

DETEKCJA PYŁÓW WULKANICZNYCH PRZEZ LIDAR POLSKIEJ STACJI POLARNEJ W HORNSUNDZIE

DETECTION OF VOLCANIC DUSTS
BY THE LIDAR OF POLISH POLAR STATION HORNSUND

Grzegorz Karasiński

Zakład Badań Polarnych Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk
Księcia Janusza 64, 01-452 Warszawa, Polska
gkaras@igf.edu.pl

Zarys treści. W pracy omówiono, wraz z przedstawieniem zasady działania, nowe urządzenie do badania atmosfery w Stacji Polarnej w Hornsundzie – lidar aerorozowy. Przedstawiono 3 przypadki obserwacji podwyższonych koncentracji aerozolu atmosferycznego. Dwa zdarzenia jednoznacznie powiązано z erupcjami wulkanicznymi na Islandii: 2010 *Eyjafjallajökull* i 2011 *Grimsvötn*. Posiłkowano się przy tym wynikami obliczeń trajektorii wstecznych napływu mas powietrza w rejon Hornsundu, otrzymanymi z modelu HYSPLIT. Trzeci przypadek, ze względu na dystans i opóźnienie czasu obserwacji w stosunku do erupcji, może być tylko zasugerowany jako pył wulkaniczny *Saryczewa* (2009) z Wysp Kurylskich. Przedstawiono możliwości lidarów i jego potencjalne zastosowanie do doświadczalnej weryfikacji modeli transportu mas powietrza.

Słowa kluczowe: lidar, Arktyka, teledetekcja, pył wulkaniczny, transport mas powietrza, aerozol atmosferyczny.

1. Wstęp

Polska Stacja Polarna im. Stanisława Siedleckiego PAN jest całorocznym obserwatorium geofizycznym Arktyki. Znajduje się na Spitsbergenie na północnym brzegu wejścia do fiordu Hornsund (77.00°N 15.55°E). Jak każda stacja arktyczna, ze względu na obszar badań w niezaludnionych obszarach Ziemi, Stacja Hornsund jest unikalnym miejscem badań atmosfery. Ze względu na brak lokalnego antropogenicznego wpływu na stan atmosfery możliwe jest określenie takiego stanu atmosfery, jaki występuje globalnie, bez lokalnego wpływu źródeł antropogenicznych. Dotyczy to w szczególności stopnia zapylenia, czyli koncentracji i właściwości fizycznych i chemicznych aerozolu atmosferycznego.

Polska Stacja Polarna im. Stanisława Siedleckiego Polskiej Akademii Nauk jest całorocznym obserwatorium geofizycznym Arktyki. Znajduje się na Spitsbergenie na północnym brzegu wejścia do fiordu Hornsund ($\varphi = 77,00^{\circ}\text{N}$, $\lambda = 15,55^{\circ}\text{E}$). Jak każda stacja arktyczna, ze względu na obszar badań w niezaludnionych obszarach Ziemi, Stacja Hornsund jest unikalnym miejscem badań atmosfery. Ze względu na brak lokalnego antropogenicznego wpływu na stan atmosfery możliwe jest określenie takiego stanu atmosfery, jaki występuje globalnie, bez lokalnego wpływu źródeł antropogenicznych.

Dotyczy to w szczególności stopnia zapylenia, czyli koncentracji i właściwości fizycznych i chemicznych aerozolu atmosferycznego.

Aerozol atmosferyczny pełni nie do końca i poznaną rolę w atmosferze. Jego obecność bezpośrednio redukuje, poprzez rozpraszanie i absorpcję, strumień energii docierającej do powierzchni Ziemi. Jego cząstki są jądrami kondensacji dla pary wodnej, czyli tworzenia chmur. Jednocześnie obecność aerozolu prowadzi do modyfikacji rozkładu wielkości kropeł chmurowych, co przekłada się bezpośrednio na albedo chmur i czas ich utrzymywania się w atmosferze. (Andreae i in. 2001). Motywacją do podjęcia badań nad aerozolem atmosferycznym jest jego nieznaną całkowity ilościowy wkład do bilansu radiacyjnego Ziemi, a tym samym wpływ na zmiany klimatyczne (Forster i in. 2007). Instytut Geofizyki PAN posiada długoletnie doświadczenie oraz aparaturę do badań nad aerozolem w centralnym Obserwatorium Geofizycznym w Besku k. Grójca (Puchalski i Sobolewski 2001). Dysponując jednocześnie stacją arktyczną postanowiono rozszerzyć obszar badań aerozolowych, wykorzystując unikatowe położenie Stacji Hornsund. Badanie własności aerozolu atmosferycznego oraz jego transport nad Spitsbergen jest również prowadzony przez Instytut Oceanologii PAN w Sopocie (m.in. Rozwadowska i in. 2008, Rozwadowska i in. 2010). Stacja Hornsund należy do sieci pomiarowej aerozolu AERONET – AErozol RObotic NETwork (Holben i in. 1998) prowadzonej przez NASA. W skali Europy, największą siecią obserwacji lidarowych jest EARLINET – European Aerosol Research Lidar NETwork (Bösenberg i in. 2003).

Lidar Stacji Hornsund jest aktywnym urządzeniem sondowania atmosfery za pomocą impulsów światła laserowego. Miedzy innymi, służy do określania stratyfikacji aerozolowej troposfery i bliskiej stratosfery do wysokości 30km, zarówno w dzień jak i w nocy. Lidar został zainstalowany w sierpniu 2009 roku, a od 26 października 2009 roku, za jego pomocą, prowadzone są systematyczne obserwacje atmosfery nad Stacją Hornsund.

Największy wpływ na globalny poziom koncentracji aerozolu w atmosferze ma aktywność wulkaniczna planety (McCormick i in. 1995). Dalej w kolejności to sól morską, generowaną przez oceany, pył mineralny unoszony z suchej gleby (np. pył pustylny), oraz dym powstający ze spalania biomasy oraz paliw kopalnych¹. W latach 2009-2011 na półkuli północnej miały miejsce 3 znaczne erupcje wulkaniczne: 12 czerwca 2009 *Saryczew* (Rosja, Wyspy Kurylskie 48.09°N 153.20°E), od 15 kwietnia do 21 maja 2010 *Eyjafjallajökull* (Islandia, 63.63°N 19.62°W) i 21-28 maja 2011 roku *Grimsvötn* (Islandia, 64.42°N 17.33°W). W okresach następujących po tych wydarzeniach obserwowano znaczące anomalie stratyfikacji aerozolu w atmosferze.

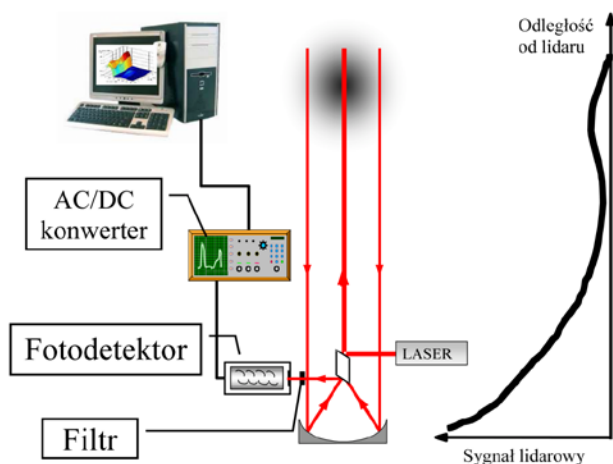
Układ detekcyjny lidar hornsundzkiego nie jest w stanie odróżnić pyłów wulkanicznych od epizodów podwyższonej koncentracji innego aerozolu np. pyłu pustylny. Jednakże porównanie z obserwacjami satelitarnymi oraz predykcjami modeli transportu mas powietrza, pozwala na przybliżone określenie źródeł emisji, a tym samym pośrednią identyfikację aerozolu jako pyłu wulkanicznego. Dodatkowo obserwacje pyłu wulkanicznego są niespotykaną anomalią w stratyfikacji jak i koncentracji aerozolu w czystej zwykle atmosferze Arktyki. Niecodziennosc takich obserwacji, szczególnie na tle kilkuletniej serii pomiarowej, skłania do szukania ich źródeł również w rzadkich zjawiskach takich jak erupcje wulkanów. W niniejszej pracy omówiono poszczególne epizody.

¹ Pominęto tu chmury i mgły, które mają największy wpływ na klimat, lecz stanowią odrębny typ aerozolu. Promień modalny cząstek aerozolu chmur i mgieł jest o rząd a nawet 3 rzędy wielkości większy (Seinfeld i Pandis 1997).

Prezentacja lidar Stacji Hornsund, pokazuje jego potencjalne zastosowanie do weryfikacji modeli transportu mas powietrza. Precyzyjne określenie czasu oraz wysokości pojawienia się pyłu wulkanicznego, wraz z informacją o samej erupcji, stwarza niecodzienną możliwość sprawdzenia, czy model przewiduje napływ powietrza z otoczenia wulkanu. Należy tu wyraźnie zaznaczyć, że do weryfikacji modelu konieczne jest precyzyjne ustalenie zarówno czasu jak i przestrzeni tj. współrzędne geograficzne, wysokość wystąpienia zjawiska- i poziom atmosfery ponad źródłem, do którego sięga emisja popiołów wulkanicznych. Weryfikacja ta może mieć jedynie charakter potwierdzający, tzn. obserwacja produktów erupcji pozostająca w zgodzie z predykcjami modelu uwiarygodnia model. W przypadku obserwacji chmur aerozolu i niezgodzie trajektorii ze źródłem emisji wulkanicznej może oznaczać obserwację aerozolu innego pochodzenia. Jak już zostało to powiedziane lidar Stacji Hornsund nie dysponuje możliwością rozróżniania rodzaju obserwowanego aerozolu. Trzecia możliwość, gdy w atmosferze nie występują znaczące anomalie koncentracji aerozolu a predykcje modelu wyraźnie wskazują na napływ mas powietrza z miejsca lokalizacji wulkanu, może mieć swoje uzasadnienie w niedostatecznej wiedzy o okresowych przerwach w erupcji wulkanu. Występowania takich przypadków jednakże nie stwierdzono.

2. Lidar aerozolowy

Najprostszym typem lidar jest lidar jednoczęstościowy rozproszeniowy² (Measures 1992, Ernst 1997). Jego zasada działania polega na wysłaniu do atmosfery krótkiego (rzędu nanosekund) impulsu światła i zarejestrowaniu zmiany w czasie jego echa dochodzącego do układu detekcji (patrz ryc.1).



Ryc. 1. Schemat, zasada działania i sygnał lidar jednoczęstościowego (kolorowa wersja dostępna w cyfrowej postaci artykułu)

Fig. 1. Schema, principle of operation and a signal of a single-wavelength lidar (color version available on-line).

² Pominięto tu urządzenia typu dalmierz i skaner laserowy, również nazywane lidarami.

Znajomość prędkości światła i czasu jego detekcji pozwala na wyrażenie zmiany echa w funkcji odległości od lidar. Rejestrowane promieniowanie elektromagnetyczne ma tę samą długość fali, co impuls światła emitowany przez laser. Rozproszenie zachodzi na molekułach powietrza (rozpraszanie Rayleigha) i cząstkach aerozolu (rozpraszanie Mie'go). Wzór opisujący zmianę sygnału lidarowego jest następujący (Kovalev i Eichinger 2004):

$$S(z, \lambda) = \frac{A}{z^2} \beta(z, \lambda) \exp \left[-2 \int_0^z \alpha(x, \lambda) dx \right], \quad (2.1)$$

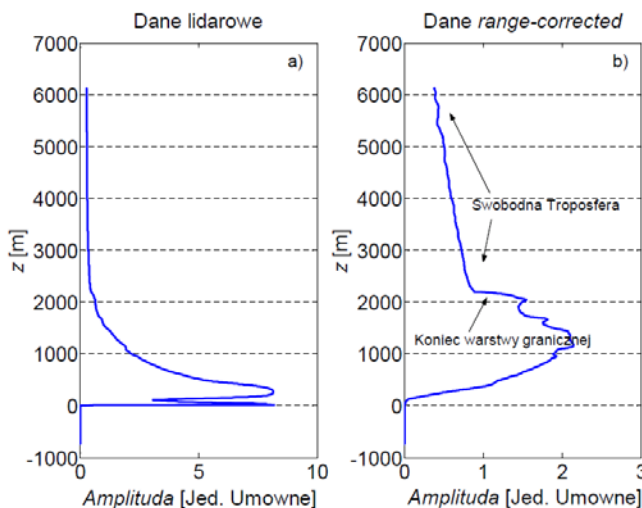
gdzie:

- $S(z, \lambda)$ – wartość sygnału lidarowego,
- A – stała aparaturowa,
- z – odległość, z jakiej przychodzi rozproszone światło,
- λ – długość fali świetlnej,
- $\beta(z, \lambda)$ – współczynnik rozpraszania światła do tyłu,
- $\alpha(z, \lambda)$ – współczynnik ekstynkcji (rozpraszanie i absorpcja) światła wiązki laserowej.

Ponieważ w sygnale lidarowym dominującym czynnikiem jest $1/z^2$, opisującym jedynie własność geometryczną układu detekcji, to najczęstszym przedstawieniem sygnału lidarowego, stosowanym w niniejszym opracowaniu, jest tzw. sygnał „range-corrected” postaci $L(z) = S(z) \cdot z^2$:

$$L(z, \lambda) = A \beta(z, \lambda) \exp \left[-2 \int_0^z \alpha(x, \lambda) dx \right]. \quad (2.2)$$

Taki zabieg powoduje, że sygnał „range-corrected” jest proporcjonalny jedynie do wielkości opisujących własności fizyczne oddziaływania światła z atmosferą. Zalety takiego przekształcenia pokazuje ryc. 2. Po pozbyciu się czynnika geometrycznego w sygnale widać charakterystyczne zmiany odpowiadające poszczególnym obszarom atmosfery.



Ryc. 2. Porównanie a – rzeczywistego sygnału lidarowego oraz b – odpowiadającego mu sygnału „range-corrected” (Karasiński 2007). Kolorowa wersja dostępna w cyfrowej postaci artykułu

Fig. 2. Comparison of a real lidar signal (a) and corresponding to it „range-corrected” signal (b), (Karasiński 2007). Color version available on-line.

Lidar aerolowy Stacji Hornsund jest zaawansowanym urządzeniem do badania własności aerozolu atmosferycznego. Jest to lidar wieloczęstościowy, emitujący do atmosfery jednocześnie światło o trzech długościach fali tj.: 1064, 532 i 355 nm. Szczegółowy opis konstrukcji został przedstawiony u Pietruczuka i Karasińskiego (2010). Ponieważ dla fali 1064 nm wkład w rozpraszanie na aerozolah jest największy i wielokrotnie silniejszy niż rozpraszanie molekularne, w porównaniu do pozostałych długości fali, w pracy zaprezentowano tylko pomiary dla fali 1064 nm.

3. Obserwacje aerozolu po wybuchu wulkanu Saryczewa

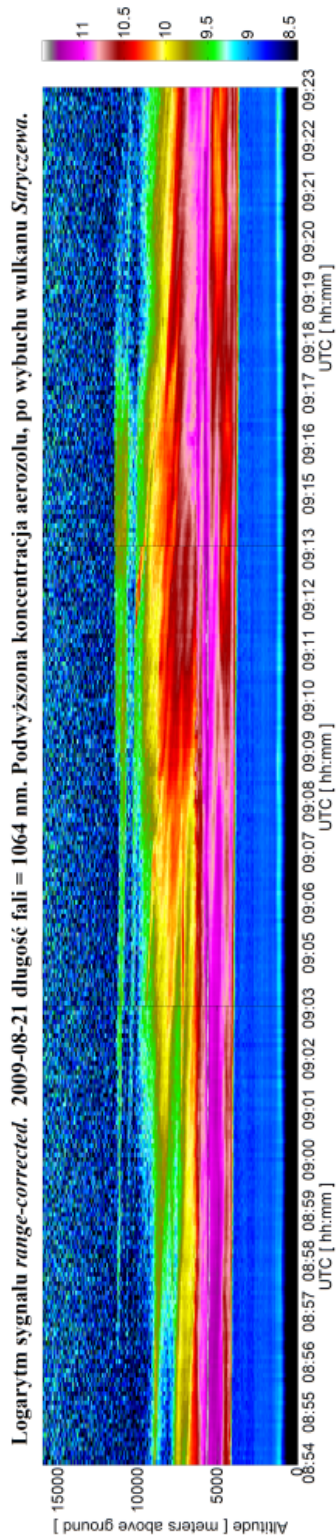
Podczas erupcji 12 czerwca 2009 wulkan Saryczewa wprowadził do atmosfery znaczne ilości pyłu, zarejestrowane przez satelity np. AQUA (MODIS) NASA. W tym czasie lidar hornsundzki był w ostatniej fazie budowy i pod koniec lipca wykonywane były testowo-porównawcze pomiary z lidarem w Centralnym Obserwatorium w Belsku. Już wówczas zauważono niecodzienne chmury aerolowe nieznanego pochodzenia. Wówczas autor nie wiedział nic o wybuchu wulkanu na Wyspach Kurylskich. Po dotarciu do Stacji Hornsund, lidar podjął niezwłocznie obserwacje atmosfery, ale również o charakterze testowym i tylko na czas pobytu grupy instalacyjnej. Jednakże udało się wykonać krótkie sondowanie atmosfery, w trakcie którego zarejestrowano ponownie chmurę aerolu rozciągającą się od wysokości 4km do 12km (patrz ryc. 3). Należy nadmienić, że obserwację wykonano przy bezchmurnym niebie.

Identyfikacja zaobserwowanej anomalii aerolowej jako pyłu pochodzącego z erupcji wulkanu Saryczewa jest najbardziej prawdopodobna. Jednakże z powodu braku dodatkowych danych wspomagających, tak jednoznaczna teza jest nieuprawniona. Duża odległość Wysp Kurylskich od Hornsundu nie pozwala na wykorzystanie modelu napływu mas powietrza, gdyż pomiaru dokonano 2 miesiące po erupcji wulkanu. Modele transportu mas powietrza mają stabilność rzędu, co najwyżej kilkunastu dni. W momencie wykonania pomiaru napływ mas powietrza odbywał się z rejonu Wysp Brytyjskich, a wcześniej z Kanady przez Ocean Atlantycki (patrz ryc. 4). Niemniej trudno znaleźć inne, niż erupcja wulkanu, wytłumaczenie na powstanie w swobodnej atmosferze chmury aerolowej grubej na 5 km. Za tą tezę przemawia wielka skala, zarówno czasowa (rzędu miesiąca) jak i przestrzenna (blisko 3000 km) obserwacji anomalii.

Silne zmiany na granicy troposfery i stratosfery obserwowano następnie w Hornsundzie w grudniu i styczniu następnego roku. Jednoznaczna interpretacja tak długookresowych i silnych zmian jako pyłu wulkaniczny jest nieuprawniona, jednakże epizod ten włączono do niniejszej pracy jako jedną z możliwych hipotez. Innym wytłumaczeniem mogą być chmury stratosferyczne, jednakże i ich powstanie jak i długie utrzymywanie również może być zainicjowane pyłem wulkanicznym jako jądrami kondensacji i krystalizacji kryształków lodu.

4. Obserwacja pyłu wulkanicznego z rejonu Islandii

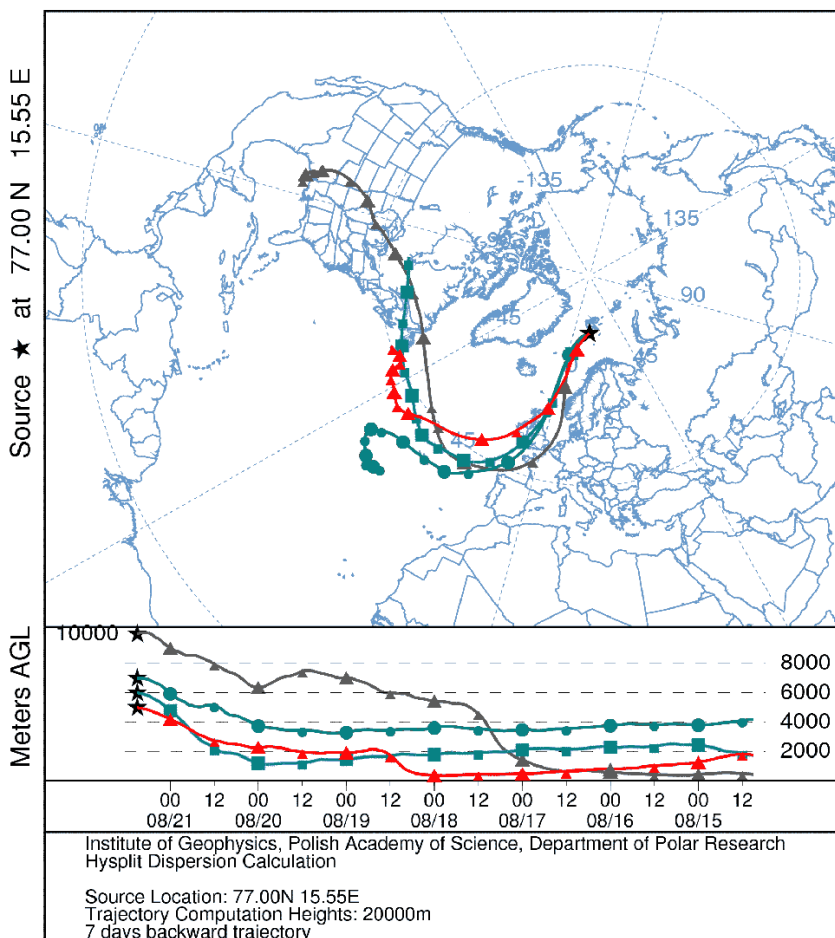
Dwa pozostałe przypadki erupcji wulkanicznych pochodzących z Islandii nie budzą wątpliwości, co do wykrycia ich pochodnych w postaci pyłu nad Stacją Hornsund. Chmurę pyłową *Eyjafjallajökull* zaobserwowano 25 maja 2010 roku (patrz ryc. 5).



Ryc. 3. 21-08-2009. Półgodzinna precyzyjna obserwacja chmury aerozolu nad Stacją Hornsund na wysokości od 4km do 12 km. Długość fali 1064 nm (kolorowa wersja dostępna w cyfrowej postaci artykułu)

Fig. 3. 21-08-2009. Half an hour precise observation of aerosol cloud over Hornsund Station at altitude from 4km to 12 km. Wavelength 1064 nm (color version available on-line).

NOAA HYSPLIT, Polish Polar Station - HORNSUND
 Backward trajectory ending at 0900 UTC 21 Aug 09
 GDAS Meteorological Data

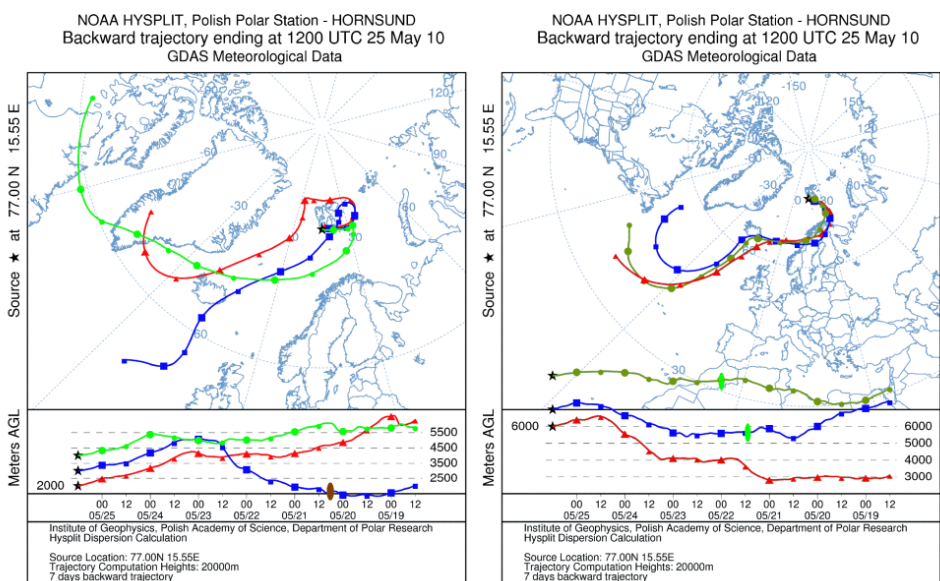
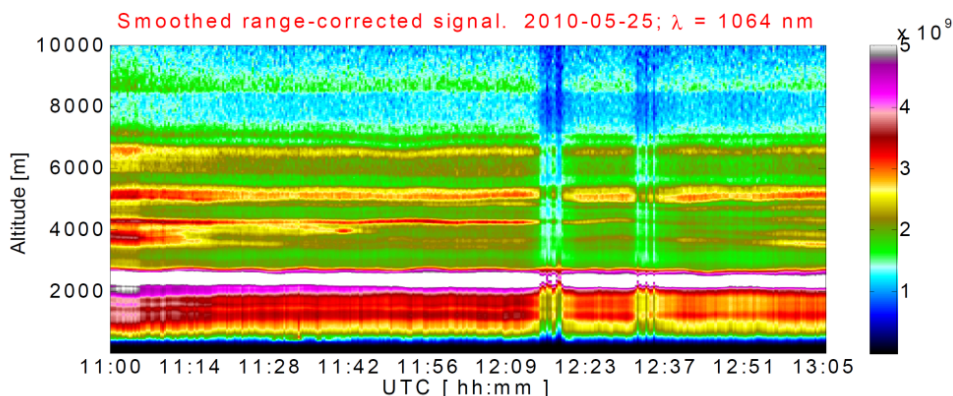


Ryc. 4. Trajektorie wsteczne napływu mas powietrza w rejon Hornsundu w dniu 21-08-2009
 godzina 9:00 UTC (kolorowa wersja dostępna w cyfrowej postaci artykułu)

Fig. 4. Backward trajectories of air masses inflow to Hornsund region on 21-08-2009 at 9:00 UTC
 (color version available on-line).

Występowanie wąskich wyraźnych warstw wskazuje na ich pochodzenie z punktowego źródła. Z kolei ich liczba związana jest z mieszaniem się warstw powietrza oraz wynoszeniem i osiadaniem aerozolu przez ruchy pionowe w atmosferze, co prowadzi do nałożenia się wcześniej emitowanego pyłu z późniejszym. Pył na wysokościach 7 i 9 km pochodzi z erupcji po godzinie 12 z 21 maja, natomiast niższe warstwy wyemitowane zostały przed południem 20 maja. Charakteryzuje je diametralnie inna koncentracja aerozolu wywołana różną aktywnością wulkanu.

Pył wulkanu *Eyjafjallajökull*, wysokości: 2, 4, 5, 7 i 9km



Ryc. 5. 25-05-2010. Obserwacja wyraźnych warstw aerozolu nad Stacją Hornsund na wysokościach 2, 4, 5, 7 i 9 km. Długość fali 1064 nm. Trajektorie wsteczne napływu mas powietrza potwierdzają ich przepływ nad Islandią. Na wykresie czasowym zaznaczono elipsą przebieg trajektorii najbliższej wulkanu (kolorowa wersja dostępna w cyfrowej postaci artykułu)

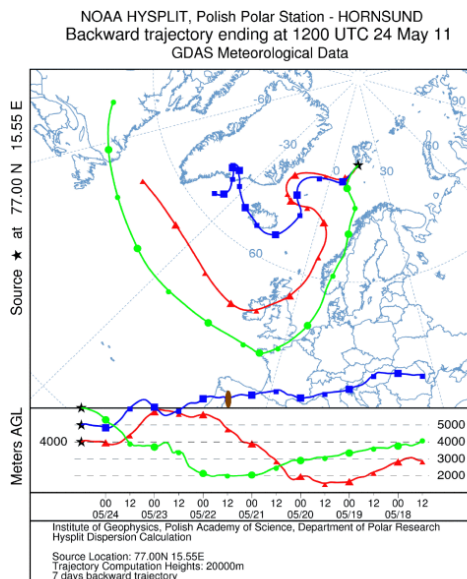
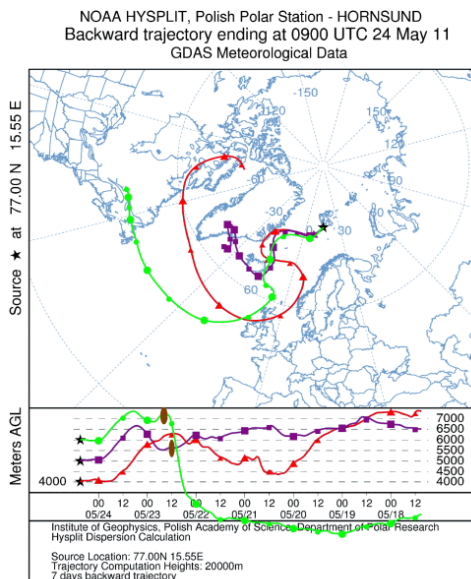
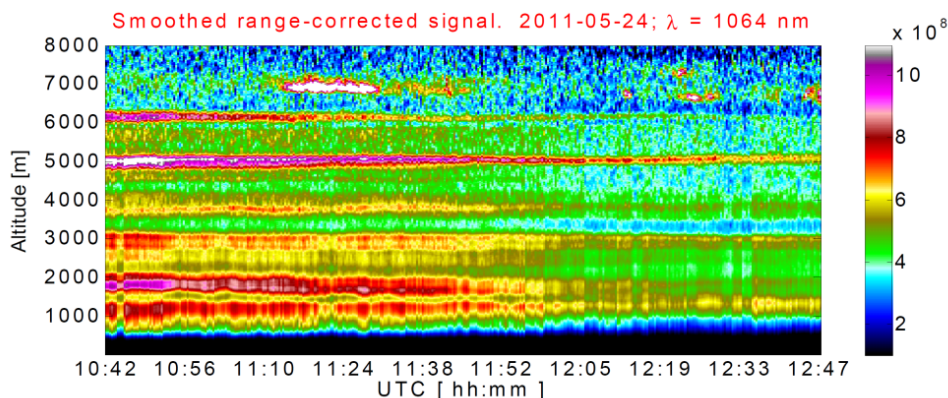
Fig. 5. 25-05-2010. Observation of well-defined aerosol layers over Hornsund Station at a height of 2, 4, 5, 7 and 9 km. Wavelength 1064 nm. Backward trajectories of air masses inflow confirm their flow over Iceland. In timeline, position closed to volcano is marked by ellipse (color version available on-line).

Podobnego typu obserwacji pyłów wulkanu *Eyjafjallajökull* dokonano między innymi w ramach sieci EARLINET (Papayannis i in. 2012), gdzie obserwacje z trzech stacji lidarowych w rejonie Morza Egejskiego, również były wspomagane predykcjami modelu transportu mas powietrza.

Pył z erupcji *Grimsvötn* zarejestrowano 24 maja 2011 – 3 dni po wybuchu (patrz ryc. 6). W tym przypadku jako warstwy pyłu wulkanicznego zidentyfikowano i potwierdzono, w trajektoriach wstecznych

napływu mas powietrza, chmury aerozolu na wysokościach 5 i 6 km. Niżej występujące warstwy to raczej aerozole z Wysp Brytyjskich. Trajektorie z godziny 9:00 i 12:00 UTC potwierdzają szybszy zanik pyłu wulkanicznego na wysokości 6 km, podczas gdy warstwa z wysokości 5 km była wyraźnie zaznaczona przez cały czas prowadzenia pomiaru. Pył wulkaniczny z wysokości 6 km po godzinie 12 UTC może być wynikiem wymieszania tych warstw atmosfery na 12 godzin przed dotarciem w rejon Hornsundu (patrz ryc. 6 trajektorie wsteczne dla wysokości 5 i 6 km z godziny 12:00 UTC).

Pył wulkanu *Grimsvötn*, wysokości: 5km i 6km



Ryc. 6. 24-05-2011. Obserwacja wyraźnych warstw aerozolu nad Stacją Hornsund na wysokościach 5 i 6 km. Długość fali 1064 nm. Trajektorie wsteczne napływu mas powietrza potwierdzają ich przepływ nad Islandią. Na wykresie czasowym zaznaczono elipsą przebieg trajektorii najbliższej wulkanu (kolorowa wersja dostępna w cyfrowej postaci artykułu)

Fig. 6. 21-05-2011. Observation of well-defined aerosol layers over Hornsund Station at a height of 5 and 6 km. Wavelength 1064 nm. Backward trajectories of air masses inflow confirm their flow over Iceland. In timeline, position closed to volcano is marked by ellipse (color version available on-line).

W obu przypadkach czas obserwacji jak i wysokość występowania warstw aerozolowych zostały jednoznacznie potwierdzone przez trajektorie wsteczne napływu mas powietrza obliczone modelem HYSPLIT (Draxler i Ralph 2012). Do modelowania ruchu mas powietrza wykorzystano zasymilowane dane meteorologiczne typu Global Data Assimilation System (GDAS) – dane meteorologiczne z 3-godzinną rozdzielczością czasową i 1x1 stopień szerokości i długości geograficznej w przestrzeni. Dane udostępnione przez National Weather Service's National Centers for Environmental Prediction (NCEP) pod adresem: <ftp://arlftp.arlhq.noaa.gov/archives/gdas1/>

Zarówno w obserwacji epizodu napływu pyłu wulkanu *Eyjafjallajökull* jak i rok później *Grimsvötn* obserwacje prowadzone były w bardzo korzystnych warunkach przy bezchmurnej pogodzie.

5. Podsumowanie

W pracy omówiono zasadę działania nowego urządzenia badawczego, jakim jest Lidar aerozolowy Stacji Hornsund. Lidarem tym można wykryć epizody podwyższonych koncentracji w wyższych partiach troposfery i w stratosferze, zawsze powiązanych z transportem aerozolu do Arktyki.

Detekcja chmur pyłów wulkanicznych może być jedną z metod weryfikacji modeli transportu mas powietrza. Prezentowane przypadki stanowią również prezentację potencjalnego zastosowania lidaru hornsundzkiego do oszacowania wpływu poszczególnych rejonów zurbanizowanych otaczających Arktykę, na występujące w jej atmosferze zanieczyszczenia.

Informację graficzną w postaci map z sygnałami „range-corrected” wszystkich pomiarów wykonanych lidarem Stacji można pobrać pod adresem: <http://lidar.igf.edu.pl/hornsund/>.

Niniejsze badania prowadzone są w ramach projektu Lidar Arctic Monitoring of the Atmosphere (LAMA) zarejestrowanego w bazie RIS (Research In Svalbard) pod numerem 4782.

Podziękowania

Niniejsza praca mogła powstać tylko dzięki istnieniu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie oraz pracy uczestników XXXII i XXXIII – Polskich Wypraw Polarnych PAN na Spitsbergen. Autor dziękuje obserwatorom panom: Jakubowi Soroce i dr Łukaszowi Małarzewskiemu za obsługę lidaru Stacji.

Literatura

- Andreae M., Annegarn H., Barrie L., Feichter J., Hegg D., Jayaraman A., Leaitch R., Murphy D., Nganga J., Pitari G. i in., 2001. IPCC Third Assessment Report "Climate Change 2001" and the Synthesis Report. Working Group I: The Scientific Basis. Charter 5. Aerosols, their Direct and Indirect Effects
- Bösenberg J., Matthias V., Amodeo A., Amoiridis V., Ansmann A., Baldasano J.M., Balin I., Balis D., Böckmann C., Boselli A., Carlsson G., Chaikovsky A., Chourdakis G., Comerón A., De Tomasi F., Eixmann R., Freudenthaler V., Giehl H., Grigorov I., Hågård A., Iarlori M., Kirsche A., Kolarov G., Komguem L., Kreipl S., Kumpf W., Larcheveque G., Linné H., Matthey R., Mattis I., Mekler A., Mironova I., Mitev V., Mona L., Müller D., Music S., Nickovic S., Pandolfi M., Papayannis A., Pappalardo G., Pelon J., Pérez C., Perrone R. M., Persson R., Resendes D. P., Rizi V., Rocadenbosch F., Rodrigues A., Sauvage L., Schneidenbach L., Schumacher R., Shcherbakov V., Simeonov V., Sobolewski P., Spinelli N., Stachlewska I., Stoyanov D., Trickl T., Tsaknakis G., Vaughan G., Wandinger U., Wang X., Wiegner M., Zavrtnik M., and Zerefos C., 2003. EARLINET: A European Aerosol Research Lidar Network to Establish an Aerosol Climatology. Max-Planck-Institut Report No. 348.
- Draxler R.R., Rolph G.D., 2012. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.

- Ernst K., 1997. Lidary w badaniach atmosfery, *Wiedza i Życie*, 6: 22-29.
- Forster P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Bernsten, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland, 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanré D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y., Nakajima T., Lavenue F., Jankowiak I., Smirnov A., 1998. AERONET-A federated instrument network and data archive for aerosol characterization, *Remote Sens. Environ.*, 66, 1-16.
- Karasiński G., 2007. Wieloczęstościowy lidar do badania aerozolu atmosferycznego. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Warszawski (maszynopis).
- Kovalev V.A., Eichinger W.E., 2004. Analytical Solutions of the Lidar Equation, in *Elastic Lidar: Theory, Practice, and Analysis Methods*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
- McCormick M.P., Thomason L.W., Trepte C.R., 1995. Atmospheric effects of the Mt Pinatubo eruption. *Nature* 373: 399-404 (02 February 1995).
- Measures R., 1992. *Laser Remote Sensing. Fundamentals And Applications*, Krieger Publishing Company, Florida.
- Pietruczuk A., Karasiński G., 2010. LIDAR at Polish Polar Station, instrument design and first results. Reviewed Papers of 25th ILRC International Laser Radar Conference, 5-9 July 2010, St. Petersburg, Russia.
- Pietruczuk A., Krzyściński J.W., Jarosławski J., Podgórski J., Sobolewski P., Wink J., 2010. Eyjafjallajökull volcano ash observed over Belsk (52 degrees N, 21 degrees E), Poland, in April 2010. *International Journal of Remote Sensing*, 31: 3981-3986.
- Papayannis A., Mamouri R.E., Amiridis V., Giannakaki E., Veselovskii I., Kokkalis P., Tsaknakis G., Balis D., Kristiansen N. I., Stohl A., Korenskiy M., Allakhverdiev K., Huseyinoglu M. F., Baykara T., 2012. Optical properties and vertical extension of aged ash layers over the Eastern Mediterranean as observed by Raman lidars during the Eyjafjallajökull eruption in May 2010. *Atmospheric Environment*, 48: 56-65, doi:10.1016/j.atmosenv.2011.08.037.
- Puchalski S., Sobolewski P., S., 2001. Spectral Optical Thickness and Aerosols Size Distributions of Air Columns at Belsk In 1993-1998. *Acta Geophysica Polonica*, 49: 261-270.
- Rozwadowska A., Petelski T., Zieliński T., 2008. Pomiary aerozolowe w Hornsundzie w trakcie XXIX Wyprawy Polarnej PAN, *Problemy Klimatologii Polarnej*, 18, 161-170.
- Rozwadowska A., Zieliński T., Petelski T., Sobolewski P., 2010. Cluster analysis of an impact of air back-trajectories on aerosol optical properties at Hornsund, Spitsbergen. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10: 877-893, doi:10.5194/acp-10-877-2010.
- Seinfeld J.H., Pandis S.N., 1997. *Atmospheric Chemistry and Physics*, John Wiley & Sons, New York, USA.

Wpłynęło: 18 czerwca 2012 r., poprawiono: 29 października 2012 r.

Summary

The paper presents principles of operation of the new device for atmospheric monitoring at Polar Station Hornsund – aerosol lidar. There are 3 case studies of higher aerosol episodes. Two of them were clearly linked as eruptions on Iceland i.e.: 2010 *Eyjafjallajökull* and 2011 *Grimsvötn*. Results

were support by backward trajectories simulation of air masses inflow to Hornsund area by HYSPLIT model. The third case, in respect to far distance and long time separation between the observation and the eruption, can be only supposed as volcanic dust of Sarychev Peak (2009) from Kuril Islands. There are presented capabilities of the lidar and its potential application for experimental verification of air masses transport models.

Key words: lidar, Arctic, remote sensing, volcano ash, air masses transport, atmospheric aerosol.