

PROBLEMY IDENTYFIKACJI PRZESZKÓD POWODUJĄCYCH PRZESŁANIANIE WIĄZKI RADARU NA PRZYKŁADZIE RADARU METEOROLOGICZNEGO

Streszczenie: W artykule przedstawiono problemy związane z wyborem miejsc lokalizacji urządzeń radarowych na przykładzie analizy warunków pracy stacjonarnego radaru meteorologicznego. Artykuł zawiera omówienie sposobu analizy właściwości pozycji przewidzianej do instalacji radaru oraz przykładową analizę warunków pracy radaru stacjonarnego, ukierunkowaną na identyfikację przeszkód terenowych powodujących przesłanianie wiązki radarowej.

PROBLEMS WITH IDENTIFICATION OF OBSTACLES WITHIN METEOROLOGICAL RADAR ANTENNA BEAM

Abstract: The article presents problems associated with the choice of locations for the radar equipment at the example of the working conditions of stationary meteorological radar. Article will discuss the way of analysis of the properties entry for the installation of radar and a sample analysis of working conditions for stationary radar, aimed at identifying obstacles causing shadowing radar beam.

1. Wstęp

Problem wyboru miejsca rozwinięcia i pracy urządzeń radiolokacyjnych jest analizowany od momentu wynalezienia pierwszego radaru. Efektywność pracy radaru jest ściśle uzależniona od miejsca jego stania, tzn. od obecności w sąsiedztwie przeszkód terenowych wywołujących zakłócenia lub blokujących rozchodzenie się promieniowania elektromagnetycznego, emitowanego przez radar. Przeszkody wpływające na promieniowanie radarowe można podzielić na dwie zasadnicze grupy. Do pierwszej z nich należą naturalne przeszkody terenowe, czyli wzniesienia terenu, akweny wodne, skały itp., a także roślinność w postaci zespołów leśnych, zarośli oraz pojedynczych dużych drzew. Do drugiej grupy przeszkód, wpływających na warunki pracy radaru w danej lokalizacji, możemy zaliczyć przeszkody sztuczne, czyli będące dziełem człowieka. Są to przede wszystkim budynki i kompleksy zurbanizowane, wysokie maszty i kominy oraz słupy energetyczne.

Z działalnością człowieka związane są także zakłócenia elektromagnetyczne generowane przez maszyny, urządzenia przemysłowe oraz różnego rodzaju systemy łączności. Występowanie w rejonie pracy radaru źródeł zakłóceń elektromagnetycznych często może być przyczyną trudnych do interpretacji anomalii w pracy radaru. Przedmiotem niniejszego artykułu nie będzie jednak lokalizacja źródeł zakłóceń

elektromagnetycznych i ich eliminacja, a problemy związane z analizą właściwości pozycji przewidzianej jako miejsce pracy radaru, ze szczególnym uwzględnieniem występowania kątów zakrycia horyzontu powodowanych przez różnego typu zasłony terenowe.

2. Problemy występujące na etapie wyboru miejsca pod lokalizację urządzeń radarowych. Metody analizy warunków pracy radaru w miejscu rozwinięcia.

Do jednych z najważniejszych czynników, ograniczających możliwości taktyczno-techniczne urządzeń radiolokacyjnych, należą czynniki fizyczne. Wybór odpowiedniej lokalizacji pod budowę radaru stacjonarnego, jest o tyle istotny, iż bardzo często późniejsza eliminacja błędów, związanych z nieprawidłowym usytuowaniem wieży radarowej, jest bardzo trudna, kosztowna a czasami wręcz niemożliwa. Przedmiotem naszych rozważań będą głównie uwarunkowania terenowe, które determinują zasięg wykrywania obiektów powietrznych.

Wybierając miejsce pracy radaru należy, na podstawie parametrów radaru mającego stanąć w danej lokalizacji (m.in. kąty elewacji wiązki antenowej), danych o terenie i przewidywanej wysokości zawieszenia anteny, wykonać symulację potencjalnych zasięgów wykrywania. Wiąże się to z analizą map topograficznych, oraz wstępną weryfikacją właściwości danej lokalizacji wykonanej w oparciu o numeryczny model terenu, uwzględniający wysokości n.p.m. Dzięki takiej analizie, znając współrzędne pozycji (np. przeprowadzając pomiar za pomocą odbiorników GPS), możemy wstępnie określić przeszkody terenowe mogące mieć wpływ na ewentualne skrócenie zasięgu wykrywania radaru. Należy jednak pamiętać, że tego typu mapy zawierają jedynie informacje o ukształtowaniu terenu, nie uwzględniając przeszkód w postaci zespołów leśnych, pojedynczych drzew, okolicznych zabudowań, masztów telekomunikacyjnych itp. Z tego względu, należy za pomocą teodolitu wykonać dodatkowo pomiar kątów zakrycia w miejscu, gdzie docelowo zamierzamy zainstalować radar. Kąt zakrycia jest to kąt elewacyjny zawarty między płaszczyzną poziomą, przechodzącą przez środek elektryczny anteny radaru a prostą przechodzącą przez środek elektryczny anteny i wierzchołek danej przeszkody terenowej.

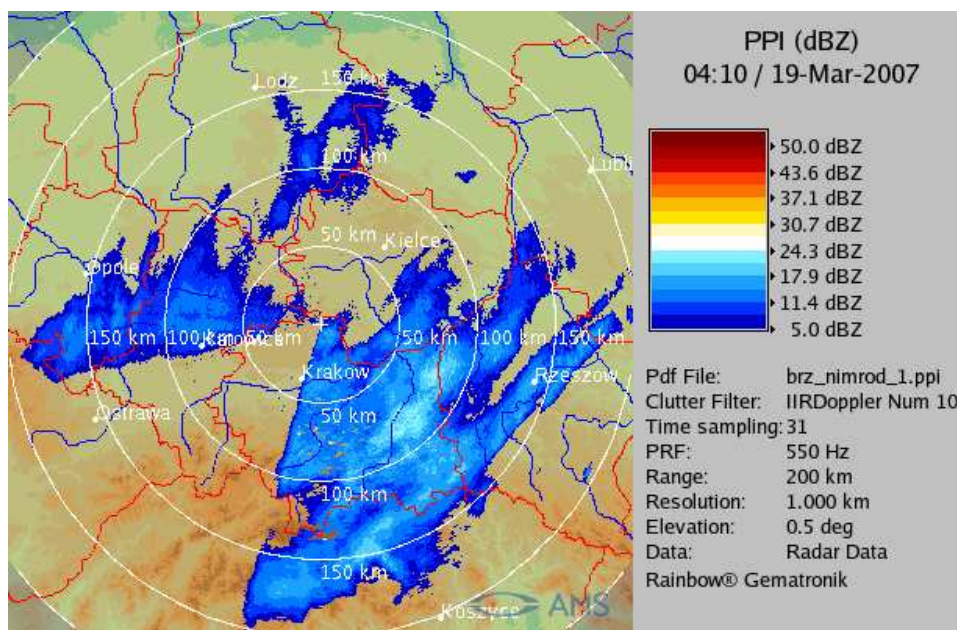
Na podstawie wyznaczonych wartości kątów zakrycia oblicza się potencjalne zasięgi wykrywania radaru. Zasięgi wyznacza się dla wybranych wysokości obiektów powietrznych, np. 100, 300, 500, 1000, 3000 m. Sporządzane wykresy potencjalnych stref wykrywania dają informacje o właściwościach pozycji na której ma być rozwinięty radar, przy uwzględnieniu kątów zakrycia określonych dla danej pozycji na podstawie modelu terenu oraz kątów zmierzonych za pomocą teodolitu.

W przypadku analizy nowej pozycji pod wieżę radarową, otrzymane wartości kątów zakrycia należy skorygować o przewidywaną wysokość zawieszenia anteny radaru. Przedstawiona metoda identyfikacji potencjalnych przeszkód mogących powodować przesłanianie wiązki radaru może zostać także zastosowana w przypadku stwierdzenia nieprawidłowej pracy radaru już pracującego w danej lokalizacji

3. Identyfikacja przeszkód terenowych powodujących przesłanianie wiązki radarowej na przykładzie stacjonarnego radaru meteorologicznego

W 2010 r. w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia przeprowadzono analizę warunków pracy stacjonarnego, dopplerowskiego radaru meteorologicznego typu Meteor 500C. Radar ten pracował z polaryzacją liniową, horyzontalną w paśmie 5600 - 5650 MHz. Skanowanie przestrzeni odbywało się na kątach elewacji 0,5°, 1,4°, 2,4°, 3,4°, 5,3°, 7,7°, 10,6°, 14,1°, 18,5°, oraz 23,8°, wiązką ołówkową o szerokości 1°. Wysokość zawieszenia anteny nad terenem wynosiła 35m.

Podczas eksploatacji radaru użytkownik stwierdził, że w pracy radaru występują następujące anomalie: całkowity brak wykryć radarowych w sektorze azymutalnym 197° - 247° w sytuacji skanowania przestrzeni na elewacji 0,5° (Rys.1), oraz zauważalne braki wykryć radarowych w sektorze azymutalnym 197° - 247° w sytuacji skanowania przestrzeni na elewacji 1,4°.



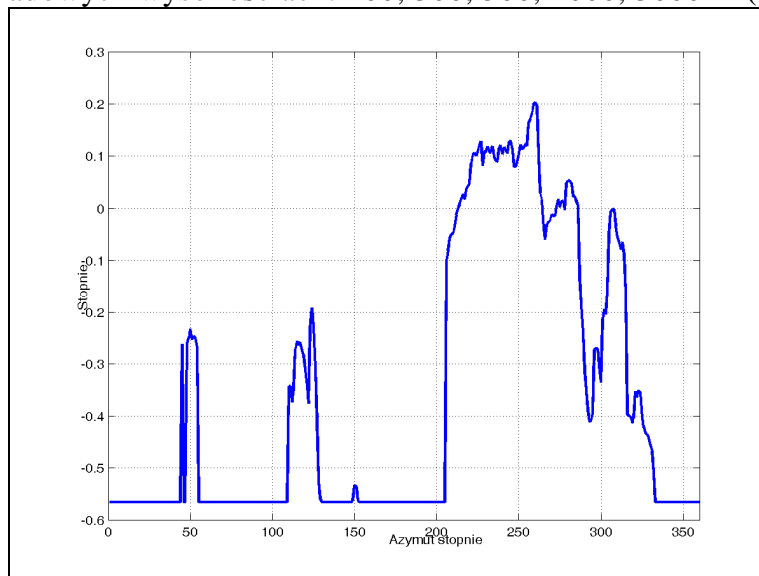
Rys.1 Dane uzyskane od użytkownika radaru

W związku z zaistniałym problemem, przeprowadzona ocena warunków pracy radaru meteorologicznego objęła:

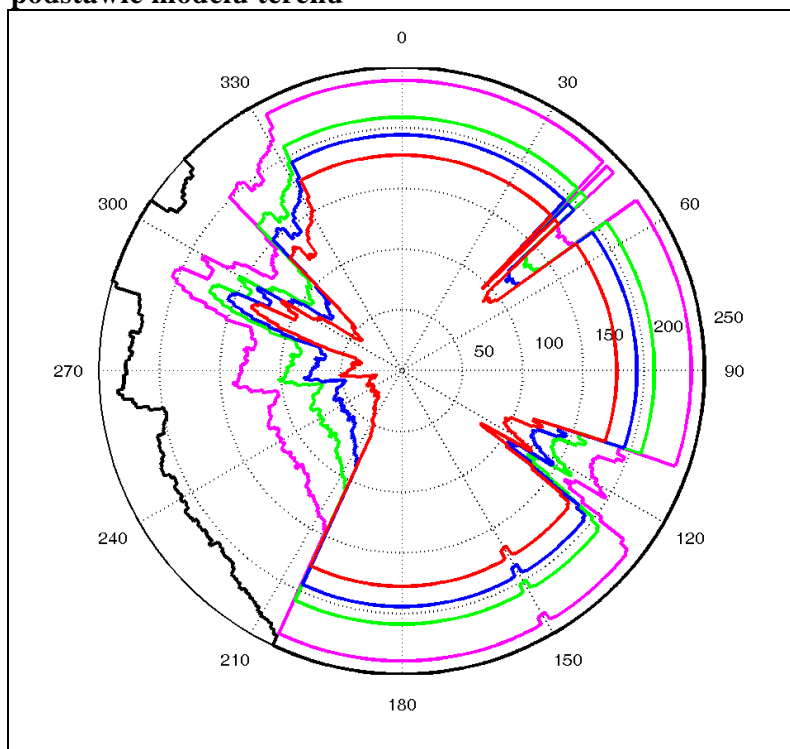
- analizę wpływu ukształtowania terenu na warunki pracy radaru,
- pomiar kątów zakrycia w miejscu pracy radaru,
- określenie potencjalnych zasięgów wykrywania radaru z uwzględnieniem pomierzonych kątów zakrycia,
- analizę archiwalnych danych radarowych,
- ocenę możliwości poprawy warunków pracy radaru na analizowanej pozycji.

Na podstawie analizy wpływu ukształtowania terenu na warunki pracy radaru można było stwierdzić, że wiązka radaru może być przesłaniana, w analizowanym sektorze azymutalnym przez pasma wzgórz, leżące w odległości 25 - 30 km. W celu oceny stopnia przesłaniania wiązki przez te przeszkody obliczono kąty zakrycia

w oparciu o model terenu (Rys.2) oraz wyliczono potencjalne zasięgi wykrywania radaru na przykładowych wysokościach: 100, 300, 500, 1000, 3000 m (Rys. 3).



Rys.2 Wartości kątów zakrycia radaru meteorologicznego obliczone na podstawie modelu terenu



Rys.3 Wykresy potencjalnych zasięgów wykrywania radaru z uwzględnieniem kątów zakrycia określonych tylko na podstawie modelu terenu

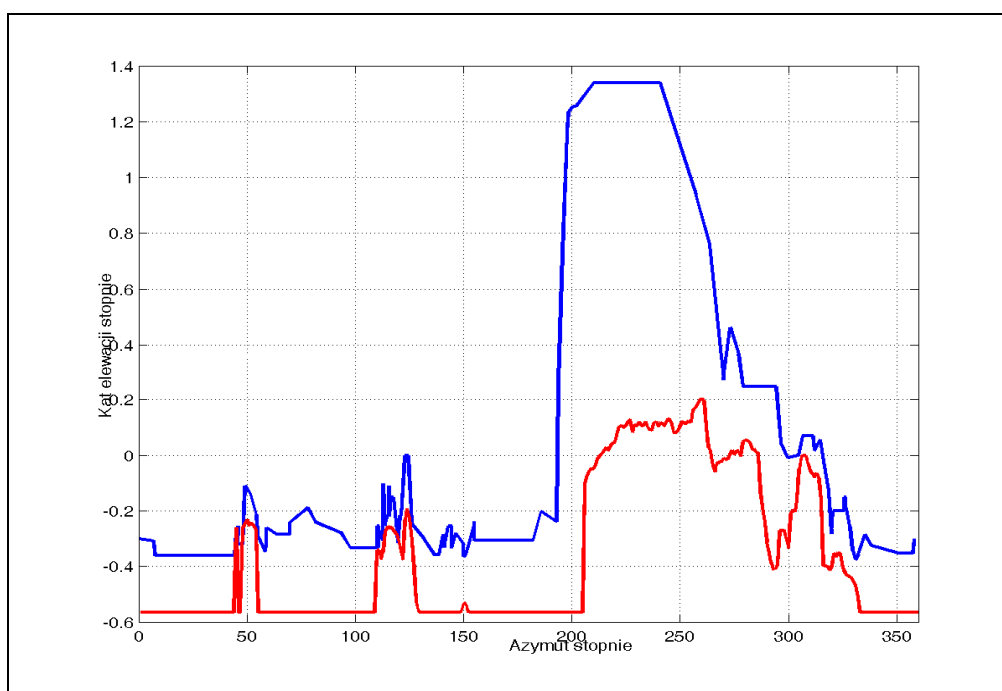
Wartości kątów zakrycia wyliczono z zależności trygonometrycznych w oparciu o różnice wysokości przeszkody i wysokości zawieszenia anteny oraz odległości przeszkody od radaru. W obliczeniach uwzględniono również wpływ krzywizny ziemi na różnice wysokości pomiędzy przeszkodami i anteną radaru.

W wyniku analizy ukształtowania terenu wokół miejsca pracy radaru, kątów zakrycia wynikających z przeszkód terenowych określonych na podstawie modelu terenu, oraz wyliczonych potencjalnych zasięgów wykrywania obiektów powietrznych,

prawdopodobna wydała się możliwość przesłaniania wiązki radarowej przez wzgórza znajdujące się w analizowanym sektorze azymutalnym w odległości od 25 do 30 km od radaru. Jednak po porównaniu wyników analizy z zobrazowaniem radaru stwierdzono, że w sektorze $197^\circ - 247^\circ$, przy skanowaniu przestrzeni na pierwszej elewacji (kąt elewacji osi wiązki równy $0,5^\circ$) na zobrazowaniu nie widać żadnych wykryć również na odległościach mniejszych niż 25 km. Taki wynik analizy danych z modelu terenu wraz z informacją, że częściowe przesłanianie wiązki radarowej jest również zauważalne przy skanowaniu przestrzeni na drugiej elewacji (kąt elewacji osi wiązki równy $1,4^\circ$) wskazywały na to, że przeszkody blokujące sygnały radarowe w analizowanym sektorze muszą znajdować się w bezpośrednim sąsiedztwie radaru. Całkowity brak wyrzyc w analizowanym sektorze wskazywał, że sygnały radarowe są blokowane jeszcze w strefie martwej radaru, czyli na odległościach poniżej 500 m od radaru.

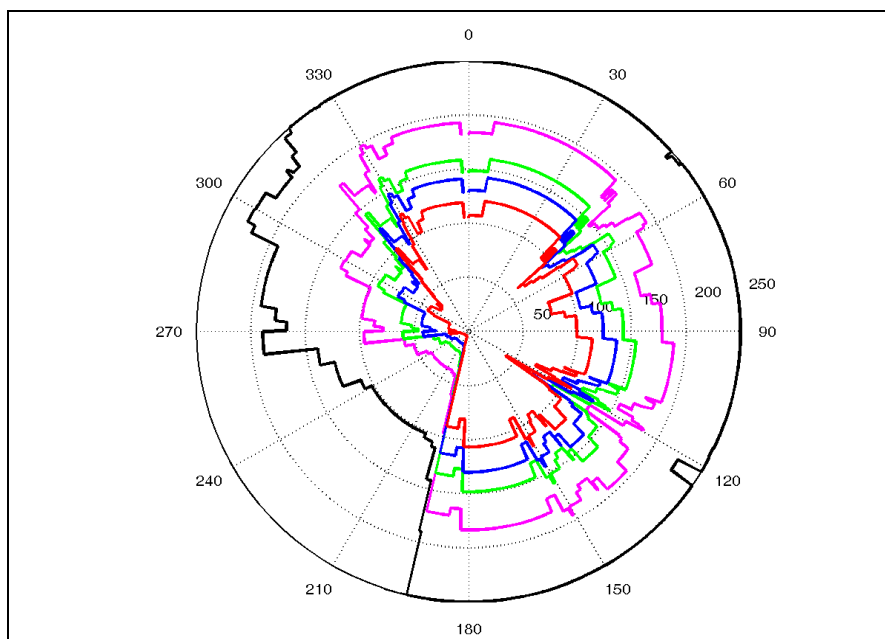
W związku z powyższym wykonane zostały pomiary kątów zakrycia w miejscu stania radaru. Pomiary kątów zakrycia wykonano za pomocą teodolitu geodezyjnego z poziomu galerii technologicznej zamontowanej na wieży radarowej, u podstawy anteny radaru (Rys. 4). Analizując zamieszczony poniżej wykres można zauważyć, że w analizowanym przypadku dominowały kąty zakrycia pomierzone teodolitem, wynikające z zalesienia i przedmiotów terenowych występujących w bezpośrednim sąsiedztwie radaru.

W sektorze azymutalnym od $193,8^\circ$ do $294,3^\circ$ kąty zakrycia mają wartość powyżej 0° . Maksymalne zakrycie wynosi $1,339^\circ$. Przesłanianie horyzontu powoduje kompleks leśny porastający wzgórze znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie radaru.



Rys. 4 Wykres kątów zakrycia radaru meteorologicznego. Kolor czerwony – wartości otrzymane na podstawie modelu terenu. Kolor niebieski – wyniki pomiarów za pomocą teodolitu

Poniżej przedstawiono potencjalne strefy wykrywania radaru obliczone na podstawie kątów zakrycia pomierzonych teodolitem (Rys. 5).



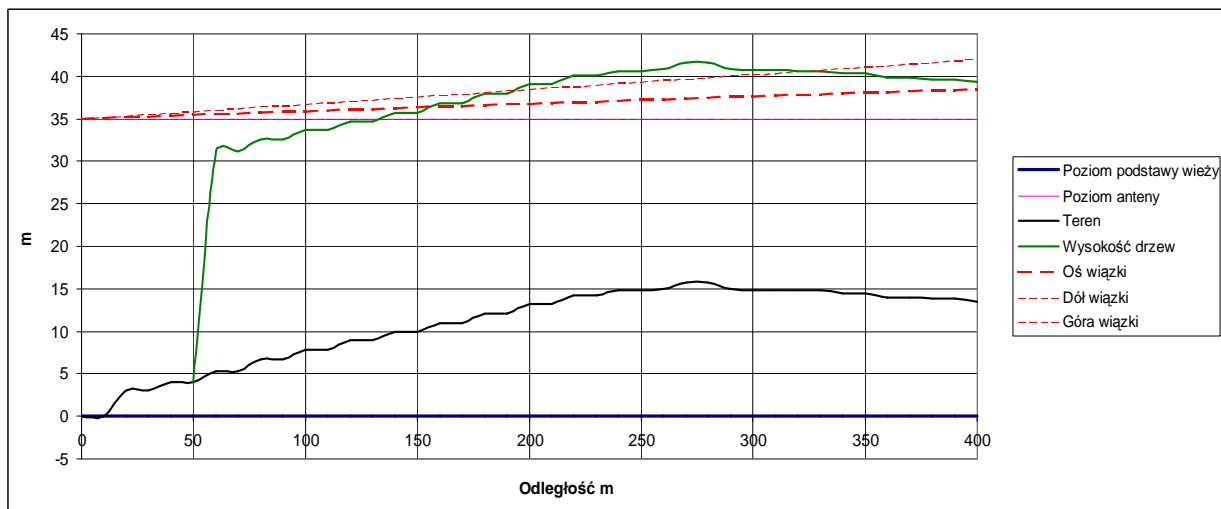
Rys. 5 Wykresy zasięgów wykrywania radaru meteorologicznego obliczonych z uwzględnieniem rzeczywistych kątów zakrycia zmierzonych za pomocą teodolitu

Wykonując pomiary za pomocą teodolitu oszacowano także wysokość drzew porastających wzgórze. Pomiary wykonano na południowej ścianie lasu, a oszacowana wysokość drzew w tym miejscu (na skraju lasu) wyniosła około 22 m.

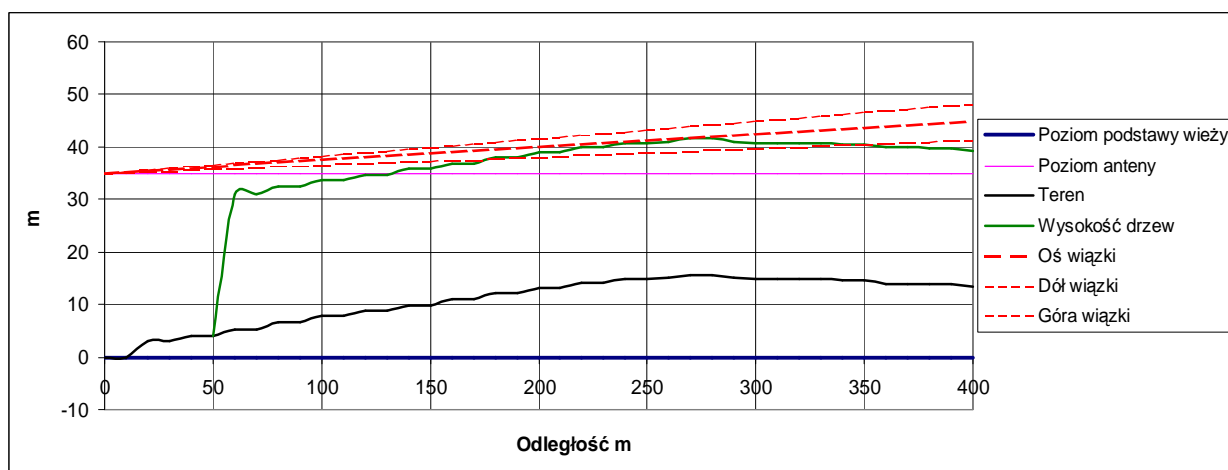
Dodatkowo, w trakcie pomiarów terenowych w miejscu stania radaru stwierdzono, że różnica wysokości pomiędzy poziomem podstawy wieży radaru a wierzchołkiem wzgórza znajdującego się na południe - południowy zachód od radaru wynosi około 15,7 m. Wynik ten jest zbliżony z danymi uzyskanymi na podstawie analizy modelu terenu, gdzie różnica pomiędzy poziomem miejsca posadowienia wieży a wierzchołkiem wzgórza wynosiła około 15 m.

Pomiary terenowe wykonano za pomocą odbiornika GPS typu R3 firmy Trimble. Wyniki pomiarów autonomicznych udokładniono w trybie postprocessingu względem permanentnej stacji referencyjnej PROS (Proszowice) działającej w ramach ogólnopolskiej sieci ASGEUPOS.

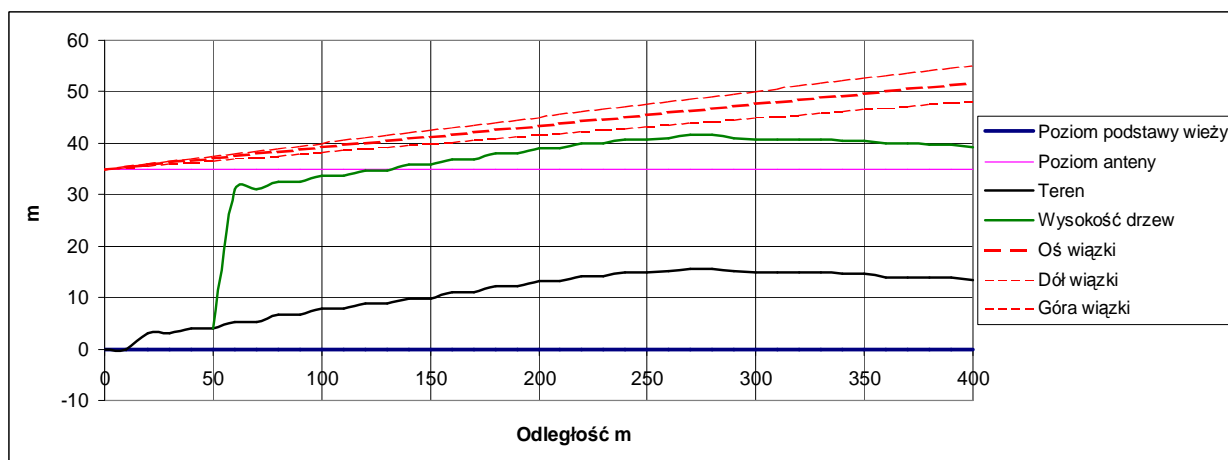
Przyjmując jako maksymalną różnicę wysokości pomiędzy podstawą wieży radaru a wierzchołkiem wzgórza wartość 15,7 m, wykonano analizę wpływu zmian wysokości drzew porastających wzgórze na strefę widzialności radaru. Analizowany dalej przekrój wzgórza odpowiada przekrojom na azymutach od 200° do 250° z korektą maksymalnego przewyższenia do wartości 15,7 m w przedziale odległości od 270 - 280 m od radaru. Jako punkt wyjścia analizy przyjęto stan obecny, czyli maksymalną zmierzoną wartość kątów zakrycia spowodowanych przez las porastający wzgórze: 1,339°. Taki kąt zakrycia na analizowanym profilu wzgórza powodują drzewa o wysokości 25,85 m. Wysokość drzew w tym przypadku należy rozumieć jako poziom na koronach drzew dający efekt zwartej struktury gałęzi (pomijane są pojedyncze pędy stanowiące faktyczne wierzchołki drzew). Na poniższych rysunkach przedstawiono zobrazowanie przesłaniania wiązki radaru kolejno na trzech dolnych elewacjach anteny: 0,5°, 1,4°, 2,4°.



Rys. 6 Zobrazowanie przesłania wiązki radaru przy następujących parametrach: kąt podniesienia anteny w elewacji $0,5^\circ$, wysokość drzew $25,85$ m, maksymalna wartość kąta zakrycia $1,340^\circ$



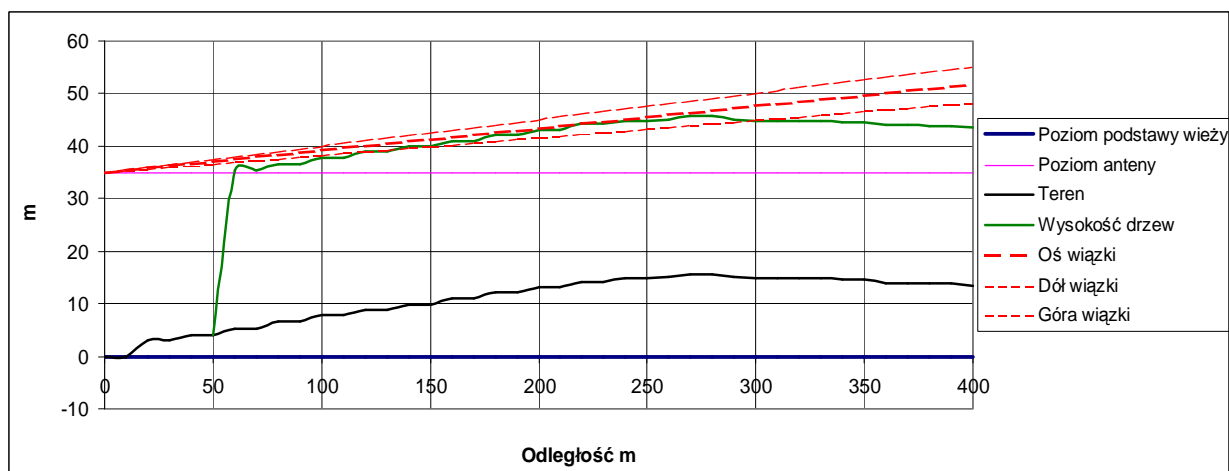
Rys. 7 Zobrazowanie przesłania wiązki radaru przy następujących parametrach: kąt podniesienia anteny w elewacji $1,4^\circ$, wysokość drzew $25,85$, maksymalna wartość kąta zakrycia $1,340^\circ$



Rys. 8 Zobrazowanie przesłania wiązki radaru przy następujących parametrach: kąt podniesienia anteny w elewacji $2,4^\circ$, wysokość drzew $25,85$, maksymalna wartość kąta zakrycia $1,340^\circ$

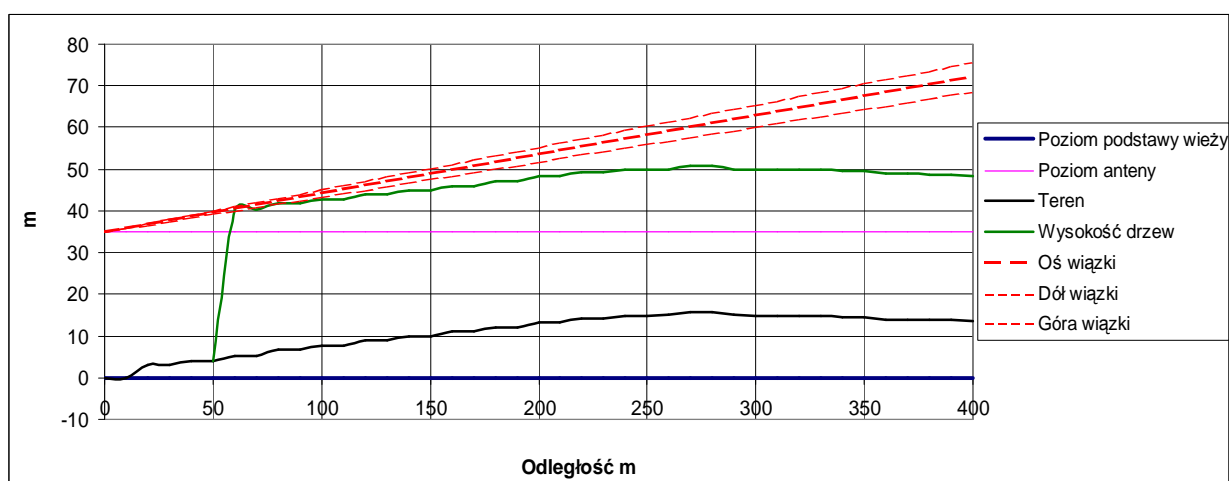
Biorąc pod uwagę fakt, że las stanowiący przeszkodę przesłaniającą wiązkę radarową znajduje się jeszcze w fazie wzrostu, należy liczyć się z dalszym stopniowym pogarszaniem się warunków pracy radaru. Pogorszenie należy rozumieć jako możliwe zwiększenie się przesłanianego sektora azymutalnego oraz wartości maksymalnych kątów zakrycia. Las porastający wzgórze w analizowanym sektorze jest jednolitym siedliskiem Buki zwyczajnego. Zgodnie z ogólnie dostępnymi źródłami informacji, w postaci stron internetowych oraz źródeł encyklopedycznych, a także w opinii lokalnego Nadleśnictwa, lasy bukowe w rozpatrywanym rejonie geograficznym mogą osiągać wysokość do 35 m.

Na poniższych rysunkach przedstawiono zobrazowanie przewidywanego przesłaniania wiązki radarowej dla wysokości lasu odpowiednio: 30 m, 35 m i 40 m.



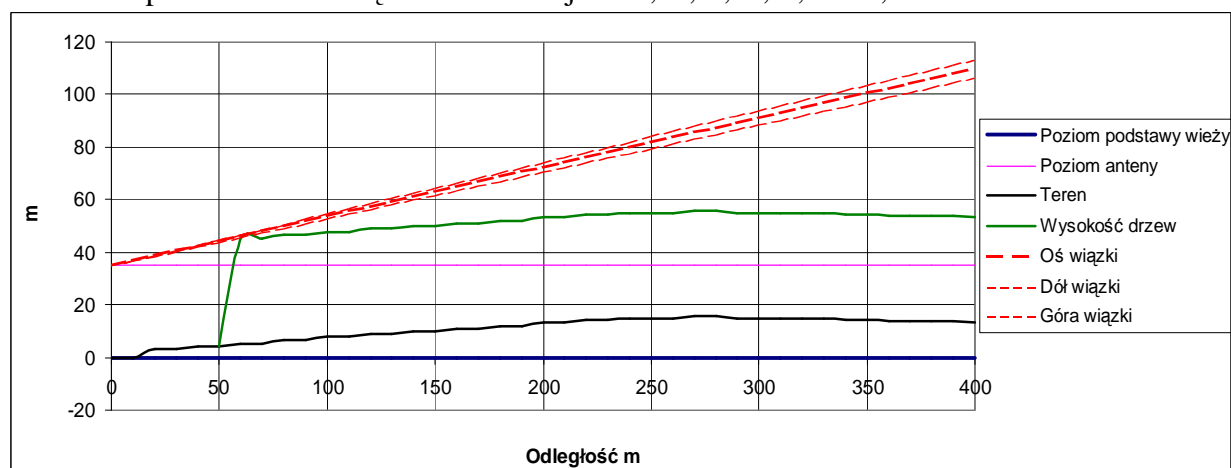
Rys. 9 Zobrazowanie przesłaniania wiązki radaru przy następujących parametrach: kąt podniesienia anteny w elewacji $2,4^\circ$, wysokość drzew 30 m, maksymalna wartość kąta zakrycia $2,291^\circ$

Osiągnięcie przez drzewa porastające wzgórze wysokości 30 m spowoduje częściowe przesłanianie wiązki radarowej dla elewacji anteny równej $2,4^\circ$ oraz całkowite przesłanianie wiązki na elewacjach $0,5^\circ$ i $1,4^\circ$.



Rys. 10 Zobrazowanie przesłaniania wiązki radaru przy następujących parametrach: kąt podniesienia anteny w elewacji $5,3^\circ$, wysokość drzew 35 m, maksymalna wartość kąta zakrycia $4,330^\circ$

Osiągnięcie przez drzewa porastające wzgórze wysokości 35 m spowoduje częściowe przesłanianie wiązki radarowej dla elewacji anteny równej $5,3^\circ$ oraz całkowite przesłanianie wiązki na elewacjach $0,5^\circ$, $1,4^\circ$, $2,4^\circ$ i $3,4^\circ$.



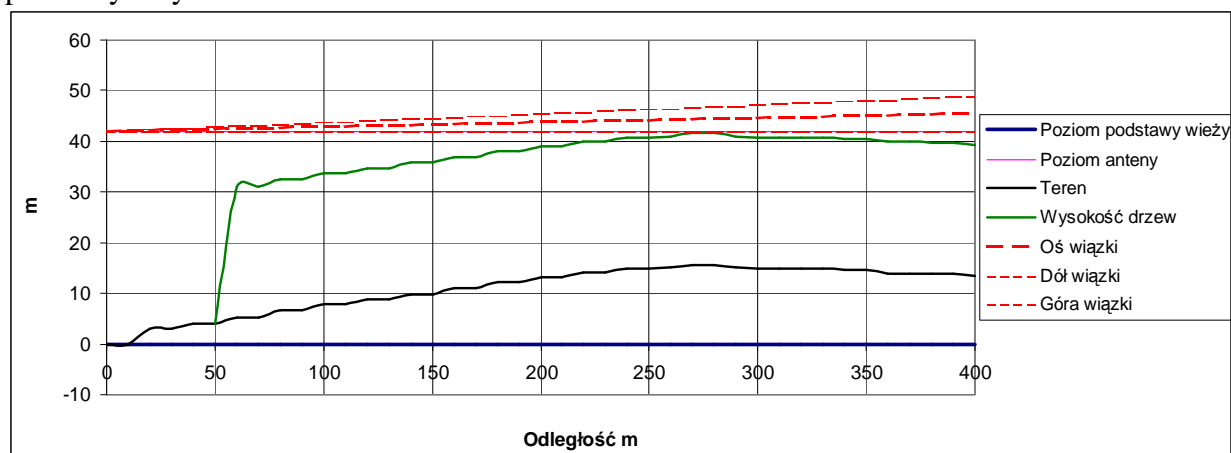
Rys. 11 Zobrazowanie przesłaniania wiązki radaru przy następujących parametrach: kąt podniesienia anteny w elewacji $5,3^\circ$, wysokość drzew 40 m, maksymalna wartość kąta zakrycia $8,371^\circ$

Biorąc pod uwagę fakt, że użytkownik radaru nie ma możliwości ingerencji w proces użytkowania i eksploatacji obszarów leśnych powodujących przesłanianie wiązki radarowej, dalszym rozważaniom poddano jedynie działania odnoszące się do samego obiektu radarowego rozumianego jako radar i wieża na której został on zamontowany.

Zakładając, że radar miałby pracować i pełnić swą funkcję w obecnej lokalizacji należałoby zwiększyć wysokość zawieszenia anteny nad terenem czyli podwyższyć wieżę radarową.

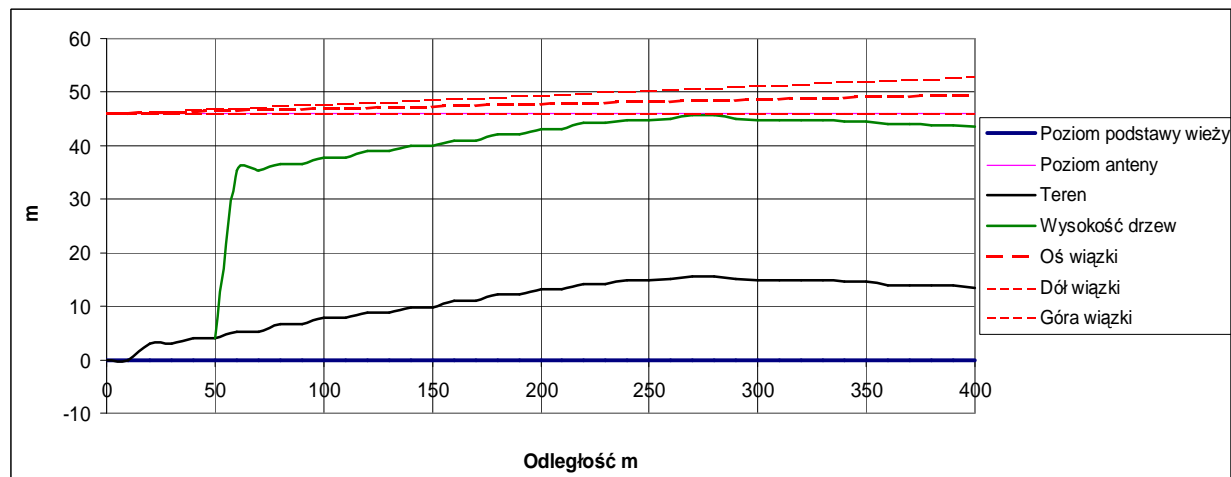
Poniżej przedstawiono wyniki analizy wysokości wieży w funkcji zmieniającej się wysokości drzew stanowiących główną przeszkodę tłumiącą wiązkę radarową.

Przyjmując założenie, że obecna wysokość drzew wynosi około 25,85 m i nie ulegnie zwiększeniu, to do zapewnienia optymalnych warunków pracy radaru konieczne jest podwyższenie wieży (rozumianej jako poziom zawieszenia anteny nad terenem) do wysokości 42 m. Symulacja takiej konfiguracji pracy radaru została przedstawiona na poniższym rysunku.

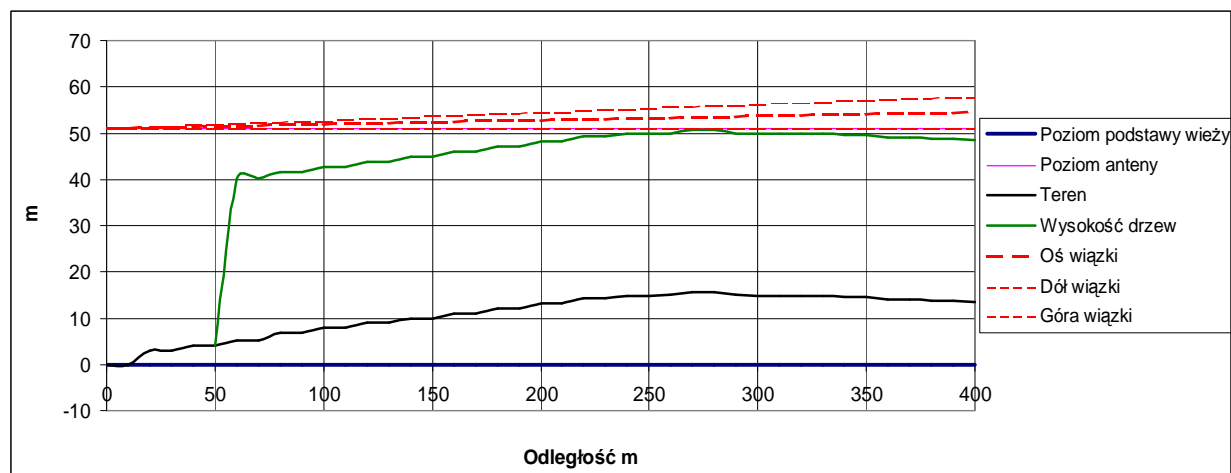


Rys. 12 Zobrazowanie przesłaniania wiązki radaru przy następujących parametrach: kąt podniesienia anteny w elewacji $0,5^\circ$, wysokość drzew 25,85 m, maksymalna wartość kąta zakrycia $-0,089^\circ$, wysokość wieży: 42 m

Biorąc jednak pod uwagę tempo wzrostu drzew w okresie od uruchomienia radaru do chwili obecnej oraz uwzględniając ogólne dane o maksymalnej wysokości jaką może osiągnąć las bukowy w polskich warunkach glebowych i klimatycznych, należy założyć, że wysokość lasu będzie się zwiększać. Poniżej przedstawiono więc wyniki symulacji wymaganej wysokości wieży radarowej przy założeniu, że maksymalna wysokość drzew wzrośnie odpowiednio do 30 m i 35 m.



Rys. 13 Zobrazowanie przesłania wiązki radaru przy następujących parametrach: kąt podniesienia anteny w elewacji $0,5^\circ$, wysokość drzew $30,0$ m, maksymalna wartość kąta zakrycia $-0,059^\circ$, wysokość wieży: 46 m



Rys. 14 Zobrazowanie przesłania wiązki radaru przy następujących parametrach: kąt podniesienia anteny w elewacji $0,5^\circ$, wysokość drzew $35,0$ m, maksymalna wartość kąta zakrycia $-0,059^\circ$, wysokość wieży: 51 m

4. Wnioski

Przedstawione w niniejszym artykule rozważania wskazują, że problematyka doboru miejsca pracy urządzeń radarowych jest jak najbardziej aktualna. Mimo ogromnego technologicznego postępu, jaki uwidocznił się w konstrukcji naziemnych urządzeń radiolokacyjnych w ostatnim dwudziestolecu, radary same z siebie nadal nie są w stanie zniwelować błędów, jakie są popełniane na etapie wyboru ich miejsca pracy.

Szczególnie optymalizacja warunków pracy stacjonarnych obiektów radarowych wymaga uwzględnienia wielu czynników i pogodzenia niejednokrotnie swoistych sprzeczności. Lokalizując radar przyszły użytkownik stara się przede wszystkim zapewnić mu takie warunki pracy w postaci lokalizacji i np. wysokości wieży antenowej, aby praca radaru była jak najbardziej efektywna. Miarą tej efektywności jest możliwość wykrywania obiektów będących przedmiotem zainteresowania użytkownika w całej strefie wykrywania radaru wynikającej z jego parametrów technicznych. Wszelkie czynniki powodujące ograniczenie tej strefy powodują utratę efektywności wykorzystania danego urządzenia. Z drugiej jednak strony każdy użytkownik podlega wielu ograniczeniom w swobodnym doborze miejsca rozwinięcia swoich urządzeń radarowych. Do głównych czynników limitujących możliwość lokalizacji urządzeń radarowych w lokalizacjach optymalnych z punktu widzenia stref wykrywania radaru należy zaliczyć: możliwość pozyskania gruntu pod lokalizację radaru, obecność lub możliwość budowy dróg dojazdowych do wybranych lokalizacji, dostępność linii zasilających, ograniczenia prawne w lokalizacji urządzeń radarowych wynikające z przepisów o ochronie środowiska lub lokalnych planów zagospodarowania, itp.

Wymienione wyżej czynniki, wpływające na możliwą lokalizację radaru, powinny być przesłanką dla potencjalnych użytkowników do dołożenia odpowiedniej staranności w sprawdzeniu czy dana lokalizacja radaru spełnia obecnie ich wymagania oraz czy w jej otoczeniu nie znajdują się czynniki, które mogą wpłynąć na pogorszenie warunków pracy radaru w przyszłości. Obecna technika daje szereg narzędzi umożliwiających precyzyjną i jednocześnie relatywnie tanią analizę przydatności potencjalnych lokalizacji urządzeń radarowych w terenie. Do tych narzędzi należą: precyzyjne odbiorniki GPS, umożliwiające wykonanie szybkich i dokładnych pomiarów terenowych, cyfrowe mapy topograficzne, numeryczne modele terenu, zdjęcia lotnicze i satelitarne, precyzyjne geodezyjne przyrządy miernicze do pomiarów terenowych. Dane zebrane za pomocą wymienionych narzędzi, po obróbce za pomocą narzędzi programowych, dają jasną i szybką informację o bieżących właściwościach danej lokalizacji oraz mogą być bazą dla symulacji warunków pracy radaru na danej pozycji w funkcji zmieniających się czynników otoczenia takich, jak wysokość lasów, pojawienie się w sąsiedztwie radaru planowanych do realizacji budowli architektonicznych.

Wszystkie analizy wykonywane przed podjęciem decyzji o lokalizacji radaru mają na celu uniknięcie błędnych decyzji. W przypadku stacjonarnych urządzeń radarowych, usunięcie wpływu błędów wynikających z wyboru miejsca rozwinięcia radaru lub przygotowanej infrastruktury technicznej w postaci zbyt niskich wież pod anteny radarów, jest zawsze bardzo kosztowne, a czasami wręcz niewykonalne przy zachowaniu akceptowalnych kosztów realizacji.

Literatura

- [1] Gajderowicz I., „Kartografia matematyczna dla geodetów, wydanie II”, Wydawnictwo Akademii Rolniczo-Technicznej, 1999.
- [2] Lamparski J., „Navstar GPS od teorii do praktyki”, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, 2001.
- [3] Misra P., „Global Positioning System, Signals, Measurements, and Performance”, Ganga-Jamuna Press, 2001.
- [4] Specht C., „System GPS”- Wydawnictwo Bernardinum Sp.z o.o., Pelpin 2007.
- [5] ppłk dr inż. Andrzej Gałeczki, „Uwarunkowania terenowe a zasięg rozpoznania radiolokacyjnego”, WAT Warszawa 2003.

