

Connections Between Electromagnetic Signals Generated by Mesoscale Convective Systems, Observed by an ELF Ground Station and DEMETER Satellite

Karol MARTYNSKI^{1,✉}, Andrzej KULAK¹, Janusz MLYNARCZYK²,

Jan BLECKI², Roman WRONOWSKI², and Rafał IWANSKI³

¹Department of Electronics, AGH University of Science and Technology, Cracow, Poland

²Space Research Centre, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland

³Satellite Remote Sensing Department, Institute of Meteorology and Water Management -
National Research Institute, Cracow, Poland

✉ karol.martynski@agh.edu.pl

Strong convective events in Europe are relatively regular, especially in the summer season, when there is an advection of warm tropical air mass from the southern regions. High water vapour content in the warm air, convection, atmosphere instability and strong vertical thermal gradients, are favouring development of strong storm complexes, such as MCS (Mesoscale Convective System) (Bonner 1968, Banta *et al.* 2002, Houze 2014). They are created by strongly developed Cumulonimbus and Nimbostratus clouds and they can cover an area up to 100 000 km². They are characterized by significant hail and heavy precipitation (Chomicz 1951), strong winds, which can reach the level of 150 km/h, many atmospheric discharges and relatively long time of the occurrence, from 6 up to 12 hours (Chappell 1986). Our research on MCS will be divided into three different parts.

First part of the analysis is conducted using METEOSAT9 satellite, which allows us to identify thunderstorms using IR camera installed on board (Maddox 1980). With this setup, we will analyse the height of cloud tops, which can reach level of 15 km. This means the penetration of the tropopause and the lower parts of the stratosphere by clouds. This is possible due to strong updrafts in the thunderstorm structure. In addition, synoptic data will be used for an analysis of thermodynamic conditions, such as CAPE, CIN, K-index, which occurred in the thunderstorm activity period. In this paper we will cover two case studies MCS on 23th of July 2009 and MCS on 24th of May 2010. The second part of the research is focused on the analysis of the thunderstorms, using the Hylaty ELF station (Kulak *et al.* 2014), which has been placed

in Polish mountains in the Bieszczady region. The station is equipped with two orthogonal antennas, which allow us to detect electromagnetic signals in the ELF band (Extremely Low Frequencies). It belongs to the global system WERA (World ELF Radiolocation Array) enabling us to study signals from strong thunderstorms around the world (Mlynarczyk *et al.* 2017). Based on these measurements we are able to use inverse solutions, which we developed, and compute electric dipole moments of positive and negative cloud-to-ground discharges (+CG and –CG) (Kulak and Mlynarczyk 2013, Kulak *et al.* 2013, Mlynarczyk *et al.* 2015). The last part of our studies covers the search for correlations between data from the DEMETER satellite, to the data from Hylaty station. The satellite has the ability to measure VLF (Very Low Frequencies) and ELF signals, which give us a possibility of looking for the relationship between the measurements on the orbit (Parrot *et al.* 2008, 2013; Błęcki *et al.* 2016), and ground-based measurements, and thus differences and changes in the ionosphere and magnetosphere due to thunderstorm activity (Berthelier *et al.* 2006). The highest activity of MCS is during evenings, which coincides with the DEMETER flybys over Europe.

This is a complex study of the interactions between atmospheric discharges and the ionosphere-magnetosphere system. Simultaneous satellite and ground measurements enable deeper analysis of these processes. We expect significant progress in understanding them and their role in the physics of the higher atmosphere. During a single discharge, the enormous energies are released and they have a huge impact on the ionosphere, causing mesoscale disturbances. It influences telecommunication and the accuracy of GPS systems (e.g. Lee and Mousa 1996), so understanding these phenomenon has a practical value.

Acknowledgments. Studies are conducted by a financial aid from National Centre of Science, Grant no. 2017/27/B/ST10/02285.

References

- Banta, R.M., R.K. Newsom, J.K. Lundquist, Y.L. Pichugina, R.L. Coulter, and L. Mahrt (2002), Nocturnal low-level jet characteristics over Kansas during Cases-99, *Bound.-Lay. Meteorol.* **105**, 2, 221–252, DOI: 10.1023/A:1019992330866.
- Berthelier, J.J., M. Godefroy, F. Leblanc, M. Malingre, M. Menvielle, D. Lagoutte, J.Y. Brochot, F. Colin, F. Elie, C. Legendre, P. Zamora, D. Benoist, Y. Chapuis, J. Artru, and R. Pfaff (2006), ICE, the electric field experiment on DEMETER, *Planet. Space Sci.* **54**, 5, 456–471, DOI: 10.1016/j.pss.2005.10.016.
- Błęcki, J., M. Parrot, J. Słomiński, M. Kościeszka, R. Wronowski, and S. Savin (2016), Evolution of the ionospheric plasma turbulence over seismic and thunderstorm areas, *J. Environ. Sci. Eng. A* **6**, 277–285, DOI: 10.17265/2162-5298/2016.06.001.
- Bonner, W.D. (1968), Climatology of the low level jet, *Mon. Weather Rev.* **96**, 12, 833–850, DOI: 10.1175/1520-0493(1968)096<0833:COTLLJ>2.0.CO;2.
- Chappell, C.F. (1986), Quasi-stationary convective events. **In:** P.S. Ray (ed.), *Mesoscale Meteorology and Forecasting*, American Meteorological Society, Boston, 289–310, DOI: 10.1007/978-1-935704-20-1_13.
- Chomicz, K. (1951), Ulewy i deszcze nawalne w Polsce, *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*, **2**, 3, 5–88.
- Houze Jr., R.A. (2014), Mesoscale convective systems. **In:** *Cloud Dynamics*, Vol. 104, Chapter 9, 237–286, Academic Press.

- Kulak, A., and J. Mlynarczyk (2013), ELF propagation parameters for the ground-ionosphere waveguide with finite ground conductivity, *IEEE T. Antenn. Propag.* **61**, 4, 2269–2275, DOI: 10.1109/TAP.2012.2227445.
- Kulak, A., J. Mlynarczyk, and J. Kozakiewicz (2013), An analytical model of ELF radiowave propagation in ground-ionosphere waveguides with a multilayered ground, *IEEE T. Antenn. Propag.* **61**, 9, 4803–4809, DOI: 10.1109/TAP.2013.2268244.
- Kulak, A., J. Kubisz, S. Klucjasz, A. Michalec, J. Mlynarczyk, Z. Nieckarz, M. Ostrowski, and S. Zieba (2014), Extremely low frequency electromagnetic field measurements at the Hylaty station and methodology of signal analysis, *Radio Sci.* **49**, 361–370, DOI: 10.1002/2014RS005400.
- Lee, H., and A.M. Mousa (1996), GPS travelling wave fault locator systems: investigation into the anomalous measurements related to lightning strikes, *IEEE T. Power Deliver.* **11**, 3, DOI: 10.1109/61.517474.
- Maddox, R.A. (1980), Mesoscale convective complexes, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* **61**, 11, 1374–1387.
- Mlynarczyk, J., J. Bor, A. Kulak, M. Popek, and J. Kubisz (2015), An unusual sequence of sprites followed by a secondary TLE – an analysis of ELF radio measurements and optical observations, *J. Geophys. Res.* **120**, DOI: 10.1002/2014JA020780.
- Mlynarczyk, J., A. Kulak, and J. Salvador (2017), The accuracy of radio direction finding in the extremely low frequency range, *Radio Sci.* **52**, 1245–1252, DOI: 10.1002/2017RS006370.
- Parrot, M., J.J. Berthelier, J.P. Lebreton, R. Treumann, and J.L. Rauch (2008), DEMETER observations of EM emissions related to thunderstorms, *Space Sci Rev.* **137**, 511–519, DOI: 10.1007/s11214-008-9347-y.
- Parrot, M., J.A. Sauvaud, S. Soula, J.L. Pinçon, and O. van der Velde (2013), Ionospheric density perturbations recorded by DEMETER above intense thunderstorms, *J. Geophys. Res. – Space* **118**, 8, 5169–5176, DOI: 10.1002/jgra.50460.

**POWIĄZANIA POMIĘDZY SYGNAŁAMI ELEKTROMAGNETYCZNYMI
WYGENEROWANYMI PRZEZ MEZOSKALOWE UKŁADY KONWEKCYJNE,
OBSERWOWANE PRZEZ NAZIEMNĄ STACJĘ ELF
ORAZ SATELITĘ DEMETER**

Streszczenie

Silne zjawiska konwekcyjne w Europie są względnie regularne, zwłaszcza w sezonie letnim, kiedy pojawia się adwekcja ciepłego powietrza zwrotnikowego znad morza Śródziemnego. Wysoka zawartość pary wodnej w ciepłym powietrzu, konwekcja, niestabilność atmosfery oraz silny pionowy gradient termiczny, wspierają rozwój silnych klastrów burzowych, takich jak MCS (Mesoscale Convective Systems – Mezoskalowe Układy Konwekcyjne) (Bonner 1968, Banta i in. 2002, Houze 2014). Tworzą się one z silnie rozwiniętych chmur Cumulonimbus i mogą pokryć obszar nawet do 100 000 km². Charakteryzują się znacznymi opadami gradu i nawałnym typem opadu atmosferycznego (Chomicz 1951), co więcej generują silne porywy wiatru, które mogą osiągnąć prędkości przekraczające 150 km/h. Liczne wyładowania atmosferyczne i długi czas aktywności (od 6 do nawet 12 godzin) (Chappell 1986) charakteryzują te struktury burzowe. Analiza danych będzie podzielona na trzy etapy.

Pierwsza część zostanie przeprowadzona przy użyciu satelity METEOSAT9, która pozwoli na identyfikację burz przy użyciu kamery podczerwonej zainstalowanej na jej pokładzie (Maddox 1980). Wykorzystanie tego narzędzia umożliwi pomiar wysokości wierzchołków chmur, które w przypadku MCS-ów mogą osiągnąć wysokość nawet do 15 km. Oznacza to penetrację tropopauzy, aż do niższych warstw stratosfery. Jest to możliwe ze względu na silne prądy wznoszące w strukturze burzowej. Co więcej dane synoptyczne zostaną wykorzystane do analizy warunków termodynamicznych jakie miały miejsce podczas przejścia burzy, takie jak CAPE, CIN, czy K-index. W tej pracy dokonano analizy dwóch przypadków MCS: pierwszy z dnia 23.07.2009 oraz drugi z dnia 24.05.2010.

Druga część analizy jest skierowana na pomiary z naziemnej stacji ELF – Hylaty (Kulak i in. 2014), która znajduje się w polskich górach, w Bieszczadach. Stacja jest wyposażona w dwie ortogonalne anteny, które pozwalają na detekcję sygnałów w zakresie ELF (Extremely Low Frequencies). Stacja należy do globalnej sieci – WERA (World ELF Radiolocation Array), umożliwiającą badania nad burzami na całym świecie (Młynarczyk i in. 2017). Opierając się na tych pomiarach wykorzystano rozwinięte w naszym zespole rozwiązania odwrotne, które pozwalają na policzenie momentów dipolowych wyładowań –CG oraz +CG (Cloud-to-Ground) (Kulak i Młynarczyk 2013, Kulak i in. 2013, Młynarczyk i in. 2015).

Ostatnim etapem badań jest szukanie korelacji pomiędzy danymi z satelity DEMETER, a pomiarami ze stacji Hylaty. Satelita umożliwi pomiar sygnałów w zakresie VLF (Very Low Frequencies) oraz ELF, które pozwalają na szukanie tych relacji (Parrot i in. 2008, Parrot i in. 2013, Błęcki i in. 2016). Co za tym idzie różnic i zmian w jonosferze i magnetosferze, wywołanych przez aktywność burzową (Bertheliet i in. 2006). Największa aktywność MCS-ów występuje wieczorem, gdzie w podobnym okresie nad Europą przelatuje satelita DEMETER.

Badania te są studium nad interakcjami pomiędzy wyładowaniami atmosferycznymi, a systemem jonosfera-magnetosfera. Równocześnie pomiary satelitarne i naziemne pozwolą na głębsze analizy tych procesów. Spodziewamy się dokonać znacznego postępu w zrozumieniu tych procesów oraz ich znaczenia w fizyce górnych warstw atmosfery. Podczas pojedynczego wyładowania, uwalniane są potężne ilości energii, które mają ogromny wpływ na jonosferę, powodując mezoskalowe zaburzenia. Ma to wpływ na telekomunikację, dokładność systemów GPS (np. Lee i Mousa 1996), w związku z tym zrozumienie tych procesów ma znaczenie praktyczne.