



Infrastruktura do badania aerozoli, chmur oraz gazów śladowych

Ocena funkcjonalności i wybrane możliwości zastosowania Wind Profilera LAP3000 do badań atmosfery

Opracował zespół Zakładu Meteorologii, Klimatologii i Ochrony Atmosfery CBN IMGW-PIB
na podstawie testowych danych pomiarów WP LAP3000



IMGW-PIB, 2023 r.

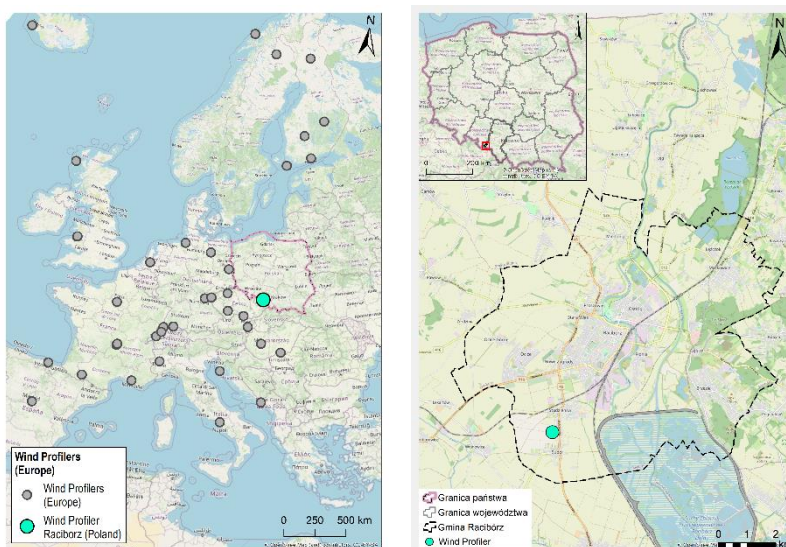
WPROWADZENIE

Radarowy anemometr profilujący Model LAP3000, zwany dalej Wind Profilerem, to pierwszy tego rodzaju przyrząd teledetekcyjny zamontowany w Polsce, które w sposób ciągły i w czasie rzeczywistym monitoruje stan fizyczny procesów dynamicznych troposfery. Podobne urządzenia funkcjonują w wielu krajach Unii Europejskiej i NATO (w sumie 34), przekazując ważne empiryczne informacje o dynamice tej części atmosfery. Dane pozyskane za pomocą Wind Profilera mają istotne znaczenia badawcze i poznawcze, ale również operacyjne, gdyż w istotny sposób przyczyniają się do poprawy jakości modelowania procesów dynamicznych w najniższych warstwach atmosfery, co w efekcie umożliwi m.in. poprawę bezpieczeństwa ruchu lotniczego odbywającego się do wysokości 5 km. Dane z radarowego anemometru profilującego mogą być pośrednio wykorzystywane również do celów wojskowych.



WIDOK ANTENY NADAWCZEJ WP LAP3000 W OGRÓDKU METEOROLOGICZNYM W RACIBORZU

Zakup Wind Profilera zrealizowano w ramach projektu ACTRIS finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (Program Operacyjny Inteligentny Rozwój 2014-2020, oś IV. Zwiększenie potencjału naukowo-badawczego, działanie 4.2. Rozwój nowoczesnej infrastruktury badawczej sektora nauki, Inteligentny Rozwój). Urządzenie będzie istotnym narzędziem w procesach zarządzania kryzysowego dzięki rozszerzeniu Instytutowego systemu monitoringu i prognoz zjawisk meteorologicznych o badania m.in. profilu wiatru do wysokości 5000 m nad poziomem gruntu (m n.p.g.).



LOKALIZACJA WP LAP3000 W POLSCE NA TLE WIND PROFILERÓW W EUROPIE ORAZ W GRANICACH MIASTA RACIBÓRZ

GŁÓWNE PARAMETRY FUNKCJONALNE WP LAP3000

Najlepsze warunki techniczno-eksploatacyjne testowany Wind Profiler osiąga w zakresie częstotliwości 1290 MHz – standardzie WMO w tego typu monitoringu. Częstotliwość ta jest powszechnie używana przez służby meteorologiczne państw europejskich (Region VI WMO), jedynie w Regionie II WMO (USA, Kanada i Meksyk) urzędnicy te pracują w paśmie 904-928 MHz. Z punktu widzenia IMGW-PIB właściwą częstotliwością dla Wind Profilera jest 1290 MHz, ponieważ zapewnia ona możliwość bezpośredniej współpracy z innymi służbami meteorologicznymi w Europie i wykorzystywanie unikatowych danych dla poprawy systemu prognoz i ostrzeżeń o zjawiskach niebezpiecznych. Dokładną specyfikację i funkcjonalność urządzenia zamieszczono w tabeli.

SPECYFIKACJA PARAMETRÓW WIND PROFILERA LAP3000.

Źródło: Anemometr profilujący LAP@3000. Instrukcja obsługi użytkownika. UA-036pl-1.1. ©Aviomet 2022;

<https://www.scintec.com/products/radar-wind-profiler-lap3000-standard-antenna>

| Lp. | Parametr | Specyfikacja (dla urządzenia pracującego w zakresie 1290 MHz) |
|-----|---|---|
| 1 | Częstotliwość pracy | 1290 MHz |
| 2 | Typ anteny | Płaska antena z układem fazowym z mikroukładami; sterowana elektronicznie. |
| 3 | Otwór anteny | 3 m ² |
| 4 | Elementy promieniujące anteny | 144 elementy (liczba jednocześnie promieniujących elementów układu fazowego). |
| 5 | Wzmocnienie kierunkowości anteny | 28,2 dBi |
| 6 | Liczba wiązek | 5 belek: 4 belki ukośne i 1 belka pionowa. |
| 7 | Kąt nachylenia wiązki | 15,7° (kąt nachylenia od zenitu dla belek ukośnych). |
| 8 | Szerokość wiązki | 7,1° (pełna szerokość pomiędzy punktami -3 dB w jednokierunkowym wzorcu transmisji). |
| 9 | Moc wyjściowa nadajnika | 1000 W (szczytowa moc obwiedni, nominalna). |
| 10 | Szerokość impulsu | 265 do 3340 ns (konfigurowalna za pomocą oprogramowania). |
| 11 | Minimalna wysokość | 100 m (w zależności od szerokości impulsu, warunków meteorologicznych i otaczającego bałaganu). |
| 12 | Maksymalna wysokość | Do 5 km przy czystym powietrzu i więcej przy opadach (w zależności od konfiguracji, warunków meteorologicznych i środowiska). |
| 13 | Rozdzielczość wysokości | 40 do 500 metrów (konfigurowalna za pomocą oprogramowania; zdefiniowana przez szerokość impulsu). |
| 14 | Dokładność prędkości wiatru | <1 m/s |
| 15 | Dokładność kierunku wiatru | <10° |
| 16 | Zakres pomiarowy poziomych ¹ składowych wiatru | -100 do 100 m/s (większe zakresy pomiarowe konfigurowalne za pomocą oprogramowania). |

¹Prędkości wiatru mierzona jest na różnych wysokościach. Zmiana prędkości wiatru wraz z wysokością uwarunkowana jest głównie poprzez takie czynniki, jak: ukształtowanie terenu, szorstkość podłoża, czas uśredniania wyników pomiarów oraz typ cyrkulacji atmosferycznej. Ponieważ wiatr jest wielkością wektorową, stąd jego pomiar dotyczy trzech składowych dwóch poziomych u, v oraz pionowe w. Składowa pozioma przedstawiana tu jako wypadkowa wektorów poziomych (u, v) odnosi się do prędkości wiatru zmierzonej na konkretnej wysokości (równoległe do powierzchni); składowa pionowa oznacza prędkość ruchu powietrza w pionie (prostopadle do powierzchni ziemi). Ujemny wynik składowej pionowej oznacza prędkość z jaką powietrze opada w kierunku ziemi.

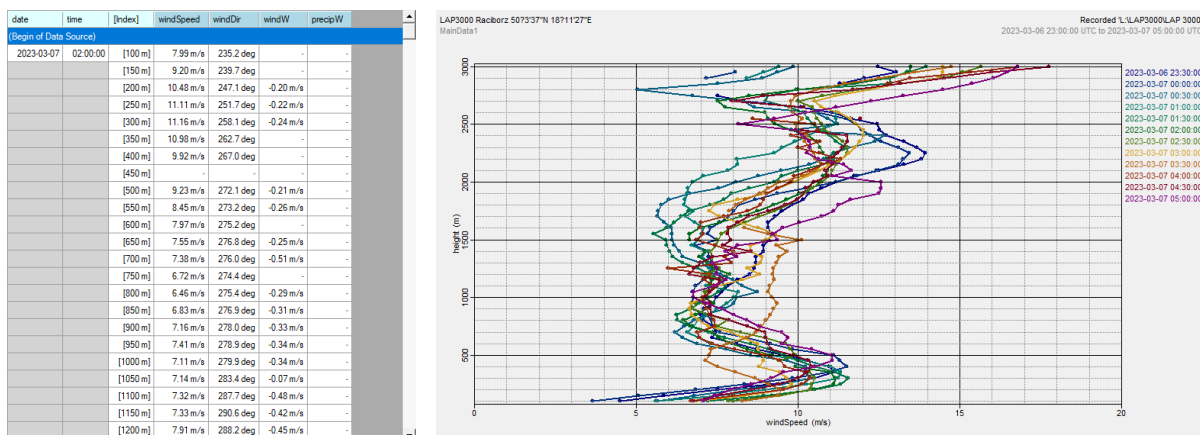
| Lp. | Parametr | Specyfikacja (dla urządzenia pracującego w zakresie 1290 MHz) |
|-----|---|---|
| 17 | Zakres pomiarowy składowych pionowych ¹ wiatru | -20 do 20 m/s (większe zakresy pomiarowe konfigurowalne za pomocą oprogramowania). |
| 18 | Czas uśredniania | 3 do 60 min (konfigurowalny za pomocą oprogramowania; zwykle od 10 do 60 minut; obsługiwane średnie bieżące z interwałami aktualizacji do 1 minuty). |
| 19 | Dane wyjściowe | Pozioma prędkość i kierunek wiatru, składowe wiatru U/V/W, odchylenia standardowe wiatru, rozproszenie wsteczne, prędkość opadania opadów, momenty, widma, szeregi czasowe próbek I/Q, flagi jakości. |
| 20 | Wyświetlacze danych | Kolce wiatrowe, wykresy wektorowe, wykresy kolorów czasu w funkcji wysokości, wykresy profili, wykresy szeregów czasowych, wykresy widm, wykresy tabelaryczne. |
| 21 | Ponowne przetwarzanie danych | Dane wyjściowe można przeliczyć ponownie, przetwarzając szeregi czasowe, widma, momenty lub dane główne. |
| 22 | Konfiguracja | Konfiguracja z graficznym interfejsem użytkownika; nie jest wymagana ręczna edycja plików konfiguracyjnych. |
| 23 | Monitorowanie na żywo | Monitorowanie w czasie rzeczywistym podczas pomiaru obejmuje monitorowanie wewnętrznych napięć, prądów, temperatury, mocy RF. |
| 24 | Autotest | W pełni automatyczny autotest obejmuje testowanie wewnętrznych napięć, prądów, mocy RF, szumów systemowych, zakresu dynamicznego, zewnętrznych zakłóceń RF. |
| 25 | Formaty plików | Obsługiwane formaty plików wyjściowych obejmują standardowe formaty ASCII, NetCDF, WMO BUFR, NOAA Winds, CMA (Chiny), MRI (Japonia), KWPN (Korea), kompatybilne z LAP-XM, Avimet XML, formaty zdefiniowane przez użytkownika (inne i niestandardowe formaty plików wyjściowych dostępne na życzenie.) |
| 26 | Wyjście danych sieciowych | Automatyczne przesyłanie danych do zewnętrznych serwerów poprzez FTPS, FTP, TCP, UDP, współdzielone foldery sieciowe. |
| 28 | Wyjście działki sieciowej | Automatyczne tworzenie plików obrazów wydruku i przesyłanie ich na zewnętrzne serwery przez FTPS, FTP, współdzielone foldery sieciowe; wykresy na żywo za pośrednictwem przeglądarki internetowej, konfigurowalne. |
| 31 | Synchronizacja czasu w sieci | Automatyczna synchronizacja czasu z zewnętrznym sieciowym serwerem czasu poprzez NTP. |
| 32 | Nadzór sieciowy | Status systemu można pobrać za pośrednictwem protokołu SNMP lub plików stanu. |
| 33 | Zgodność z systemem operacyjnym | Windows 11, Windows 10, Windows 8.1, Windows 8, Windows 7, Windows Server 2022, Windows Server 2019, Windows Server 2012 R2, Windows Server 2012, Windows Server 2008 R2. |
| 34 | Wymiary konstrukcji anteny | 4,2 m × 4,2 m × 2,3 m (w tym zintegrowana siatka ogrodzenia). |
| 35 | Obszar instalacji konstrukcji anteny | 7,4 m × 7,4 m (łącznie z odciegami i montażem naziemnym, bez przedłużenia RASS). |
| 36 | Warunki pracy komponentów zewnętrznych | Temperatura: -40°C do +50°C. Wilgotność względna: od 0 do 100%. |
| 37 | Warunki pracy elementów wewnętrznych | Temperatura: od +10°C do +35°C. Wilgotność względna: od 0 do 80%, bez kondensacji. |
| 38 | Wymagania dotyczące zasilania | Wejście zasilania AC: 100 do 240 V, 50 do 60 Hz, jednofazowe, 230V Średni pobór mocy: zwykle od 100 do 350 W. |

O BSŁUGA URZĄDZENIA

Wind Profiler LAP3000 działa w sposób całkowicie automatyczny, a obsługę jego ustawień, a także pozyskiwanie wyników pomiarowych, zapewnia dedykowane oprogramowanie SRun LAP, które pozwala na konfigurowanie parametrów pracy urządzenia (*hardware configuration*) oraz umożliwia opracowanie danych pomiarowych wraz z opcją ich eksportu do innych formatów danych.

W trakcie realizowanych zadań pomiarowych i badawczych urządzenie skonfigurowano w trybie domyślnym producenta, zalecanym jako optymalny. Jeśli planujemy wykorzystywać je do obserwacji indywidualnych, np. jednostkowych przypadków zdarzeń meteorologicznych, system pozwala na zastosowanie ustawień ręcznych.

Zakres pomiarowy – zarówno interwał (od 3 do 60 minut), jak wysokość (od 50 do 5000 m) – może być dowolnie zmieniany. Przy testowaniu urządzenia wybrano interwał pomiarowy 30 minut (będący krotnością pomiarów np. aerozoli), jak też i wysokości – co 50 m (największa powtarzalność wyników). Wyniki pomiarów można wizualizować zarówno za pomocą tabel, jak też i w sposób graficzny. Możliwy jest także eksport wszystkich danych pod postacią plików tekstowych lub w innych formatach.



WIZUALIZACJA WYBRANYCH WYNIKÓW POMIARÓW
(TABELA PRĘDKOŚCI I KIERUNKU WIATRU, PIONOWY PROFIL PRĘDKOŚCI WIATRU)

Hardware Configuration

The Hardware Configuration is currently not protected. Changes to the configuration are possible.

Caution: These instrument-specific parameters must be set according to Scintec specifications. Incorrect values result in improper signal characteristics or may cause hardware damage!

Protect...
Unprotect...

Radar Hardware Parameters

Radar Model: LAP3000

Radar Frequency: 1290.000 MHz

Radar Antenna: Standard 4P (144 elements)

Radar Tilted Beam Angle: 15.7 deg

Height Offset Calibration: 660 ns

Height Blind Period: 0 ns

Pre Blank Delay: 300 ns

Post Blank Delay: 700 ns

Pre TR Delay: 300 ns

Post TR Delay: 188 ns

Radar Transmit Signal

Transmit Attenuation A: 0.8 dB

Transmit Attenuation B: 0.4 dB

Transmit Power-Curve Enabled

100%: 60.00 dBm
90%: 59.94 dBm

Define...

Radar Configuration Limits

Minimum Pulse Length Limit: 0 ns

Transmit Duty Cycle Limit: 15.0 %

Transmit Amplitude Limit: 100 %

Radar Power Calibration for Cn2 Calculation

Power Calibration TX: 55.9 dBW

Power Calibration RX: 186.6 dB per W

Radio-Acoustic Sounding System (RASS)

RASS Enabled Use Default Amplitudes

Acoustic Amplitude of RASS Sweep: -

Acoustic Amplitude of Stand-By Noise to Reduce Condensing Water at Transducers when Inactive: -

Save Changes Cancel

Measurement Configuration

Measurement Configuration is currently defined by Basic settings as below. More detailed options are available in Advanced Measurement Configuration.

Measurement Interval: 30 min

Height Spacing: 50 m

Low Mode Wind Measurements - Optimized for Lower Height Range Use Defaults

Height Range: 100 m to 1500 m

Radar Pulse Length: 400 ns - Height Resolution 60 m

Beam Directions: 5 Beams: X+, Y+, Wx, X-, Y-, Wx

High Mode Wind Measurements - Optimized for Upper Height Range Use Defaults

Height Range: 750 m to 3000 m

Unambiguous Range: Unambiguous to 5000 m

Radar Pulse Length: 1000 ns - Height Resolution 150 m

Beam Directions: 5 Beams: X+, Y+, Wx, X-, Y-, Wx

RASS Temperature Measurements with Low Mode Vertical Beams Use Defaults

Temperature Range:

Acoustic Volume:

Reset to Defaults Advanced Configuration... Save Changes Cancel

TEST EKSPLOATACJI URZĄDZENIA

Ze względu na konieczność uzyskania zezwolenia na ciągłą eksploatację WP LAP3000, który działa w zakresie częstotliwości zastrzeżonej dla wojska, testy jego możliwości pomiarowych wykonano w dwóch trybach, opierając się na tymczasowych zgodach Urzędu Komunikacji Elektronicznej:

- Test techniczny w dniach 3-12 sierpnia 2022 roku – został on poprzedzony szkoleniem teoretycznym i praktycznym pracowników IMGW-PIB w zakresie doskonalenia umiejętności obsługi WP LAP3000 oraz interpretacji wyników.
- Test pracy ciągłej od 31 stycznia 2023 roku do chwili obecnej – jego celem było uzyskanie informacji o skuteczności działania urządzenia w warunkach zimowych oraz opracowanie podstawowych charakterystyk anemologicznych dla okresu jednego miesiąca badań. Badano również możliwości wykorzystania WP do oceny warunków dynamicznych atmosfery podczas epizodów występowania pogody stagnacyjnej i przy dużej aktywności cyklonalnej.

Działanie Wind Profilera LAP3000 polega na wysyłaniu w kierunku pionowym ku atmosferze oraz w kierunkach nachylonych od pionu wiązki impulsów elektromagnetycznych o określonej częstotliwości, które są rozpraszane przez cząstki powietrza o różnych właściwościach turbulencyjności i częściowo skierowane z powrotem w kierunku anteny. W dużym uproszczeniu można przyjąć, że wyznaczenie właściwości fizycznych atmosfery jest wypadkową turbulencji, prędkości i kierunku wiatru. Dlatego też w niektórych przypadkach, szczególnie atmosfery stabilnej, bez istotnych ruchów powietrza, identyfikacja jej dynamicznych parametrów może zostać zakłócona. Źródłem zakłóceń mogą być także obiekty naziemne i fale na powierzchni wód oraz tzw. zakłócenia sporadyczne. O ile w przypadku obiektów naziemnych lokalizacja urządzenia spełnia wszystkie wymagania, to zakłócenia sporadyczne (w tym przeloty ptaków) mogą stanowić pewien problem interpretacyjny.

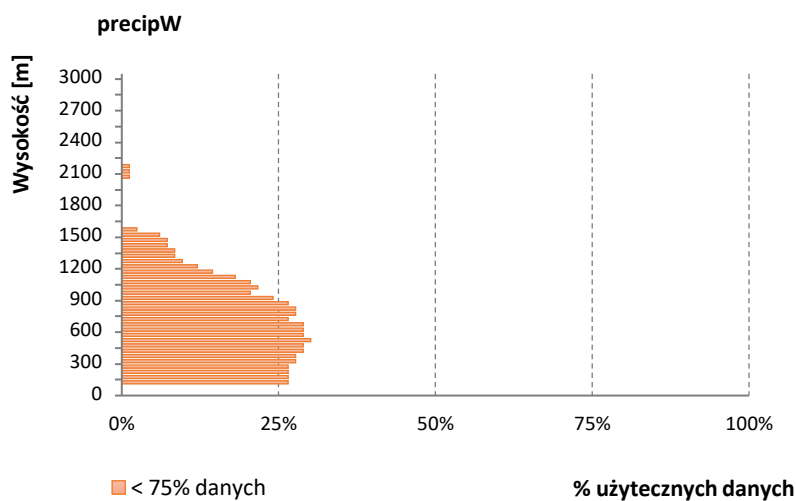
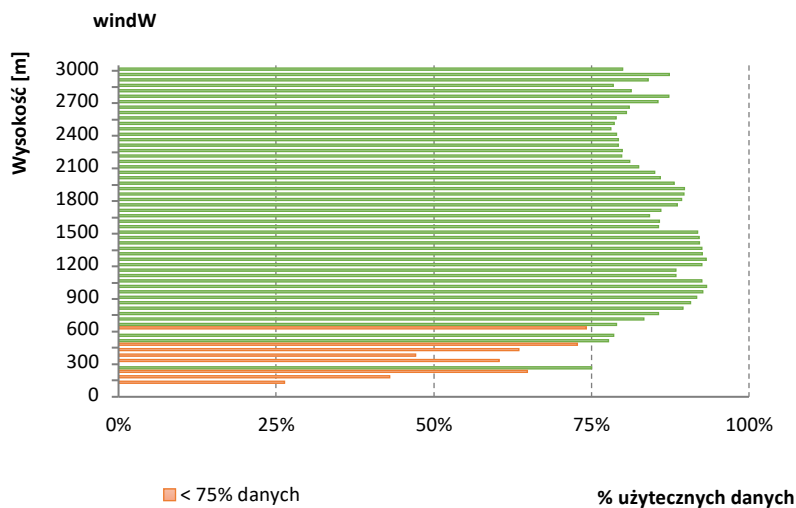
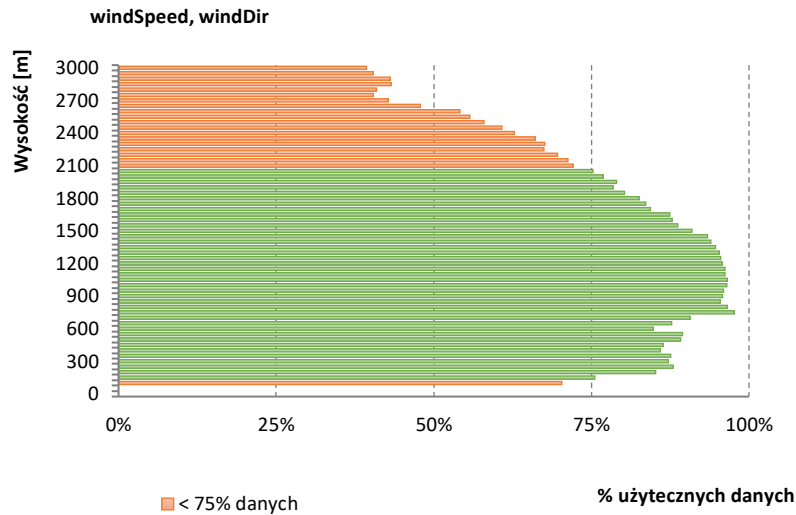
Wyniki testów pracy ciągłej dotyczą lutego 2023 roku i obejmują wybrane dane pomiarowe:

- ocenę skuteczności pomiarów prędkości (w tym składowej pionowej) i kierunku wiatru,
- ocenę skuteczności detekcji szybkości opadania opadów atmosferycznych,
- wybrane charakterystyki anemologiczne.

Ocena skuteczności pomiarów polegała na wyznaczeniu w każdej z pionowych warstw o grubości 50 m procentowego udziału pomiarów zakwalifikowanych przez producenta urządzenia za zwalidowane (98% poprawnie zebranych danych).

Jeżeli przyjąć, że w pełni użyteczne dane do analiz stanowią minimum 75% zwalidowanych przez algorytm urządzenia wyników pomiarowych, to dla składowej poziomej kierunku wiatru oraz prędkości najlepsze wyniki uzyskuje się mniej więcej od wysokości 150 m do około 2100 m n.p.g. Powyżej skuteczność odbioru sygnału zwrotnego, a zatem użyteczność danych, spada poniżej 75% dla tej wysokości; podobnie jest z danymi uzyskanymi dla niższych wysokości, które także stanowią mniej niż 75% ważnych danych. Nie oznacza to jednak, że dla oceny meteorologicznej poszczególnego zdarzenia nie są one przydatne (patrz opis epizodu wysokich stężeń zanieczyszczeń pyłowych). W przypadku badania prędkości pionowej wiatru skuteczność odbioru sygnału zwrotnego jest bardzo dobra mniej więcej od 500 m n.p.g. i nie pogarsza się aż do najwyższego pułapu sondowania (3000 m n.p.g.).

Wind Profiler LAP3000 jest także przystosowany do pomiaru prędkości opadania opadu atmosferycznego. Jednak w lutym 2023 roku skuteczność pomiaru tego parametru nie była zbyt duża i rzadko tylko do wysokości ok. 900 m n.p.g. przekraczała 25% skutecznych pomiarów. Analizę tę przeprowadzono dla sytuacji, gdy opad atmosferyczny był równolegle obserwowany na stacji meteorologicznej w Raciborzu. Nie należy jednak wykluczyć, że identyfikacja prędkości opadania kropel deszczu wymaga dodatkowej kalibracji urządzenia.



OCENA SKUTECZNOŚCI POMIARU WYBRANYCH ELEMENTÓW DYNAMICZNYCH ATMOSFERY UZYSKANYCH Z WP LAP3000 W LUTYM 2023 ROKU (windSpeed – prędkość poziomej składowej wiatru [m/s]; windDir – kierunek wiatru z którego wieje [°] (0° – N, 45° – NE, 90° – E etc.); windW – prędkość pionową wiatru [m/s]; precipW – pionowa prędkość opadania kropel, cząstek w przypadku śniegu opadu).

WYBRANE CHARAKTERYSTYKI ANEMOLOGICZNE

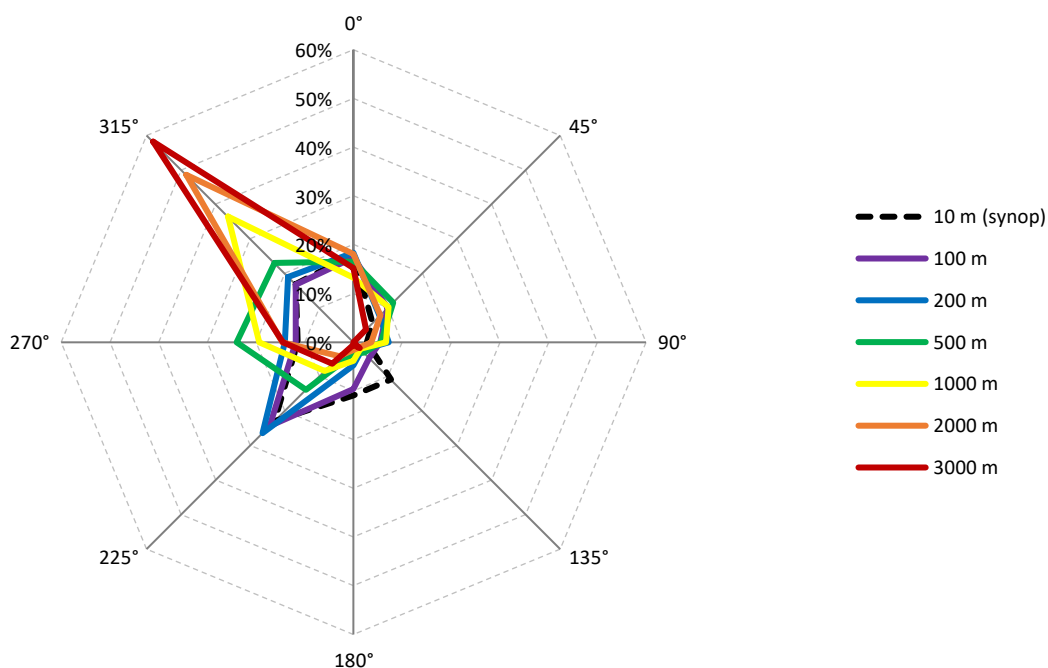
Wind Profiler LAP3000 jest wykorzystywany głównie w pracy operacyjnej oraz do analizy poszczególnych jednostkowych zdarzeń meteorologicznych. Jednak gromadzone za jego pomocą dane pomiarowe umożliwiają również wykonywanie analiz statystycznych i klimatologicznych. Najbardziej powszechnym zastosowaniem może być charakterystyka rozkładu kierunku i prędkości wiatru na różnych wysokościach.

Na rysunkach przedstawiono tzw. różę kierunków i prędkości wiatru na wybranych wysokościach za luty 2023 roku. Wizualizacja stanowi nie tylko element analizy merytorycznej, co ma na celu pokazanie możliwości wykorzystania wyników pomiarów. Rozkład kierunków wiatru dla poszczególnych (wybranych) wysokości przedstawiono liniami ciągłymi, a rozkład wiatru na stacji synoptycznej linią przerywaną. Należy przy tym zauważyć, że parametry anemologiczne uzyskane z Wind Profilera są uśredniane do 30 minut, a pomiar wiatru na stacji synoptycznej to średnia 10-minutowa.

Badanie częstości występowania wiatru o zadanych przedziałach prędkości wskazuje wzrost udziału prędkości wiatru >20 m/s od wysokości 200 m n.p.g., choć bardziej interesujący jest rozkład małych prędkości wiatru (<3 m/s), który w pojedynczych przypadkach występuje nawet na wysokości 3000 m. Jednocześnie w lutym 2023 roku mierzono niskie prędkości wiatru do 15% udziału do wysokości 600 m n.p.g. Jest to efekt krótkotrwałego, ale silnego układu wyżowego zalegającego nad Polską Południową w dniach 6-9 lutego 2023 roku. Tak niska prędkość wiatru w stosunkowo grubej przyziemnej warstwie atmosfery była jedną z przyczyn epizodu wysokich stężeń pyłu PM10 w okolicach Raciborza.

Uzupełnieniem podstawowych informacji o strukturze wiatru jest częstość występowania pionowych składowych wiatru o różnych wartościach. W lutym 2023 roku dominowała ujemna prędkość pionowa stanowiąc do wysokości 2700 m n.p.g. ponad 50% udział.

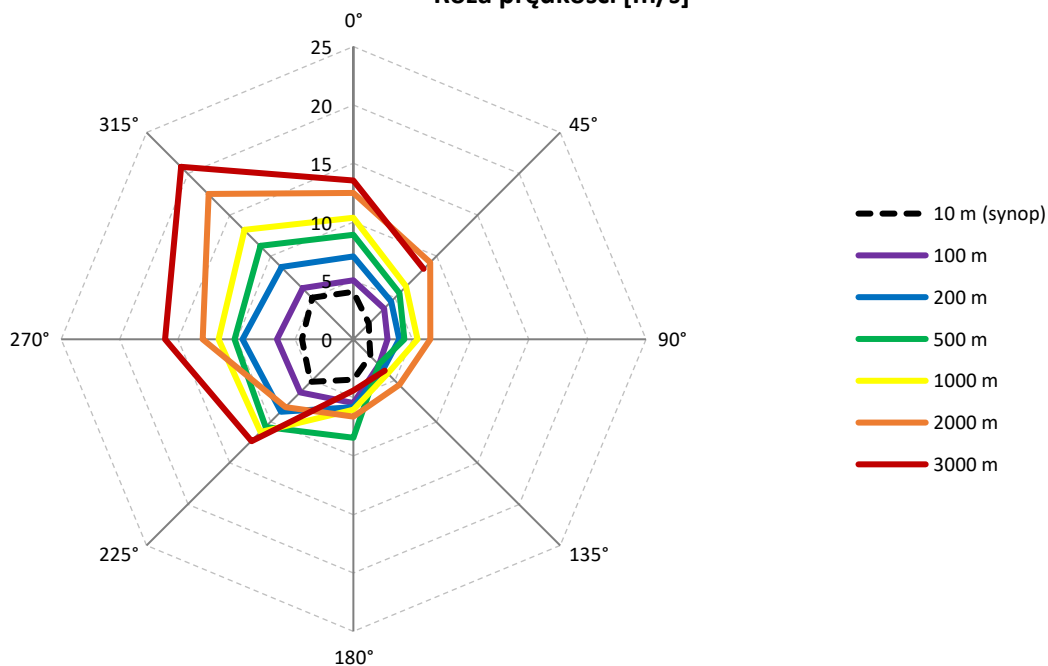
Róża wiatru



RÓŻA KIERUNKU WIATRU W LUTYM 2023 ROKU NA RÓŻNYCH WYSOKOŚCIACH

Zgodnie z oczekiwaniami w dolnej warstwie tarcia do około 200 m n.p.gr. rozkład kierunków wiatru jest zgodny z rozkładem wiatru na powierzchni ziemi, a powyżej wraz z maleniem siły tarcia następuje lewy skręt kierunku wiatru. Od wysokości około 1000 m wpływ siły tarcia jest znikomy a róża wiatru ma rozkład podobny do tej w swobodnej atmosferze.

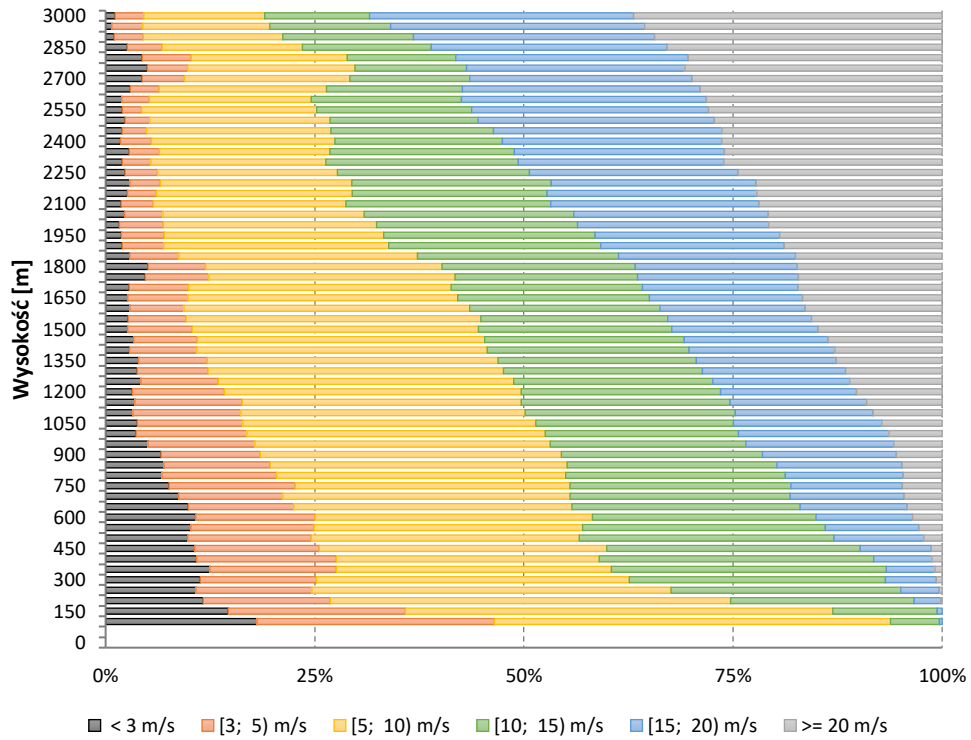
Róża prędkości [m/s]



RÓŻA PRĘDKOŚCI WIATRU W LUTYM 2023 ROKU NA RÓŻNYCH WYSOKOŚCIACH

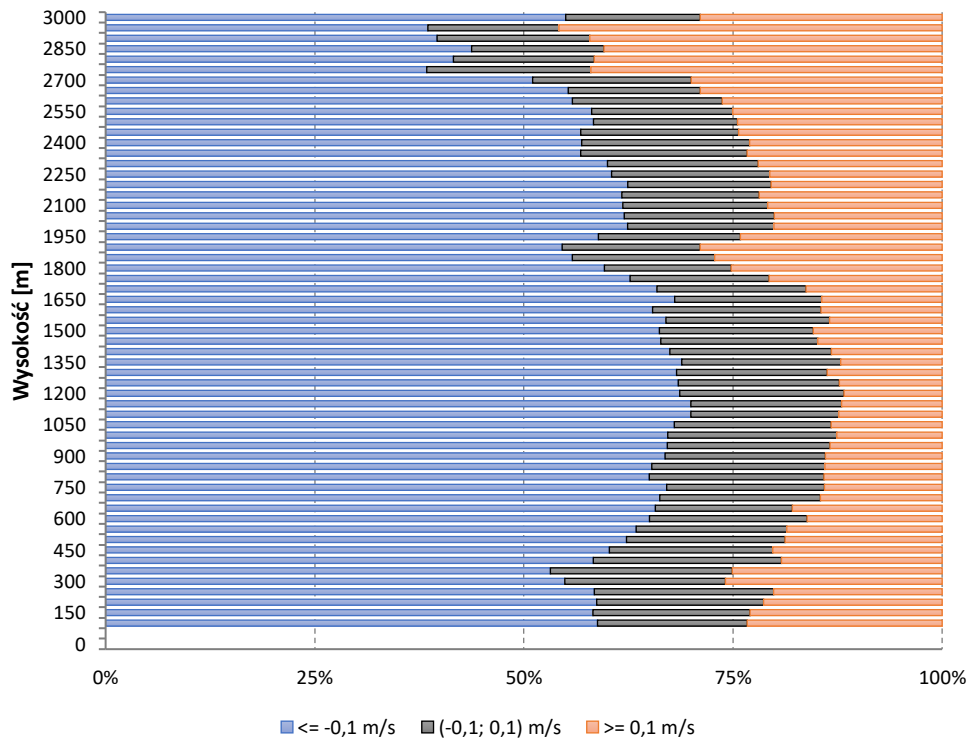
Róża prędkości wiatru wskazuje stopniowy wzrost prędkości wiatru wraz ze wzrostem wysokości. Kierunki wiatru o najwyższych prędkościach są zgodne z rozkładem kierunkowej róży wiatru.

windSpeed



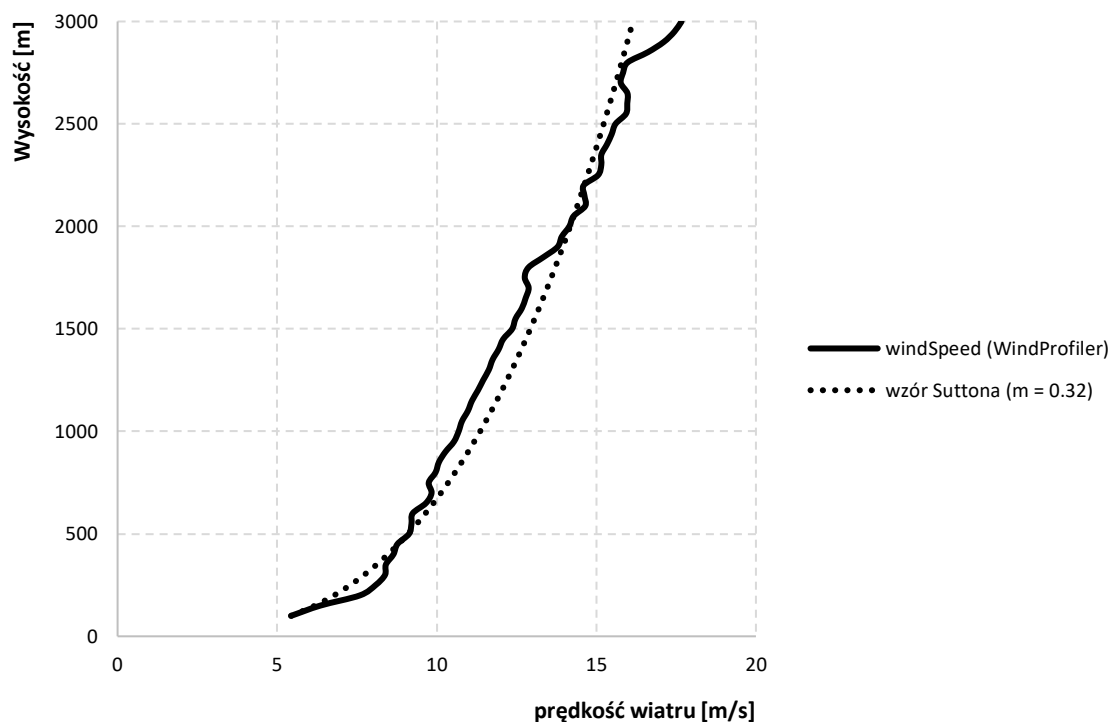
CZĘSTOŚĆ WYSTĘPOWANIA WIATRU O OKREŚLONYCH PRĘDKOŚCIACH POZIOMYCH W PIONOWYCH 50 M WARSTWACH ATMOSFERY W LUTYM BR. (SKŁADOWA POZIOMA)

windW



CZĘSTOŚĆ WYSTĘPOWANIA WIATRU O OKREŚLONYCH PRĘDKOŚCIACH W PIONOWYCH 50 M WARSTWACH ATMOSFERY W LUTYM BR. (SKŁADOWA PIONOWA)

Składowa pionowa prędkości wiatru oznacza prędkość poruszania się cząstek powietrza w kierunku pionowym w m/s.



ŚREDNI PIONOWY PROFIL POZIOMEJ SKŁADOWEJ WIATRU WP NA TLE WZORU SUTTONA²

$$U_2 = U_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^m$$

gdzie:

U_2 – prędkość wiatru [m/s] na poziomie z_2

U_1 – prędkość wiatru [m/s] na poziomie z_1

m – wykładnik (0-1 zależny od szorstkości terenu i właściwości termodynamicznych warstwy powietrza). Wykładnik $m = 0,32$ jest charakterystyczny do obojętnego stanu atmosfery, który przy uśrednianiu wielu wyników badań daje najbardziej zbliżony do warunków typowych rozkład prędkości wiatru w pionie.

PODSTAWOWA STATYSTYKA DOTYCZĄCA ŚREDNIEJ RÓŻNIC WARTOŚCI
WYLICZONYCH ZE WZORU SUTTONA I ŚREDNICH POMIARÓW WIND PROFILERA LAP3000

| wzór Suttona – Wind Profiler | |
|------------------------------|------------------------|
| średnia | odchylenie standardowe |
| 0,0853 | 0,5869 |

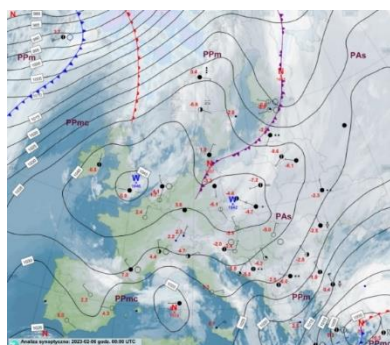
Dla każdego poziomu (100-3000 m) wyliczono średnią wartość pomiarów prędkości poziomej wiatru mierzonych za pomocą Wind Profilera. Otrzymane wyniki przyrównano do teoretycznych wyników otrzymanych ze wzoru Suttona przy założeniu początkowym $U_1 =$ średnia prędkość wiatru na poziomie 100 m i $m = 0,32$. Dla otrzymanych różnic, wzór Suttona – średnia Wind Profiler, obliczono średnią różnicę i odchylenie standardowe.

² Wzór Suttona jest empiryczną formułą opisaną przez G. Suttona, matematyka i meteorologa brytyjskiego. przedstawiającą uśredniony profil prędkości wiatru w warstwie granicznej atmosfery (źródło https://en.wikipedia.org/wiki/Graham_Sutton dostęp 17.04.2023).

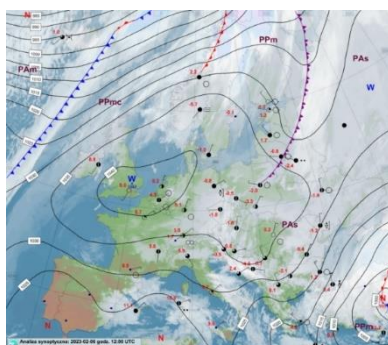
WYKORZYSTANIE DANYCH WP DO ANALIZY RZADKICH ZJAWISK METEOROLOGICZNYCH

Przykład epizodu wysokich stężeń pyłu na tle danych WP – luty 2023 r.

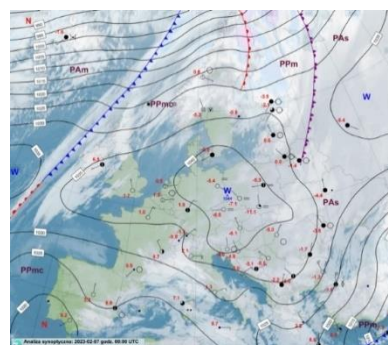
Analizowana sytuacja miała miejsce między 6 i 9 lutego 2023 roku na obszarze górnej Odry, w transgranicznym PL-CZ, w wyniku rozbudowy układu wyżowego obejmującego początkowo Europę Zachodnią i Środkową, a później Wielką Brytanię, kraje Beneluksu i Polskę. Początkowo nad Polskę z północy napływało chłodne powietrze pochodzenia arktycznego. 5-6 lutego z północnego zachodu oraz północy napływało powietrze arktyczne. W kolejnych dniach epizodu (7-8 lutego) centrum wyżu przemieściło się nad północne Niemcy oraz Polskę. Polska Południowa pozostawała w zimnym powietrzu arktycznym. Dopiero 9 lutego wyż zaczął słabnąć, ustępując układowi niżowemu z aktywnym frontem atmosferycznym.



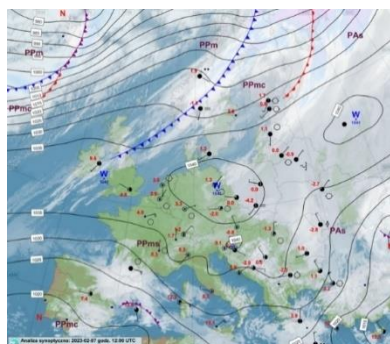
2023-02-06, godz. 00:00 UTC



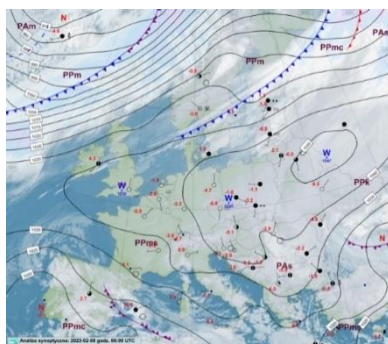
2023-02-06, godz. 12:00 UTC



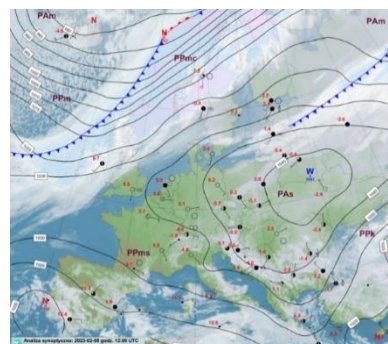
2023-02-07, godz. 00:00 UTC



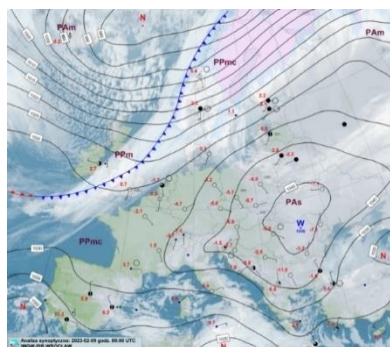
2023-02-07, godz. 12:00 UTC



2023-02-08, godz. 00:00 UTC

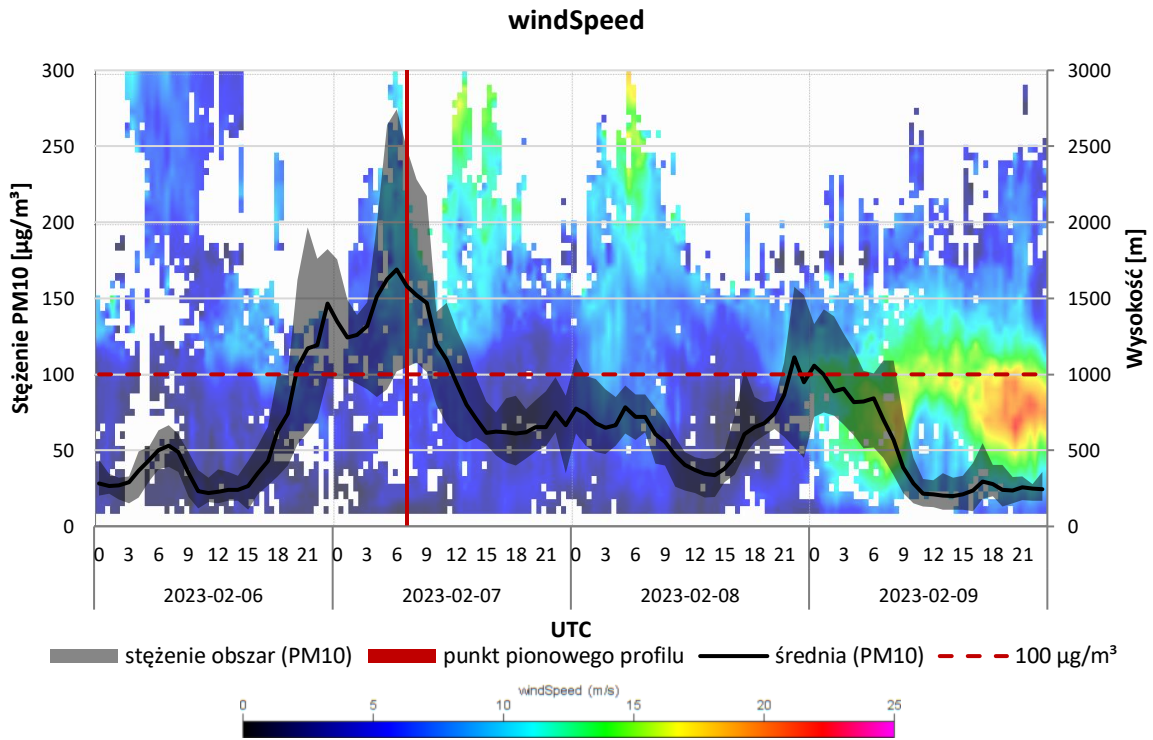


2023-02-08, godz. 12:00 UTC



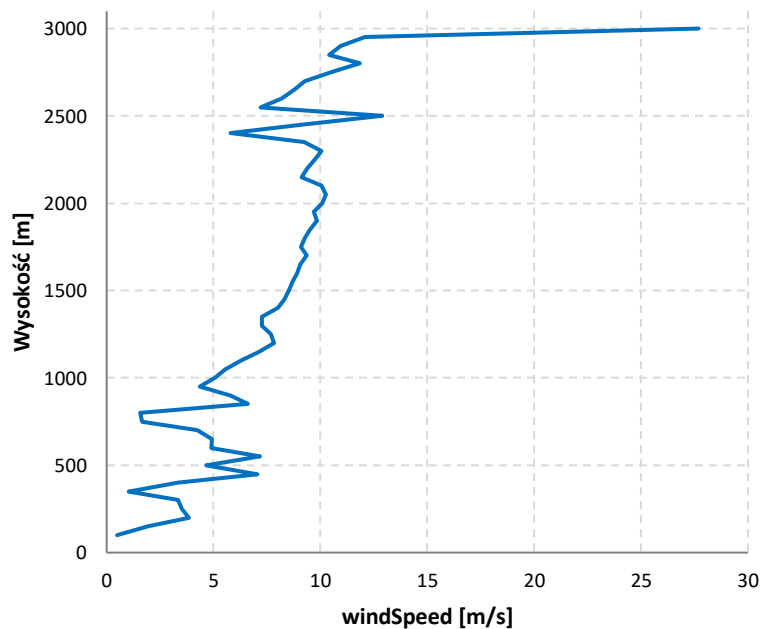
2023-02-09, godz. 00:00 UTC

SITUACJA SYNOPTYCZNA EUROPY W DNIACH 6-9 LUTEGO 2023 ROKU, GODZ. 0 I 12 UTC, PODCZAS TESTOWYCH POMIARÓW WP LAP3000 W RACIBORZU [ŹRÓDŁO: IMGW-PIB]



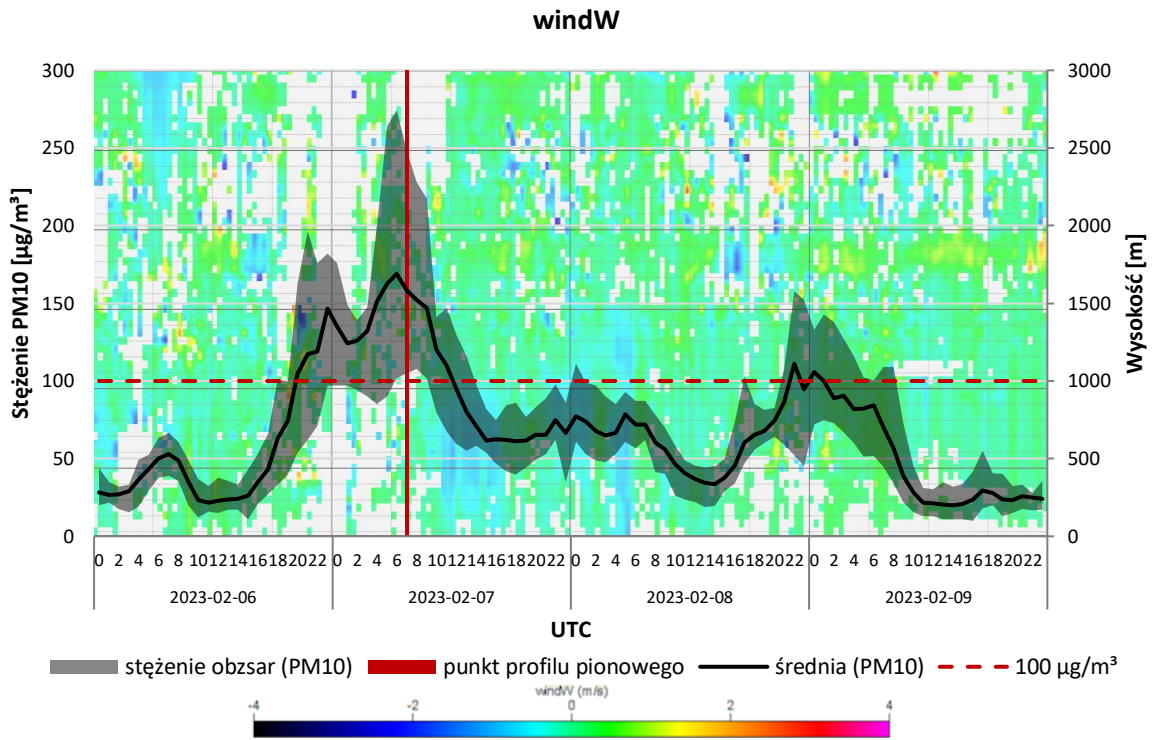
PRZEBIEG CHWILOWYCH STĘŻEŃ PM10 NA WYSOKOŚCI 3 M N.P.G. NA TLE PRĘDKOŚCI WIATRU DO WYSOKOŚCI 3000 M N.P.G. PODCZAS EPIZODU STĘŻEŃ PYŁU W LUTYM 2023 ROKU W RACIBORZU

2023-02-07 07:00 UTC

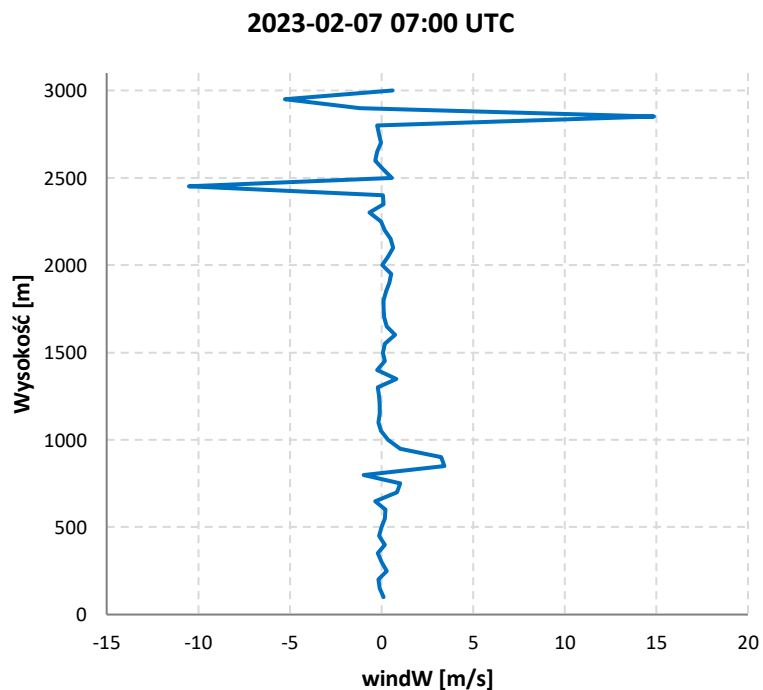


PIONOWY PROFIL PRĘDKOŚCI WIATRU PODCZAS MAKSYMUM EPIZODU PM10

W ciągu całego epizodu w warstwie przyziemnej atmosfery dominował wiatr słaby, którego prędkość na stacji meteorologicznej w Raciborzu nie przekraczała 1 m/s, a poziome składowe prędkości wiatru do wysokości 250 m maksymalnie 4 m/s. Podczas występowania najwyższych stężeń pyłu PM10 w dniu 7 lutego o godz. 7 UTC prędkość wiatru w warstwie do 1000 m (poza zakresem wysokości od 450 m do 650 m gdzie wiatr wiał z prędkością do 10 m/s) nie przekraczała 5 m/s.

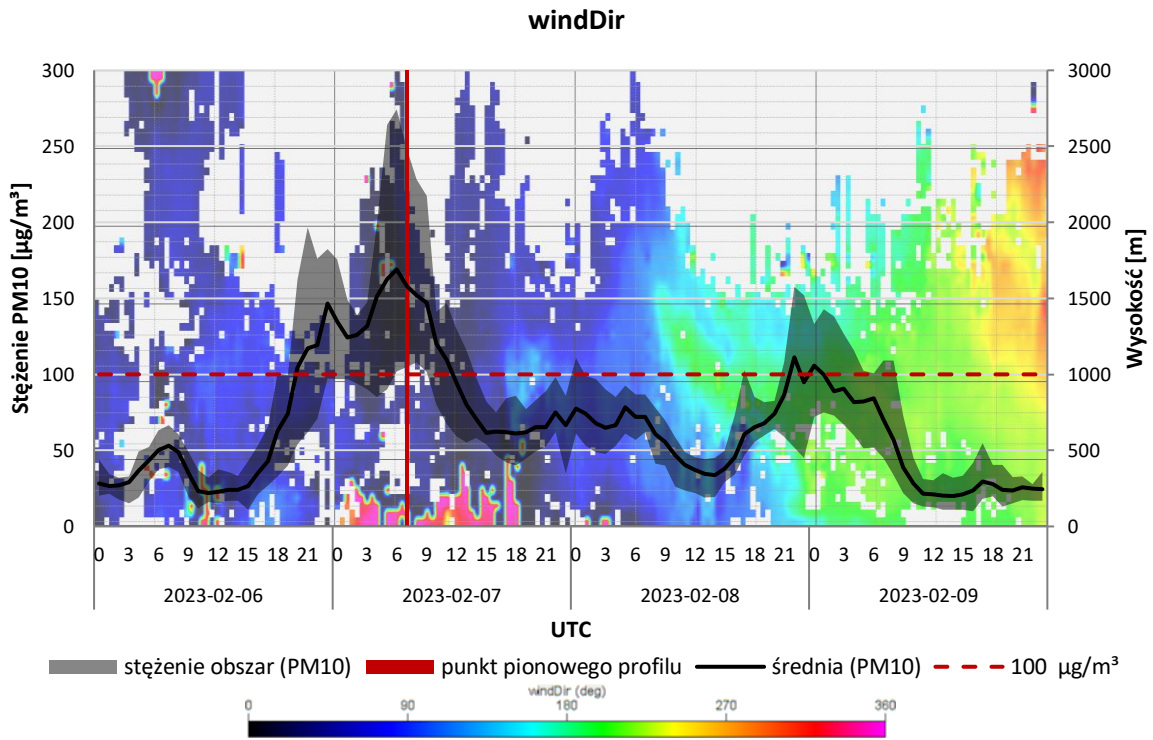


PIONOWA SKŁADOWA PRĘDKOŚCI WIATRU PODCZAS EPIZODU PYŁOWEGO 6-9 LUTEGO 2023 ROKU



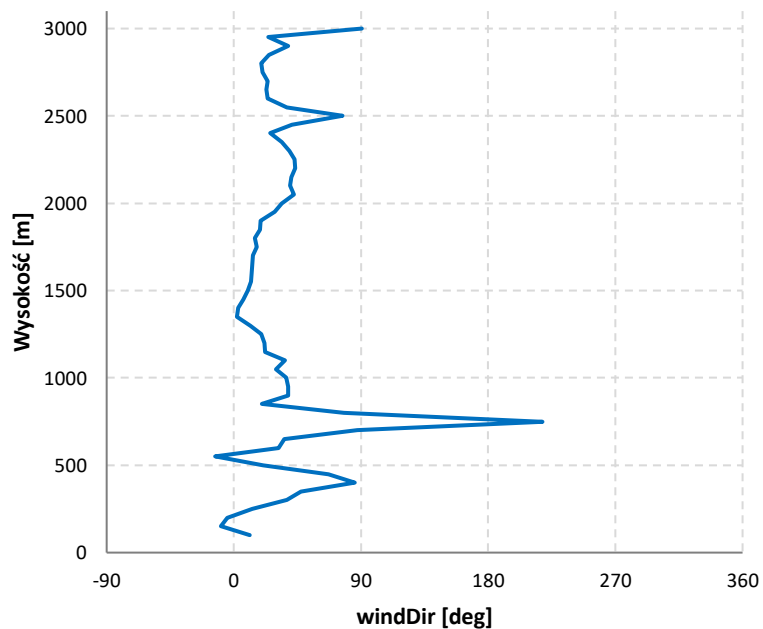
PIONOWY PROFIL SKŁADOWEJ PIONOWEJ PRĘDKOŚCI WIATRU PODCZAS MAKSYMUM EPIZODU PM10

Podczas całego epizodu PM10 pionowe składowe prędkości wiatru do wysokości 1000 m były zbliżone do 0 m/s lub były ujemne (do -0,1 m/s). Jedynie na wysokości 850 m zaobserwowano pionową składową prędkość wiatru około +3 m/s.



PRZEBIEG CHWILOWYCH STĘŻEŃ PM10 NA WYSOKOŚCI 3 M N.P.G. NA TLE KIERUNKU WIATRU DO WYSOKOŚCI 3000 M N.P.G. PODCZAS EPIZODU STĘŻEŃ PYŁU W LUTYM 2023 ROKU W RACIBORZU

2023-02-07 07:00 UTC



PIONOWY PROFIL KIERUNKU WIATRU PODCZAS MAKSYMUM EPIZODU PM10

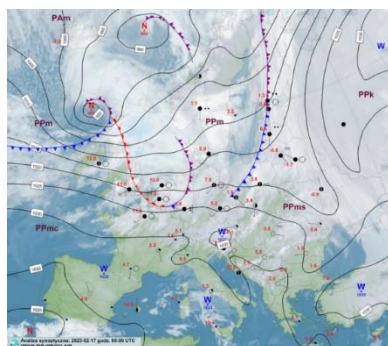
Podczas maksimum epizodu PM10 do wysokości warstwy granicznej atmosfery do ok. 2000 m dominował wiatr z sektora północnego i wschodniego, z wyjątkiem wysokości ok. 750 m, gdzie wiatr wiał z sektora południowo-zachodniego.

P RZYKŁAD ZDARZENIA WYSOKICH PRĘDKOŚCI WIATRU PODCZAS PRZECHODZENIA NIŻU ULF

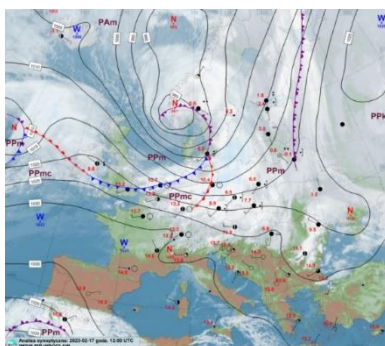
Sytuacja synoptyczna w dniach 17-18.02.2023 r.

17 lutego nad Polskę nasunęła się zatoka głębokiego niżu przemieszczającego się znad Morza Norweskiego nad Skandynawię. W godzinach popołudniowych od zachodu wkroczył układ frontów atmosferycznych. Z zachodu i południowego zachodu napływało dość ciepłe i wilgotne powietrze polarne morskie. Od godzin porannych wiał słaby wiatr, po południu wzrastający do umiarkowanego i dość silnego (w porywach 15,3 m/s), południowo-zachodni. Wysoko w górach wiatr był dość silny, w porywach do 27,8 m/s.

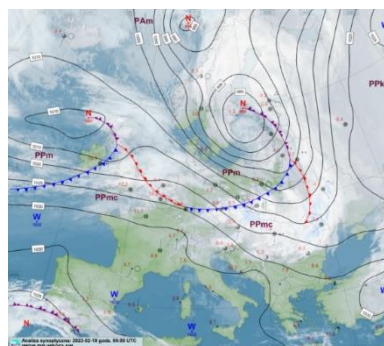
18 lutego pogodę kształtował głęboki i aktywny niż, którego centrum (980 hPa) przemieściło się znad Morza Norweskiego nad środkowy Bałtyk. Wraz z niżem przesunęły się układy frontów atmosferycznych, które w ciągu dnia obecne były na południu i południowym zachodzie kraju. Z zachodu napływało chłodniejsze powietrze polarne morskie. W tym dniu wiał wiatr zachodni, skręcający na północno-zachodni, a wysoko w górach wiatr silny (11,1-13,8 m/s), zachodni i północno-zachodni. Duży gradient ciśnienia między niżem z ośrodkiem nad Bałtykiem a układem znad zachodniej części Europy (około 50 hPa) doprowadził zarówno do znacznych prędkości wiatru, jak i przyczynił się do wygenerowania silnych porywów osiągających od 16,6 m/s do 27,8 m/s w wysokich partiach gór. Układ baryczny wraz z przemieszczającymi się frontami atmosferycznymi przemieszczał się głównie w północnej i środkowej Polsce, nie przynosząc znaczących prędkości wiatru na południu. W Raciborzu wiatr przyziemny nie przekraczał w maksymalnej prędkości 10 m/s.



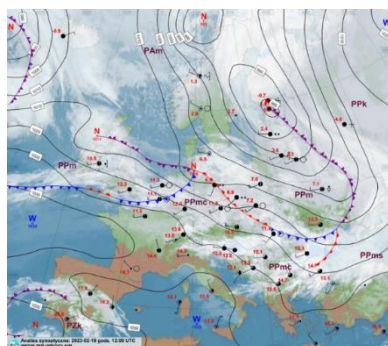
2023-02-17, godz. 00:00 UTC



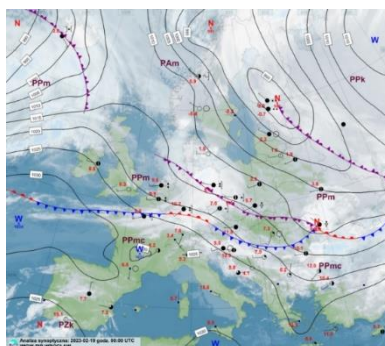
2023-02-17, godz. 12:00 UTC



2023-02-18, godz. 00:00 UTC

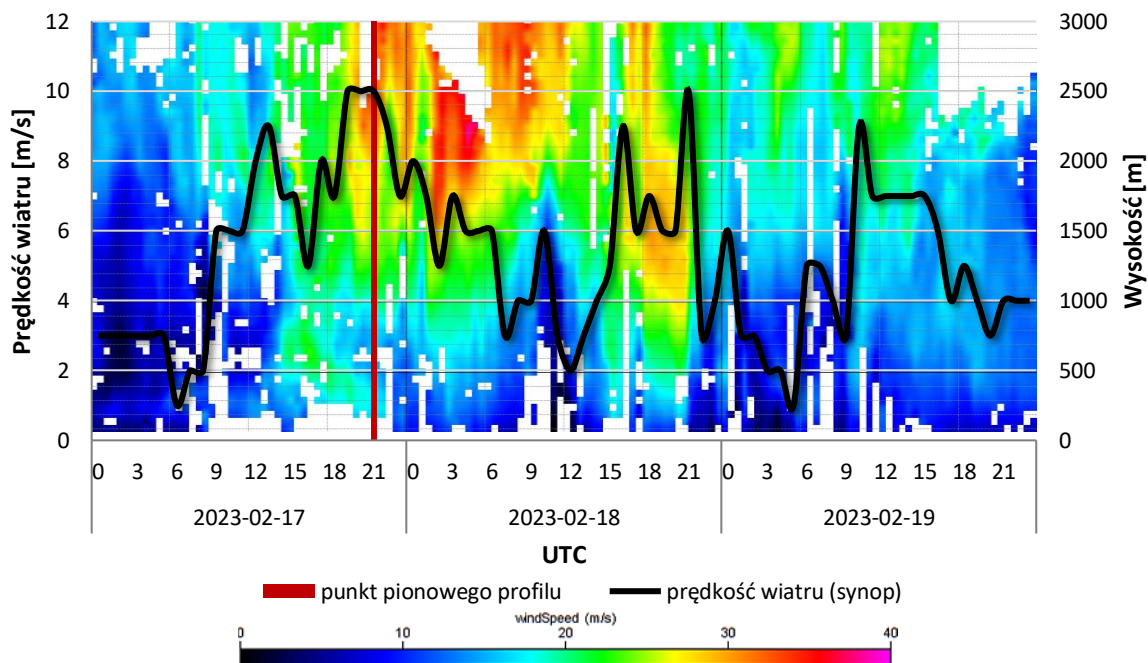


2023-02-18, godz. 12:00 UTC



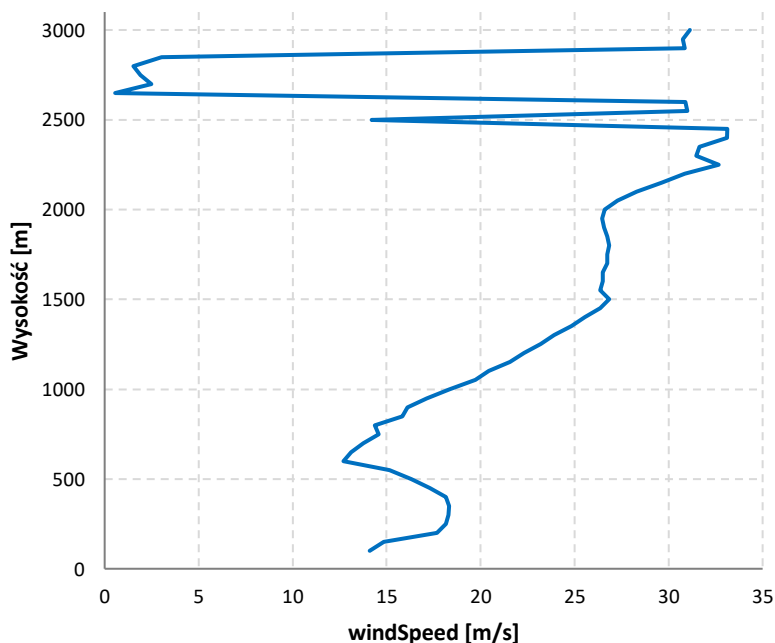
2023-02-19, godz. 00:00 UTC

SYTUACJA SYNOPTYCZNA EUROPY W DNIACH 17-19 LUTEGO 2023 ROKU, GODZ. 0 I 12 UTC
PODCZAS TESTOWYCH POMIARÓW WP LAP3000 W RACIBORZU [ŹRÓDŁO: IMGW-PIB]



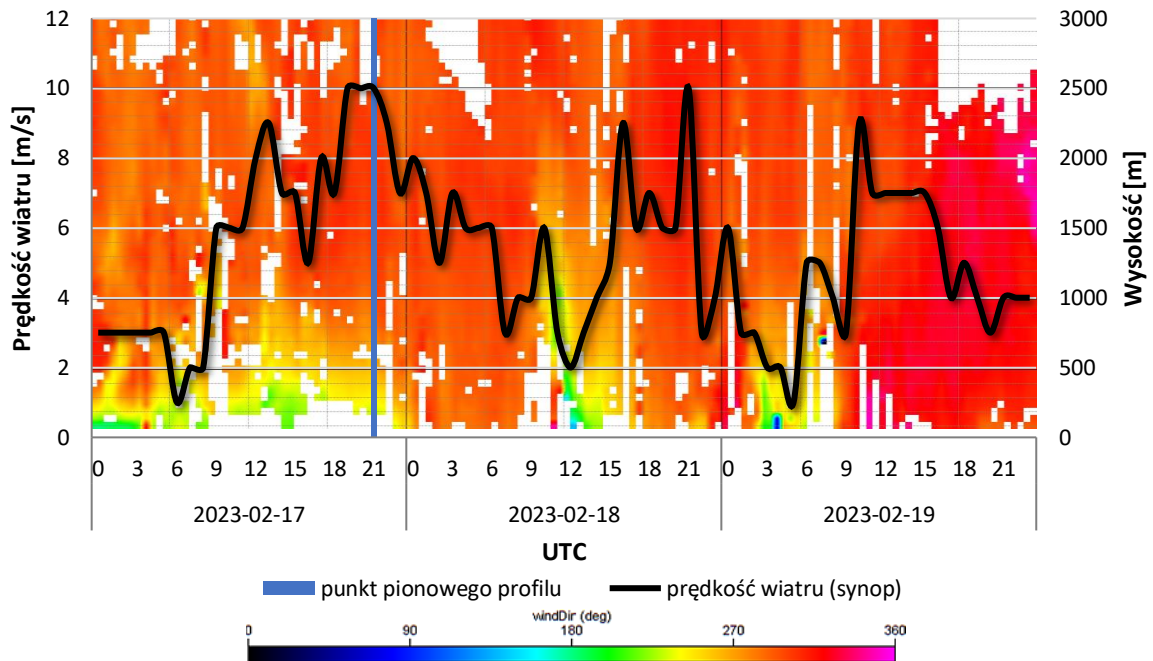
PRZEBIEG CHWILOWYCH PRĘDKOŚCI WIATRU NA TLE PRĘDKOŚCI WIATRU DO WYSOKOŚCI 3000 M N.P.GR.
 PODCZAS AKTYWNOŚCI NIŻU ULF NAD RACIBORZEM W DNIACH 17-19.02.2023 ROKU
 Zarejestrowany przez Wind Profiler LAP3000 wiatr górny do wysokości 3000 m n.p.g. do poziomu około 250 m
 nie przekraczał prędkości 15 m/s. W przypadku incydentu maksymalnego wiatru dolnego w Raciborzu notowano
 jedynie przekraczające 30 m/s prędkości wiatru na wysokości powyżej 1000 m nad poziomem gruntu.

2023-02-17 21:00 UTC

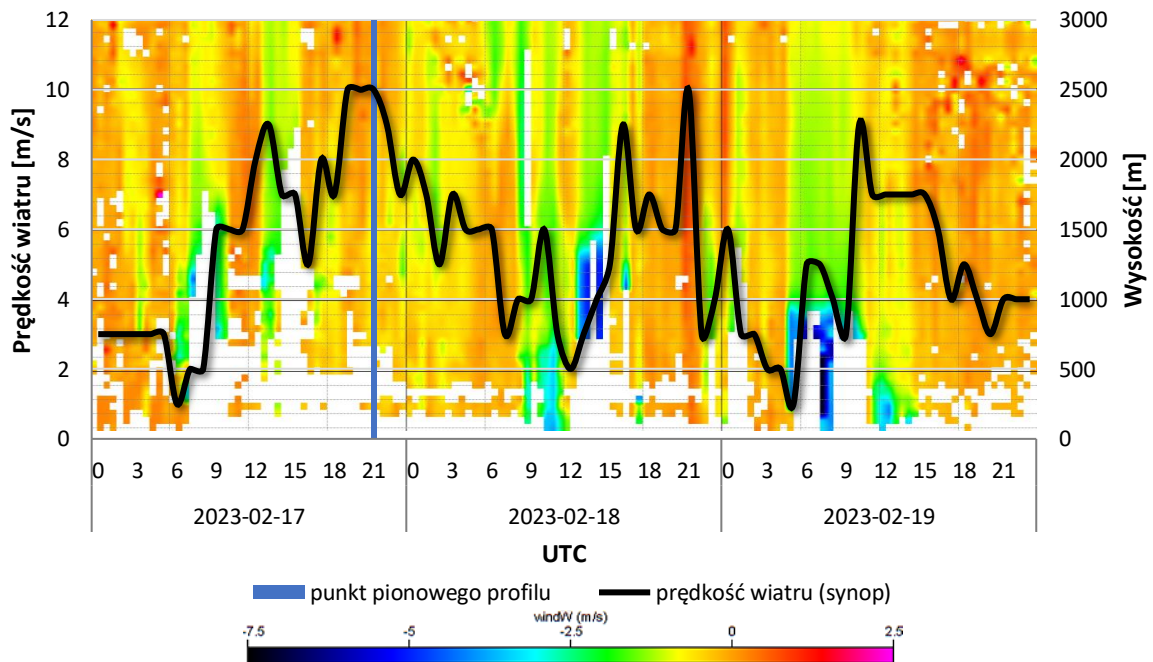


PIONOWY PROFIL PRĘDKOŚCI WIATRU PODCZAS NAJWYŻSZYCH NAZIEMNYCH PRĘDKOŚCI WIATRU 17 LUTEGO 2023 ROKU

W chwili wystąpienia maksymalnej prędkości wiatru przy powierzchni gruntu pionowy przebieg prędkości wiatru charakteryzował się typowym dla takich sytuacji rozkładem. Od wysokości 100 m następował szybki wzrost prędkości do wysokości 300-400 m n.p.g. (18 m/s – dolny jet stream) po czym prędkość spadała aż do wysokości 600 m n.p.g. osiągając wartości zbliżone do obserwowanych przy ziemi (12 m/s). Powyżej prędkość systematycznie rosła aż do wysokości 2400 m (33 m/s), gdzie nastąpił jej gwałtowny spadek do wartości poniżej 5 m/s i mniej na wysokości 2200 m n.p.g.

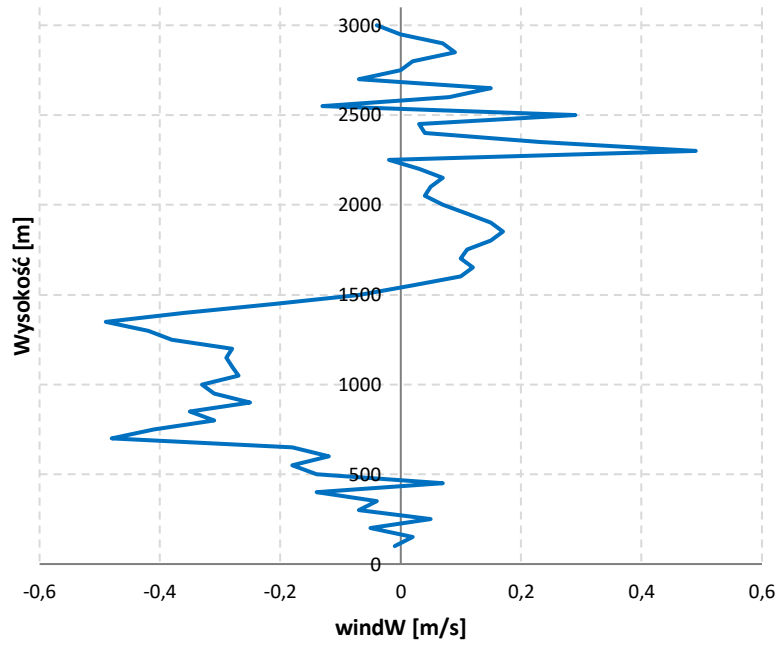


PRZEBIEG PRĘDKOŚCI WIATRU PRZYZIEMNEGO NA WYSOKOŚCI 10 M NA TLE KIERUNKU WIATRU DO WYSOKOŚCI 3000 M N.P.GR. PODCZAS AKTYWNOŚCI NIŻU ULF NAD RACIBORZEM W DNIACH 17-19.02.2023 ROKU
 Podczas przechodzenia niżu Ulf nad Raciborzem w warstwie atmosfery do wysokości 200 m n.p.g. dominował wiatr z sektora S i SW, a w wyższych warstwach troposfery wiatr z sektora W i NW.



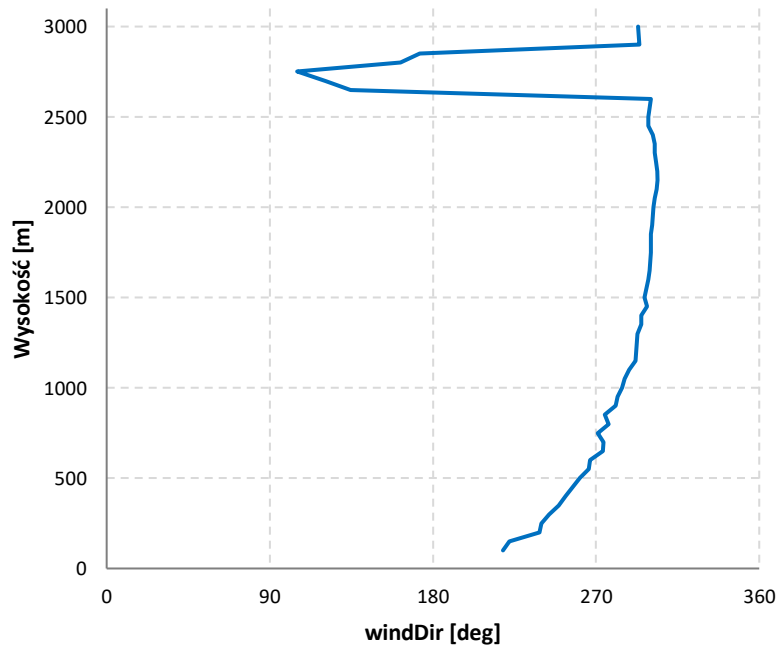
PRZEBIEG CHWILOWYCH PRĘDKOŚCI WIATRU NA TLE PIONOWEJ SKŁADOWEJ PRĘDKOŚCI WIATRU DO WYSOKOŚCI 3000 M N.P.GR. PODCZAS AKTYWNOŚCI NIŻU ULF NAD RACIBORZEM W DNIACH 17-19.02.2023 ROKU

2023-02-17 21:00 UTC

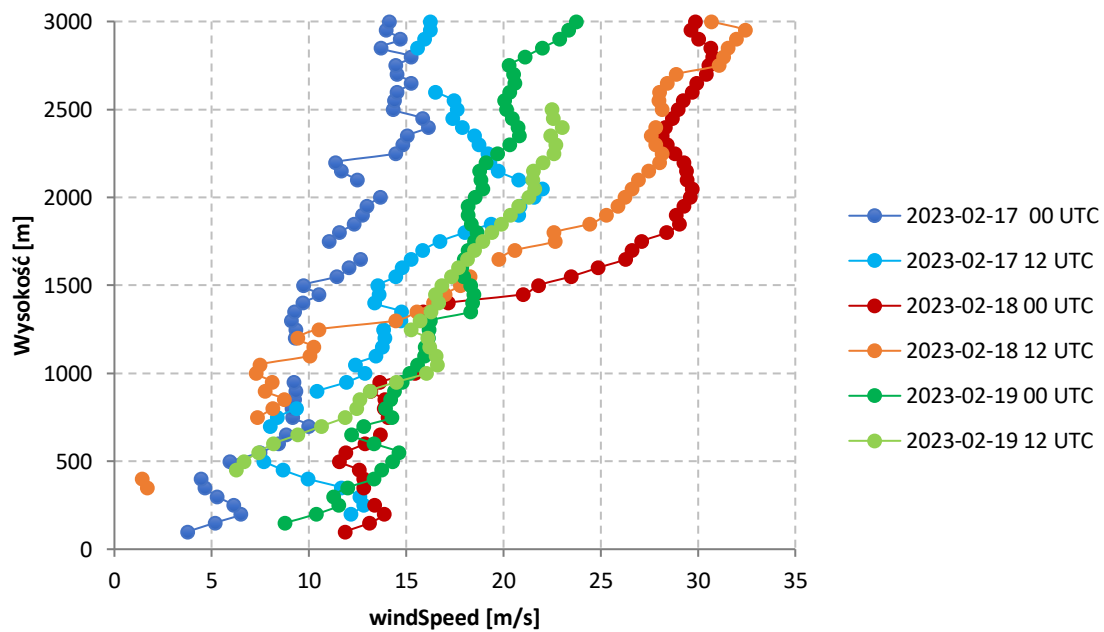


PIONOWY PROFIL SKŁADOWEJ PIONOWEJ PRĘDKOŚCI WIATRU PODCZAS MAKSYMUM AKTYWNOŚCI NIŻU ULF NAD RACIBORZEM W DNIU 17 LUTEGO 2023 ROKU O GODZ. 21:00 UTC

2023-02-17 21:00 UTC



PIONOWY PROFIL KIERUNKU WIATRU PODCZAS MAKSYMUM AKTYWNOŚCI NIŻU ULF NAD RACIBORZEM W DNIU 17 LUTEGO 2023 ROKU O GODZ. 21:00 UTC



PIONOWE PROFILE PRĘDKOŚCI WIATRU W DNIACH 17-19 LUTEGO 2023 ROKU, GODZ. 0 I 12 UTC

WNIOSKI

Przeprowadzone testowe uruchomienie urządzenia WP LAP3000 pozwoliło na operacyjne zaznajomienie się z funkcjonalnością urządzenia i potwierdziło jego przydatność w służbie meteorologicznej. Prace urządzenia przebiegały bez przeszkód technicznych; w prawie wszystkich przypadkach sondowań uzyskiwano zasięg 5000 m n.p.g. Przedstawione na rysunkach wizualizacje sięgające 3000 m stanowią ilustracje do zdarzeń wyższych stężeń zanieczyszczeń aby podkreślić związek warunków anemologicznych z jakością powietrza. Przeprowadzone próby testowe należy powtórzyć w warunkach chłodnej pory roku dla potwierdzenia istnienia wpływu warunków stagnacyjnych na poziomy i pionowy transport zanieczyszczeń, zweryfikować nieliczne dane empiryczne o zachowaniu się dynamiki atmosfery w jej dolnej warstwie w warunkach dużej zmienności warunków pogodowych (duża aktywność cyklonalna w chłodnej porze roku) oraz do implementacji wyników pomiarów w modelowaniu procesów pogodowych i warunków jakości powietrza.

Numer projektu: POIR.04.02.00-00-D019/20-00

Tytuł projektu: ACTRIS – Infrastruktura do badania aerozoli, chmur oraz gazów śladowych

Celem projektu jest: rozbudowa infrastruktury ACTRIS; dostarczenie wysokiej jakości danych i zwiększenie dostępności do nich w zakresie zmienności czasowej i przestrzennej aerozoli w atmosferze oraz poszerzenie wiedzy w kilku głównych obszarach: zmiany klimatu, ograniczenie widzialności, problemy z jakością powietrza, poprawa analiz meteorologicznych, poprawa prognoz pogody i jakości powietrza, zakwaszenie opadów i osadów, biologia oceanów, prawidłowa analiza i weryfikacja danych satelitarnych.

Prowadzący: dr Anetta Drzeniecka-Osiadacz (lider)

Prowadzący w IMGW-PIB: dr Leszek Ośródka

Termin zakończenia: 30.09.2023 r.

Instytucja finansująca: EFRR w ramach działania 4.2 Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój

Instytucja/Jednostka realizująca: Lider: Uniwersytet Wrocławski, Partnerzy: Instytut Geofizyki PAN, Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB, Uniwersytet Warszawski, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Uniwersytet Śląski

Dofinansowanie projektu z UE: 11 616 598,24 PLN

Całkowity budżet projektu: 17 103 485,27 zł