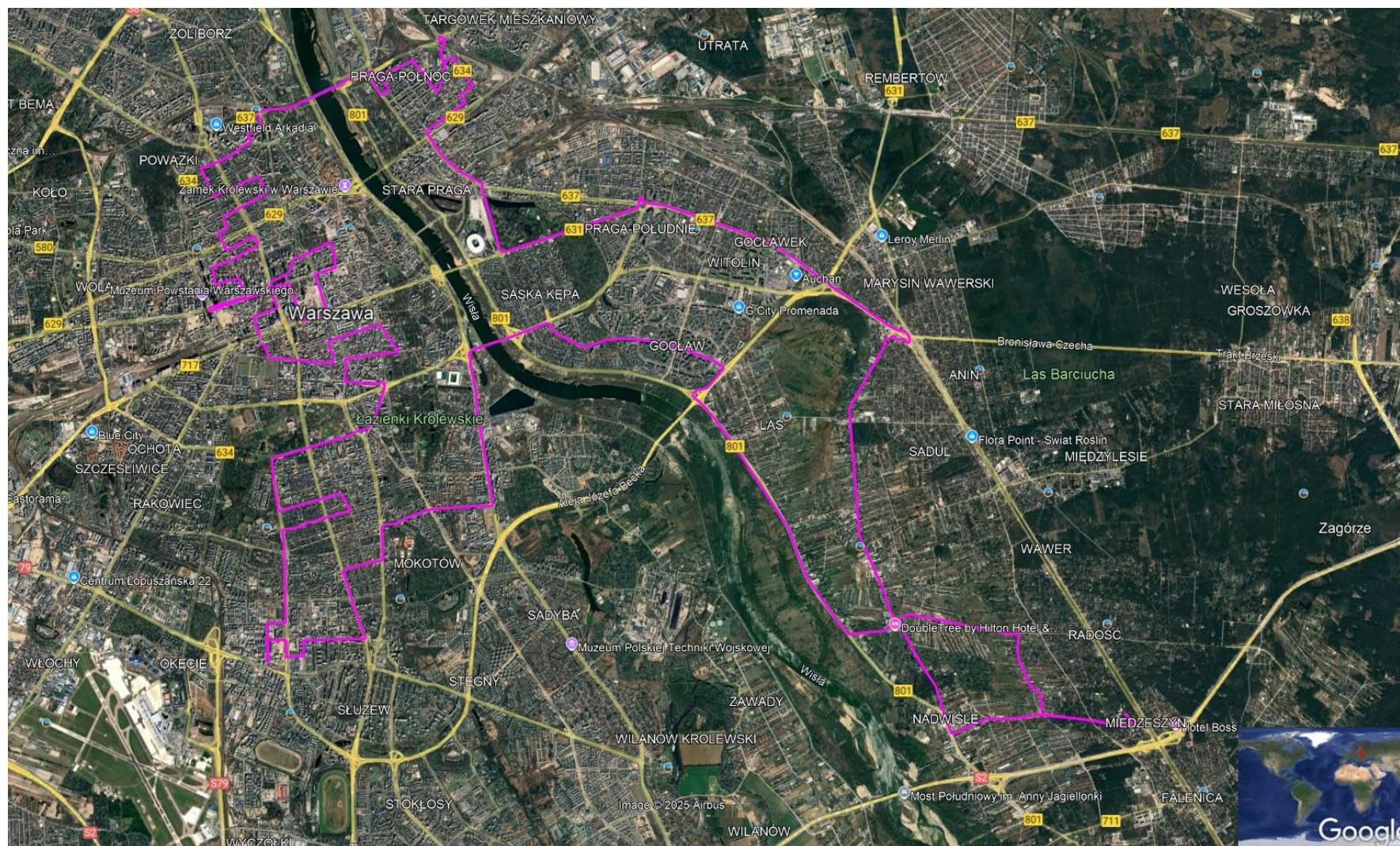
Na prezentowanej mapie rozmieszczenia SBTK zostały uwzględnione lokalizacje 5g3600 (911 lokalizacji) z wykazu pozwoleń UKE wg stanu na 25.08.2025 r. Nie oznacza to, że wszystkie SBTK miały w okresie realizowanych tzw. drive testów uruchomione 5g3600. W przypadku potrzeby weryfikacji tej informacji konieczny byłby przegląd ok. 2700 zgłoszeń w UM Warszawa.



Rys. 12 Schemat wszystkich tras na terenie Warszawy



Rys. 13 Schemat wszystkich tras na terenie Warszawy i rozmieszczenie SBTK 5g3600



Rys. 14 Schemat jednej z tras na terenie Warszawy

6. URUCHOMIENIE PILOTAŻOWEGO SYSTEMU

W pilotażu wykorzystane zostały wiedza pozyskana w ramach szkolenia, doświadczenia zdobyte w testach próbnych, wypracowany program badań pilotażowych, zaprojektowane trasy, zaproponowane sposoby wizualizacji wyników.

6.1 Wykonawcy badań

Pilotaż systemu SMR PEM realizowany był przez dwa zespoły wykonawcze IŁ-PIB:

- Z-1 w Warszawie,
- Z-21 we Wrocławiu.

Kluczowy zespół projektowy IŁ-PIB w Warszawie:

- Piotr Karpeta,
- Henryk Parapura,
- Rafał Pawlak,
- Barbara Regulska,
- Tomasz Sędek,
- Jakub Warszawski,
- Mikołaj Waszkiewicz.

Kluczowy zespół projektowy IŁ-PIB we Wrocławiu:

- Artur Gierko,
- Tomasz Górdziątek,
- Jakub Obarowski,
- Joanna Oliwa,
- Bartosz Skiba,
- Tomasz Tomczyk,
- Jagoda Wierzbicka.

6.2 Aparatura i oprzyrządowanie wykorzystane do badań

Wykazy aparatury pomiarowej stosowanej w pilotażu SMR PEM, prowadzonym przez zespół IŁ-PIB w Warszawie oraz we Wrocławiu, przedstawiono w Tabl. 4.

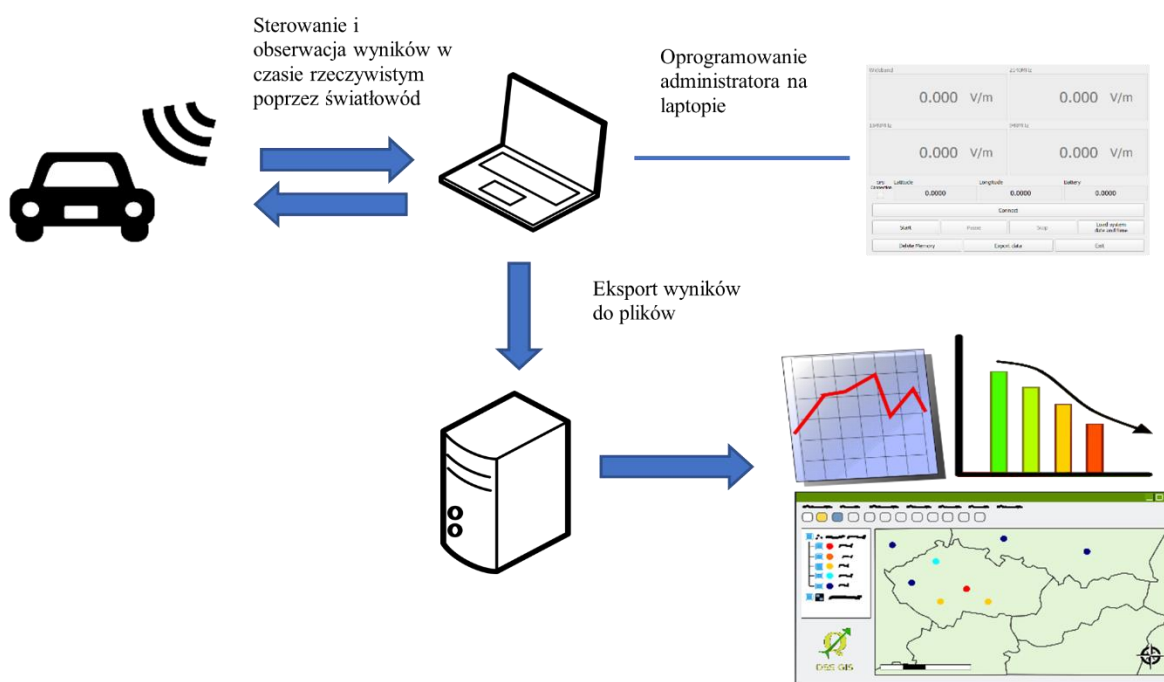
Tabl. 4 Wykaz aparatury pomiarowej

Lp.	Nazwa	Model	Numer seryjny	Producent
1.	Stacja do szerokopasmowego monitoringu pola elektromagnetycznego w ruchu	AMB-8059-00	490ZY31145	Narda Safety Test Solutions GmbH
2.	Sonda pomiarowa	EP-1B-06	000ZY30402	
3.	Stacja do szerokopasmowego monitoringu pola elektromagnetycznego w ruchu	AMB-8059-00	490ZY31146	

Lp.	Nazwa	Model	Numer seryjny	Producent
4.	Sonda pomiarowa	EP-1B-06	000ZY30404	

6.3 Architektura systemu

Architektura pilotażowego systemu SMM PEM, została przedstawiona na Rys. 15.



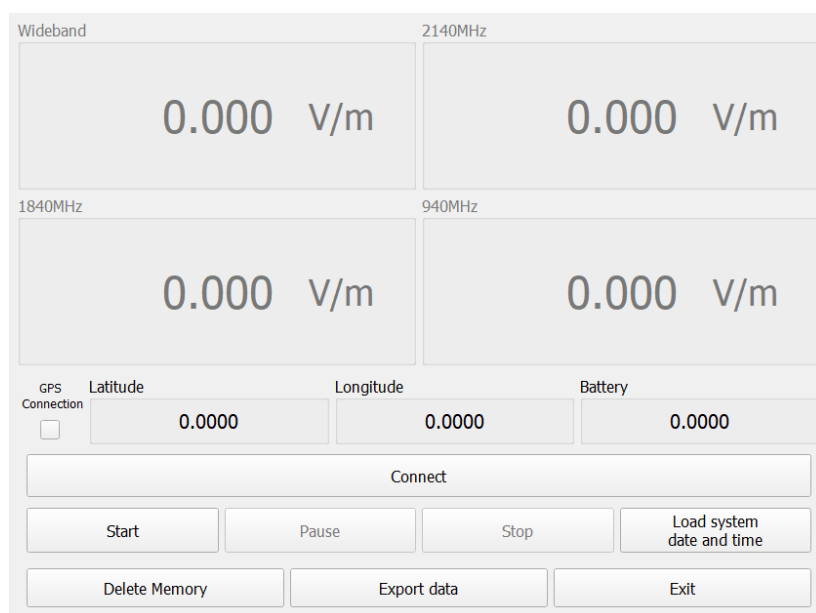
Rys. 15 Schemat architektury pilotażowego systemu monitoringu w ruchu (SMR PEM)

6.4 Konfiguracja stacji monitorujących

W SMR PEM zastosowano stacje monitorujące firmy Narda model AMB-8059-00 z dodatkowym zestawem opcji. W odróżnieniu od stacji stacjonarnych, ich konfiguracja jest uproszczona i zawiera możliwości synchronizowania aktualnej daty i czasu z komputerem, na którym zainstalowano program administratora (sterujący) oraz określenia granicznej wartości natężenia pola elektromagnetycznego.

Stacje monitorujące wykonywały pomiary co 300 ms, określając razem z natężeniem pola swoje położenie geograficzne. Rejestrowana była wartość aktualna natężenia. Program sterujący wskazuje w czasie rzeczywistym zmierzone wartości (ilość pasm zależna jest od typu sondy pomiarowej) i zgodnie z zaleceniem ITU-T K.113 ma możliwość monitorowania pomiaru i alarmowania przy przekroczeniu określonej prędkości samochodu.

Na Rys. 16 przedstawiono przykładowe okno programu sterującego stacją monitorującą.



Rys. 16 Okno programu sterującego stacji monitorującej

6.5 Zbieranie danych

Dane uzyskane podczas pomiarów były rejestrowane w pamięci stacji monitorujących. Stacja ma wielkość pamięci pozwalającą na rejestrację pomiaru przez maksimum 18 godzin.

Po zakończeniu pomiaru dane były pobierane na komputer sterujący za pomocą światłowodu oraz zapisane w formatach KML i GPX. Dodatkowo program sterujący w trakcie pomiaru zapisywał dziennik zdarzeń w postaci pliku tekstowego, w którym zawarte były wyniki.

Po dołączeniu komputera do sieci wewnętrznej IŁ-PIB, pliki zostały zgromadzone na katalogu wspólnym w intranecie w celu dalszego przetwarzania i wizualizacji; dane zostały także zaimportowane do środowiska PIBUK.

Tekstowe formaty plików powodują dość dużą wielkość uzyskanych danych (bez kompresji). Dla przykładu, wyniki z przejazdu trwającego ok. 5 godzin zajmują ok. 94 MB, z czego KML ma wielkość ok. 56 MB, GPX to ok. 28 MB, a dziennik zdarzeń to ok. 10 MB. Tak duże wielkości powodują znaczące czasy pobierania danych oraz pracy procedur zarządzania pamięcią stacji w czasie uruchamiania pomiaru.

Przewidywane jest, że pliki tekstowe, z jednej stacji monitorującej, zgromadzone na serwerze za okres 40 godzin jazdy, mogą zająć ok. 800 MB. W celu umożliwienia przetwarzania pliki powinny pozostawać w postaci nieskompresowanej.

6.6 Prezentacja danych

Stacja monitorująca przekazuje dane w formatach tekstowych – KML i GPX.

W celu łatwiejszego przetwarzania, np. w arkuszu kalkulacyjnym, pliki GPX zostały przetworzone do formatu CSV za pomocą odpowiedniego skryptu AWK, którego fragment znajduje się na Rys. 17.

```

1  -BEGIN {
2      print "plik;nr;dl_geo;sz_geo;wynik;data;czas;temp;proc_wilg;nap_baterii;predkosc"
3      nr_rek=0
4      czywpt=0
5      lat=0
6      lon=0
7      wyn=0
8      dat=""
9      cz=""
10     temp=999
11     pwilg=-1
12     nbat=-1
13     pr=999
14     OFS=";"
15 }
16 - /<wpt/ {
17     czywpt=1
18     nr_rek++
19 }
20 - /<\wpt>/ {
21     czywpt=0
22     print ARGV[ARGC-1], nr_rek, lon, lat, wyn, dat, cz, temp, pwilg, nbat, pr
23     lat=0
24     lon=0
25     wyn=0
26     dat=""
27     cz=""
28     temp=999
29     pwilg=-1
30     nbat=-1
31     pr=999
32 }
33 - (czywpt==1 && /<wpt/ ) {
34     gsub(/\./,"",$2)
35     gsub(/\./,"",$3)
36     gsub(/>/,"",$3)
37     lat=substr($2, 5)
38     lon=substr($3, 5)
39     gsub(/\./,"",$lat)
40     gsub(/\./,"",$lon)
41 }

```

Rys. 17 Fragment programu konwertującego wyniki do formatu CSV

Do atrakcyjnej prezentacji wyników producent zaleca korzystanie z formatu danych KML i programu Google Earth.

Format danych GPX możliwy jest do zaimportowania przez różne programy GIS, np. QGIS.

Pliki CSV po imporcie do arkusza Microsoft Excel lub oprogramowania SAS platformy PI-BUK są dobrym źródłem do analiz statystycznych oraz tworzenia wykresów.

6.7 Dane rejestrowane przez stację monitorującą

Stacja monitorująca dokonuje pomiaru i rejestracji następujących parametrów:

- aktualna wartość natężenia pola elektromagnetycznego;
- temperatura powietrza;
- wilgotność względna powietrza;
- napięcie pracy baterii;
- data i czas pomiaru;
- położenie geograficzne;
- prędkość;
- przyspieszenie w trzech wymiarach (trzy oddzielne wyniki).

7. WYNIKI PILOTAŻOWYCH POMIARÓW

7.1 Trasy przejazdów

Pomiary pilotażowe wykonywane były na trasach znajdujących się na terenie Warszawy oraz Wrocławia.

Trasy zaprojektowane zostały zgodnie z kryteriami opisanymi w pkt. 5.1.

Przejazdy wybranymi trasami realizowane były w różnych porach dnia.

Wykaz przejazdów na terenie Warszawy przedstawiono w Tabl. 5.

Tabl. 5 Wykaz przejazdów na terenie Warszawy

Lp.	Nr trasy	Nazwa trasy	Liczba SBTk 5g3600	Orientacyjna długość trasy [km]	Data pomiarów [dd.mm.rr.]	Godziny pomiarów [godz.:min.]	Czas pomiarów [godz.:min.]
1.	1	Wawer_1	25	45	10.12.2025	09:45-11:14	1:29
2.		Wawer_2			07.10.2025	11:45-13:15	1:30
3.		Wawer_3			17.11.2025	18:25-20:00	1:35
4.	2	Praga Płn_1	95	95	18.12.2025	08:48-11:45	2:57
5.		Praga Płn_2			14.10.2025	11:45-15:05	3:20
6.		Praga Płn_3			11.12.2025	17:16-20:51	3:35
7.	3	Płn._Zachód_1	142	102	19.12.2025	09:24-13:07	3:43
8.		Płn._Zachód_2			23.10.2025	11:38-16:25	4:27
9.		Płn._Zachód_3			25.11.2025	17:15-21:00	3:45
10.	4	Śródmieście_1	179	78	30.10.2025	13:01-18:04	5:03
11.		Śródmieście_2	122	50	04.12.2025	16:25-19:35	3:10
12.		Śródmieście_3	57	28	09.12.2025	18:37-19:40	1:03
13.	5	Saska_Wilanów_1	32	23	16.12.2025	08:46-09:55	1:09
14.		Saska_Wilanów_2	80	55	06.11.2025	11:11-13:28	2:17
15.		Saska_Wilanów_3			20.11.2025	18:14-20:29	2:15

Uwagi:

1. Nie wszystkie przejazdy obejmowały całe trasy. W przypadku Śródmieścia trasa okazała się zbyt trudno i bardzo długa, stąd po raz drugi zrealizowana została w dwóch przejazdach.
2. Trasa Saska_Wilanów w przypadku jednego przejazdu została przerwana z uwagi na zaistniałą kolizję drogową.

Wykaz przejazdów na terenie Wrocławia przedstawiono w Tabl. 6.

Tabl. 6 Wykaz przejazdów na terenie Wrocławia

Lp.	Nr trasy	Nazwa trasy	Liczba SBTk 5g3600	Orientacyjna długość trasy [km]	Data pomiarów [dd.mm.rr.]	Godziny pomiarów [godz.:min.]	Czas pomiarów [godz.:min.]
1	1	Południe_1	64	48,5	13.11.2025	10:37-13:58	3:21
2		Południe_2			12.11.2025	16:11-19:23	3:12
3		Południe_3			26.11.2025	19:19-21:32	2:13
4	2	Centrum_1	43	21,1	09.12.2025	7:18-9:02	1:44
		Centrum_2			14.11.2025	10:38-11:52	1:14
5		Centrum_3			26.11.2025	16:45-18:30	1:45
6		Centrum_4			25.11.2025	18:35-19:52	1:17
8	3	Północ_1	59	58,2	05.12.2025	7:43-11:04	3:21
9		Północ_2			14.11.2025	12:57-15:47	2:50
10		Północ_3			27.11.2025	16:27-19:31	3:04
11		Północ_4			25.11.2025	20:23-22:38	2:15
12	4	Zachód_1	69	74,8	04.12.2025	8:01-11:31	3:30
13		Zachód_2			08.12.2025	11:23-15:02	3:39
14		Zachód_3			24.11.2025	16:38-19:58	3:20
15		Zachód_4			27.11.2025	19:50-23:05	3:05

7.2 Wyniki pomiarów – zestawienie i podsumowanie

Poniżej przedstawiono zestawienie wyników pomiarów wykonanych na zaprojektowanych trasach na terenie Warszawy i Wrocławia.

Najwyższe zarejestrowane wyniki [V/m] wynosiły:

- 13,1 V/m na trasach w Warszawie;
- 11,4 V/m na trasach we Wrocławiu.

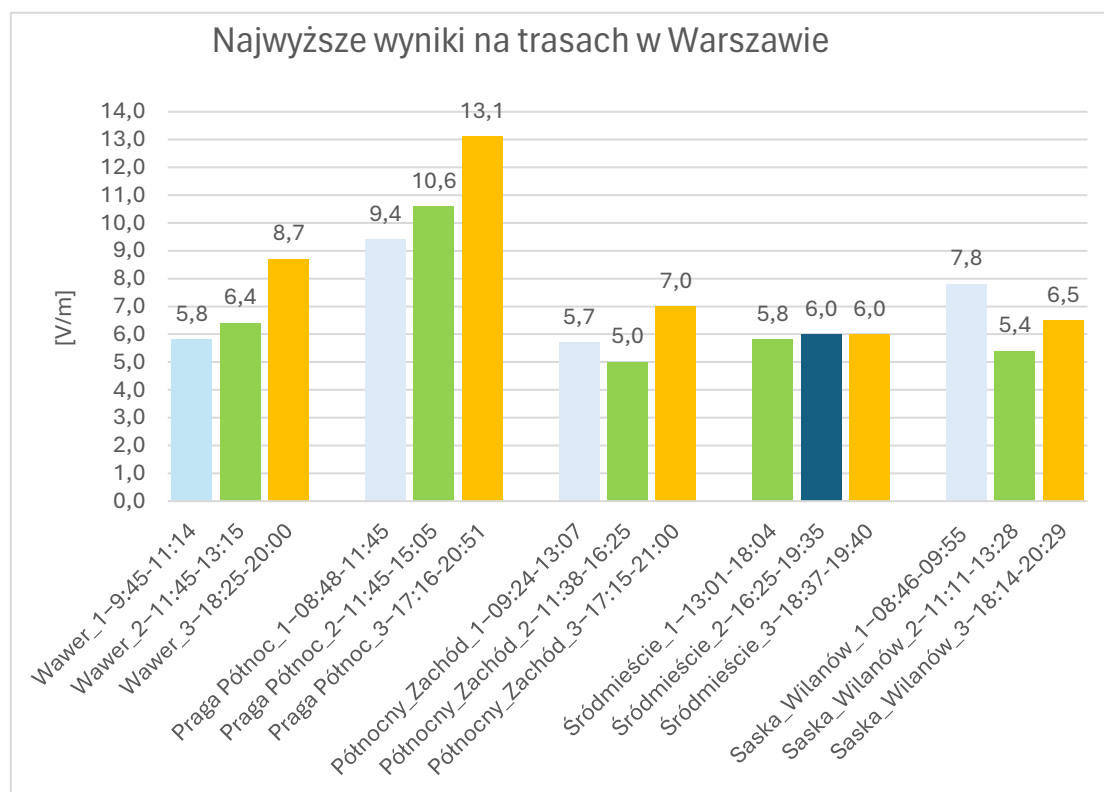
Jak widać z poniższych tabel i wykresów istotne prawidłowości zaobserwowane zostały w wynikach pomiarów realizowanych na tych samych trasach w różnych porach dnia, wskazując na wyższe wyniki uzyskiwane w godzinach wieczornych.

Duża liczba SBTK wzdłuż tras, a także umownie nazwane „zagęszczenie” SBTK (liczba SBTK na trasie / długość trasy), nie wpłynęły na zarejestrowane wartości natężenia pola elektromagnetycznego.

Przy czym należy pamiętać, że jako stacje na trasie liczone były lokalizacje SBTK dla których wydano pozwolenia 5g3600, położone wzdłuż tras pomiarowych do odległości ok. 250 m. Natomiast wyniki pomiarów natężenia pola elektromagnetycznego są uzależnione od azymutów wiązek promieniowania względem tras pomiarowych.

Tabl. 7 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach w Warszawie

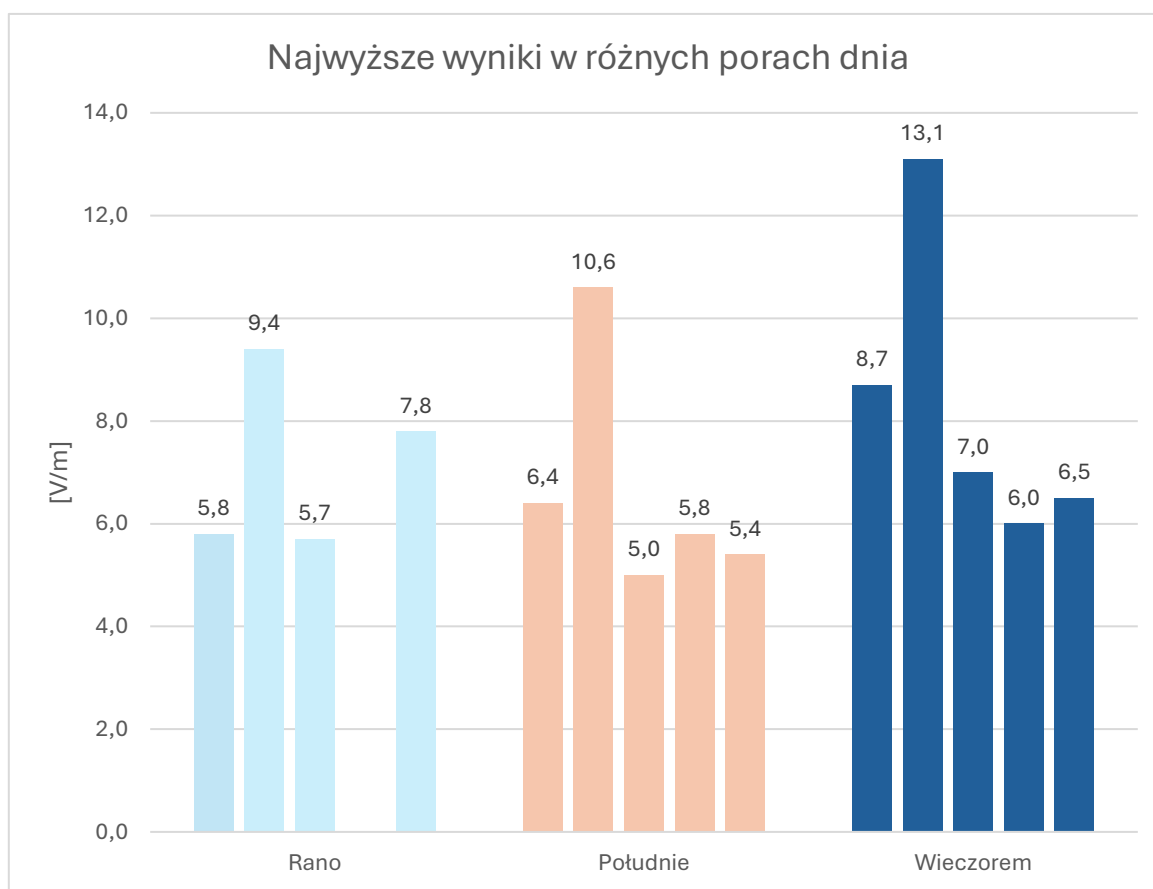
Lp.	Nazwa trasy	Godziny pomiarów	Najwyższy wynik [V/m]
1	Wawer_1	09:45-11:14	5,8
2	Wawer_2	11:45-13:15	6,4
3	Wawer_3	18:25-20:00	8,7
4	Praga Północ_1	08:48-11:45	9,4
5	Praga Północ_2	11:45-15:05	10,6
6	Praga Północ_3	17:16-20:51	13,1
7	Północny_Zachód_1	09:24-13:07	5,7
8	Północny_Zachód_2	11:38-16:25	5,0
9	Północny_Zachód_3	17:15-21:00	7,0
10	Śródmieście_1	13:01-18:04	5,8
11	Śródmieście_2	16:25-19:35	6,0
12	Śródmieście_3	18:37-19:40	6,0
13	Saska_Wilanów_1	08:46-09:55	7,8
14	Saska_Wilanów_2	11:11-13:28	5,4
15	Saska_Wilanów_3	18:14-20:29	6,5



Rys. 18 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach w Warszawie

Tabl. 8 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach w Warszawie w różnych porach dnia

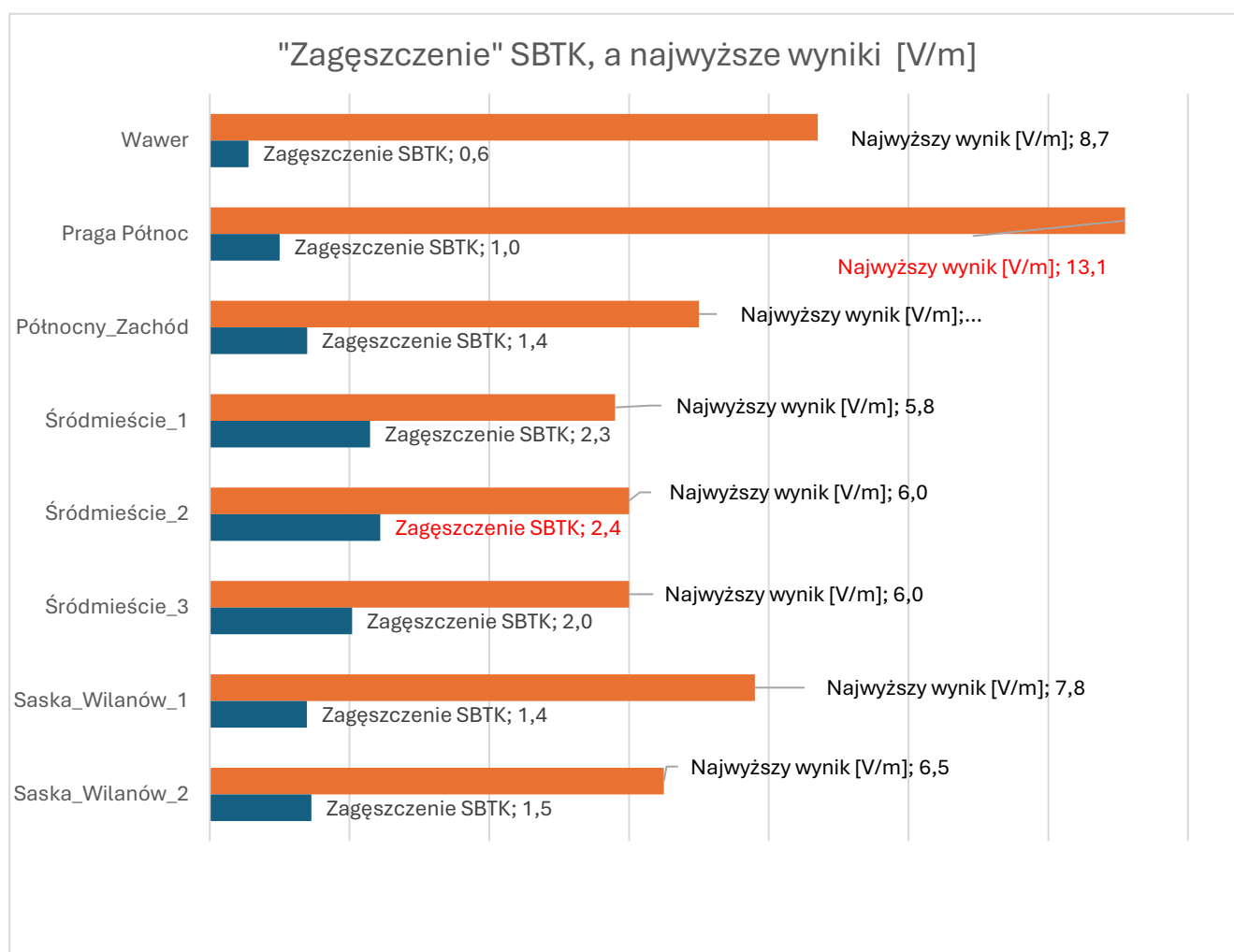
Lp.	Nazwa trasy	Najwyższe wyniki natężenia [V/m] w różnych porach dnia			
		Rano	Południe	Po południu	Wieczorem
1	Wawer	5,8	6,4		8,7
2	Praga Północ	9,4	10,6		13,1
3	Północny_Zachód	5,7	5,0		7,0
4	Śródmieście		5,8	6,0	6,0
5	Saska_Wilanów	7,8	5,4		6,5



Rys. 19 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach w Warszawie w różnych porach dnia

Tabl. 9 „Zagęszczenie” SBTk wzdłuż tras, a najwyższe wyniki natężenia

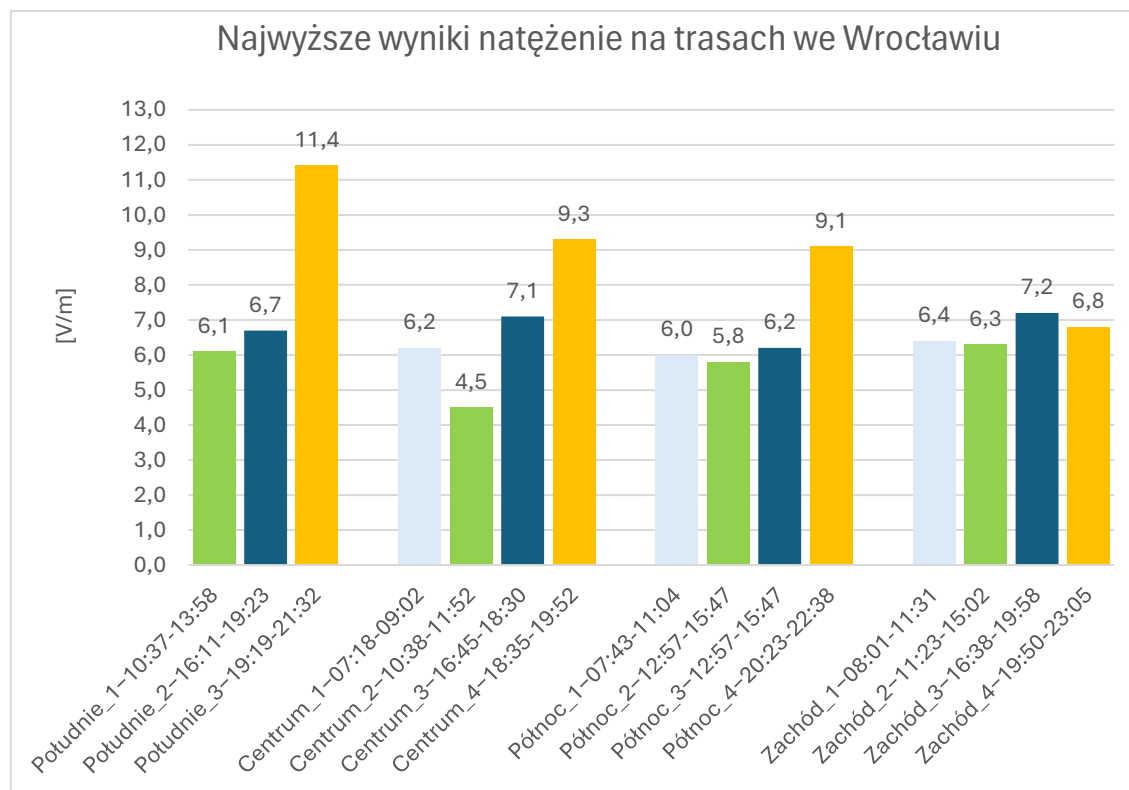
Lp.	Nazwa trasy	Najwyższy wynik [V/m]	Zagęszczenie SBTk
1	Wawer	8,7	0,6
2	Praga Północ	13,1	1,0
3	Północny_Zachód	7,0	1,4
4	Śródmieście_1	5,8	2,3
5	Śródmieście_2	6,0	2,4
6	Śródmieście_3	6,0	2,0
7	Saska_Wilanów_1	7,8	1,4
8	Saska_Wilanów_2	6,5	1,5



Rys. 20 „Zagęszczenie” SBTk wzdłuż tras, a najwyższe wyniki natężenia

Tabl. 10 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach we Wrocławiu

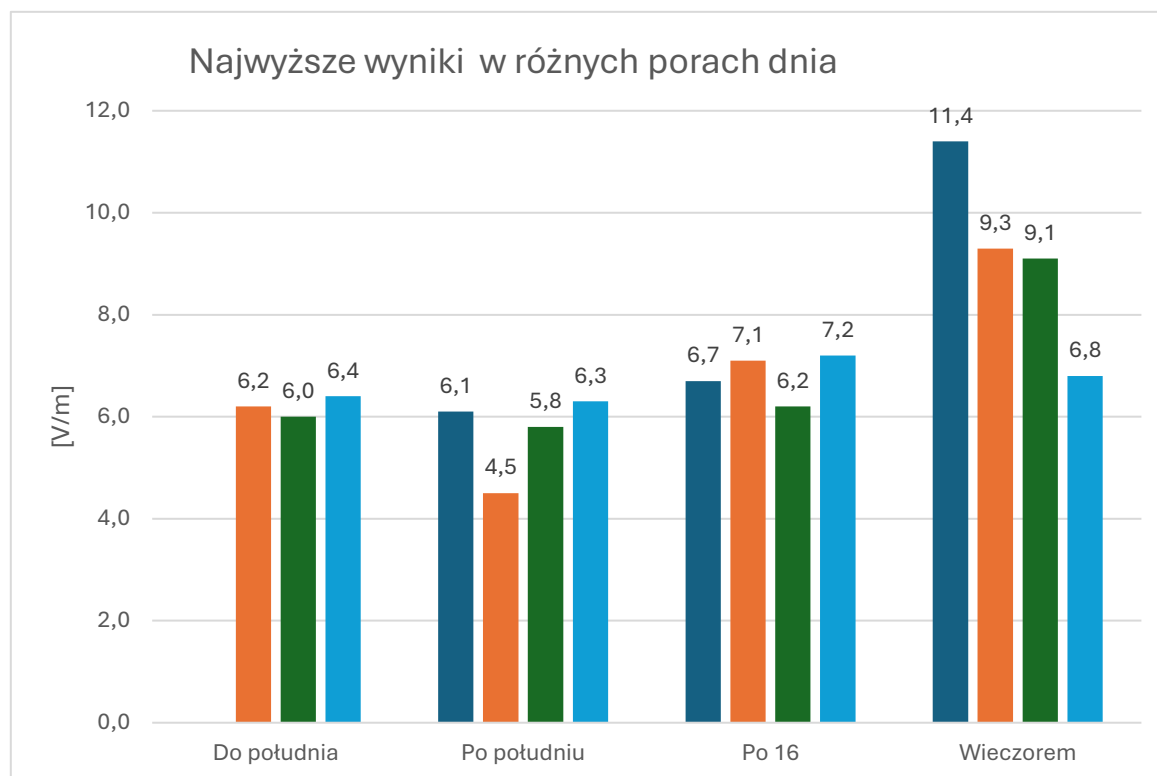
Lp.	Nazwa trasy	Godziny pomiarów	Najwyższy wynik [V/m]
1	Południe_1	10:37-13:58	6,1
2	Południe_2	16:11-19:23	6,7
3	Południe_3	19:19-21:32	11,4
4	Centrum_1	07:18-09:02	6,2
5	Centrum_2	10:38-11:52	4,5
6	Centrum_3	16:45-18:30	7,1
7	Centrum_4	18:35-19:52	9,3
8	Północ_1	07:43-11:04	6,0
9	Północ_2	12:57-15:47	5,8
10	Północ_3	16:27-19:31	6,2
11	Północ_4	20:23-22:38	9,1
12	Zachód_1	08:01-11:31	6,4
13	Zachód_2	11:23-15:02	6,3
14	Zachód_3	16:38-19:58	7,2
15	Zachód_4	19:50-23:05	6,8



Rys. 21 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach we Wrocławiu

Tabl. 11 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach we Wrocławiu w różnych porach dnia

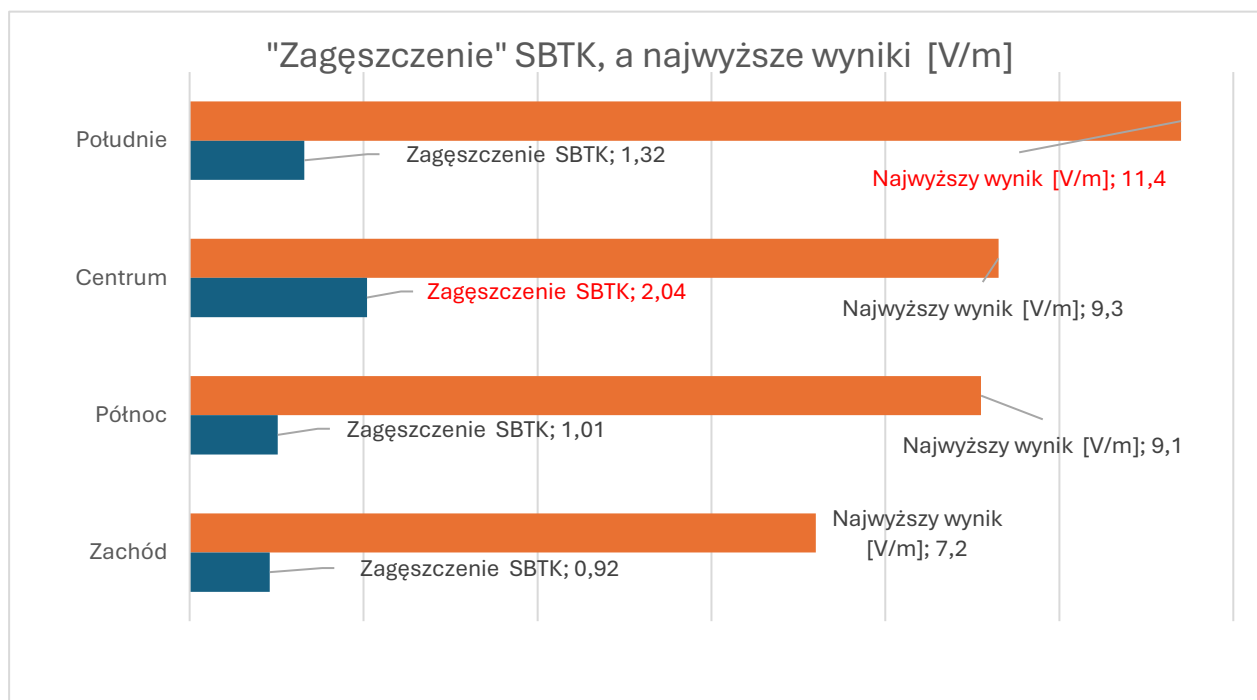
Lp.	Nazwa trasy	Najwyższe wyniki natężenia [V/m] w różnych porach dnia			
		Do południa	Po południu	Po 16	Wieczorem
1	Południe	–	6,1	6,7	11,4
2	Centrum	6,2	4,5	7,1	9,3
3	Północ	6,0	5,8	6,2	9,1
4	Zachód	6,4	6,3	7,2	6,8



Rys. 22 Najwyższe wyniki natężenia [V/m] na trasach we Wrocławiu w różnych porach dnia

Tabl. 12 „Zagęszczenie” SBTk wzdłuż tras, a najwyższe wyniki natężenia

Lp.	Nazwa trasy	Najwyższy wynik [V/m]	„Zagęszczenie” SBTk
1	Południe	11,4	1,32
2	Centrum	9,3	2,04
3	Północ	9,1	1,01
4	Zachód	7,2	0,92



Rys. 23 „Zagęszczenie” SBTk wzdłuż tras, a najwyższe wyniki

Wyniki poszczególnych przejazdów, zobrazowane w formie map i wykresów, przedstawiono w Załącznikach nr 1 i nr 2.



Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Szachowa 1, 04-894 Warszawa

www.il-pib.pl

