

Anetta DRZENIECKA-OSIADACZ¹ i Paweł NETZEL¹

OCENA ROZKŁADU WYSOKOŚCI INWERSJI NAD WROCŁAWIEM NA PODSTAWIE SONDAŻU AKUSTYCZNEGO

ASSESSMENT OF SPATIAL VARIABILITY OF THE INVERSION LAYER DEPTH OVER WROCLAW CITY ON A BASE OF ACOUSTIC SOUNDING

Abstrakt: Sondaż akustyczny z wykorzystaniem SODARów (SODAR - *SOund Detection And Ranging*) dostarcza w sposób ciągły wiarygodnych informacji o stanie warstwy granicznej atmosfery oraz o równowadze termodynamicznej. Monitoring z wykorzystaniem sodaru pozwala na określenie występowania, czasu trwania i zasięgu inwersji termicznych. Jest to kluczowa informacja dla oceny możliwości rozprzestrzeniania zanieczyszczeń powietrza. Od ponad dwudziestu lat w Zakładzie Klimatologii i Ochrony Atmosfery prowadzone są badania dotyczące warstwy granicznej atmosfery, m.in. z wykorzystaniem sondażu akustycznego, oraz jej związku z jakością powietrza. W ramach projektu badawczego „Zróżnicowanie przestrzenne warstwy granicznej atmosfery na przykładzie Wrocławia i Krakowa” przeprowadzono w wybranych typach pogody pomiary z wykorzystaniem monostatycznego pionowego minisodaru dopplerowskiego. Pomiary prowadzone były w układzie patrolowym w dziesięciu punktach na terenie miasta Wrocławia. Głównym ich celem było określenie zasięgu i zmienności przygruntowej inwersji termicznej. Wstępne wyniki pomiarów prowadzonych podczas nocy radiacyjnych wskazują na zróżnicowanie przestrzenne wysokości inwersji przygruntowej nad Wrocławiem sięgające do 80 m przy średnim jej zasięgu wynoszącym 200 m. Wydaje się, że zmiany wysokości zasięgu inwersji związane były z szorstkością terenu, charakterem zabudowy, zorientowaniem punktu pomiarowego w stosunku do centrum miasta. Na zróżnicowanie to mają również wpływ warunki pogodowe, w tym cyrkulacja atmosferyczna. Wzrost prędkości wiatru powyżej $3\div 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz rozwój zachmurzenia w piętrach niskim i średnim powoduje zmniejszenie zmienności przestrzennej inwersji przygruntowej.

Słowa kluczowe: atmosferyczna warstwa graniczna, inwersja temperatury, zróżnicowanie przestrzenne, sodar, Wrocław

Wiedza o strukturze termicznej granicznej warstwy atmosfery jest bardzo ważna dla oceny rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Zjawiska inwersji termicznej, a co za tym idzie występowanie warstw hamujących, znacznie zmieniają warunki, w jakich odbywa się transport zanieczyszczeń.

Jedną z metod oceny struktury termicznej atmosfery i detekcji występowania oraz zasięgu inwersji termicznych jest sondaż akustyczny. SODAR (*Sound Detection And Ranging*) to akustyczny odpowiednik powszechnie stosowanych radarów. Emituje on impuls akustyczny, a następnie rejestruje rozpraszanie dźwięku na strukturach termicznych w atmosferze. Zarejestrowany obraz umożliwia ocenę występowania zjawisk inwersji termicznej [1-3].

Badania warstwy granicznej atmosfery z wykorzystaniem sodarów cieszą się popularnością od ponad 30 lat. W Zakładzie Klimatologii i Ochrony Atmosfery Uniwersytetu Wrocławskiego pierwszy SODAR zaczął pracować w 1984 roku i od tego czasu nastąpił rozwój badań warstwy granicznej we Wrocławiu [4-6]. Prace wykonane w ramach projektu badawczego „Zróżnicowanie przestrzenne warstwy granicznej

¹ Zakład Klimatologii i Ochrony Atmosfery, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski, ul. Kosiby 6-8, 51-670 Wrocław, tel. 71 372 94 97, fax 71 372 94 98, email: drzanett@meteo.uni.wroc.pl, netzel@meteo.uni.wroc.pl

atmosfery na przykładzie Wrocławia i Krakowa” umożliwiły rozszerzenie metodyki sondażu akustycznego o sondaż prowadzony w sposób mobilny w kilku punktach wybranych miast.

Głównym celem pomiarów prowadzonych w ten sposób było określanie zasięgu i zmienności przygruntowej inwersji termicznej w ujęciu przestrzennym.

Metody pomiarów i dane

Głównym narzędziem do oceny zasięgu i struktury inwersji przygruntowej wykorzystanym w realizowanym projekcie był sodar mobilny. Jest to sodar zamocowany na przyczepie samochodowej umożliwiającej łatwe przewożenie go z miejsca na miejsce. Wykorzystywany do badań instrument to monostatyczny sodar dopplerowski pracujący z częstotliwością 3750 Hz. Parametry sodaru zawiera tabela 1.

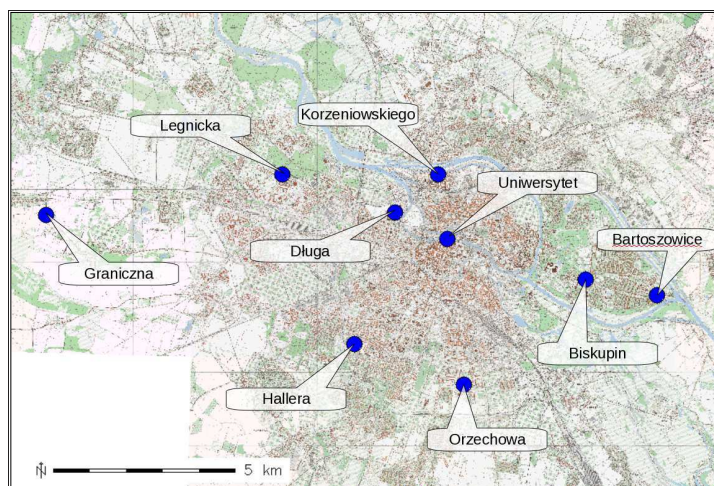
Parametry mobilnego monostatycznego sodaru dopplerowskiego

Tabela 1

Parameters of mobile monostatic doppler sodar

Table 1

Parametr	Wartość	Jednostka
Częstotliwość akustyczna	3750	[Hz]
Moc elektryczna	400	[W]
Zasięg sondażu	350	[m n.p.g.]
Rozdzielczość pionowa	2	[m]
Częstotliwość sondowań	0,5	[Hz]
Masa sodaru z przyczepą	ok. 200	[kg]



Rys. 1. Rozkład przestrzenny punktów pomiarowych we Wrocławiu

Fig. 1. Spatial localisation of sounding places in Wrocław

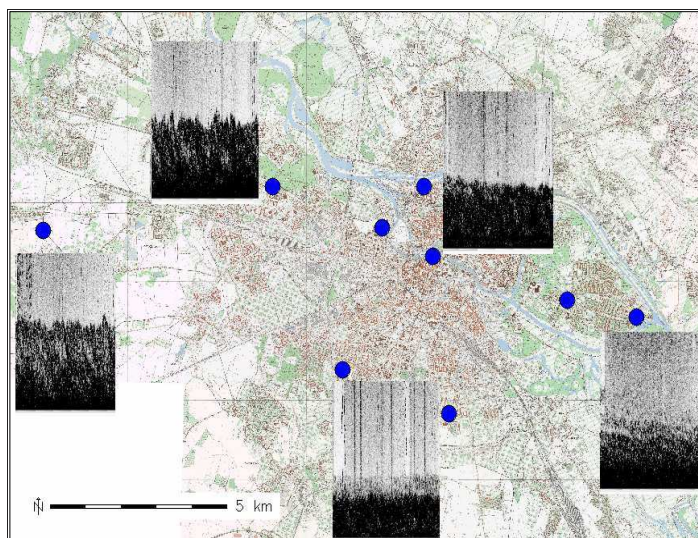
Pomiary prowadzono w systemie patrolowym. Sondowania rozpoczynano co najmniej godzinę po zachodzie słońca po stwierdzeniu ukształtowania się stabilnej inwersji przygruntowej.

Wytypowano 9 punktów rozlokowanych na terenie miasta Wrocławia, charakteryzujących się różnym typem użytkowania terenu i gęstości zabudowy. Lokalizacja wybranych punktów przedstawiona jest na rysunku 1.

W trakcie sesji pomiarowej, w każdym z wybranych punktów, prowadzony był sondaż akustyczny trwający 10 minut. Taki reżim pomiarowy pozwalał, uwzględniając czasy przejazdu z punktu do punktu, na zakończenie całej sesji pomiarowej w czasie ok. 3 godzin.

Pomiary zarówno na stacji bazowej (Obserwatorium Zakładu Klimatologii i Ochrony Atmosfery UWr), jak i na pierwszym punkcie pomiarowym (Bartoszewice) wykonywane były dwukrotnie w czasie sesji.

Przykłady rejestrów soderowych uzyskanych w czasie sesji pomiarowej przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykłady rejestrów soderowych zebranych w czasie sesji pomiarowej - 3.04.2009

Fig. 2. Examples of registograms collected during session - 3.04.2009

W prezentowanych rejestrach poziom zaczernienia ilustruje siłę sygnału odbitego od struktur termicznych, tym samym uzyskuje się informację o gradiencie temperatury oraz zasięgu i charakterze inwersji.

Otrzymane rejestracje soderowe były analizowane w celu oceny zasięgu inwersji przygruntowej. Analizę prowadzono na podstawie statystyki obrazu, wykorzystując program Octave (program OpenSource zgodny z programem Matlab). Wyniki sprowadzono do jednego momentu w czasie.

Dla otrzymanych wyników obliczano różnice pomiędzy wysokością zarejestrowaną w stacji bazowej (Obserwatorium Zakładu Klimatologii i Ochrony Atmosfery, Biskupin) a wysokościami zarejestrowanymi w pozostałych punktach pomiarów. Ponadto obliczano procentowy stosunek zmiany wysokości.

Przykładowe wyniki dla sesji przeprowadzonej dn. 3 kwietnia 2009 r. zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Pionowy zasięg inwersji przygruntowej - 3.04.2009

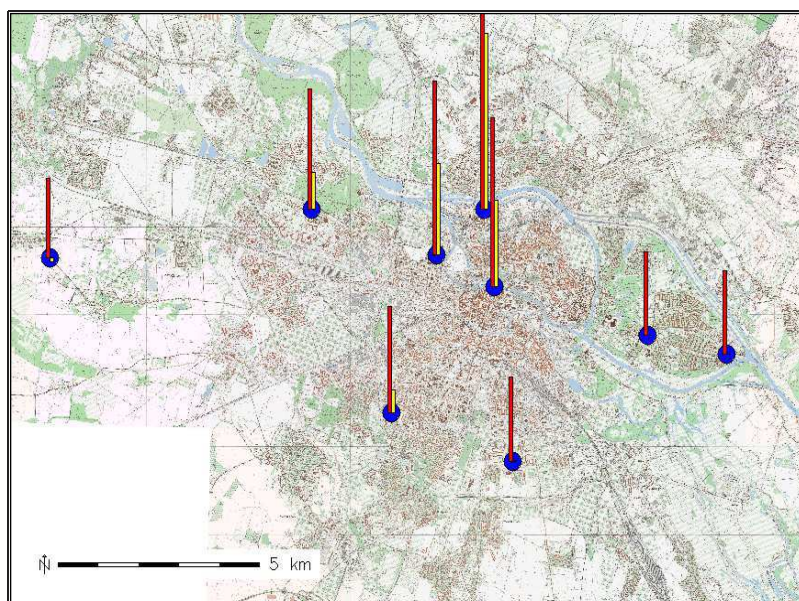
Table 2

Vertical range of temperature inversion - 3.04.2009

Lokalizacja	2009.04.03			
	H [m]	DH [m]	P [%]	DP [%]
Bartoszewice	84,00	0,00	100,00	0,00
Orzechowa	85,02	1,02	101,21	1,02
Hallera	107,52	23,51	127,99	23,51
Graniczna	80,44	0,00	95,76	0,00
Legnicka	120,43	36,43	143,37	36,43
Długa	175,45	91,45	208,87	91,45
Korzeniowskiego	261,27	177,27	311,04	177,27
Uniwersytet	170,21	86,21	202,63	86,21
Bartoszewice	84,00	0,00	100,00	0,00

H - wysokość, DH - różnica wysokości, DP - procentowa różnica wysokości

Wyniki otrzymane w ten sposób zlokalizowano na mapie i przedstawiono w postaci kartogramu - rysunek 3.



Rys. 3. Przestrzenny rozkład zasięgu pionowego inwersji [m] - 3.04.2009

Fig. 3. Spatial distribution of temperature inversion vertical range [m] - 3.04.2009

Podsumowanie

Wykorzystanie sodaru mobilnego pozwala na określenie rozkładu przestrzennego inwersji temperatury. Sesje powtórzone kilkakrotnie w różnych porach roku, starając się utrzymać rytm comiesięczny. Mobilny sondaż akustyczny prowadzony jest w warunkach pogody antycyklonalnej, charakteryzujących się niewielką prędkością wiatru

i zachmurzeniem, co pozwala na określenie wpływu użytkowania terenu na rozwój warstwy o równowadze stałej. W 2009 roku trudno było zachować taki rytm ze względu na dynamikę zmian pogody w okresie letnim.

Rejestracje sodarowe uzupełniane są o ciągłą rejestrację temperatury powietrza na 2 m n.p.g. na trasie przejazdu sodaru w systemie patrolowym. Ponadto w warunkach umożliwiających wloty balonowe przeprowadzane są jednocześnie pomiary pionowego profilu temperatury i wiatru balonem meteorologicznym na uwięzi.

Tak zorganizowane sesje pomiarowe pozwalają w sposób szczegółowy określić strukturę warstwy granicznej. Otrzymane wyniki wskazują na dominującą rolę lokalnego pokrycia i ukształtowania terenu. Kolejnym czynnikiem wpływającym na zróżnicowanie inwersji na obszarze miasta jest kierunek i prędkość wiatru.

Rezultatem końcowym prowadzonych badań ma być ciągły, przestrzenny model wysokości inwersji przygruntowej nad miastem.

Literatura

- [1] Netzel P., Stano S. i Zarębski M.: *Monostatyczny pionowy sodar dopplerowski VDS*. Wiad. IMGW, 1995, **18**(3-4), 119-125.
- [2] Walczewski J.: *Development of SODAR and acoustic soundings of the atmosphere in Poland*. Z. Meteorol., 1989, **B39**(3), 129-141.
- [3] Walczewski J.: *20 lat polskiego sonaru*. Wiad. IMGW, 1999, **22**, 5-19.
- [4] Pyka J.L.: *Pierwsze wyniki badań meteorologicznych przy pomocy sodaru we Wrocławiu*. Przegl. Geofiz., A, 1988, **6**, 157-166.
- [5] Pyka J.L.: *Warunki termiczne warstwy granicznej we Wrocławiu w świetle pomiarów sodarowych*. Acta Univ. Wratislaviensis, Prace I.G., ser. A, 1991, **5**, 275-287.
- [6] Pyka J.L., Piasecki J., Ropuszyński P. i Pflitsch A.: *Pionowa struktura termiczna i prędkość pionowa powietrza warstwy granicznej w warunkach miejskich w świetle rejestracji sodarowych*. Dokum. Geogr. IGiPZ PAN, 2001, **23**, 101-118.

ASSESSMENT OF SPATIAL VARIABILITY OF THE INVERSION LAYER DEPTH OVER WROCLAW CITY ON A BASE OF ACOUSTIC SOUNDING

Department of Climate and Atmosphere Protection, Wrocław University

Abstract: Acoustic sounding using SODAR system (SODAR - *SOund Detection And Ranging*) provide a unique opportunity to get the continuous and reliable information about structure of the Atmospheric Boundary Layer and about thermodynamic state of the lower part of the atmosphere. The Sodar monitoring enables to estimate of occurrence, duration and range of temperature inversion. This type of information has key meaning for estimating the ability of the atmosphere to disperse the pollution. The researches concerning on state of the atmospheric boundary layer have been conducted in Department of Climate and Atmosphere Protection, Wrocław University for over 20 years. Within Research Project "The spatial variability of the Atmospheric Boundary Layer over Wrocław and Krakow" were conducted the measurements involving monostatic Doppler minisodar. The measurement carried out during the weather characterized by low wind and low cloud cover. The data about inversion depth was gather during mobile measurements in 10 points located in different land-use areas. The main aim of these measurements was to determinate the depth of the ground based thermal inversion and its spatial variations. The preliminary results of acoustic sounding indicated the difference up to 80 m, whilst the average range of inversion was about 200 m. It seems, that roughness of surface, character of the built-up area and distance and direction in relation to center of city had the main meaning. Beyond the local factors, the weather conditions were very important, eg circulation. Increase of wind speed above the $3\text{--}4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and developing the low and middle layer cloud caused decrease in spatial variation of the inversion depth.

Keywords: atmospheric boundary layer, inversion, spatial variability, sodar, Wrocław