

Optymalizacja instalacji radiokomunikacyjnych pod kątem minimalizacji ekspozycji środowiska na PEM

Streszczenie.

Instalacje radiokomunikacyjne, a zwłaszcza stacje telefonii komórkowej są przedmiotem zainteresowania społeczeństwa nie tylko ze względów technicznych – jako element infrastruktury radiokomunikacyjnej, ale również jako obiekty mogące oddziaływać na środowisko. W pracy przedstawiono wybrane aspekty projektowania stacji bazowych pod kątem ochrony środowiska.

Abstract.

Radiocommunication systems, especially mobile stations are of interest to society, not only for technical reasons - as part of a radio communications infrastructure, but also as objects that could affect the environment. The paper presents selected aspects of the design of the base stations in terms of environmental protection. (Optimization of radiocommunication installations for minimizing exposure the environment to the EMF).

Słowa kluczowe: stacje bazowe telefonii komórkowej, ochrona środowiska elektromagnetycznego, charakterystyka promieniowania anteny, estymacja natężenia pola, 5G.

Keywords: mobile phone base stations, electromagnetic environment protection, antenna radiation pattern, field strength estimation, 5G

Wstęp

Poziom pola elektromagnetycznego pochodzącego od instalacji radiokomunikacyjnych w środowisku zmienia się wraz z rozwojem tychże instalacji. Rozwój technologiczny i budowa nowych instalacji nie zawsze musi powodować wzrost ekspozycji środowiska na pole elektromagnetyczne (PEM). Przykładem może być zmiana standardu telewizji naziemnej z analogowego na cyfrowy system DVBT. Mimo nawet kilkukrotnego zmniejszenia mocy nadajników uzyskano ten sam zasięg transmisji i znacznie większą liczbę programów telewizyjnych. Podobnej rewolucji możemy oczekiwać przy przejściu z nadawania programów radiowych z analogowej modulacji FM na cyfrowy standard DAB+. Jest to możliwe dzięki znacznie skuteczniejszemu wykorzystaniu energii elektromagnetycznej do przesyłu informacji. Z fizycznego punktu widzenia dostarczenie do użytkownika informacji wymaga określonej porcji energii. W systemach radiokomunikacyjnych najbardziej „energożerną” jest modulacja amplitudy AM. Należy jednak podkreślić, że obecnie jedyny w Polsce nadajnik AM – Pierwszego Programu Polskiego Radia – zlokalizowany w Solcu Kujawskim pracuje ze zmodyfikowaną modulacją AM i mimo, że odbiorniki radiowe traktują ten sygnał jako analogową modulację amplitudy – w rzeczywistości jest to sygnał cyfrowy. Szczegółowy opis zastosowanej w Soleckim nadajniku techniki tworzenia sygnału radiowego przekracza ramy tej pracy [1]. Bardziej wydajne energetycznie są modulacje częstotliwości, ale najlepszą energetyczną sprawność transmisji osiągają systemy cyfrowe. Ogólnie można przyjąć zasadę, że na każdy bit informacji przesłanej w kanale radiowym niezbędna jest emisja do środowiska określonej porcji energii elektromagnetycznej. Obciążenie środowiska energią elektromagnetyczną zależy zarówno od wykorzystanej techniki transmisji jak również sposobu skierowania tej energii od nadajnika do odbiorcy. Z punktu widzenia ochrony środowiska miarą energii elektromagnetycznej jest zwykle natężenie pola elektromagnetycznego E [V/m] lub gęstość mocy mikrofalowej S [W/m²]. Ograniczeniem emisji energii elektromagnetycznej są dopuszczalne poziomy natężenia pola lub gęstości mocy w miejscach dostępnych dla ludności. Zadaniem projektantów instalacji radiokomunikacyjnych jest taka ich budowa, żeby zapewnić spełnienie standardów środowiskowych. Nie mniej ważne niż spełnienie wymagań formalnych jest także edukacja ludności w zakresie potencjalnego oddziaływania instalacji na środowisko czy ludzi. Obecnie obowiązujące przepisy krajowe nie ułatwiają tego zadania. Na etapie projektu

lokalizacji np. stacji bazowej telefonii komórkowej inwestorzy są zobligowani do przekazania stosunkowo mało dokładnych danych, których nie da się wprost przełożyć na np. ocenę natężenia pola w wybranych miejscach – zwłaszcza, że rozporządzenie [2] indywidualnie traktuje nie tylko każdą instalację, ale nawet każdą antenę. Jednocześnie bardzo często osobom zainteresowanym brakuje wiedzy i narzędzi, żeby samemu oszacować poziom PEM w interesujących ich miejscach. W niniejszej pracy przedstawiono wybrane zależności i proste metody szacowania PEM oraz możliwości optymalizacji konfiguracji stacji bazowych dla ograniczenia ich oddziaływania na środowisko.

PEM w otoczeniu anten stacji bazowych

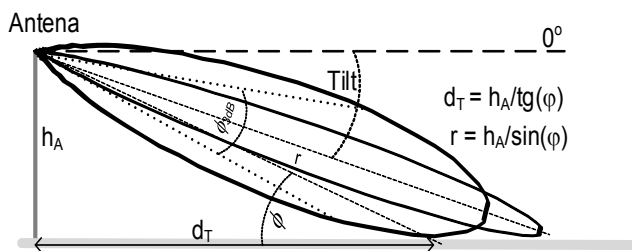
Rozkład natężenia pola elektromagnetycznego w otoczeniu anteny zależy od jej charakterystyki promieniowania. Wyznaczenia natężenia pola w dowolnym punkcie przestrzeni wymaga oprócz charakterystyki promieniowania, znajomości mocy doprowadzonej do anteny i położenia punktu obserwacji względem anteny. Uproszczoną metodę szacowania PEM od anten stacji bazowych przy zminimalizowanej liczbie danych przedstawiono w pracy [3]. Jedną z podstawowych informacji dotyczących oddziaływania na środowisko jest informacja o zasięgu występowania PEM o poziomach wyższych od dopuszczalnych. Maksymalny zasięg występuje wzdłuż osi głównej wiązki anteny i może być wyznaczony z prostej zależności:

$$r = \frac{\sqrt{30 \cdot EIRP}}{E_{dop}} [m] \quad (1)$$

gdzie $EIRP$ [W] to zastępcza izotropowa moc promieniowana anteny ($EIRP = P \cdot G$, P [W] - moc doprowadzona do anteny, G [W/W] - zysk energetyczny anteny, a E_{dop} [V/m] – dopuszczalne natężenie pola. Jeżeli dany punkt oświetla kilka anten z tego samego kierunku – zasięg r najłatwiej obliczyć sumując $EIRP$ wszystkich anten i taką wartość podstawiać do wzoru (1)

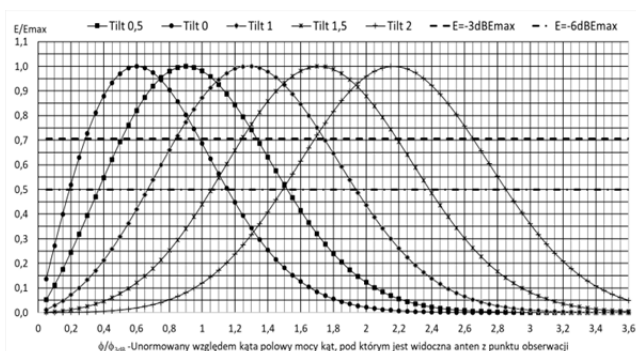
$$r = \frac{\sqrt{30 \cdot \sum EIRP_n}}{E_{dop}} [m] \quad (2)$$

Kolejną przydatną informacją jest odległość od stacji bazowej, w której wystąpi maksimum natężenia pola wiązki głównej. Na rys. 1 przedstawiono taką sytuację.



Rys. 1. Ilustracja określania odległości d_T występowania maksimum natężenia pola od anteny stacji bazowej

Jak wynika z rys. 1 odległość d_T od podstawy maszty antenowego do punktu z maksymalnym natężeniem pola zależy od kąta pochYLENIA wiązki anteny (Tilt) ale też od szerokości wiązki opisanego kątem połowy mocy ϕ_{3dB} . W określeniu tej odległości mogą pomóc wykresy z rysunku 2. Wyznaczono na nich unormowane natężenie pola względem kąta ϕ , pod jakim widoczna jest antena z punktu obserwacji. Dla uniezależnienia wykresów od szerokości wiązki anteny, kąt przedstawiono jako unormowany względem kąta połowy mocy anteny (ϕ_{3dB}), a poszczególne wykresy odpowiadają różnym tiltom, również unormowanym względem ϕ_{3dB} anteny. Z wykresów z rys. 2 można także oszacować „zasięg” komórki – obszar na którym natężenie pola nie zmienia się np. więcej niż 20 dB względem wartości maksymalnej. Na rys. 2 zaznaczono dwie takie wartości: 3 dB i 6 dB poniżej wartości maksymalnej.



Rys. 2. Unormowane natężenie pola w funkcji unormowanego kąta pod jakim jest widoczna antena w punkcie obserwacji

Sposób korzystania z wykresów zostanie przedstawiony na poniższych przykładach:

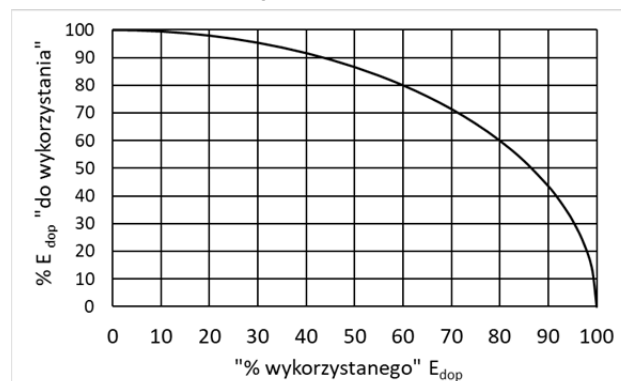
1. Antena o $\phi_{3dB} = 6^\circ$, Tilt = 3° oraz wysokości zawieszenia $h_a = 20m$. Należy wyznaczyć odległość d_T – gdzie wystąpi maksimum natężenia pola na powierzchni ziemi. Unormowany względem ϕ_{3dB} kąt Tilt = $3^\circ/6^\circ = 0,5$. Z odpowiedniego wykresu odczytuje się unormowany kąt dla maksimum E, który w tym wypadku wynosi $0,9 \cdot \phi_{3dB}$ – stąd kąt w mierze bezwzględnej: $\phi = 0,9 \cdot 6^\circ = 5,4^\circ$. Korzystając z zależności $d_T = h_A / \text{tg}(\phi)$ mamy $d_T = 211,5m$. Jednocześnie można wyznaczyć również odległości, na jakich natężenie pola spadnie np. o połowę – odczytujemy dwa kąty unormowane dla $E = 0,5 \cdot E_{max} - 1,52 \cdot \phi_{3dB}$ i $0,36 \cdot \phi_{3dB}$, co przekłada się odpowiednio na $d_1 = 124,5m$ i $d_2 = 530m$
2. Antena o $\phi_{3dB} = 8^\circ$, Tilt = 0° , wysokość zawieszenia $h_a = 20m$. Zadanie jak w przykładzie 1. Tilt = 0 – z odpowiedniego wykresu odczytuje się unormowany kąt dla maksimum E, który wynosi $0,6 \cdot \phi_{3dB}$ – kąt w mierze bezwzględnej: $\phi = 0,6 \cdot 8^\circ = 4,8^\circ$. Stąd otrzymuje się odpowiednio $d_T = 238m$, $d_1 = 123,5$ a $d_2 = 716m$

Optymalizacja stacji bazowej pod kątem oddziaływania na środowisko

Rozwój technologii radiokomunikacyjnych i ciągły wzrost zapotrzebowania na transmisję danych w sieciach komórkowych skutkuje rozbudową oraz zagęszczeniem stacji bazowych. W przypadku rozbudowy do stacji bazowej dokładane są kolejne systemy zwykle ze swoimi układami nadawczo odbiorczymi i antenami. Przy zachowaniu niezmięnionej topologii sieci, wiązki głównych nowych anten pokrywają się z wiązkami anten już istniejących i w efekcie może pojawić się problem z przekraczaniem dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku. Jako parametr do oceny poziomu PEM w środowisku przyjmuje się wartość skuteczną natężenia pola z całego pasma. Wypadkowe natężenie pola opisane jest zależnością (3):

$$E_{wyp} = \sqrt{\sum_n E_n^2} \quad (3)$$

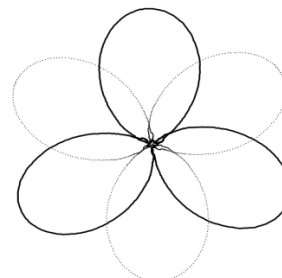
Zależność pozwala również na oszacowanie „zapasu” natężenia pola do osiągnięcia wartości dopuszczalnej przy instalacji nowego systemu w istniejącym środowisku. Na rys. 3 przedstawiono nomogram pozwalający określić jak duże natężenie pola w stosunku do wartości dopuszczalnej może pochodzić od nowego systemu przy znanym poziomie pola „zastanego”.



Rys. 3. Nomogram do wyznaczania „zapasu” natężenia pola do wartości dopuszczalnej przy znanym poziomie pola zastanego

Analiza wykresu pozwala zauważyć, że nawet jeżeli natężenie pola zastanego wynosi 90% wartości dopuszczalnej – na nowe systemy pozostaje jeszcze ponad 40% wartości dopuszczalnej. Np. przy poziomie dopuszczalnym $E_{dop} = 7V/m$ i natężeniu pola od już istniejących systemów równym $6,3V/m$ – nowe systemy mogą mieć w tym punkcie do $3V/m$.

Drugą możliwością jest rekonfiguracja sieci – np. przesunięcie azymutów sektorów nowych systemów o połowę kąta między istniejącymi sektorami – rys. 4.



Rys. 4. Przesunięcie azymutów sektorów nowych systemów na stacji bazowej w celu rozproszenia punktów o kumulacji PEM.

Umożliwi to rozproszenie obszarów o największym natężeniu pola i tym samym pozwoli utrzymać średnie natężenie pola na mniejszym poziomie. Rozwiązanie takie może jednak bardzo skomplikować zarządzanie siecią.

Znacznie lepsze efekty może przynieść zmniejszanie wielkości komórek. Jak napisano we wstępie – do przesłania każdego bita informacji potrzeba określonej energii. Przeanalizujemy następującą sytuację. Przyjmijmy typowy sektor obecnie eksploatowanych stacji bazowych – z anteną o kącie połowy mocy równym 60° w azymucie i 12° z tiltem 2° w elewacji. Przyjmijmy, że sektor ma zasięg ograniczony obszarem wyznaczonym spadkiem sygnału o 6 dB (połowa natężenia pola) w azymucie i elewacji. Promień takiej komórki wyniesie ok. 400 m przy szerokości ok. 90° w azymucie. Powierzchnię tak zdefiniowanej komórki można oszacować na ok. $p = 120 \text{ tys. m}^2$. Dla uproszczenia analizy przyjmijmy, że energia potrzebna do przeprowadzenia transmisji w dowolnym punkcie komórki jest stała. Energię pojedynczej transmisji można opisać przez wymaganą gęstość mocy w punkcie odbioru. Przyjmijmy, że wynosi ona $S_1 = 1 \text{ mW/m}^2$. Ponieważ energia transmitowana jest przez antenę do całego sektora – to znaczy, że wymagana moc promieniowana opisana przez $EIRP_1 = S_1 \cdot p = 120 \text{ W}$ na jedno połączenie. Jeżeli w komórce znajduje się 100 użytkowników – EIRP stacji wzrośnie do $EIRP_{100} = 12\,000 \text{ W}$, a gęstość mocy w dowolnym punkcie komórki do $S_{100} = 100 \text{ mW/m}^2$. Rozpatrzmy teraz sytuację, że analizowana komórka została podzielona na 4 mniejsze – każda o takiej samej powierzchni, bez zmiany pozostałych parametrów. W każdym z nowych sektorów wymagana gęstość mocy nadal wynosi $S_{1n} = 1 \text{ mW/m}^2$, więc pozornie nic się nie zmienia. Zauważmy jednak, że jeżeli w obszarze starej komórki mamy tylko jednego abonenta – to energię elektromagnetyczną musimy teraz wyemitować tylko do jednego z nowych sektorów, których powierzchnia wyniesie $p_n = 30\,000 \text{ m}^2$, czyli wymagane $EIRP = 30 \text{ W}$ i mimo, że w sektorze, w którym aktualnie przebywa abonent gęstość mocy jest taka sama, jak dla pojedynczej dużej komórki, to do trzech pozostałych nie jest już emitowana żadna energia PEM. Jeżeli zwiększymy liczbę abonentów do 100 rozmieszczonych równomiernie w czterech nowych sektorach – w każdym sektorze będzie trzeba zapewnić $S_{25} = 25 \text{ mW/m}^2$ a tym samym $EIRP_{25n} = 25 \cdot 30\,000 = 750\,000 \text{ mW} = 750 \text{ W}$, a w efekcie 3000 W sumarycznie we wszystkich sektorach – co daje 4-krotne zmniejszenie energii emitowanej do środowiska i 4-krotne zmniejszenie gęstości mocy w miejscach gdzie przebywają abonenci. Oczywiście – jeżeli wszyscy abonenci zgromadzą się w jednej małej komórce – gęstość mocy w tej komórce będzie taka sama jak w dużej komórce przed podziałem – ale na $\frac{3}{4}$ powierzchni starej komórki nie będzie w ogóle emisji energii elektromagnetycznej. Podsumowując – n -krotne zmniejszenie powierzchni komórki pozwala na n -krotne zmniejszenie obciążenia środowiska energią elektromagnetyczną albo – przy zachowaniu tych samych standardów środowiskowych – możliwość n -krotnego zwiększenia energii promieniowanej – co można przełożyć na n -krotne zwiększenie ilości przesyłanych informacji.

Jak widać, z punktu widzenia ochrony środowiska elektromagnetycznego, tworzenie dużej liczby małych komórek jest bardzo korzystne. Należy tu podkreślić, że tworzenie dużej liczby małych komórek jest jednym z podstawowych założeń standardu 5G, którego wdrożenie właśnie się rozpoczyna. Z tego punktu widzenia bez wątplenia dobrze zaprojektowane sieci 5G będzie można określić mianem proekologicznych.

Z technicznego punktu widzenia tworzenie mniejszych komórek wymaga anten o węższych wiązkach promieniowania i nie wdając się w szczegóły techniczne – jest to łatwiejsze do zrealizowania przy wyższych częstotliwościach – stąd w standardzie 5G planuje się wykorzystywanie częstotliwości powyżej 3GHz do nawet

kilkudziesięciu GHz. Oczywiście dla zapewnienia dużego zasięgu w obszarach o mniejszej gęstości infrastruktury planuje się stosowanie pasm częstotliwości poniżej 1GHz – np. nowego pasma 700MHz.

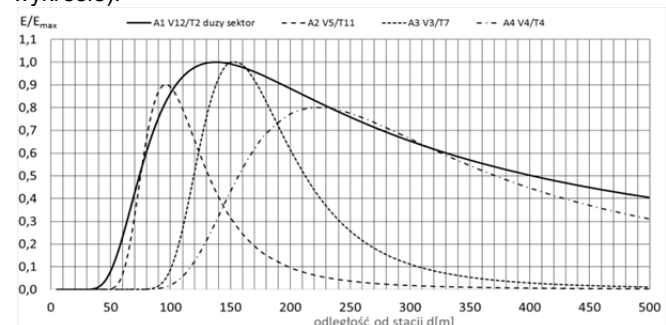
Napisane powyżej może sugerować, że podział komórek na mniejsze wymagać będzie znacznego zwiększenia liczby stacji bazowych. Jest to oczywiście prawdą, ale są też możliwości podziału komórek bez zwiększania liczby stacji bazowych – a przez zwiększenie liczby sektorów – np. zamiast 3 sektorów w azymucie – zastosowanie anten o węższych wiązkach i budowa 6 sektorów. Można również rozważyć sektoryzację w płaszczyźnie pionowej – rys. 5..



Rys. 5. Sektoryzacja w płaszczyźnie pionowej - zastąpienie jednej anteny kilkoma o różnych szerokościach wiązek i tiltach

Rozwiązanie takie jest już obecnie powszechnie stosowane w stacjach bazowych wielosystemowych, ale raczej nie optymalizuje się takiego układu pod kątem ochrony środowiska – a bardziej pod kątem prawidłowego działania sieci. Połączenie tych dwóch optymalizacji może przynieść oczekiwany efekt – zwłaszcza przy stosowaniu coraz wyższych pasm częstotliwości i anten o ostrzejszych charakterystykach promieniowania (lub układów anten).

Na wykresach z rys. 6. Przeprowadzono symulację zastąpienia jednej anteny pokrywającej cały sektor w płaszczyźnie pionowej (kąt połowy mocy $V = 12^\circ$, tilt $T = 2^\circ$) – trzema o węższych charakterystykach (opis anten na wykresie).



Rys. 6. Symulacja sektoryzacji w płaszczyźnie pionowej dla optymalizacji obciążenia środowiska energią elektromagnetyczną

Przedstawione powyżej propozycje nie są jedynymi możliwymi rozwiązaniami dla optymalizacji pojemności sieci przy ograniczaniu emisji energii elektromagnetycznej do środowiska, i z pewnością nie rozwiążą wszystkich problemów związanych z rozbudową sieci, ale pokazują pewne kierunki i możliwości, których wykorzystanie przy projektowaniu nowych systemów może pozwolić na zrównoważony rozwój i utrzymanie jak najlepszych standardów środowiska.

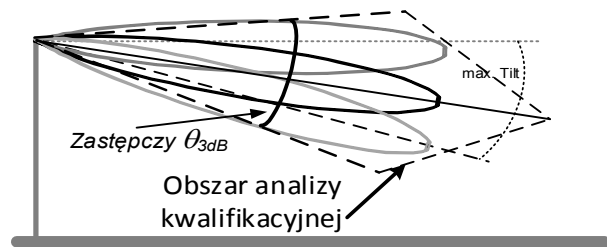
Lokalizacja stacji bazowej i kwalifikacja pod kątem oddziaływania na środowisko

Lokalizacja stacji bazowych sieci komórkowych to proces formalny i techniczny. Z technicznego punktu widzenia miejsce instalacji wybiera się zgodnie z zasadami planowania sieci. Formalne kwestie, to między innymi określenie oddziaływania instalacji na środowisko. Kwalifikacja instalacji radiokomunikacyjnej jako przedsięwzięcia mogącego znacząco oddziaływać na środowisko odbywa się na podstawie kryteriów opisanych w

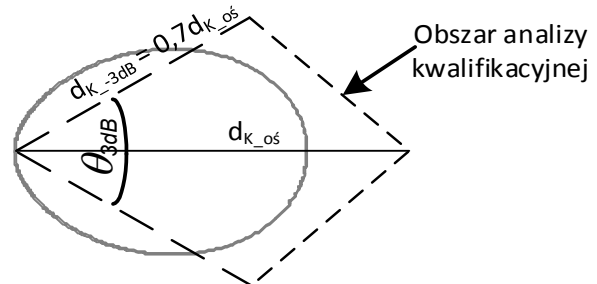
rozporządzeniu [2]. Zwykle mamy do czynienia z procedurą przeciwną – to znaczy wykazaniu, że taka instalacja nie spełnia wymagań, które kwalifikowałyby ją jako przedsięwzięcie zawsze lub potencjalnie znacząco oddziaływujące na środowisko. Same kryteria techniczne są oparte na mocy EIRP pojedynczej anteny i odległości miejsc dostępnych dla ludności w osi głównej wiązki promieniowania anteny. Kryterium takie jest bardzo uproszczone i w zasadzie pozwala jedynie na stwierdzenie „niespełnienia” warunków – czyli jeżeli miejsce dostępne dla ludności w osi wiązki anteny jest bliżej niż wyznaczona w rozporządzeniu odległość, to instalacja będzie znacząco oddziaływać na środowisko. Nie oznacza to jednak, że spełnienie warunku „odległościowego” na pewno zapewni zachowanie standardów środowiskowych. Przykłady: kilka anten skierowanych w tym samym kierunku – mimo spełnienia przez każdą z nich kryterium odległości – sumaryczne pole od tych anten może przekroczyć wartość dopuszczalną, drugi przykład odnosi się do analizy tylko w osi wiązki anteny – wystarczy, że miejsce dostępne dla ludności znajdzie się poza osią anteny – nie jest już przez taką kwalifikację rozpatrywane. Trzeci aspekt – kwalifikacja w żaden sposób nie uwzględnia już istniejących instalacji i poziomów PEM „zastanego”. Powyższe przykłady pokazują, że sama kwalifikacja zgodnie z [2] to zbyt mało do podjęcia jednoznacznej decyzji o spełnieniu przez projektowaną instalację standardów środowiskowych. Oczywiście prawo ochrony środowiska [4] wymaga wykazania na drodze pomiarów po uruchomieniu instalacji dotrzymania w środowisku dopuszczalnych poziomów PEM [5], ale decyzję lokalizacyjną podejmuje się na etapie projektu i już na tym etapie osoba zatwierdzająca taką lokalizację powinna być przekonana o braku jej znaczącego oddziaływania na środowisko. Wątpliwości związane z procesem wydania warunków lokalizacyjnych są przedmiotem wielu skarg, postępowań sądowych i przyczyniają się do znacznego wydłużenia procesu inwestycyjnego. Wydaje się, że bardzo uzasadnionym byłoby rozszerzenie kryteriów kwalifikacyjnych pozwalające na pełniejszą i jednoznaczną ocenę inwestycji, ale jednocześnie nie wymagające bardzo szczegółowych i tym samym kosztownych analiz. Poniżej przedstawiono propozycję takiej rozszerzonej kwalifikacji:

1. Kwalifikacji poddaje się kompletną stację bazową ze wszystkimi projektowanymi systemami (nawet, jeżeli wstępnie inwestor planuje instalacje tylko części systemów – taka jednorazowa kwalifikacja upoważnia go do rozbudowy instalacji aż do „wyczerpania” zasobów zgłoszonych w kwalifikacji – jednocześnie jakiegokolwiek zmiany wykraczające poza zadeklarowane w kwalifikacji parametry zobowiązuje do przeprowadzenia nowej – kompletnej kwalifikacji – bez możliwości wprowadzania „nieistotnych zmian”)
2. Jako moc promieniowaną w danym kierunku przyjmuje się sumę EIRP wszystkich anten, których azymuty są od siebie odległe o kąt mniejszy niż połowa kąta połowy mocy anteny o najszerzej wiązce
3. Jeżeli azymuty kilku anten są różne – do analizy przyjmuje się „zastępczą” antenę o kącie połowy mocy równym kątowi połowy mocy anteny o najszerzej wiązce powiększonym o sumę różnic azymutów najbardziej odległych anten
4. Analogicznie postępuje się w płaszczyźnie elewacji, z tym że do kąta połowy mocy anteny zastępczej dodaje się pełny zakres zmian tiltów (rys. 7)
5. Miejsca dostępne dla ludności wyznacza się w płaszczyźnie azymutu i elewacji w obrębie deltoidu, którego dłuższa przekątna $d_{K,os}$ jest równa odległości „kwalifikacyjnej” zgodnie z rozporządzeniem [2], a boki o

długości $d_{K,-3dB} = 0,7 \cdot d_{K,os}$ są ograniczone kątem połowy mocy anteny zastępczej (rys. 8).



Rys. 7. Sposób określenia zastępczego kąta połowy mocy dla kilku anten bądź anten ze zmiennym tiltom



Rys. 8. Sposób wyznaczenia obszar analizy kwalifikacyjnej

6. W kwalifikacji identyfikuje się istniejące instalacje w odległości do 300m od planowanej instalacji. Jeżeli takie instalacje występują – do kwalifikacji przyjmuje się odległość „kwalifikacyjną” powiększoną o 20% względem odległości z rozporządzenia [2] dla danego zakresu EIRP – jest to „zapas” na pole pochodzące od instalacji istniejących.

Jeżeli w tak wyznaczonym obszarze nie występują miejsca dostępne dla ludności – przyjmuje się, że instalacja nie stanowi przedsięwzięcia znacząco oddziałującego na środowisko.

Zaproponowane rozwiązanie daje wyniki znacznie bliższe rzeczywistym obszarom występowania PEM o poziomach dopuszczalnych projektowanej instalacji niż dotychczasowe rozwiązanie „odległościowe”, a jednocześnie nie są wymagane pełne analizy rozkładów PEM na podstawie rzeczywistych charakterystyk anten projektowanej stacji. W proponowanym rozwiązaniu można wyeliminować ograniczenie EIRP do max 20 000W, powyżej których instalacja traktowana jest zawsze jako mogąca znacząco oddziaływać na środowisko, oczywiście wyznaczając dla takich mocy odpowiednie odległości kwalifikacyjne.

Autor: dr hab. inż. Paweł Bieńkowski prof. PW, Politechnika Wroclawska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław,
E-mail: pawel.bienkowski@pwr.edu.pl;

LITERATURA

- [1] D. J. Bem, „Zasięg Radiowego Centrum Nadawczego Solec Kujawski”, Krajowe Sympozjum Telekomunikacji '2001, Bydgoszcz, 12-14 września 2001, Instytut Telekomunikacji Politechnika Warszawska, s. 240-249.
- [2] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 2019 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz.U. 2019 poz. 1839)
- [3] P. Bieńkowski, J. Podlaska, B. Zubrzak: Pole elektromagnetyczne w środowisku – metody szacowania i monitoring, *Medycyna Pracy* 2019;70(5):567–585.
- [4] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2008 r. Nr 25 z późn. zm.)
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (Dz. U. Nr 192 poz. 1883)