

WYKORZYSTANIE WYBRANYCH TECHNIK TELEDETEKCYJNYCH
W ZADANIACH ZWIĄZANYCH Z OCHRONĄ POWIETRZA
ATMOSFERYCZNEGO W TERENACH WIEJSKICH

Krzysztof Jarzyna

Instytut Geografii, Akademia Świętokrzyska w Kielcach
ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce
e-mail: jarzynak@pu.kielce.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono dwie naziemne metody teledetekcyjne: sondaż spektrometrem korelacyjnym oraz sondaż akustyczny. Omówiono ich założenia metodologiczne. Wskazano również możliwości wykorzystania tych technik w zadaniach wspomagających monitoring jakości powietrza w obszarach wiejskich. Wykorzystano w tym celu ponad 20-letnie doświadczenia we wdrażaniu wspomnianych metod przez krakowski i katowicki oddział Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej oraz dane sondażowe ze stacji badawczej Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Gaiku-Brzezowej.

Słowa kluczowe: spektrometr korelacyjny, sondaż akustyczny

WSTĘP

Obszary wiejskie naszego kraju – jako mniej zagrożone toksycznym oddziaływaniem zanieczyszczeń powietrza – są tylko w ograniczonym stopniu objęte monitoringiem jakości powietrza atmosferycznego. Nie jest to w pełni słuszne. Nie uwzględnione są bowiem zagrożenia związane z transportem zanieczyszczeń z wysokich emitorów oraz z lokalną emisją zanieczyszczeń degradującą stan aerosanitarny, zwłaszcza w miejscowościach górskich.

Zmianę podejścia do monitoringu jakości powietrza atmosferycznego wymusiła w ostatnich latach konieczność przystosowania polskiego prawa do wymogów Unii Europejskiej. Zgodnie z prawem unijnym należy bowiem wykonywać obszarowe oceny jakości powietrza w strefach, którymi w naszym kraju są: miasta i aglomeracje miejskie o liczbie mieszkańców powyżej 250 tys. oraz powiaty (Walczewski 2001a). W powiatach o charakterze wiejskim w ocenach tych często

– z braku bezpośrednich danych pomiarowych – trzeba posiłkować się metodami pośrednimi (Tomaszewska i Godłowska 2001).

Bardzo pomocne w poprawnej ocenie warunków aerosanitarnych w obszarach wiejskich może okazać się wykorzystanie nowoczesnych technik teledetekcyjnych. Niniejsza praca prezentuje dwie metody naziemne a mianowicie: sondaż akustyczny oraz sondaż spektrometrem korelacyjnym. Przedstawiono ich założenia metodologiczne oraz możliwe zastosowania z uwzględnieniem ograniczeń tych technik.

SONDAŻ SPEKTROMETREM KORELACYJNYM

W niniejszym rozdziale przedstawiono wybrane wyniki zastosowań spektrometru korelacyjnego „COSPEC” w regionie krakowsko-śląskim. Wykorzystano w tym celu opracowania autorstwa badaczy z krakowskiego i katowickiego ośrodka IMiGW.

Spektrometr korelacyjny analizuje widma absorpcyjne SO_2 i NO_2 , zawartych w atmosferze i na tej podstawie określa ich zawartość wzdłuż osi optycznej przyrządu (Walczewski i Orkisz 1992). W przypadku sondażu pionowego określa się „obciążenie” – B ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) – mierzonym gazem słupa powietrza nad przyrządem. Typowym zastosowaniem przyrządu jest określenie zawartości badanych gazów w smudze zanieczyszczeń. W tym celu umieszcza się przyrząd na ruchomej platformie (samochód, samolot) przemieszczającej się pod smugą. W efekcie uzyskuje się wielkość obciążenia gazem w funkcji odległości:

$$D (\text{g} \cdot \text{m}^{-1}) = B (\text{g} \cdot \text{m}^{-2}) \cdot \text{pokonana odległość } X (\text{m}). \quad (1)$$

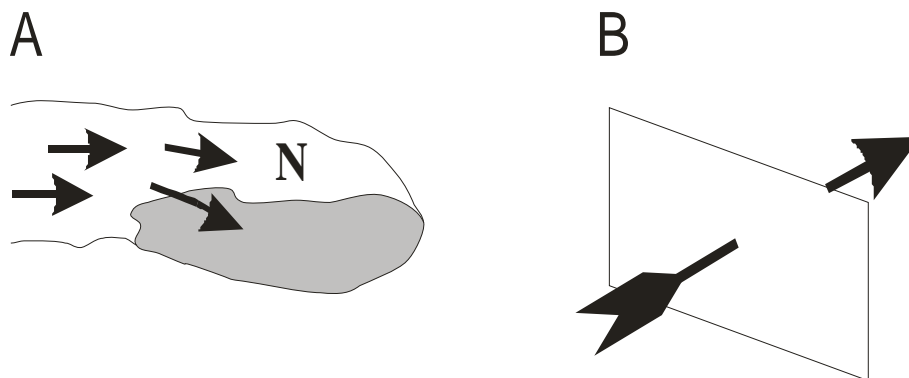
Znając prędkość wiatru na wysokości smugi, można określić ilość gazu przepływającą przez analizowaną powierzchnię w jednostce czasu, a co za tym idzie również emisję:

$$E (\text{g} \cdot \text{s}^{-1}) = D (\text{g} \cdot \text{m}^{-1}) \cdot u (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}). \quad (2)$$

Spośród zastosowań spektrometru korelacyjnego najbardziej przydatne dla oceny zagrożenia jakości powietrza w obszarach wiejskich wydają się: pomiar napływu zanieczyszczeń nad badany obszar oraz pomiar przepływu przez granice obszarów (Walczewski 2001b) – rysunek 1.

Zespół kierowany przez J. Walczewskiego prowadził w latach 1984-1985 badania napływu i odpływu SO_2 nad Puszcą Niepołomicką (Walczewski i Orkisz 1992). W tym celu wykonali oni serię pomiarów spektrometrem korelacyjnym przymocowanym do karoserii samochodu, poruszającego się po 55-kilometrowej trasie wokół puszczy. Pozwoliło to stwierdzić, że przy wietrze z sektora zachodniego napływ SO_2 nad Puszcą Niepołomicką wynosił średnio $3 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$. Odejmując

od tej wartości strumień SO_2 odpływający poza teren badań, określono wielkość depozycji tego związku na obszarze puszczy wynoszącą $0,5 \text{ kg s}^{-1}$. Podobną metodykę zastosowano dla oceny wielkości napływu zanieczyszczeń powietrza nad Ojcowski Park Narodowy i Zbiornik Dobczycki.



Rys. 1. Możliwe zastosowania spektrometru korelacyjnego w monitoringu jakości powietrza atmosferycznego w obszarach wiejskich: A – pomiar wielkości napływu zanieczyszczeń nad obszary badane, B – pomiar wielkości przepływu zanieczyszczeń przez granice obszarów

Fig 1. Possible applications of the correlation spectrometer in air quality monitoring in rural areas: A – measurement of air pollution inflow over areas of interest, B – measurement of flow through boundaries between study areas

Opisana metodyka okazała się nieskuteczna przy próbie oceny transportu transgranicznego SO_2 z terenu Karwińsko-Ostrawskiego Zagłębia Węglowego na terytorium Polski (Błażek i in. 1999). Sondaż prowadzony na biegnącej wzdłuż granicy drodze Trzyniec-Bohumin wykazał bowiem, że na skutek rozproszenia smug zanieczyszczeń w dużej odległości od emitorów mierzone ładunki SO_2 znajdowały się na progu czułości urządzenia. Polsko-czeski zespół badawczy zmuszony był więc zastosować metodę pośrednią, określając łączną emisję największych emitorów zanieczyszczeń powietrza w regionie.

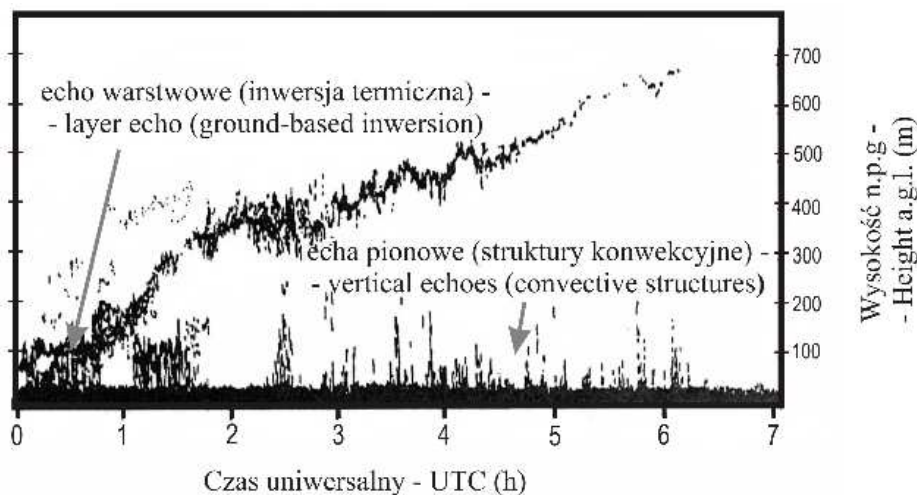
Spośród pozostałych ograniczeń sondażu spektrometrem korelacyjnym największym jest uzależnienie sondażu od wystarczającego natężenia promieniowania słonecznego. Ogranicza to pomiary do „okna czasowego” o szerokości maksymalnie do 10 godzin w czerwcu. Natomiast zmiany oświetlenia zależne od zachmurzenia i wysokości Słońca są w dużym stopniu kompensowane przez analizator urządzenia (Walczewski i Orkisz 1992). Należy również pamiętać o tym, że pomiar ma charakter „chwilowy”. Chcąc więc określić średnią wielkość napływu zanieczyszczeń w dłuższym okresie należy przeprowadzić serię sondaży, uwzględniając przy tym zmiany warunków meteorologicznych (prędkość wiatru i stan równo-

wagi atmosfery) i wielkości emisji. Możliwe są również błędy pomiarowe związane z przebiegiem sondażu, a zwłaszcza z koniecznością utrzymania stałej prędkości pojazdu (Błażek i in. 1999).

SONDAŻ AKUSTYCZNY

Sondaż akustyczny prowadzony z wykorzystaniem sodaru jest przykładem aktywnej techniki teledetekcyjnej. Jego podstawą jest wyemitowanie w atmosferę impulsu dźwiękowego a następnie rejestracja powracającej ku powierzchni ziemi części sygnału (echa akustycznego atmosfery). Echo to powstaje w wyniku wielokrotnego rozproszenia w atmosferze wyemitowanej wiązki fal akustycznych przez termiczne niejednorodności powietrza atmosferycznego.

Charakterystyczne formy echa akustycznego atmosfery, przedstawione w postaci sodarogramu można skojarzyć z występowaniem struktur warstwy granicznej atmosfery (rys. 2). Echa pionowe koincydują z komórkami konwekcyjnymi, echa warstwowe sygnalizują występowanie inwersji termicznej, zaś sytuacje bezchmure odpowiadają gradientowi adiabatycznemu. Sondaż akustyczny pozwala więc określić termiczno-turbulencyjną strukturę warstwy granicznej atmosfery. Jego główną zaletą jest doskonała czasowa rozdzielczość – rzędu kilku sekund, przy stosunkowo dużym zasięgu pionowym (do 1 km).



Rys. 2. Przykład zapisu echa akustycznego atmosfery i zasad jego interpretacji
Fig. 2. Example of a sodar echogram and scheme of its interpretation

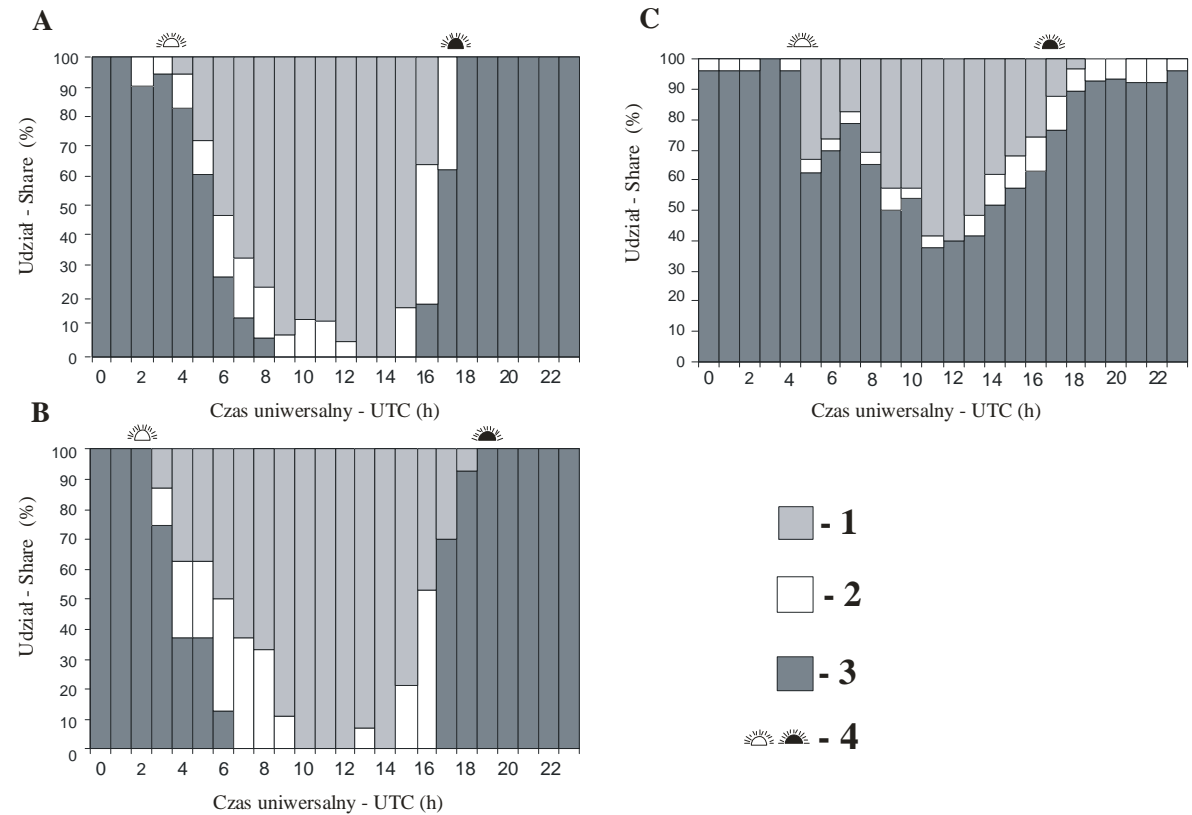
W opracowaniu wykorzystano wyniki sondażu prowadzonego na stacji naukowej IGiGP UJ w Gaiku-Brzezowej na Pogórzu Wielickim. Wykorzystano w nich sodar SAMOS, skonstruowany w Zakładzie Teledetekcji Atmosfery IMiGW – Oddział Kraków przez zespół J. Walczewskiego.

W niniejszej pracy występowanie poszczególnych struktur echa sodarowego zinterpretowano w aspekcie warunków dyspersji zanieczyszczeń powietrza. Zastosowano metodykę opracowaną przez J. Walczewskiego (Walczewski 1994). Echa pionowe odpowiadają równowadze chwiejnej, przypowierzchniowe echa warstwowe – równowadze stałej, zaś sytuacje bezechowe – równowadze obojętnej. Bardziej skomplikowana jest interpretacja występowania wzniesionego echa warstwowego, pod którym sodar nie rejestruje innych typów echa. W ciągu dnia warunki takie sprzyjają kształtowaniu się chwiejnej równowagi atmosfery, podczas nocy zaś – równowagi stałej.

Stosując powyższą klasyfikację przeanalizowano dobową zmienność stanu równowagi atmosfery w Gaiku-Brzezowej w ciepłej części roku, w oparciu o sondaż z dwóch okresów: 1.06.-8.07.1987 i 1.04.-4.05.1988 (rys. 3A,B). Rozpatrywano także występowanie warstw hamujących dyspersję zanieczyszczeń powietrza, analizując częstość ich występowania oraz wysokość w przebiegu dobowym (rys. 4A,B). Warstwy hamujące rozumiano jako występowanie przyziemnej lub wzniesionej inwersji termicznej. Jako ich wysokość rozumiano strop przyziemnej warstwy inwersyjnej, bądź podstawę inwersji wzniesionej.

W obydwu analizowanych okresach w ciągu nocy dominowała stała równowaga atmosfery, zaś w godzinach około południowych równowaga chwiejna. Stanowiły one wówczas 100% możliwych do zinterpretowania przypadków (rys. 3). W obydwu analizowanych okresach przejście od równowagi stałej do chwiejnej następowało w dosyć szerokim przedziale czasu. Mogło następować już w tym samym przedziale godzinnym, w którym miał miejsce wschód Słońca. Obserwowano jednak przypadki, gdy stała równowaga atmosfery występowała jeszcze 3 godziny po wschodzie Słońca. W większości analizowanych przypadków już po godzinie 15 czasu uniwersalnego następowało przejście od chwiejnej równowagi atmosfery do równowagi obojętnej lub od razu do równowagi stałej. Po wschodzie Słońca oraz przed jego zachodem wzrastała częstość występowania obojętnej równowagi atmosfery (rys. 3).

Warunki pogodowe w analizowanych okresach znacznie się od siebie różniły. Okres 1.06.-8.07.1987 był dużo bardziej pochmurny i dżdżysty od okresu 1.04.-4.05.1988. Mimo to dobowa zmienność równowagi atmosferycznej w obu okresach wykazywała podobną regularność (rys. 3). Różnice, takie jak np. dłuższy w okresie 1.06.-8.07.1987 czas bez równowagi stałej w ciągu dnia wiążą się z różnicą długości dnia w czerwcu i w kwietniu.



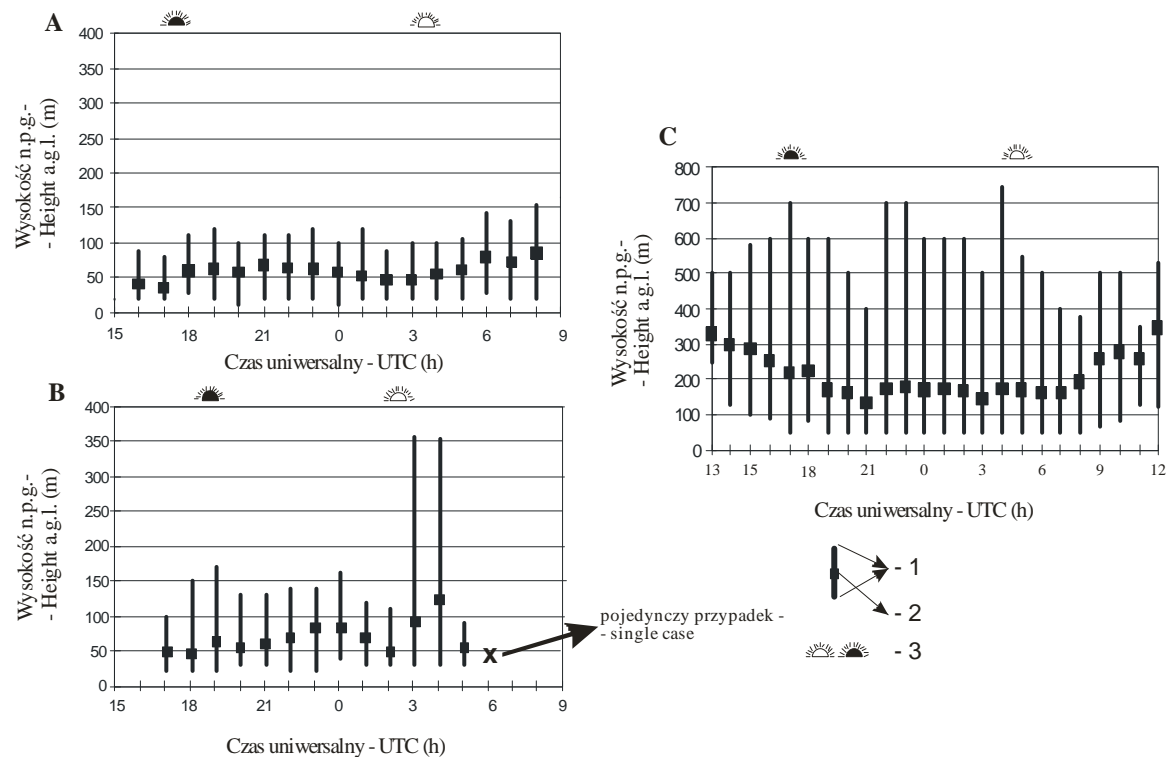
Rys. 3. Dobowy przebieg zmian stanu równowagi atmosfery: A – Gaik-Brzezowa, 1.04.-4.05.1988, B – Gaik-Brzezowa, 1.06.-8.07.1987, C – Zakopane, 1-31.03.1982. Legenda: 1 – chwiejna równowaga atmosfery, 2 – obojętna równowaga atmosfery, 3 – stała równowaga atmosfery; 4 – czas wschodu i zachodu Słońca

Fig. 3. Diurnal course of atmospheric stability: A – Gaik-Brzezowa, 1.04.-4.05.1988, B – Gaik-Brzezowa, 1.06.-8.07.1987, C – Zakopane, 1-31.03.1982. Legend – atmospheric stability categories: 1 – unstable, 2 – neutral, 3 – stable; 4 – sunrise and sunset

W obydwu analizowanych okresach obserwowano podobną regularność zmian wysokości warstw hamujących w ciągu nocy (rys. 4). Warstwy te pojawiały się zazwyczaj późnym popołudniem, ich wysokość wzrastała aż do północy, aby potem zmniejszyć się. Wysokość warstwy hamującej w zdecydowanej większości przypadków oznaczała wysokość stropu przyziemnej warstwy inwersyjnej. Warstwa ta była bardzo płytka, sięgając przeciętnie do wysokości 67 m w okresie 1.04.-4.05.1988 i 82 m w okresie 1.06.-8.07.1987. Warstwy hamujące w nocy osiągały maksymalnie 120 m w okresie 1.04.-4.05.1988 i 170 m w okresie 1.06.-8.07.1987. Kolejny wzrost wysokości warstw hamujących miał miejsce po wschodzie Słońca, jako efekt ewolucji nocnych struktur inwersyjnych (rys. 4). Zaczynała się pod nimi rozwijać konwekcja powodując przekształcenie się przyziemnej warstwy inwersyjnej w unoszącą się coraz wyżej wzniesioną warstwę inwersyjną. W tym okresie doby wysokość warstwy hamującej dość często oznaczała wysokość podstawy wzniesionej inwersji temperatury powietrza. Najwyższa zarejestrowana wzniesiona warstwa inwersyjna sięgnęła ponad 350 m.

W sumie jednak oba analizowane okresy – mimo różnic warunków pogodowych – charakteryzowały się dużym podobieństwem warunków dyspersji zanieczyszczeń powietrza i ich dobowej zmienności. Możliwe więc, że przedstawione powyżej charakterystyki warunków dyspersji są reprezentatywne dla całej cieplej części roku w Gaiku-Brzezowej, a może nawet na użytkowanych rolniczo wierzchołkach pogórskich.

Wyniki sondażu w Gaiku-Brzezowej porównano z wynikami badań prowadzonych w głębokim obniżeniu śródgórskim, jakim jest Rów Podtatrzański. W ramach tych badań na równi Krupowej w Zakopanem w marcu 1982 roku prowadzony był sondaż akustyczny (Walczewski 1984). Analiza zgromadzonego materiału sondażowego pozwoliła stwierdzić, że stała równowaga atmosfery występowała wówczas na Równi Krupowej również w godzinach około południowych, utrzymując się często przez całą dobę (rys. 3C). Wynika to z pewnością z pory roku oraz z położenia w głębokim obniżeniu terenowym. Na Podtatrzu marzec jest zazwyczaj miesiącem zimowym, zaś występowanie pokrywy śnieżnej utrwala warstwy inwersyjne. Podobny wpływ mają też: mniej korzystne warunki insolacyjne w porównaniu z terenem otwartym oraz częste występowanie grawitacyjnych splotów zimnego powietrza. Potwierdzają to wyniki sondażu akustycznego prowadzone przez badaczy z Uniwersytetu Wrocławskiego w dolinie Kleśnicy – w Masywie Śnieżnika Kłodzkiego, gdzie nawet w lipcu obserwowano występowanie stałej równowagi atmosfery w godzinach około południowych (Piasecki i in. 1996). Drugą wyraźną różnicą pomiędzy warunkami dyspersji zanieczyszczeń powietrza na wierzchołku Pogórza Wielickiego i w Rowie Podtatrzańskim jest dużo wyższy zasięg warstw hamujących, obserwowany w tym ostatnim (rys. 4C).



Rys. 4. Zmiany wysokości warstw hamujących w ciągu nocy: A – Gaik-Brzezowa, 1.04.-4.05.1988, B – Gaik-Brzezowa, 1.06.-8.07.1987, C – Zakopane, 1-31.03.1982. Legenda: 1 – średnia, 2 – zakres zmian, 3 – czas wschodu i zachodu Słońca

Fig. 4. Suppressing layers and changes of their height during the night-time: A – Gaik-Brzezowa, 1.04.-4.05.1988, B – Gaik-Brzezowa, 1.06.-8.07.1987, C – Zakopane, 1-31.03.1982. Legenda: 1 – mean, 2 – range, 3 – sunrise and sunset

Jak więc przedstawiano powyżej, technika sondażu akustycznego atmosfery ma duży potencjał w ocenie warunków dyspersji zanieczyszczeń powietrza i ich dobowej dynamiki. Sondaż sodarowy ma też jednak ograniczenia. Informuje nas on o występowaniu struktur inwersyjnych, ale nie o intensywności inwersji. Prowadzenie sondażu jest również ograniczone przez czynniki zakłócające, takie jak wiatr, deszcz, czy hałas, powodujące zaszumienie obrazu. Spowodowały one w połączeniu z awariami urządzenia, że w okresie 1.04.-4.05.1988 tylko dla około połowy godzin dysponowano możliwym do wykorzystania materiałem sondażowym. W okresie 1.06.-8.07.1987 straty materiału sondażowego były jeszcze większe. Pocięchą jest to, że późniejsze modele sodaru SAMOS odznaczają się większą skutecznością sondażu. Niebagatelne znaczenie ma również wysoki koszt założenia i utrzymania stanowiska sondażowego. Trudno sobie wyobrazić, żeby tego rodzaju urządzenia mogły permanentnie działać w większej ilości miejsc. Bardziej celowe w analizie warunków dyspersji zanieczyszczeń powietrza wydaje się wykorzystanie mobilnych minisodarów.

WNIOSKI

1. Naziemne metody teledetekcyjne, których dwa przykłady przedstawiono powyżej mogą znaleźć wiele zastosowań w kontroli jakości środowiska w terenach wiejskich.
2. Spektrometr korelacyjny można wykorzystywać w określeniu wielkości napływu gazów toksycznych nad obszar będący przedmiotem zainteresowania.
3. Można też z jego pomocą wskazać emitory najsilniej oddziałujące na sytuację aerosanitarną i w oparciu o takie rozpoznanie podjąć skuteczne działania naprawcze.
4. Sodar pionowo sondujący pozwala szczegółowo prześledzić dynamikę warunków dyspersji zanieczyszczeń powietrza, umożliwiając ich interpretowanie w kategoriach długości utrzymywania się i wysokości warstw hamujących.
5. Perspektywiczne wydaje się wykorzystanie tych urządzeń w trakcie badań o charakterze ekspedycyjnym. Pozwoliłoby to bardziej adekwatnie i w miarę tanio oceniać warunki aerosanitarnie w obszarach, w których brak jest sieci monitoringu, z wykorzystaniem metod modelowych oraz ekstrapolacji, bądź interpolacji.
6. W trakcie planowania postępowania badawczego należy jednak mieć w pamięci ograniczenia każdej z tych metod.

Autor pragnie podziękować kierownikowi Zakładu Klimatologii IGiGP UJ oraz kierownikowi stacji badawczej IGiGP UJ w Gaiku-Brzezowej, paniom: prof. dr hab. Janinie Trepieńskiej i dr Anicie Bokwie oraz prof. dr hab. Jackowi Walczewskiemu, kierownikowi ZTA IMGW w Krakowie za udostępnienie danych sondażowych wykorzystanych w analizach.

PIŚMIENNICTWO

- Błażek Z., Bełłot G., Hołda E., Orkisz K., Ośródk L., Wojtylak M., 1999. Próba oceny transgranicznego przepływu dwutlenku siarki z wysokich źródeł zanieczyszczeń na odcinku Bohumin-Trzyniec z użyciem spektrofotometru korelacyjnego COSPEC. *Wiadomości IMiGW*, XXII, 3, 49-62.
- Piasecki J., Rak T., Ropuszyński P., 1996. Częstość występowania charakterystycznych stanów termicznych atmosfery w Dolinie Kleśnicy w 1993 roku, w świetle pomiarów sodarowych. *Acta Universitatis Wratislaviensis, 1794, Prace Instytutu Geograficznego, Seria C Meteorologia i Klimatologia, III*, 57-81.
- Tomaszewska A.M., Godłowska J., 2001. Ocena wstępna jakości powietrza w woj. Świętokrzyskim, przystosowanie systemu monitoringu jakości powietrza do standardów Unii Europejskiej. W: *Zintegrowany monitoring środowiska* (Red. M. Józwiak, A. Kowalkowski). Biblioteka Monitoringu Środowiska, 53-61.
- Walczewski J., 1984. Charakterystyka warstwy granicznej atmosfery nad Krakowem w oparciu o wyniki sondażu akustycznego. *Materiały Badawcze IMiGW, Seria: Meteorologia, 10*, Warszawa.
- Walczewski J. (red.), 1994. Charakterystyka warstwy granicznej atmosfery nad miastem (na przykładzie Krakowa). *Materiały Badawcze IMiGW, Seria: Meteorologia, 22*, Warszawa.
- Walczewski J., 2001a. Ocena jakości powietrza w świetle wymagań Unii Europejskiej. W: *Zintegrowany monitoring środowiska* (Red. M. Józwiak, A. Kowalkowski). Biblioteka Monitoringu Środowiska, 47-52.
- Walczewski J., 2001b. Zakład Teledetekcji Atmosfery: 40 lat działalności. IMiGW, Oddział w Krakowie.
- Walczewski J., Orkisz K., 1992. Pomiary emisji i przepływu SO₂ i NO₂ w atmosferze nad Krakowem i Górnym Śląskiem. *Wiadomości IMiGW*, XV, 1-2, 47-57.

TELEDETECTION AND ITS APPLICATIONS IN TASKS CONNECTED WITH PROTECTION AGAINST AIR POLLUTION IN RURAL AREAS

Krzysztof Jarzyna

Institute of Geography, Świętokrzyska Academy in Kielce
ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce
e-mail: jarzynak@pu.kielce.pl

Abstract. The focus of the paper is to present two ground-based methods of teledetection: sounding of atmosphere using a correlation spectrometer and acoustic sounding. Methodological principles of these techniques are described. Their possible applications for air quality monitoring in rural areas are discussed as well. Twenty-years experience of IMWM – branches in Cracow and Katowice – in the practical implementation of the presented methods was used. Acoustic sounding data from the research station of the Institute of Geography and Spatial Management of Jagiellonian University were used too.

Key words: correlation spectrometer, acoustic sounding