Raport nr Z21/21400058.01/040/2018

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

ZAKŁAD KOMPATYBILNOŚCI
ELEKTROMAGNETYCZNEJ
WE WROCŁAWIU (Z-21)

Analiza wykonalności wdrożenia usług w technologii 5G przy obecnych oraz zwiększonych normach dopuszczalnych poziomów promieniowania elektromagnetycznego

Zadanie B: Symulacja możliwości rozbudowy sieci telekomunikacyjnej w reprezentatywnych lokalizacjach w Polsce

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI, 2018
Praca wykonana w Pracowni Gospodarki i Inżynierii Widma Zakładu Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności we Wrocławiu.

KIEROWNIK PRACOWNI:
dr inż. Dariusz Więcek
KIEROWNIK ZAKŁADU Z-21:
dr inż. Janusz Sobolewski

© Copyright by Instytut Łączności, Wrocław 2018
Niniejszy Raport może być powielany i publikowany wyłącznie w całości.
Publikacja fragmentów wymaga uzyskania zgody Instytutu Łączności.

Nr pracy:	21 40 005 8
Nazwa pracy:	Analiza wykonalności wdrożenia usług w technologii 5G przy obecnych oraz zwiększonych normach dopuszczalnych poziomów promieniowania elektromagnetycznego. Zadanie B: Symulacja możliwości rozbudowy sieci telekomunikacyjnej w reprezentatywnych lokalizacjach w Polsce
Zleceniodawca:	Polska Izba Informatyki i Telekomunikacji (PIIT)
Data rozpoczęcia:	Styczeń 2018
Data publikacji:	Czerwiec 2018
Wykonawcy:	dr inż. Dariusz Więcek mgr inż. Daniel Niewiadomski mgr inż. Marcin Mora mgr inż. Krzysztof Rzeźniczak dr inż. Jacek Wroński

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE 4

2. METODYKA OBLICZEŃ 5
2.1 Metodyka obliczeń PEM (dla pojedynczego źródła) 6
2.1.1 Charakterystyki anten 8
2.2 Wypadkowe natężenie pola elektrycznego PEM (od wielu źródeł) 9
2.3 Wartości referencyjne parametrów używanych w analizach 9

3. SYMULACJE WYPADKOWEGO PEM 10
3.1 Opis realizowanych scenariuszy 12
3.2 Metodyka 13
3.3 Wyniki analiz 15
3.3.1 Warszawa PKiN – Wielkomiejski (DenseUrban) 16
3.3.2 Kraków Stare Miasto – Wielkomiejski (DenseUrban) 24
3.3.3 Bydgoszcz – Miejski (Urban) 34
3.3.4 Warszawa Wola – Miejski Urban 42
3.3.5 Wrocław Ołtaszyn – Podmiejski Suburban 50
3.3.6 Kraków Swoszowice – Podmiejski Suburban 58
3.3.7 Michałowice – Wiejski Rural 66
3.3.8 Wola Rzędzińska – Wiejski Rural 74
3.4 Podsumowanie 82

4. WNIOSKI 85

5. LITERATURA 86

1 WPROWADZENIE

Niniejszy raport został przygotowany na zlecenie Polskiej Izby Informatyki i Telekomunikacji PIIT, w ramach Zlecenia nr 1 do Umowy Ramowej zawartej w dniu 19 grudnia 2017r. pt. Analiza wykonalności wdrożenia usług w technologii 5G przy obecnych oraz zwiększonych normach dopuszczalnych poziomów promieniowania elektromagnetycznego.

Celem analizy jest zdiagnozowanie ewentualnych ograniczeń we wdrożeniu sieci radiowych w technologiach 4G oraz 5G w Polsce, ze szczególnym zwróceniem uwagi na tereny miejskie o gęstej zabudowie oraz wysokiej gęstości zaludnienia. Analiza uwzględnia charakterystykę rynku polskiego w tym liczbę operatorów bezprzewodowych sieci komórkowych, potencjalnie dostępne pasma częstotliwości (700 MHz, 2.6 GHz, 3.5-3.7 GHz), charakterystykę typowych obszarów wielkomiejskich oraz obszarów podmiejskich i wiejskich.

Niniejszy raport prezentuje wyniki Zadania B: Symulacja możliwości rozbudowy sieci telekomunikacyjnej w reprezentatywnych lokalizacjach w Polsce.

W ramach zadania został stworzony model symulacji rozkładów natężenia pola PEM przedstawiony w Rozdziale 2, na bazie którego wykonano stosowne oprogramowanie analityczne oraz wykonano symulacje rozkładów PEM na bazie aktualnych danych, które dostarczyli operatorzy sieci a także wykonano symulację rozbudowy infrastruktury w roku 2025 wykorzystując dane wynikające z wyników pracy przedstawionych w Raporcie dotyczącym Zadania A „Stworzenie modelu „zapotrzebowanie-podaż" w zakresie usług transmisji danych dla obszaru Polski oraz wskazanie głównych barier i potrzeb rozwojowych w perspektywie co najmniej do roku 2025"[7].

Na podstawie przeprowadzonych analiz oceniono obszary, w których konieczne będzie obsłużenie prognozowanego w najbliższych latach ruchu dla czterech typów środowisk: wielkomiejskiego, miejskiego, podmiejskiego i wiejskiego. Założono różne typy rozwoju sieci: uruchomienie emisji w dodatkowych pasmach częstotliwości (700 MHz, 2,5 GHz, 3,5-3,7 GHz), rozbudowa sieci poprzez jej zagęszczenie oraz zastosowanie mikro i pikokomórek. Wykonane analizy odnosiły się do obecnie obowiązujących norm promieniowania elektromagnetycznego. Dodatkowo wykonano przykładowe analizy dla poziomów promieniowania zalecanych w dokumentach międzynarodowych i stosowanych w krajach UE. Na tej podstawie sformułowano odpowiednie wnioski.

2 METODYKA OBLICZEŃ

W niniejszym rozdziale zaprezentowano metodykę symulacji rozkładów pól elektromagnetycznych (PEM) w pobliżu stacji bazowych BTS wykorzystywaną do celów modelowania wypadkowych rozkładów PEM pod kątem spełnienia wymagań ochrony środowiska oraz w kontekście analiz rozwoju sieci do docelowych sieci 5G. Metodyka symulacji PEM wykorzystywana została do analiz aktualnego stanu sieci jak i do symulacji wzrostu poziomu PEM wskutek rozwoju sieci w przyszłości.

W ramach symulacji możliwości rozbudowy sieci telekomunikacyjnej w reprezentatywnych lokalizacjach w Polsce wykonane były analizy rozkładu wypadkowych PEM w wytypowanych 4 wskazanych lokalizacjach (teren wielkomiejski, miejski, podmiejski i wiejski) w sytuacji aktualnej (stan na rok 2018) oraz docelowej (stan na rok 2025). W analizach wykorzystane zostały aktualne dane o obiektach nadawczych sieci wszystkich operatorów pozyskane od operatorów w wytypowanych obszarach (analizy odniesienia, wg stanu na 2018 rok). W przypadku sieci docelowej (2025 r.) zasymulowana została rozbudowa istniejącej infrastruktury sieci na podstawie wyników modelu popytowo-podażowego (wynik realizacji Zadania A). Istniejąca struktura sieci została uzupełniona o dodatkowe sektory/stacje i pasma radiowe wynikające z konieczności zaspokojenia potrzeb transmisyjnych związanych ze wzrostem ruchu.

2/1 METODYKA OBLICZEŃ PEM

(dla pojedynczego źródła)

Do obliczeń wykorzystywany jest model podstawowy punktowy źródła promieniowania, stosowany w Zaleceniu ITU-T K.70 [1] i normie PN-EN 50383 [2]. Model ten, dla strefy dalekiej promieniowania, zakłada, że antena nadawcza reprezentowana jest przez źródło punktowe, zlokalizowane w punkcie odpowiadającym środkowi elektrycznemu anteny, które posiada zdefiniowaną charakterystykę promieniowania anteny nadawczej.

W polu dalekim, dla fali płaskiej, relacja pomiędzy natężeniem pola elektrycznego E, pola magnetycznego H i gęstością mocy S określona jest wzorem (dodatek B Zalecenia, wzór B.2).

$$S = \frac{E^2}{Z_0} = H^2 \cdot Z_0 = \frac{P_{EIRP}}{4\pi R^2} \cdot F(\theta, \varphi)$$

(1)

W którym:

S	gęstość mocy równoważnej fali płaskiej w danym kierunku [W/m2]
P_{EIRP}	równoważna moc promieniowana izotropowo [W]
R	odległość od źródła promieniowania [m]
E	wartość skuteczna / średniokwadratowa (rms) natężenia pola elektrycznego [V/m]
H	wartość skuteczna / średniokwadratowa (rms) natężenia pola magnetycznego [A/m]
Z_0	Impedancja wolnej przestrzeni [Ω], równa $120\pi\,\Omega \approx 377\,\Omega$
$F(\theta, \varphi)$	znormalizowany zysk anteny nadawczej, wyznaczony numerycznie, dla danego kąta elewacji θ, z zakresu -90° - 90° oraz kąta azymutu φ, z zakresu 0° - 360°

Pole dalekie źródła promieniowania, wg teorii pola, określone jest dla punktów położonych w odległościach większych niż wartość dr, określonych zależnością:

$$d_r = \max\left(3\lambda, 2D^2/\lambda\right) \text{ [m]}$$

(2)

W którym:

λ	długość fali [m]
D	maksymalny wymiar liniowy anteny nadawczej [m]

W przypadku typowych anten panelowych stosowanych powszechnie w systemach telefonii komórkowej, wykorzystując informacje podane w Zaleceniu K.70 (01/2018) oraz w Zaleceniu ITU-T K.91 [3] a także w normie PN-EN 50383 [2] można uznać, że podane zależności dla modelu źródła punktowego zapewniają także dobre wyniki dla wartości d_m definiującej strefę pola dalekiego (strefa promieniowania) w przypadku tych anten:

$$d_m = \max\{0{,}6 * \frac{D^2}{\lambda}, 5D, 5\lambda\} \text{ [m]}$$

(3)

Gdzie:

λ	długość fali [m]
D	maksymalny wymiar liniowy anteny nadawczej [m]

Wartość ta d_m wg (3) zostanie wykorzystana w tworzonym oprogramowaniu do modelowania pól w strefie dalekiej.

W obszarze pola bliskiego indukcyjnego, definiowanego przez odległość d_t [m] od źródła promieniowania, wartość natężenia pola nie jest wyznaczana.

$$d_t = 0.62 * D\sqrt{\frac{D}{\lambda}} \text{ [m] (wg teorii)} \quad (a)$$

$$d_t = \max\{\frac{D^2}{4\lambda}, D, \lambda\} \text{ [m] (wg PN-EN 50383 [2])} \quad (b)$$

(4)

Gdzie:

λ	długość fali [m]
D	maksymalny wymiar liniowy anteny nadawczej [m]

W oprogramowaniu zostanie wykorzystana wartość wg normy PN-EN 50383 (4b).

Dla punktów, dla których odległość od źródła promieniowania znajduje się w zakresie od d_t do d_m, czyli dla tzw. strefy pośredniej (pola bliskie w strefie promieniowania – przejściowej pomiędzy polem bliskim indukcyjnym a polem dalekim) przyjmuje się tzw. model cylindryczny, zastosowany w oprogramowaniu do Zalecenia ITU-T K.70 (EMF estimator) oraz opisanym w normie PN-EN 50383, zrealizowany w ten sposób, że charakterystyka promieniowania anteny w wiązce głównej anteny analizowana jest za pomocą zależności *(5)* i *(6)*, a poza wiązką główna ma wartość stałą na poziomie maksimum listków bocznych (lub max. charakterystyki poza wiązką główną). Oznacza to możliwe lekkie przeszacowanie poziomu natężenia pola, ale możliwie najlepiej uwzględnia rzeczywistą charakterystykę promieniowania i pozwala jednocześnie poszerzyć obszar analiz o część strefy bliskiej, w którym to wyniki można uznać za prawidłowe (a więc bez niedoszacowania). Dla odległości mniejszych niż d_t (w polu bliskim indukcyjnym) wartość natężenia pola pozostaje nieokreślona i nie będzie wyznaczana.

Poniższe zależności przedstawiają przestrzenną maksymalną ekwiwalentną gęstość mocy w przestrzeni cylindrycznej wokół anteny w wiązce głównej [wg 6]:

Dla anten dookólnych:

$$\hat{S}(r) = \frac{P_{av}}{\pi \cdot r \cdot L \cdot cos^2(\gamma) \cdot \sqrt{1 + \left(2\frac{r}{r_0}\right)^2}}, \; r_0 = \frac{1}{2} D_A L\, cos^2(\gamma)$$

(5)

Dla anten sektorowych:

$$\hat{S}(r, \varphi) = \frac{2\, P_{av}\, 2^{-\left(2\frac{\varphi}{\Phi_{3dB}}\right)^2}}{\Phi_{3dB} \cdot r \cdot L \cdot cos^2(\gamma) \cdot \sqrt{1 + \left(2\frac{r}{r_0}\right)^2}}, \; r_0 =$$

$$= \frac{\Phi_{3dB}}{12} D_A L\, cos^2(\gamma)$$

(6)

Gdzie $\varnothing$ jest kątem azymutu dla anten sektorowych $-\pi < \varnothing < \pi$. Zakłada się, że maksymalny zysk anteny odnosi się do $\varnothing$ = 0 rad. Odległość r wyznaczana jest od środka anteny.

P_{av}	moc dostępna na wejściu anteny (W)
L	wymiar fizyczny anteny, (oznaczany także jako D) (m)
D_A	zysk maksymalny anteny (bezjednostkowy)
Φ_{3dB}	szerokość wiązki antenowej (3 dB beamwidth) (rad)
γ	kąt elektrycznego pochylenia wiązki głównej anteny (rad)

Zależności *(5)* i *(6)* będą wykorzystane w oprogramowaniu do modelowania rozkładów pól w strefie bliskiej promieniowania (między dt i dm) w wiązce głównej anteny.

2/1/1 CHARAKTERYSTYKI ANTEN

Charakterystyka anteny reprezentowana jest przez funkcję $f(\theta,\varphi)$, zależną od kąta azymutu oraz kąta elewacji . Różnice w poziomie promieniowania pomiędzy głównym kierunkiem i innymi kierunkami dochodzą do 40 dB i więcej. W praktyce anteny nadawcze nie są izotropowe i znane są przeważnie tylko dwa przekroje promieniowania: w płaszczyźnie poziomej (HRP) dla maksymalnego kąta elewacji θ_{max}

$$H(\varphi) = f(\theta_{max}, \varphi)$$

(7)

oraz pionowej (VRP) dla maksymalnego kąta azymutu φ_{max}

$$V(\theta) = f(\theta, \varphi_{max})$$

(8)

Zgodnie z Zaleceniem ITU-R BS.1195 [4], znormalizowana funkcja charakterystyki promieniowania F(θ,φ) wyznaczana jest z zależności:

$$F(\theta, \varphi) = H(\varphi) \cdot V(\theta)$$

(9)

Gdzie:

$H(\varphi)$	znormalizowana charakterystyka pozioma dla kąta elewacji o maksymalnym zysku
$V(\theta)$	znormalizowana charakterystyka pionowa dla kąta azymutu o maksymalnym zysku

Z uwagi na to, że w według polskich przepisów odnośnie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych [5], dla zakresu częstotliwości od 300 MHz do 300 GHz, jako parametr fizyczny stosuje się składową elektryczną pola elektromagnetycznego o wartości 7 V/m lub równoważną wartość gęstości mocy równą 0.1 W/m^2, do obliczeń wybrano analizę wartości natężenia pola elektrycznego. Wartość skuteczna natężenia pola elektrycznego E, w V/m, dla danego punktu w przestrzeni wyznaczana jest, po przekształceniu wzoru (1), z zależności:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P_{EIRP} \cdot H(\varphi) \cdot V(\theta)}}{R}$$

(10)

Gdzie:

P_{EIRP}	równoważna moc promieniowana izotropowo [W]
R	odległość od źródła promieniowania [m]
$H(\varphi)$	znormalizowane wzmocnienie anteny nadawczej w płaszczyźnie poziomej, wyznaczane numerycznie, dla danego kąta azymutu φ z zakresu 0° - 360°, przy czym kąt azymutu liczony jest od kierunku północnego, który wyznaczony jest przez dodatnią półoś OY układu współrzędnych kartezjańskich (prostokątnych)
$V(\theta)$	znormalizowane wzmocnienie anteny nadawczej w płaszczyźnie pionowej, wyznaczane numerycznie, dla danego kąta elewacji θ z zakresu -90° — 90°, przy czym wartość dodatnia kąta elewacji liczona jest dla kierunku w dół (downward)

W analizach wykorzystane zostaną szczegółowe charakterystyki promieniowania dostarczone dla każdego obiektu nadawczego przez poszczególnych operatorów w formacie .msi.

2/2

WYPADKOWE NATĘŻENIE POLA ELEKTRYCZNEGO PEM

(od wielu źródeł)

Wypadkowe natężenie pola elektrycznego w danym punkcie, pochodzącego od N systemów nadawczych zlokalizowanych w różnych punktach, wyznaczane jest jako pierwiastek kwadratowy z sumy kwadratów natężeń pól pochodzących od każdego pojedynczego systemu:

$$E_w = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} E_i^2}$$

(11)

W przypadku indukcyjnej strefy pola bliskiego w danej lokalizacji, w przypadku występowania kilku różnych emisji z zadanej lokalizacji wypadkowe natężenie pola elektrycznego nie jest wyznaczane dla maksymalnej wartości odległości tej strefy tj. max. d_t wyznaczonej dla wszystkich N systemów nadawczych.

$$max_{i=1}^{N}(d_{t,i})$$

(12)

2/3

WARTOŚCI REFERENCYJNE

(parametrów używanych w analizach)

W celu realizacji analiz rozkładów PEM wokół stacji konieczne jest przyjęcie domyślnych referencyjnych wartości częstotliwości *(f)* oraz wymiarów fizycznych anten *(D)*. Poniżej przedstawiono proponowane wartości do celów realizacji niniejszej pracy.

SYSTEM	F [MHZ]	WYMIAR ANTENY D [M]
GSM 900	942,5	2,4
GSM 1800	1842,5	1,5
UMTS 900	947,5	2,4
UMTS 2100	2140	1,2
LTE 700	773	2,6
LTE 800	806	2,4
LTE 1800	1842,5	1,5
LTE 2100	2140	1,2
LTE 2600	2655	0,8
5G 3600	3600	0,6
5G 700	773	2,6
5G 2600	2655	0,8

$f_{śr}$	częstotliwość referencyjna przyjęta do analiz dla danego systemu i pasma (downlink)
D	wymiar referencyjny anteny D przyjęty do analiz dla danego systemu i pasma

3 SYMULACJE WYPADKOWEGO PEM

Analizę prognozowanej sytuacji w roku 2025 wykonano dla następujących przypadków przedstawionych w Raporcie Zadania A [6]:

- dołożenie potencjalnych nowych warstw nośnych: 700 MHz, 2.5 GHz, 3.5-3.7 GHz do istniejących obiektów;
- zagęszczenie sieci: poprzez zwiększenie liczby stacji bazowy dwukrotnie;
- analiza sytuacji stosowania wyłącznie mikro i pikokomórek.

W analizach tych odniesiono się zarówno do limitów poziomów PEM obowiązujących obecnie w Polsce a także dokonano wstępnej oceny sytuacji, jaka miałaby miejsce w przypadku zmiany tych limitów do poziomów zalecanych w wymaganiach europejskich [6].

Z analiz wykonanych w Raporcie A [7] wynika, że w wariancie utrzymania obecnych zasobów częstotliwości, a także w wariancie dołożenia tylko warstwy nośnej 700 MHz, nie jest możliwa rozbudowa sieci komórkowej, zapewniająca przeniesienie prognozowanego wymaganego ruchu w roku 2025r.. W obu tych przypadkach występuje brak wystarczających zasobów widma radiowego pozwalających na stosowne przeniesienie ruchu. W związku z tym nie wykonywano szczegółowych analiz rozkładu pola PEM dla tych przypadków, gdyż niezależnie od ich wyników niemożliwe byłoby zapewnienie przeniesienia ruchu oczekiwanego w roku 2025 przy wykorzystaniu wyłącznie warstwy 700 MHz ze względu na brak wymaganej pojemności sieci.

W odniesieniu do bardzo gęstej sieci (tylko mikro i pikokomórek), umieszczanych np. na lampach ulicznych (rozwiązanie analizowane obecnie w Europie), konieczne byłoby po pierwsze zapewnienie bardzo gęstej struktury stacji nadawczej (stacja BTS np. co 20-30 m) umożliwiającej uzyskanie odpowiedniego pokrycia analizowanego obszaru zasięgiem sieci. Na podstawie przeglądu dostępnych obiektów i infrastruktury w obszarach wiejskich i podmiejskich (zabudowania, lampy uliczne) można stwierdzić, że tereny te mają niewystarczającą infrastrukturę, która umożliwiłaby tak gęste ulokowanie nadajników stąd nie jest możliwa realizacja takich sieci w tych obszarach. Tak gęsta infrastruktura stacji nadawczych mogłaby powstać co najwyżej w obszarach miejskich i wielkomiejskich, gdzie występują stosunkowo gęsto liczne obiekty budowlane i infrastrukturalne. Analizy przeprowadzone dla tych obszarów wskazują na konieczność zapewnienia w 2025 roku w warstwie mikro od 90 do 135 MHz pasma dostępnego w różnych zakresach częstotliwości (od 700 MHz do 3,6 GHz). Oznacza to konieczność umieszczenia na każdej stacji przynajmniej 9 emisji, każda o szerokości pasma 10 MHz. Zakładając umieszczenie takiej stacji na typowej lampie ulicznej (wysokość 6 - 10 m.n.p.t.) i zakładając wartość jej mocy na poziomie 10 W (40 dBm) uzyskujemy na wysokości 2 m.n.pt. (poziom pomiarowy na chodniku) wartość wypadkową pola w zakresie 36,74 V/m – 25,98 V/m (Tabela 10), która znacząco przekracza dopuszczalny obecnie w Polsce limit (7V/m). Osiągnięcie wartości 7 V/m wymagałoby umieszczenia każdej takiej stacji bardzo wysoko (np. >40m) i jednocześnie bardzo gęsto, co jest nierealne w aktualnych warunkach terenowych a także zmniejszenie jej mocy promieniowanej EIRP. Zmniejszanie mocy stacji bazowych do takiego poziomu, który pozwoliłoby na spełnienie wymaganego poziomu PEM równego 7 V/m (EIRP < 25 dBm) nie

pozwoliłoby na uzyskanie satysfakcjonującego zasięgu sieci komórkowej, zwłaszcza wewnątrz budynków i w miejscach cienia radiowego. Powoduje to, że realizacja sieci komórkowej składającej się wyłącznie z mikro i pikokomórek jest nierealizowalna technicznie przy aktualnych limitach poziomów PEM.
Można przy tym zauważyć, że podniesienie limitu PEM do wartości europejskich pozwoliłoby na umieszczanie stacji bazowych nawet na stosunkowo niskiej wysokości nad miejscami dostępnymi dla ludności, także np. na lampach ulicznych o wysokości 6 m n.p.t.

EIRP [DBM]	HN (M.N.P.T)	EW [V/M]
40	6	36,74
40	8	30,00
40	10	25,98
40	12	23,23
40	14	21,21
40	16	19,64
40	20	17,32
40	30	13,88
40	40	11,92
40	50	10,60
36	6	23,18
36	8	18,92
36	10	16,39
36	12	14,66
36	14	13,38
36	16	12,39
36	20	10,92
36	30	8,76
36	40	7,52
36	50	6,69
30	6	11,61
30	8	9,48
30	10	8,21
30	12	7,35
30	14	6,70
25	6	6,53

TABELA 1
Wypadkowe wartości pola Ew w obszarze dostępnym dla ludności (0-2 m. n.p.t.) od sieci nadajników (9 kanałów po 10 MHz pasma) w zależności od mocy stacji EIRP i wysokości zawieszenia anteny mikro i pikokomórki Hn.

3/1

OPIS REALIZOWANYCH SCENARIUSZY

W ramach Zadania B zrealizowana trzy scenariusze rozbudowy sieci, zgodnie z założeniami opracowanymi w ramach Zadania A [7]:

SCENARIUSZ 1 – stan aktualny 2018. W ramach scenariusza przeanalizowano, czy istnieje możliwość wystąpienia przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola dla szczegółowych danych sieci przekazanych przez operatorów w aktualnym stanie sieci.

SCENARIUSZ 2 – stan 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji. Scenariusz 2 zakładał dołożenie emisji 5G dla istniejących obiektów nadawczych co zostało zrealizowane poprzez dodanie do symulacji kolejnych sektorów. Przyjęto, że zwiększenie szerokości pasma o 10 MHz odpowiada dodaniu trzech sektorów o identycznej mocy EIRP dla każdego obiektu nadawczego, a zwiększenie pasma o 5 MHz odpowiada dodaniu trzech sektorów dla których moc na azymucie maksymalnego promieniowania obniżona jest o 3dB.

	WARSZAWA PKIN	KRAKÓW STARE MIASTO	WARSZAWA WOLA	BYDGOSZCZ	WROCŁAW	KRAKÓW SWOSZOWICE	MICHAŁOWICE	WOLA RZĘDZIŃSKA
5G 700	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz
5G 2600	–	–	–	–	–	–	20 MHz	20 MHz
5G 3600	65 MHz	40 MHz	25 MHz	25 MHz	40 MHz	20 MHz	40 MHz	40 MHz

SCENARIUSZ 3 – stan 2025 po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych. Scenariusz 3 zakładał dołożenie emisji 5G oraz zagęszczenie obiektów nadawczych. Obiekty na danym obszarze zostały powielone a następnie rozmieszczone w obszarze analizy z uwzględnieniem zabudowy terenu. Przyjęto, że maszt na którym zawieszony jest panel antenowy w każdym przypadku ma wysokość 4 m.

	WARSZAWA PKIN	KRAKÓW STARE MIASTO	WARSZAWA WOLA	BYDGOSZCZ	WROCŁAW	KRAKÓW SWOSZOWICE	MICHAŁOWICE	WOLA RZĘDZIŃSKA
5G 700	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz
5G 2600	–	–	–	–	–	–	20 MHz	20 MHz
5G 3600	25 MHz	10 MHz	5 MHz	5 MHz	10 MHz	– MHz	5 MHz	5 MHz

Dane i parametry stacji dodatkowych pochodziły z modelu opracowanego w ramach Zadania A.

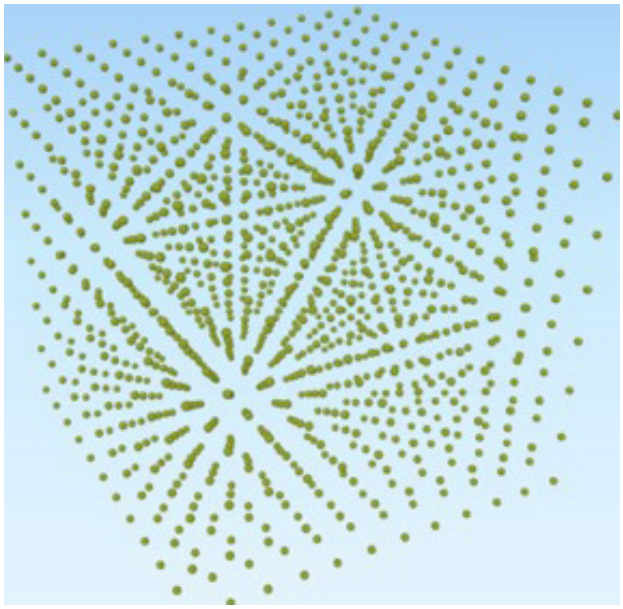
3/2

METODYKA

Pierwszym etapem analizy było wyznaczenie wypadkowej wartości PEM z wykorzystaniem szczegółowych danych o sieciach nadawczych dostarczonych przez operatorów. Do analiz przyjęto stacje nadawcze znajdujące się w obszarze o wymiarach 2x2 km, natomiast szczegółowa analiza poziomu wypadkowego natężenia pola elektrycznego PEM uwzględniająca oddziaływanie wszystkich stacji została wykonana w obszarze 1x1 km, tak aby uwzględnić także wpływ stacji leżących poza obszarem analiz 1x1 km. Poszczególne obszary szczegółowej analizy zostały przedstawione w rozdziałach przedstawiających wyniki. Obliczenie zostały prowadzone w punktach z dokładnością 0,5 m dla osi pionowej oraz poziomej (minimalna wysokość analizowanej warstwy została wyznaczono na podstawie najniższego punktu terenu w analizowanym obszarze, natomiast najwyższa warstwa została wyznaczona jako najwyższy punkt (najwyższy budynek lub najwyżej położony teren) w analizowanym obszarze.

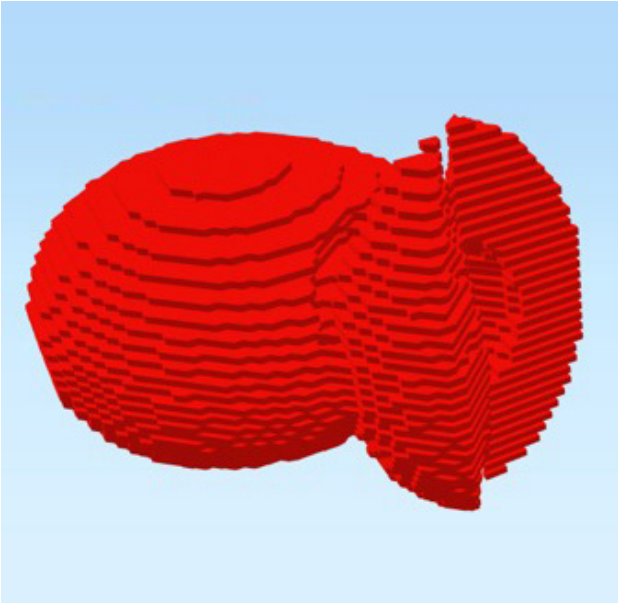
Wynikiem analizy są wygenerowane dwa rodzaje danych wyjściowych:

- przestrzenna siatka punktów dla analizowanego obszaru zawierająca wypadkowe natężenia pola pochodzące od wielu źródeł (obiektów nadawczych). W części raportu zawierającej wyniki definiowane jako rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t,
- warstwy na zadanym przedziale wysokości dla wartości natężenia pola przekraczającej 7V/m (lub przyjętej wartości 36,37 V/m w przypadku norm europejskich – wartość dla pasma 700 MHz), do weryfikacji poprawności modelowania systemów antenowych oraz wstępnej weryfikacji obszarów potencjalnych przekroczeń. W części raportu zawierającej wyniki definiowane jako rzut z góry po wszystkich wysokościach.



RYSUNEK 1

Przestrzenny rozkład natężenia pola (rozdzielczość 0,5m oś pionowa, 0,5 m oś pozioma)



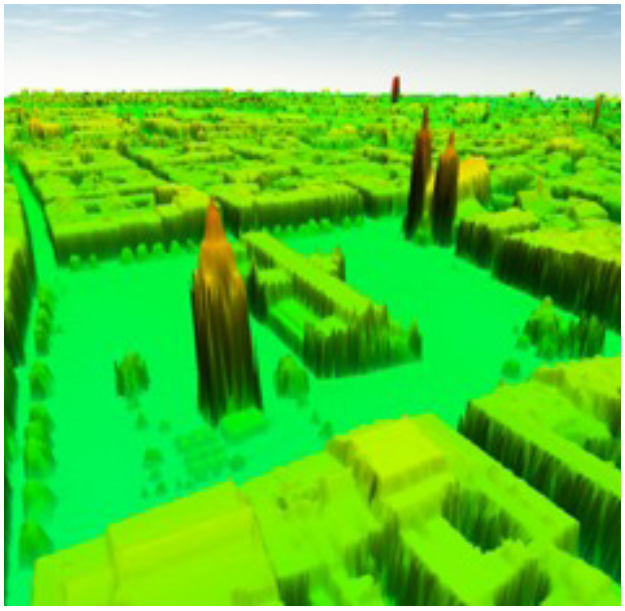
RYSUNEK 2

Przykładowy przestrzenny wynik rozkładu natężenia pola (rozdzielczość 0,5 m oś pionowa, 0,5 m oś pozioma)

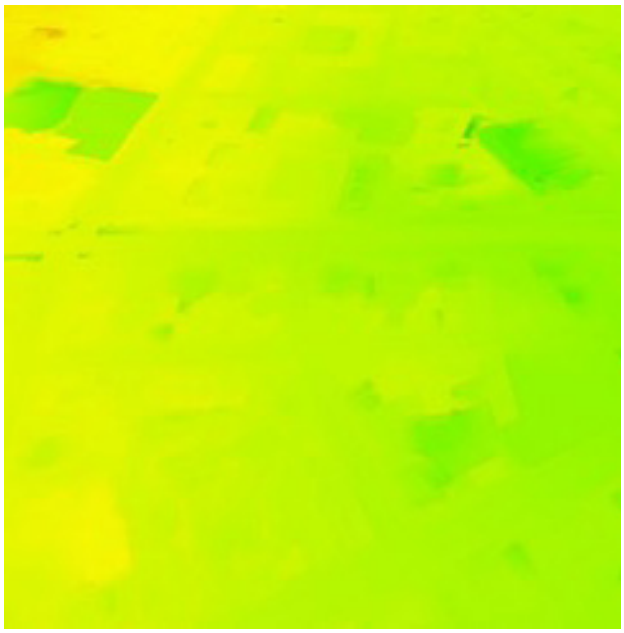
Uzyskane dane w oprogramowaniu wytworzonym poprzez Instytut łączności wymagały dodatkowej analizy przestrzennej zawierającej dane mapowe odzwierciedlające rzeczywiste środowisko/ukształtowanie analizowanego obszaru.

W analizie szczegółowej (obszar 1x1 km) zostały wykorzystane do tego celu dokładne dane mapowe wytworzone przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej CODGIK Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii GUGIK.
W analizach wykorzystano dwie kategorie zasobów mapowych:

- NUMERYCZNE MODELE TERENU (NMT) – zasoby mapowe reprezentujące wysokości samego terenu [m n.p.m] bez danych wysokościowych dotyczących pokrycia terenu (np. lasy, budynki), rozdzielczość 1x1 mm,
- NUMERYCZNE MODELE POKRYCIA TERENU (NMPT) – zasoby mapowe reprezentujące łączną wysokość terenu wraz z wysokością pokrycia, rozdzielczość 0,5x0,5 m.

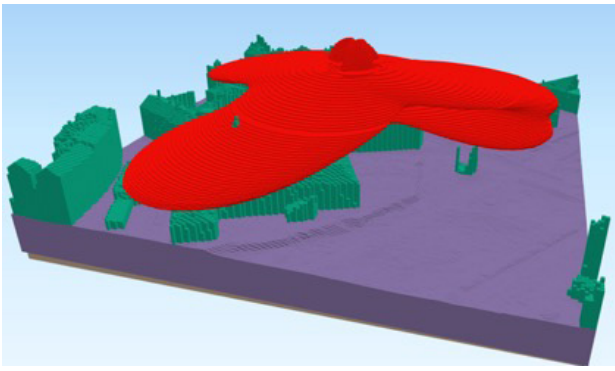


RYSUNEK 3
Wizualizacja przykładowych zasobów mapowych NMPT dla części obszaru Kraków Stare Miasto (pokrycie)



RYSUNEK 4
Wizualizacja przykładowych zasobów mapowych NMT dla części obszaru Kraków Stare Miasto (teren)

W kolejnym etapie wykonano kalibrację przestrzenną uzyskanych wyników obliczeń z zasobami mapowymi, mającą na celu prawidłowego osadzenia przestrzennego otrzymanych wyników w zasobach mapowych NMT oraz NMPT.
Na rysunku nr 5 przedstawiono wizualizację warstwicowego przestrzennego rozkładu natężenia pola wykorzystywanego do wstępnej identyfikacji obszarów, w których mogą wystąpić potencjalne przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola.

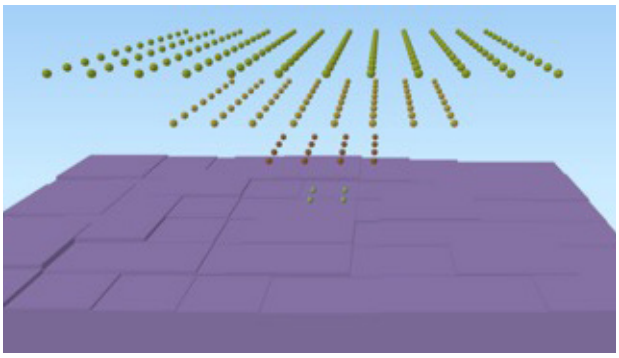


RYSUNEK 5
Wizualizacja warstwicowego przestrzennego rozkładu natężenia dla części obszaru Kraków Stare Miasto

Dla ośmiu obszarów przeanalizowano oraz przefiltrowano otrzymane przestrzenne siatki rozkładu natężenia pola pod kątem spełnienia następujących warunków :

- wypadkowa wartość natężenia pola powyżej 7 V/m (lub 36,37 V/m),
- wysokość punktu w przedziale 0-2 m n.p.t. (przestrzeń dostępna dla ludności wynikająca z norm pomiarów PEM).
- punkt znajduje się w ogólnodostępnej przestrzeni (usunięto punkty znajdujące się w budynkach).

Wynikiem przeprowadzonej filtracji jest wielowymiarowy zbiór punktów. W celu oszacowania procentowego udziału możliwych (wynikających z analiz) przekroczeń w analizowanym obszarze przyjęto dowolny punkt w osi pionowej z zakresu 0-2 m n.p.t.



RYSUNEK 6
Wizualizacja warstwicowego przestrzennego rozkładu natężenia pola warstwy z przedziału 0-2 m n.p.t.

3/3 WYNIKI ANALIZ

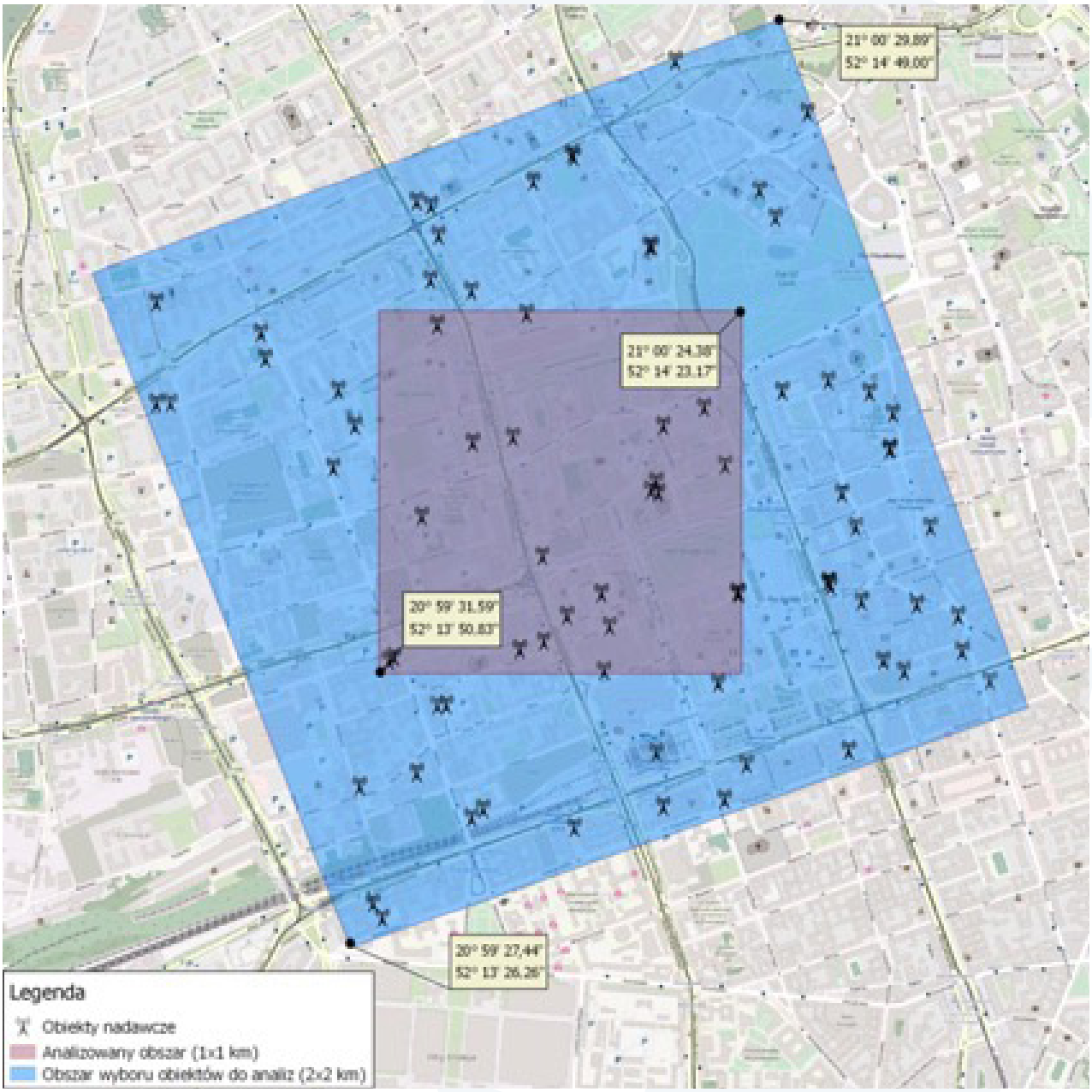
W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki analiz symulacyjnych rozkładu natężenia pola w ośmiu lokalizacjach (po dwa dla danego typu terenu: wielkomiejski, miejski, podmiejski, wiejski) dla scenariuszy opracowanych w ramach zadania A [7]. Dla każdego z obszarów przedstawiono mapę zawierającą rzut z góry po wszystkich wysokościach oraz rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.. Dodatkowo przenalizowano obszary pod kątem możliwości wystąpienia przekroczeń natężenia pola zgodnie z zaleceniami europejskimi. W przypadku potencjalnego wystąpienia przekroczenia sporządzono odpowiednia mapę.

Sporządzono również dla każdego obszaru oraz scenariusza tabelę przedstawiająca wartość procentową możliwych (symulowanych) przekroczeń w odniesieniu do analizowanego obszaru. Do obliczeń przyjęto liczbę punktów znajdujących się w obszarze z wyłączeniem zabudowy tego obszaru.

3 / 3 / 1

WARSZAWA PKiN –WIELKOMIEJSKI

(DenseUrban)



RYSUNEK 7

Wizualizacja przykładowych zasobów mapowych NMPT dla części obszaru Kraków Stare Miasto (pokrycie)

TABELA 2

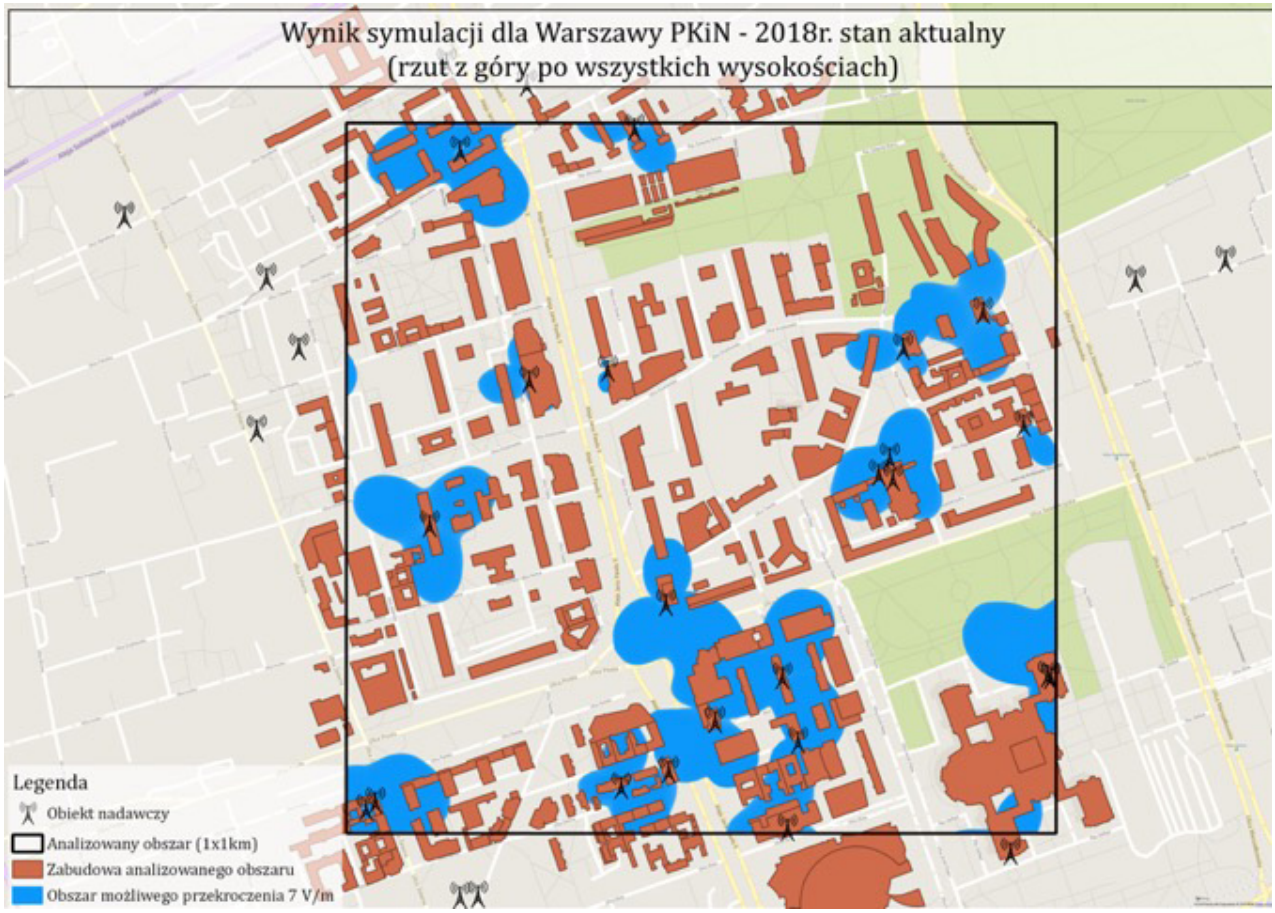
Wartość procentowa wyników symulacji możliwych przekroczeń dopuszczalnego natężenia pola dla obszaru Warszawa PKIN w zależności od analizowanego scenariusza rozbudowy sieci.

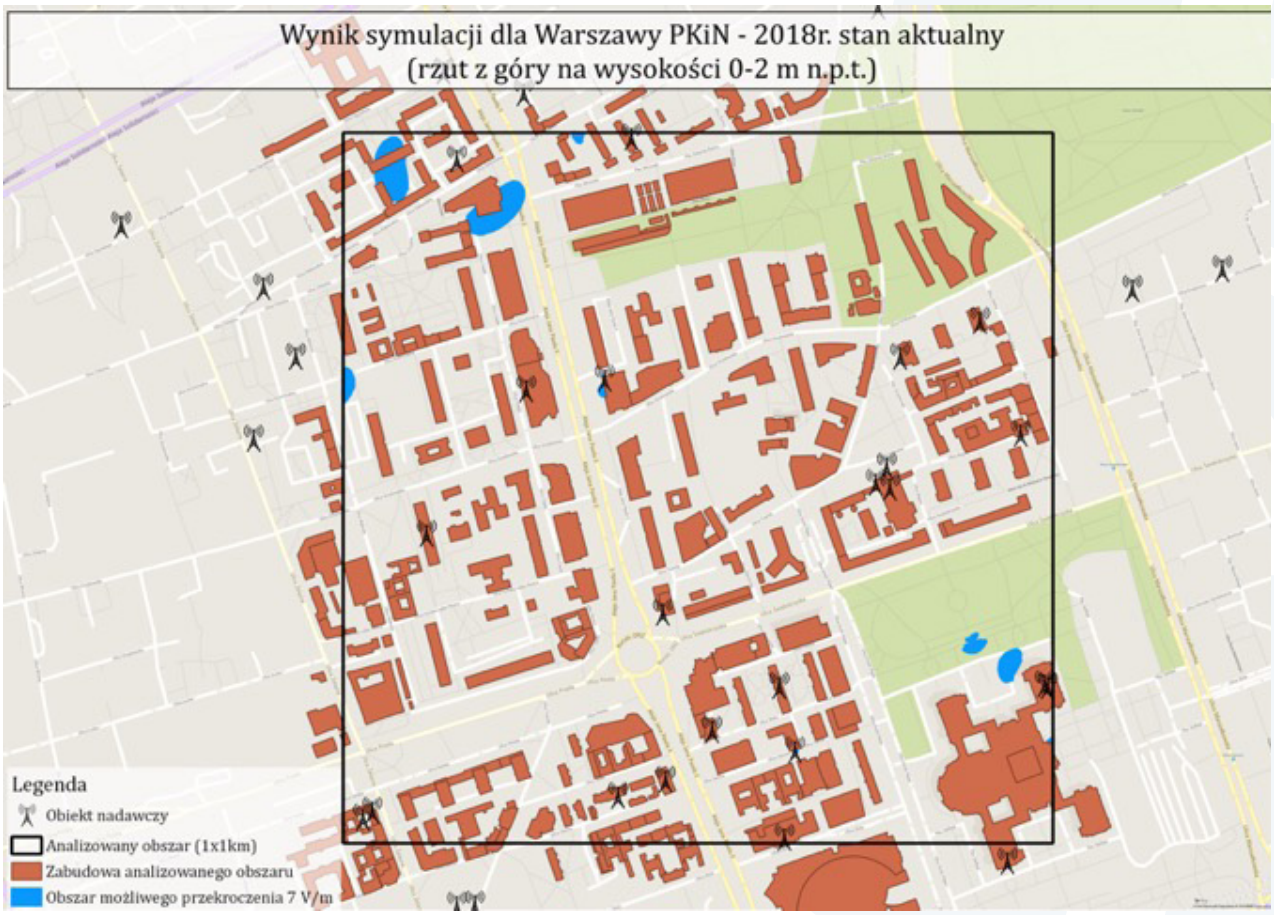
	STAN AKTUALNY 2018	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m	0,9%	27,3%	69,68%
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m	0%	0%	0%

3 / 3 / 1 / 1

WARSZAWA PKiN –WIELKOMIEJSKI

(DenseUrban, stan aktualny 2018)

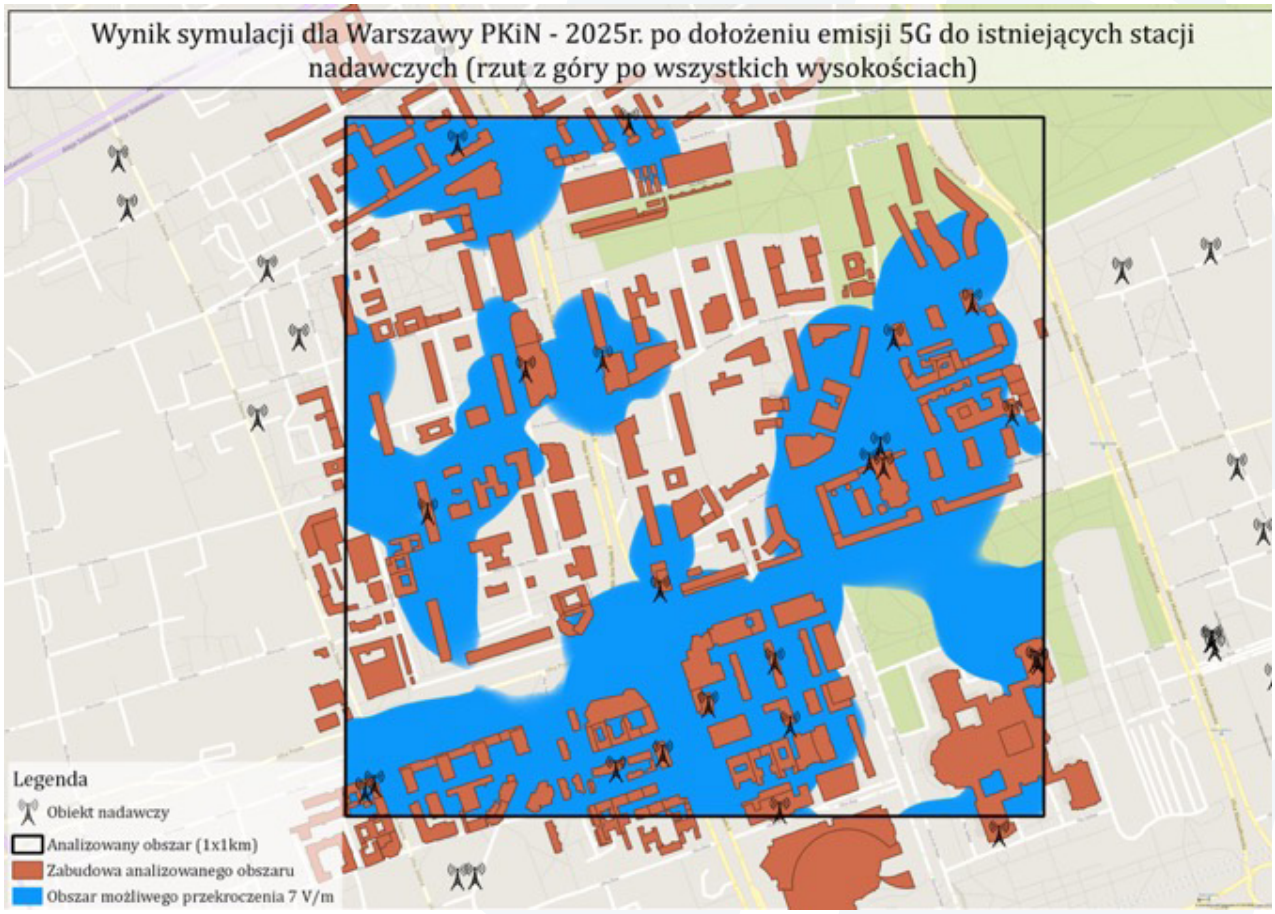


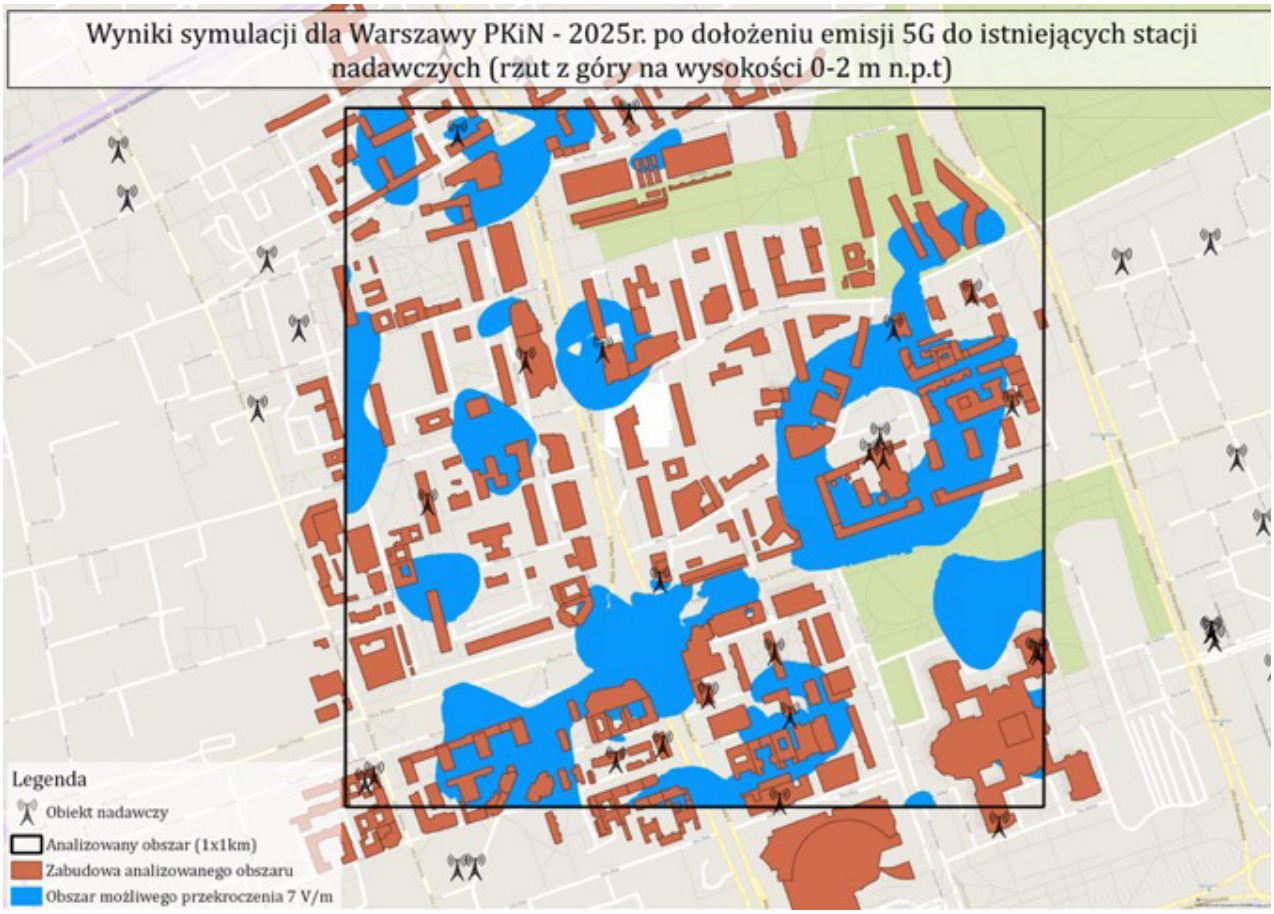

Wynik symulacji dla Warszawy PKiN - 2018r. stan aktualny
(rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

3 / 3 / 1 / 2

WARSZAWA PKiN –WIELKOMIEJSKI

(DenseUrban, (stan 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych)

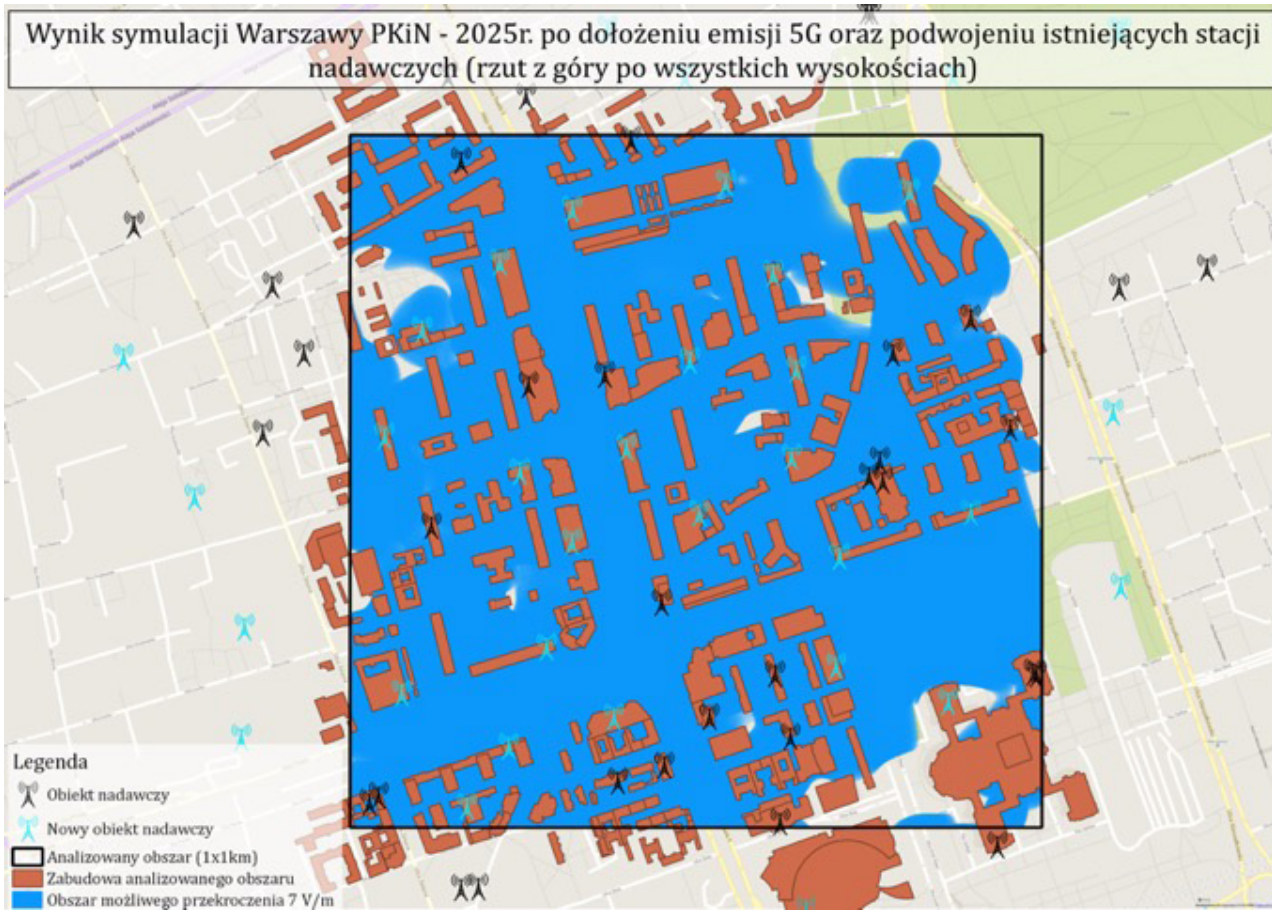


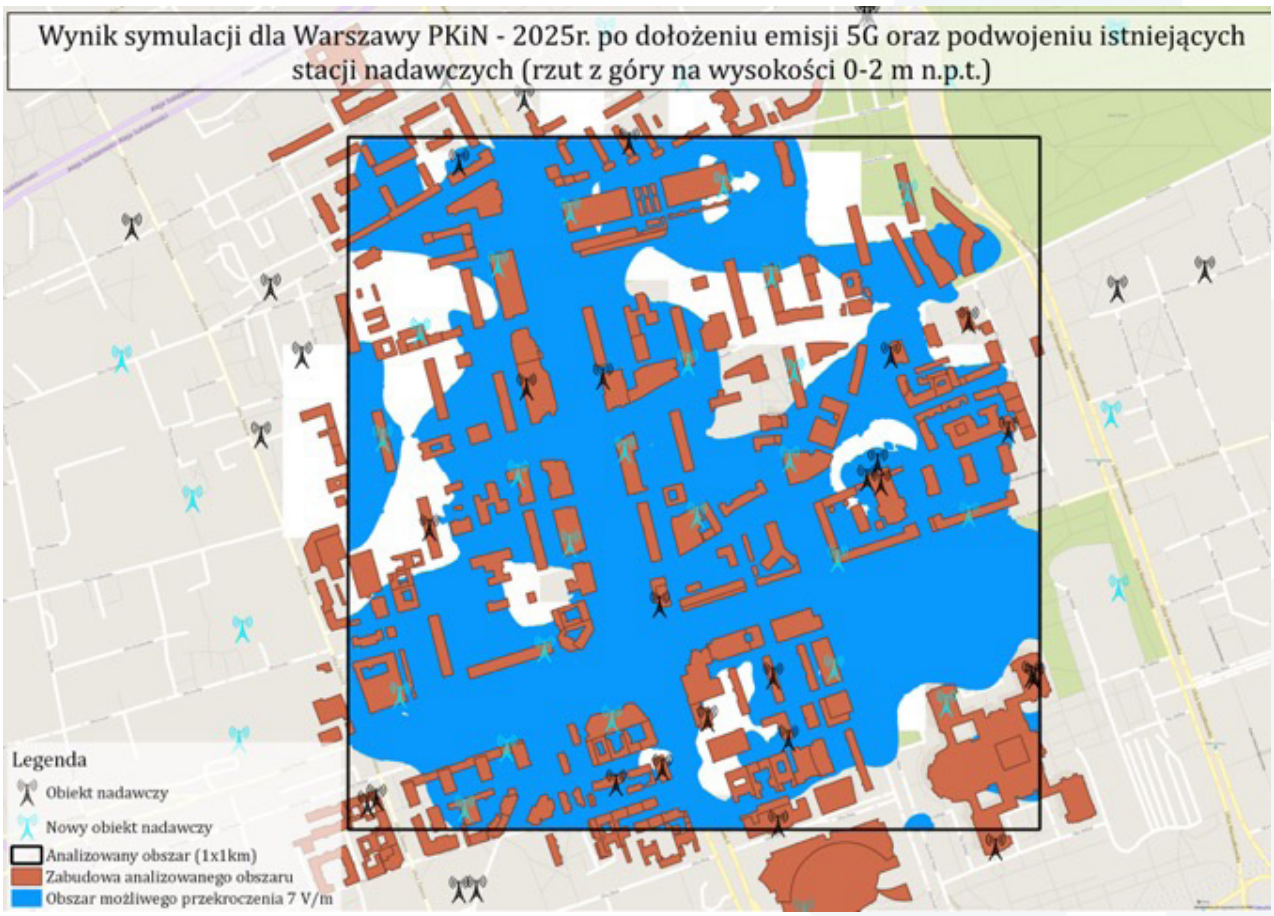

Wyniki symulacji dla Warszawy PKiN - 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

3 / 3 / 1 / 3

WARSZAWA PKiN –WIELKOMIEJSKI

(DenseUrban, stan 2025 po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych)

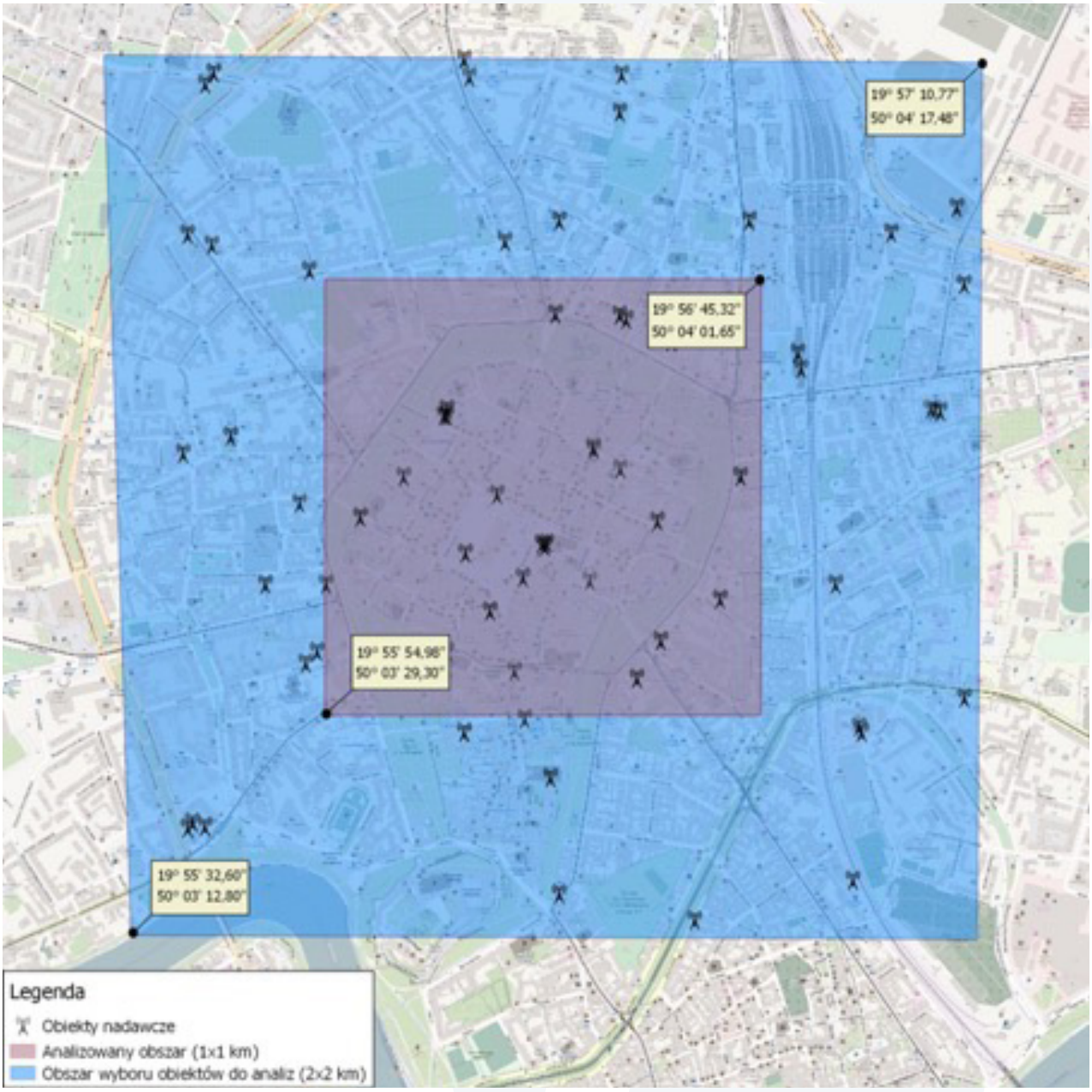



Wynik symulacji dla Warszawy PKiN - 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Nowy obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

3 / 3 / 2

KRAKÓW STARE MIASTO – WIELKOMIEJSKI

(DenseUrban)



RYSUNEK 8 (str. 24)
Obszary oraz stacje przyjęte do analizy

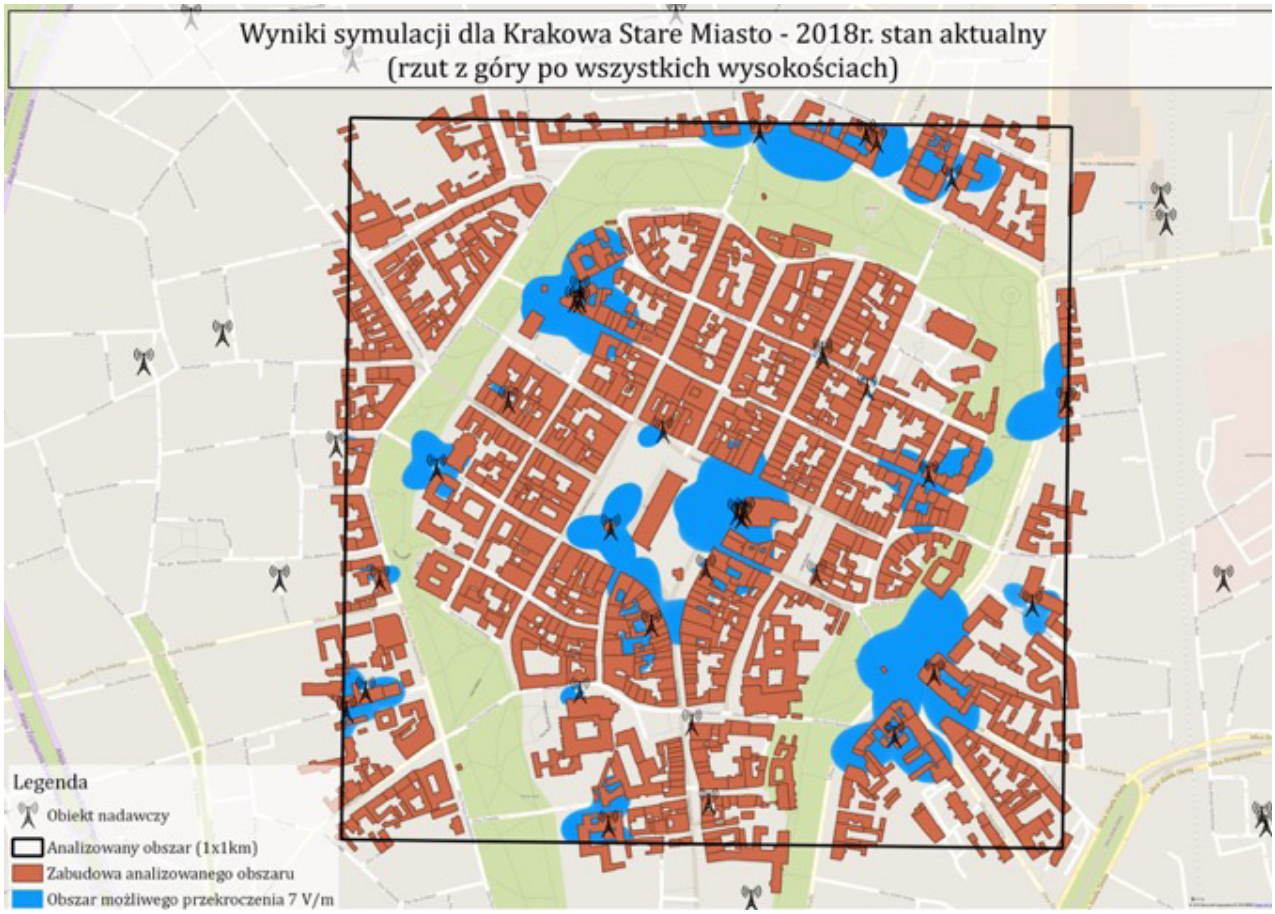
TABELA 3
Wartość procentowa wyników symulacji możliwych przekroczeń dopuszczalnego natężenia pola dla obszaru Kraków Stare Miasto w zależności od analizowanego scenariusza rozbudowy sieci.

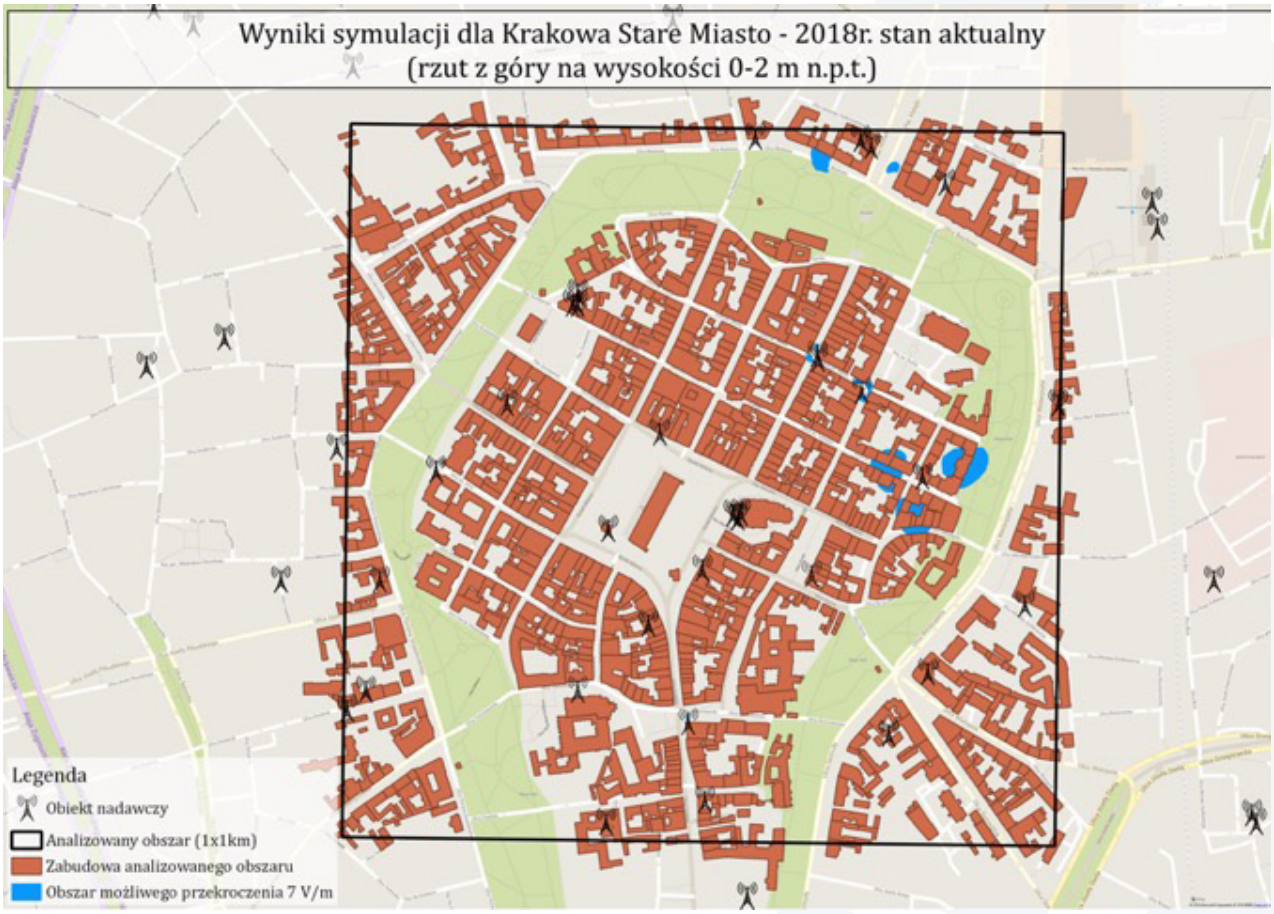
	STAN AKTUALNY 2018	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m	0,6%	43,9%	68,68%
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m	0%	0,1%	0,05%

3 / 3 / 2 / 1

KRAKÓW STARE MIASTO – WIELKOMIEJSKI

(DenseUrban, stan aktualny 2018)

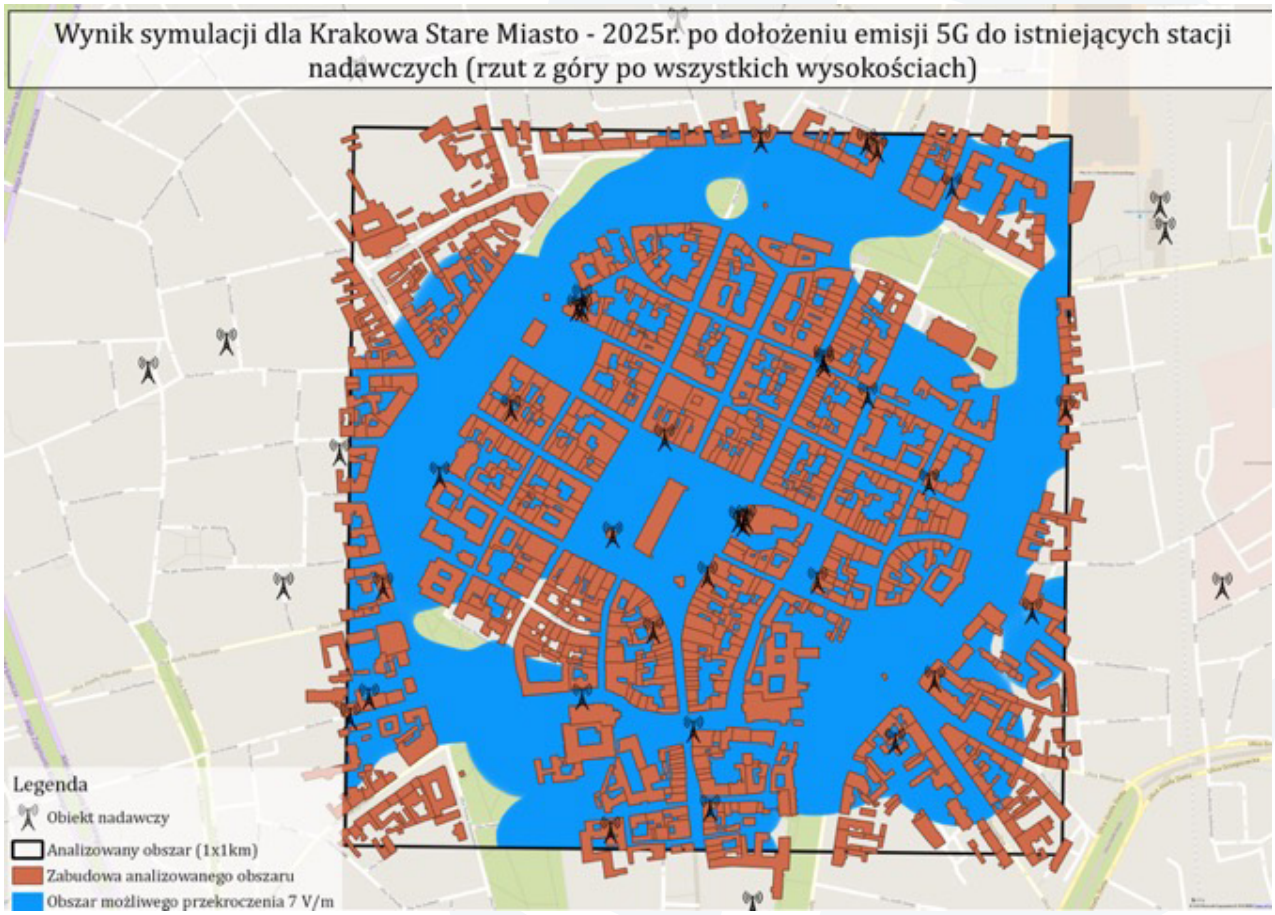


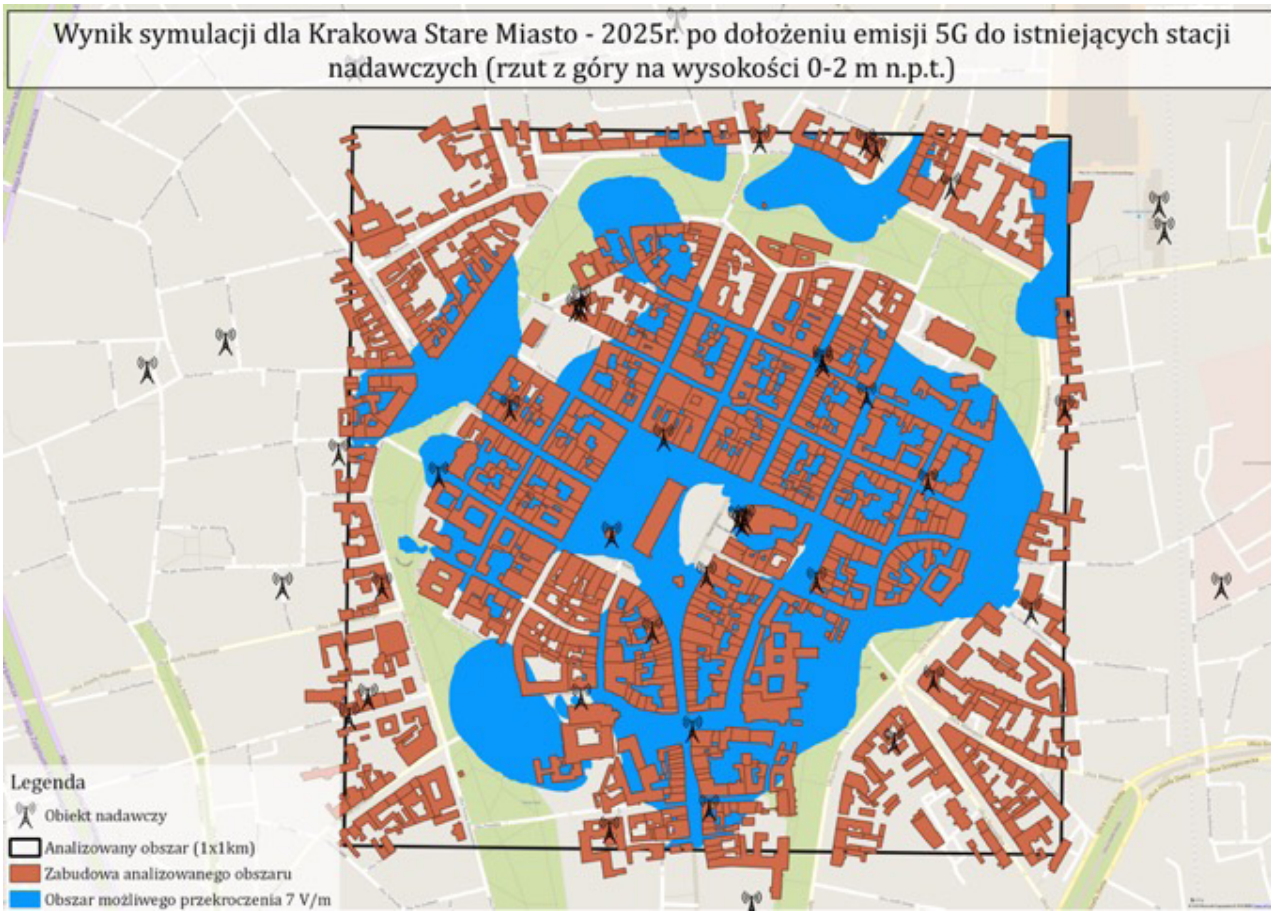

Wyniki symulacji dla Krakowa Stare Miasto - 2018r. stan aktualny
(rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

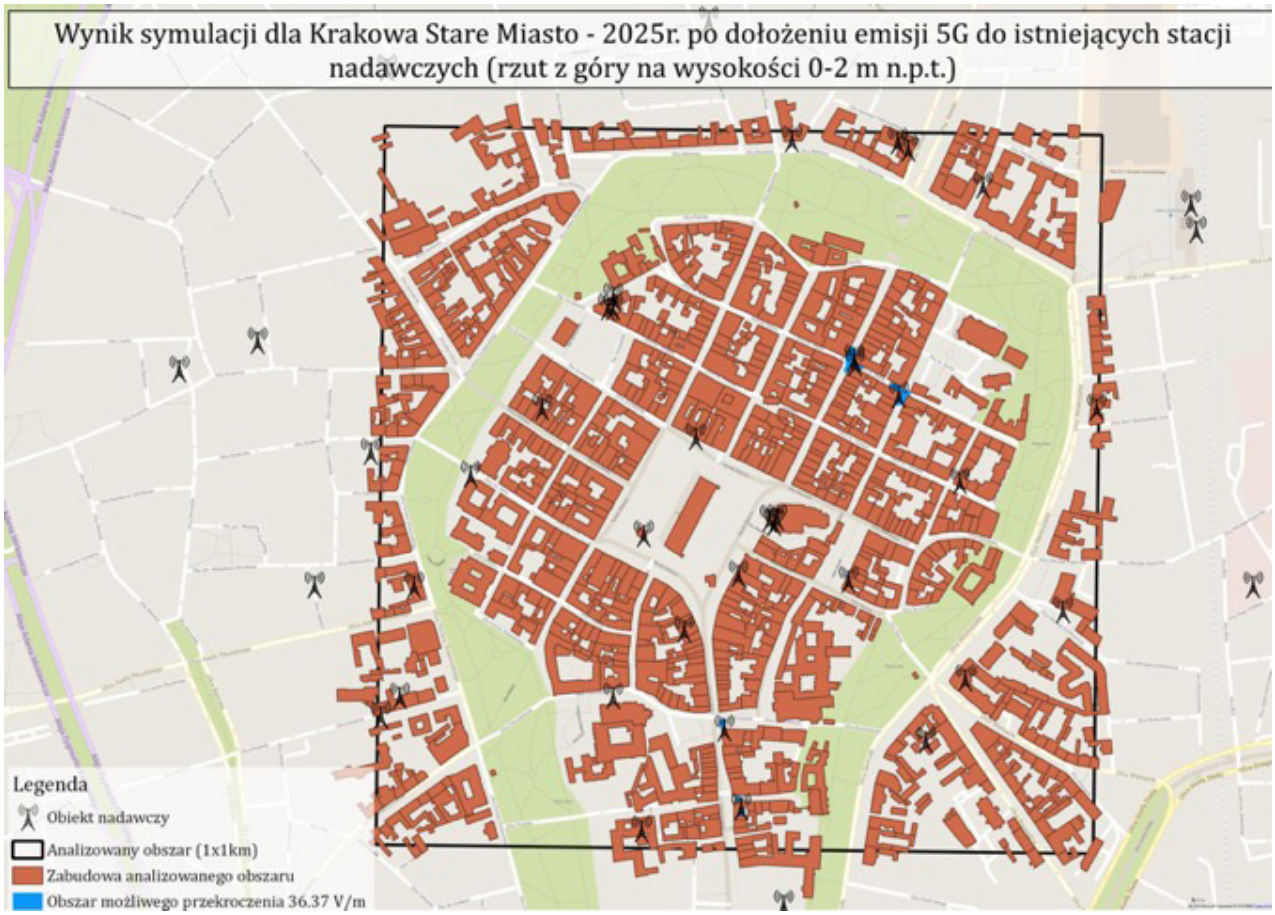
3 / 3 / 2 / 2

KRAKÓW STARE MIASTO – WIELKOMIEJSKI

(DenseUrban, stan 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych)



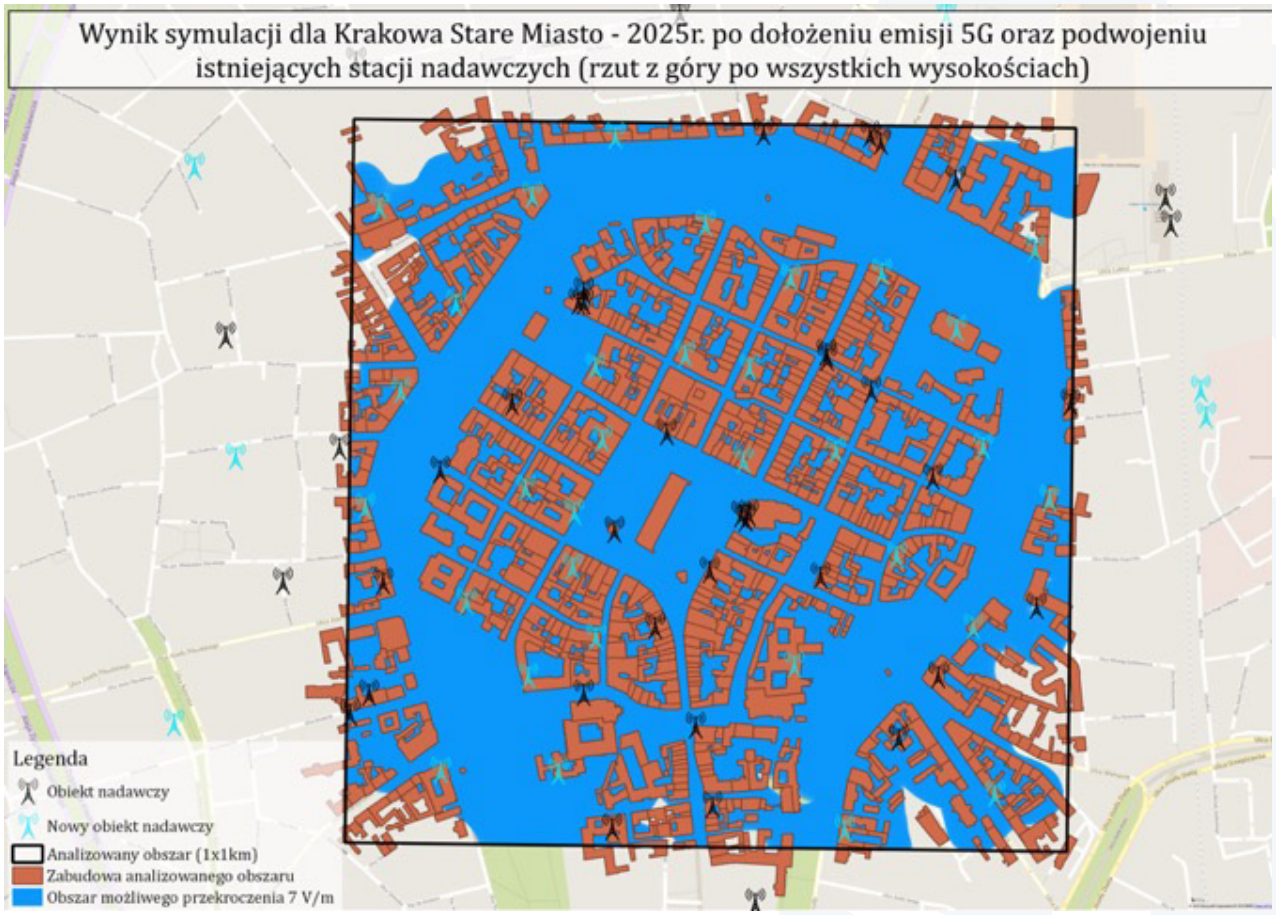

Wynik symulacji dla Krakowa Stare Miasto - 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

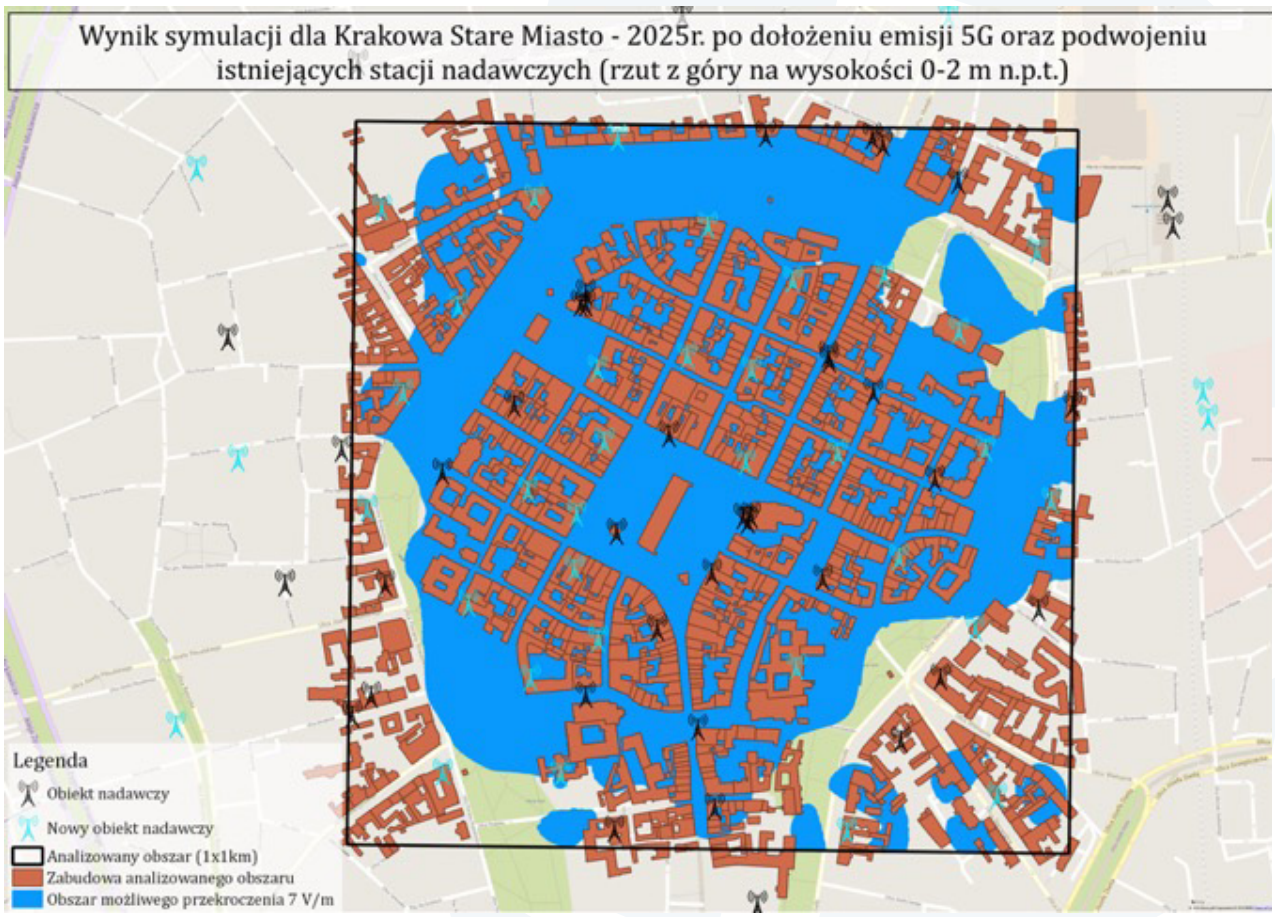

Wynik symulacji dla Krakowa Stare Miasto - 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 36.37 V/m

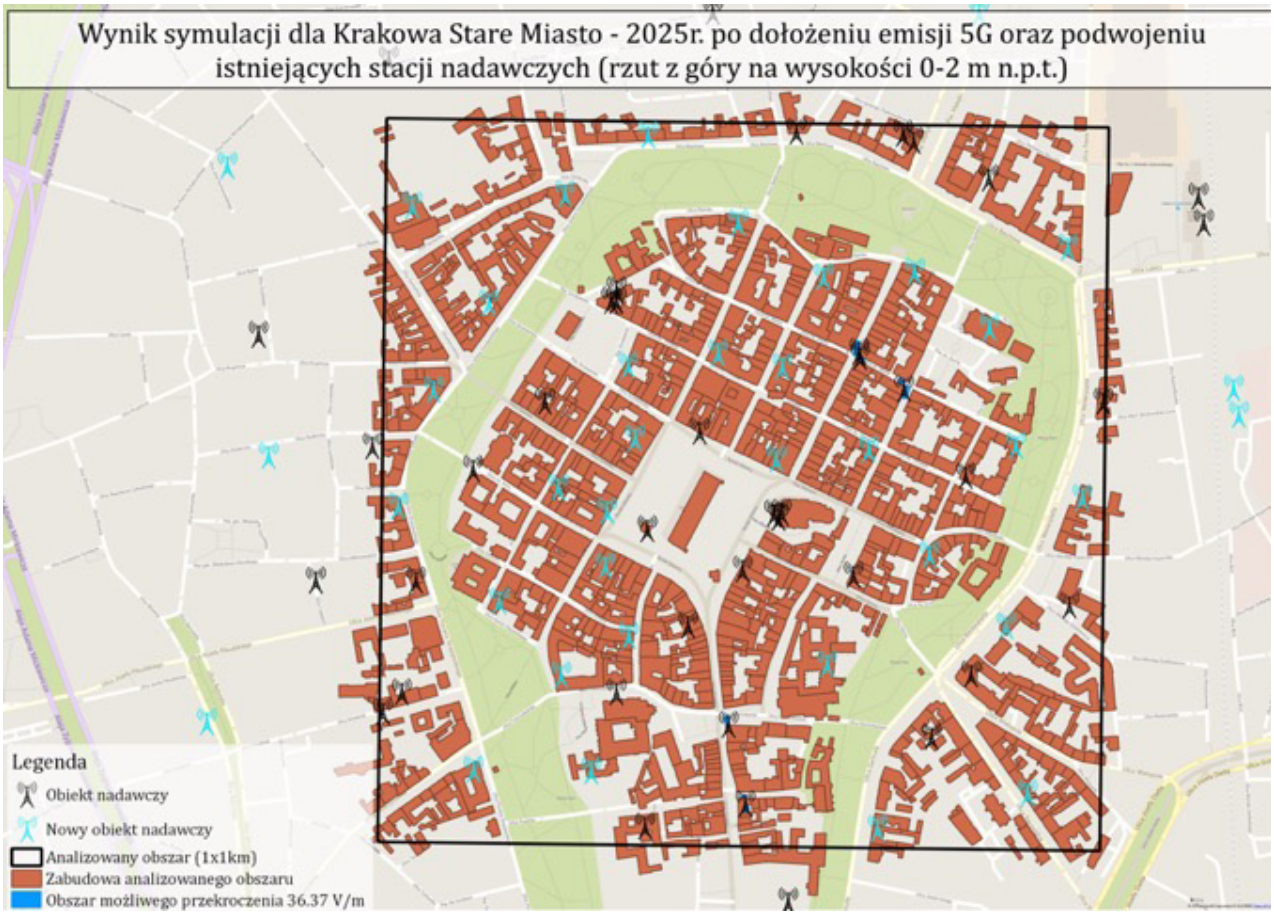
3 / 3 / 2 / 3

KRAKÓW STARE MIASTO – WIELKOMIEJSKI

(DenseUrban, stan 2025 po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych)



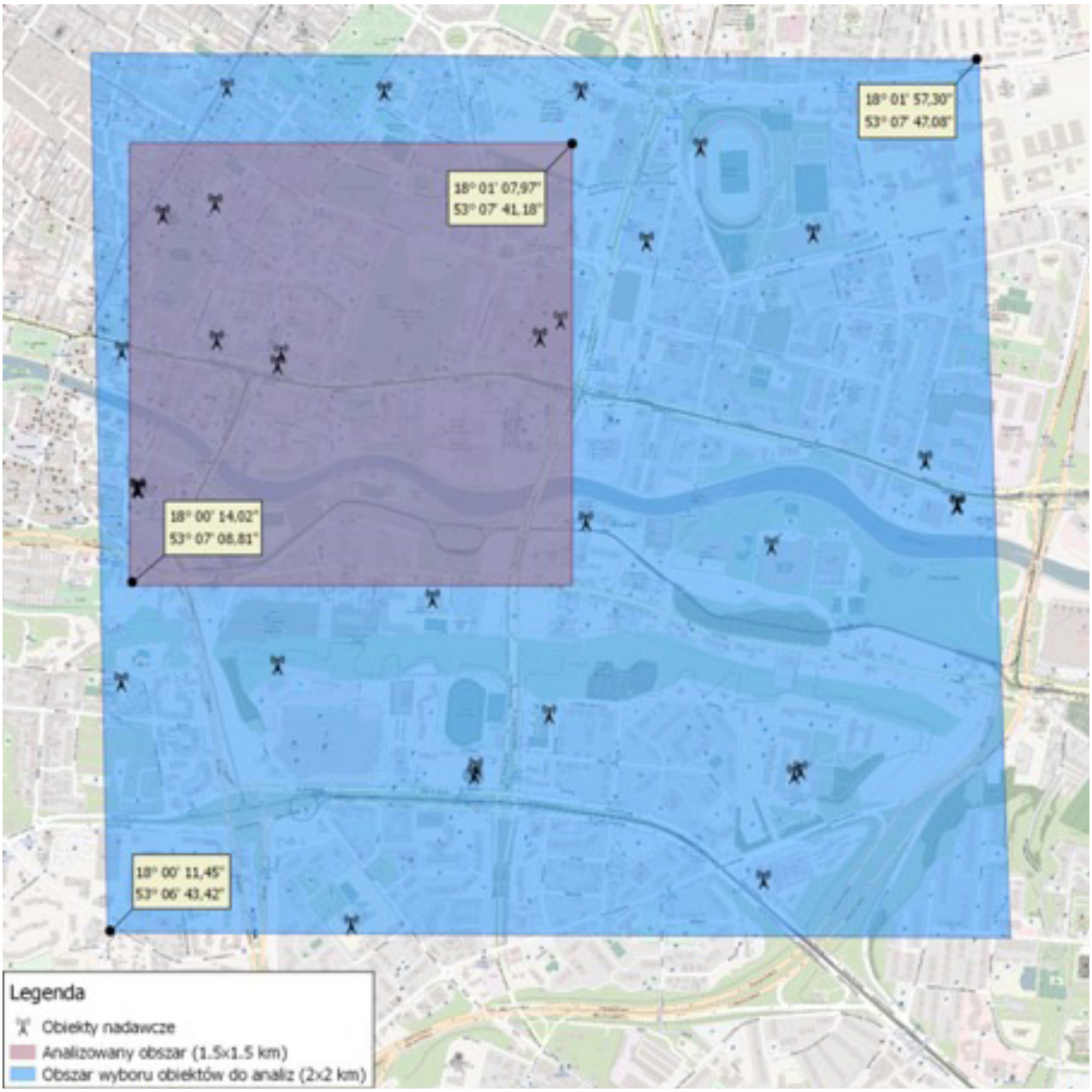

Wynik symulacji dla Krakowa Stare Miasto - 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Nowy obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m


Wynik symulacji dla Krakowa Stare Miasto - 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Nowy obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 36.37 V/m

3/3 / 3

BYDGOSZCZ – MIEJSKI

(Urban)



RYSUNEK 9

Obszary oraz stacje przyjęte do analizy

TABELA 4

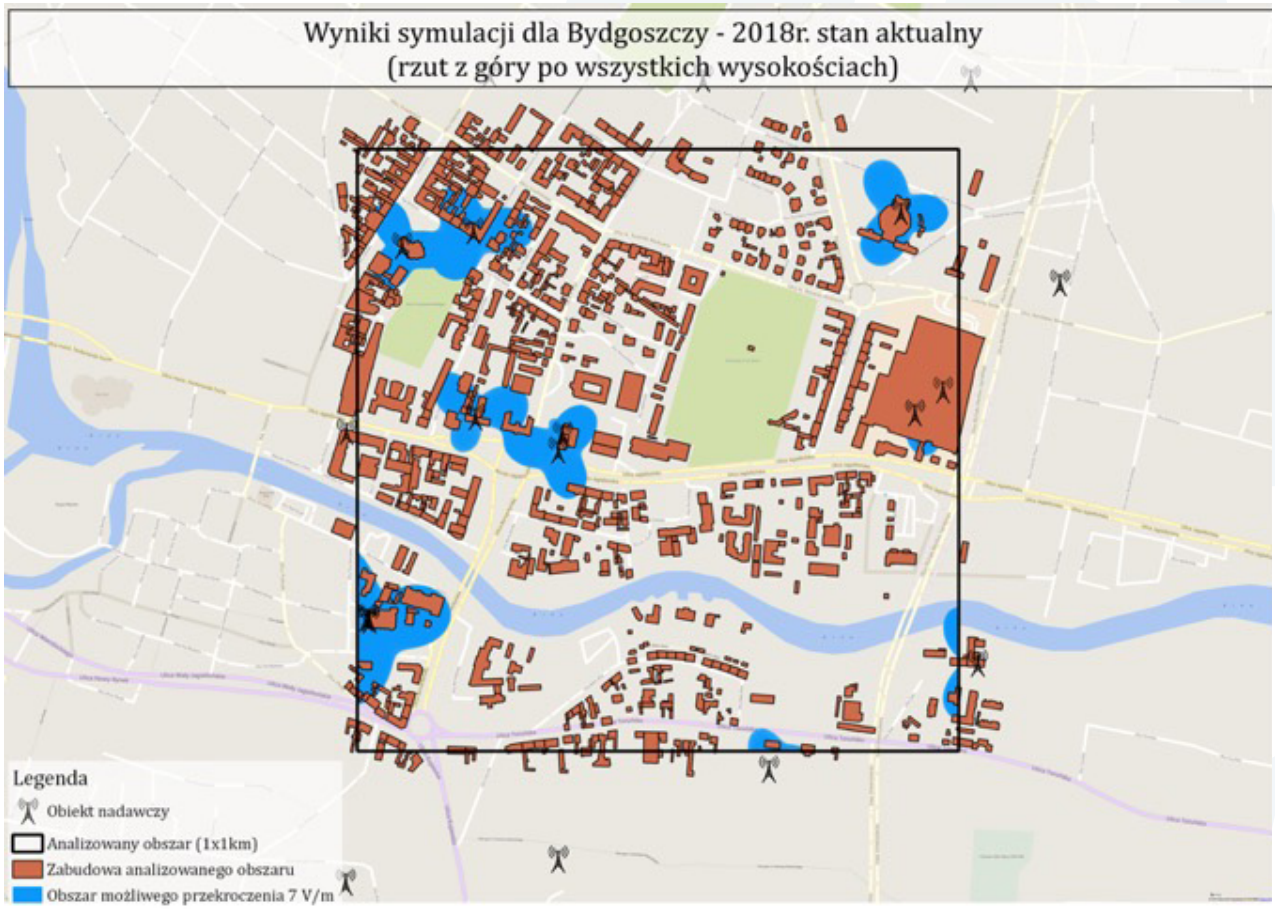
Wartość procentowa wyników symulacji możliwych przekroczeń dopuszczalnego natężenia pola dla obszaru Bydgoszcz w zależności od analizowanego scenariusza rozbudowy sieci.

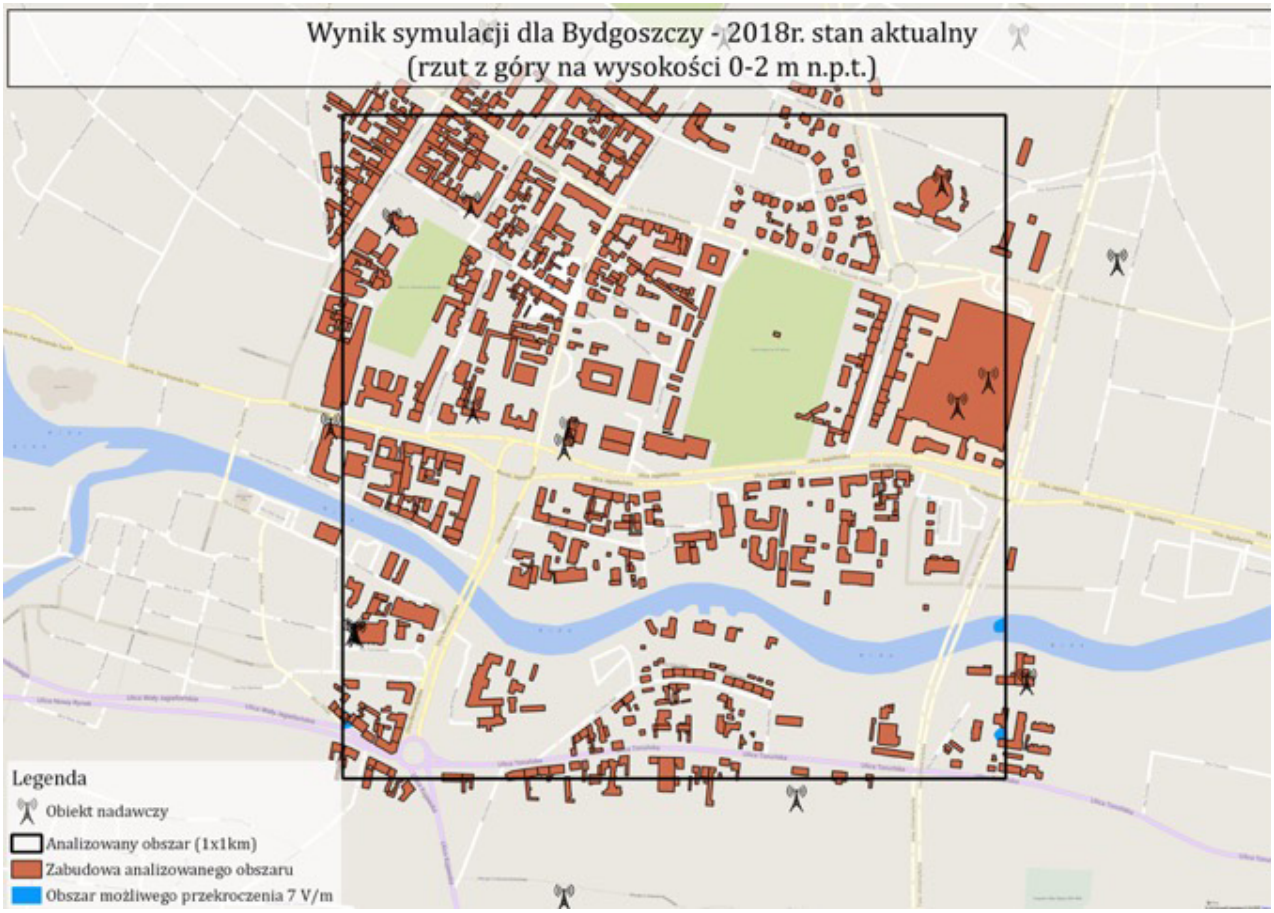
	STAN AKTUALNY 2018	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m	0,06%	1,54%	23,48%
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m	0,0%	0,0%	0,0%

3 / 3 / 3 / 1

BYDGOSZCZ – MIEJSKI

(Urban, stan aktualny 2018)

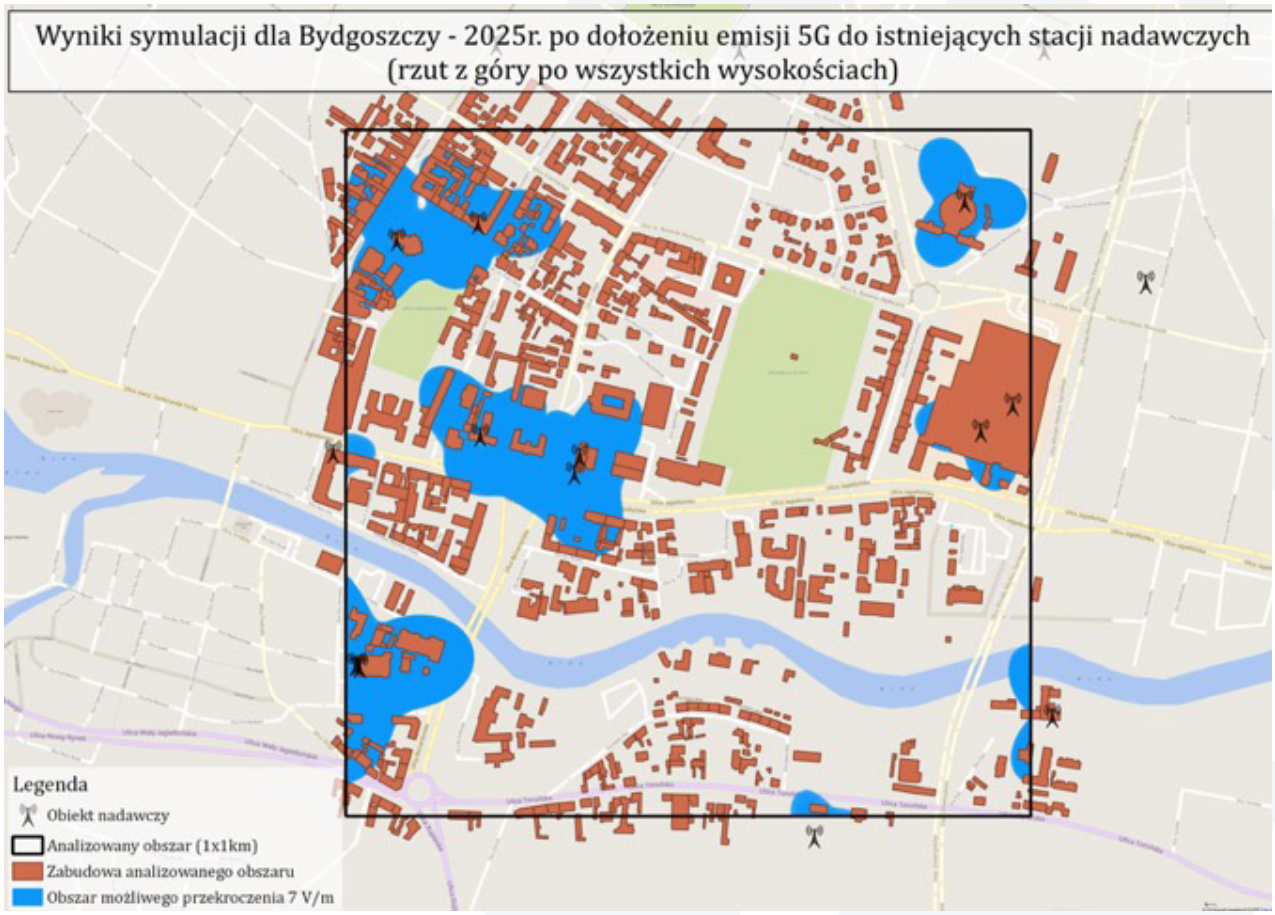


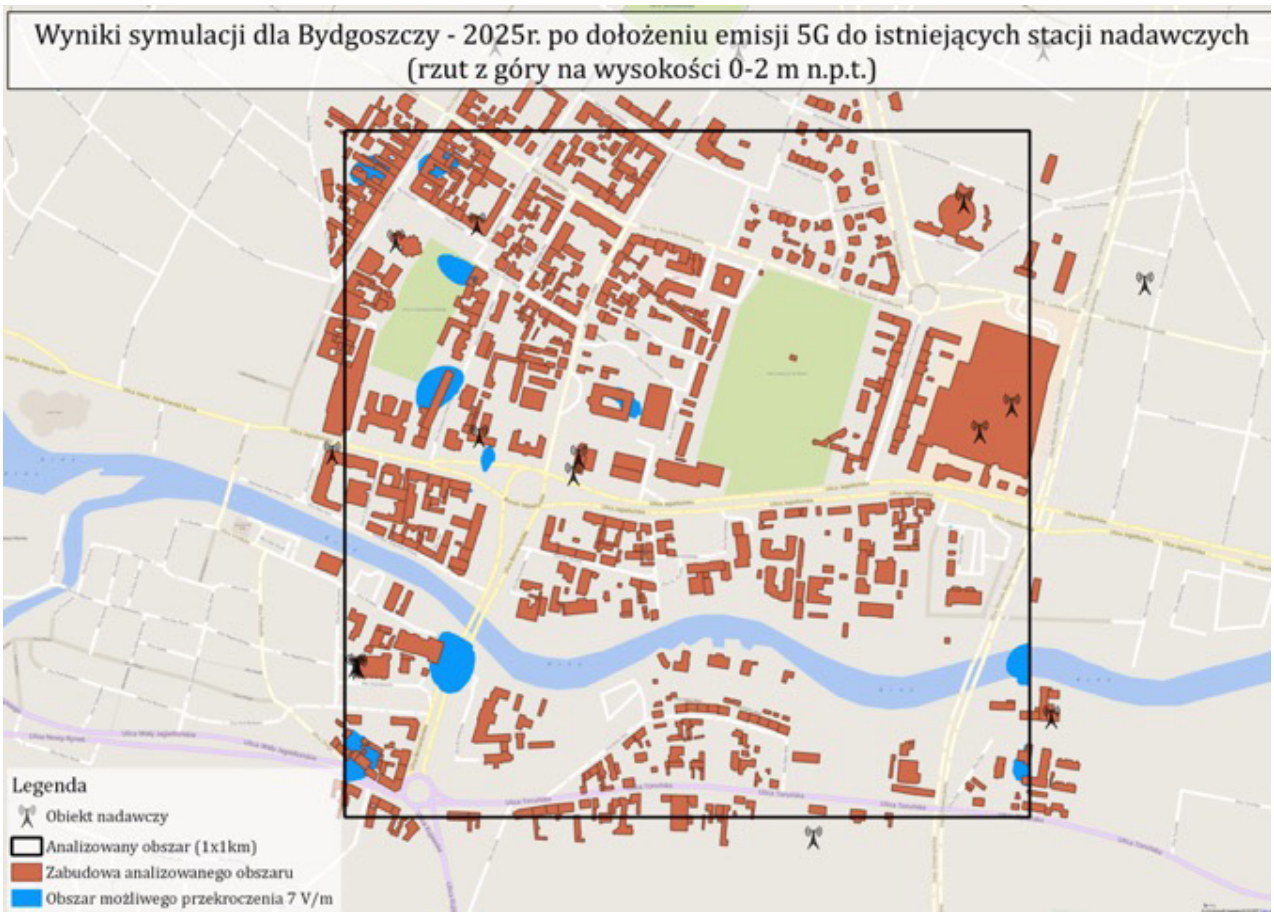

Wynik symulacji dla Bydgoszczy - 2018r. stan aktualny
(rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

3 / 3 / 3 / 2

BYDGOSZCZ – MIEJSKI

(Urban, stan 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych)

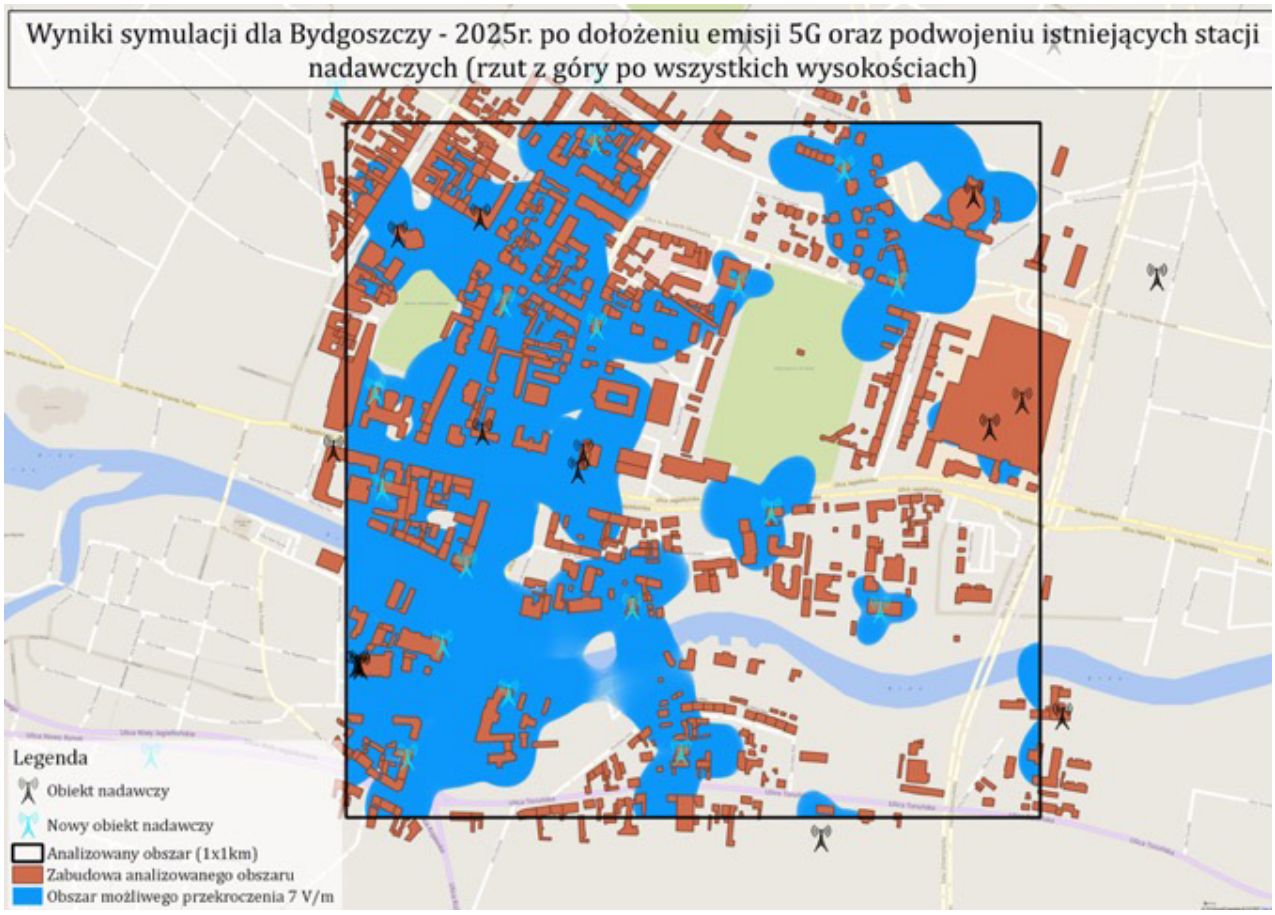


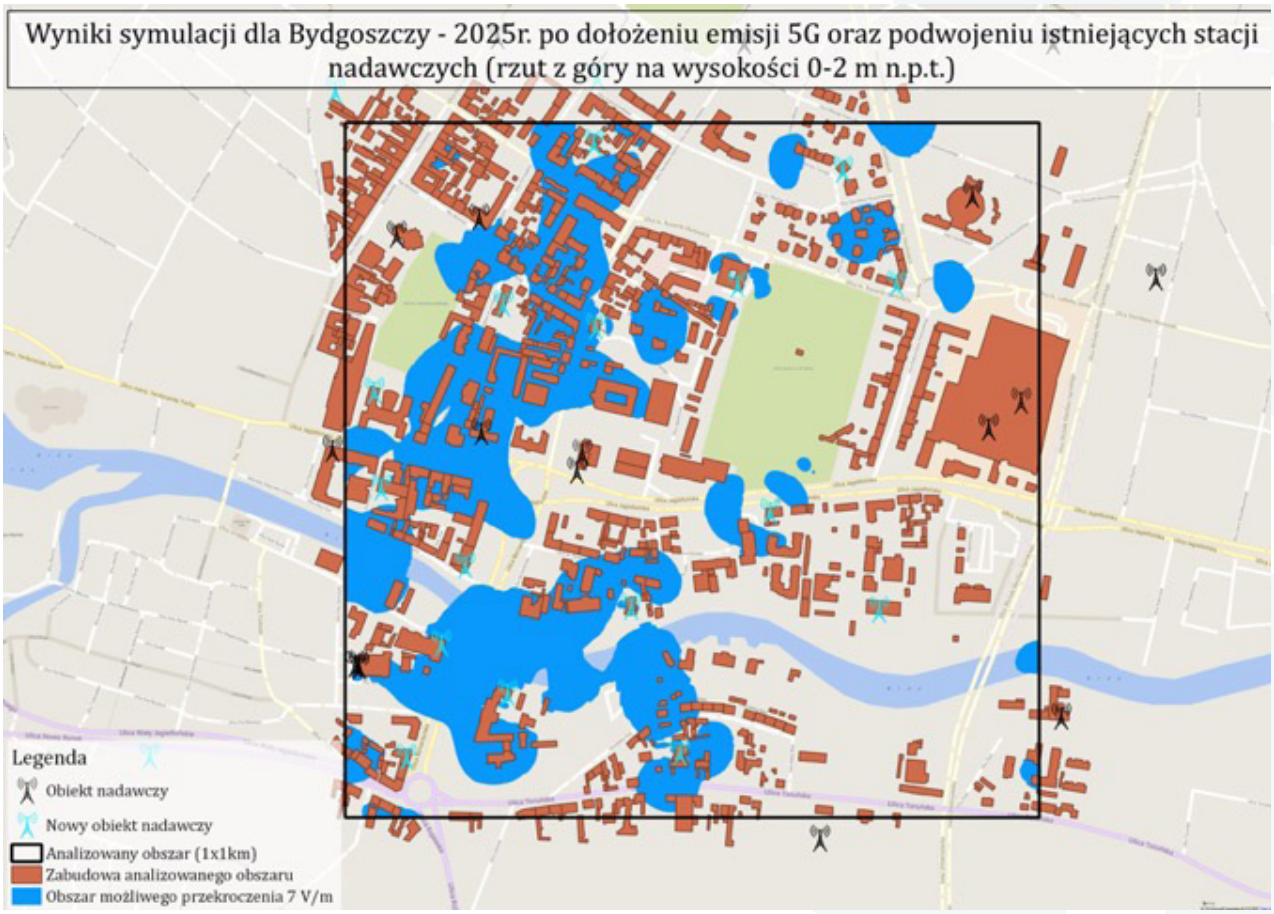

Wyniki symulacji dla Bydgoszczy - 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych
(rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

3 / 3 / 3 / 3

BYDGOSZCZ – MIEJSKI

(Urban, stan 2025 po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych)

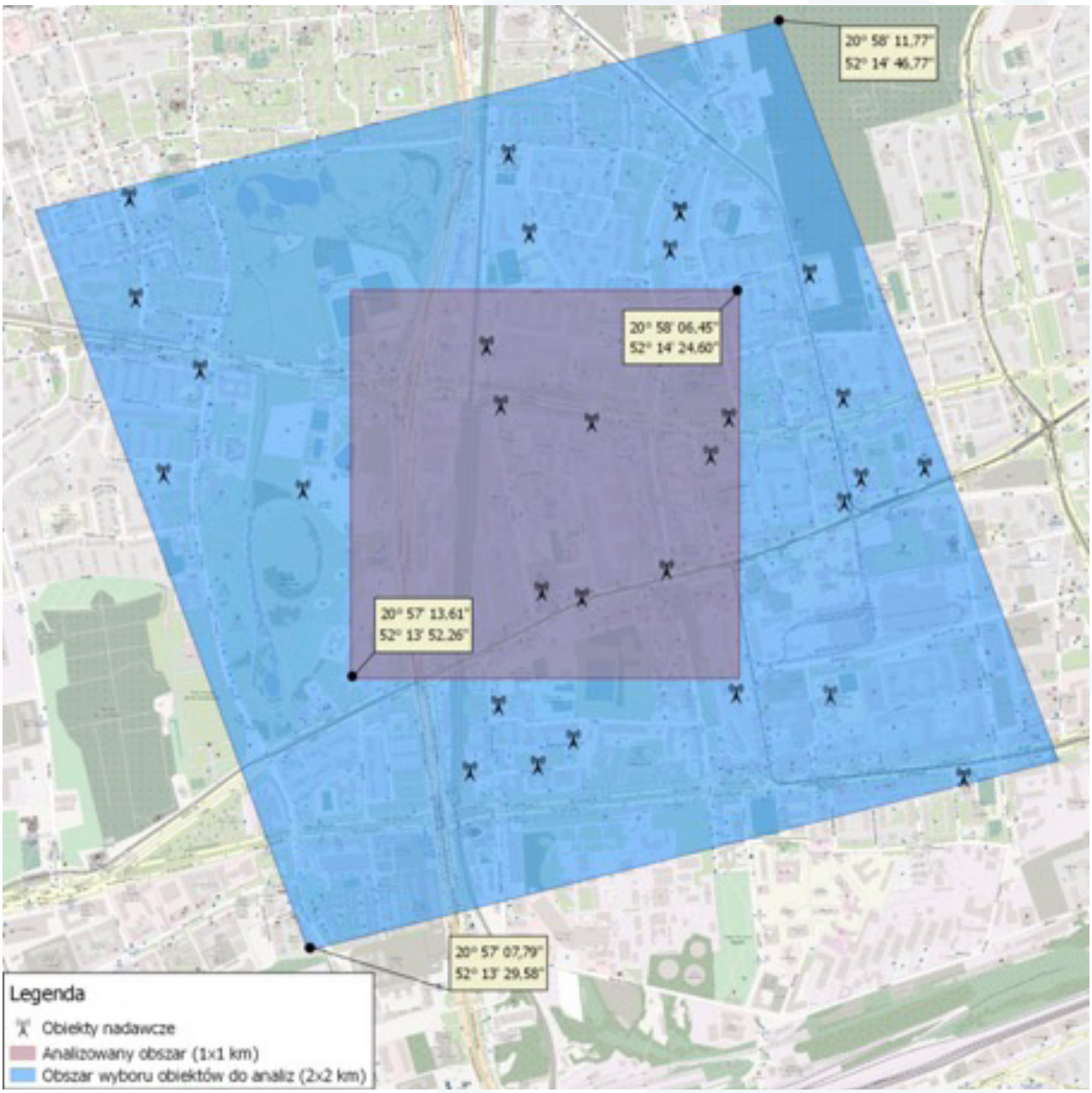



Wyniki symulacji dla Bydgoszczy - 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Nowy obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

3/3 / 4

WARSZAWA WOLA

(Miejski Urban)



RYSUNEK 10
Obszary oraz stacje przyjęte do analizy

TABELA 5

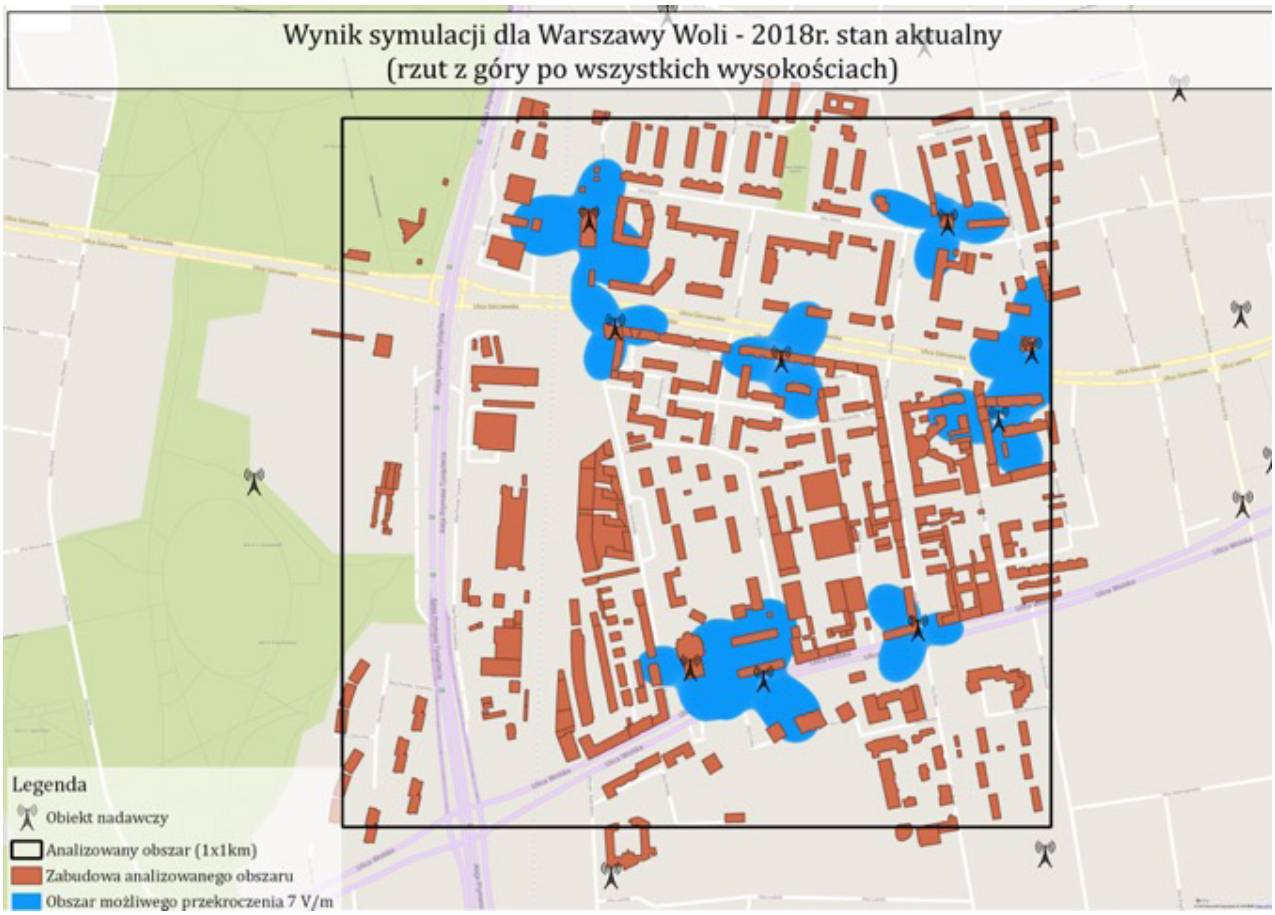
Wartość procentowa wyników symulacji możliwych przekroczeń dopuszczalnego natężenia pola dla obszaru Warszawa Wola w zależności od analizowanego scenariusza rozbudowy sieci.

	STAN AKTUALNY 2018	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji	STAN 2025 r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m	0,05%	2,93%	19,34%
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m	0,0%	0,0%	0,0%

3 / 3 / 4 / 1

WARSZAWA WOLA

(Miejski Urban, stan aktualny 2018)

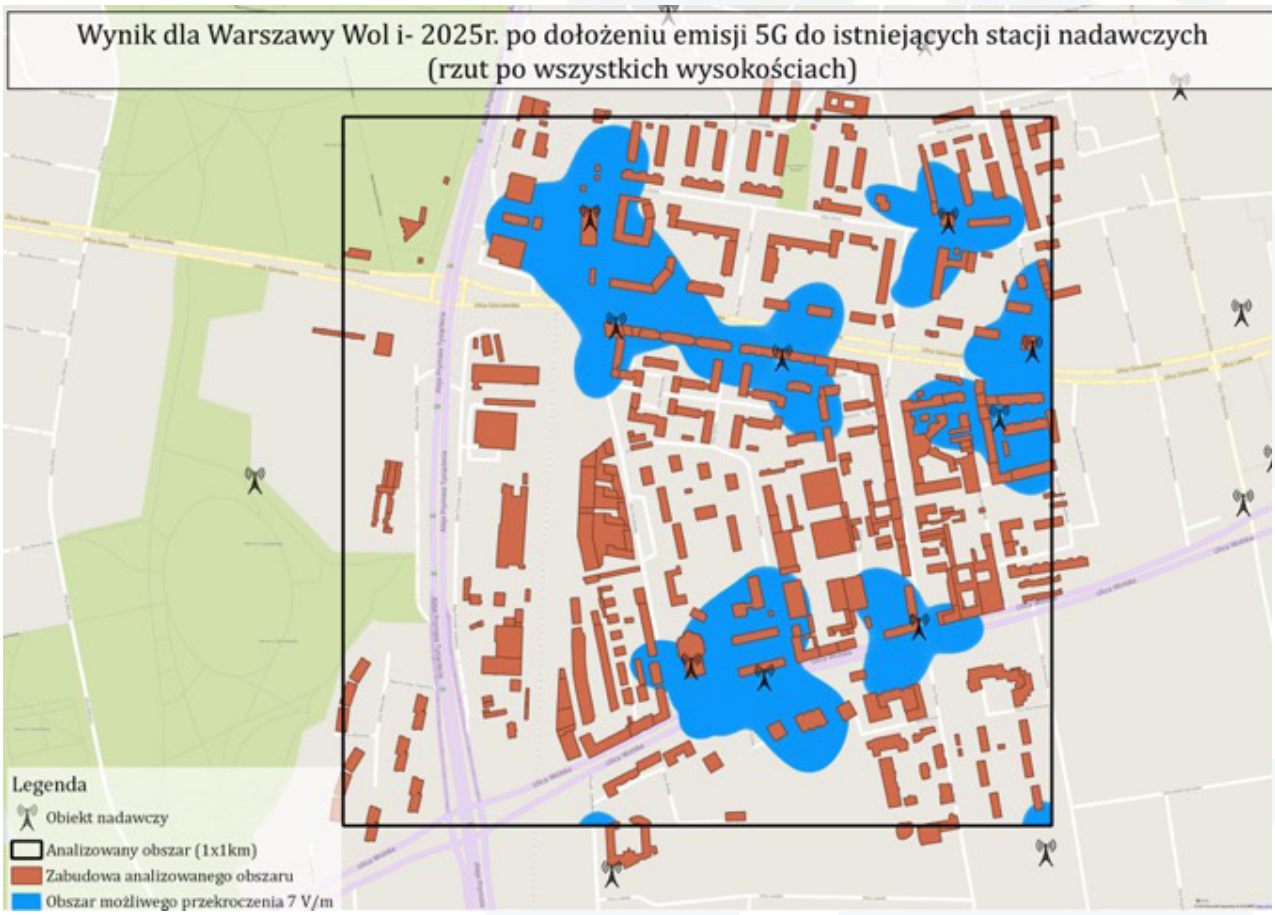


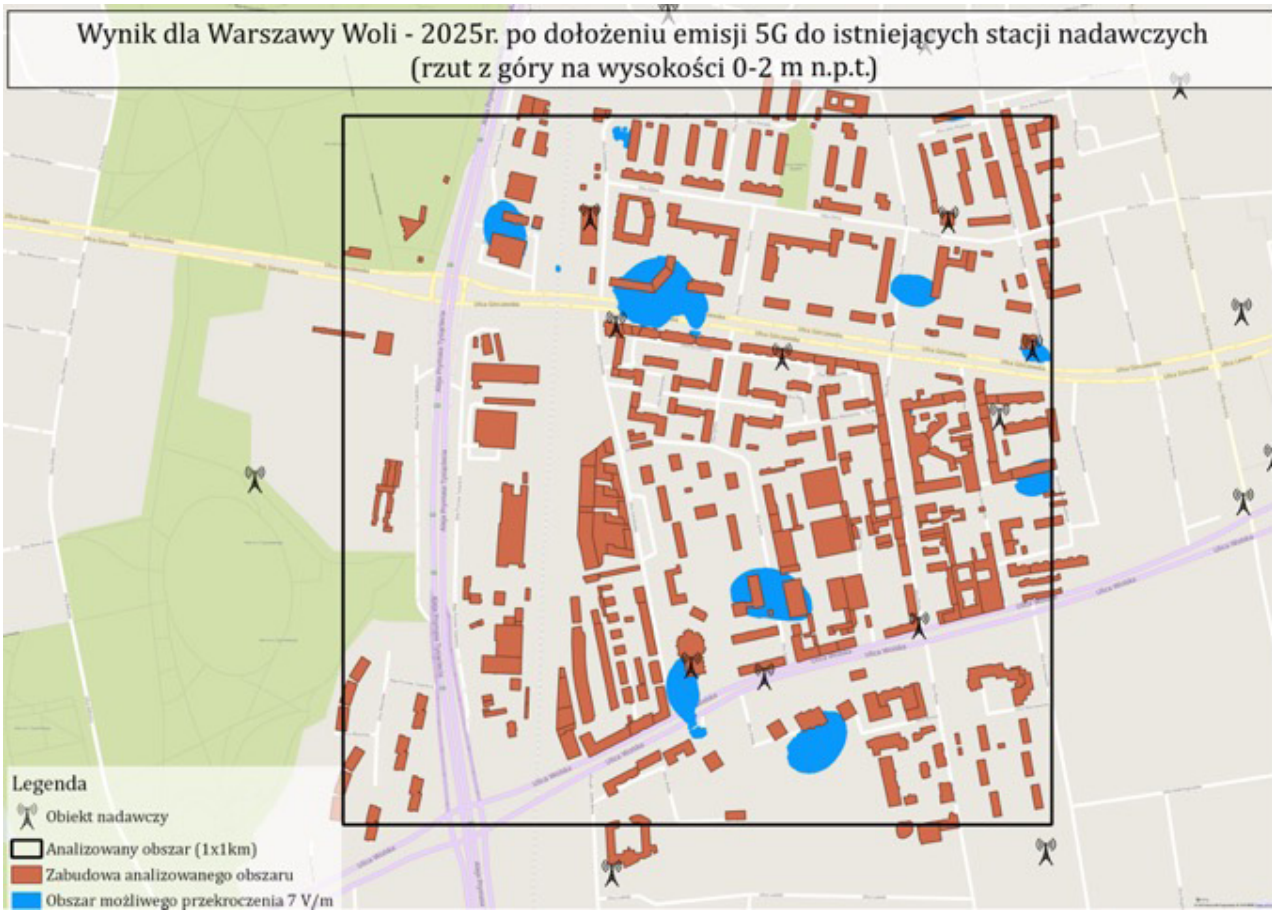
Wynik symulacji dla Warszawy Woli - 2018r. stan aktualny
(rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

3 / 3 / 4 / 2

WARSZAWA WOLA

(Miejski Urban, stan 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych)

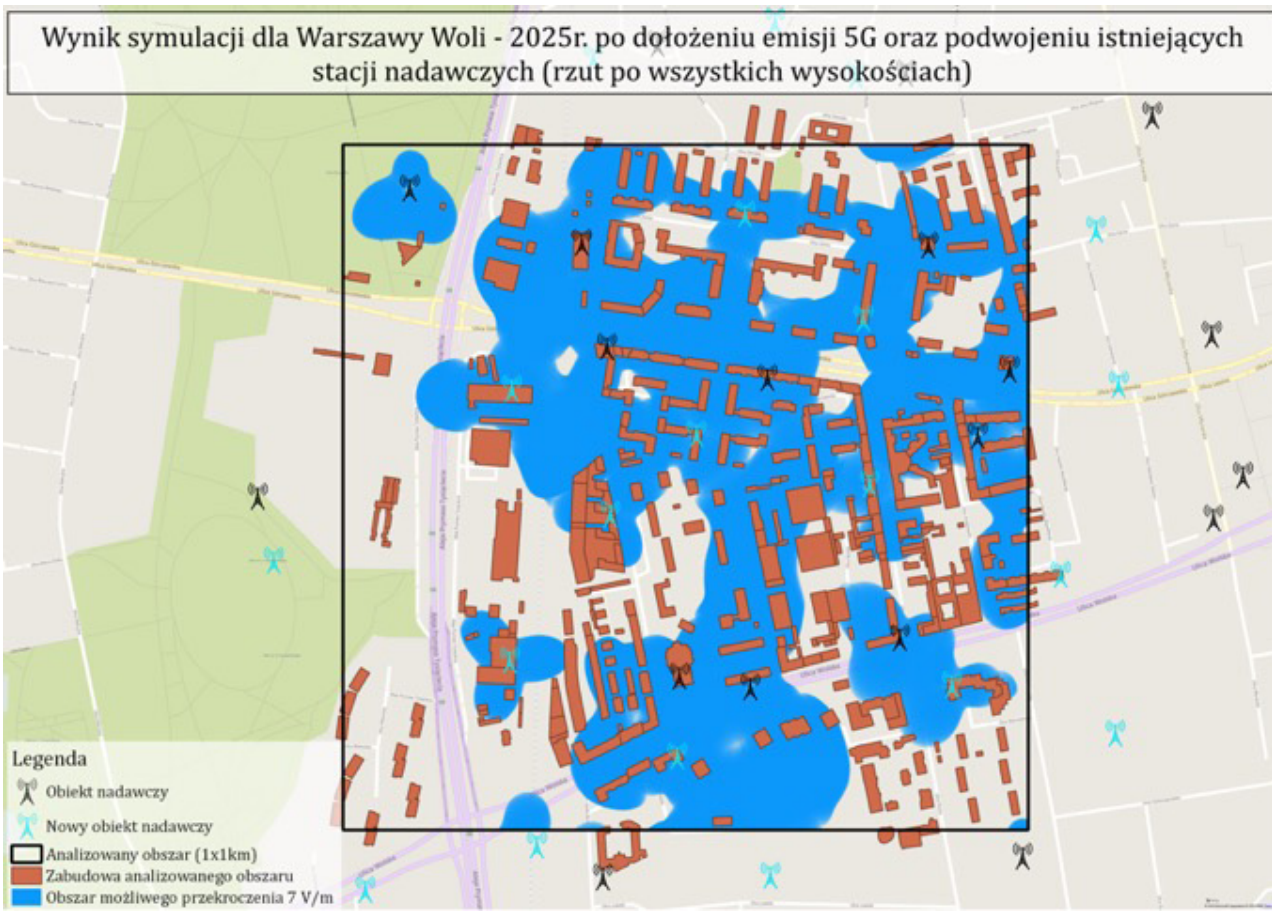


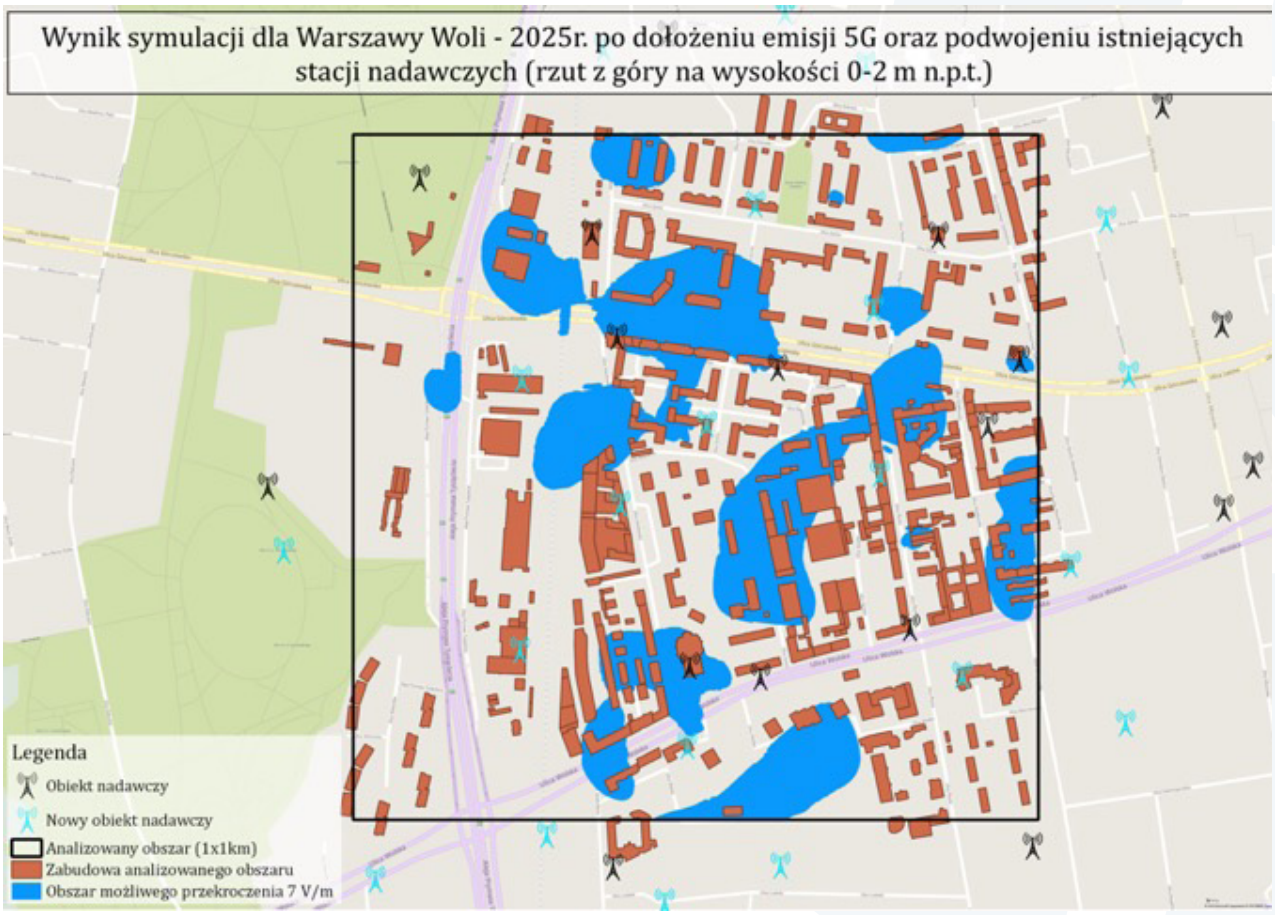

Wynik dla Warszawy Woli - 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych
(rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

3 / 3 / 4 / 3

WARSZAWA WOLA

(Miejski Urban, stan 2025 po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych)

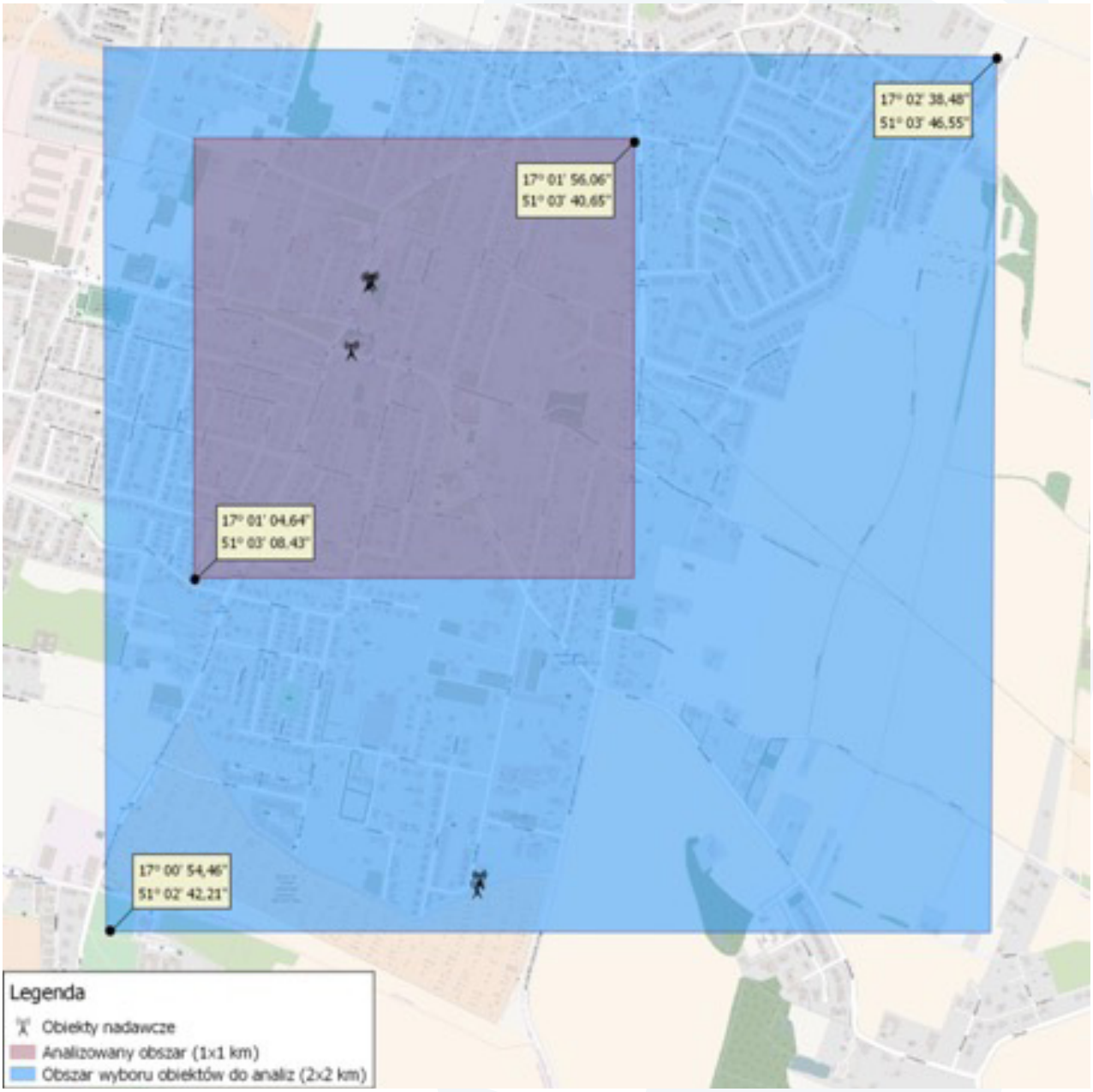



Wynik symulacji dla Warszawy Woli - 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Nowy obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

3/3 / 5

WROCŁAW OŁTASZYN

(Podmiejski Suburban)



RYSUNEK 11
Obszary oraz stacje przyjęte do analizy

TABELA 6

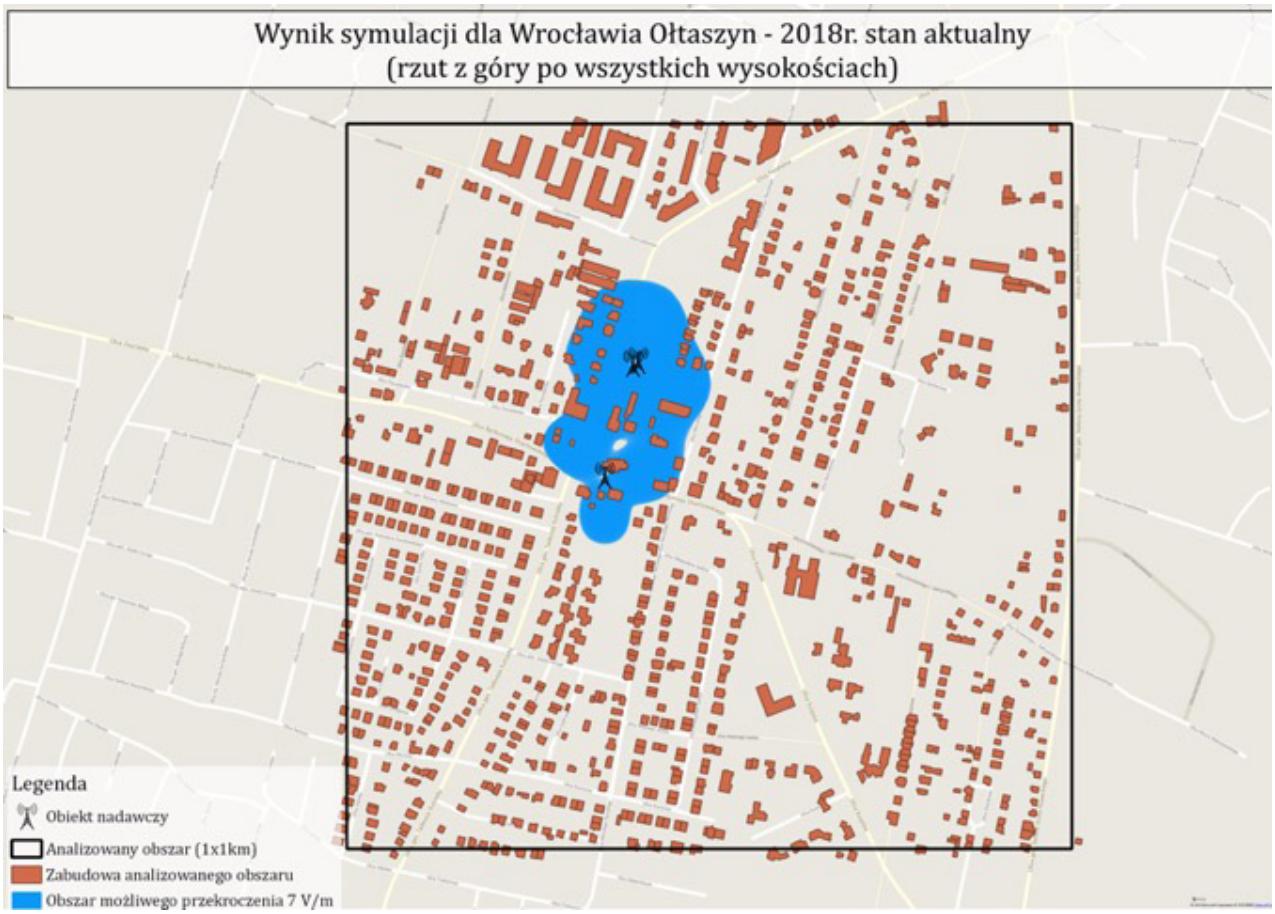
Wartość procentowa wyników symulacji możliwych przekroczeń dopuszczalnego natężenia pola dla obszaru Wrocław Ołtaszyn w zależności od analizowanego scenariusza rozbudowy sieci.

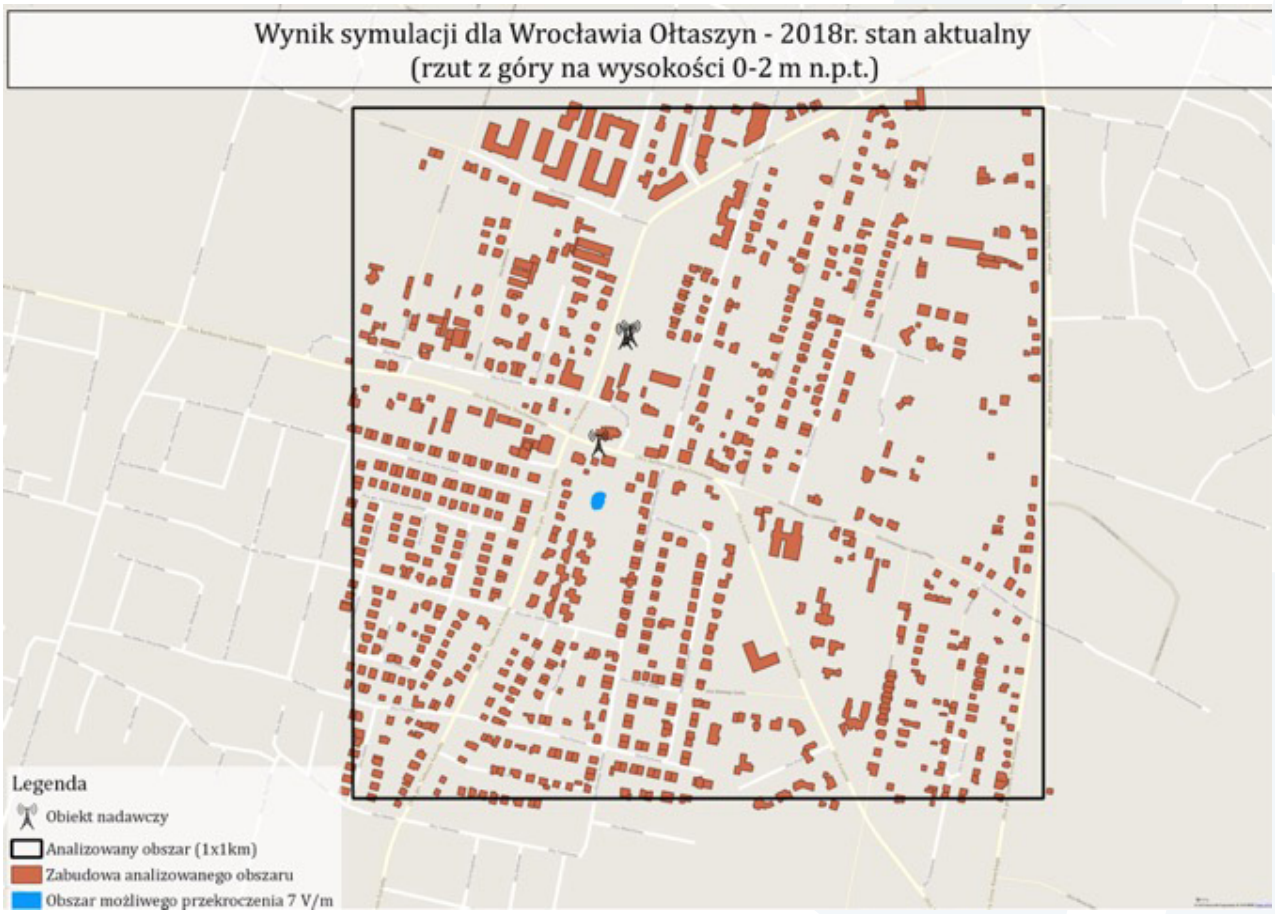
	STAN AKTUALNY 2018	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m	0,03%	3,70%	5,82%
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m	0,00%	0,00%	0,00%

3 / 3 / 5 / 1

WROCŁAW OŁTASZYN

(Podmiejski Suburban, stan aktualny 2018)

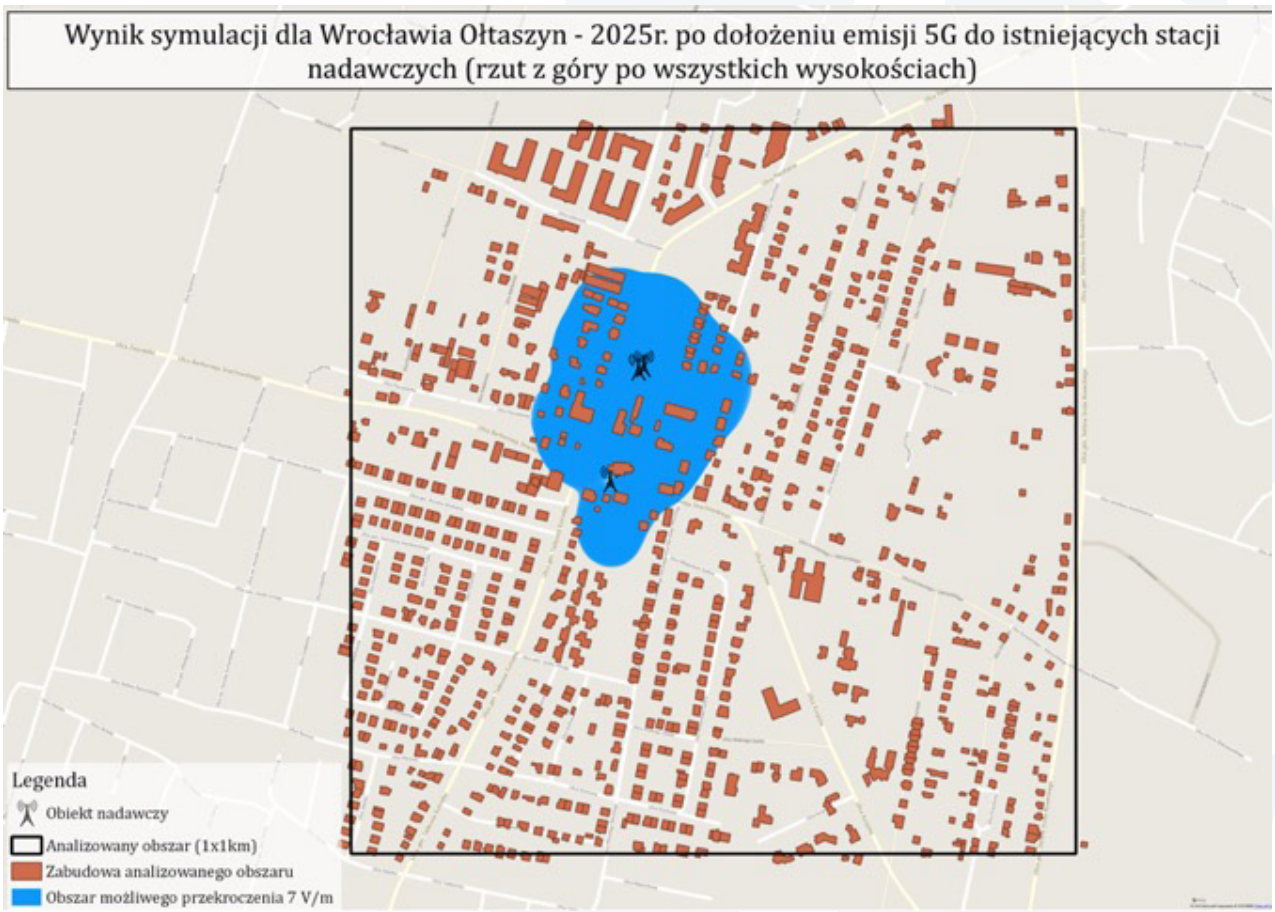


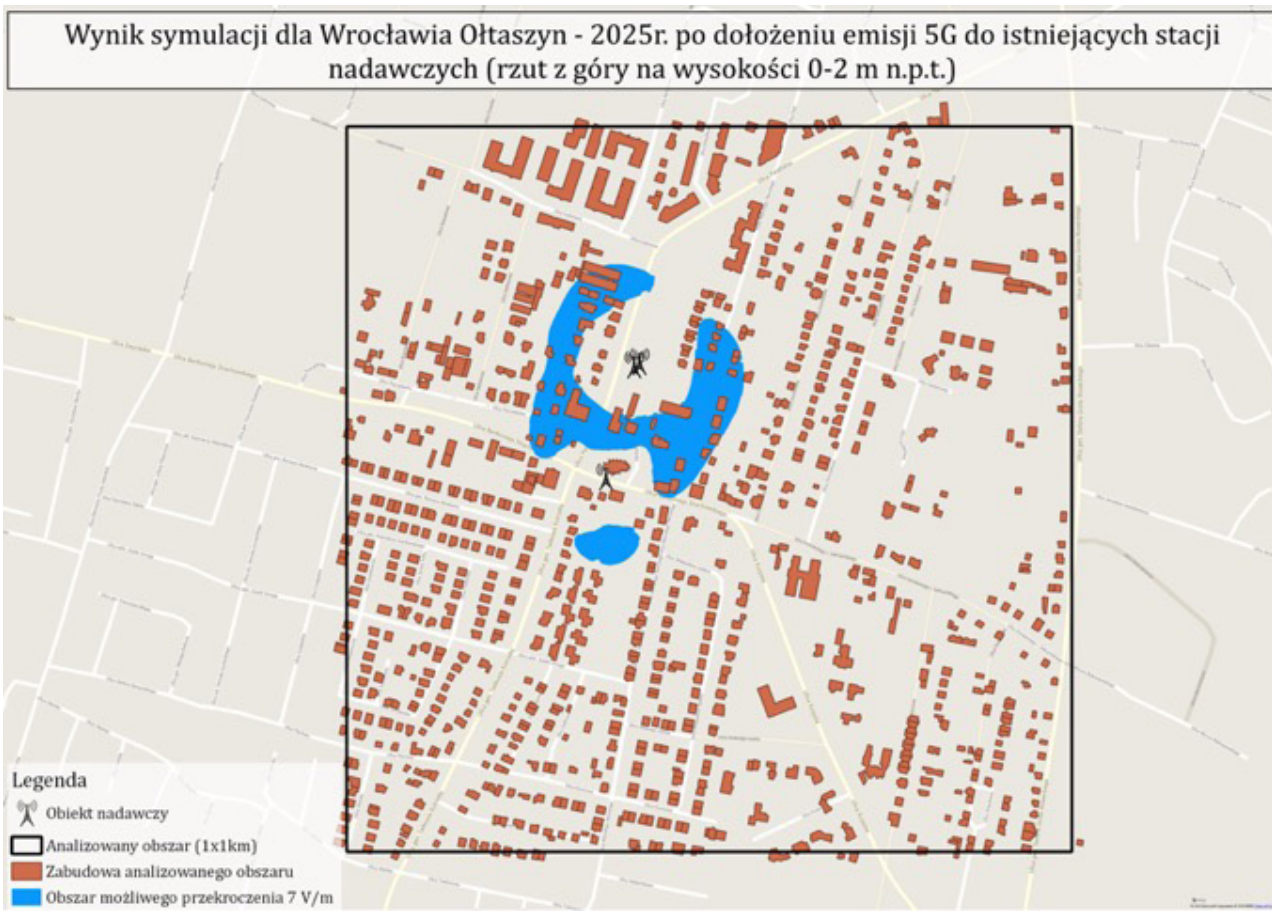

Wynik symulacji dla Wrocławia Ołtaszyn - 2018r. stan aktualny
(rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

3 / 3 / 5 / 2

WROCŁAW OŁTASZYN

(Podmiejski Suburban, stan 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych)

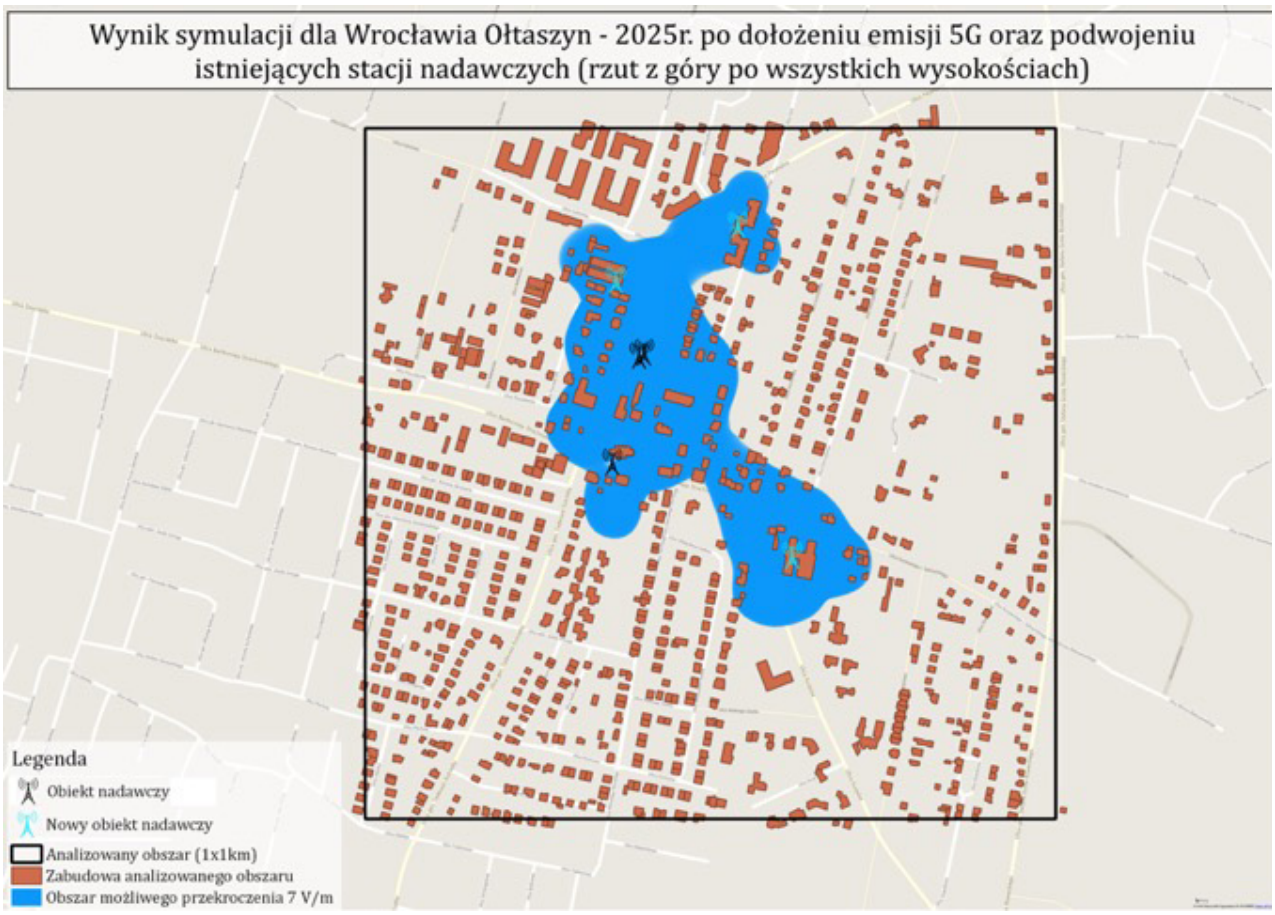



Wynik symulacji dla Wrocławia Ołtaszyn - 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

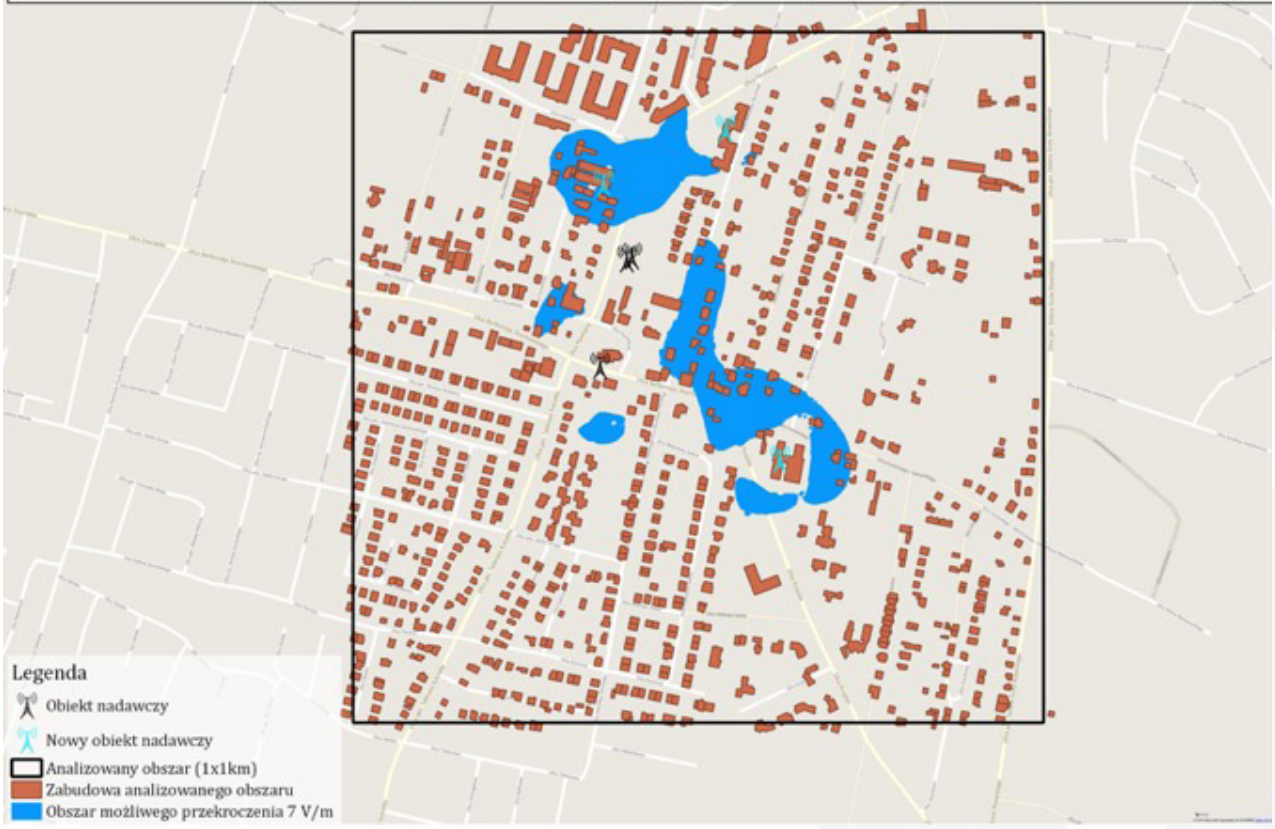
3 / 3 / 5 / 3

WROCŁAW OŁTASZYN

(Podmiejski Suburban, stan 2025 po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych)



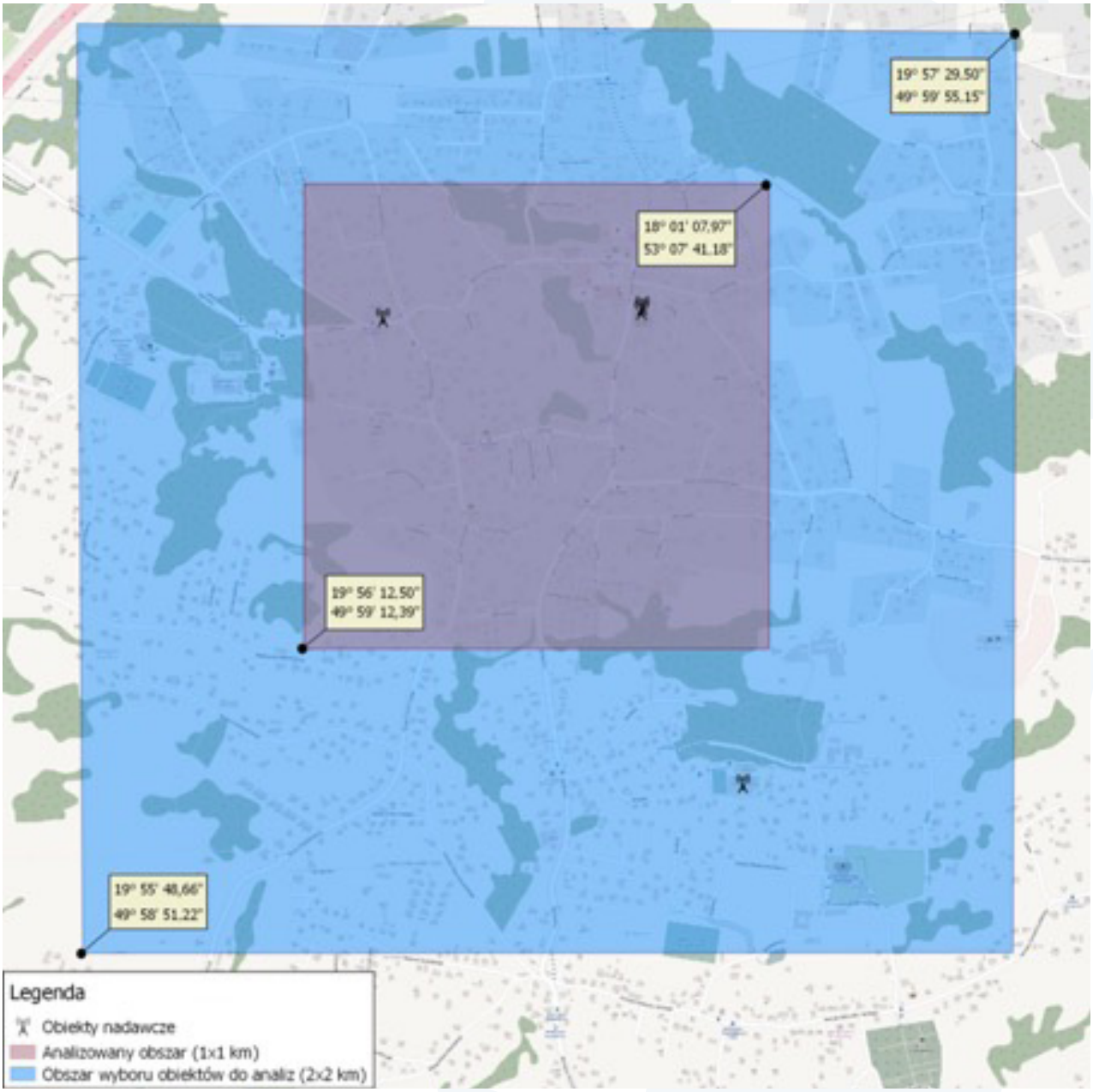
Wynik symulacji dla Wrocławia Ołtaszyn - 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)



3/3 / 6

KRAKÓW SWOSZOWICE

(Podmiejski Suburban)



RYSUNEK 12
Obszary oraz stacje przyjęte do analizy

TABELA 7

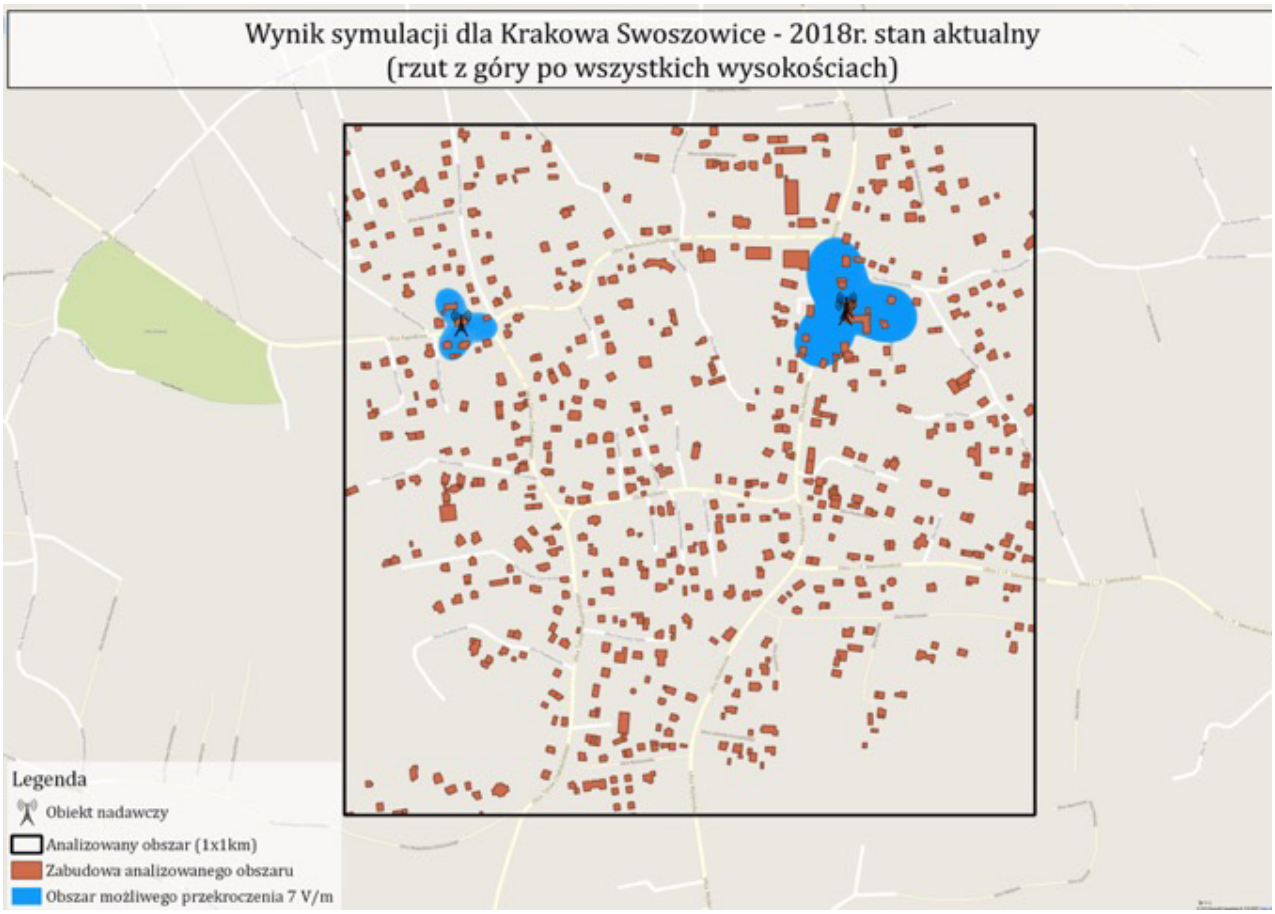
Wartość procentowa wyników symulacji możliwych przekroczeń dopuszczalnego natężenia pola dla obszaru Kraków Swoszowice w zależności od analizowanego scenariusza rozbudowy sieci.

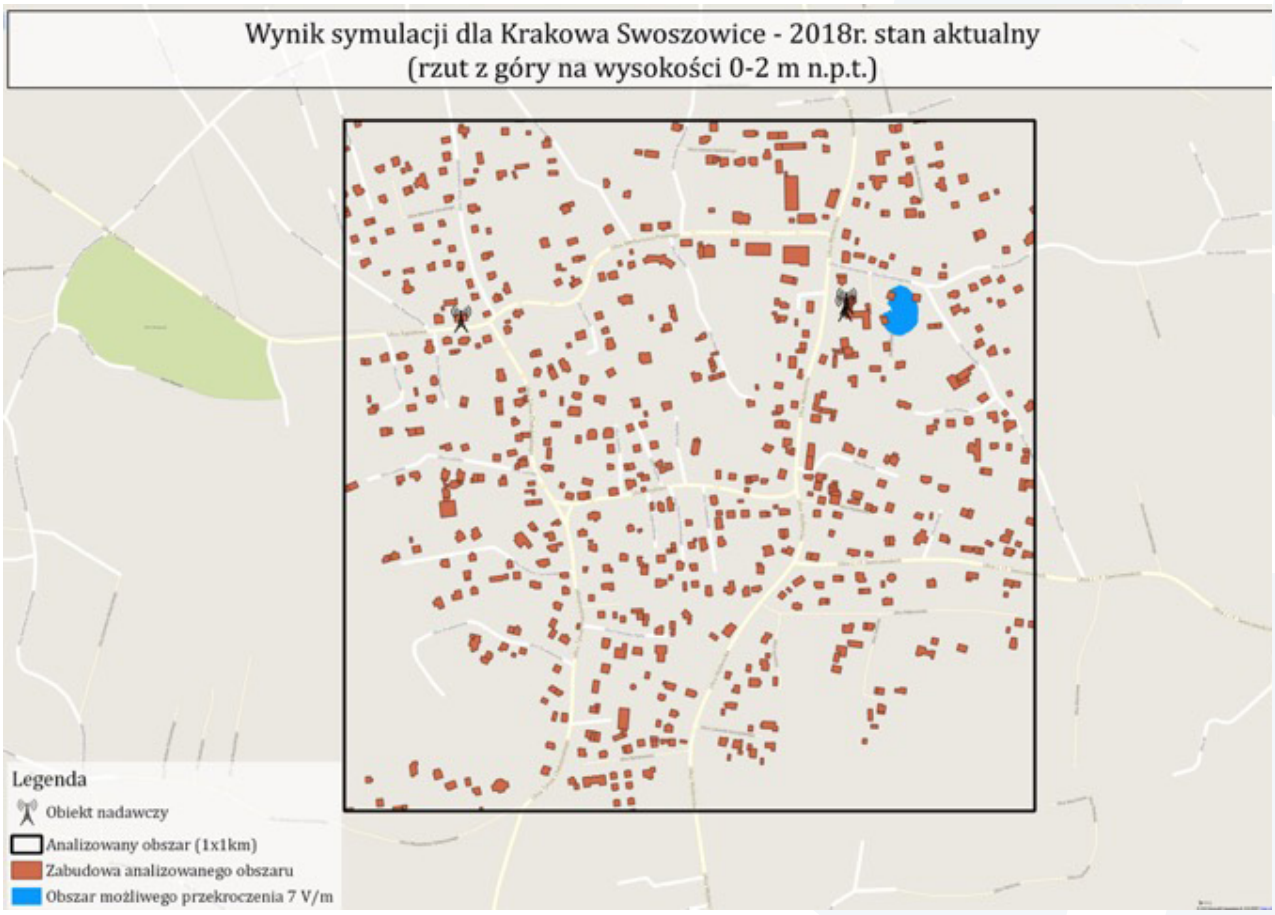
	STAN AKTUALNY 2018	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m	0,23%	0,90%	0,79%
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m	0,0%	0,0%	0,0%

3 / 3 / 6 / 1

KRAKÓW SWOSZOWICE

(Podmiejski Suburban, stan aktualny 2018)

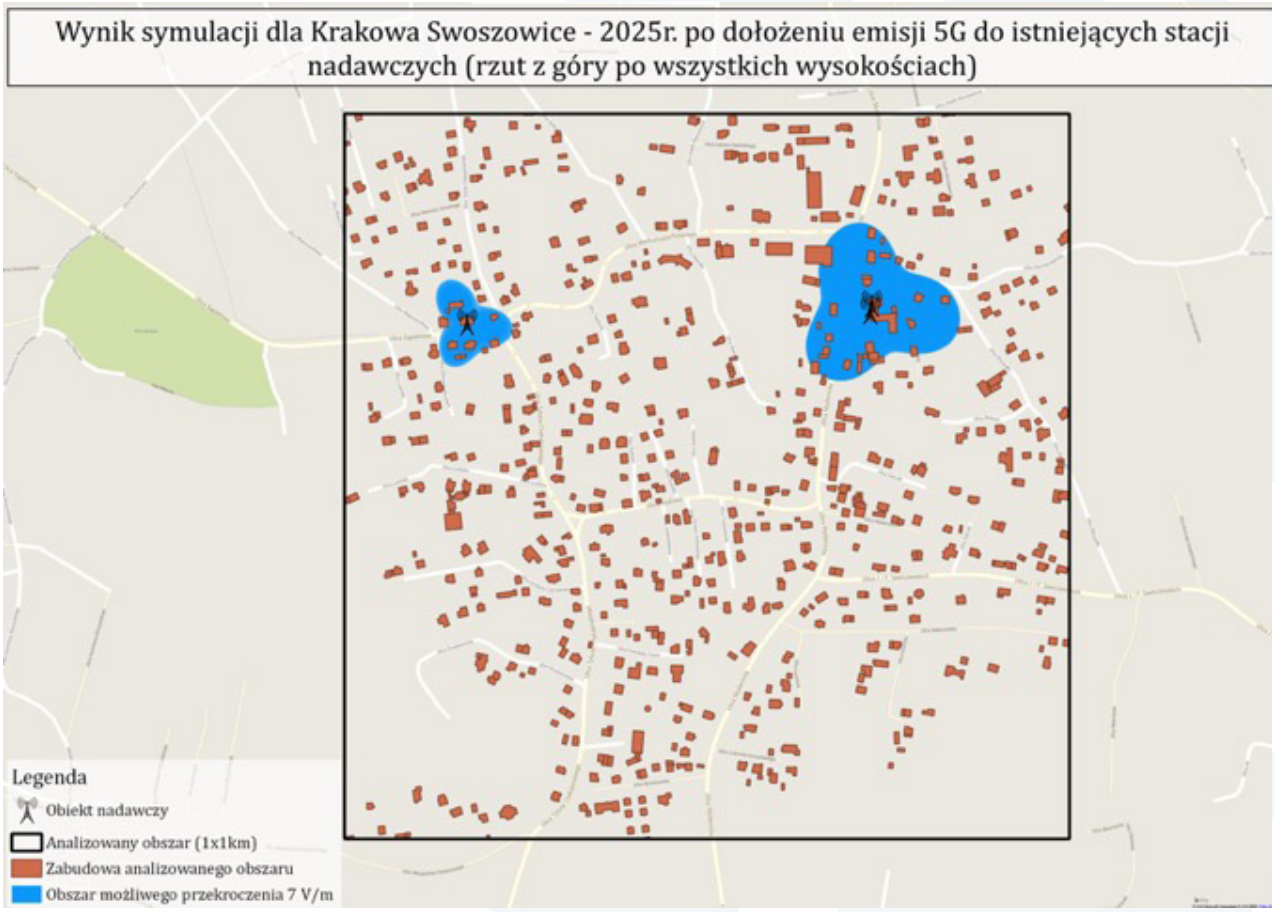


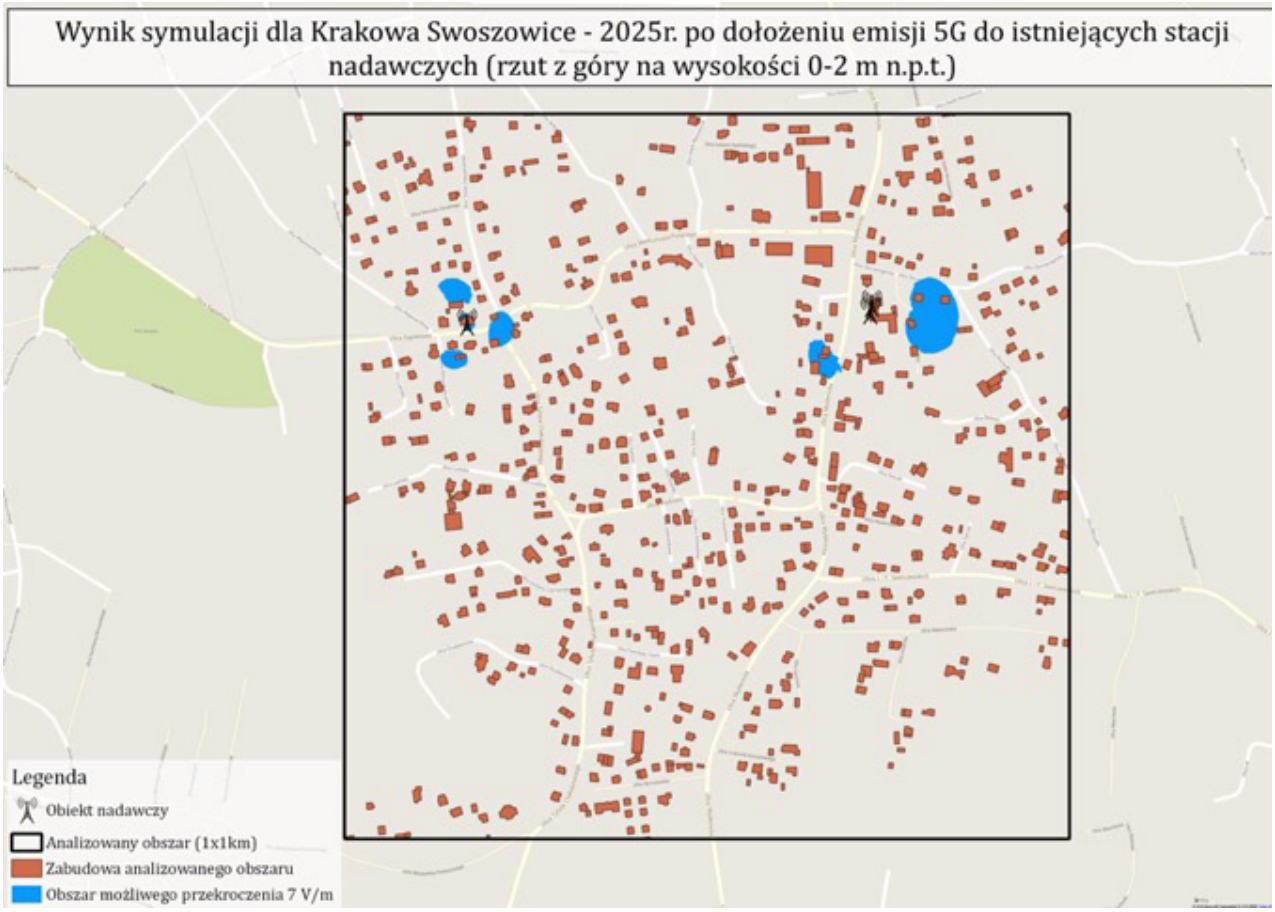

Wynik symulacji dla Krakowa Swoszowice - 2018r. stan aktualny
(rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

3 / 3 / 6 / 2

KRAKÓW SWOSZOWICE

(Podmiejski Suburban, stan 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych)

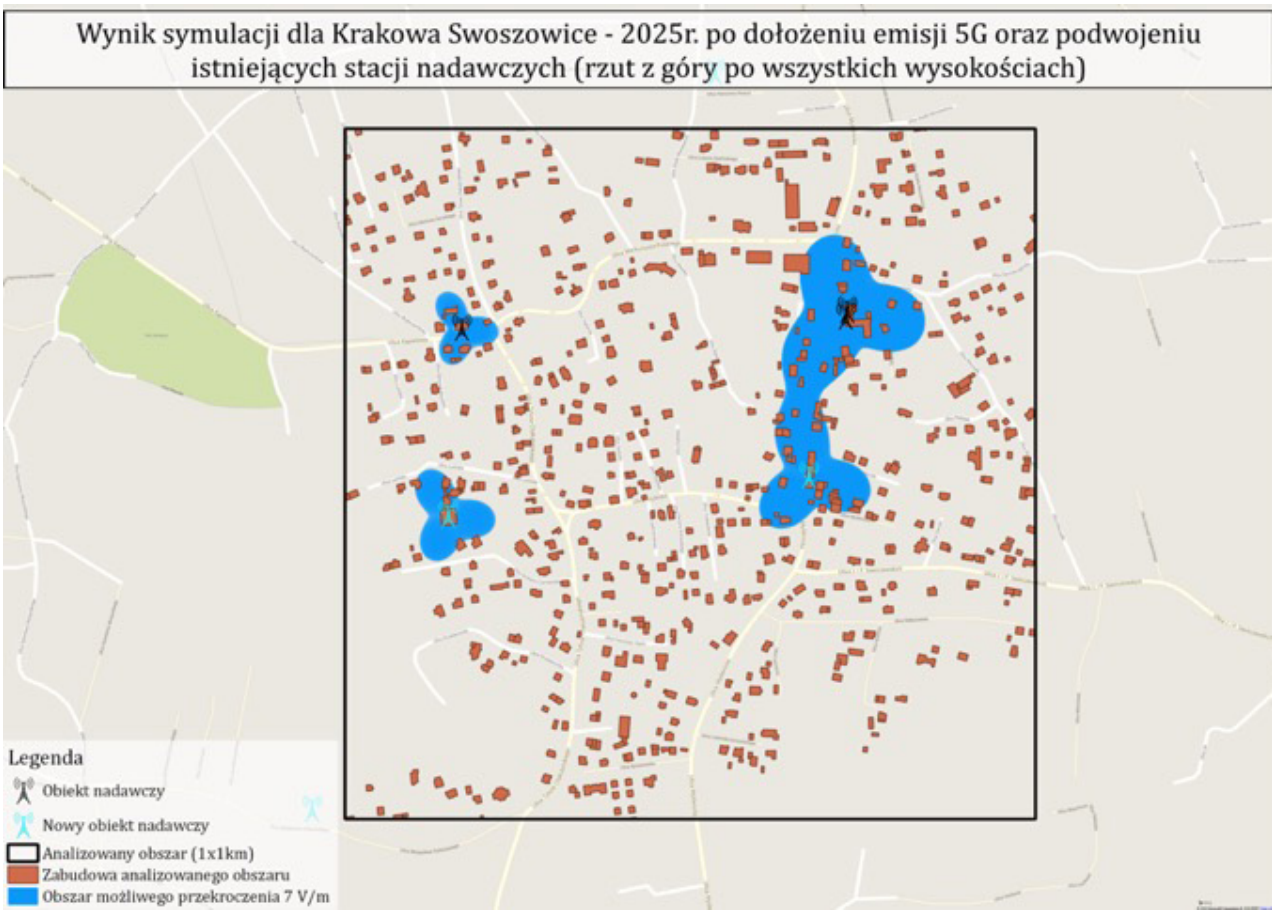



Wynik symulacji dla Krakowa Swoszowice - 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

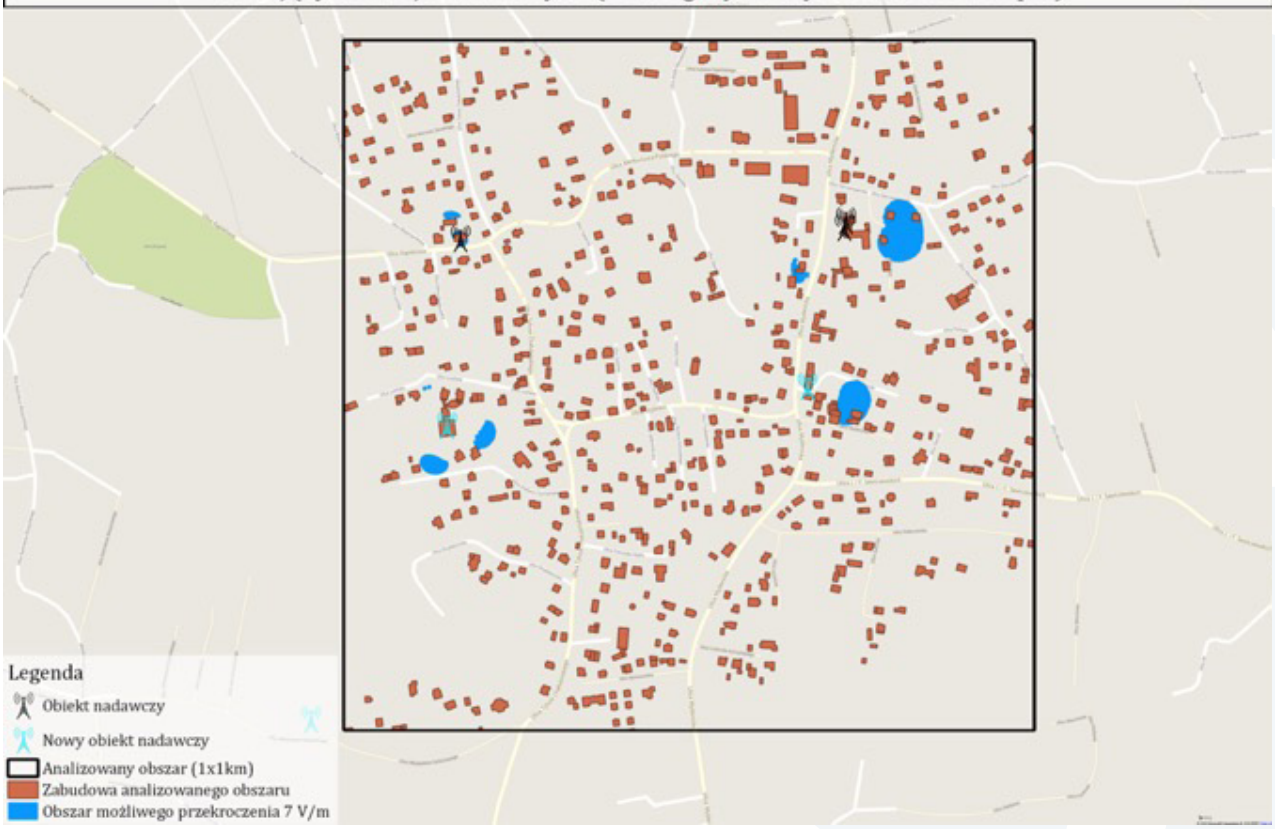
3 / 3 / 6 / 3

KRAKÓW SWOSZOWICE

(Podmiejski Suburban, stan 2025 po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych)



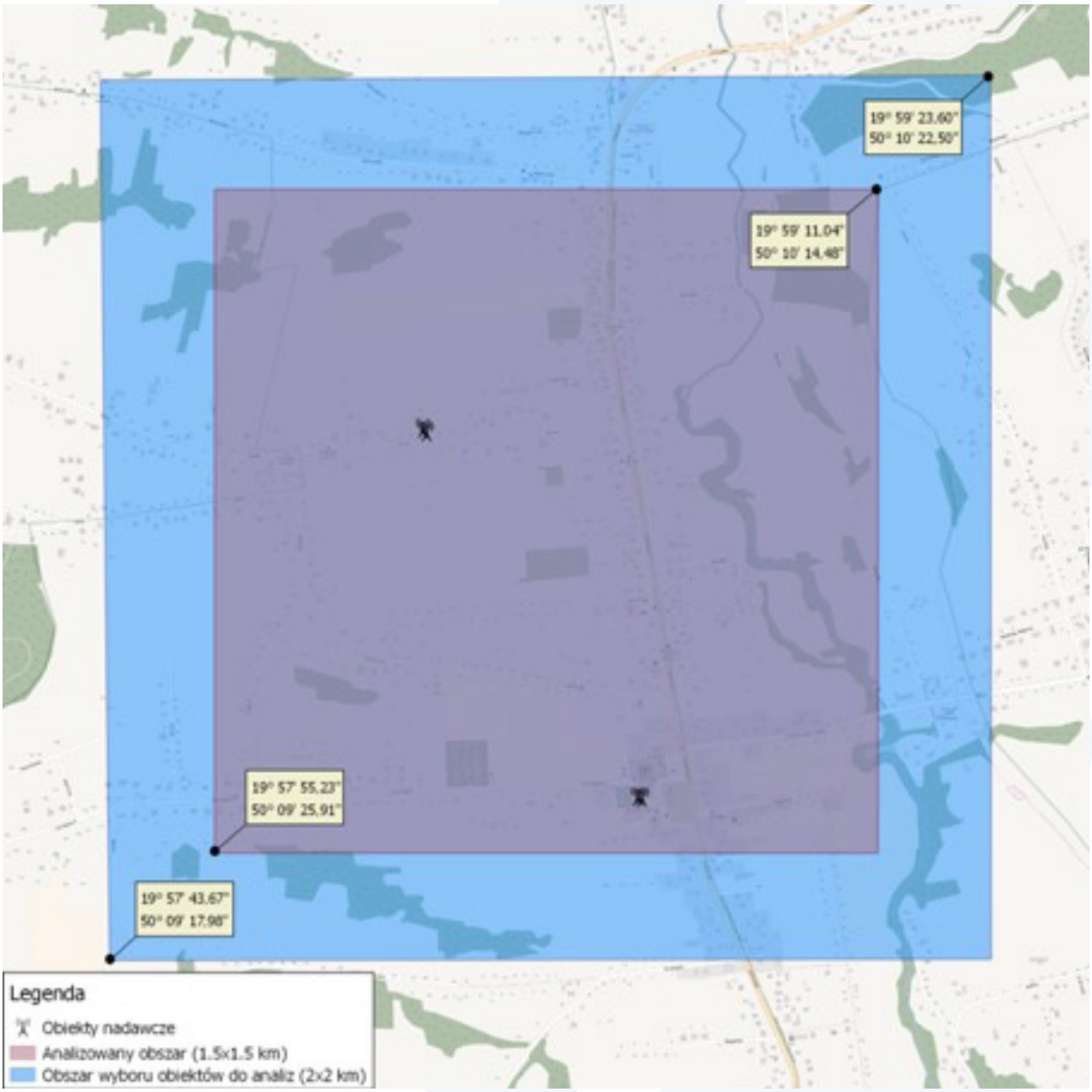
Wynik symulacji dla Krakowa Swoszowice - 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)



3/3 / 7

MICHAŁOWICE

(Wiejski Rural)



RYSUNEK 13
Obszary oraz stacje przyjęte do analizy

TABELA 8

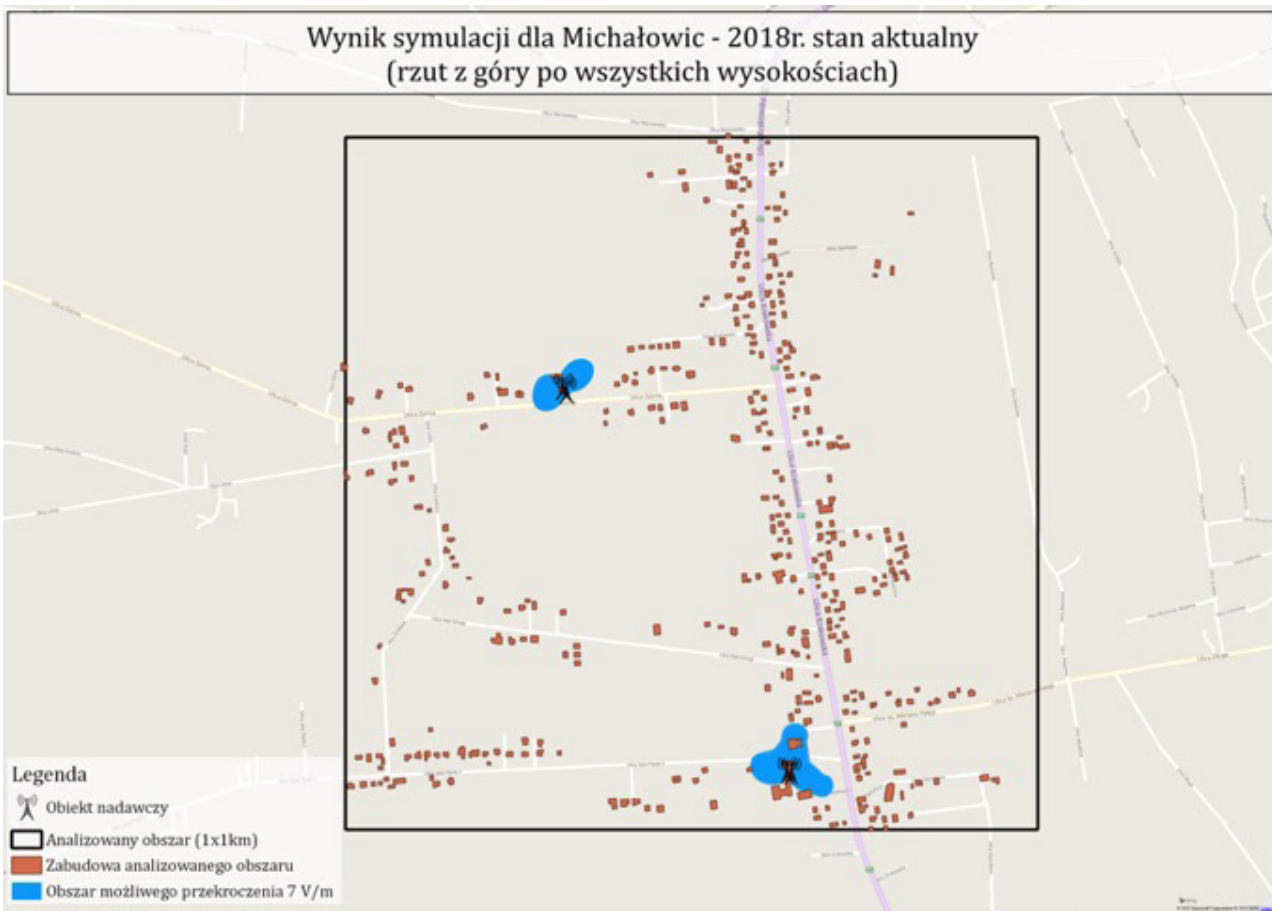
Wartość procentowa wyników symulacji możliwych przekroczeń dopuszczalnego natężenia pola dla obszaru Michałowice w zależności od analizowanego scenariusza rozbudowy sieci.

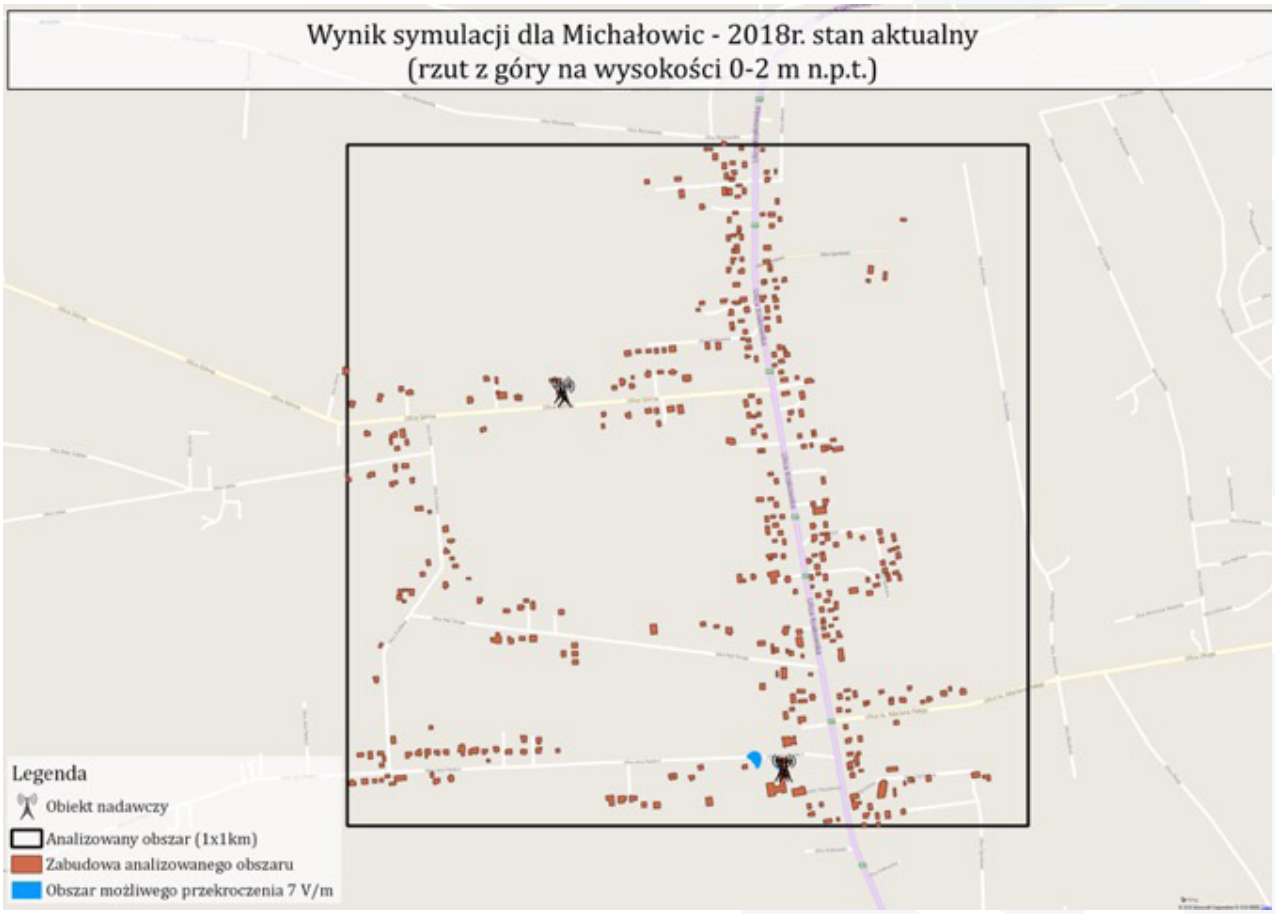
	STAN AKTUALNY 2018	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m	0,02%	0,45%	0,77%
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m	0,0%	0,0%	0,0%

3 / 3 / 7 / 1

MICHAŁOWICE

(Wiejski Rural, stan aktualny 2018)

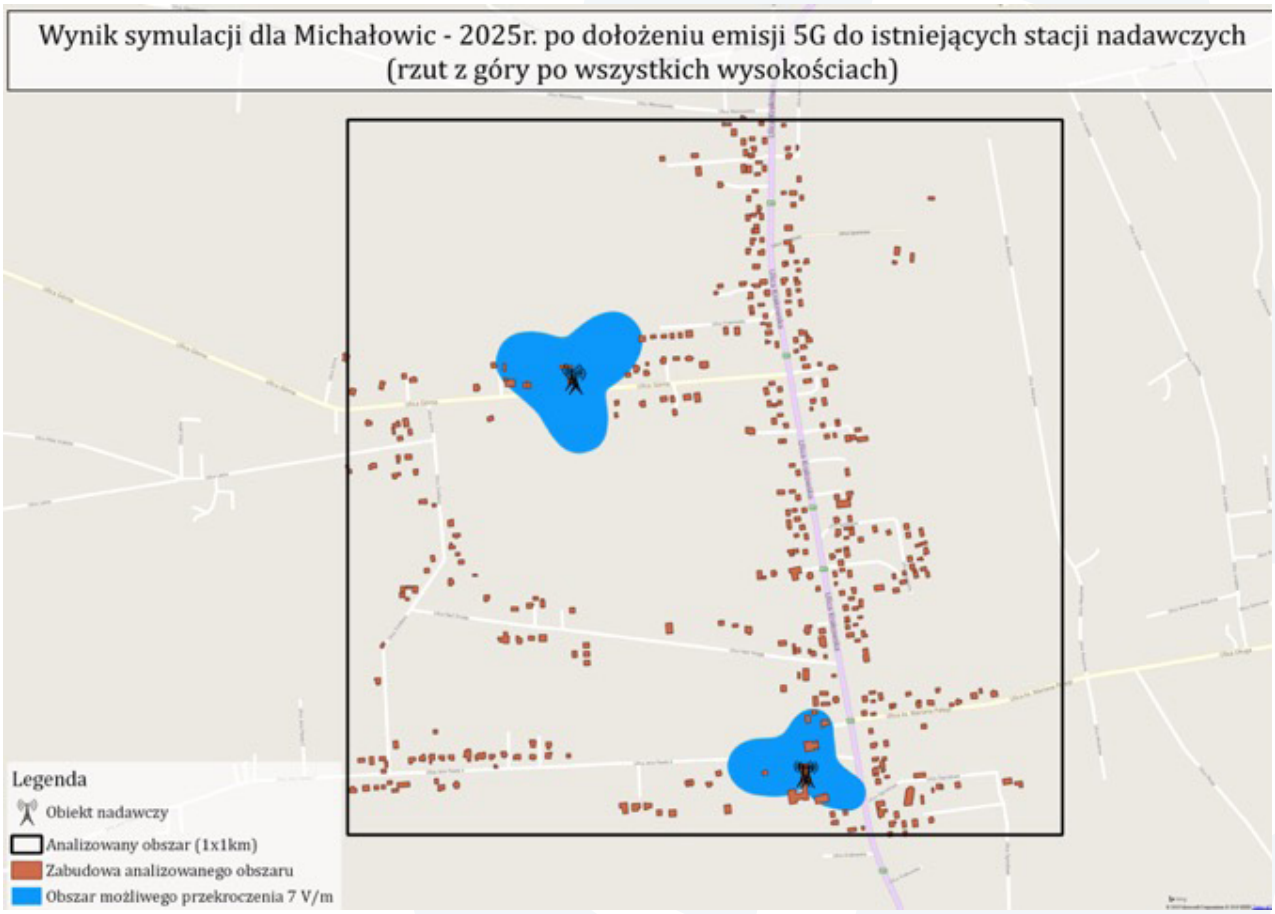


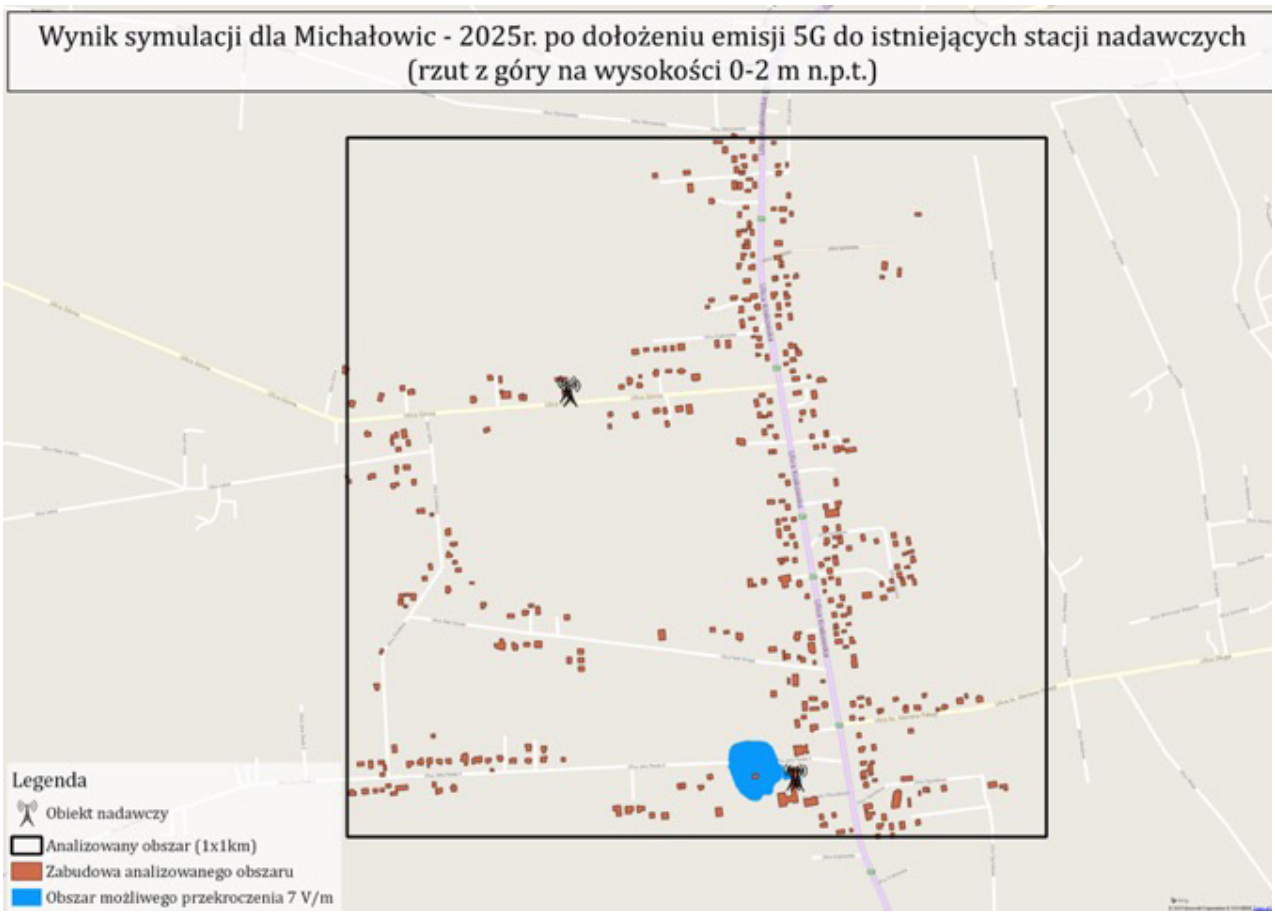

Wynik symulacji dla Michałowic - 2018r. stan aktualny
(rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

3 / 3 / 7 / 2

MICHAŁOWICE

(Wiejski Rural, stan 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych)

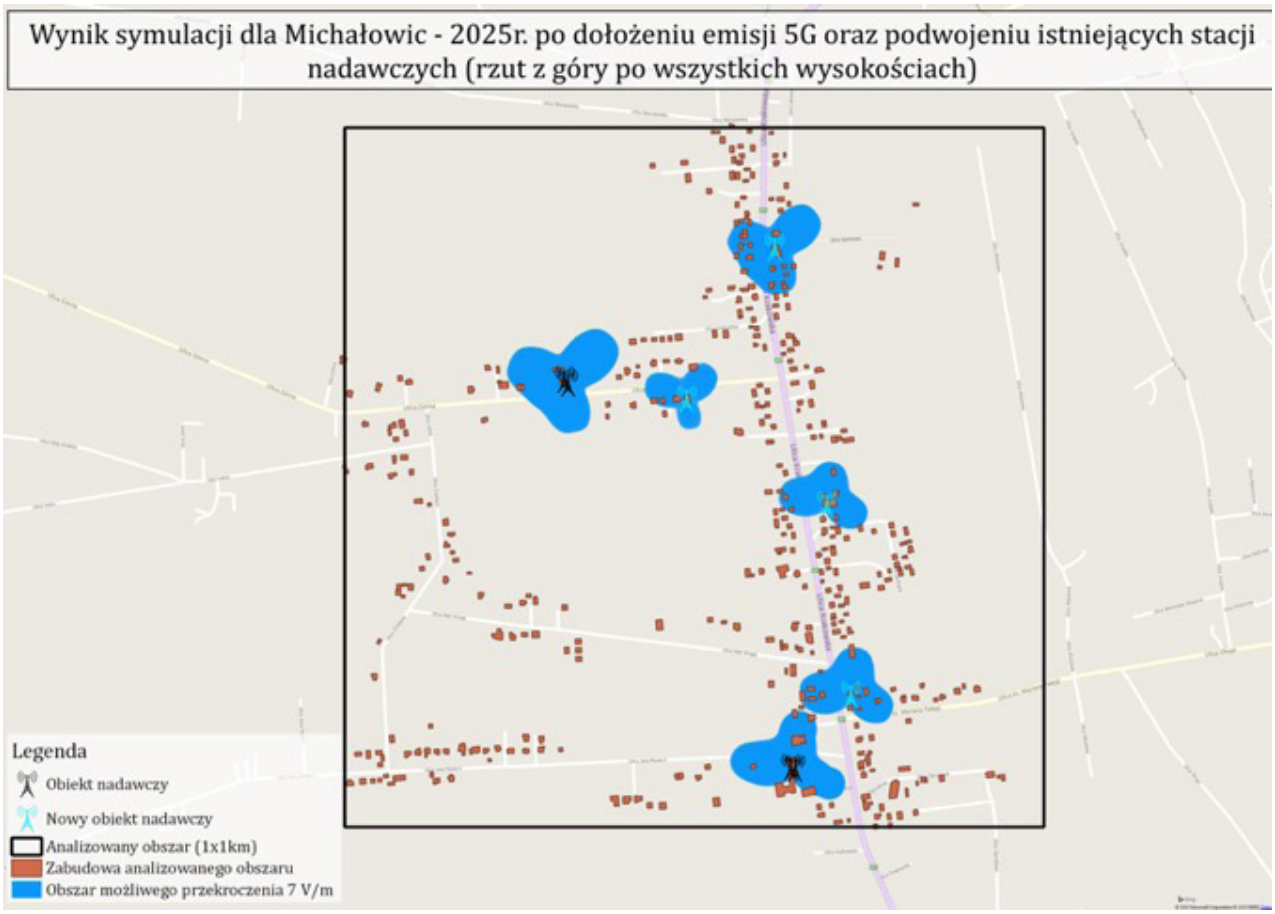



Wynik symulacji dla Michałowic - 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych
(rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

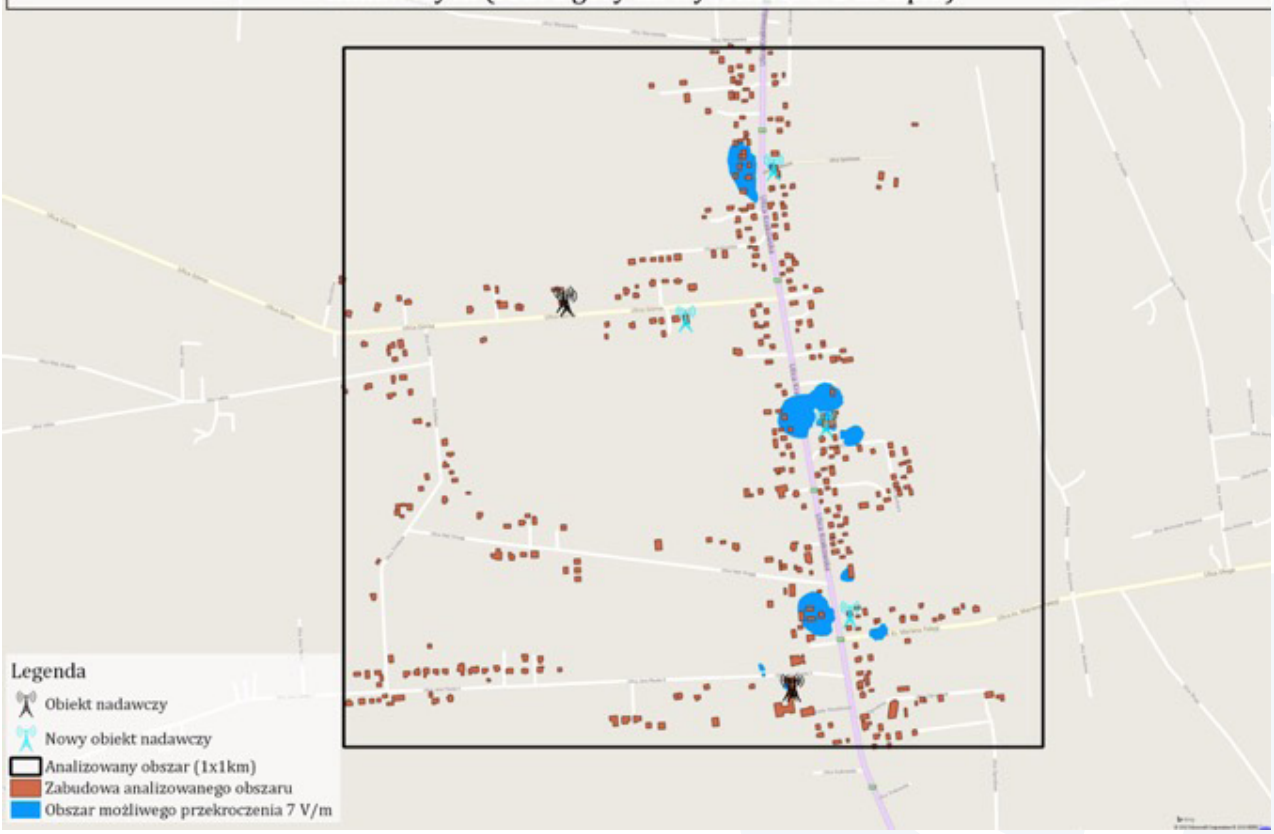
3 / 3 / 7 / 3

MICHAŁOWICE

(Wiejski Rural, stan 2025 po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych)



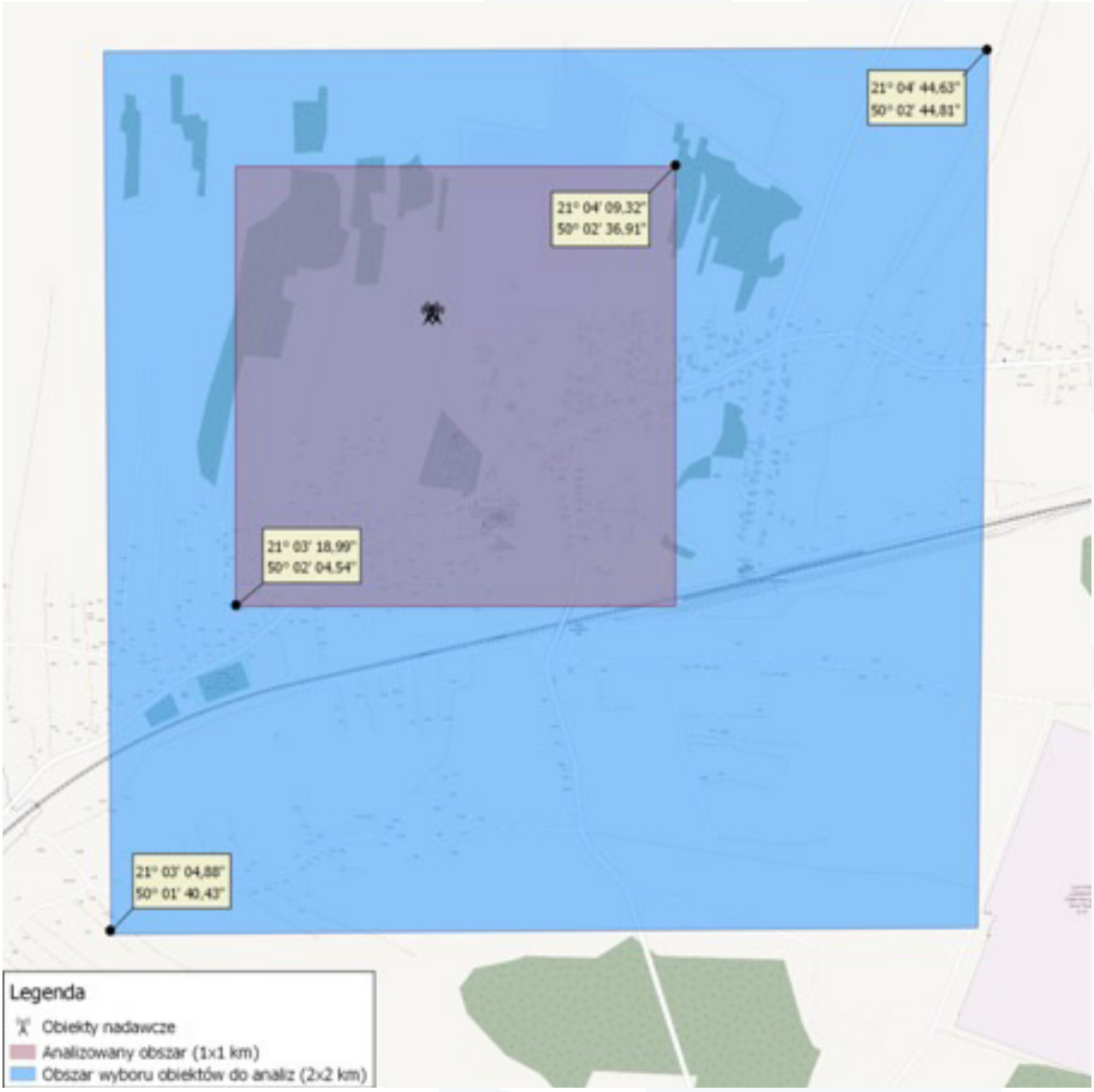
Wynik symulacji dla Michałowic - 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)



3/3 / 8

WOLA RZĘDZIŃSKA

(Wiejski Rural)



RYSUNEK 14

Obszary oraz stacje przyjęte do analizy

TABELA 9

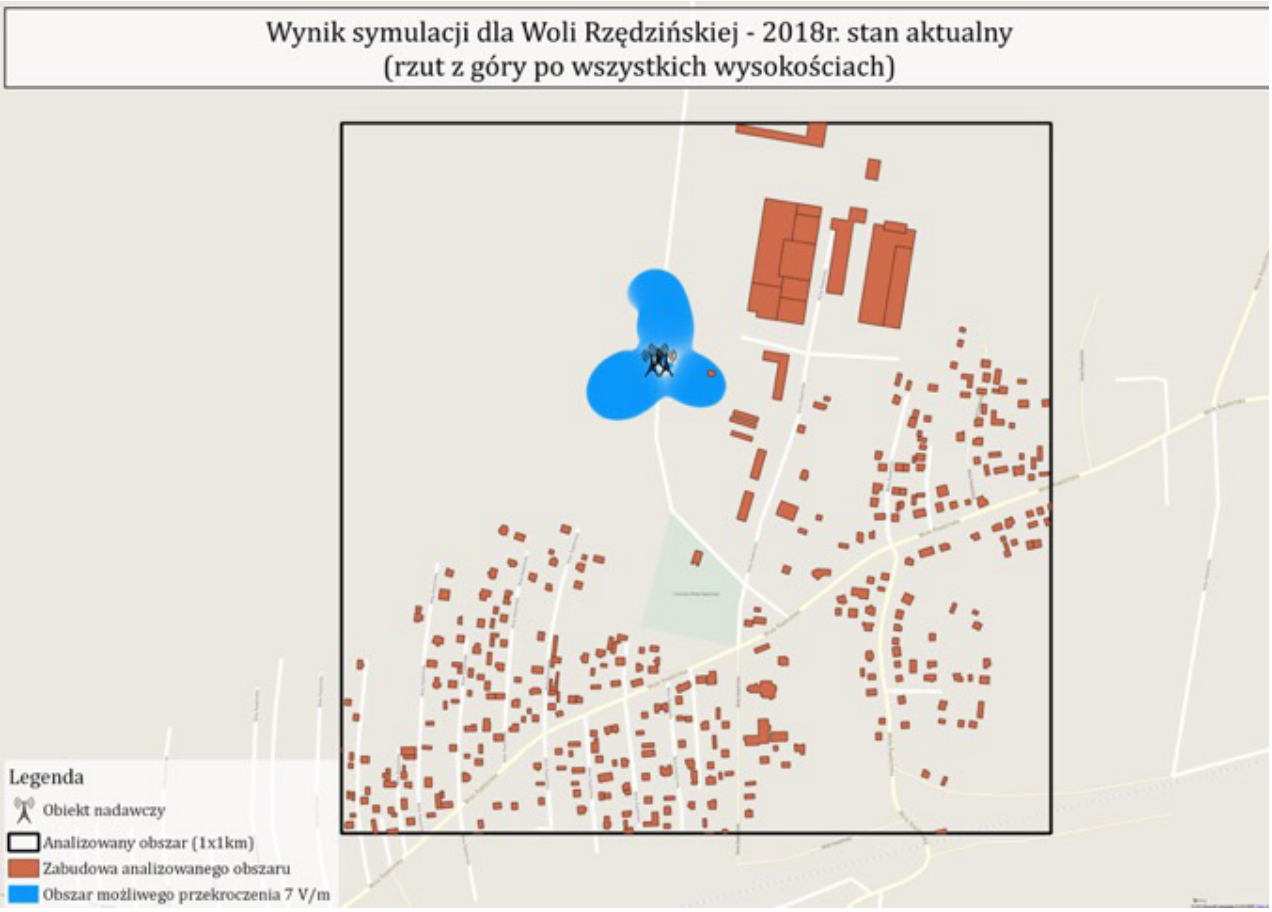
Wartość procentowa wyników symulacji możliwych przekroczeń dopuszczalnego natężenia pola dla obszaru Wola Rzędzińska w zależności od analizowanego scenariusza rozbudowy sieci.

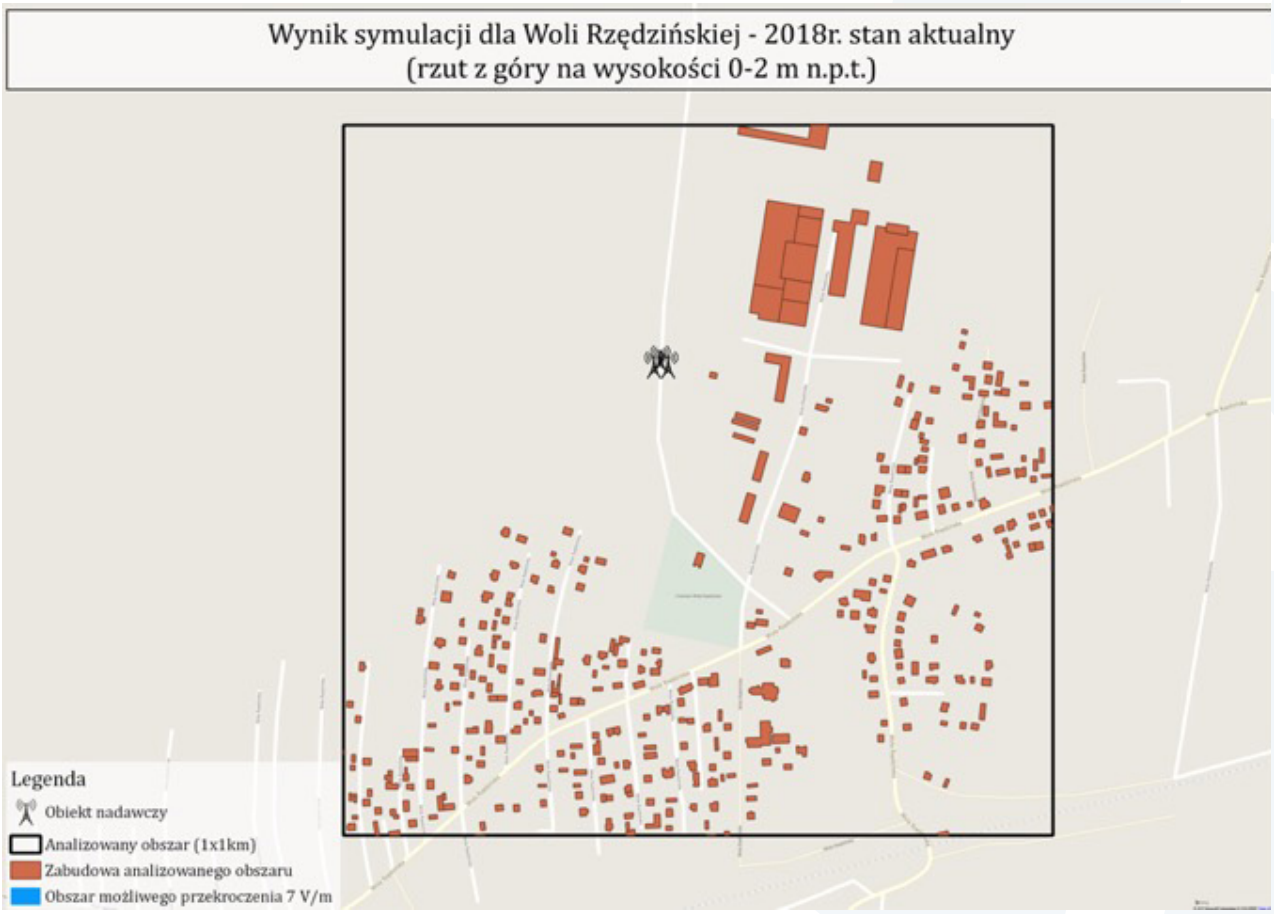
	STAN AKTUALNY 2018	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m	0,0%	0,0%	0,0%
Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m	0,0%	0,0%	0,0%

3 / 3 / 8 / 1

WOLA RZĘDZIŃSKA

(Wiejski Rural, stan 2025 po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych)

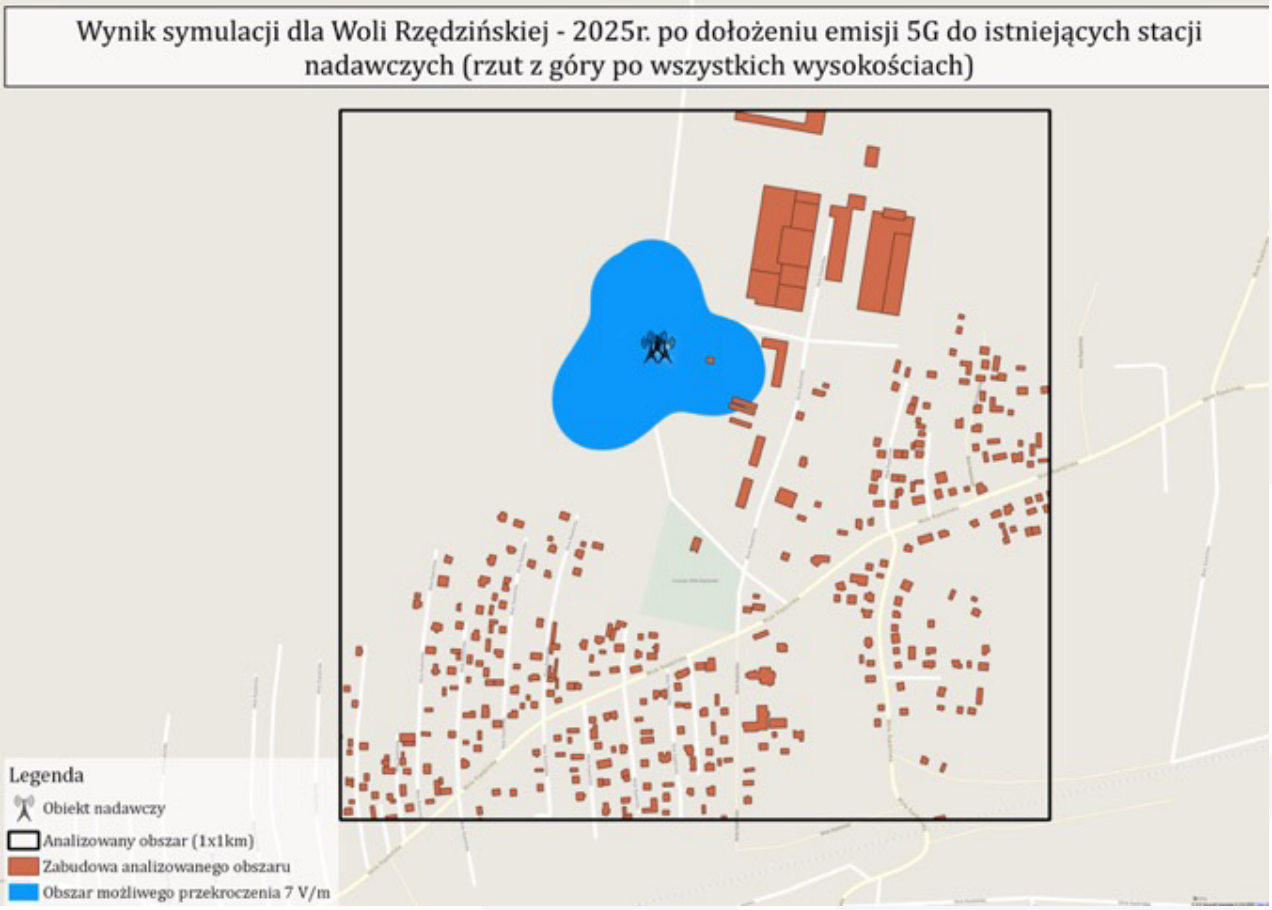



Wynik symulacji dla Woli Rzędzińskiej - 2018r. stan aktualny
(rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)
Legenda
Obiekt nadawczy
Analizowany obszar (1x1km)
Zabudowa analizowanego obszaru
Obszar możliwego przekroczenia 7 V/m

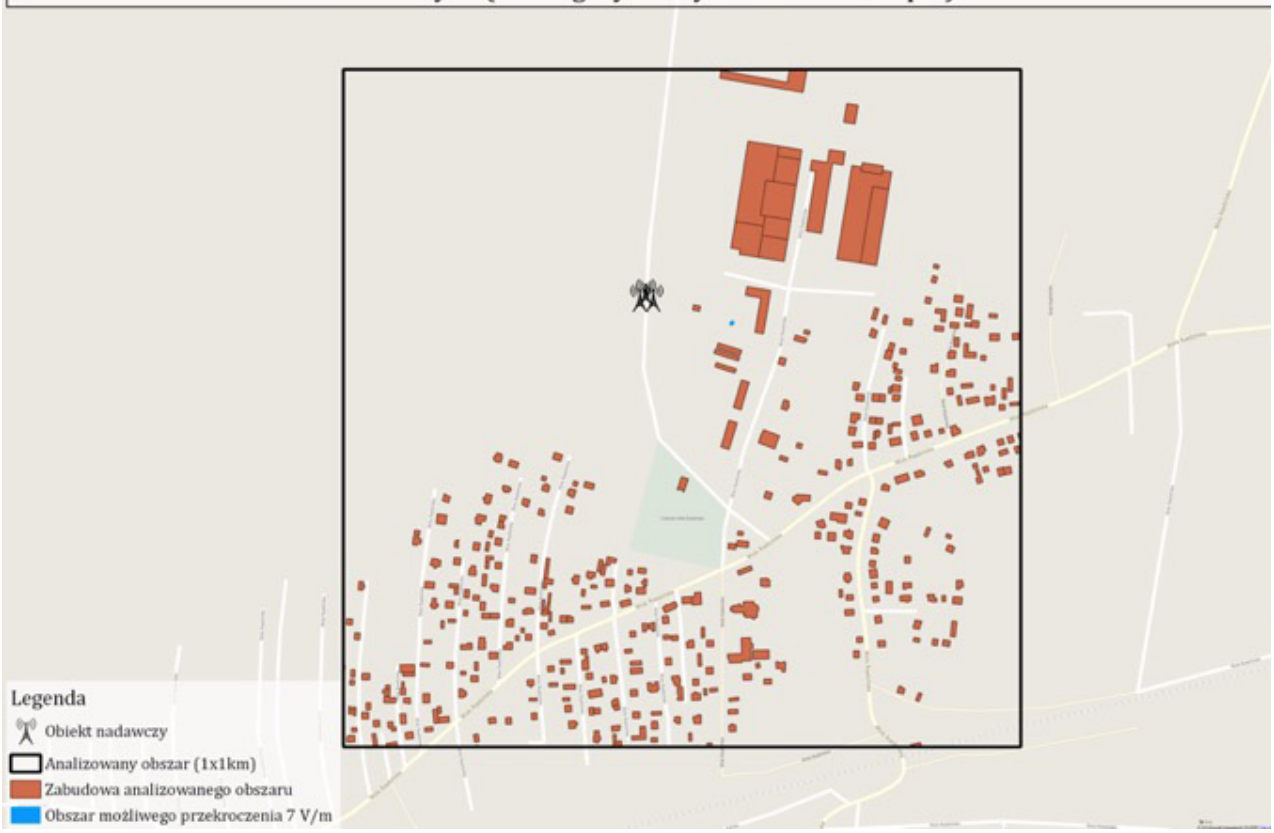
3 / 3 / 8 / 2

WOLA RZĘDZIŃSKA

(Wiejski Rural, stan 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych)



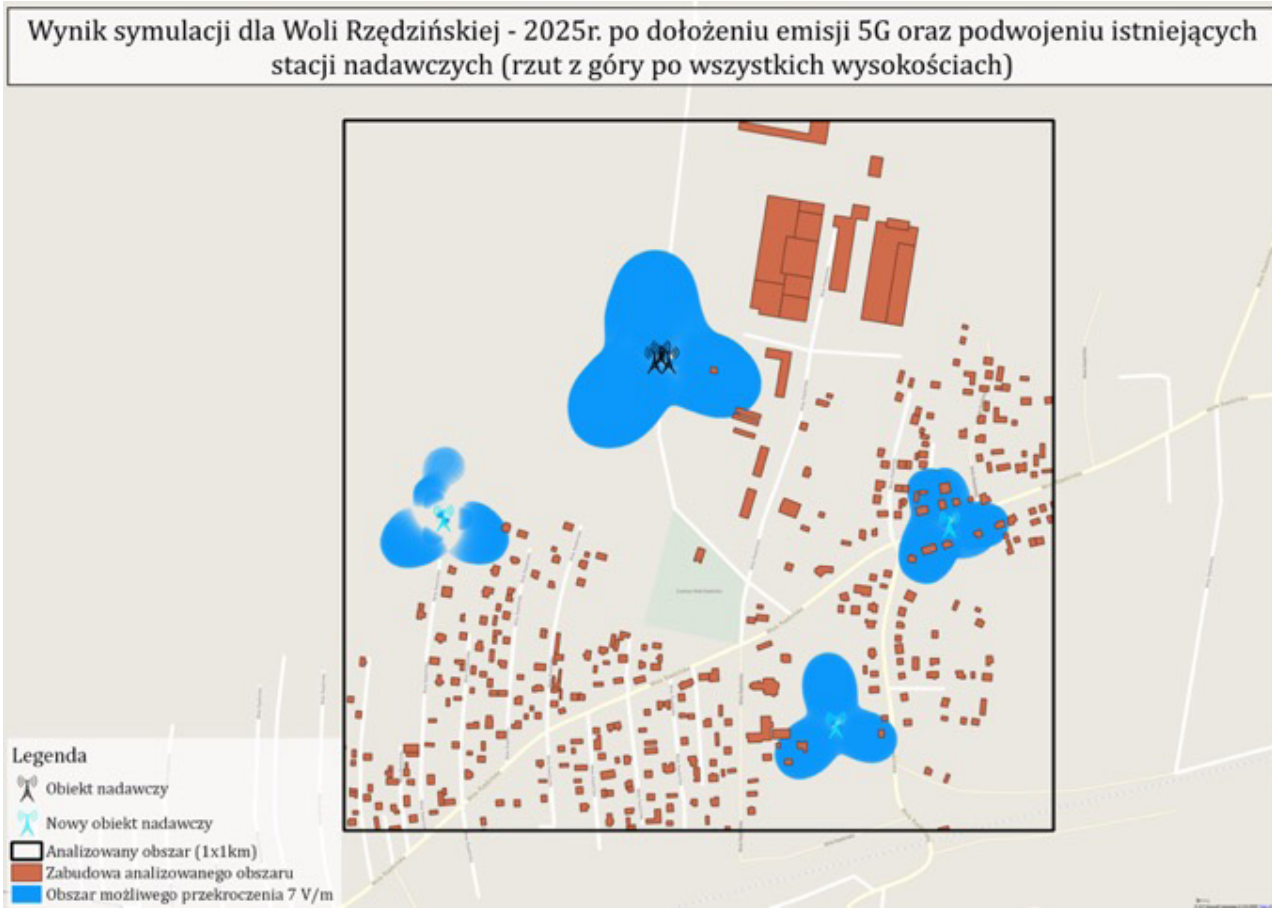
Wynik symulacji dla Woli Rzędzińska - 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)



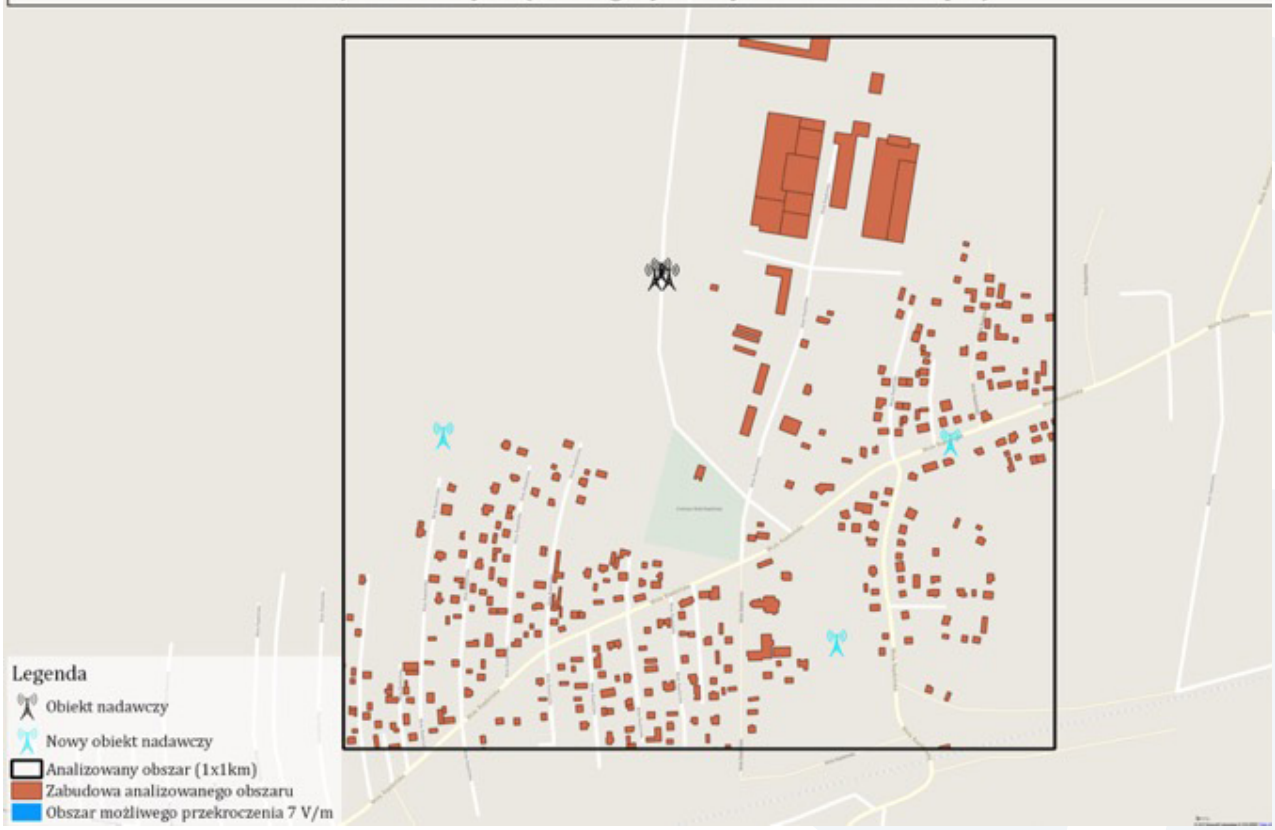
3 / 3 / 8 / 3

WOLA RZĘDZIŃSKA

(Wiejski Rural, stan 2025 po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych)



Wynik symulacji dla Woli Rzędzińskiej - 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych (rzut z góry na wysokości 0-2 m n.p.t.)



3/4

PODSUMO-WANIE

Wykonane analizy wskazały, że już w obecnej sytuacji wartości wypadkowych pól elektromagnetycznych PEM zbliżają się do granicy dopuszczalnej obecnie prawem (7 V/m), w niektórych przypadkach analizy wskazały nawet możliwość wystąpienia potencjalnych przekroczeń tego poziomu. Należy przy tym podkreślić, że zastosowany w niniejszych symulacjach model, zgodny z normą krajową i europejską PN-EN, zakłada maksymalne obciążenie wszystkich stacji bazowych, które teoretycznie może wystąpić, ale w praktyce jest niezwykle rzadkie. Ponadto model ten nie uwzględnia dodatkowego tłumienia fal wynikającego ze zjawisk propagacyjnych (tj. dyfrakcja, tłumienie budynków), stąd lokalne miejsca, które wskazywane są w aktualnej sytuacji jako potencjalne miejsca w zwiększonym poziomie PEM, w przypadku wykonania pomiarów prawdopodobnie nie wykazałyby osiągania takich wartości.

W związku z przewidywanym zwiększeniem ruchu, który będzie miał miejsce w 2025 r. i analizą możliwych wariantów rozwoju sieci, można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W przypadku utrzymania istniejącej infrastruktury sieci (bez zwiększania liczby lokalizacji i masztów), w celu zaspokojenia rosnącego ruchu konieczne będzie dołożenie wszystkich warstw nośnych (700 MHz, 2.5 GHz, 3.6 GHz), przy czym w odniesieniu do obszarów wielkomiejskich, miejskich i podmiejskich warstw 700 MHz i 3,6 GHz, zaś a w przypadku obszarów wiejskich warstw 700 MHz, 2,5 GHz i 3,6 GHz. Nie jest możliwe przy tym utrzymanie istniejącego zasobu widma radiowego, nie jest również możliwe dołożenie tylko warstwy 700 MHz ze względu na jej ograniczoną pojemność. Wykonane analizy symulacyjne wskazały możliwe znaczące przekroczenia poziomu PEM >7V/m, wynikające z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu po dołożeniu dodatkowych wymaganych warstw częstotliwości, we wszystkich analizowanych obszarach poza obszarem wiejskim Wola Rzędzińska. Oznacza to brak możliwości realnej rozbudowy istniejącej sieci w obecnej strukturze stacji w większości miejsc w Polsce. W efekcie może nastąpić pogorszenie jakości usług oferowanych przez operatorów.
2. W przypadku podwojenia liczby stacji bazowych na każdym z obszarów możliwe staje się zmniejszenie wymaganych dostępnych zasobów częstotliwości. Jednak także w tym przypadku konieczne będzie wykorzystanie wszystkich dostępnych pasm częstotliwości (700 MHz, 2.5 GHz, 3.6 GHz), analogicznie jak w scenariuszu 1.. Także w tym przypadku analizy symulacyjne wskazują na możliwe znaczące przekroczenia wymaganych wartości PEM >7V/m, wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu we wszystkich analizowanych obszarach (poza obszarem wiejskim Wola Rzędzińska). Jak widać, wariant dwukrotnego wzrostu liczby stacji bazowych w sieci nadal nie pozwoli na obsłużenie prognozowanego ruchu przy obecnych limitach promieniowania PEM.
3. Scenariusz rozbudowy sieci w postaci bardzo gęstej (mikro i pikokomórki) siatki stacji jest także niemożliwy do realizacji, o ile utrzymane będą obecne limity PEM (>7V/m), bowiem stacje musiały by zostać wymienione na wysokość min. 40 m dla utrzymania limitu promieniowania na poziomie chodnika. Do tego dochodzą problemy związane z koniecznością budowy bardzo gęstej infrastruktury technicznej, zwłaszcza w obszarach wiejskich i podmiejskich

Zestawienia wyników symulacji dla tych trzech wariantów przedstawione są w poniższej tabeli.

ANALIZOWANY OBSZAR	DOPUSZCZALNE NATĘŻENIE POLA	STAN AKTUALNY 2018	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G do istniejących stacji	STAN 2025r. po dołożeniu emisji 5G oraz podwojeniu istniejących stacji nadawczych
Warszawa PKiN	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m PEM wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,9%	27,3%	69,68%
	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0%	0%	0%
Kraków Stare Miasto	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,6%	43,9%	68,68%
	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0%	0,1%	0,05%
Bydgoszcz	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,06%	1,54%	23,48%
	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,0%	0,0%	0,0%
Warszawa Wola	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,05%	2,93%	19,34%
	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,0%	0,0%	0,0%

Wrocław Ołtaszyn	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,03%	3,70%	5,82%
	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,00%	0,00%	0,00%
Kraków Swoszowice	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,23%	0,90%	0,79%
	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,0%	0,0%	0,0%
Michałowice	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,02%	0,45%	0,77%
	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,0%	0,0%	0,0%
Wola Rzędzińska	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 7V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,0%	0,0%	0,0%
	Procent obszaru, w którym mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnego natężenia pola 36.37V/m wynikający z konieczności obsłużenia prognozowanego ruchu	0,0%	0,0%	0,0%

4 WNIOSKI

1. Wykonane analizy symulacyjne wykazały, że już w obecnej sytuacji w wielu przypadkach wartości wypadkowych pól PEM mogą być bliskie obowiązującym obecnie w Polsce limitom (7 V/m) w obszarach dostępnych dla ogółu ludności, w związku z czym w wielu przypadkach nie jest już możliwe dołożenie jakiejkolwiek dodatkowej emisji niepowodującej potencjalnego przekroczenia wypadkowych wartości PEM.
2. Zapewnienie przeniesienia rosnącego ruchu telekomunikacyjnego w roku 2025 wymagać będzie uruchomienia dodatkowych emisji w nowych pasmach częstotliwości (700 MHz, 2,5 GHz, 3,6 GHz) co wiązać będzie się z rozbudową istniejącej infrastruktury o dodatkowe emisje i/lub też z budową nowych stacji bazowych.
3. Przeprowadzone analizy wykazały, że przy obowiązujących w Polsce obecnie limitach PEM dokładanie nowych emisji w obecnych lokalizacjach stacji bazowych spowoduje ryzyko przekroczenia poziomów PEM 7V/m, we wszystkich typach analizowanych obszarów (wielkomiejskim, miejskim, podmiejskim i wiejskim).
4. Analizy wykazały również, że zagęszczenie sieci komórkowych poprzez podwojenie liczby stacji bazowych także powoduje ryzyko przekroczenia wypadkowych poziomów PEM 7V/m we wszystkich typach obszarów.
5. Zastosowanie bardzo gęstej sieci mikro i pikokomórek nie jest także możliwe ze względu na wysokie uzyskiwane wypadkowe wartości PEM przekraczające dopuszczalne limity 7V/m przy typowej wysokości i konstrukcji zawieszenia anten w takich przypadkach (6-16 m n.p.t.). Istnieje także problem braku stosownej infrastruktury w terenach wiejskich i podmiejskich, umożliwiającej ulokowanie tak gęstej sieci nadajników.
6. Wykonane prace (symulacje i analizy różnych wariantów rozbudowy sieci) wskazały na brak możliwości praktycznej realizacji budowy w Polsce sieci 5G, spełniającej wymagania przeniesienia odpowiedniego ruchu w roku 2025, przy utrzymaniu istniejących limitów PEM 7V/m.
7. Z przeprowadzonych i opisanych w niniejszym raporcie analiz wynika, że zarówno rozbudowa istniejących sieci jak i budowa nowych sieci 5G , mających obsłużyć prognozowane na rok 2025 wolumeny ruchu oraz nowe usługi (np. IoT), możliwa będzie jedynie w przypadku zmiany obowiązujących obecnie w Polsce limitów PEM i podniesienie ich do wartości zalecanych przez UE [6] czy ICNIRP (np. 36,37 V/m).

5 LITERATURA

[1]	Mitigation techniques to limit human exposure to EMFs in the vicinity of radiocommunication stations, ITU-T K.70 (01/2018).
[2]	PN-EN 50383:2011/AC:2013, Norma podstawowa dotycząca obliczania i pomiaru natężenia pola elektromagnetycznego i SAR związanego z ekspozycją ludzi w polach elektromagnetycznych, wytwarzanych przez radiowe stacje bazowe i stałe stacje końcowe.
[3]	Guidance for assessment, evaluation and monitoring of human exposure to radio frequency electromagnetic fields, ITU-T K.91 (01/2018).
[4]	Transmitting antenna characteristics at VHF and UHF, ITU-R BS.1195-1 (01/2013).
[5]	Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 roku w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów, Dziennik Ustaw Nr 192, poz. 1882 i 1883..
[6]	COUNCIL RECOMMENDATION of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC).
[7]	Zadanie A: Stworzenie modelu „zapotrzebowanie-podaż" w zakresie usługi transmisji danych dla obszaru Polski oraz wskazanie głównych barier i potrzeb rozwojowych co najmniej do roku 2025.