

Stefan JACKOWSKI¹
Marcin CHRZAN²
Štefan CISKO³
Tomáš KLIĚŠTIK⁴

KONCEPCJA WYKORZYSTANIA SAMOLOTÓW BEZZAŁOGOWYCH W CELU ZAPEWNIENIA ŁĄCZNOŚCI NA TERENACH OBJĘTYCH KLĘSKAMI ŻYWIOŁOWYMI

W artykule rozważono możliwość i celowość wykorzystania segmentu troposferycznego opartego na bezpilotowych środkach latających jako nośników określonych składników architektury telefonii komórkowej. Rozwiązanie takie byłoby użyteczne w przypadku klęsk żywiołowych obejmujących znaczny obszar lub działań terrorystycznych, w czasie których zwykle łatwo ulega uszkodzeniu naziemna stała infrastruktura telefonii komórkowej. Przedstawiając bilans energetyczny wspomnianego łącza, problemy przestrzenno-ruchowe środka latającego, strukturę przestrzenną zregenerowanego fragmentu systemu komórkowego oraz możliwości do uzyskania ruchu telekomunikacyjny można ustosunkować się odnośnie celowości przyjęcia takiego rozwiązania z punktu widzenia technicznego.

CONCEPT OF USE UNMANNED AIRCRAFT TO PROVIDE CONNECTIVITY TO THE AREAS OF NATURAL DISASTERS

In this paper the possibility and desirability of the use of segment-based tropospheric unmanned airborne measures as vehicles for certain components of mobile architecture. This would be useful in case of natural disasters, covering a large area or terrorist activities, in which the damage is usually easily fixed terrestrial infrastructure for mobile telephony. Presenting the energy balance of that link, spatial-motor problems means flying spatial structure of a sector cell system and be eligible to receive telecommunications traffic can comment on regarding the advisability of adopting such a solution from a technical standpoint.

¹Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.
tel: + 48 48 361-77-00, 361-77-16, Fax: + 48 48 361-77-42, e-mail: s.jackowski@pr.radom.pl

²Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.
tel: + 48 48 361-77-00, 361-77-02, Fax: + 48 48 361-77-42, e-mail: m.chrzan@pr.radom.pl

³Žilinská univerzita v Žiline, stefan.cisko@fpedas.uniza.sk

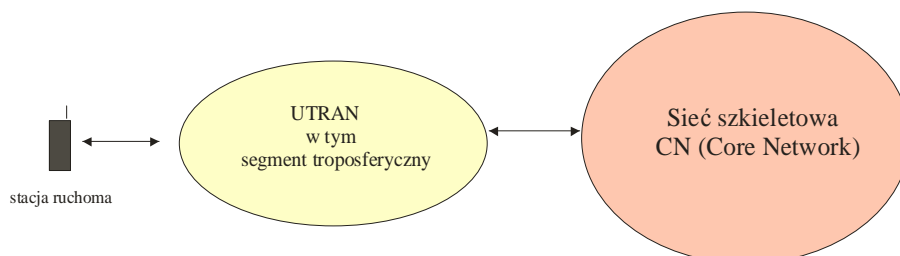
⁴Žilinská univerzita v Žiline, tomas.kliestik@fpedas.uniza.sk

1. WSTĘP

Ostatnie anomalie atmosferyczne pojawiające się nad terenem Polski a co za tym idzie ich skutki w postaci uszkodzonej infrastruktury telekomunikacyjnej zmuszają do podjęcia odpowiednich działań w celu zapewnienia łączności na terenach objętych klęskami żywiołowymi. Z informacji uzyskanych od operatorów telekomunikacyjnych wynika, że podczas pierwszej fali powodziowej w maju 2010 w okolicach Krakowa nie działało 4 tys. telefonów. Były też problemy z działaniem sieci komórkowych. Na Dolnym Śląsku było około 3 tys. uszkodzeń, w tym 1 tys. w samym Wrocławiu, w obrębie zalanej Kozanowa – dzielnica Wrocławia. W tym samym czasie w woj. śląskim, łódzkim i opolskim w sumie około 13,5 tys. osób nie miało łączności telefonicznej [dane TP, Orange]. Woda podmyła w wielu miejscach słupy telekomunikacyjne, pozrywała kable magistralne i zalała szafy kablowe a także uszkadzała stacje bazowe telefonii komórkowej. Informacje te skłoniły autorów artykułu do rozważenia możliwości wykorzystania segmentu opartego na łączności troposferycznej wspomagającej część naziemną architektury systemu UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Urządzenia telekomunikacyjne tworzące MSC (*Mobile Switching Centre*) lub RNC (*Radio Network Controller*) (umieszczone zostałyby na platformach powietrznych na wysokości około 18 km nad powierzchnią ziemi. Rolę takich platform pełniłyby sterowce lub samoloty, które utrzymywałyby względnie stałą pozycję, dzięki czemu zapewniałyby realizację usług telekomunikacyjnych dla określonego obszaru [1]. Tego typu rozwiązania byłoby korzystne w sytuacjach kryzysowych lub klęsk żywiołowych na rozległych terenach. Uzyskanie pomyślnych rezultatów ekonomiczno-technicznych w trakcie badań mogłoby spowodować w perspektywie czasu zwiększenie wykorzystania takich segmentów w ramach zwyczajnej eksploatacji systemu komórkowego. Problemem może być umieszczenie platform w troposferze, aby nie kolidowały z korytarzami powietrznymi wykorzystywanymi w lotnictwie, choć na wysokości 18 km ruch lotniczy jest już ograniczony.

2. ARCHITEKTURA SYSTEMU

Troposferyczny segment systemu komórkowego mógłby być oparty na platformach powietrznych, samolotach bezałogowych czy sterowcach, na których umieszczone zostałyby stacje bazowe pośredniczące w transmisji informacji. Uzupełnienie systemu UMTS segmentem troposferycznym w niewielkim stopniu zmieniłoby jego architektury. Różnica polegałaby na tym, że część stacji bazowych zostałaby wyniesiona na wysokość 18 km nad powierzchnią ziemi. Uproszczoną strukturę takiego systemu można by przedstawić jak na rys.1. Użytkownik, za pośrednictwem swojego terminala, nadal uzyskiwałby dostęp do wszystkich oferowanych usług dzięki radiowej sieci dostępowej. Jej zadaniem jest zapewnienie łączności radiowej na obszarze, na którym wystąpiła awaria systemu naziemnego. UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) stanowiący główną sieć dostępową znajdującą się na platformie troposferycznej powinien być znacznie ograniczony pod względem funkcjonalnym, wymiarów i ciężaru. Najważniejszą częścią w sieci komórkowej jest sieć bazowa CN (*core network*) [3]. Do jej podstawowych funkcji należy sterowanie realizacją usług, magazynowanie i przetwarzanie informacji o zmianie położenia stacji ruchomych, naliczanie opłat oraz zarządzanie ochroną informacji.



Rys 1 Ogólna struktura sieci UMTS z wykorzystaniem segmentu troposferycznego

Stacja bazowa umieszczona w troposferze będzie pełnić identyczną funkcję jak urządzenia tego typu instalowane na ziemi. Problemem do rozwiązania będzie podział obszaru widocznego przez antenę stacji bazowej oraz dobór warstwy fizycznej dla interfejsu pomiędzy UTRAN (w troposferze) i CN (na powierzchni ziemi).

2.1 Sieć dostępu radiowego UTRAN

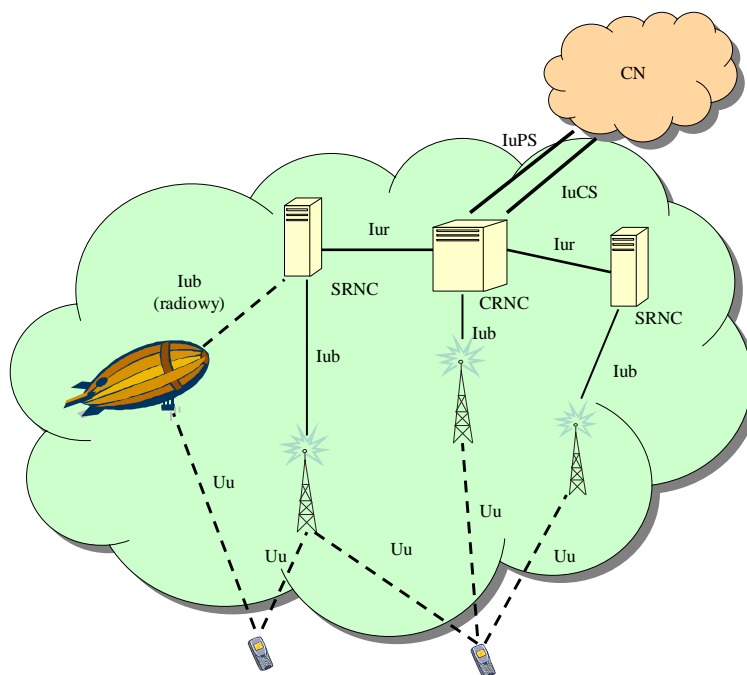
Włączając segment troposferyczny w architekturę systemu UMTS należy zastanowić się nad jak najkorzystniejszym dopasowaniem go do istniejącej części infrastruktury. Dzięki zastosowaniu WCDMA, łączność pomiędzy użytkownikami i stacjami bazowymi (naziemnymi i powietrznymi) będzie przebiegała w ten sam sposób. Dlatego platforma powietrzna wraz z urządzeniami radiokomunikacyjnymi wejdzie w skład całego systemu tak jak każda inna stacja bazowa, tworząc wspólnie z częścią naziemną sieć UTRAN.

Podstawowe funkcje jakie powinna spełniać sieć dostępu radiowego UTRAN to realizacja procedur związanych z dostępem do medium, prowadzenie transmisji radiowej, przełączanie użytkownika pomiędzy komórkami, regulacja mocy, tworzenie kanałów fizycznych, prowadzenie pomiarów parametrów sygnałów i inne. Wszystkie wymienione zadania są realizowane przez dwa urządzenia: węzeł bazowy Node B oraz sterownik sieci radiowej RNC. Są one połączone ze sobą, w sieci naziemnej, za pomocą interfejsu Iub. Stacja bazowa odpowiada przede wszystkim za obsługę połączeń radiowych z terminalami użytkowników oraz prowadzenie pomiarów parametrów odbieranych sygnałów.

Sterownik sieci radiowej RNC realizuje większość zadań potrzebnych do prawidłowego działania sieci radiowej. Z tego powodu może przyjmować dwie postacie: sterownika obsługującego SRNC (*Serving RNC*) oraz sterownika zarządzającego CRNC (*Controlling RNC*). Pełniąc pierwszą z wymienionych funkcji sterownik odpowiada za obsługę łączności między UTRAN i terminalem ruchomym, to znaczy, że zarządza połączeniem, jest nadawcą i odbiorcą przekazywanej informacji z użytkownikiem systemu. Natomiast rolą sterownika CRNC jest zarządzanie pracą stacji bazowych znajdujących się w obszarze działania danego RNC. Jego podstawowym zadaniem jest zarządzanie zasobami radiowymi w podległych mu komórkach. Przydziela on zasoby aktywnym terminalom ruchomym oraz bierze udział w regulacji mocy nadajników tych terminali. Kolejną funkcją pełnioną przez CRNC jest przenoszenie połączeń pomiędzy komórkami. Jeśli w trakcie trwania połączenia terminal ruchomy przemieści się do obszaru obsługiwanego przez inny RNC to informacja z sąsiednim sterownikiem obsługującym SRNC zostanie wymieniona poprzez interfejs Iur. Prawidłowa obsługa przenoszenia połączeń wymaga zastosowania specjalizowanych

algorytmów, które wykorzystują pomiary parametrów sygnałów jakie są wykonywane w stacjach bazowych oraz terminalach ruchomych. Sterownik CRNC kontroluje te pomiary oraz gromadzi ich wyniki.

Sieć UTRAN komunikuje się z użytkownikiem poprzez interfejs Uu pomiędzy stacją bazową a terminalem ruchomym. Dostęp do usług systemu jest natomiast zapewniony poprzez interfejs Iu łączący sterownik CRNC z siecią szkieletową. Połączenie to może być zarówno do domeny komutacji łączy (IuPS) jak i do domeny komutacji pakietów (IuCS). Struktura sieci UTRAN wraz z dołączonym segmentem troposferycznym przedstawiona jest na rysunku 2. Agregacja strumieni bitów pochodzących z różnych stacji bazowych w jeden zintegrowany strumień, celem wysłania go do CN (naziemnego) odbywałaby się w RNC. Transmisja zintegrowanego strumienia mogłaby być realizowana różnymi sposobami np. przez wykorzystanie sieci bezprzewodowej dalekiego zasięgu i dużej przepływności przykładowo Hiperlan 2.



Rys 2 Struktura sieci radiowej UTRAN z dołączonym segmentem troposferycznym

Integracja segmentu troposferycznego do sieci UTRAN następowalaby w momencie zniszczenia części stacji bazowych systemu naziemnego w wyniku klęski żywiołowej. Wówczas 18 km nad obsługiwanym przez nie obszarem, umieszczona zostałaby platforma powietrzna, która przejmowałaby ich funkcje. Ze względu na dłuższą drogę propagacji FEM pomiędzy stacją bazową troposferyczną i użytkownikiem, należy liczyć się z

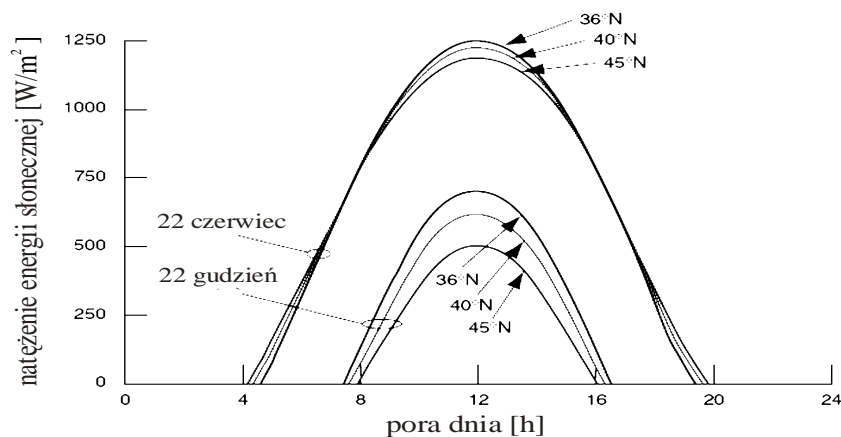
większym spadkiem poziomu mocy. Poza tym wystąpią zaniki związane nie tylko z przemieszczaniem się użytkownika ale również nieznacznym ruchem platformy, co spowoduje również większy efekt Dopplera. Wymienione niekorzystne zjawiska stworzą konieczność bardziej precyzyjnej regulacji mocy oraz efektywniejsze przenoszenie połączeń w segmencie troposferycznym. Łączność z abonentami będzie realizowana za pomocą interfejsu identycznego jak w systemie naziemnym (protokół WCDMA, pasmo częstotliwości 1920 -1980 MHz i 2110 – 2170 MHz) zapewni redukcję efektów niepożądanych zjawisk oraz kompatybilną pracę całego systemu [2,4].

W systemie naziemnym stacje bazowe komunikują się ze sterownikiem RNC wykorzystując interfejs Iub. W segmencie troposferycznym niemożliwe jest realizowanie połączeń przewodowych dlatego należy przeanalizować w jaki sposób stacje troposferyczne będą utrzymywały łączność z RNC, umieszczenie RNC na platformie przesunął ten problem do połączenia RNC z CN. Tego typu systemy pracują wyłącznie w konfiguracji punkt-punkt i oferują niezawodności i stabilność transmisji zbliżoną do systemów światłowodowych. Taki interfejs w artykule oznaczony jest jako Iub (radiowy). Wydaje się, że korzystne mogłoby być rozwiązanie, w którym wymieniona komunikacja będzie przebiegała z wykorzystaniem pasma częstotliwości przeznaczonego dla satelitarnego segmentu UMTS. Taka koncepcja nie będzie wprowadzała dodatkowych zakłóceń, jednak wiąże się z dodatkowymi kosztami związanymi z dostosowaniem sterowników RNC do pracy dwuzakresowej. Biorąc pod uwagę, że stacje troposferyczne będą pełniły jedynie uzupełnienie systemu UMTS, jest to nieopłacalne ekonomicznie.

Wprowadzenie segmentu troposferycznego do architektury systemu UMTS wymaga szeregu działań, które zagwarantują prawidłowe funkcjonowanie całego systemu.

Jednym z problemów z tym związanych jest zapewnienie stacjonarności platformy powietrznej umieszczonej w atmosferze. Statki bezzałogowe pełniące rolę takich platform mają możliwość prawie zawiśnięcia w powietrzu lub poruszają się z bardzo małą prędkością, jednak nawet taki ruch powoduje zmianę obszaru obsługiwanego przez daną stację. Względna stacjonarność platform można byłoby zapewnić poprzez nadanie im trajektorii lotu w postaci okręgu o niewielkim promieniu. Powoduje to konieczność odpowiedniej konfiguracji rozmieszczenia troposferycznych stacji bazowych, w ten sposób aby wraz z przemieszczeniem się jednej z nich, druga wykonywała taki ruch aby objąć swym zasięgiem powstałą lukę. Ewentualnym rozwiązaniem jest umieszczenie stacji naziemnych na granicach komórki obsługiwanej przez platformę powietrzną.

Kolejnym zagadnieniem wymagającym gruntownej analizy jest rodzaj anten jakie zastosowane będą w stacjach troposferycznych. Biorąc pod uwagę wysokość zawieszenia platformy oraz krzywiznę ziemi najlepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie anteny o szerokości wiązki 2φ zbliżonej do kąta 180° . Zapewni ona pokrycie terenu na dużo większej, niż w systemie naziemnym, powierzchni. Na tak dużym obszarze znajduje się ogromna ilość potencjalnych użytkowników systemu, szczególnie jeśli platforma umieszczona jest nad dużym miastem. Oznaczałoby to częste blokowanie sieci i prowadziłyby do wstrzymywania ruchu komunikacyjnego. Dlatego lepszym rozwiązaniem będzie wykorzystanie anteny wielowiązkowej. Można również rozważyć wykorzystanie anten inteligentnych.



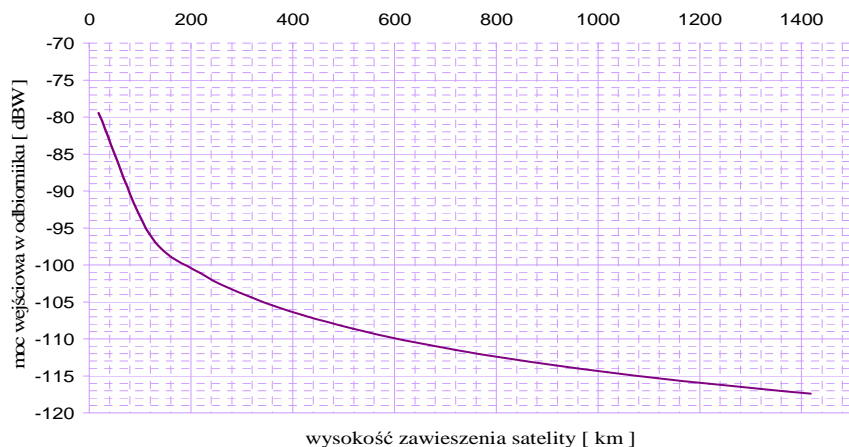
Rys 3 Zależność natężenia energii słonecznej od pory dnia, roku i szerokości geograficznej [5], gdzie: N – kąt elewacji

Platformy troposferyczne wyposażone byłyby w silniki elektryczne napędzane przetworzoną energią słoneczną. Funkcja tych silników polegałaby na dostarczeniu energii potrzebnej do umieszczenia platformy na optymalnej pozycji w troposferze oraz utrzymywaniu tej pozycji. Platformy musiałyby posiadać baterie słoneczne i elementy magazynujące energii potrzebnej do pracy nocą. Uzyskiwana energia byłaby również wykorzystywana do zasilania urządzeń radiokomunikacyjnych. Problemem może być w tym miejscu natężenie promieniowania świetlnego w zależności od pory roku i szerokości geograficznej. Rysunek 3 przedstawia sposób w jaki natężenie energii słonecznej zależy od pory dnia, pory roku i szerokości geograficznej miejsca umieszczenia platformy powietrznej. Fakt, że w grudniu wartość tego natężenia jest prawie dwukrotnie mniejsza w porównaniu do czerwca może spowodować pewne trudności w prawidłowym funkcjonowaniu segmentu.

Jest zasadne pytanie czy proponowanych przedsięwzięć do realizacji przez troposferyczny segment telefonii komórkowej nie spełniłby przewidziany dla systemu 3G segment kosmiczny? Odpowiedź jest nie jednoznaczna ze względu na:

- termin realizacji segmentu kosmicznego dla systemu UMTS termin ten jest odległy lub inaczej niepewny;
- koszty związane z realizacją segmentu są bardzo duże;
- wykorzystanie segmentu satelitarne przy sprawnie działającym systemie naziemnym jest niewielkie.

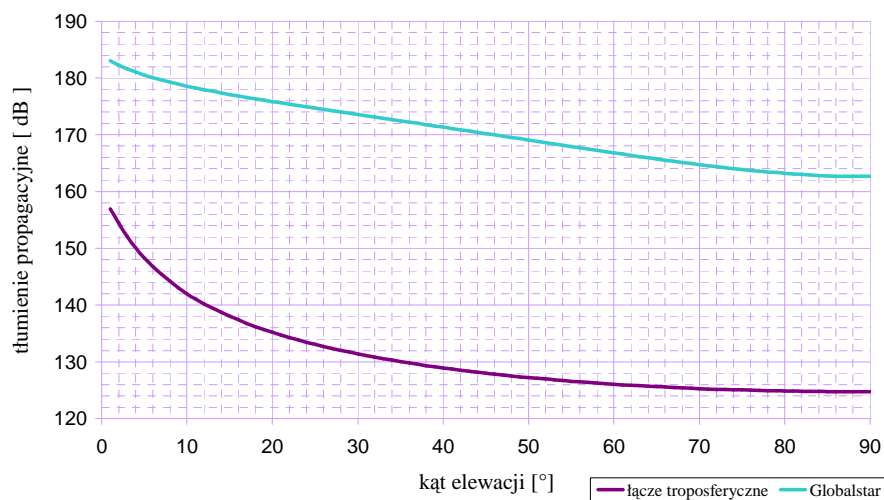
W dalszych rozważaniach pewne parametry analizowanego segment troposferyczny będziemy chcieli porównać z segmentem satelitarne dla telefonii komórkowej, aktualnie jedynym działający jest Globalstar [6], Obliczony budżet energetyczny łącza down link w funkcji wysokości umieszczenia nad ziemią środka latającego przenoszącego urządzenia radiokomunikacyjne przedstawiono na rysunku 4.



Rys 4 Zależność mocy wejściowej w odbiorniku od wysokości

Z wykresu na rysunku 4 wynika, że w systemie Globalstar poziom mocy sygnału odbieranego na ziemi jest o kilka rzędów wielkości mniejszy niż jest to w przypadku systemu opartego o łączność troposferyczną, dlatego urządzenia nadawczo odbiorcze do segmentu satelitarne są bardziej rozbudowane i mają inny interfejs niż stacja ruchoma do systemu naziemnego. Natomiast przy ukończeniu uszkodzonej struktury systemem opartym o łączność troposferyczną byłby potrzebny tylko jeden dodatkowy interfejs

Ważnym zagadnieniem jest dobranie odpowiedniego kąta elewacji. Rysunek 5 pokazuje jego wpływ na wartość tłumienia propagacyjnego.



Rys 5 Zależność tłumienia propagacyjnego w funkcji kąta elewacji

Zmiana kąta elewacji satelity systemu Globalstar od 0 do 90° pociąga za sobą zmniejszenie tłumienia o około 20 dB. W przypadku łącza troposferycznego poprawa jest jeszcze bardziej widoczna. Spadek tłumienia jest związany ze zmniejszeniem się drogi propagacji sygnału. W założeniach Globalstar przyjęto, że nawiązanie łączności terminala użytkownika z satelitą będzie możliwe dla kąta widzialności większego niż 10°. Jak widać poziom tłumienia osiąga wtedy 180 dB jednak to założenie zapewnia każdemu terminalowi widoczność dwóch, a często trzech lub czterech satelitów jednocześnie. Problem ten nie istnieje przy łączu troposferycznym, gdyż stacja bazowa przeznaczona dla danego obszaru byłaby widoczna pod względem łączności w sposób ciągły.

3. WNIOSKI

Zaprezentowana koncepcja systemów znakomicie wpisuje się w obszar badań prowadzonych obecnie nad mobilnymi centrami dowodzenia w sytuacjach zagrożeń. Przedstawiony w artykule zarys systemu jest zgodny ze specyfikacją opisującą "Warunki korzystania z częstotliwości roboczych usług telefonii komórkowej na pokładach samolotów (*Mobile Communication Services on Aircraft, MCA*) na terenie Wspólnoty Europejskiej". Regulacje unijne dopuszczają na razie komercyjne stosowanie systemów GSM 1800 (uplink w zakresie 1710–1785 MHz, downlink w zakresie 1805–1880 MHz). W przyszłości w grę ma wchodzić więcej naziemnych systemów telefonii komórkowej, które pracują według innych norm lub w innych pasmach częstotliwości. Dokładnie określono też maksymalne natężenie promieniowania (efektywna izotropowa moc promieniowania, EIRP) stacji bazowych na różnych wysokościach. Uregulowane nie zostały z kolei sprecyzowane z satelitami komunikacyjnymi. W dokumencie tym nie określono także dopuszczalnej minimalnej wysokości, od której można korzystać z usług telefonii komórkowej w powietrzu. Obecnie wynosi ona 3000 metrów, jednak poszczególne kraje mogą ustalić inną wartość graniczną, jeżeli będzie to uzasadnione uwarunkowaniami topograficznymi bądź specyfiką naziemnej infrastruktury sieciowej na danym obszarze. Pozostawienie takiej możliwości daje pole do tworzenia systemów regionalnych lokalnego przeznaczenia przy zapewnieniu jednocześnie odpowiedniego poziomu zasilania w energię elektryczną, zarówno urządzeń pokładowych jak i naziemnych.[7,8]

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Kwiatosz J.: *Łączność troposferyczna*. Skrypty WAT, Warszawa 1991
- [2] ITU-R, Rec. P.676-5: Attenuation by atmospheric gases in the frequency range 1÷350 GHz; Geneva, 2001
- [3] Kołakowski J, Cichoński J: *UMTS. System telefonii komórkowej trzeciej generacji*. WKiŁ, Warszawa 2006
- [4] Jackowski S, Chrzan M: *Współczesne systemy telekomunikacyjne*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2008
- [5] www.elec.york.ac.uk/comms/papers/tozer01_ecej.pdf
- [6] White Papers : Nasa Systems Engineering Behaviour Study. NASA 2010
- [7] Olczykowski Z., Łukasik Z., Ciszewski T.: Wpływ jakości zasilania na stabilność pracy systemów komputerowych, XI Międzynarodowa Konferencja - Komputerowe Systemy Wspomagania Nauki Przemysłu i Transportu. Zakopane, 2007r
- [8] Wojciechowski J., Olczykowski Z.: Jakość energii elektrycznej w sieciach zasilających odbiory nietrakcyjne. Prace Naukowe Politechniki Radomskiej - Elektryka 2003.