



Magda Anna Wilk-Jakubowska

Spółeczna Akademia Nauk w Kielcach

WYBRANE ASPEKTY PROJEKTOWANIA SIECI DOSTĘPOWYCH DO INTERNETU W ZARZĄDZANIU KRYZYSOWYM

Streszczenie (abstrakt): W artykule przedstawiono wybrane aspekty projektowania sieci dostępowych do Internetu (z okablowaniem i bez okablowania), które należy wziąć pod uwagę w przypadku budowy sieci teletransmisyjnych na potrzeby wystąpienia zjawisk kryzysowych. W artykule zamieszczono obok przeglądu technologii *FTTD* (ang. *Fiber To The Desk*)¹ zagadnienia na temat budowy łączy zapasowych z wykorzystaniem sieci radiowych (w szczególności sieci satelitarnych).

Słowa kluczowe: *FTTD*, sieci przewodowe, sieci radiowe

SELECTED ASPECTS OF DESIGNING ACCESS NETWORKS TO THE INTERNET IN CRISIS MANAGEMENT

Abstract: This article presents selected aspects of designing access networks to the Internet (with or without wires), which should be taken into account in the case of building telematics networks (networks and Internet technologies) for the purpose of crisis events. The article presents the review of *FTTD* (ang. *Fiber To The Desk*) technology, as well as the issues related to the building of backup links with the use of radio networks (especially satellite networks).

Keywords: *FTTD*, wired networks, radio networks

Wstęp

Niewątpliwie na zrównoważony rozwój w nauce obok procesów ekonomicznych, społecznych czy kulturowych oddziałują nowoczesne technologie. Komunikacja jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania społeczeństw. W przypadku sytuacji kryzysowych odgrywa ona kluczową rolę. W procesie wymiany informacji nie sposób nie podkreślić szczególniego znaczenia dostępu do Internetu, który umożliwia realizację wielu usług teleinforma-

¹ *FTDD*, czyli „światłowód do biurka” to technologia korzystająca wyłącznie z okablowania światłowodowego w niemal całej sieci (wyjątek stanowią punkty końcowe, w których można stosować krosowanie kabli UTP). Dopuszcza się m.in. stosowanie przełączników dedykowanych medium miedzianemu oraz konwersję mediów w urządzeniach „rackowych”, czyli przeznaczonych do umieszczenia w szafie teleinformatycznej. Również od strony użytkownika dozwolone jest stosowanie konwerterów wolnostojących umiejscowionych przed podłączeniem medium do karty sieciowej hosta.

tycznych. Zarówno najważniejsze agencje rządowe, instytucje świata nauki, jak i globalne koncerny (gazowe, górnicze czy paliwowe) często posiadają łącza zapasowe, które umożliwiają nieprzerwaną komunikację w przypadku uszkodzenia infrastruktury sieci podstawowej. Łącza takie służyć mogą do transportowania ruchu IP (ang. *Internet Protocol*) pomiędzy węzłami określonej sieci. Istnienie łączy awaryjnych jest coraz częściej uznawane jako warunek konieczny uczestniczenia danego podmiotu w przetargach finansowanych ze środków publicznych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku operatorów telekomunikacyjnych.

W artykule zostaną omówione wybrane kwestie projektowania sieci dostępowej do Internetu (zarówno z okablowaniem, jak i bez okablowania), które należy wziąć pod uwagę w przypadku budowy sieci teletransmisyjnych na potrzeby zapewnienia łączności w sytuacjach kryzysowych. W tym celu, oprócz zamieszczenia przeglądu technologii *FTTD*, przedstawiono wybrane zagadnienia dotyczące budowy łączy zapasowych z wykorzystaniem sieci radiowych (w szczególności sieci satelitarnych).

Projektowanie światłowodowej infrastruktury sieci dostępowej

Często instytucje naukowe czy agencje rządowe posiadają kilka budynków zlokalizowanych w tym samym mieście lub kraju. Budowane sieci powinny zapewnić użytkownikom możliwość korzystania ze wspólnych zasobów, np. baz danych czy serwerów plików. Możliwe jest w tym celu zbudowanie sieci dedykowanej, jak również sieci dostępowej do Internetu (w sensie usługi nadrzędnej), która umożliwi realizację wielu usług podrzędnych, jak np. wideokonferencje, komunikatory, poczta e-mail itp. Posiadanie szybkiej, niezawodnej i bezpiecznej sieci o otwartej architekturze pozwala na jej późniejsze modyfikacje². Gwałtowny rozwój techniki światłowodowej spowodował, iż może ona zostać wykorzystana praktycznie na każdym odcinku struktury sieciowej *FTTD*. Już około 10 lat temu koszt zastosowania techniki światłowodowej był porównywalny z kosztami budowy sieci w oparciu o tradycyjne przewody miedziane. Biorąc pod uwagę fakt, że kable światłowodowe są relatywnie odporne na zakłócenia elektromagnetyczne i niekorzystny wpływ środowiska (np. opadów deszczu), transmisja jest trudna do przechwycenia, zaś liczba urządzeń regenerujących jest ograniczona w stosunku do rozwiązań opartych na popularnej skrętce³, korzystanie z techniki światłowodowej stanowi bardzo dobrą alternatywę dla sieci radiowych.

² Pod pojęciem bezpieczeństwa sieci rozumie się zminimalizowanie ryzyka jej uszkodzenia. Odbywa się to poprzez: (1) zapewnienie zapasów eksploatacyjnych; (2) odpowiednią obudowę kabli (z uwzględnieniem warstw chroniących włókna); (3) stosowanie materiałów trudnopalnych itp. W praktyce sieci światłowodowe narażone są na: (1) warunki panujące na zewnątrz (np. wilgotność, temperatura); (2) uszkodzenie nitek światłowodu przy podłączeniu do panelu rozdzielczego; (3) możliwość uszkodzenia podczas wykonywanych robót ziemnych.

³ Skrętka stanowi rodzaj przewodu sygnałowego, składającego się z przynajmniej jednej pary kabli skręconych ze sobą, dzięki czemu następuje zredukowanie wpływu niepożądanych zakłóceń elektromagnetycznych oraz zakłóceń wzajemnych.

Technologia *FTTD* z założenia wykorzystuje tylko okablowanie światłowodowe w odróżnieniu od technologii *HFC* (ang. *Hybrid Fiber Coax*)⁴, w której światłowody wykorzystywane są na potrzeby budowy sieci szkieletowej. *FTTD* wymaga stosowania techniki światłowodowej w niemal całej rozpiętości łącza. Zastosowanie wyłącznie światłowodowych urządzeń przełączających oraz optycznych kart sieciowych pozwala zbudować sieć *All-Fiber*. Obecnie na rynku dostępnych jest wiele urządzeń przeznaczonych do budowy światłowodowych sieci (w tym sieci lokalnych). Egzemplifikację stanowią mogą przełączniki i karty sieciowe pracujące w technologiach: Ethernet 100Base-FX⁵, 1000Base-SX⁶, 1000-Base-LX⁷. Warto podkreślić, że stosowanie światłowodów jednomodowych pozwala znacznie zwiększyć zasięg transmisji. Ponieważ transmisja taka obciążona jest niewielkimi stratami energii, niskim tłumieniem oraz niemal nieograniczonym pasmem przenoszenia, wpływa to na powszechne stosowanie światłowodów jednomodowych w sieciach teletransmisyjnych. W tym przypadku można korzystać z włókien o: (1) nieprzesuniętej dyspersji – zoptymalizowanych do transmisji fali o długości 1310 nm; (2) przesuniętej dyspersji – zoptymalizowanych do transmisji (o dużej przepływności) fali o długości 1550 nm; a także włókien o (3) niezerowej dyspersji – zoptymalizowanych do transmisji (o dużej przepływności) w oknie 1550 nm z zastosowaniem technologii zwielokrotnienia falowego *DWDM* (ang. *Dense Wavelength Division Multiplexing*). Podczas budowy lokalnych sieci komputerowych na ogół korzysta się ze światłowodów wielomodowych o odpowiedniej konstrukcji włókien, które są mniej podatne na niecentryczne łączenie w stosunku do światłowodów jednomodowych⁸. Kable światłowodowe *POF* (ang. *Plastic Optical Fiber*) zawierają włókna wykonane z tworzyw sztucznych (polimerów) o znacznych wymiarach geometrycznych, co z kolei przekłada się na większą wytrzymałość mechaniczną oraz mniejszą precyzję instalowania w złączu. Istotnym mankamentem tego typu włókien jest stosunkowo duże tłumienie (ok. 0,15 dB/m). W związku z tym kable światłowodowe *POF* wykorzystywane są do transmisji danych jedynie na niewielkie odległości, w czujnikach optycznych oraz do przekazywania oświetlenia.

Ponieważ, jak wcześniej stwierdzono, zapewnienie możliwości przyszłej rozbudowy sieci – oprócz realizacji połączeń typu punkt-punkt – wiąże się z doбором odpowiedniego rodzaju włókien (jedno- lub wielomodowych, urządzeń konwertujących, multiplexerów), na etapie projektowania sieci należy wziąć pod uwagę potencjalne możliwości wykorzystania sieci w przyszłości. Wybrana topologia sieci powinna zapewniać

⁴ Terminem tym określa się sieć hybrydową, która wykorzystuje medium światłowodowe oraz różnego rodzaju kable koncentryczne.

⁵ Technologia ta oferuje przepływność na poziomie 100 Mb/s przy zasięgu transmisji do 2 km, a nawet ponad 70 km (zależnie od rodzaju zastosowanych światłowodów).

⁶ Technologia ta oferuje przepływność na poziomie 1000 Mb/s przy typowym zasięgu transmisji od 220 m do 550 m (zależnie od rodzaju zastosowanych światłowodów).

⁷ Technologia ta oferuje przepływność na poziomie 1000 Mb/s przy zasięgu transmisji do 5 km, a nawet ponad 20 km (zależnie od rodzaju zastosowanych światłowodów).

⁸ W sieciach lokalnych zaleca się stosowanie włókien wielomodowych o średnicy rdzenia 50 μm . Światłowody wielomodowe posiadają pasmo przenoszenia rzędu kilkuset MHz.

rekonfigurację logiczną za pomocą koncentratorów i innych urządzeń. Poza tym wielopłaszczyznowy projekt może umożliwić połączenie istniejącej już sieci z technologią światłowodową. Na ogół w projektach tego typu uwzględnia się okablowanie telefoniczne, połączenia sieci komputerowej oraz system zasilania komputerów poprzez zasilacze awaryjne (na wypadek wystąpienia przerw w dostawie energii elektrycznej). Zależnie od współczynnika niezawodności (dostępności) sieci zaleca się korzystanie z dodatkowych przewodów. O ile zakup wielowłóknowego kabla przekłada się na wzrost ceny proporcjonalnie do ilości włókien, o tyle wydaje się być dobrym rozwiązaniem na potrzeby szybkiej rekonfiguracji sieci po uszkodzeniu pierwotnego łącza. Ponieważ w topologii gwiazdy poziomy bieg kabli na ogół zakończony jest listwą krosowniczą (*patch panel*), która scala urządzenia połączone okablowaniem horyzontalnym z innymi urządzeniami sieciowymi, element ten spełnia rolę łącznicy scalającej okablowanie stacji roboczych w celu utworzenia sieci lokalnej. Hosty w sieci kablowej powinny być wyposażone w odpowiednie porty *PCI* (ang. *Peripheral Component Interconnect*)⁹, które umożliwiają podłączenie komputerów do sieci światłowodowej. Obsługa trybów *half* oraz *full duplex*¹⁰ umożliwia transmisje multimedialne, czego egzemplifikacją stanowią wideokonferencje. Spośród wielu zaimplementowanych funkcji najważniejsze to: (1) *Wake-On-Lan* – pozwala na zdalne włączenie, bądź uśpienie komputera poprzez sieć komputerową; (2) *Flow Control* – minimalizuje ryzyko utraty danych spowodowane zakłóceniami wewnątrzsieciowymi¹¹; (3) *VLAN Tagging* – umożliwia łączenie komputerów w sieci wirtualne *VLAN*, co pozwala na zwiększenie elastyczności, wydajności i bezpieczeństwa sieci; (4) kolejkowanie – redukuje spowolnienie transmisji danych o najwyższym priorytecie wskutek wystąpienia przeciążeń w sieci.

Łącza awaryjne z wykorzystaniem transmisji radiowej

W dobie XXI wieku obserwuje się gwałtowny rozwój szerokopasmowych systemów radiowych w charakterze naziemnych, jak i satelitarnych systemów dostępowych. Początkowo systemy satelitarne były nakierunkowane na transmisje radiowo-telewizyjne oraz usługi multimedialne sektora telekomunikacyjnego¹². Współczesne rozsiewcze systemy

⁹ PCI stanowi uniwersalną magistralę komunikacyjną, która wykorzystywana jest w komputerach PC do podłączania kart rozszerzeń do płyty głównej. Określeniem tym przyjęło się nazywać również złącza, w których umieszczane są karty rozszerzeń.

¹⁰ Poprzez termin dupleks (ang. *duplex*) w teleinformatyce określa się transmisję dwukierunkową, co oznacza, że nadawanie i odbieranie informacji może następować w obu kierunkach. W przypadku trybu półdupleks (ang. *half duplex*) przesyłanie i odbieranie informacji odbywa się w sposób naprzemienny, zaś w trybie pełnego dupleksu (ang. *full duplex*) dane są przesyłane jednocześnie.

¹¹ W razie występowania przeciążeń, przy korzystaniu z przełącznika sieciowego wyposażonego w funkcję kontroli przepływu danych, karta otrzymuje sygnały o nadmiernym obciążeniu sieci, w wyniku czego transmisja danych zostaje automatycznie spowolniona.

¹² J. Wilk, M. Marciniak, *Systemy geostacjonarne we współczesnej telekomunikacji*, [w:] *Zastosowania technologii informatycznych. Teoria i praktyka. Applications of Information Technologies. Theory and practice*, (red.) A. Jastrzebow, K. Worwa, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego, Radom 2015.

radiowe wyposażone są nierzadko w kanały zwrotne, co pozwala – oprócz realizacji multimedialnych usług interaktywnych – zapewnić łączność w sytuacjach kryzysowych, w tym dostęp do szerokopasmowego Internetu. Zaletą radiowych systemów dostępowych jest ich rozgłoszeniowy (grupowy) charakter. O ile sieci naziemne budowane w oparciu o łącza przewodowe powszechnie wykorzystywane są do przesyłania jednoadresowego, o tyle transmisja rozgłoszeniowa w oparciu o łącza radiowe może być szczególnie użyteczna w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowych. Atutem jest nie tylko zwiększenie zasięgu dostępności wielu usług, ale także obniżenie kosztów budowy cyfrowych sieci teletransmisyjnych. Rozgłoszeniowy charakter tych systemów umożliwia dostarczenie usług strumieniowych poprzez sieć Internet lub wewnątrz intranety bez potrzeby oczekiwania na składowanie danych oraz bez konieczności użycia pamięci masowych. Warto podkreślić, że zjawiska naturalne, takie jak: trzęsienia Ziemi, burze lodowe czy pożary, w przeciwieństwie do tradycyjnych łączy naziemnych, nie wpływają na ograniczenie łączności radiowej z wykorzystaniem systemów satelitarnych. Wielu operatorów po przerwaniu transmisji danych z łącza pierwotnego zapewnia przełączenie ruchu w sposób automatyczny na łącza awaryjne, co ma szczególne znaczenie dla krytycznego ruchu internetowego¹³. Najdobitniejszym przykładem może być fakt, że 11 marca 2011 roku w Japonii wskutek trzęsienia Ziemi infrastruktura techniczna obejmująca: (1) sieci światłowodowe oraz (2) stacje bazowe telefonii komórkowej, została poważnie uszkodzona. W konsekwencji całkowicie załamała się komunikacja z osobami spoza obszaru katastrofy. Wówczas dostrzeżono znaczenie niezawodnych sposobów komunikacji opartych na łączach zapasowych (w tym przypadku z wykorzystaniem sieci VSAT)¹⁴. Zasadniczym atutem technologii VSAT jest możliwość budowy sieci o dowolnej strukturze, która może stanowić sieć podstawową, jak również sieć zapasową uruchamianą w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowych (uszkodzenia lub awarii sieci podstawowej). W związku z powyższym alternatywnym sposobem budowy sieci teletransmisyjnych na potrzeby zarządzania kryzysowego jest wykorzystanie technologii radiowych do budowy sieci podstawowej, zaś sieci kablowych (światłowodowych) – w charakterze łączy zapasowych (rezerwowych).

¹³ VSAT & damaged WAN, https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/ip-vsatsatellite-wan-module/product_data_sheet0900aecd804bbf6f.html, [dostęp: 07.06.2019].

¹⁴ J. Ł. Wilk-Jakubowski, *Zapewnienie łączności globalnej podczas zarządzania kryzysowego w świetle EUROPEJSKIEGO PROJEKTU BADAWCZEGO ICT COST ACTION IC0802*, [w:] *POLSKA – EUROPA – ŚWIAT WOBEC PRZEMIAN ORAZ ZJAWISK KRYZYSOWYCH. SZANSE I ZAGROŻENIA*, (red.) A. Malarczyk, G. Wilk-Jakubowski, R. S. Brzoza, Wydawnictwo Stowarzyszenia Współpracy Polska-Wschód, Oddział Świętokrzyski, Kielce 2017., S. Kameda, T. Okuguchi, S. Eguchi, N. Suematsu, *Development of satellite-terrestrial multi-mode VSAT using software defined radio technology*, Asia-Pacific Microwave Conference, Sendai 2014, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7067744&isnumber=7067568>, N. Sue-matsu, H. Oguma, S. Eguchi, S. Kameda, M. Sasanuma, K. Kuroda, *Multi-mode SDR VSAT against big disasters*, European Microwave Conference (EuMC 2013), Nuremberg 2013, <https://ieeexplore.ieee.org/document/6686788>, S. Eguchi, S. Kameda, K. Kuroda, H. Oguma, M. Sasanuma, N. Suematsu, *Multi-mode portable VSAT for disaster resilient wireless networks*, Asia Pacific Microwave Conference (APMC 2014), Sendai 2014, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7067834&isnumber=706568>.

Wnioski

Projektowanie sieci dostępowych do Internetu jest niewątpliwie procesem złożonym. W przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowych wymagane jest, aby sieć zapewniała nieprzerwaną komunikację, w tym dostęp do Internetu, nawet w przypadku całkowitego uszkodzenia podstawowej infrastruktury technicznej. W związku z powyższym projektując sieć na potrzeby zarządzania kryzysowego należy uwzględnić konieczność budowy łączny zapasowych, przy czym zalecane jest wykorzystanie kilku niezależnych technologii (kablowych i radiowych). Projektowanie sieci FTTH wymaga szerokiej wiedzy z zakresu techniki światłowodowej, zwłaszcza ze względu na wielość występujących urządzeń (aktywne urządzenia sieciowe, adaptory, gniazda, konwertery, mufy, patchcordy itp.). O ile w przypadku kabli miedzianych graniczne możliwości szybkości transmisji zostały już dawno osiągnięte, o tyle w przypadku techniki światłowodowej wciąż trwają nieustanne prace nad zwiększeniem oferowanych prędkości. Dzięki temu możliwa staje się realizacja wideokonferencji czy szybka transmisja danych. Atutem wykorzystania technologii światłowodowych jest budowa sieci skalowalnych. Należy podkreślić, że przy budowie sieci optycznej wymagana jest większa kultura techniczna niż w przypadku budowy infrastruktury miedzianej. Z tego względu powszechnie wykorzystuje się gotowe komponenty (rozsyte kable zakończone złączami, przełącznice z kablami czy odpowiedniej długości patchcordy).

Łącza radiowe można realizować m.in. z wykorzystaniem łączności satelitarnej. W przypadku projektowania takiego łącza należy wziąć pod uwagę wiele czynników, z których najważniejsze to: (1) położenie geograficzne; (2) częstotliwość pracy; (3) parametry techniczne systemu. W oparciu o bilans łącza, możliwe staje się oszacowanie zasięgu odbioru dla określonego natężenia pola elektrycznego. Na tej podstawie opracowuje się krzywe tłumienia, które opisują wpływ wybranych czynników naturalnych (np. opadów deszczu, zaników słonecznych) na odbiór fal radiowych¹⁵. W tym celu opadom atmosferycznym przypisuje się zmiany cech ilościowych. Pomocne w tym zakresie są liczne rekomendacje, które pozwalają dokonać oceny otrzymanych wyników w sensie statystycznym¹⁶. Na potrzeby zarządzania kryzysowego warto wziąć pod uwagę informacje na temat

¹⁵ O ile modele analityczne korzystają z praw fizyki, o tyle modele półempiryczne wspomagane są danymi pomiarowymi. Zob. więcej: J. Ł. Wilk-Jakubowski, *Propagacja fal radiowych w łączności satelitarnej. Radiowaves propagation in satellite communications systems*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2018; J. Wilk-Jakubowski, *Sun transits in GEO satellite systems in the aspect of radio waves propagation*, „Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska” 2018, Nr 8.

¹⁶ ITU-R Rec. P. 372-10, *Radio noise*, Genewa 2009, ITU-R Rec. P. 618-10, *Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems*, Genewa 2009, ITU-R Rec. P. 678-1, *Characterization of the natural variability of propagation phenomena*, Genewa 1992, ITU-R Rec. P. 676-9, *Attenuation by atmospheric gases*, Genewa 2012, ITU-R Rec. P. 834-6, *Effects of tropospheric refraction on radiowave propagation*, Genewa 2007, ITU-R Rec. P. 836-4, *Water vapour: surface density and total columnar content*, Genewa 2009, ITU-R Rec. P. 837-6, *Characteristics of precipitation for propagation modelling*, Genewa 2012, ITU-R Rec. P. 838-3, *Specific attenuation model for rain for*

wieloletnich warunków klimatyczno-atmosferycznych w danej lokalizacji. Punktem wyjścia mogą być m.in. informacje na temat intensywności opadów przekraczanych w danym procencie czasu, w skali roku, w możliwie najdłuższym okresie czasu z uwzględnieniem możliwych odchyłeń od wartości średnich wskutek naturalnej zmienności warunków klimatycznych. Obecność tłumienia spowodowanego wpływem hydrometeorów powoduje wzrost zastępczej temperatury szumowej anteny, przyczyniając się do sumarycznego wzrostu degradacji sygnału¹⁷. Energia fal (zależnie od częstotliwości i polaryzacji) jest także wytracana poprzez zjawisko pochłaniania w gazach stanowiących składniki atmosfery ziemskiej, a także rozpraszania w cząstkach powietrza¹⁸.

Bibliografia:

1. Abramson N., *VSAT data networks*, "Proceedings of the IEEE" 1990, 78(7).
2. Baghsiahi H., Wang K., Kandulski W., Pitwon R., Selviah D., *Optical waveguide end facet roughness and optical coupling loss*, "Journal of Lightwave Technology" 2013, 31(16).
3. Balicki A., Makać W., *Metody wnioskowania statystycznego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1997.
4. Bobra M., *Predicting Solar Activity Using Machine-Learning Methods*, American Geophysical Union, Fall Meeting 2017, 12.
5. Eguchi S., Kameda S., Kuroda K., Oguma H., Sasanuma M., Suematsu N., *Multi-mode portable VSAT for disaster resilient wireless networks*, *Asia Pacific Microwave Conference (APMC 2014)*, Sendai 2014, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7067834&isnumber=706568>
6. ITU-R Rec. P. 372-10, *Radio noise*, Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, Genewa 2009.
7. ITU-R Rec. P. 618-10, *Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems*, Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, Genewa 2009.
8. ITU-R Rec. P. 678-1, *Characterization of the natural variability of propagation phenomena*, Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, Genewa 1992.
9. ITU-R Rec. P. 676-9, *Attenuation by atmospheric gases*, Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, Genewa 2012.
10. ITU-R Rec. P. 834-6, *Effects of tropospheric refraction on radiowave propagation*, Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, Genewa 2007.
11. ITU-R Rec. P. 836-4, *Water vapour: surface density and total columnar content*, Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, Genewa 2009.
12. ITU-R Rec. P. 837-6, *Characteristics of precipitation for propagation modelling*, Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, Genewa 2012.

use in prediction methods, Genewa 2005, ITU-R Rec. P. 839-3, *Rain height model for prediction methods*, Genewa 2001, ITU-R Rec. P. 840-5, *Attenuation due to clouds and fog*, Genewa 2012.

¹⁷ W praktyce wzrost temperatury szumowej nieba wiąże się ze zwiększeniem temperatury szumowej systemu odbiorczego.

¹⁸ J. Ł. Wilk-Jakubowski, *Propagacja fal...*, s. 78, 95.

13. ITU-R Rec. P. 838-3, *Specific attenuation model for rain for use in prediction methods*, Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, Genewa 2005.
14. ITU-R Rec. P. 839-3, *Rain height model for prediction methods*, Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, Genewa 2001.
15. ITU-R Rec. P. 840-5, *Attenuation due to clouds and fog*, Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, Genewa 2012.
16. Kabaciński W., Żal M., *Sieci telekomunikacyjne*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2008.
17. Kameda S., Okuguchi T., Eguchi S., Suematsu N., *Development of satellite-terrestrial multi-mode VSAT using software defined radio technology*, *Asia-Pacific Microwave Conference, Sendai 2014*, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7067744&isnumber=7067568>.
18. Modiano E., *Satellite Data Networks*, “Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication” 2004.
19. Sasanuma M., Uchiyama H., Nagoya T., Furukawa M., Motohisa T., *Research and development of very small aperture terminals (VSAT) that can be installed by easy operation during disasters – Issues and the solutions for implementing simple and easy installation of VSAT earth station*, IEICE 2013.
20. Suematsu N., Oguma H., Eguchi S., Kameda S., Sasanuma M., Kuroda K., *Multi-mode SDR VSAT against big disasters*, *European Microwave Conference (EuMC 2013)*, Nuremberg 2013, <https://ieeexplore.ieee.org/document/6686788>.
21. *VSAT & damaged WAN*, https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/ip-vsate-satellite-wan-module/product_data_sheet0900aecd804bbf6f.html.
22. Wilk J., Marciniak M., *Systemy geostacjonarne we współczesnej telekomunikacji*, [w:] *Zastosowania technologii informatycznych. Teoria i praktyka. Applications of Information Technologies. Theory and practice*, (red.) A. Jastriebow, K. Worwa, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego, Radom 2015.
23. Wilk-Jakubowski J., *Sun transits in GEO satellite systems in the aspect of radio waves propagation*, „Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska” 2018, nr 8.
24. Wilk-Jakubowski J. Ł., *Propagacja fal radiowych w łączności satelitarnej. Radiowaves propagation in satellite communications systems*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2018.
25. Wilk-Jakubowski J. Ł., *Zapewnienie łączności globalnej podczas zarządzania kryzysowego w świetle EUROPEJSKIEGO PROJEKTU BADAWCZEGO ICT COST ACTION IC0802*, [w:] *POLSKA – EUROPA – ŚWIAT WOBEC PRZEMIAN ORAZ ZJAWISK KRYZYSOWYCH. SZANSE I ZAGROŻENIA*, (red.) A. Malarczyk, G. Wilk-Jakubowski, R. S. Brzoza, Wydawnictwo Stowarzyszenia Współpracy Polska-Wschód. Oddział Świętokrzyski, Kielce 2017.
26. Woś A., *Meteorologia dla geografów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.