

## OCENA WPŁYWU ŹRÓDEŁ SZUMÓW NATURALNYCH NA PROPAGACJĘ FAL RADIOWYCH

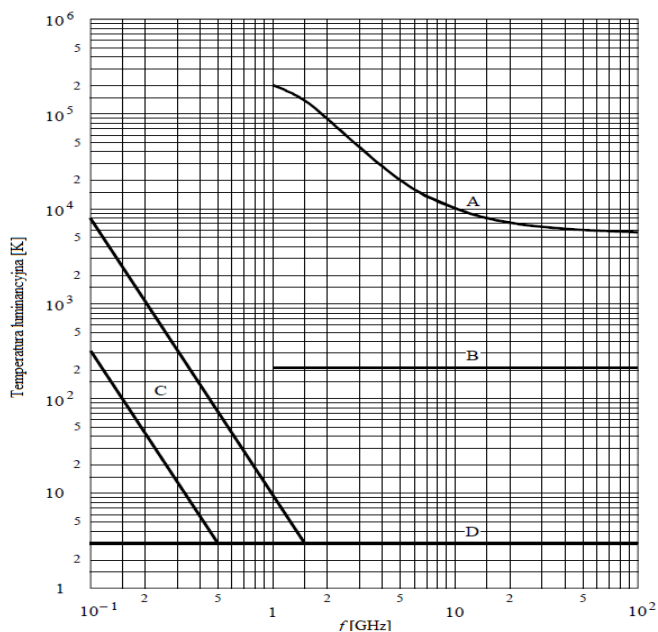
Jednym z założeń ochrony środowiska jest możliwie najbardziej efektywnie wykorzystywanie zasobów naturalnych. Środowisko naturalne umożliwia nie tylko realizację transmisji bezprzewodowej, ale również może wpływać na tłumienie sygnałów pożądaných, jak i niepożądanych (z punktu widzenia działania danego systemu telekomunikacyjnego). Wysiłki naukowe projektantów sieci teleinformatycznych zmierzają obecnie w kierunku zachowania szeroko rozumianej kompatybilności elektromagnetycznej, dzięki czemu możliwe staje się zapewnienie zgodnego współistnienia rozmaitych podsystemów i systemów zarówno w czasie, jak i przestrzeni [1]. Korzyści tych rozwiązań znajdują swoje zastosowanie chociażby w zapewnieniu łączności bezprzewodowej m.in. w środkach komunikacji zbiorowej.

Zasadniczym celem ochrony środowiska propagacji fal radiowych jest eliminacja potencjalnych barier komunikacyjnych – źródeł szumów o podłożu naturalnym oraz sztucznym (związanych z działalnością człowieka), pogarszających jakość odbioru i wprowadzających dodatkowe zakłócenia w kanale transmisyjnym, zarówno po stronie nadawczej, jak i odbiorczej. Dokładną klasyfikację szumów zawarto w artykule [1]. Warto podkreślić, że szereg badań dotyczących oddziaływania środowiska naturalnego na pracę systemów teleinformatycznych przeprowadzono w Polsce w ramach europejskiego projektu badawczego COST IC0802 pt. „Propagation Tools and Data for Integrated Telecommunication, Navigation and Earth Observations Systems” [2]. Część badań dotyczących analizy wpływu pozaziemskich źródeł szumów naturalnych na propagację fal radiowych (zwłaszcza od strony teoretycznej) została zamieszczona w niniejszym artykule.

### WSTĘP

Warto podkreślić, że środowisko naturalne w którym propagowane są fale radiowe jest jedynym środowiskiem, które jest celowo zanieczyszczane przez człowieka (wyłączenie wszystkich urządzeń pozwala zachować stan równowagi). Zarówno na tłumienie sygnałów pożądaných, jak i niepożądanych wpływają naturalne źródła szumów. Znaczną ich grupę stanowią szumy pozaziemskie – kosmiczne, których analiza stanowi jeden z celów niniejszego artykułu. Szumy takie mogą być wywołane: (1) promieniowaniem galaktycznym; (2) promieniowaniem tła kosmicznego; (3) promieniowaniem radiogwiazd i aktywnością Słońca oraz (4) promieniowaniem Księżyca. Wymienione źródła szumów odgrywają dużą rolę zarówno dla transmisji „w dół” – łącze downlink, jak i „w górę” – łącze uplink.

Dla fal radiowych o częstotliwości poniżej 2 GHz główne źródło szumów stanowi Słońce oraz galaktyka ‘Droga Mleczna’. Powyżej 2 GHz – oprócz Słońca – uwidacznia się wpływ Księżyca oraz promieniowania źródeł nietermicznych (gwiazdozbioru ‘Kasjopeja A’, mgławicy ‘Kraba’ oraz gwiazdozbioru ‘Łabędzia A’ i ‘Łabędzia X’). Jako że tło kosmiczne wprowadza temperaturę 2,7 K, oddziaływanie galaktyki ‘Droga Mleczna’ obserwowane jest w wąskim zakresie zwiększonej temperatury luminancyjnej, której przebieg w funkcji częstotliwości przedstawiono na rysunku 1.



\* Oznaczenia: A – szumy Słońca, B – szumy Księżyca, C – szumy galaktyczne, D – szumy tła kosmicznego (2,7 K).

Rys. 1. Pozaziemskie źródła szumów naturalnych [3]\*

Jak wynika z rysunku 1 aktywność słoneczna odgrywa istotną rolę na propagację fal radiowych [4, 5, 6]. W wielu źródłach można odnaleźć informacje dotyczące tego zjawiska [7, 8, 9, 10]. Ponieważ istotnie szumów słonecznych poświęcono wiele publikacji [11, 12, 13, 14, 15], w tym artykule skupiono się na innych niż pochodzenia słonecznego – źródłach szumów naturalnych.

## 1. WPŁYW RADIOGWIAZD I KSIĘŻYCA NA PROPAGACJĘ FAL RADIOWYCH

Dyskretnym źródłem szumów są radiogwiazdy zlokalizowane w niektórych gwiazdozbiorach. Gęstość strumienia mocy radiogwiazd wynosi zazwyczaj około  $230 \frac{\text{dBW}}{\text{Hz}} / \text{m}^2$  dla fal radiowych

o częstotliwości 1-10 GHz. Z uwagi na fakt, że temperatura luminancyjna radiogwiazd osiąga wartość przynajmniej dziesięciokrotnie mniejszą od temperatury luminancyjnej Księżyca, ich wpływ jest na ogół pomijany, a położenie wykorzystywane jest do kalibracji urządzeń pomiarowych. W przeciwieństwie do Słońca prawie niezależną wartość dla fal radiowych o częstotliwości powyżej 1 GHz wykazuje temperatura luminancyjna Księżyca, która zazwyczaj zawiera się w przedziale od 140 K (nów) do 280 K (pełnia). Zasadniczo notuje się niewielki wpływ częstotliwości na jej wartość [16]. W rzeczywistości zarówno faza Księżyca, jak i kształt jego orbity wpływa na regularne (przewidywane) zmiany w widoczności rozmiaru Księżyca oraz zależnej od kwadratu częstotliwości – gęstości emitowanego strumienia mocy (analogia do ciała doskonale czarnego). Gęstość emitowanego

strumienia mocy wynosi podczas pełni Księżyca około  $202 \frac{\text{dBW}}{\text{Hz}} / \text{m}^2$

dla fali radiowej o częstotliwości 20 GHz. Podobnie, jak dla Słońca rozmiar średnicy katowej tarczy Księżyca widzianej z Ziemi wynosi w przybliżeniu  $0,5^\circ$  [12].

## 2. WSPÓŁCZYNNIK SZUMÓW

O ile szum z pojedynczych źródeł określa się za pomocą temperatury luminancyjnej, o tyle szum pochodzący z zewnętrznych źródeł opisuje się zgodnie z zaleceniami ITU-R za pomocą współczynnika szumów zewnętrznych  $f_a$  [3] oraz równoważnej, ekwiwalentnej temperatury szumów zewnętrznych  $t_a$ , będącej splotem: (1) charakterystyki promieniowania anteny; (2) temperatury luminancyjnej nieba; a także (3) temperatury luminancyjnej Ziemi.

$$f_a = \frac{p_n}{k_B t_0 b} \quad (1)$$

gdzie:  $p_n$  [W] – dostępna moc szumów na zaciskach anteny;  
 $k_B$  – stała Boltzmanna ( $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K);  
 $t_0$  – temperatura odniesienia dla otoczenia ( $t_0 = 290$  K);  
 $b$  [Hz] – szerokość pasma mocy szumów w systemie odbiorczym.

Jedynym właściwym punktem odniesienia do analizy szumowej jest antena bezstratna, która nie istnieje fizycznie. Sumaryczny szum odkładający się na jej zaciskach jest wynikiem oddziaływania wielu źródeł szumów o podłożu wewnętrznym, jak i zewnętrznym (wielkość addytywna). Całkowity szum oprócz współczynnika szumów zewnętrznych  $f_a$  zależy również od: (1) szumów odbiornika; (2) strat w obwodzie anteny; (3) strat na drodze propagacji fali radiowej oraz (4) od odpowiadających tym stratom współczynników szumów, związanych ze stratami w obwodzie anteny i na drodze propagacji fali radiowej [17]. Jako że temperatura szumowa anteny związana jest z obecnością szumów na jej zaciskach, w ogólnym przypadku stanowi średnią ważoną ze źródeł szumów jej otaczających. Współczynnik wagi uzależniony jest od kierunkowości anteny (charakterystyki promieniowania), konkretnego źródła szumu oraz temperatury luminancyjnej nieba i Ziemi. Dla anten których charakterystyki obejmują po-

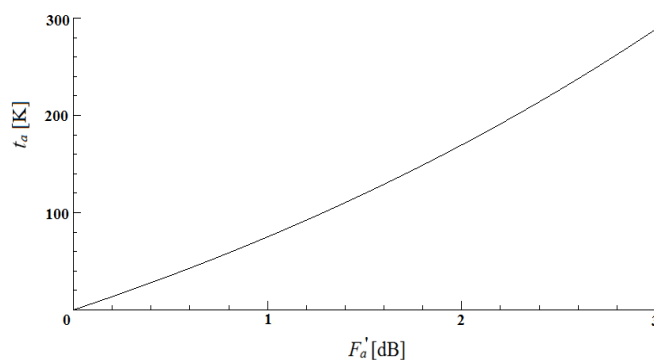
jedyncze (odseparowane) źródło promieniowania, temperatura szumowa anteny i temperatura luminancyjna są takie same. Do opisu zjawisk szumowych związanych z odbiornikiem wykorzystuje się zastępczą temperaturę szumową, stanowiącą z definicji temperaturę opornika, który podłączony do wejścia układu generuje taką samą moc, jak rozpatrywane źródło szumów. Jednak ze względu na zakresły temat artykułu (brak związku z naturalnymi źródłami szumów), analizy te zostały pominięte.

Współczynnik szumów zewnętrznych  $f_a$  wyrażony za pomocą równoważnej temperatury szumów  $t_a$  przyjmuje postać:

$$f_a = \frac{t_a}{t_0} \quad (2)$$

gdzie:  $t_0$  – temperatura odniesienia dla otoczenia ( $t_0 = 290$  K).

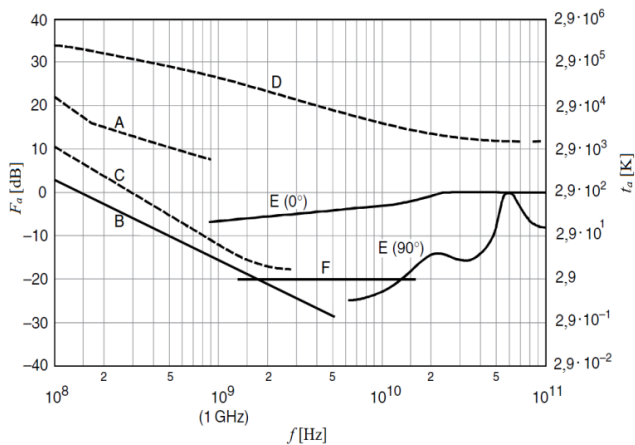
Na tej podstawie Autor wyznaczył wyrażony w skali decybelowej współczynnik szumów zewnętrznych  $F_a$ , którego wartość zwiększona o jeden pozwala otrzymać dodatni współczynnik szumów  $F_a'$ .



**Rys. 2.** Współczynnik szumów  $F_a'$  [dB] oraz równoważna temperatura szumowa  $t_a$  [K]

Jak wynika ze zbiorczego rysunku 3 największy wpływ na propagację fal radiowych (w zakresie częstotliwości od 30 MHz do 1 GHz) – oprócz Słońca (krzywa D) – mają szumy galaktyczne (krzywa B i C). Ich temperatura szumowa dla fal radiowych o częstotliwości od 500 MHz do 1,5 GHz jest zbliżona do temperatury szumowej wtórnego promieniowania atmosfery (zależnie od kąta elewacji satelity).

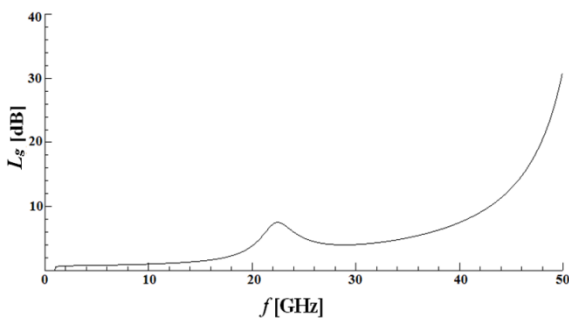
Pomiary wykazały, że występują około 2-3 dB fluktuacje krzywej reprezentującej szum galaktyczny (z pominięciem zjawisk ekranowania jonosfery). Minimalna wartość szumu galaktycznego dla anteny wąskopasmowej skierowanej ku centrum galaktyki w nieskończenie wąskim paśmie jest o 3 dB wyższa (krzywa C) od szumu galaktycznego wyznaczonego linią B. Należy podkreślić, że człowiek wytwarza szumy o wartości przekraczającej szum galaktyczny (zwłaszcza w obszarach gęsto zaludnionych – krzywa A). Z kolei tło kosmiczne generuje szumy o temperaturze nieprzekraczającej 3 K (około 2,7 K), co zilustrowano na krzywej F. W związku z powyższym uznaje się, że tło kosmiczne nie wpływa znacząco na propagację fal radiowych. Powyżej częstotliwości 1 GHz ujawniają się absorpcyjne właściwości atmosfery (głównie w tlenie i parze wodnej) o temperaturze szumowej nieprzekraczającej 290 K – krzywa E.



\* Oznaczenia: A – szacunkowa mediana szumów wytworzonych przez człowieka (ang. man-made noise), B – szumy galaktyczne, C – szumy galaktyczne (w kierunku centrum galaktyki w nieskończenie wąskim paśmie), D – szumy Słońca (0,5° szerokości wiązki promieniowania skierowanej ku Słońcu), E – szumy nieba przy kątach elewacji 0° (górną krzywą) i 90° (dolną krzywą) dla bardzo wąskiej wiązki anteny, F – promieniowanie ciała doskonale czarnego – tło szumów kosmicznych (minimalna oczekiwana wartość 2,7 K)\*\*.

\*\* W praktyce intensywność szumów kosmicznych szacuje się w oparciu o zastępczą temperaturę szumową promieniowania ciała doskonale czarnego (temperaturę nieograniczonej, płaskiej powierzchni, która wytwarza prostopadle do tej powierzchni, w danym paśmie, dla określonej fali radiowej, taką samą gęstość mocy jaką wytwarza źródło rzeczywiste w pobliżu anteny).

**Rys. 3.** Współczynnik szumów  $F_a$  [dB] oraz równoważna temperatura szumowa  $t_a$  [K] dla zewnętrznych źródeł szumów w zakresie częstotliwości od 0,1 GHz do 100 GHz [3]\*



\* Miejsce lokalizacji: stanowisko laboratoryjne Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.

**Rys. 4.** Wypadkowa absorpcja w gazach atmosferycznych w funkcji częstotliwości fali radiowej w obszarze Kielc [18]

Przyjmuje się, że dla fal radiowych o częstotliwości powyżej 18 GHz, gazy atmosferyczne mogą wprowadzać tłumienie na poziomie kilkunastu dB. Wiąże się to z pasmem absorpcyjnym pary wodnej, które zlokalizowane jest wokół częstotliwości 22 GHz. Wartość tłumienia wzrasta aż do częstotliwości około 70 GHz (wskutek lokalnego ekstremum w tlenie dla częstotliwości około 60 GHz). Czynniki te pozwalają potwierdzić, że pasma częstotliwości powyżej 50 GHz nie będą w najbliższym czasie wykorzystywane do potrzeb łączności satelitarnej, ani też do komunikacji z platformami stratosferycznymi [18].

## PODSUMOWANIE

Racjonalna ochrona środowiska zmierza w kierunku optymalnego, efektywnego wykorzystania zasobów naturalnych, co z kolei wpływa na rozwój społeczeństw [19, 20]. Środowisko propagacji fal radiowych również podlega ochronie, szczególnie wskutek wykorzystywania coraz to wyższych zakresów częstotliwości. Pozaziemskie źródła szumów naturalnych wpływają na spadek jakości odbieranych sygnałów mikrofalowych, a tym samym może zaistnieć konieczność odpowiedniej implementacji technicznej systemu (tematyka ta stanowi przedmiot wysiłków naukowych wielu instytucji na całym świecie [21, 22, 23]). Konieczność znajomości zasad propagacji fal radiowych jest niezbędna w kierunku optymalnego projektowania łączy radiowych. Ponieważ warunkiem koniecznym propagacji transjonosferycznej jest odpowiednia wartość częstotliwości fali radiowej, zwykle większa od 30 MHz, uwzględniając izotropowy poziom tła szumów kosmicznych, ekstrema: maksimum i minimum temperatury szumowej promieniowania galaktycznego – przyjmuje się, że dolna granica zakresu dogodnego do łączności satelitarnej wynosi 1 GHz [4]. Opisane zjawiska przyczyniły się do optymalnego doboru częstotliwości wykorzystywanych na potrzeby łączności satelitarnej ('II okno kosmiczne'). Prowadzone prace w przyszłości mogą być użyte do dalszej analizy propagacji mikrofalowego sygnału satelitarne (na kierunku satelita-Ziemia i Ziemia-satelita) z uwzględnieniem zjawisk panujących w jonosferze ziemskiej metodą transmultipleksacji sygnałów [24]. Do przeprowadzenia analiz ilościowych wykorzystać można matematyczny model funkcji regresji [25]. Wyniki badań w ramach projektu COST IC0802 zostały dotychczas zaprezentowane m.in. na konferencjach krajowych i zagranicznych, a ponadto zostały zamieszczone w recenzowanych publikacjach naukowych.

## BIBLIOGRAFIA

- MARCINIAK M., WILK J., *Wpływ szumów na propagację fal radiowych*, „Logistyka 2015”, nr 4, ss. 6589–6597.
- COST ACTION IC0802 (European Cooperation in Science and Technology – Action IC0802), [http://www.cost.eu/domains\\_actions/ict/Actions/IC0802](http://www.cost.eu/domains_actions/ict/Actions/IC0802); [http://www.tesa.prd.fr/cost/ict\\_poster\\_ic0802.pdf](http://www.tesa.prd.fr/cost/ict_poster_ic0802.pdf)
- ITU-R Rec. P. 372-10, *Radio noise*, Genewa 2009, <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.372-10-200910-1/en>
- KNOCH L. [red.], *Systemy radiokomunikacji satelitarnej*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1980.
- PAPALKAR P., *Bit Error Rate performance analysis of satellite system due to sun transit, rain noise and cloud noise*, „International Journal of Emerging Trends in Electronics and Computer science (IJETECs) 2012”, Vol. 1, No 2, <http://www.ijetecs.com/wp-content/uploads/2012/05/04-PALLAVI.pdf>
- GRAVES M. B., *Estimating sun noise at various frequencies, based on the 10,5 cm flux reported by WWV*, „Proceedings of Microwave Update 1994”, ss. 125–131.
- ZORZA POLARNA NAD POLSKA 13 KWIETNIA WIECZOREM, <http://wiadomosci.onet.pl/tylko-w-onecie/zorza-polarna-nad-polska-13-kwietnia-wieczorem,1,5465703,wiadomosc.html>
- HO CH., SLOBIN S., KANTAK A., ASMAR S., *Solar brightness temperature and corresponding antenna noise temperature at microwave frequencies*, „The Interplanetary Network Progress Report 2008”, No 42-175, p. 1.
- SZÓSTKA J., *Fale i anteny*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
- AKTYWNOŚĆ SŁONECZNA A KLIMAT: czy Słońce powoduje globalne ocieplenie?, [http://www.skepticalscience.com/images/Temp\\_vs\\_TSI\\_2009.gif](http://www.skepticalscience.com/images/Temp_vs_TSI_2009.gif)

11. MARCINIAK M., WILK J., *Systemy geostacjonarne we współczesnej telekomunikacji*, „Zastosowania technologii informatycznych. Teoria i praktyka. Applications of information Technologies. Theory and practice”, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego, Radom 2015, ss. 175–186.
12. IPPOLITO L. J., *Satellite communications. Systems engineering. Atmospheric effects, satellite link design and system performance*, John Wiley & Sons, Chichester 2008.
13. RODDY D., *Satellite communications*, McGraw-Hill, New York 2001.
14. JOHANNSEN K. G., KOURY A., *The moon as a source for G/T measurements*, “IEEE transactions on aerospace and electronic systems 1974”, Vol. AE-S10, No 5, pp. 718–727.
15. BAARS J. W. M., *The measurement of large antennas with cosmic radio sources*, “IEEE transactions on antennas and propagation 1973”, Vol. AP-21, No. 4, pp. 461–474.
16. HO CH., KANTAK A., SLOBIN S., MORABITO D., Atmospheric attenuation and noise temperature effects, “The Interplanetary Network Progress Report 2007”, No 42-168, p. 12.
17. SILVER J. P., *Satellite communications tutorial. RF, RFIC and Microwave Theory Design*, p. 7–10, [http://www.odyssey.nildram.co.uk/Systems\\_And\\_Devices\\_Files/Sat\\_Comms.pdf](http://www.odyssey.nildram.co.uk/Systems_And_Devices_Files/Sat_Comms.pdf)
18. MARCINIAK M., WILK J., *Czynniki tłumienia fal radiowych w atmosferze ziemskiej*, „Logistyka 2015”, nr 4, ss. 6578–6588.
19. ZWOŹDZIAK J., ZWOŹDZIAK A., SZCZUREK A., *Meteorologia w ochronie atmosfery*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1998.
20. WILK-JAKUBOWSKI G., *Wpływ technologii informatyczno-komunikacyjnych na funkcjonowanie współczesnych społeczeństw*, „Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne”. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Handlowej im. B. Markowskiego w Kielcach, Kielce 2011; wersja elektroniczna: <http://www.pitwin.edu.pl/artykuly-naukowe/nauki-humanistyczne-i-spoeczne/881-wpyw-technologiei-informatyczno-komunikacyjnych-na-funkcjonowanie-wspoczesnych-spoeczestw>
21. MARCINIAK M., NATAROV D. M., SAULEAU R., NOSICH A. I., *Effect of Periodicity in the Resonant Scattering of Light by Finite Sparse Configurations of Many Silver Nanowires*, “Plasmonics 2014”, No 2, pp. 389–407.
22. WILK J. Ł., *The impact of radiowave polarization, frequency and rain intensity on the satellite signal reception in the area of Kielce city*, “TRANSCOM 2013. 10-th European Conference of Young Research and Scientific Workers. Proceedings, Section 3 – Information And Communication Technologies”, EDIS-Žilina University publisher, Žilina 2013, pp. 121–125.
23. WILK J. Ł., *Współpraca naukowa w ramach Projektu Europejskiego COST IC0802*, „Wschód i Zachód w wymiarze globalnym. Doświadczenia z przeszłości a perspektywy na przyszłość”. Wydawnictwo Stowarzyszenia Współpracy Polska-Wschód. Oddział Świętokrzyski, Kielce 2012.
24. CIOŚMAK J., *Algorytm wyznaczania nieseparowalnych dwuwymiarowych zespołów filtrów dla potrzeb systemów transmultipleksacji*, „Przegląd Elektrotechniczny 2011”, t. 87, zesz. 11, ss. 217–220.
25. MAREK M., *Wykorzystanie ekonometrycznego modelu klasycznej funkcji regresji liniowej do przeprowadzenia analiz ilościowych w naukach ekonomicznych*, „Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne. The Role of Informatics In Economic and Social Sciences. Innovations and Interdisciplinary Implications”, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Handlowej im. B. Markowskiego w Kielcach, Kielce 2013; wersja elektroniczna: <http://www.pitwin.edu.pl/artykuly-naukowe/badania-ilociowe/2171-wykorzystanie-ekonometrycznego-modelu-klasycznej-funkcji-regresji-liniowej-do-przeprowadzenia-analiz-ilociowych-w-naukach-ekonomicznych>

### Evaluation of the influence of natural noise sources on the radio waves propagation

*Paper discussed the impact of natural noise sources on the radio waves propagation. Particular attention was paid to the influence of extraterrestrial natural noise sources on the radio wave propagation among selected frequency. The Author presents e.g. noise figure  $F_a$  [dB] and equivalent noise temperature  $t_a$  [K] for external noise sources in the frequency range from 0.1 GHz to 100 GHz and the diagram of the resultant gaseous absorption vs radio wave frequency in the area of Kielce city.*

Autorzy:  
dr inż. **Jacek Łukasz Wilk-Jakubowski** – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Katedra Systemów Informatycznych, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Polska, e-mail: [j.wilk@tu.kielce.pl](mailto:j.wilk@tu.kielce.pl)