

WPLYW MIAST I TERENÓW ZURBANIZOWANYCH
NA JAKOŚĆ POMIARÓW NATURALNYCH PÓL MAGNETYCZNYCH

The impact of cities and urban areas on the quality
of natural magnetic field measurements

ZENON NIECKARZ*

Zarys treści. W ostatnich dziesięcioleciach, dynamiczny rozwój miast i powiększanie się powierzchni terenów zurbanizowanych wymaga m.in. zwiększonych dostaw energii elektrycznej. W efekcie nastąpił wzrost natężenia promieniowania elektromagnetycznego we wszystkich pasmach częstotliwości. Tymczasem w wielu dziedzinach badań m.in. w astronomii, geofizyce, fizyce atmosfery, meteorologii wykonywane są obserwacje pól i fal elektromagnetycznych jako narzędzie badawcze. W pracy przedstawiono wpływ zakłóceń magnetycznych pochodzenia antropologicznego występujących w zakresie ekstremalnie niskich częstotliwości (poniżej 3000 Hz) na podstawie wyników pomiarów zgromadzonych przez stację Hylaty w latach 2004–2015. Przedstawiono także widma dynamiczne z odwzorowanymi w nich sygnaturami, których źródłem są naturalne zjawiska i procesy zachodzące w atmosferze, jonosferze i magnetosferze Ziemi. Przeanalizowano również zasięg przestrzenny negatywnego oddziaływania miast i terenów zurbanizowanych jako głównej przyczyny wzrostu poziomu zakłóceń elektromagnetycznych w paśmie ELF. W pracy wskazano potencjalnie czyste elektromagnetycznie obszary nadające się do zainstalowania nowych stacji pomiarowych w Polsce.

Słowa kluczowe: środowisko człowieka, klimat miasta, zakłócenia elektromagnetyczne, fale ELF

Abstract. An increase in electromagnetic radiation, across all frequency bands, has been one of multiple effects of the recent developments in the power supply to rapidly growing urban areas in Poland. This has impacted measurements in a range of scientific disciplines, such as astronomy, geophysics, physics of the atmosphere and meteorology, which use electromagnetic observations as research tools. The paper summarises a study on human-induced magnetic interference at extremely low frequencies, i.e. below 3000 Hz, using the records of the Hylaty station from the period 2004–2015. Also, dynamic electromagnetic spectra are presented with signatures of natural atmospheric, ionospheric and magnetospheric phenomena and processes. The author analysed the spatial extent of the adverse influence of urban areas as the principal cause of an increase of electromagnetic interference in the ELF band and identified potentially clean areas useful for the establishment of new measurement stations in Poland.

Key words: human environment, urban climate, electromagnetic interference, ELF waves

Wstęp

Dynamiczny rozwój miast oraz powiększanie się powierzchni terenów zurbanizowanych pociąga za sobą nie tylko zmiany w sposobie użytkowania gruntu oraz wzrost zanieczyszczeń środowiska w klasycznym rozumieniu, ale także silnie wpływa na poziom zakłóceń elektromagnetycznych wynikający z aktywności człowieka (Bogucki i in. 2007). Generalnie obserwuje się wzrost zakłóceń elektromagnetycznych w całym paśmie częstotliwości, nie tylko w miastach, ale także na dużych obszarach wokół nich (Owsiak 2008). Wynika to wprost ze wzrostu zużycia energii elektrycznej,

które w Europie wzrosło o ponad 2 razy w stosunku do roku 1965. W tym sensie miasta traktować można jako rozciągle przestrzennie silne źródła zakłóceń elektromagnetycznych.

Tymczasem wykorzystanie pomiarów pól i fal elektromagnetycznych do obserwacji naturalnych zjawisk jest obecnie bardzo rozpowszechnione w wielu dziedzinach badań m.in. w astronomii, geofizyce, fizyce atmosfery, meteorologii. W szczególności zakres ekstremalnie niskich częstotliwości ELF (ang. *Extremely Low Frequency*), zdefiniowany jako zakres częstotliwości od 3 Hz do 3000 Hz, umożliwia obserwowanie w widmach dynamicznych rejestrowa-

* Uniwersytet Jagielloński, Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego, ul. prof. Stanisława Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków; e-mail: zenon.nieckarz@uj.edu.pl

nych sygnałów, sygnatur od zjawisk i procesów, które zachodzą na Ziemi, jak również w bliskiej przestrzeni kosmicznej (Nieckarz i in. 2015). W ostatnich dziesięcioleciach pomiary te stały się przedmiotem szczególnego zainteresowania w takich dziedzinach jak meteorologia i klimatologia. Przyczyniła się do tego m.in. praca Williama (1992), w której wskazano możliwość monitorowania globalnej aktywności burzowej na podstawie pomiarów i analizy zjawiska rezonansu Schumanna (Schumann 1952).

W Polsce obserwacje w zakresie fal ELF prowadzą dwa ośrodki badawcze. Jednym z nich jest Obserwatorium Geofizyczne Instytutu Geofizyki PAN w Belsku Dużym, prowadzące obserwacje zarówno w Belsku Dużym, jak i w Polskiej Stacji Polarnej Hornsund na Spitsbergenie (Neska, Satori 2006). Drugim ośrodkiem jest Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego, które prowadzi obserwacje ELF na stacji Hylaty w Bieszczadach (rys. 1).

Celem pracy jest ocena wpływu miast i terenów zurbanizowanych, na jakość pomiarów naturalnych pól magnetycznych na podstawie danych zgromadzonych przez stację Hylaty w latach 2004–2015.



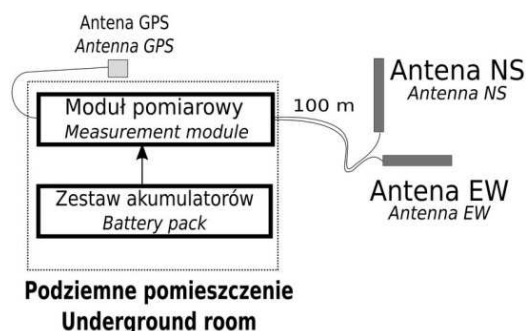
Rys. 1. Lokalizacja stacji Hylaty

Geographic location of the Hylaty station

Metoda

Badania nad metodyką pomiarów i analizą składowej magnetycznej fal ELF prowadzone są w krakowskiej grupie ELF od 1992 roku (<http://ww.w.oa.uj.edu.pl/elf/index.html>). W pierwszym okresie pomiary wykonywano podczas dwu-trzydniowych ekspedycji w teren, w odstępach 2-tygodniowych, głównie do południowo-

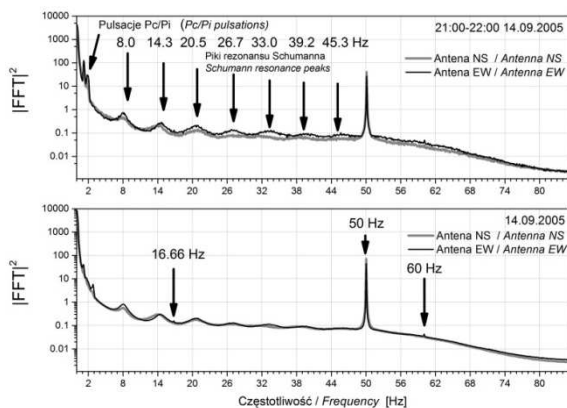
wschodniej części Polski dostarczając wartościowych danych (Kułak i in. 2003). Jednocześnie prowadzono poszukiwania odpowiedniego miejsca na założenie stałej automatycznej stacji pomiarowej. Od roku 2005 w Bieszczadach działa stała stacja Hylaty mierząca w sposób ciągły dwie składowe magnetyczne fal w zakresie częstotliwości od 0,03 do 55 Hz. Stacja składa się z modułu pomiarowego oraz dwóch anten ułożonych horyzontalnie w kierunkach północ–południe (NS) i wschód–zachód (EW). Moduł pomiarowy wraz z zestawem akumulatorów znajduje się w podziemnym pomieszczeniu (rys. 2). Anteny umieszczono również pod powierzchnią gruntu w odległości 100 m od modułu pomiarowego. Stacja pracuje bezobsługowo przez ponad 2 miesiące. Po tym czasie należy wymienić kartę pamięci i naładować akumulatory. Czas ładowania akumulatorów wynosi ponad 12 godzin. Proces ładowania i wymiana karty nie wymagają zatrzymania pracy stacji (Kułak i in. 2014). Obudowa modułu pomiarowego jest niemal hermetyczna. Niestety konieczność wymiany kart pamięci wymusiła zamontowanie w obudowie złącz, których budowa nie zapewnia 100% szczelności.



Rys. 2. Schemat blokowy stacji Hylaty

Flow diagram of the Hylaty station

Podstawę niniejszego opracowania stanowią szeregi czasowe pól magnetycznych zarejestrowane przez stację Hylaty w okresie 10 lat. Szeregi te poddano analizie spektralnej stosując algorytm szybkiej transformaty Fouriera (FFT), a w dalszej kolejności na ich podstawie utworzono średnie dobowe widma mocy. W widmach tych zidentyfikowano charakterystyczne szerokie linie widmowe wynikające z występowania naturalnych zjawisk, takich jak burze magnetyczne, wzbudzenia jonosferycznego rezonatora Alfvena, tzw. IAR (ang. *Ionospheric Alfvén Resonator*, Polyakov 1976), wzbudzenia rezonatora Schumanna (Schumann 1952) oraz wąskie linie spektralne (16,66, 50, 60 Hz), których pochodzenie jest skutkiem działalności człowieka (rys. 3).



Rys. 3. Średnie godzinne (górny wykres) i średnie dobowe (dolny) widma mocy sygnałów zarejestrowanych przez anteny NS i EW w dniu 14.09.2005 roku

Mean hourly (above) and mean daily (below) spectra of signal strength recorded by NS and EW antennae on 14 September 2005

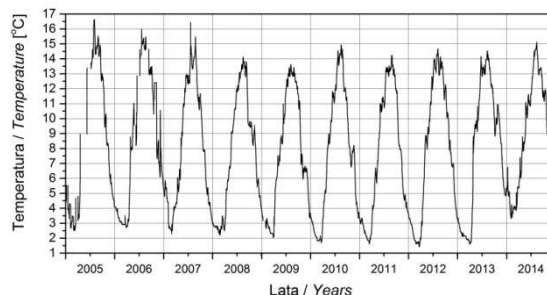
W celu ilościowej oceny zmienności natężenia linii spektralnych pochodzenia antropogenicznego w widmach mocy, obliczono Stosunek amplitudy danej Linii spektralnej do amplitudy naturalnego Tła zmierzonego w otoczeniu tej linii, oznaczony dalej jako wskaźnik SLT. Dla każdej z 3 zidentyfikowanych linii 16,66, 50 i 60 Hz obliczono dwa wskaźniki SLT_{NS} i SLT_{EW} odpowiednio dla widm obliczonych na podstawie pomiarów z anten NS i EW. Najwyraźniej widoczną jest linia 50 Hz. Linie spektralne 50 Hz i 60 Hz pochodzą z sieci elektroenergetycznych, a linia 16,66 Hz pochodzi od zasilania trakcji kolejowej stosowanej w niektórych państwach Europy.

Drugą metodą badania była analiza jakościowa występowania charakterystycznych sygnatur pochodzących od naturalnych zjawisk na **Dobowych Widmach Dynamicznych (DWD)**. DWD obliczano oddzielnie dla każdego szeregu czasowego zarejestrowanego przez anteny (NS i EW). DWD przedstawiają natężenie sygnału zakodowane kolorem w funkcji czasu i częstotliwości. Dla każdej doby w okresie 2004–2015 obliczono DWD_{NS} oraz DWD_{EW} i przeanalizowano pod kątem obecności sygnatur od naturalnych zjawisk.

Wyniki

Oprócz pomiarów magnetycznych stacja Hylaty wykonuje pomiary temperatury powietrza wewnątrz podziemnego pomieszczenia (rys. 4). Celem tych pomiarów jest głównie autodiagnostyka stacji. Wystąpienie ujemnych temperatur, przy dużej wilgotności powietrza, stwarza zagrożenie

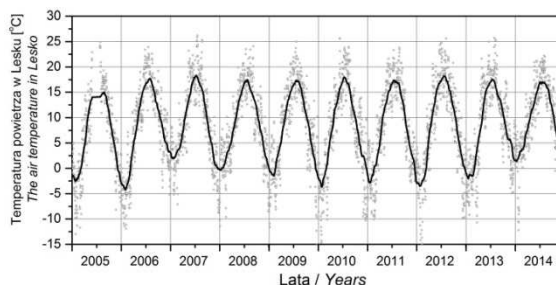
powstania awarii lub uszkodzenia elektroniki. Aby temu zapobiec stacja została umieszczona w podziemnym zbiorniku, którego ściany zbudowane są z tworzywa sztucznego, a całość przykryta została warstwą ziemi. Działania te przyniosły oczekiwany skutek zapobiegając spadkowi temperatury w pomieszczeniu podziemnym poniżej zera stopni Celsjusza. W badanym okresie 10 lat najniższą temperaturę stacja Hylaty zarejestrowała w dniach 19–23.02.2012 roku, a najwyższą w dniach 01–04.08.2005 roku.



Rys. 4. Przebieg średniej dobowej temperatury powietrza w podziemnym pomieszczeniu zmierzona przez stację Hylaty w latach 2005–2014

Mean daily air temperature in the Hylaty station's underground chamber recorded in 2005–2014

W odległości 35 km od stacji Hylaty znajduje się najbliższy punkt pomiaru temperatury powietrza. Jest to stacja hydrologiczno-meteorologiczna IMGW w Lesku. Przebieg średniej ruchomej (31 dni) temperatury w Lesku ma znacznie większe wahania niż temperatura w podziemnym pomieszczeniu stacji Hylaty (rys. 5). Zastosowana grubość ochronnej warstwy ziemi nad stacją zapewnia odpowiednią pasywną ochronę termiczną przed zamrażaniem wody na elementach elektronicznych stacji.



Rys. 5. Przebieg średniej dobowej temperatury powietrza w Lesku w latach 2005–2014

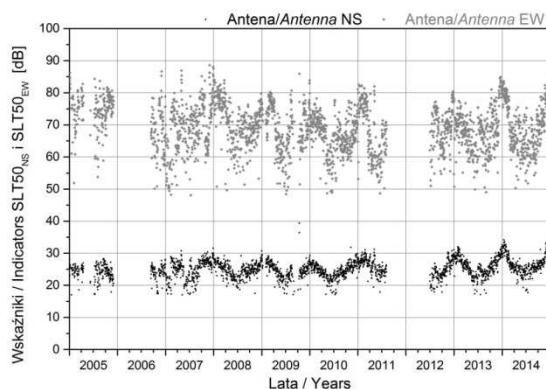
linia ciągła przedstawia średnią ruchomą (31 dni)

Mean daily air temperature at Lesko during 2005–2014

continuous line represents the 31-day moving average

Sygnatury zjawisk pochodzenia antropogenicznego

Na rys. 6 przedstawiono przebieg dobowych wskaźników $SLT50_{NS}$ i $SLT50_{EW}$ obliczonych dla okresu 2005–2014. Widać wyraźnie, że w całym badanym okresie wskaźnik $SLT50_{EW}$ jest wyraźnie większy od wskaźnika $SLT50_{NS}$. Widoczna jest również sezonowa zmienność obu wskaźników, tzn. w okresie zimy wartości wskaźników są wyższe, a w okresie lata niższe. Należy zauważyć, że zużycie energii elektrycznej na obszarze Europy w okresie zimy jest wyższe niż w lecie. Dla przykładu w Polsce produkcja energii elektrycznej w okresie zimy wynosi średnio 14500 GWh/miesiąc, a w okresie lata 12500 GWh/miesiąc (Raporty 2015). Jednocześnie należy zauważyć, że amplituda widma, w obszarze występowania rezonansów Schumanna, jest zawsze niższa w okresie zimy półkuli północnej niż w lecie z powodu zmniejszonej w tym okresie globalnej aktywności burzowej (Nieckarz i in. 2009). Efekt wyraźnego okresowego zachowania się wskaźnika $SLT50$ zaobserwowany na rys. 6 jest efektem złożenia się obu powyżej wspomnianych zjawisk.



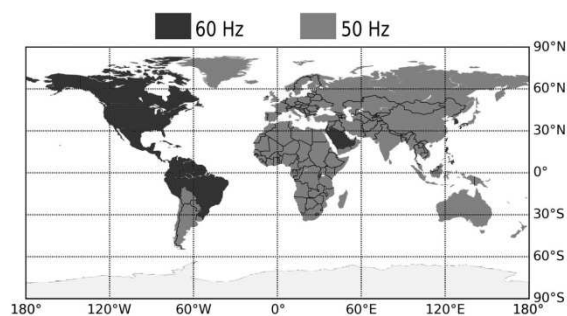
Rys. 6. Przebieg dobowych wskaźników $SLT50_{NS}$ i $SLT50_{EW}$ w latach 2005–2014

Daily values of $SLT50_{NS}$ and $SLT50_{EW}$ during 2005–2014

Globalnie, sieci elektroenergetyczne pracują na częstotliwości 50 lub 60 Hz (rys. 7). Częstotliwość 50 Hz jest używana na przeważającym obszarze globu i w przeważającej liczbie państw z wyjątkiem: obszaru Ameryki Północnej, północnej części Ameryki Południowej, Arabii Saudyjskiej i Korei Południowej. W kilku państwach obecne są obie sieci, np. w Japonii.

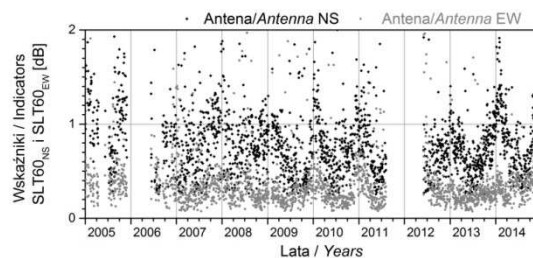
Pomimo dużej odległości pomiędzy lokalizacją stacji Hylaty a obszarami, gdzie stosuje się częstotliwość 60 Hz w sieciach elektroenergetycznych,

widoczna jest obecność tego piku w widmie mocy rejestrowanego sygnału (rys. 3). Przebieg wskaźników $SLT60_{NS}$ i $SLT60_{EW}$ w badanym okresie przedstawia rys. 8. Wartość wskaźnika $SLT60_{NS}$ jest większa od $SLT60_{EW}$. Oba wskaźniki wykazują zmienność sezonową, w okresie zimy ich wartości są wysokie, a latem niskie. Przyczyny takiego zachowania się tego wskaźnika są podobne jak dla linii spektralnej 50 Hz.



Rys. 7. Mapa występowania częstotliwości 50 i 60 Hz w sieciach elektroenergetycznych

Power networks utilising 50 Hz and 60 Hz frequencies worldwide

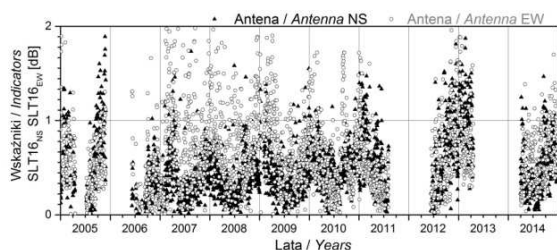


Rys. 8. Przebieg wskaźników $SLT60_{NS}$ i $SLT60_{EW}$ w latach 2005–2014

Daily values of $SLT60_{NS}$ and $SLT60_{EW}$ during 2005–2014

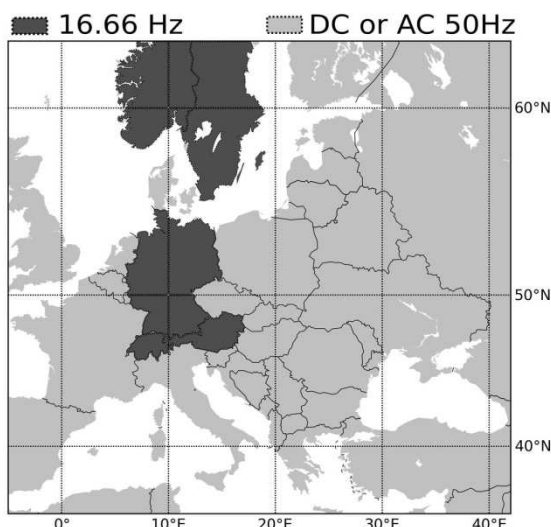
Przebieg wskaźników $SLT16_{NS}$ i $SLT16_{EW}$ przedstawiono na rys. 9. Oba wskaźniki mają zbliżone wartości w całym okresie 10 lat i wykazują zmienność sezonową. W okresie zimy oba wskaźniki mają wyższe wartości, a latem niskie.

Na rys. 10 przedstawiono mapę Europy z zaznaczonymi obszarami, na których trakcja kolejowa zasilana jest napięciem zmiennym o częstotliwości 16,66 Hz (kolor czarny) oraz obszary, na których zasilanie trakcji kolejowej realizowane jest poprzez napięcia stałe lub zmienne o częstotliwości 50 Hz. Sieć kolejowa w Austrii, której trakcja jest zasilana częstotliwością 16,66 Hz, położona jest najbliżej w stosunku do lokalizacji stacji Hylaty.



Rys. 9. Przebieg wskaźników SLT16_{NS} i SLT16_{EW} w latach 2005–2014

Daily values of SLT16_{NS} and SLT16_{EW} during 2005–2014



Rys. 10. Mapa częstotliwości stosowanych w systemach zasilania sieci trakcyjnej kolejowej w Europie (Frey 2012)

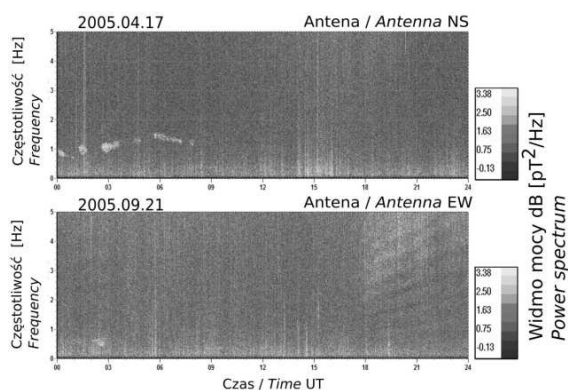
kolor czarny – zasilanie napięciem zmiennym (AC) o częstotliwości 16.66 Hz, kolor szary – napięcie stałe (DC) lub zmienne 50 Hz

Map of European electrical railway systems (Frey 2012)

dark grey – 16.66 Hz alternating current; light grey – direct current or AC 50 Hz

Sygnatury naturalnych zjawisk

Trzy główne naturalne źródła sygnałów pozostawiające charakterystyczne sygnatury w DWD to burze magnetyczne, wzbudzenia wnętrza rezonatora IAR (rys. 11) oraz rezonanse Schumanna wzbudzone przez wyładowania atmosferyczne (rys. 12). Dwa pierwsze zjawiska nie są obserwowane codziennie. Częstość ich występowania na przestrzeni miesięcy i lat zależy w dużej mierze od stanu magnetosfery i jonosfery, na które największy wpływ ma aktywność Słońca (Zięba, Nieckarz 2014).

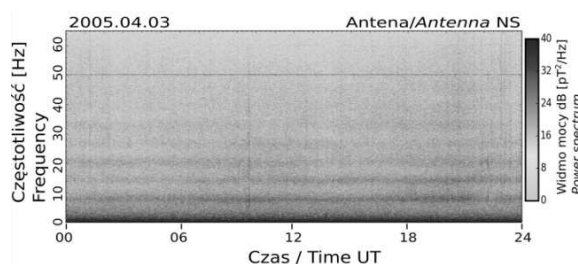


Rys. 11. Dobowe widma dynamiczne (DWD) obliczone w zakresie częstotliwości od 0,03 do 5 Hz

na górnym panelu pokazano DWD obliczone dla doby 17.04.2005 roku z widocznymi pulsacjami PC w godzinach od 00.00 do 09.00 UT; na dolnym panelu pokazano DWD obliczone dla doby 21.09.2005 roku z wyraźnie zarysowanymi pikami rezonansu IAR występującymi w godzinach od 18.00 do 24.00 UT

Daily Pulsar Dynamic Spectra (DDS) calculated in the frequency range from 0.03 to 5 Hz

top panel DDS for 17 April 2005 with PC pulsations between 00.00 and 09.00 UT; bottom panel DDS for 21 September 2005 with clearly outlined IAR peaks between 6.00 PM and 12.00 PM UT



Rys. 12. Dobowe widmo dynamiczne (DWD) obliczone dla doby 03.04.2005 roku w zakresie częstotliwości od 0,03 do 65 Hz

najczęściej przez całą dobę widoczne są wyraźnie pierwsze 3 piki rezonansu Schumanna w postaci wzmocnień sygnału (tutaj ciemne poziome smugi) na częstotliwościach 8,0, 14,3, 20,5 Hz

Daily dynamic spectrum (DDS) on 3 April 2005 calculated for the range of 0.03 to 65 Hz

typically, the daily spectrum clearly features the first three Schumann resonance peaks in the form of strengthened signals (here as dark horizontal smudges) at frequencies 8.0, 14.3 and 20.5 Hz

Ciągła obecność rezonansów Schumanna w DWD, niezależnie od pory dnia i sezonu, jest wynikiem stale utrzymującej się aktywności burzowej na globie. Na podstawie obserwacji satelitarnych oszacowano (Christian i in. 2003), że

średnia częstość wyładowań doziemnych wynosi 44 wyładowania na sekundę.

Ciągle występujące wyładowania zasilają w energię rezonator złożony z powierzchni Ziemi i jonosfery. Dla fal w zakresie częstotliwości ELF oba te obiekty stanowią bardzo dobre lustro. Amplituda prążków rezonansowych odzwierciedla częstość wyładowań na globie. Obserwuje się też niewielkie przesunięcia maksimów tych prążków na osi częstotliwości. Dla przykładu zmiany te w przypadku pierwszego pików rezonansowego wahają się od 7,7 do 8,2 Hz i jest to zależne od aktywności Słońca (Kułak i in. 2003).

Miasta – dominujące źródło zanieczyszczeń EM

Analizując antropogeniczne źródła fal EM pod względem ich geometrii, możemy wyróżnić trzy grupy:

a) o charakterze punktowym (rozdzielnie, transformatorownie, zwarte obszary zakładów przemysłu ciężkiego),

b) liniowym (sieci energetyczne, elektryczne trakcje kolejowe, inne intensywnie użytkowane szlaki komunikacji samochodowej) oraz

c) o charakterze powierzchniowym (miasta i aglomeracje miejskie).

Wśród nich dominującymi źródłami zanieczyszczeń EM utrudniającymi badania naturalnych zjawisk i procesów w paśmie ELF są niewątpliwie miasta. Z badań terenowych, które przeprowadziła krakowska grupa ELF wynika, że stosunkowo łatwe jest znalezienie na obszarze Polski miejsca znacznie oddalonego od sieci energetycznej, dużych szlaków komunikacyjnych i zakładów przemysłowych. Niestety najtrudniejszym do spełnienia warunkiem jest znalezienie miejsca, w którym wpływ emisji fal ELF z miast byłby na tyle mały, aby umożliwił wykonanie wartościowych pomiarów.

W pewnym stopniu, o przestrzennym zasięgu zanieczyszczeń elektromagnetycznych pochodzących od miast i terenów zurbanizowanych można wnioskować na podstawie mapy sztucznej jasności nocnego nieba. Obszerne opracowanie w tym zakresie przedstawiono w pracy (Cinzano i in. 2001). Dotyczy ona sztucznej jasności nocnego nieba, którą zaprezentowano w formie atlasu dla całej Ziemi. Podobne obserwacje i zdjęcia wykonane z pokładu ISS (ang. International Space Station) dostępne są na stronie (<http://earthobservatory.nasa.gov/features/CitiesAtNight/>). Łatwo na nich zauważyć wyróżniające się ogromne obszary polskich miast i terenów do nich przyległych, które

w wielu przypadkach zlewają się ze sobą tworząc duże aktywne elektromagnetycznie regiony (np. aglomeracja górnośląska i Kraków). W świetle tych danych jedynie obszary środkowej części Pojezierza Pomorskiego i Mazurskiego oraz wschodniej przygranicznej części Polski posiadają perspektywę występowania małych i akceptowalnych zakłóceń elektromagnetycznych. Są to jednocześnie regiony gdzie nie ma dużych ośrodków miejskich i przemysłowych. Potwierdza to negatywną rolę miast jako czynnika znacznie ograniczającego swobodę w budowie i instalowaniu nowych stacji ELF w Polsce.

Wnioski

Przeprowadzona analiza danych zgromadzonych przez stację Hylaty w latach 2005–2014 wskazuje na poprawny wybór miejsca jej lokalizacji. Natężenia linii spektralnych 16,66, 50 i 60 Hz, które są skutkiem działalności człowieka, utrzymują się w przybliżeniu na stałym poziomie, a co ważniejsze nie wzrastają. Dzięki temu stacja Hylaty ma dobrą perspektywę na gromadzenie wartościowych pomiarów w najbliższych latach. Największe ograniczenia i utrudnienia w spektralnej analizie danych wprowadza linia 50 Hz, z powodu swego dużego natężenia. W okresach swej największej amplitudy zawęża analizę widma z zakresu 0,03–55 Hz do 0,03–45 Hz, a w niektórych okresach do 40 Hz. Pozostałe linie antropogeniczne są widoczne w widmach mocy dopiero po ich uśrednieniu, z co najmniej 30-minutowego okresu pomiaru i nie stanowią one obecnie dużego utrudnienia w analizie danych gromadzonych przez stację Hylaty.

Duże ośrodki miejskie i aglomeracje wprowadzają zakłócenia antropogeniczne, które promieniują na tyle silnie, że uniemożliwiają gromadzenie wartościowych pomiarów naturalnych pól magnetycznych w odległości rzędu 100 km od ich granic. Zastosowana wstępna analiza problemu wykazała, że nowe czyste elektromagnetycznie lokalizacje znajdują się jedynie na obszarach środkowej części Pojezierza Pomorskiego i Mazurskiego oraz wschodniej przygranicznej części Polski.

Praca została dofinansowana przez granty nr NCN-2012/04/M/ST10/00565 oraz N N306 039040 przyznane przez Narodowe Centrum Nauki, a także przez grant UJ-WFAIS-FOCUS 139/F/ZN/2016.

Literatura

- Bogucki Jan, Andrzej Chudziński, Justyn Połujan. 2007. „Emisja elektromagnetyczna urządzeń w praktyce”. *Telekomunikacja i Techniki Informacyjne* 1-2: 85-95.
- Christian Hugh J., Richard J. Blakeslee, Dennis J. Boccippio, William L. Boeck, Dennis E. Buechler, Kevin T. Driscoll, Steven J. Goodman, John M. Hall, William J. Koshak, Douglas M. Mach, Michael F. Stewart. 2003. „Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector”. *Journal of Geophysical Research* 108 (D1): ACL 4-1–ACL 4-15.
- Cinzano Pierantonio, P. Fabio Falchi, Christopher D. Elvidge. 2001. „The first World Atlas of the artificial night sky brightness”. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 328: 689-707.
- Frey Sheilah. 2012. *Railway Electrification Systems & Engineering*. First Edition. Delhi: White Word Publications.
- Kulak Andrzej, Stanisław Zięba, Stanisław Micek, Zenon Nieckarz. 2003. „Solar variations in extremely low frequency propagation parameters: 1. A two-dimensional telegraph equation (TDTE) model of ELF propagation and fundamental parameters of Schumann resonances”. *Journal of Geophysical Research* 108 (A7): 1270, doi:10.1029/2002JA009304.
- Kulak Andrzej, Jerzy Kubisz, Sławomir Klucjasz, Adam Michalec, Janusz Młynarczyk, Zenon Nieckarz, Michał Ostrowski, Stanisław Zięba. 2014. „Extremely low frequency electromagnetic field measurements at the Hylaty station and methodology of signal analysis”. *Radio Science* 49 (6): 361-370.
- Neska Mariusz, Gabriella Sători. 2006. „Obserwacje rezonansu Schumanna w polskiej stacji polarnej na Spitsbergenie oraz w obserwatorium geofizycznym w Belsku”. *Przegląd Geofizyczny* LI (3-4): 189-198.
- Nieckarz Zenon, Piotr Koperski, Andrzej Kulak, Jerzy Kubisz, Adam Michalec. 2015. The spectral image of the electromagnetic field oscillations in the ULF range on the Earth's surface, as the monitor of the dynamics of energy particles around it. W: *Astroparticle Physics in Poland*, 11–13.05.2015, Warsaw, Poland.
- Nieckarz Zenon, Stanisław Zięba, Andrzej Kulak, Adam Michalec. 2009. „Study of the Periodicities of Lightning Activity in Three Main Thunderstorm Centers Based on Schumann Resonance Measurements”. *Monthly Weather Review* 137 (12): 4401-4409.
- Owsiak Dawid. 2008. Pola elektromagnetyczne niejonizujące. W: Elżbieta Kochańska (red.) *Raport o stanie środowiska województwa warmińsko-mazurskiego w 2007 roku*, 109-112. Olsztyn: Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska.
- Polyakov Sergey V. 1976. On properties of an ionospheric Alfvén resonator. W: *Symposium KAPG on Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 3: 72–73. Moscow: Nauka.
- Raporty, 2015, Polskie Sieci Elektroenergetyczne, <http://www.pse.pl/index.php?modul=8&y=2015&m=11&id_rap=212>.
- Schumann Winfried O. 1952. „On the free oscillations of a conducting sphere, which is surrounded by an air layer and an ionospheric shell [in German]”. *Z. Naturforschaffung* 7a: 149-154.
- Williams Earle R. 1992. „The Schumann resonance: A global tropical thermometer”. *Science* 256 (5060): 1184-1187.
- Zięba Stanisław, Zenon Nieckarz. 2014. „Sunspot Time Series: Passive and Active Intervals”. *Solar Physics* 289 (7): 2705-2726.

Summary

An increase in electromagnetic radiation, across all frequency bands, has been one of multiple effects of recent developments in the power supply to rapidly growing urban areas in Poland. This has impacted measurements in a range of scientific disciplines, such as astronomy, geophysics, physics of the atmosphere and meteorology, which use electromagnetic observations as research tools.

The paper introduces a methodology used by the Krakow-based ELF group since 1992 to measure the magnetic component of the ELF (below 3000 Hz) (<http://www.oa.uj.edu.pl/elf/index.html>). The efforts began with expedition measurements that have identified the best location for a fixed measurement station. It was established in 2005, near Zatwarnica in the Bieszczady Mountains, and named after its location in the Hylaty stream valley. The methodology of analysis is also discussed with the signal spectrum being the main tool used to determine data quality and thus providing a quantitative way of assessing the contribution of human-originated electromagnetic contamination in the ELF band, namely large urban areas, power grids and electric railway lines.

The paper analyses the quality of the data collected using the results of measurements taken at Hylaty in 2004–2015. Examples of dynamic spectra are also shown featuring signatures from phenomena and processes in the atmosphere, ionosphere and magnetosphere. Atmospheric discharges, which occur at a rate of 44 per second

on a global scale, are the dominant natural source of electromagnetic waves in the atmosphere. This activity induces the spherical Earth-ionosphere resonator and, as a result, the EM wave spectrum reveals characteristic peaks known as the Schumann resonance (with the first peak of ~ 8.0 Hz). Another highly characteristic, but rarely observed signature is provided by peaks from the induction of the Ionospheric Alven Resonator (IAR) cavity. These peaks have a frequency between 1 and 5 Hz. The resonator consists of two layers of the ionosphere with a high electron density gradient. The IAR can only be observed in the evening and at night and only during certain phases of solar

activity. The magnetosphere contributes ELF signals from so-called magnetic storms. They are triggered by changes in the solar wind, which cause distortions in the Earth's magnetic fields resulting in a broadband increase in the registered signal across the 1–3 Hz frequency.

The study concludes that contamination from cities and other urban areas makes their spatial location key in the search for electromagnetically pure areas. The authors identified such potential areas to be located in the central sections of the Pomeranian and Masurian lake districts and along sections of the eastern Polish border.