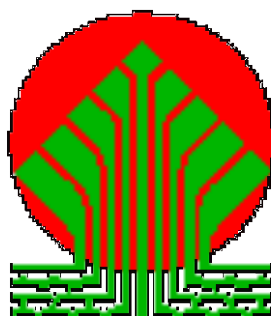




**Główny Inspektorat Ochrony Środowiska**

# **Analiza danych oraz opracowanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych: roczny raport za rok 2018**

w ramach zadania „Monitoring rozkładu pionowego ozonu,  
całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową  
oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2017 – 2020”



Sfinansowano ze środków  
Narodowego Funduszu Ochrony  
Środowiska i Gospodarki Wodnej

Raport opracowano na zlecenie Głównego Inspektoratu  
Ochrony Środowiska i sfinansowano ze środków  
Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki  
Wodnej

JEDNOSTKA PROWADZĄCA: **Ośrodek Oceanografii i Monitoringu Hydrosfery i Atmosfery / Dział Monitoringu Jakości Powietrza, IMGW-PIB**

KIEROWNIK TEMATU: **mgr Julita Biszczuk-Jakubowska**

WYKONAWCY:

***Ośrodek Oceanografii i Monitoringu Hydrosfery i Atmosfery / Dział Monitoringu Jakości Powietrza:***

**mgr Julita Biszczuk–Jakubowska**

**mgr Aleksander Curyło**

**mgr Bogumił Kois**

***Dział Teledetekcji Satelitarnej w Krakowie:***

**dr Bożena Łapeta**

**mgr Monika Hajto**

**mgr Rafał Iwański**

**dr Artur Rutkowski**

***Stacja Pomiarów Aerologicznych w Legionowie:*** **mgr Michał Perski**

***Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna Łeba:*** **mgr Katarzyna Grzędzicka**

**mgr Mariusz Gieryk**

***Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna Zakopane:*** **mgr inż. Michał Furmanek**

*Przy cytowaniu danych należy podawać źródło danych:*

*Państwowy Monitoring Środowiska, Inspekcja Ochrony Środowiska*

# **Analiza danych oraz opracowywanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych: roczny raport za rok 2018.**

## **1 Sprawozdanie z realizacji zadań 1-3 za rok 2018.**

- 1.1 Profile ozonu
- 1.2 Pomiary promieniowania UV-B
- 1.3 Ozon całkowity z danych satelitarnych

## **2 Raport za rok 2018.**

- 2.1 Wstęp
- 2.2 Ocena stanu warstwy ozonowej w 2018 roku na podstawie wyników monitoringu.
- 2.3 Analiza rozkładu pionowego ozonu nad Legionowem w 2018 roku.
- 2.4 Ozon całkowity z danych satelitarnych nad Europą Środkową w 2018 roku.
- 2.5 Promieniowanie UV-B zmierzone na sieci monitoringu w 2018 roku.
- 2.6 Wnioski

## **3 Opracowanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych**

## **4 Podsumowanie**

## **5 Literatura**

# 1 Sprawozdanie z realizacji zadań 1-3 za rok 2018.

## 1.1 Profile ozonu

W okresie od stycznia do grudnia 2018 roku na Stacji Aerologicznej w Legionowie wykonywano systematycznie, co najmniej raz w tygodniu sondaże ozonowe, elektrochemiczną sondą ozonową ECC6A produkcji Science Pump Corporation, USA. Sondaże wykonywano w systemie sondażowym DigiCORA MW41/RS41-SG i w systemie nawigacyjnym GPS. W przypadku nieudanego sondażu pomiar był powtarzany innego dnia w tym samym tygodniu. Wyniki pomiarów były gromadzone na bieżąco na serwerach IMGW-PIB i po zakończeniu etapu pracy przekazane do GIOŚ na płycie CD.

Program pomiarowy został zrealizowany w 100%.

**Tabela 1.** Charakterystyka sondaży ozonowych w Legionowie.

Liczba sondaży		Pułap (km)	Średnia wysokość (km)
Razem	Standard		
55	54	≥30	34,8
-	-	26 ÷ <30	-
Razem 55	54	≥26	34,8
-	-	<26	-

**Tabela 2.** Wyniki porównania całkowitej zawartości ozonu obliczonej z sondażu ( $O_3S$ ) ze zmierzoną spektrofotometrem: naziemnym (Dobsona) lub satelitarnym (OMPS/GOME) ( $O_3D$ ).

Liczba sondaży	$O_3D/O_3S$ Współczynnik korekcji	Średni współczynnik	Uwagi
22	0,90 ÷ 1,00	0,99	$O_3D \leq O_3S$
23	1,01 ÷ 1,15	1,04	$O_3D > O_3S$
Razem 50	0,90 ÷ 1,15	1,02	
5	-	-	$O_3D/O_3S > 1,15$
-	-	-	nieudany sondaż

Wyniki porównania wskazują na bardzo dobrą zgodność obu systemów pomiarowych. W 50 przypadkach współczynnik korekcji mieści się w granicach 0,90 ÷ 1,15, średni: 1,02.

Po każdym sondażu ozonu opracowane wyniki przekazywano pocztą elektroniczną do Departamentu Monitoringu, Ocen i Prognoz Stanu Środowiska / Departamentu Monitoringu Środowiska GIOŚ oraz przez Internet do bazy danych ozonowych w Norweskim Instytucie Ochrony Powietrza w Oslo (NILU). Dane sondaży ozonowych, po ich zweryfikowaniu pomiarem całkowitego ozonu spektrofotometrem Dobsona w Belsku, były przekazywane przez Internet do bazy Globalnej Sieci Detekcji Zmian Składu Atmosfery (NDACC) w USA oraz Światowej Bazy Danych Ozonu i UV (WOUDC) w Toronto w Kanadzie. Wykaz sondaży ozonowych przedstawia Tabela 3.

**Tabela 3.** Wykaz sondaży wykonanych w Legionowie od 01.01.2018 r. do 31.12.2018 r.

L.P.	Data	H1 [km]	H2 [km]	1 O <sub>3</sub> [D]	2 O <sub>3</sub> [D]	1+2 O <sub>3</sub> [D]	3 O <sub>3</sub> [D]	CF	Uwagi
01	18-01-03	36,1	36,1	335,4	16,4	351,9	349,0	0,99	
02	18-01-10	36,5	36,5	315,7	16,3	332,0	336,8	1,01	
03	18-01-17	35,7	35,7	356,6	16,4	373,0	382,9	1,03	
04	18-01-20	35,9	35,9	399,5	13,8	413,3	400,0	0,97	
05	18-01-24	36,1	36,1	302,1	18,4	320,5	309,2	0,96	
06	18-01-31	34,8	29,6	290,0	39,9	329,9	334,0	1,01	2
07	18-02-07	32,5	32,5	324,6	24,5	349,1	389,0	1,11	
08	18-02-14	35,4	33,0	278,4	28,6	307,0	358,0	-	1
09	18-02-21	35,3	35,3	345,9	24,2	370,1	389,0	1,05	
10	18-02-28	36,0	30,3	239,3	20,7	260,0	477,0	-	1
11	18-03-01	35,9	35,9	444,4	25,1	469,5	481,0	1,02	
12	18-03-07	36,5	30,5	258,8	48,9	307,6	341,3	1,11	
13	18-03-08	35,5	35,4	311,3	22,6	333,9	344,6	1,03	
14	18-03-14	35,0	35,0	278,6	24,1	302,7	327,3	1,08	
15	18-03-21	35,1	35,1	417,7	23,2	440,9	445,6	1,01	
16	18-03-30	35,5	22,5	205,5	119,7	325,2	393,0	-	1
17	18-04-04	34,8	22,0	124,6	65,0	189,6	381,0	-	1
18	18-04-11	32,0	30,6	301,4	49,3	350,7	378,0	1,08	
19	18-04-18	35,2	30,7	234,4	51,2	285,6	299,8	1,05	
20	18-04-25	35,7	35,7	283,9	20,9	304,9	299,3	0,98	
21	18-05-04	36,0	36,0	330,0	20,8	350,8	359,6	1,03	
22	18-05-09	34,3	31,0	239,5	52,8	292,3	323,0	1,10	
23	18-05-16	36,5	36,5	328,1	19,7	347,8	357,5	1,03	
24	18-05-23	35,6	13,2	71,8	1,2	-	346,0	-	1
25	18-05-29	35,7	31,4	275,4	49,9	325,2	330,5	1,02	
26	18-06-06	33,2	33,2	306,4	45,0	351,5	347,0	0,99	
27	18-06-13	35,9	35,9	304,1	27,2	331,2	331,0	1,00	
28	18-06-20	35,3	35,3	286,3	29,2	315,5	314,0	1,00	
29	18-06-27	35,4	35,4	298,0	25,7	323,7	345,0	1,07	
30	18-07-04	35,2	35,2	278,5	25,1	303,6	315,7	1,04	
31	18-07-11	36,5	36,5	320,5	19,2	339,7	351,6	1,03	
32	18-07-18	36,4	36,4	300,3	19,7	320,0	328,0	1,02	
33	18-07-25	36,0	35,9	300,7	27,2	327,8	326,6	1,00	
34	18-08-01	34,8	34,8	263,1	25,6	288,6	302,6	1,05	
35	18-08-08	32,8	32,8	260,2	47,0	307,2	307,0	1,00	
36	18-08-15	34,7	34,7	285,5	26,8	312,3	321,0	1,03	
37	18-08-22	33,9	33,9	273,7	39,9	313,7	307,0	0,98	
38	18-08-29	33,8	33,8	274,3	37,8	312,1	310,0	0,99	
39	18-09-05	32,7	32,7	272,0	42,2	314,2	311,0	0,99	
40	18-09-12	32,8	32,8	242,0	40,6	282,6	281,0	0,99	
41	18-09-19	34,2	34,2	267,6	34,3	301,9	295,8	0,98	
42	18-09-26	34,1	34,1	254,6	27,7	282,3	287,0	1,02	
43	18-10-03	34,5	34,5	298,6	26,9	325,5	325,0	1,00	
44	18-10-10	33,1	33,1	249,4	34,2	283,6	284,0	1,00	
45	18-10-17	35,1	35,1	265,4	23,0	288,4	291,0	1,01	
46	18-10-24	33,8	33,8	289,6	29,2	318,9	318,5	1,00	
47	18-10-31	34,6	34,6	276,5	24,0	300,5	301,9	1,00	
48	18-11-07	34,9	34,9	277,6	23,0	300,6	299,0	0,99	
49	18-11-14	35,7	35,7	319,4	15,3	334,8	319,6	0,95	
50	18-11-21	33,9	33,9	336,2	24,2	360,4	342,3	0,95	
51	18-11-28	34,0	34,0	299,2	20,8	320,0	330,1	1,03	
52	18-12-05	32,9	32,9	305,8	20,5	326,3	326,0	1,00	
53	18-12-12	34,0	34,0	340,8	27,9	368,7	372,5	1,01	
53	18-12-19	33,6	33,6	237,0	21,6	258,6	261,2	1,01	
55	18-12-27	33,2	33,2	236,5	24,2	260,8	292,1	1,12	

H1 - wysokość sondażu ; H2 - efektywna wysokość pomiaru O<sub>3</sub>  
 1 O<sub>3</sub>S - Zawartość ozonu w jednostkach Dobsona [D], scałkowana do wysokości efektywnej  
 2 O<sub>3</sub>S - Zawartość ozonu obliczona z krzywej stałego stosunku zmieszania powyżej pułapu obliczeń O<sub>3</sub>.  
 1+2 - O<sub>3</sub>S - Całkowita zawartość ozonu w sondażu (CZO<sub>3</sub>).  
 3 - O<sub>3</sub>D - CZO<sub>3</sub> pomiar spektrofotometrem Dobsona w Belsku lub czujnikiem satelitarnym OMPS/GOME-2  
 CF - iloraz O<sub>3</sub>D/O<sub>3</sub>S: współczynnik korekcji Dobsona  
 Klucz do uwag: 1- współczynnik korekcji poza zakresem 0,9-1,15, 2 - dodatkowy sondaż w kampanii Match

Opracowane graficznie profile ozonu są zawarte w **Załączniku 1**.

## 1.2 Pomiary promieniowania UV-B

Na stacjach IMGW-PIB w Łebie, Legionowie i Zakopanem, pomiary promieniowania nadfioletowego były wykonywane przyrządem typu Robertson-Berger, model UV Biometer SL501, który mierzy rumieniowo czynne promieniowanie UV-B w zakresie 280-320nm. Po zakończeniu każdego miesiąca dane z każdej stacji były przekazywane do Ośrodka Oceanografii i Monitoringu Hydrosfery i Atmosfery / Działu Monitoringu Jakości Powietrza IMGW-PIB, gdzie były opracowywane, archiwizowane na dysku twardym serwera i wykorzystywane do monitoringu i opracowań o charakterze klimatycznym. W roku 2018 pomiary były wykonywane bezawaryjnie. Uzyskane w roku 2018 dane zostały przekazane do GIOŚ na płycie CD.

Program pomiarowy został zrealizowany w 100%.

*Wyniki promieniowania UV-B uzyskane z czujników SL501 z Łeby, Legionowa i Zakopanego znajdują się w **Załączniku 2**.*

## 1.3 Ozon całkowity z danych satelitarnych

Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2018 roku był prowadzony z wykorzystaniem danych z czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) znajdującego się na pokładzie satelity meteorologicznego Suomi NPP (S-NPP). Całkowita zawartość ozonu wyznaczana była za pomocą oprogramowania OMPSNADIR\_SPA V.1.0.1 przygotowanego przez NASA, Direct Readout Laboratory, GODDARD SPACE FLIGHT CENTER, (<https://directreadout.sci.gsfc.nasa.gov>). Oprogramowanie to oblicza na podstawie danych OMPS: całkowitą zawartość ozonu, profil ozonu dla punktów pod-satelitarnych, promieniowanie UV 331nm, całkowitą zawartość SO<sub>2</sub> (tylko w niezachmurzonych punktach obrazu) oraz UV Aerosol Index. Pakiet generuje pliki wyjściowe w formacie HDF5 oraz tworzone są również obrazy w formacie PNG pozwalające na szybki podgląd wyników. Pole całkowitej zawartości ozonu wygenerowane z danych OMPS.SNPP były następnie przekształcane do regularnej siatki współrzędnych. Wybrano siatkę współrzędnych geograficznych w zakresie 40°-64° szerokości geograficznej północnej i 10°-28° długości geograficznej wschodniej z krokiem 0,25°. Interpolację przestrzenną wykonano metodą Natural Neighbour.

W 2018 roku nie było problemów z odbiorem danych satelitarnych i mapy rozkładu całkowitej zawartości ozonu nad Europą Środkową były generowane każdego dnia.

Otrzymane w 2018 r. mapy zostały przekazane do GIOŚ na płycie CD.

**Tabela 4.** Wykaz map ozonu całkowitego opracowanych w Dziale Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB na podstawie danych z czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) w 2018 r.

Dzień	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01	x	x	x o	x	x	x	x	x o	x	x	x	x
02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
03	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x
04	x	x	x	x o	x o	x	x o	x	x	x	x	x
05	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o
06	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	X	x
07	x	x o	x o	x	x	x	x	x	x	x	X o	x
08	x	x	x o	x	x	x	x	x o	x	x	X	x
09	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	X	X
10	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	X	X
11	x	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x	X	X
12	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	X	X o
13	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	X	X
14	x	x o	x o	x	x	x	x	x	x	x	X o	X
15	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	X	X
16	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	X	X
17	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	X	X
18	x	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x	X	X
19	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	X	X o
20	x o	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	X	X
21	x	x o	x o	x	x	x	x	x	x	x	X o	X
22	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	X	X
23	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	X	X
24	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	X	X
25	x	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x	X	X
26	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	X	X
27	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	X	X o
28	x	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	X o	X
29	x	■	x	x	x o	x	x	x o	x	x	X	X
30	x	■	x o	x	x	x	x	x	x	x	X	X
31	x o	■	x	■	x	■	x	x	■	x o	■	X

Literą “x” zaznaczone są dni z mapami ozonu całkowitego

Literą “o” zaznaczone są dni, w których był wykonywany sondaż ozonowy

Program pomiarowy zrealizowano w 100%

Satelitarne mapy ozonowe z dni sondażowych są zawarte w **Załączniku 1.**

## 2 RAPORT ZA ROK 2018

### 2.1 Wstęp

Ozon ( $O_3$ ) jest gazem śladowym w atmosferze – średnio tylko trzy cząsteczki ozonu przypadają na milion cząsteczek powietrza. Mimo tak małej ilości, jego silne pasma pochłaniania w UV sprawiają, że pełni on rolę filtra umożliwiającego istnienie życia na Ziemi. Powstawanie ozonu jest inicjowane przez intensywne promieniowanie UV ze Słońca, które dysocjuje cząsteczki tlenu,  $O_2$ , na oddzielne atomy tlenu. Te wolne atomy łącząc się z cząsteczką tlenu, przy udziale trzeciej dowolnej cząsteczki odbierającej nadmiar energii, tworzą ozon. Cząsteczki ozonu łatwo rozpadają się pod wpływem UV, na wolny atom tlenu i tlen cząsteczkowy. Dlatego ozon jest ciągle tworzony i niszczone przez słoneczne promieniowanie UV. Najbardziej energetyczne promieniowanie UV-C, o długościach fali 100-280nm, jest bardzo szkodliwe dla zdrowia ludzi oraz wszelkiego życia na Ziemi, ale jest w całości absorbowane przez tlen i ozon powyżej 25km. W warstwie 25-50km ozon jest w stanie bliskim równowagi fotochemicznej, a jego największe stężenie w strefie międzyzwołnikowej na wysokości ~35km wynosi ~10 cząsteczek  $O_3$  na milion cząsteczek powietrza. Poniżej 25km ozon staje się konserwatywnym składnikiem powietrza i może być unoszony ze źródła nad równikiem na duże odległości. W efekcie powstaje warstwa ozonowa, która rozprzestrzenia się nad całym globem. Warstwa ozonowa absorbuje ponad 90% promieniowania UV-B (280-325nm), które ma duży wpływ na zdrowie ludzi. Cieńsza warstwa ozonowa zwiększa ilość słonecznego UV-B. Nadmierne dawki UV-B powodują oparzenia słoneczne, osłabienie odporności immunologicznej, kataraktę oraz raka skóry. Małe dawki UV-B są jednak niezbędne do syntezy witaminy D3 w organizmie człowieka.

Pochłanianie promieniowania UV przez ozon powoduje wzrost temperatury powietrza i powstanie stratosfery od wysokości 6km (nad biegunem) i 18km (w pobliżu równika) do ~50km. Dolna granica stratosfery (tropopauza) ogranicza zasięg konwekcji, co stabilizuje klimat na powierzchni Ziemi.

Stratosferyczna warstwa ozonowa zawiera średnio ~90% ozonu całkowitego. Pozostałe 10% ogólnej ilości ozonu znajduje się w troposferze. Ozon w troposferze tworzy się w niewielkich ilościach podczas burz, a przy powierzchni Ziemi jest wtórnym zanieczyszczeniem powietrza powstającym w obecności tlenków azotu i lotnych węglowodorów, działającym toksycznie na drogi oddechowe podczas epizodów tzw. smogu fotochemicznego. Ważnym źródłem ozonu troposferycznego jest ozon przenikający ze stratosfery. Ostatnio zebrano szereg dowodów sugerujących, że głębokie wtargnięcia stratosferyczne mogą podnieść poziom ozonu na powierzchni Ziemi do niezdrowych poziomów podczas wiosny (Lin i in., 2015). Takie wtargnięcia stratosferyczne są częstsze późną wiosną, gdy strumień polarnej masy powietrza wije się w kierunku zachodnich Stanów Zjednoczonych, po silnych zimach, w których występowało zjawisko La Niña.

Tlen w atmosferze powoduje powstawanie wolnych rodników - cząsteczek lub ich części, z niesparowanymi elektronami, które są bardzo aktywne chemicznie. W drugiej połowie ostatniego stulecia poznano katalityczne cykle reakcji niszczenia ozonu z rodnikami ( $HO$ ,  $HO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $Cl$  i  $ClO$ ). Łańcuchy reakcji z  $NO_x$  i  $ClO_x$  związane są z emisją na powierzchni Ziemi stabilnych molekuł

(N<sub>2</sub>O, CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, CCl<sub>3</sub>F, ...) a produkty ich rozpadu tworzą NO i Cl w środku stratosferycznej warstwy ozonowej. Niektóre z tych substancji pozostają w atmosferze bardzo długo nim rozpadną się pod wpływem intensywnego promieniowania UV.

Rozrzedzenie warstwy ozonowej w górnej stratosferze wywołane antropogeniczną emisją zawierających chlor związków CFC (freony) zostało odkryte w roku 1974. Wzrost zawartości tych związków doprowadził do przyspieszenia procesów niszczenia ozonu, w skali globalnej w końcu lat 1970., ale szczególnie drastycznie od wczesnych lat 1980., na półkuli południowej w rejonie polarnym na wiosnę – „antarktyczna dziura ozonowa”. W obawie o dalszy los warstwy ozonowej podpisano Protokół Montrealski (PM) w roku 1987, a po jego rewizji w 1992 r. wytwarzanie freonów zostało zakazane. Pomiary atmosferyczne potwierdzają skuteczność PM w zmniejszaniu ilości substancji szkodliwych dla warstwy ozonowej. Skuteczność działania PM potwierdzają także badania Solomon i in. (2016) - po raz pierwszy stwierdzono, że dziura ozonowa nad Antarktydą istotnie się kurczy. Powrót warstwy ozonowej do stanu niezaburzonego potrwa kilkadziesiąt najbliższych lat, a to z powodu długiego okresu półtrwania prekursorów niszczenia ozonu.

Warstwa ozonowa przestała się zmniejszać w skali całego globu, ale nie zaobserwowano wyraźnego wzrostu pomiędzy 60° S i 60° N, to jest poza obszarami polarnymi (60–90°). Połączone obserwacje z wielu satelitów wskazują, że zawartość ozonu w dolnej stratosferze pomiędzy 60° S i 60° N w rzeczywistości zmniejsza się od 1998 roku, a całkowita zawartość ozonu w tym obszarze nie zmniejsza się tylko dlatego, że zwiększa się ilość ozonu w troposferze, który kompensuje spadek ozonu w stratosferze (Ball i in., 2018). Powody spadku ozonu w dolnej stratosferze nie są jasne, modele nie odtwarzają obserwowanych trendów.

Konwencja Narodów Zjednoczonych o ochronie warstwy ozonowej z 1985 r. (Dz. U. z 1992 r. Nr 98, poz. 488) i Protokół Montrealski dotyczący ograniczenia emisji substancji niszczących warstwę ozonową z 1987 r. wraz z uzupełnieniami (Dz. U. z 1992 r. Nr 98, poz. 490), których Polska jest sygnatariuszem, nakładają obowiązek monitorowania stanu warstwy ozonowej i natężenia promieniowania nadfioletowego przy powierzchni Ziemi. Wypełnianie tego obowiązku jest realizowane m.in. poprzez wykonywanie regularnych, radiosondażowych pomiarów pionowego profilu ozonu, analizę całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową z danych satelitarnych oraz monitoring biologicznie czynnego promieniowania UV-B za pomocą sieci przyrządów pomiarowych.

W raporcie przedstawiono analizę stanu warstwy ozonowej i poziomu promieniowania UV-B na podstawie pomiarów wykonanych w IMGW-PIB w 2018 roku. W analizie wykorzystano mapy WOUDC całkowitej zawartości ozonu nad półkula północną (<http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selectMap>), trajektorie cząstek w modelu HYSPLIT ([www.ready.noaa.gov](http://www.ready.noaa.gov)) oraz dane meteorologiczne (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar>).

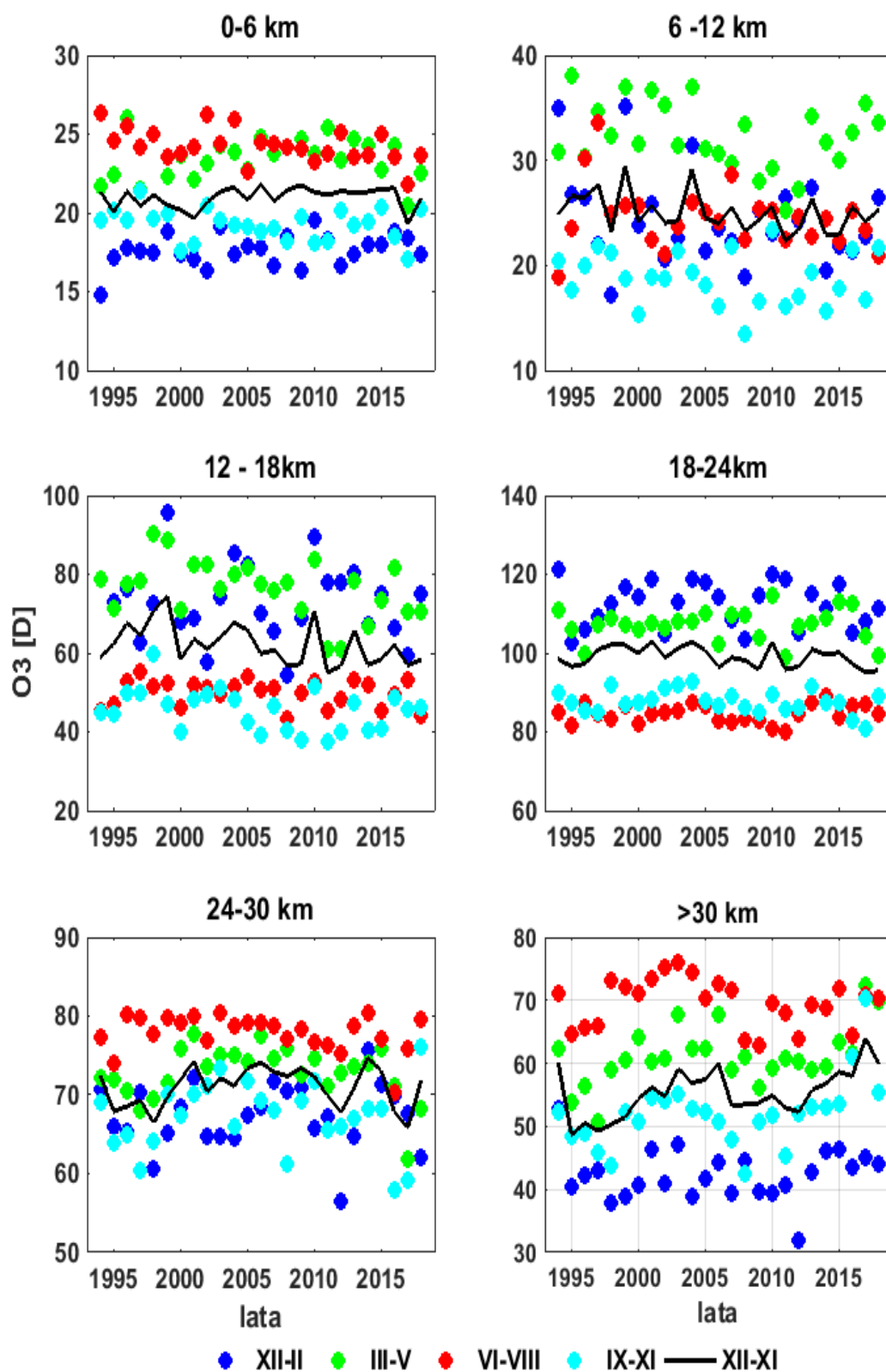
## **2.2 Ocena stanu warstwy ozonowej w 2018 roku na podstawie wyników monitoringu.**

W roku 2018 kontynuowano rutynowe radiosondaże ozonowe, rozpoczęte na stacji aerologicznej w Legionowie w roku 1979. Pomiary są wykonywane rutynowo raz w tygodniu, w terminie 12UTC, z użyciem elektrochemicznej sondy ozonowej. Sonda ozonowa jest połączona ze

standardową sondą aerologiczną. Obie sondy są unoszone w powietrzu przez balon meteorologiczny do wysokości około 35km. Do maja 1993 stosowano sondę OSE2 typu Brewer-Mast, a od czerwca 1993 używana jest znacznie dokładniejsza sonda ECC. W okresach spodziewanych ubytków ozonu od 1995 roku są wykonywane dodatkowe sondaże w ramach kampanii Match. Ponadto, sondaże ozonowe wykorzystywane są do walidacji satelitarnych profili ozonu (Huang i in., 2018).

Sonda ECC umożliwia pomiar ciśnienia cząstkowego ozonu, to jest części całkowitego ciśnienia mieszaniny gazów atmosferycznych wynikającej z obecności ozonu. Elektrochemiczny czujnik sondy wykrywa stężenia ozonu powyżej 3ppbv, błąd pomiaru w dolnej stratosferze wynosi ~5%, i rośnie do ~10% w średniej stratosferze. Dla każdego sondażu wyznaczana jest całkowita zawartość ozonu (CZO<sub>3</sub>), która jest sumą zawartości ozonu w profilu (ozon scałkowany) i pozostałej zawartości ozonu do granicy atmosfery. Pozostała zawartość ozonu jest obliczana przy założeniu stałego stosunku mieszania ozon/powietrze, na podstawie ostatniej zmierzonej wartości ciśnienia cząstkowego ozonu lub z danych profili satelitarnych. Dla każdego sondażu obliczany jest najlepszy współczynnik korekcji Dobsona (CF), który jest ilorazem niezależnego pomiaru CZO<sub>3</sub> (średnia dzienna lub wartość około-południowa ze spektrofotometru Dobsona) na stacji IGF PAN w Belsku i/lub pomiar satelitarny: OMPS, SBUV, OMI) do CZO<sub>3</sub> w sondażu. W analizach uwzględniane są sondaże z CF w zakresie od 0,9 do 1,15.

W ramach realizacji pracy wyznaczono tendencje ozonu w okresie 1998-2018 efektywnego zmniejszenia nasycenia atmosfery niszczącymi związkami chloru i bromu. Obliczono zawartości ozonu w warstwach atmosfery kończących się na ustalonych wysokościach 6 : 6 : 30km n.p.m. Zawartości ozonu w sondażach w każdej z warstw uśredniono dla pór roku (zima: grudzień – luty, wiosna: marzec – maj, lato: czerwiec – sierpień, jesień: wrzesień - listopad) i lat (rok: od grudnia do listopada w następnym roku). Trend obliczono metodą liniowej regresji. Wyniki zestawiono w Tabeli 5. Wytłuszczoną czcionką zaznaczono zmiany istotne statystycznie, na poziomie ufności 95%. Zgodnie z oczekiwaniami odbudowa warstwy ozonowej powinna się rozpoczynać od wysokich warstw stratosfery. W warstwie powyżej 30km widoczny jest wzrost ozonu w skali całego roku oraz jesienią, ale także nieoczekiwany spadek w sezonie letnim. Biorąc pod uwagę duży 10% błąd pomiaru ozonu w średniej stratosferze, do oceny trendów w tej warstwie należy podchodzić ostrożnie – prawdopodobnie 20-letnia seria sondaży jest za krótka do określenia kierunku zmian. W warstwie maksimum koncentracji ozonu (18-24km) nastąpił niewielki spadek ozonu (-3±2%/dekadę) w granicy błędu pomiarowego. Na uwagę zasługuje znacznie większy spadek ozonu (-8±5%/dekadę) w dolnej stratosferze (12-18km). Zawartość ozonu w tej warstwie obniża się we wszystkich sezonach, z największym tempem spadku -9±6% na dekadę na wiosnę. Słaby spadkowy trend ozonu jest widoczny w warstwie 6-12km. Wyniki obliczenia trendu ozonu nad Legionowem potwierdzają niedawne doniesienia (Ball in., 2018), że od 1998 roku zawartość ozonu zmniejsza się w pasie umiarkowanych szerokości geograficznych na obydwu półkulach. Ponieważ w dolnej stratosferze nad Polską i Europą znajduje się znaczna część warstwy ozonowej, ubytki w tej warstwie zwłaszcza latem stwarzają zagrożenie wysokim poziomem promieniowania UV-B.



Rys. 1. Zawartości ozonu w warstwach atmosfery nad Legionowem w latach 1994-2018.

**Tabela 5.** Tendencje ozonu (%/dekadę) w warstwach atmosfery nad Legionowem, w okresie od grudnia 1997 do listopada 2018. Błąd oszacowania na poziomie ufności 95%.

Sezon/ Warstwa	zima XII-XII	wiosna III-V	lato VI-VIII	jesień IX-XI	Rok I-XII
0 – 6	1±4	-1±4	-3±3	-0±4	1±2
6 – 12	-3±12	-4±7	-3±5	-0±10	-3±5
12 – 18	-3±10	<b>-9±6</b>	-3±4	-7±8	<b>-8±5</b>
18 – 24	-2±3	-0±3	1±2	<b>-3±2</b>	<b>-3±2</b>
24 – 30	1±5	-3±3	-2±2	-2±5	-1±3
>30	3±6	3±5	<b>-4±3</b>	<b>8±7</b>	<b>5±4</b>

### 2.3 Analiza rozkładu pionowego ozonu nad Legionowem w 2018 roku.

Na podstawie homogenicznej serii pomiarów z lat 1994 - 2018 obliczono zawartości ozonu w warstwach atmosfery pomiędzy standardowymi powierzchniami izobarycznymi, od powierzchni Ziemi (~1000hPa) do 10hPa (~31km) i od 10hPa do granicy atmosfery. Powierzchnia izobaryczna jest definiowana jako powierzchnia, na której wartość ciśnienia jest jednakowa we wszystkich jej punktach. W meteorologii ciśnienie atmosferyczne podaje się w hektopaskalach (hPa), przy czym 1hPa = 100Pa. Paskal (Pa) jest to ciśnienie występujące na powierzchni płaskiej 1m<sup>2</sup>, na którą działa prostopadle siła 1N (niutona). Zawartość ozonu wyrażona jest w jednostkach Dobsona (1DU = 2,69x10<sup>20</sup> molekuł O<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>). W Tabeli 6 przedstawiono zawartości ozonu w miesiącach 2018 roku i w wieloleciu 1994-2017, a także standaryzowane odchylenia średnich miesięcznych roku względem średniego rozkładu z wielolecia. Standaryzowane odchylenie pozwala w łatwy sposób wykryć anomalne zawartości ozonu w atmosferze – wskazują na to wartości odchylenia przekraczające +2 lub -2.

W średnim rozkładzie pionowym ozonu w warstwie 300/150hPa (~9-13,5km) następuje przejście od małych stężeń w troposferze do dużych w stratosferze. W dolnej stratosferze koncentracja rośnie z wysokością do maksimum w warstwie 50/30hPa (~21-24km), ale najwyższe stężenia są osiągane w średniej stratosferze w okresie letnim. Ozon ze źródła nad równikiem jest transportowany w stronę bieguna, kumuluje się w dolnej stratosferze w wysokich i umiarkowanych szerokościach geograficznych, osiąga maksymalną zawartość na przełomie zimy i wiosny. Ozon ze stratosfery przenika do troposfery a dodatkowe fotochemiczne źródło ozonu znajduje się w granicznej warstwie atmosfery.

W styczniu 2018 r. pojawił się silny wzrost ozonu w najniższej części dolnej stratosfery (Tabela 6). W marcu w warstwie maksimum koncentracji ozonu spadki ozonu okazały się niewielkie. Większe niedobory ozonu pojawiły się później na wiosnę, w kwietniu i maju obejmowały one praktycznie całą stratosferę. Dodatnia anomalia ozonu w średniej stratosferze w listopadzie poprzedza duży wzrost ozonu podczas kolejnej zimy 2018/19.

**Tabela 6.** Zawartość ozonu w warstwach atmosfery nad Legionowem w 2018 r.

WYSZCZEGÓLNIENIE	Warstwy atmosfery między standardowymi powierzchniami izobarycznymi (hPa)												
	$\frac{\sim 1000}{700}$	$\frac{700}{500}$	$\frac{500}{300}$	$\frac{300}{200}$	$\frac{200}{150}$	$\frac{150}{100}$	$\frac{100}{70}$	$\frac{70}{50}$	$\frac{50}{30}$	$\frac{30}{20}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{10}{00}$	
Styczeń.....	a	7,9	7,0	8,4	13,4	22,6	35,3	35,8	38,1	60,8	38,4	40,5	46,5
	b	8,0	7,5	8,8	11,4	15,4	28,7	34,3	39,5	61,6	39,0	40,8	40,5
	c	-0,1	-1,4	-0,4	0,5	2,0	0,9	0,3	-0,4	-0,2	-0,3	-0,1	1,3
Luty.....	a	9,7	8,6	9,5	15,5	18,0	39,2	41,1	44,9	72,5	41,5	43,5	49,2
	b	9,2	7,9	9,6	14,3	19,1	31,5	37,1	42,5	62,6	39,7	43,4	45,6
	c	0,6	1,0	-0,1	0,3	-0,2	1,0	0,5	0,4	1,8	0,6	0,0	1,0
Marzec.....	a	9,0	8,4	12,9	25,8	27,9	35,8	31,7	38,4	60,8	39,2	46,1	49,6
	b	10,9	8,7	10,9	17,4	21,9	33,8	36,9	41,0	60,7	37,8	43,3	47,6
	c	-1,7	-0,7	1,3	1,6	1,6	0,3	-0,9	-0,9	0,0	0,5	1,1	0,7
Kwiecień.....	a	13,0	9,2	11,3	13,8	17,1	23,8	23,4	33,7	54,7	34,5	39,1	50,0
	b	12,5	9,9	12,9	18,7	21,7	31,1	34,3	38,9	58,9	37,7	46,8	52,7
	c	0,4	-1,1	-0,7	-0,8	-1,2	-1,4	-2,3	-1,4	-1,2	-1,2	-2,1	-0,7
Maj.....	a	15,0	11,1	12,4	11,0	20,4	25,9	28,4	32,6	50,6	33,6	43,4	51,6
	b	13,3	10,6	12,4	16,7	20,2	27,3	29,2	35,1	54,5	37,2	49,1	55,6
	c	1,5	0,6	0,0	-1,1	0,1	-0,3	-0,2	-1,5	-1,9	-2,2	-2,4	-1,0
Czerwiec.....	a	13,0	9,8	11,5	8,1	11,3	21,5	24,4	32,6	53,0	40,0	53,7	56,3
	b	13,0	10,6	12,5	12,8	16,6	23,6	25,1	31,0	51,9	38,4	51,4	55,5
	c	-0,0	-0,8	-0,7	-1,2	-1,5	-0,5	-0,3	0,9	0,6	0,6	1,3	0,2
Lipiec.....	a	12,5	11,2	14,4	12,0	14,5	22,3	22,4	30,2	51,0	36,9	51,3	50,5
	b	12,8	10,5	12,9	14,7	14,8	20,9	22,9	29,3	50,5	38,3	51,3	54,5
	c	-0,2	1,0	0,9	-0,5	-0,1	0,6	-0,4	0,7	0,2	-1,1	-0,0	-1,1
Sierpień.....	a	12,5	9,9	12,7	8,6	7,3	15,7	22,3	28,1	47,3	39,2	51,0	53,1
	b	12,4	10,2	12,4	11,0	11,5	18,7	23,4	28,8	47,5	36,6	49,4	54,1
	c	0,1	-0,3	0,1	-0,8	-1,9	-0,9	-0,4	-0,4	-0,1	1,0	0,5	-0,4
Wrzesień.....	a	12,3	9,4	10,2	8,2	7,1	14,3	20,9	29,8	48,6	37,3	44,2	48,9
	b	11,2	9,4	10,6	9,0	9,0	17,8	24,3	29,5	47,5	34,4	44,9	49,5
	c	0,8	0,1	-0,4	-0,3	-0,8	-1,0	-1,0	0,2	0,4	1,1	-0,3	-0,2
Październik.....	a	10,0	7,9	11,1	12,8	10,1	18,4	24,3	29,1	46,8	37,5	47,2	48,4
	b	9,5	8,4	9,8	9,2	9,0	16,8	23,6	29,3	47,6	34,1	40,6	44,7
	c	0,6	-0,8	0,9	1,0	0,6	0,4	0,2	-0,1	-0,4	1,3	1,6	1,2
Listopad.....	a	9,0	8,1	10,7	11,7	11,1	22,6	28,1	31,1	53,5	40,3	46,6	42,2
	b	8,2	7,8	8,9	8,7	9,7	19,7	26,3	30,5	50,6	36,2	39,0	39,8
	c	0,9	0,5	1,7	1,0	0,5	0,7	0,5	0,3	1,3	1,9	2,0	0,7
Grudzień.....	a	8,5	7,3	8,6	9,8	11,7	29,6	30,3	31,4	51,0	38,1	38,3	41,7
	b	7,8	7,7	9,0	9,1	11,1	22,4	28,4	33,5	54,4	37,9	39,3	37,2
	c	0,7	-1,0	-0,3	0,3	0,2	1,5	0,5	-0,6	-0,9	0,1	-0,3	1,1

a – średnie miesięczne (D) w 2018 roku.

b – średnie miesięczne wieloletnie (D) z lat 1994-2017.

c – standaryzowane odchylenie:  $(a-b)/\sigma$ , gdzie  $\sigma$  jest odchyleniem standardowym średnich miesięcznych z lat 1994-2017.

## Epizody ubytków ozonu nad Polską i Europą w 2018 roku

Kampanie pomiarowe Match prowadzone od 1994 roku wykazały, że proces niszczenia ozonu odbywa się w izolowanym obszarze chłodnego wiru polarnego po aktywacji chloru na powierzchniach PSC, tylko w oświetlonych przez Słońce szerokościach geograficznych. Rozpad ozonu w stratosferze nad Polską jest obserwowany zimą tylko podczas epizodów przesunięcia arktycznego wiru do umiarkowanych szerokości geograficznych albo w fazie jego rozpadu, gdy zubożone w ozon powietrze polarne zaczyna się mieszać z otaczającym powietrzem umiarkowanych szerokości geograficznych. Amplituda ubożenia warstwy ozonowej w Arktyce jest monitorowana w każdym roku od 1994 r. Całkowita zawartość ozonu mierzona za pomocą ośmiu spektrometrów UV-VIS SAOZ/NDACC rozmieszczonych w Arktyce porównywana jest z symulacjami w trójwymiarowym modelu transportu, w których ozon jest uważany za wskaźnik pasywny. Tą metodą można określić ewolucję dziennej szybkości niszczenia ozonu i amplitudy skumulowanej straty ozonu na koniec zimy. Amplituda zniszczenia waha się od 0-10% w relatywnie ciepłych zimach i krótkim czasie trwania wiru, do 25-39% w zimniejszych i dłuższych zimach. Jednakże, jak pokazuje bezprecedensowe zniszczenie 39% ozonu w sezonie zimy-wiosny 2010/11, strata nie zależy tylko od przedłużenia wiru na wiosnę, ale także od jego siły ograniczającej re-nitryfikację poprzez import azotu z zewnątrz, który jest oceniany przez pomiar całkowitej zawartości NO<sub>2</sub> za pomocą instrumentów SAOZ.

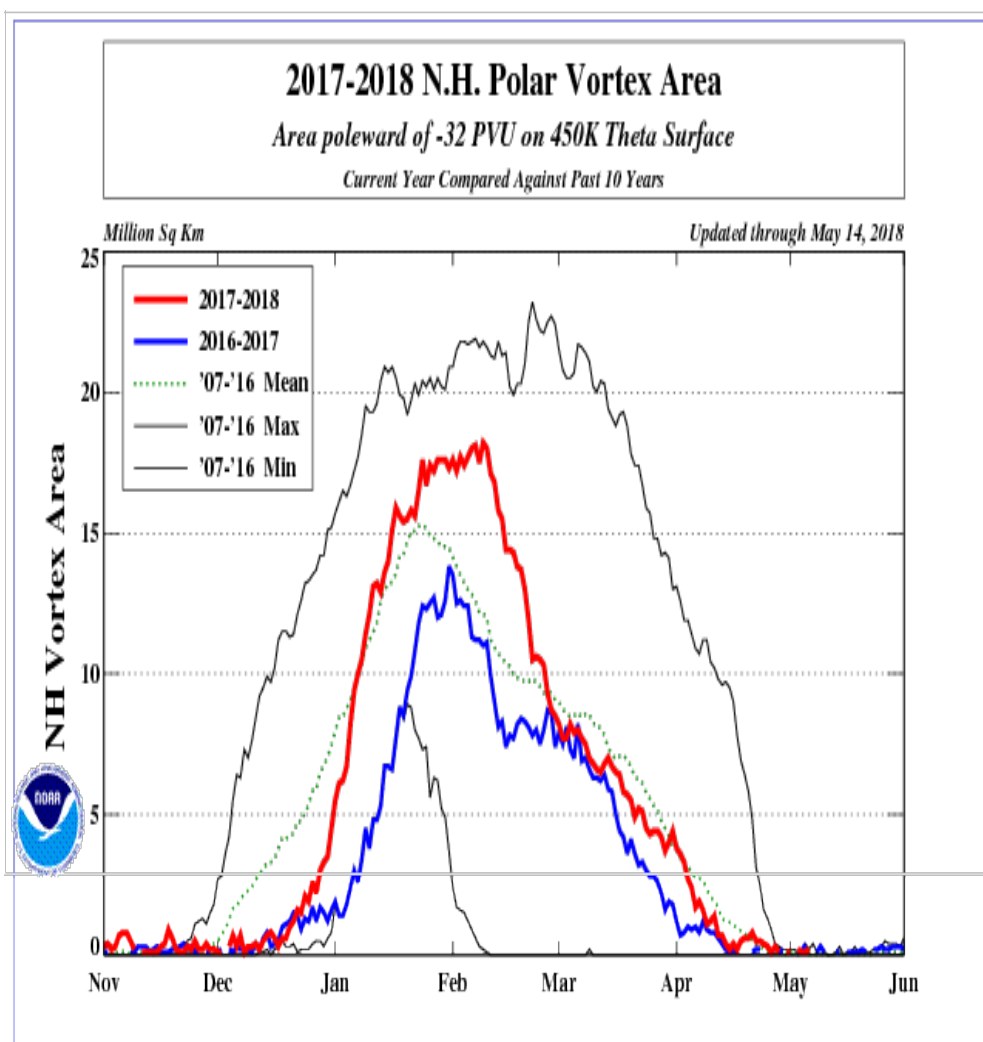
Pierwsza część zimy 2017/18 zapowiadała duży potencjał niszczenia ozonu - niezaburzony wir w Arktyce osiągnął rozmiar większy niż przeciętnie w ostatnich 10 latach (Rys. 2), a PSC na których gromadziły się aktywne formy chloru obejmowały obszar ponad 10 mln km<sup>2</sup> (Rys. 3). W pasie szerokości geograficznych 40-70° N w tym czasie powstały zaburzenia cyrkulacji. Rekordowy strumień ciepła makro-turbulencyjnego (Rys. 4) przyczynił się do wzrostu temperatury wewnątrz wiru. Od początku lutego wir ulegał szybkiej erozji, a do połowy lutego szybko zanikały PSC. Po zaniku PSC proces niszczenia ozonu został zahamowany.

Jak pokazują badania Sagi i in. (2017) na podstawie wieloletnich (2002-2013) obserwacji Odin/SMR ozon może być również niszczone na większych wysokościach w stratosferze, w fotochemicznym cyklu z tlenkami azotu. Wiadomo, że głównym źródłem NO<sub>x</sub> w stratosferze jest produkcja NO przez reakcję N<sub>2</sub>O ze wzbudzonym atomem tlenu O(<sup>1</sup>D), która pojawia się w niskich i umiarkowanych szerokościach geograficznych na wysokości około 30km (Brasseur i Solomon, 2005). Niszczenie ozonu powodowane przez NO<sub>x</sub> może się rozpoczynać jeszcze w czasie zimy i/lub na wiosnę, kiedy słabnie wir polarny i bogate w ozon powietrze z niższych szerokości wchodzi do rejonu polarnego. W sezonie zimy-wiosny 2017/18 import azotu do wnętrza słabnącego wiru został potwierdzony pomiarami tlenków azotu (Goutail i in., 2018).

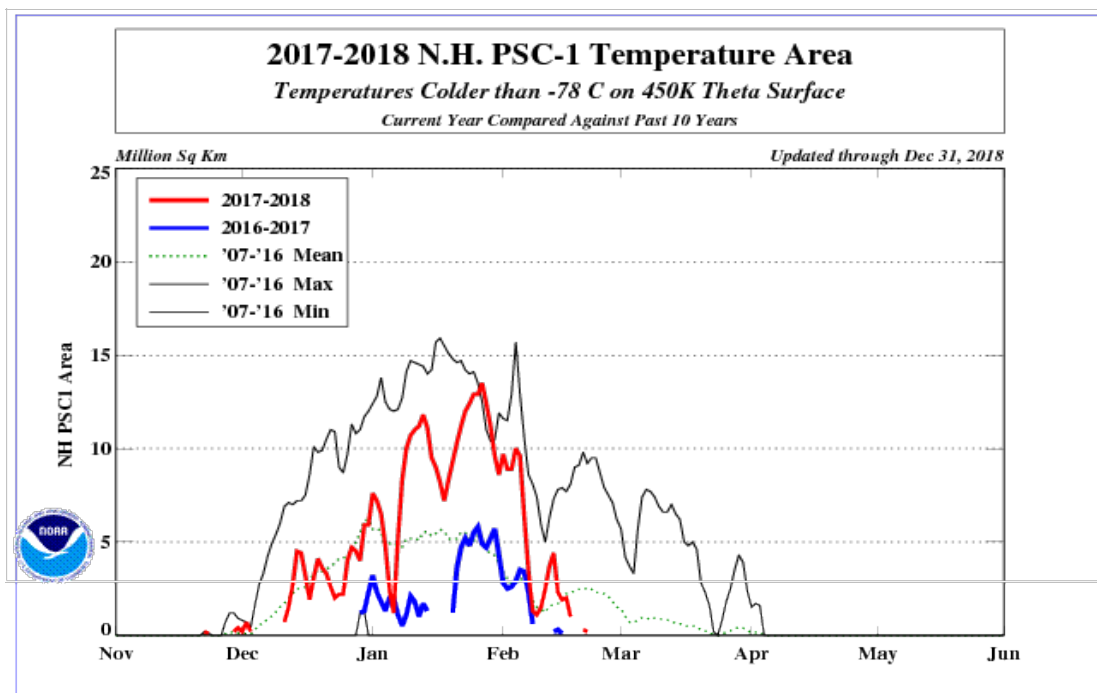
W roku 2018 największe wiosenne ubytki ozonu w stratosferze przemieszczały się nad Polską i Europą w kwietniu i na początku maja. Na mapach procentowych odchyień ozonu od średnich wieloletnich nad półkulą północną spadki sięgały ~20% (Rys. 5). W sondażach nad Legionowem w dniach 18 i 25 kwietnia oraz 9 maja znaleziono ubytki ozonu na różnych wysokościach w stratosferze (Rys. 6). Trajektorie cząstek powietrza docierających nad Legionowo (Rys. 7) wskazywały źródło dla ubytku ozonu w średniej stratosferze w powietrzu przetransportowanym z rejonu Arktyki. Natomiast,

niską zawartość ozonu w dolnej stratosferze i górnej troposferze można przypisać transportowi naturalnie małych koncentracji ozonu w powietrzu uniesionym z dolnej atmosfery ze zwozniczowej części Oceanu Spokojnego.

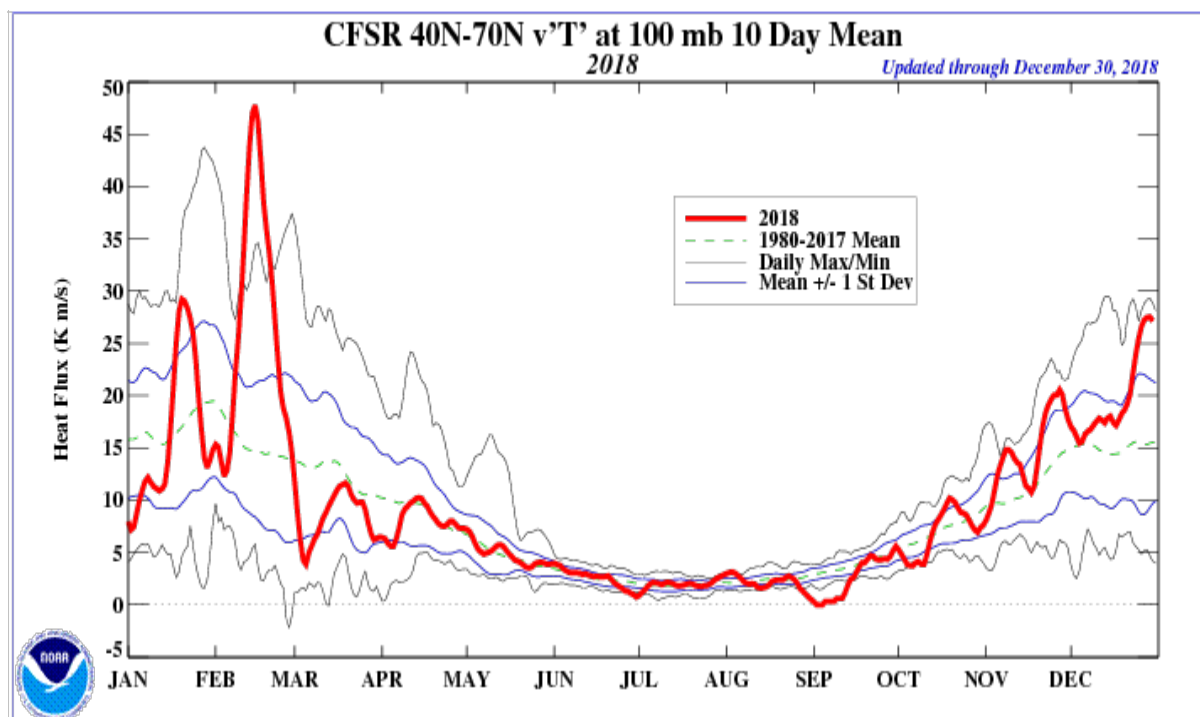
Na początku sierpnia odnotowano spadki ozonu w dwóch warstwach: powyżej 21km w warstwie maksymalnej koncentracji ozonu oraz w warstwie UTLS (Rys. 6b). Trajektoria wsteczna (Rys. 7b) w warstwie maksimum pokazuje ubytek ozonu w masie przetransportowanej z Arktyki a w warstwie UTLS z niskich szerokości geograficznych ~30N. Cechą wspólną wiosennych i letnich ubytków ozonu nad Legionowem w 2018 r. jest stratyfikacja polarnej masy z ubytkiem ozonu w warstwie maksymalnej koncentracji lub powyżej nad masą powietrza subtropikalnego. Słoneczna pogoda w czasie tych epizodów przekłada się na wzrost promieniowania UV docierającego do powierzchni Ziemi. Na sieci IMGW-PIB w czasie tych epizodów odnotowano rekordowe poziomy promieniowania UV-B (Rys. 18).



**Rys. 2.** Powierzchnia arktycznego wiru polarnego w dolnej stratosferze nad półkulą północną w sezonie zimowo-wiosennym 2017/2018, na tle statystyki z ostatnich 10 lat.

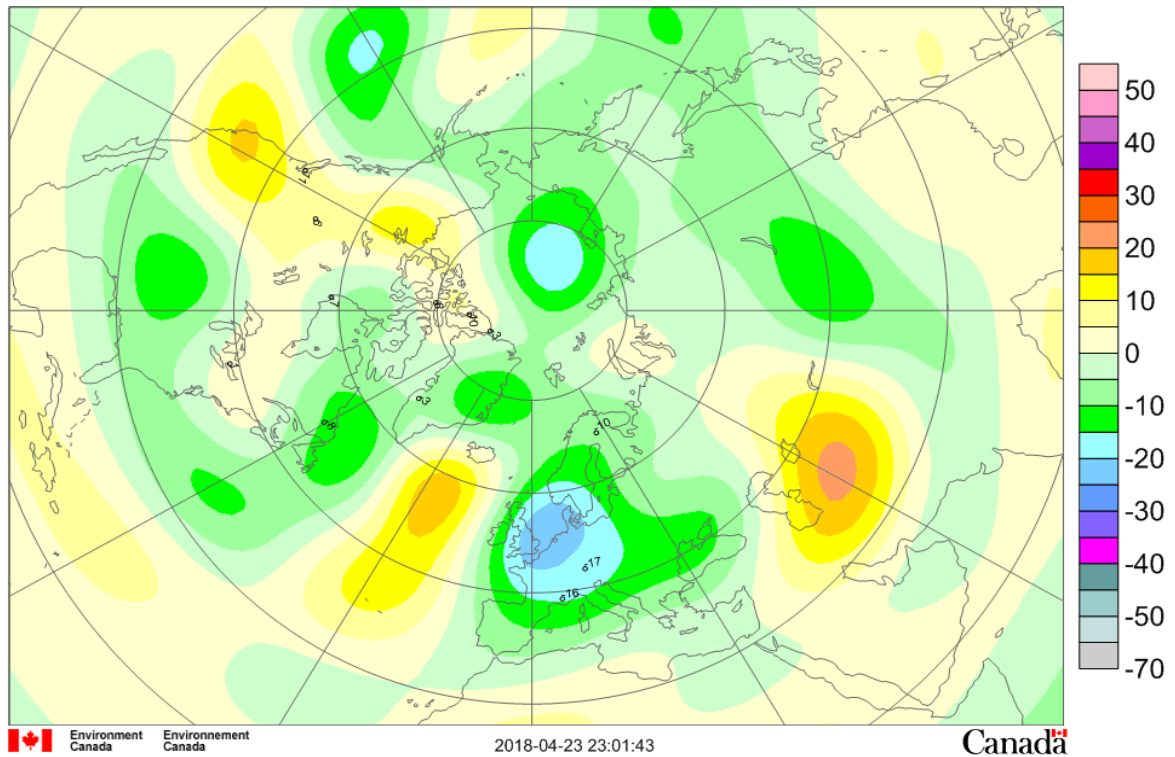


**Rys. 3.** Powierzchnia polarnych chmur stratosferycznych (PSC) nad półkulą północną (w mln km<sup>2</sup>), obliczona na podstawie temperatury poniżej -78°C na powierzchni izentropowej 450K (~19km) w sezonie zimy-wiosny 2017/18, na tle ostatnich 10 lat.

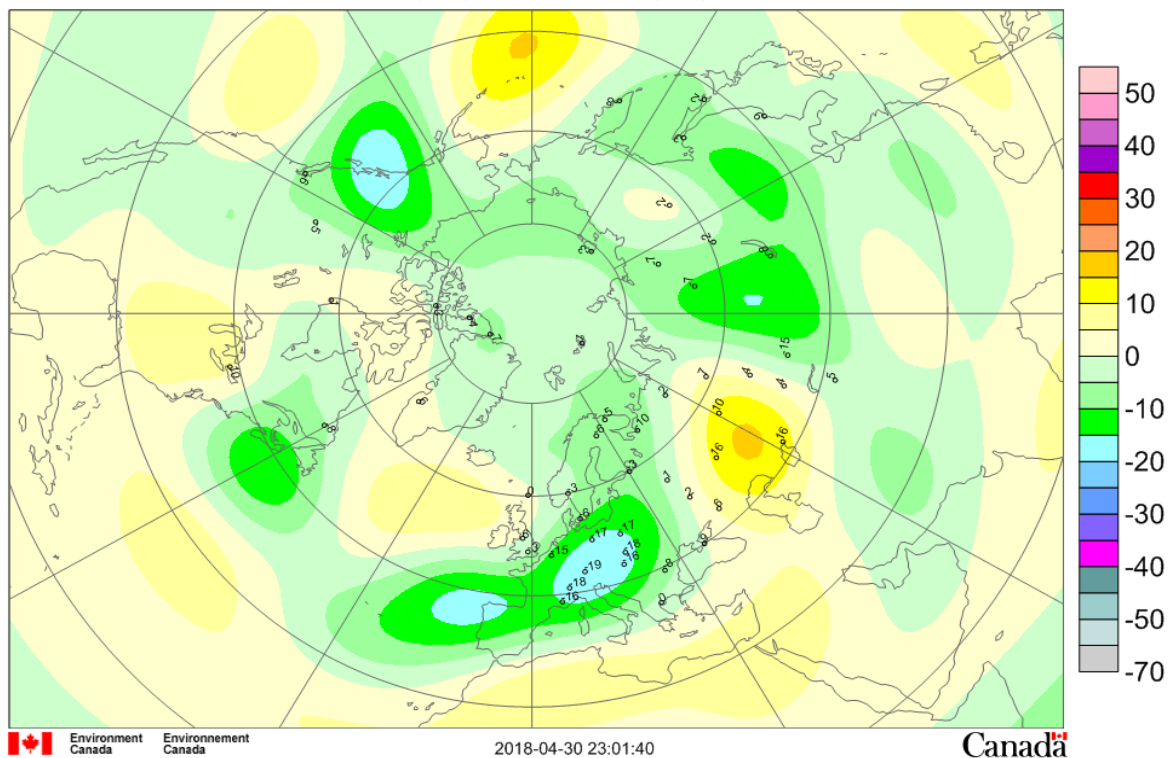


**Rys. 4.** Południkowy strumień ciepła makro-turbulencyjnego na poziomie 100hPa uśredniony w pasie 40N-70N i dla okresów 10-dniowych w 2018 roku, na tle statystyki z ostatnich 10 lat.

## Deviations (%) / Ecart (%) , 2018/04/18

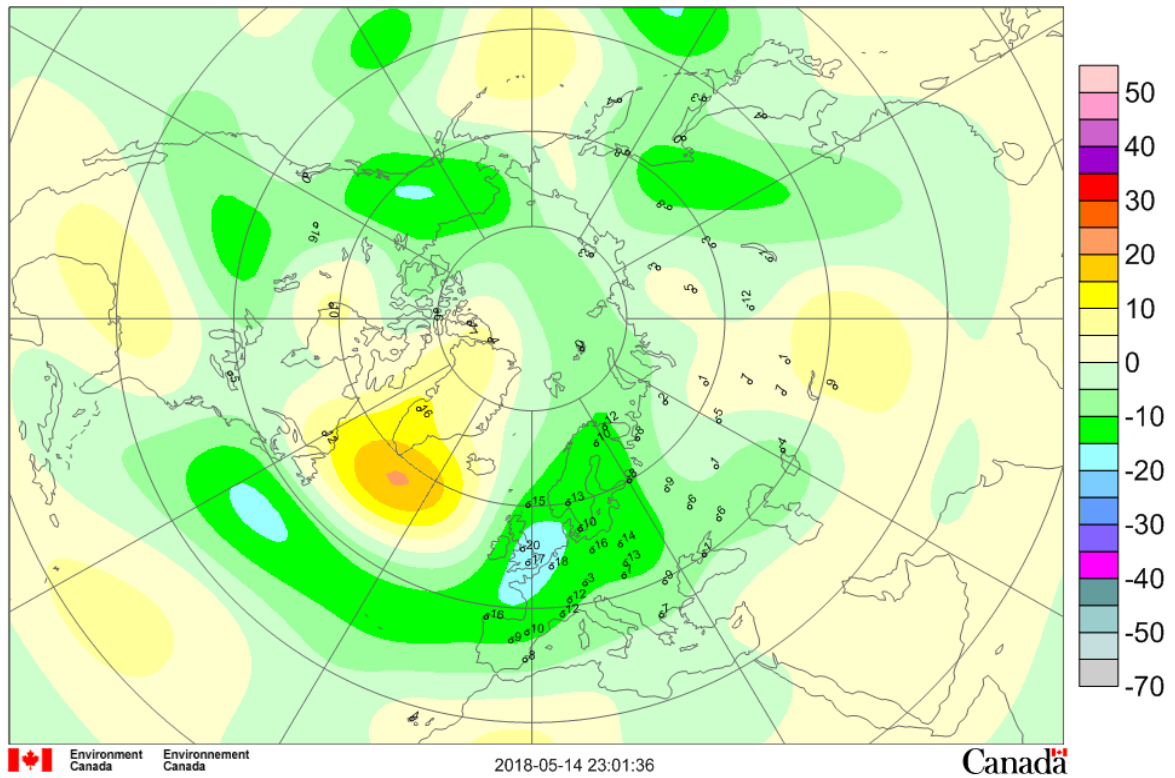


## Deviations (%) / Ecart (%) , 2018/04/25

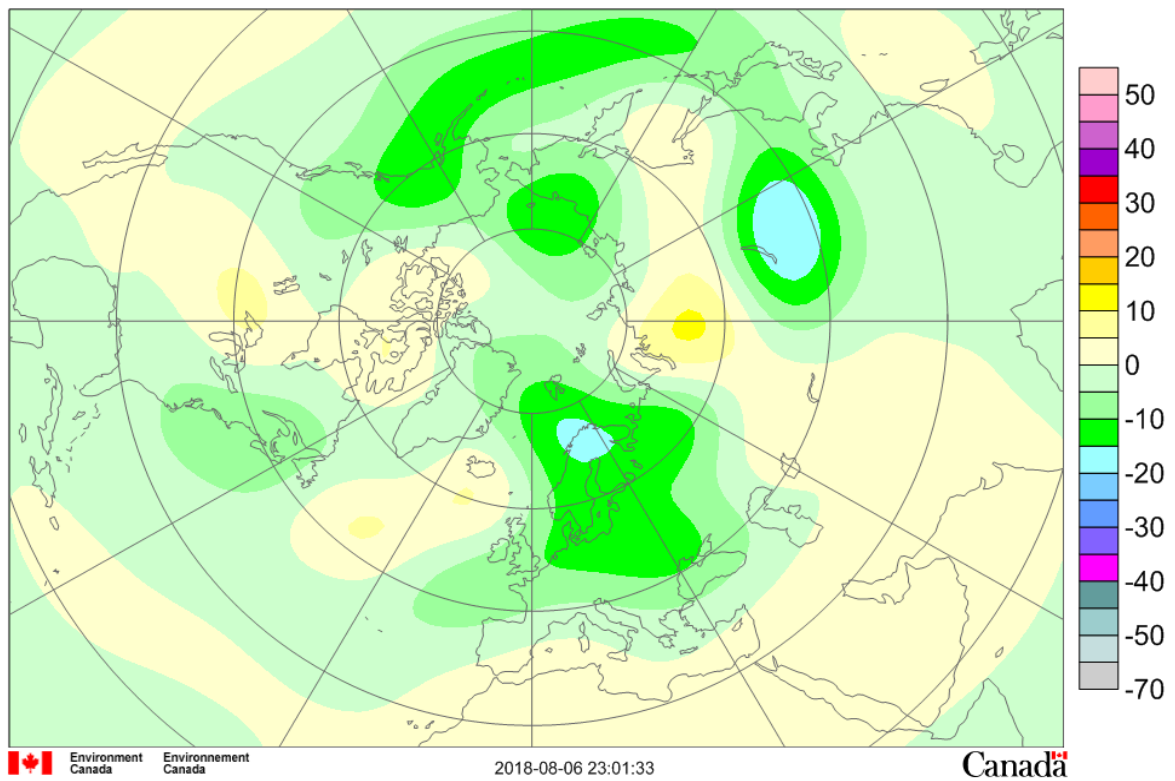


Rys. 5a. Mapy WOUDC procentowych odchyień od średnich dziennych wieloletnich całkowitej zawartości ozonu nad półkulą północną w wybranych dniach ubytków ozonu nad Europą w 2018 r.

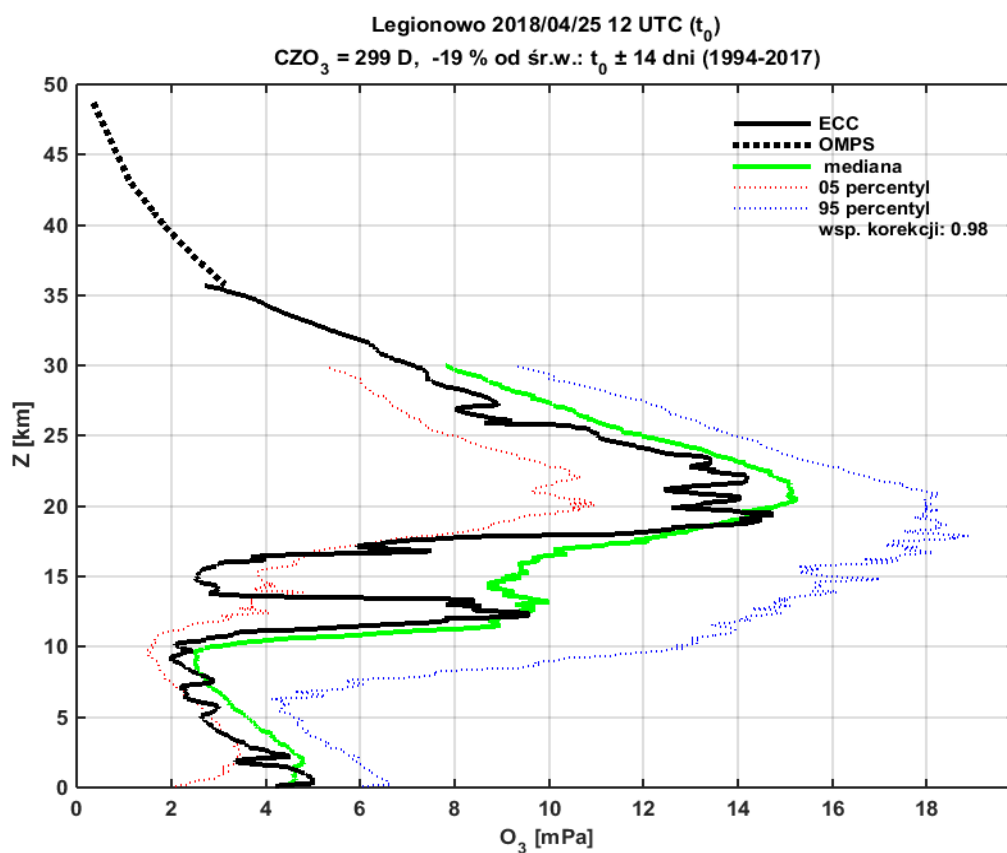
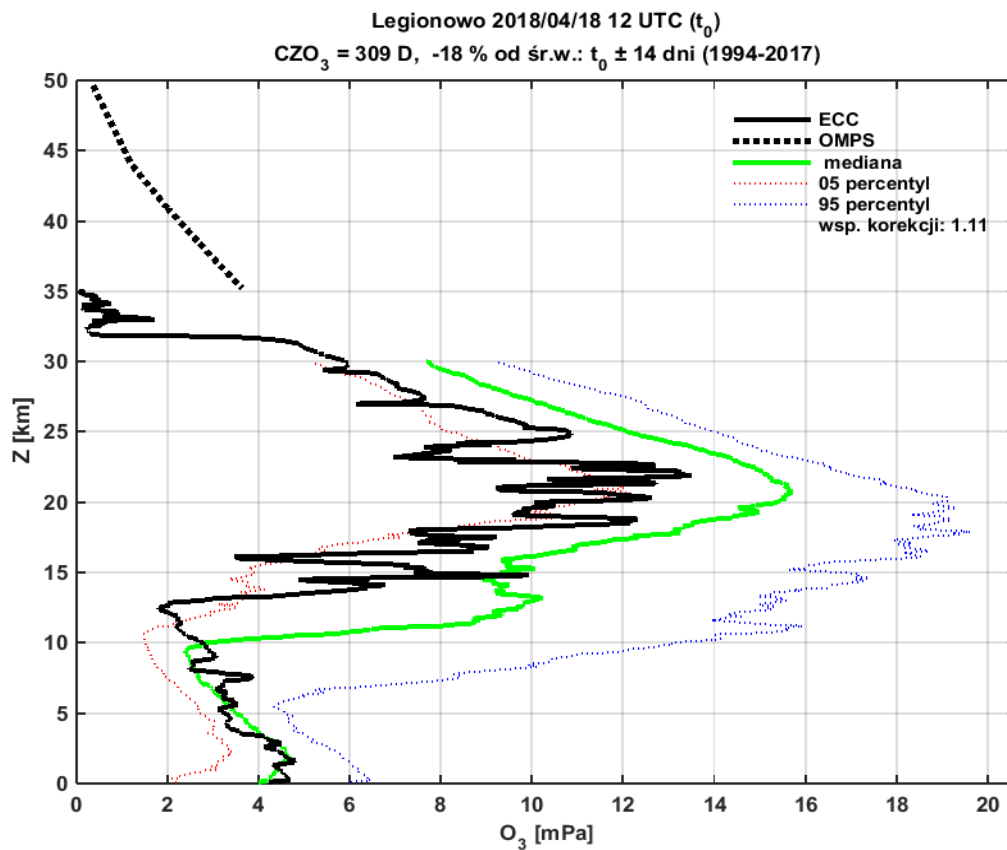
## Deviations (%) / Ecart (%) , 2018/05/09



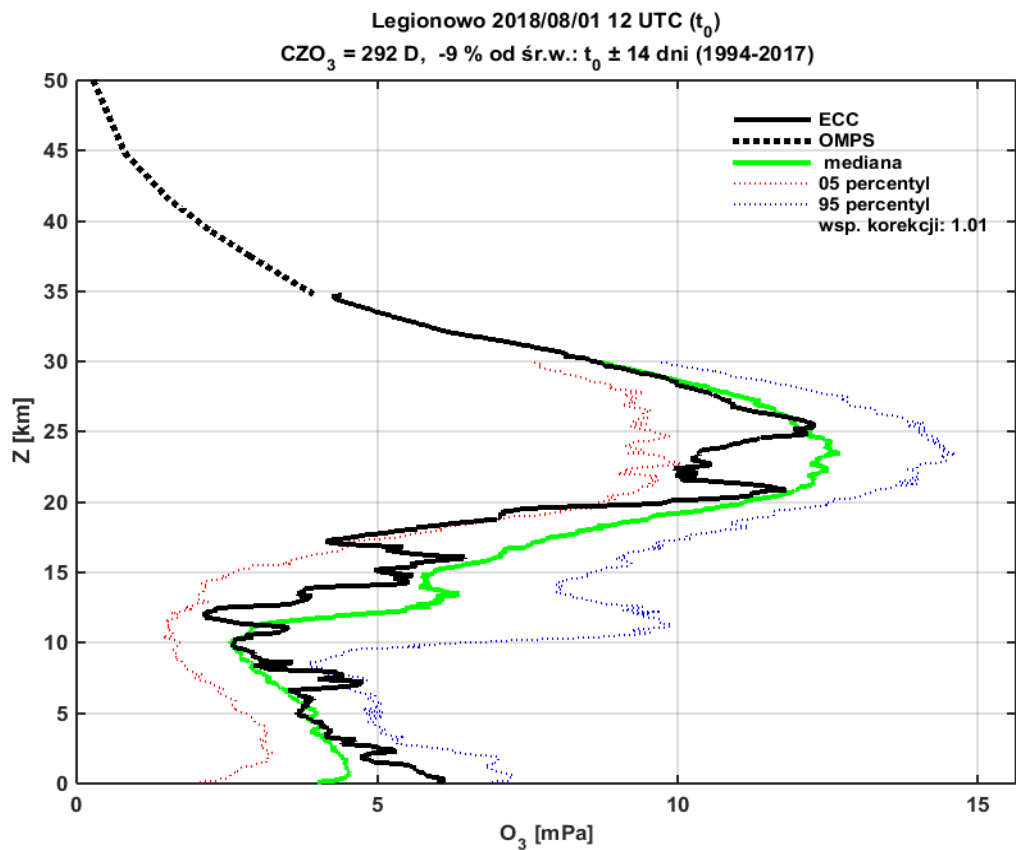
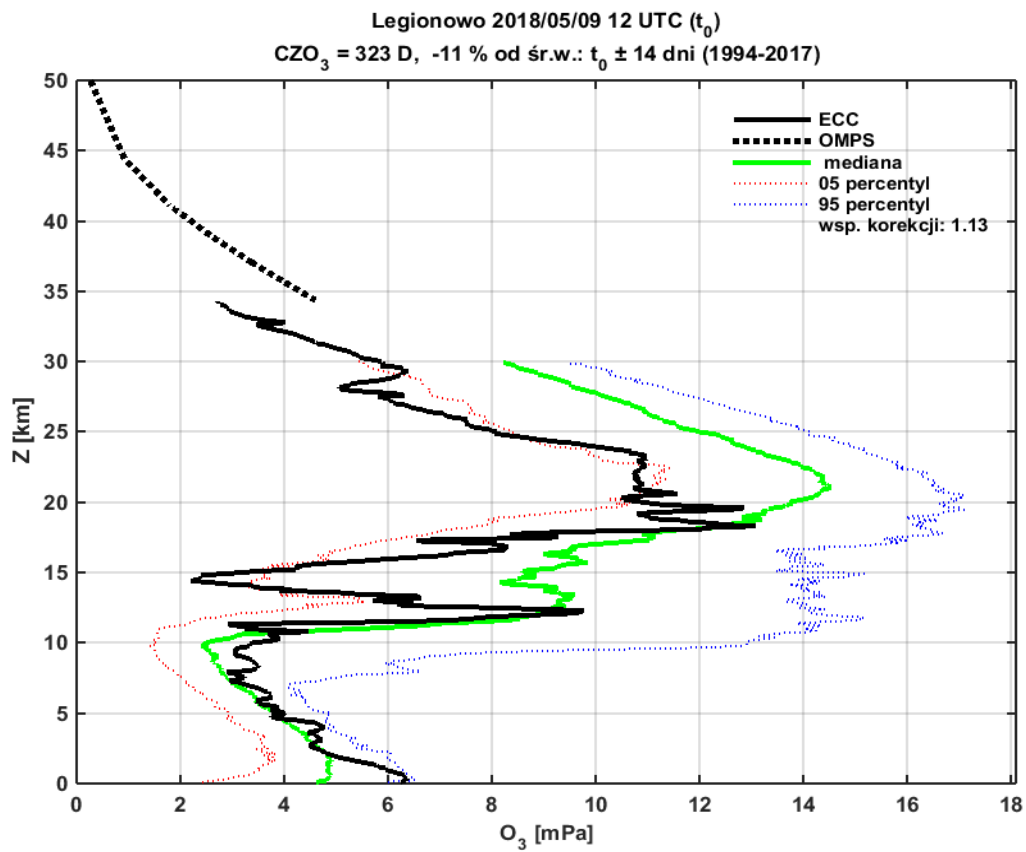
## Deviations (%) / Ecart (%) , 2018/08/01



**Rys. 5b.** Mapy WOUDC procentowych odchyień od średnich dziennych wieloletnich całkowitej zawartości ozonu nad półkulą północną w wybranych dniach ubytków ozonu nad Europą w 2018 r.

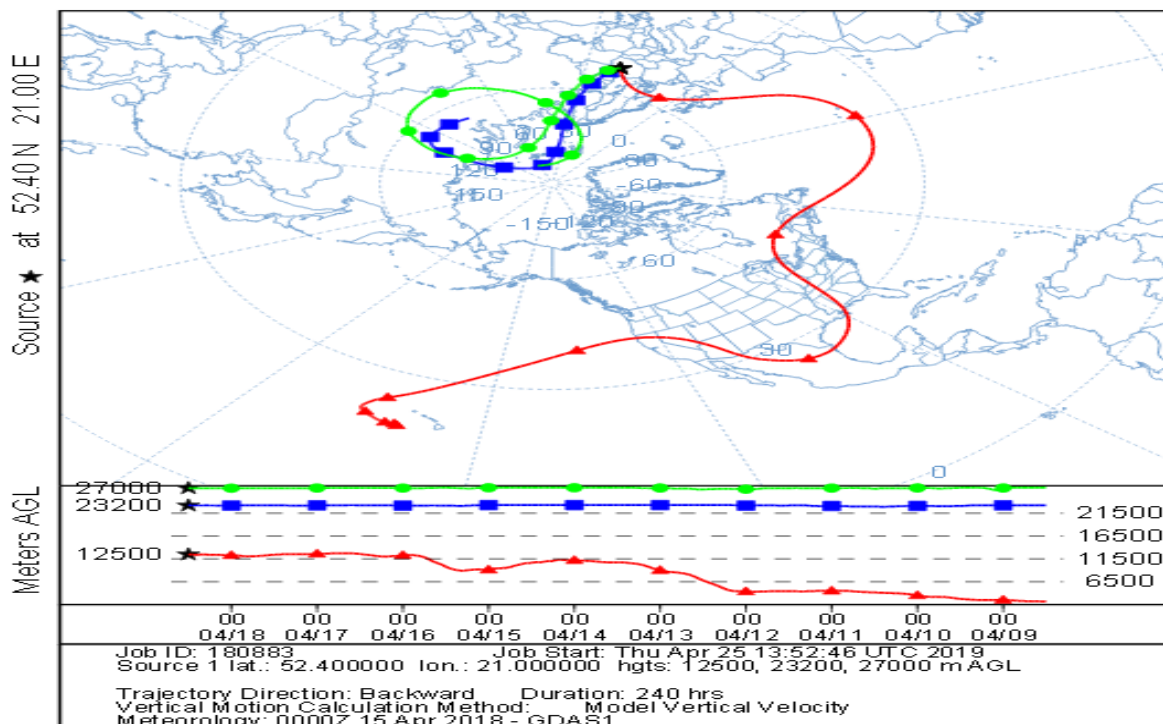


Rys. 6a. Epizody ubytków ozonu nad Legionowem w 2018 r.

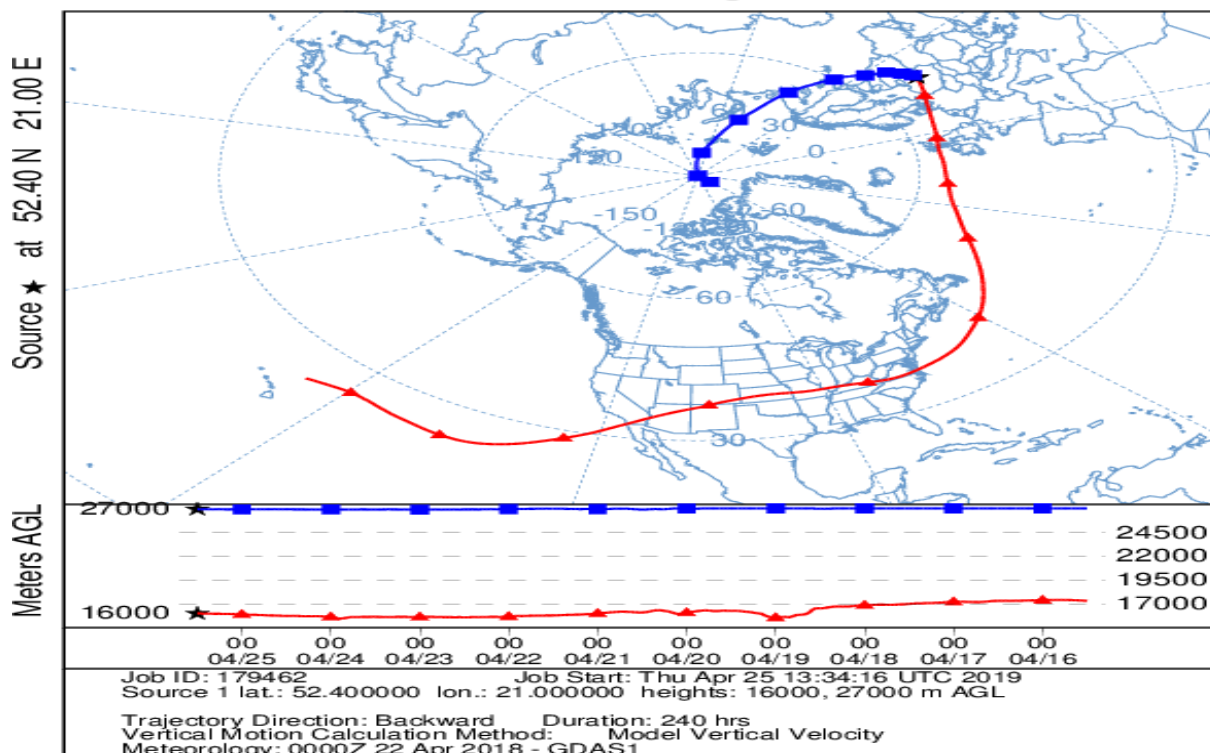


Rys. 6b. Epizody ubytków ozonu nad Legionowem w 2018 r.

NOAA HYSPLIT MODEL  
**Backward trajectories ending at 1200 UTC 18 Apr 18**  
 GDAS Meteorological Data



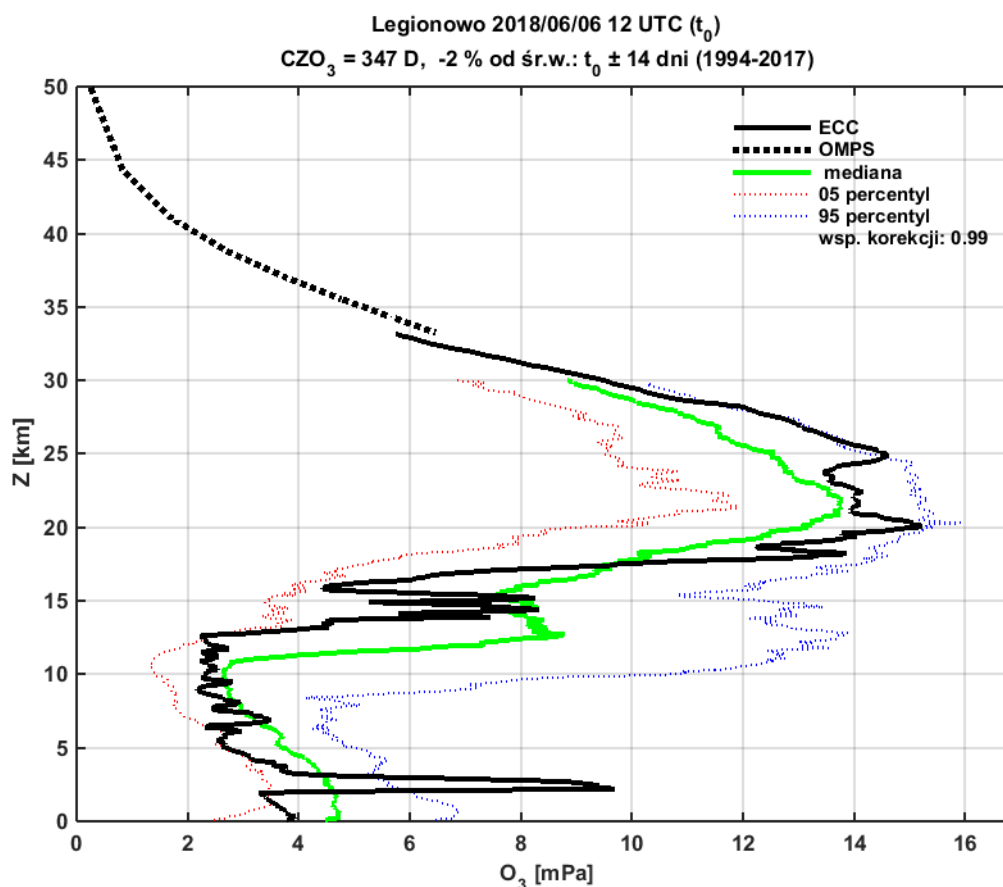
NOAA HYSPLIT MODEL  
**Backward trajectories ending at 1200 UTC 25 Apr 18**  
 GDAS Meteorological Data



**Rys. 7a.** Wsteczne trajektorie w modelu HYSPLIT NOAA dla cząstek powietrza docierających w rejon anomalii ozonu nad Legionowem w wybranych dniach.

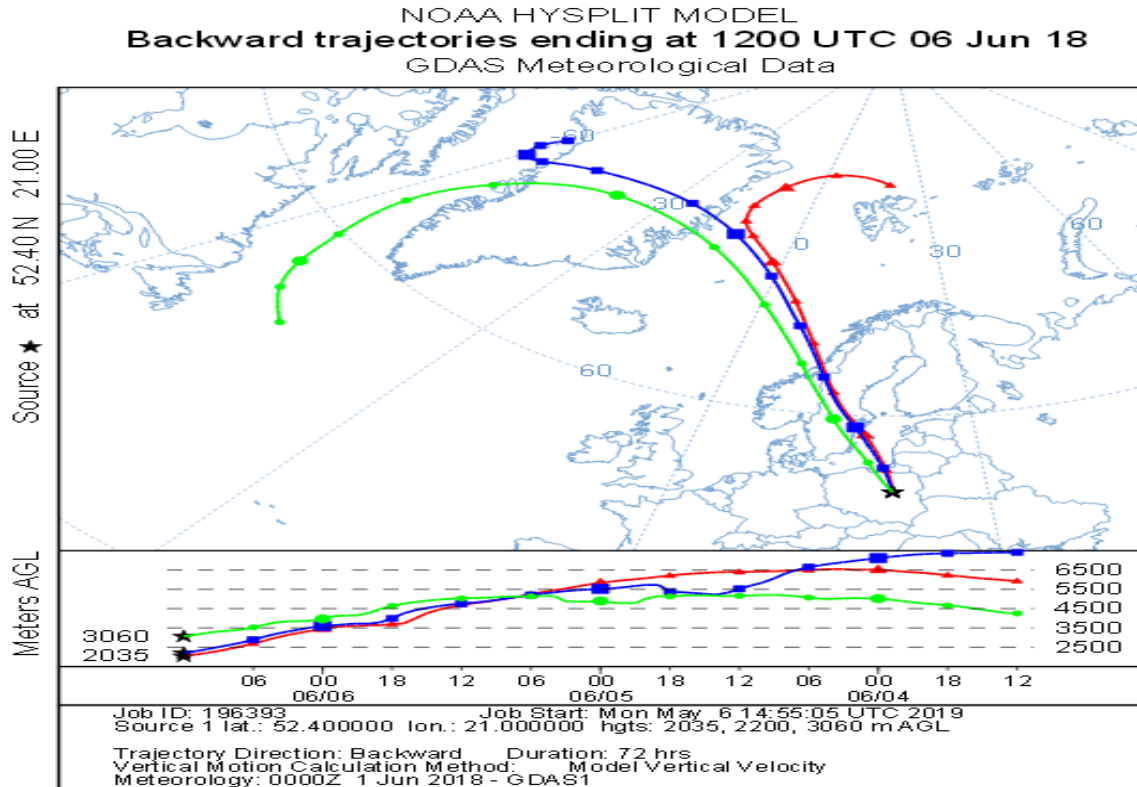


## Epizod głębokiej intruzji ozonu stratosferycznego



**Rys. 8.** Sondaż ozonowy w Legionowie 6 czerwca 2018 r.

Nieodwracalne przenikanie powietrza stratosferycznego do troposfery przypisuje się głównie mieszaniu dyfuzyjnemu związanemu z fałdowaniem tropopauzy i nie-adiabaticzną wymianą ciepła w dolnej troposferze. Danielsen już w 1968 roku zwrócił uwagę, że fałdowanie tropopauzy może niekiedy prowadzić do wtargnięcia powietrza stratosferycznego wraz z ozonem nawet do powierzchni Ziemi. W sondażach ozonowych w Legionowie od 1979 roku zaobserwowano zaledwie kilka przypadków głębokich intruzji stratosferycznych, ale nigdy intruzja nie dotarła do powierzchni Ziemi. W dniu 6 czerwca 2018 r. odnotowano ekstremalne stężenie ozonu w dolnej troposferze (Rys. 8). Na wysokości 2200m n.p.m. stosunek zmieszania ozonu wynosił 125ppb ( $\sim 250\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Zaleca się by w sytuacjach alarmowych (poziom ozonu  $> 240\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) unikać przebywania na otwartej przestrzeni, a przynajmniej zrezygnować z aktywności fizycznej, pozostawać w pomieszczeniach zamkniętych. Na przekroczenia stężenia ozonu szczególną uwagę zwracać powinny osoby cierpiące na choroby górnych dróg oddechowych i układu krążenia, osoby starsze, dzieci, i kobiety w ciąży. Wyznaczono trajektorie wsteczne (Rys. 9) cząstek powietrza przechodzących nad Legionowem w czasie anomalii na wysokości 2200m oraz na dwóch poziomach, wyżej i niżej, gdzie stężenie było równe połowie wartości maksymalnej. Widać, że środek masy powietrza o najwyższym stężeniu ozonu przechodził 3 dni wcześniej nad Grenlandią na wysokości  $\sim 7500\text{m}$  n.p.m.



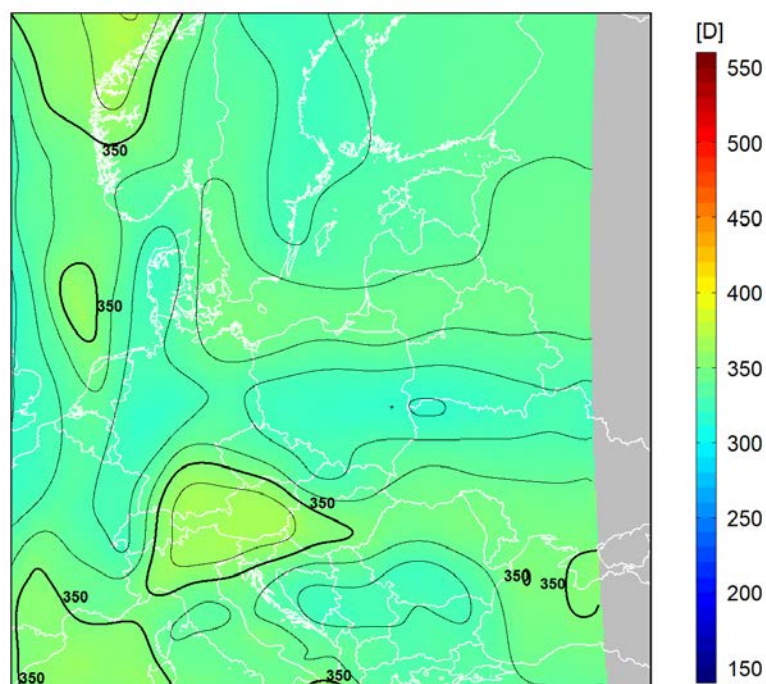
**Rys. 9.** Trajektorie wsteczne w modelu HYSPLIT NOAA dla cząstek powietrza docierających w rejon anomalii ozonu nad Legionowem w dniu 6 czerwca 2018r.

#### 2.4 Ozon całkowity z danych satelitarnych nad Europą Środkową w 2018 roku

Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2018 roku był prowadzony z wykorzystaniem danych z czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) znajdującego się na pokładzie satelity meteorologicznego Suomi NPP (S-NPP). Całkowita zawartość ozonu wyznaczana była za pomocą oprogramowania OMPSNADIR\_SPA V.1.0.1 przygotowanego przez NASA, Direct Readout Laboratory, GODDARD SPACE FLIGHT CENTER, (<https://directreadout.sci.gsfc.nasa.gov>) i wdrożonego do pracy operacyjnej w Dziale Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB. Oprogramowanie to pozwala na wyznaczanie z danych OMPS takich parametrów jak: całkowita zawartość ozonu, profil ozonu dla punktów pod-satelitarnych, promieniowanie UV dla długości fali 331nm, całkowita zawartość SO<sub>2</sub> (tylko w niezachmurzonych punktach obrazu) oraz UV Aerosol Index. Pakiet generuje pliki wyjściowe w formacie HDF5 oraz obrazy w formacie PNG pozwalające na szybki podgląd wyników. Pola całkowitej zawartości ozonu wygenerowane z danych OMPS/SNPP były następnie przekształcane do regularnej siatki współrzędnych. Wybrano siatkę współrzędnych geograficznych w zakresie 40°-64° szerokości geograficznej północnej i 10°-28° długości geograficznej wschodniej z krokiem 0,25°. Interpolację przestrzenną wykonano metodą Natural Neighbour. Na Rysunku 10 przedstawiono przykładowy rozkład całkowitej zawartości ozonu w dniu ubytku ozonu nad Legionowem 9 maja 2018 r. (Rys. 6b).

2018-05-09 godz. 11:53:13 - 12:00:20 UTC

Całkowita zawartość ozonu ( $O_3$ ) w kolumnie atmosfery

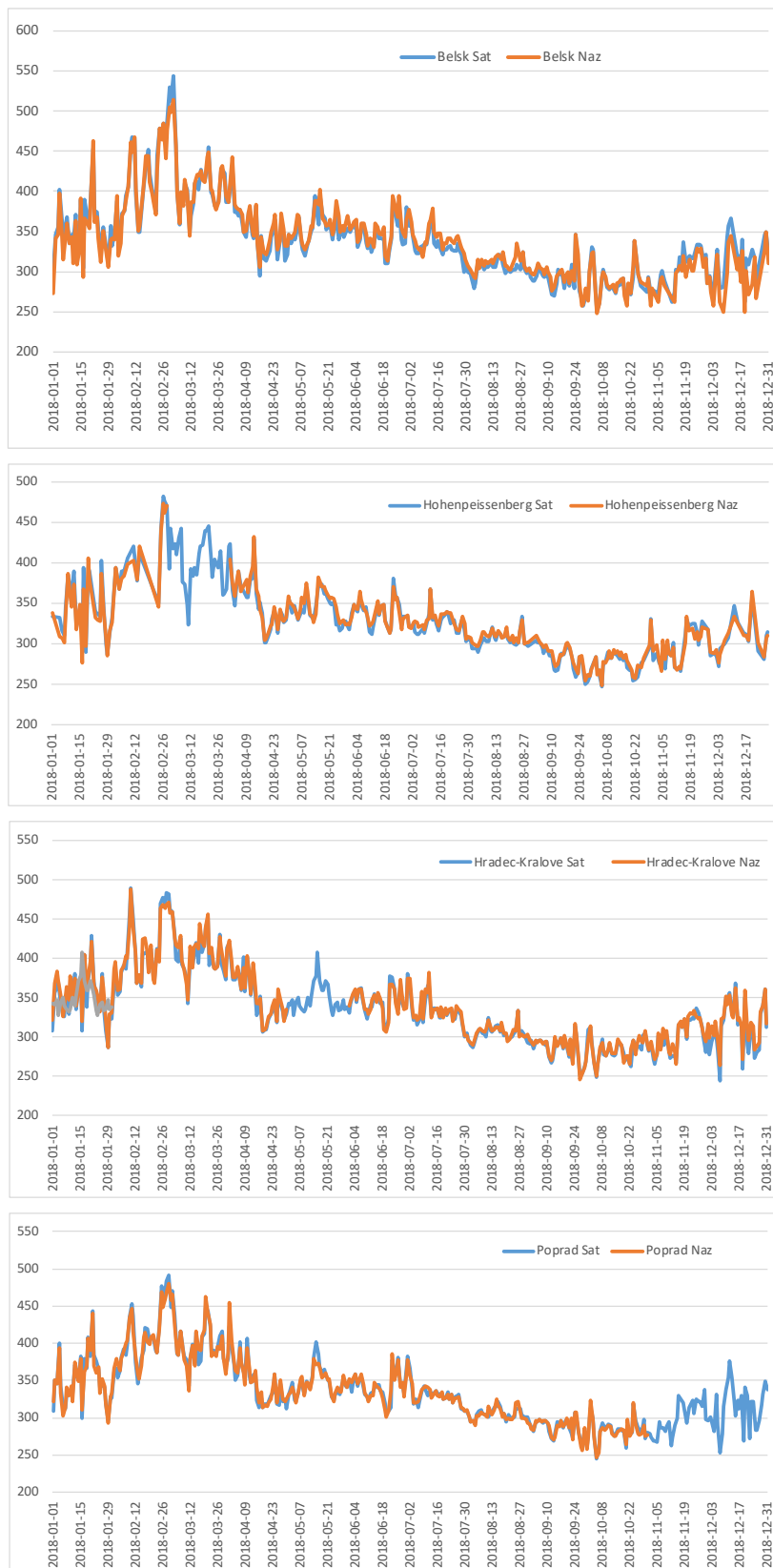


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

**Rys. 10.** Całkowita zawartość ozonu (D) w dniu 9 maja 2018, wyznaczona z danych OMPS/SNPP.

W 2018 roku nie było większych problemów z odbiorem danych satelitarnych i mapy rozkładu całkowitej zawartości ozonu nad Europą Środkową były generowane codziennie.

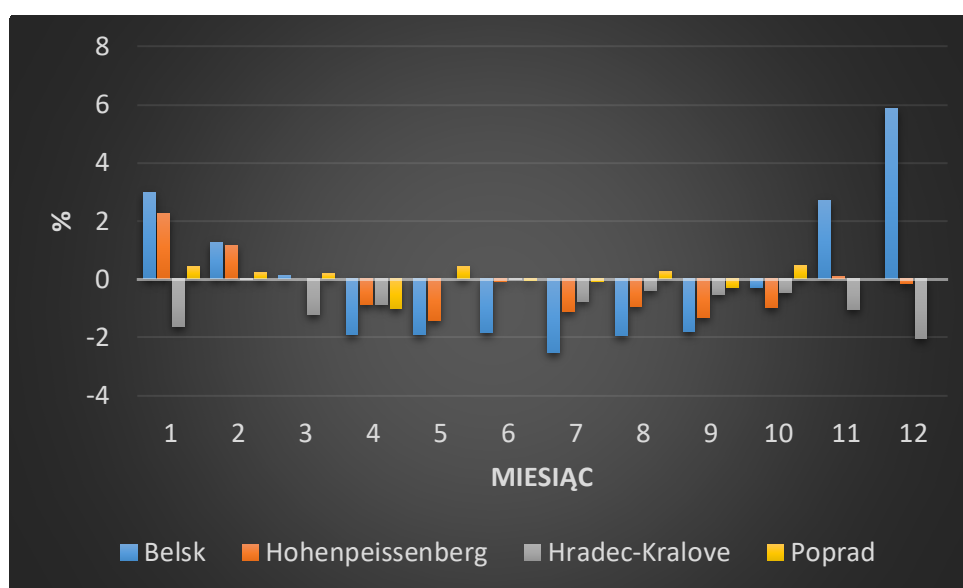
**Weryfikacja dokładności całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych odbywa się poprzez porównanie z pomiarami naziemnymi. Porównanie takie przeprowadzone zostało dla czterech stacji z obszaru Europy Środkowej, które znajdują się w obrębie każdej transmisji SNPP odbieranej w Dziale Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB w Krakowie. Stacje te to: Belsk (21°E, 52°N), Hohenpeissenberg (11°E, 47,8°N), Hradec-Kralove (15,8°E, 50,2°N) oraz Poprad Ganovce (20,3°E, 49°N). Wszystkie dane naziemne wykorzystane do weryfikacji zostały pobrane ze Światowego Centrum Danych Ozonowych i UV znajdującego się w Toronto (Kanada) ([www.woudc.org](http://www.woudc.org)). Na Rysunku 11 przedstawiono przebiegi krzywych całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z satelitarnych danych i zmierzonej spektrofotometrem dla wymienionych wyżej stacji w roku 2018. Kolorem pomarańczowym oznaczono krzywą uzyskaną na podstawie pomiarów wykonanych spektrofotometrem, a niebieskim – satelitarnych.**



**Rys. 11.** Całkowita zawartość ozonu wyznaczona dla Belska, Hohenpeissenberga, Hradec-Kralove oraz Popradu z danych satelitarnych OMPS/SNPP (linia niebieska) oraz zmierzona spektrofotometrem (linia pomarańczowa) w roku 2018.

Przedstawione na Rysunku 11 krzywe całkowitej zawartości ozonu charakteryzuje podobna zmienność roczna, z widocznym spadkiem zawartości ozonu jesienią i jej wzrostem wiosną. Na podkreślenie zasługuje również bardzo dobra zgodność zmienności dobowej całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych oraz zmierzonej na stacjach. Widoczne na Rysunku 11 braki danych naziemnych o całkowitej zawartości ozonu w marcu dla stacji Hohenpeissenberg, w maju dla stacji w Hradec-Kralove oraz w listopadzie i grudniu dla stacji Poprad spowodowane są brakiem tych danych w bazie WOUDC.

Zgodność całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych z pomiarami naziemnymi w skali miesiąca określono za pomocą procentowych różnic pomiędzy średnimi miesięcznymi wartościami całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych oraz zmierzonej na stacji (Rys. 12).



**Rys. 12.** Rozkład procentowych różnic pomiędzy średnimi miesięcznymi wartościami całkowitej zawartości ozonu wyznaczonych dla Belska, Hohenpeissenberga, Hradec-Kralove i Popradu z danych satelitarnych OMPS/SNPP oraz z pomiarów naziemnych w roku 2018.

Można zauważyć, że dla większości badanego okresu wykorzystanie danych satelitarnych OMPS/SNPP prowadzi do zaniżania całkowitej zawartości ozonu dla wszystkich stacji z wyjątkiem Popradu, dla którego zanotowano niewielkie dodatnie wartości różnicy dla 6 z 10 analizowanych miesięcy. Wartości liczbowe różnic mieszczą się w przedziale od -2,5% (lipiec Belsk) do 5,9% (grudzień Belsk).

W celu określenia dokładności metody wyznaczania zawartości ozonu z danych satelitarnych OMPS/SNPP, obliczono średnią różnicę pomiędzy całkowitą zawartością ozonu wyznaczoną z danych satelitarnych i naziemnych, średnią różnicę bezwzględną, korelację oraz błąd procentowy metody. Obliczenia wykonano na podstawie wartości dobowych dla 2018 roku. Wyniki przedstawione zostały w Tabeli 7.

**Tabela 7.** Wyniki porównania pomiędzy ozonem wyznaczonym z danych OMPS/SNPP i zmierzonych spektrofotometrem w 2018, dla stacji Belsk, Hohenpeissenberg, Hradec-Kralove oraz Poprad Ganovce.

	Korelacja	Średnia różnica [D]	Średnia różnica bezwzględna [D]	RMSE %
Belsk	0,98	-0,62	8,28	3,22
Hohenpeissenberg	0,98	-1,35	5,50	2,27
Hradec-Kralove	0,99	-2,84	5,49	3,0
Poprad	0,99	0,13	5,03	2,28

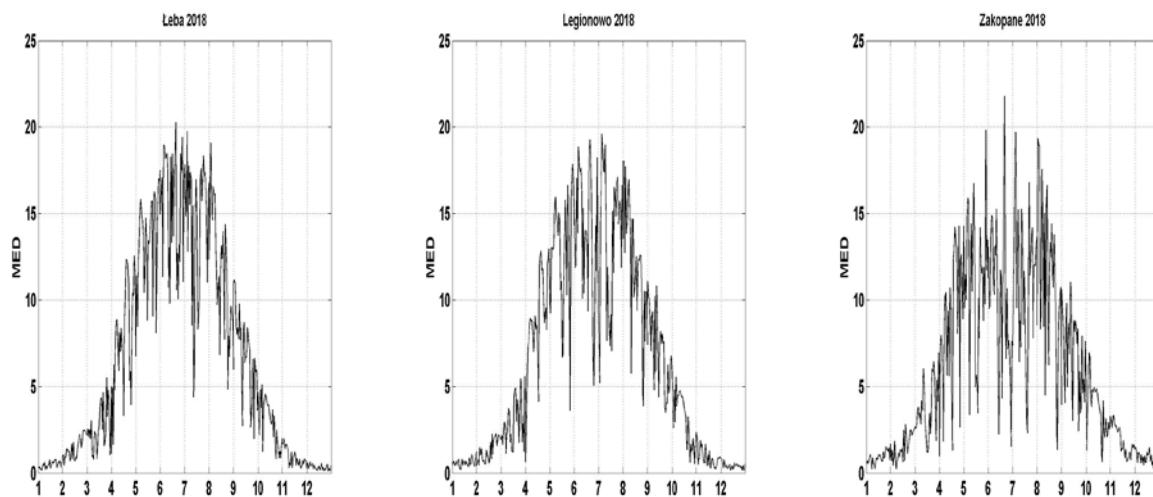
Dla wszystkich trzech stacji zgodność całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych OMPS z pomiarami naziemnymi jest bardzo dobra – średni błąd procentowy waha się w granicach od 2,27% do 3,22%. Na uwagę zasługuje również bardzo wysoka korelacja, która dla wszystkich stacji jest bliska 1.

## 2.5 Promieniowanie UV-B zmierzone na sieci monitoringu w 2018 roku

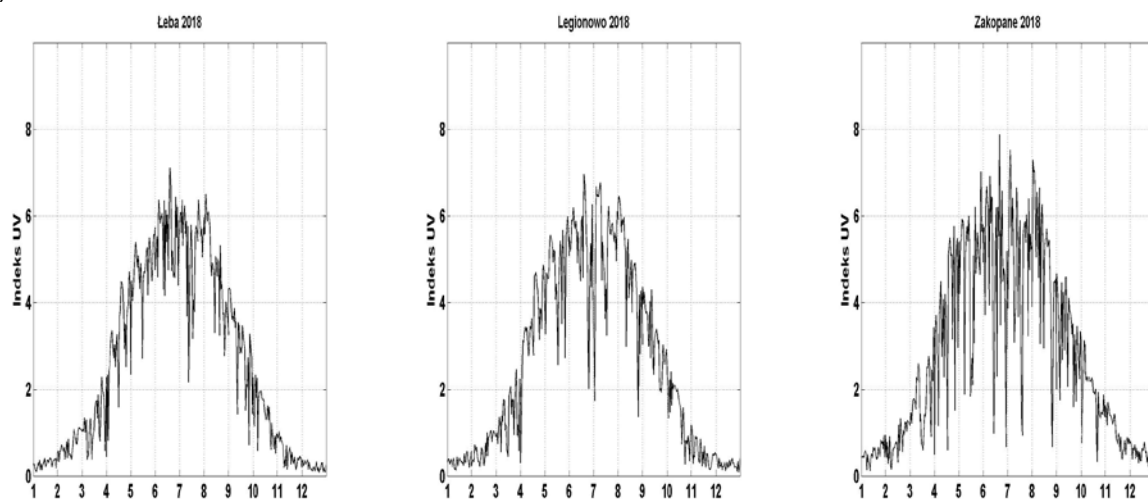
Pomiary promieniowania czynnego promieniowania UV-B wykonywane są w sieci monitoringu IMGW-PIB od połowy 1993 r. z wykorzystaniem przyrządów UV Biometer Model 501 (SL501) firmy Solar Light, zainstalowanych na stacjach w Łebie, Legionowie i Zakopanem.

Poniżej przedstawiono wartości dawek dziennych UV-B [MED] i Indeksu UV zmierzone na stacjach IMGW-PIB w 2018 roku (Rys. 13).

a)



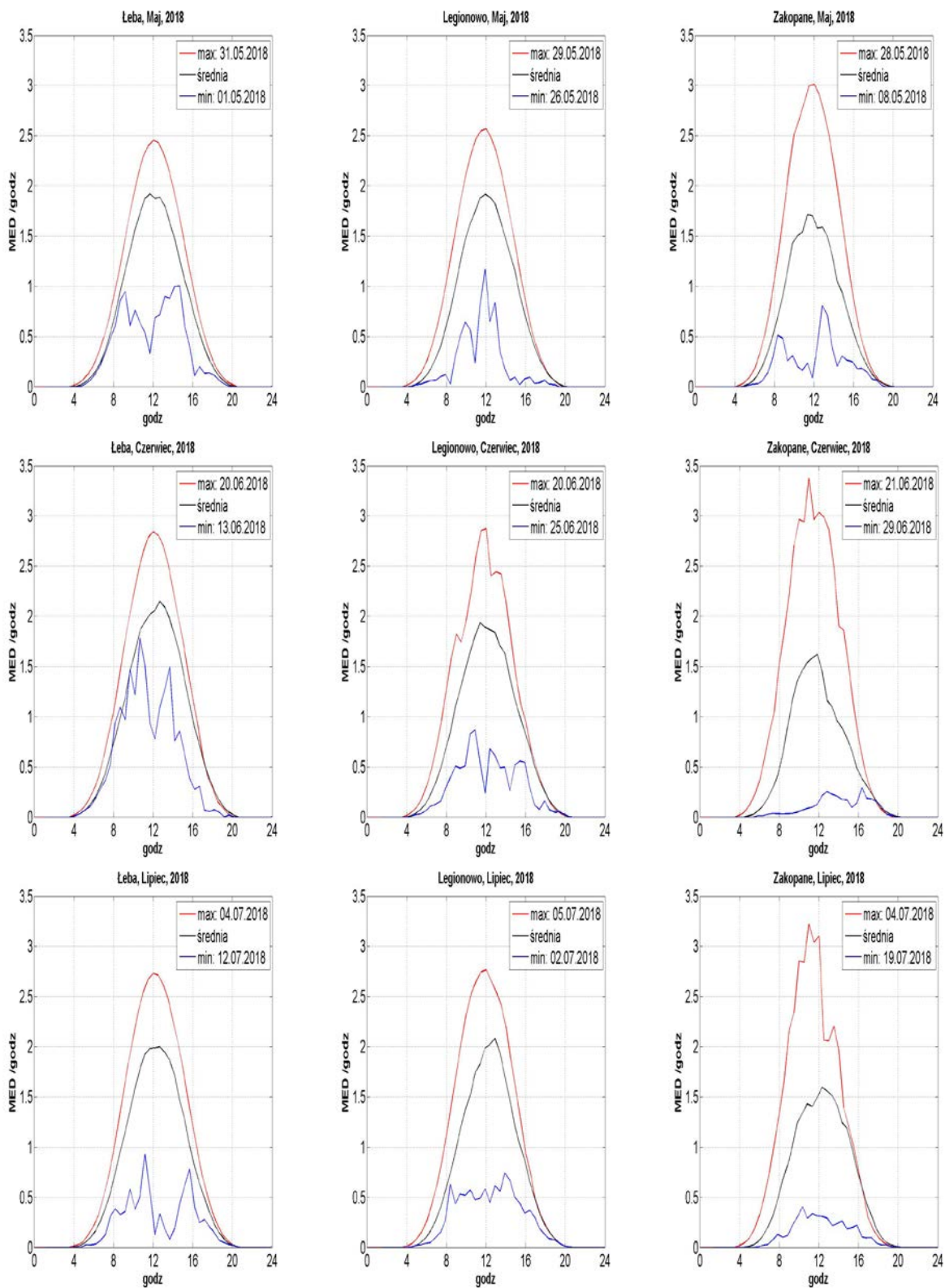
b)



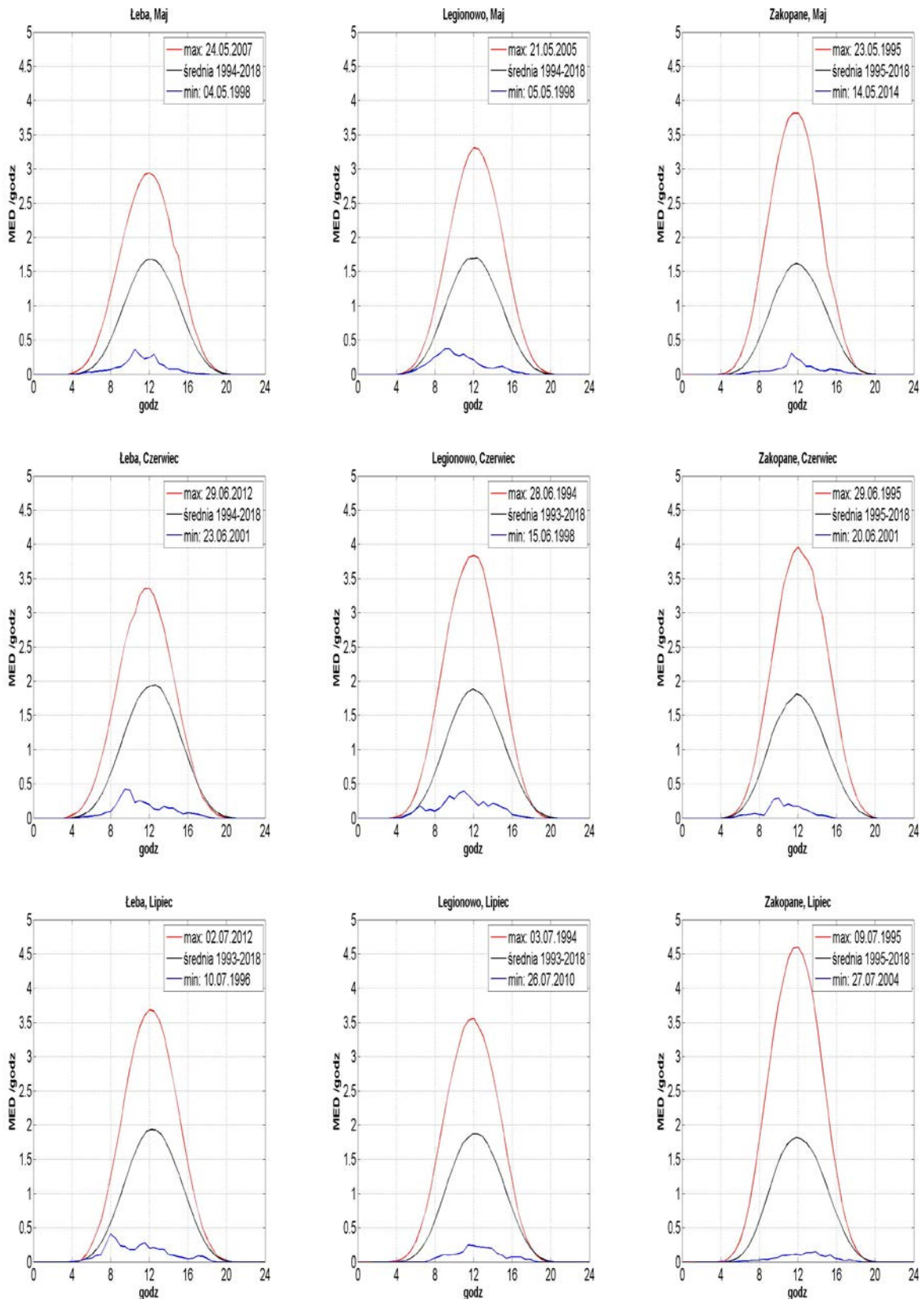
**Rys. 13.** Wartości dawek dziennych UV-B [MED] (a) i Indeksu UV (b) z czujników SL501 w Łebie, Legionowie i Zakopanem w 2018 r.

Stacje monitoringu UV-B w IMGW-PIB ułożone są południkowo. Gdyby nie zróżnicowanie ilości chmur, ozonu i aerozoli, ilość promieniowania UV-B docierającego do powierzchni Ziemi powinna być największa dla stacji Zakopane a najmniejsza dla Łeby. Widać to porównując przebiegi z maksymalnymi dawkami dobowymi (Rys. 14), które odpowiadają sytuacjom bezchmurnego nieba z małą ilością ozonu i aerozoli. Południkowy rozkład wielkości promieniowania UV można zwykle zauważyć porównując średnie dzienne w poszczególnych miesiącach dla trzech stacji. Efekt taki można zaobserwować dla stycznia i marca oraz pod koniec roku od października do grudnia. W okresie letnim, rozkład południkowy jest najczęściej odwrotny, gdzie najmniej promieniowania obserwuje się w Zakopanem. Widoczne jest to dla średnich miesięcznych od maja do lipca (Tabela 8 i Rys. 14). Wynika to z faktu, że wraz z nadejściem okresu ciepłego zaczynają rozwijać się procesy konwekcyjne sprzyjające powstawaniu chmur. Widać to także na przebiegach średnich wieloletnich (Rys. 15). W lutym 2018 r. wystąpił nietypowy rozkład geograficzny promieniowania, z minimum

promieniowania na stacji w Legionowie. Kwiecień, oraz sierpień z wrześniem można uznać za miesiące przejściowe w rozkładzie geograficznym między okresami zimnym i ciepłym.



**Rys. 14.** Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B (w MED/h) zmierzonych przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu 2018 r.



**Rys. 15.** Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B (w MED/h) zmierzonego przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu dla całej serii pomiarowej od 1993 do 2018 r.

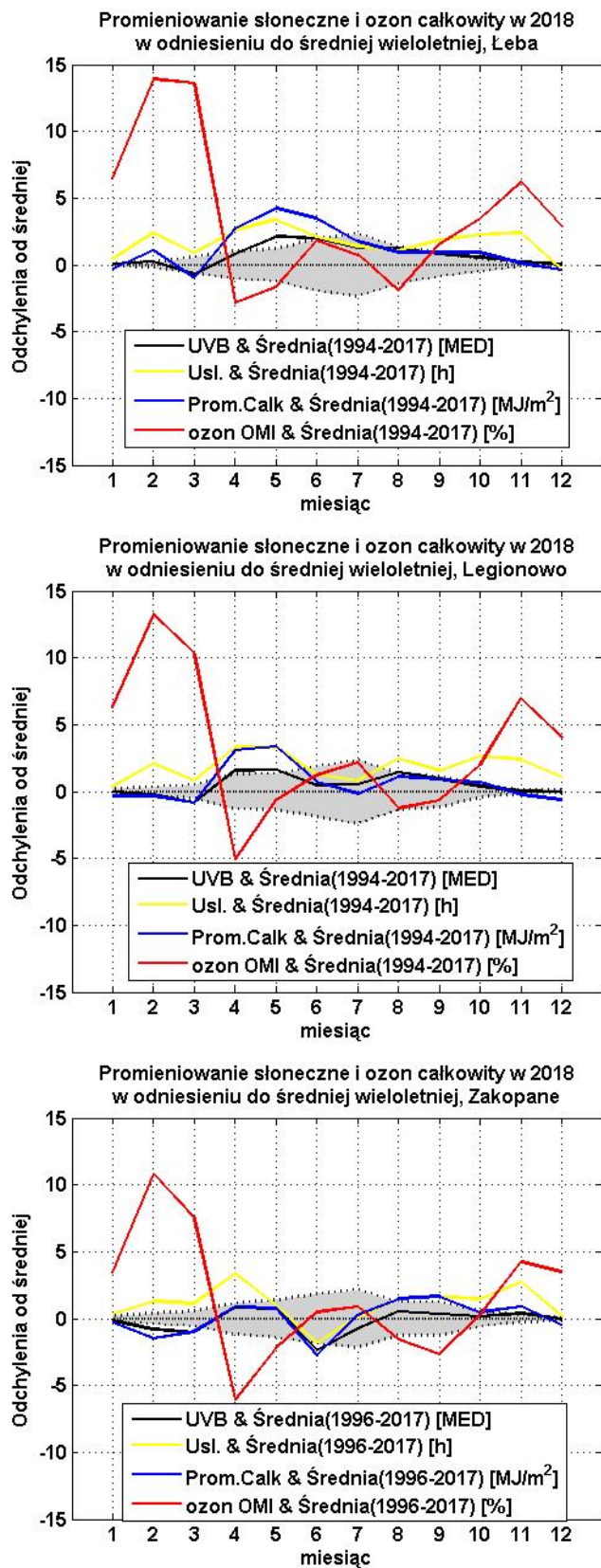
**Tabela 4.** Dienne – średnie, maksymalne i minimalne dawki UV-B oraz miesięczne dawki promieniowania UV-B (w MED) zmierzonego przyrządami SL501 w 2018 r.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>Łeba</b>												
Śr. Dobowe	0,5	1,4	2,7	7,8	13,4	15,5	14,5	11,6	6,9	2,9	0,9	0,3
Max. Dob.	0,8	2,5	5,5	12,6	17,5	20,3	19,8	19,1	11,2	5,1	2,0	0,6
Min. Dob.	0,2	0,5	0,8	1,1	6,8	9,8	4,4	4,9	2,0	0,8	0,3	0,1
Dawka mies.	14,8	38,6	82,4	233,0	416,0	465,0	450,8	359,9	208,5	89,6	27,8	10,3
<b>Legionowo</b>												
Śr. Dobowe	0,6	1,2	2,9	8,8	12,9	13,8	13,6	12,0	7,2	3,1	0,9	0,4
Max. Dob.	1,3	2,3	5,6	12,9	17,8	19,3	19,6	18,0	11,1	5,7	2,3	0,9
Min. Dob.	0,2	0,4	1,1	0,7	3,6	5,1	5,2	3,9	3,5	0,6	0,3	0,1
Dawka mies.	18,7	34,2	89,7	262,8	400,3	413,2	421,7	371,4	214,9	96,7	27,3	12,9
<b>Zakopane</b>												
Śr. Dobowe	0,9	1,4	3,7	8,6	11,2	10,0	11,3	11,0	7,0	3,6	1,9	0,9
Max. Dob.	1,7	2,8	7,0	14,3	19,8	21,8	19,7	19,4	11,1	7,0	3,3	1,5
Min. Dob.	0,2	0,2	1,2	1,0	3,4	1,6	2,3	1,4	2,4	0,7	0,7	0,3
Dawka mies.	27,9	39,8	114,6	257,7	347,8	301,4	350,1	342,4	208,9	113,1	57,2	26,4

Dla 2018 roku maksymalne dawki miesięczne zmierzono w czerwcu dla Łeby oraz w lipcu dla Legionowa i Zakopanego. Maksymalna dawka miesięczna dla Łeby była jednocześnie największą w 2018 roku dawką miesięczną i wyniosła 465 MED. Największa dawka dobową, 21,8 MED wystąpiła 21 czerwca w Zakopanem.

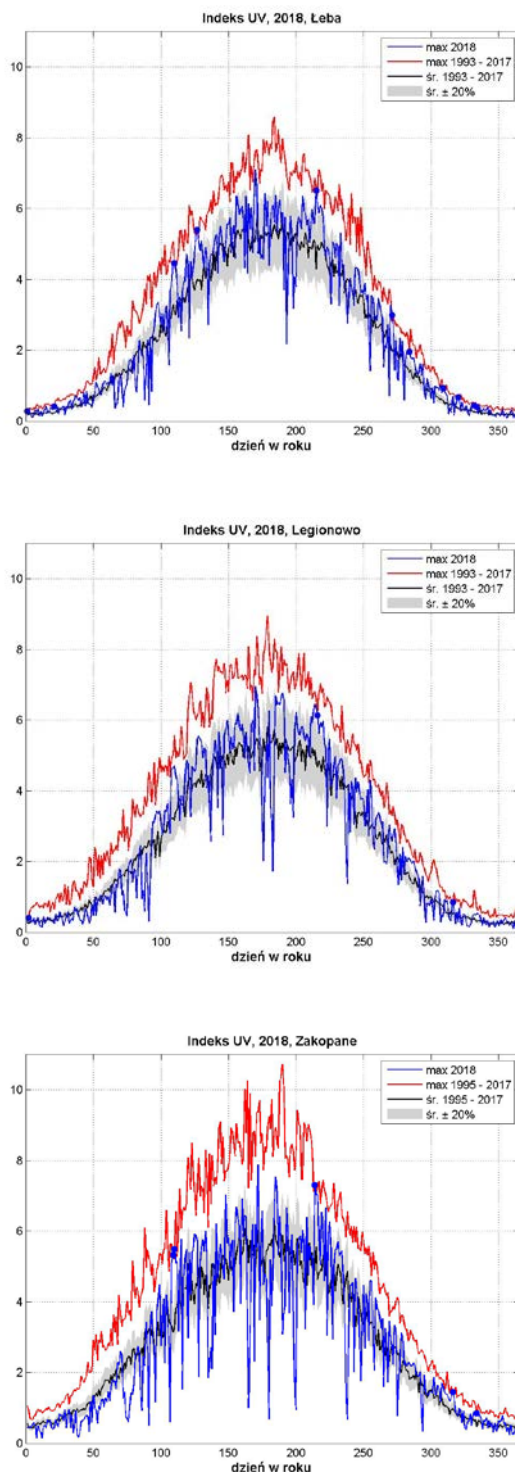
Ilość promieniowania UV docierającego do powierzchni Ziemi zależy od wielu czynników. Dlatego do oceny przyczyn jego zmiany wykorzystano prowadzone równoległe do monitoringu UV pomiary promieniowania całkowitego i usłonecznienia. Wielkości te pozwalają pośrednio wnioskować o zmianach promieniowania UV. Promieniowanie całkowite jest w zakresie od UV, poprzez zakres promieniowania widzialnego aż do bliskiej podczerwieni. Ze względu na duży zakres widma słonecznego jaki ono obejmuje oraz fakt, że w tym zakresie długości fal, ozon głównie oddziałuje w niewielkim zakresie (UV-B), można promieniowanie całkowite traktować jako niezależne od ilości ozonu. Na ilość promieniowania całkowitego, podobnie jak na UV mają wpływ aerozole. Im aerozoli jest więcej tym promieniowania słonecznego dociera mniej. Natomiast usłonecznienie dobrze identyfikuje dni z bezchmurną pogodą. Na Rysunku 16 porównano średnie miesięczne promieniowania UV-B, promieniowania całkowitego, ozonu i usłonecznienia w odniesieniu do średnich wieloletnich dla Łeby, Legionowa i Zakopanego. Z punktu widzenia monitoringu UV najbardziej istotne są miesiące gdy promieniowanie UV osiąga duże wartości. W 2018 roku większe od typowych wartości, identyfikowanych przez odchylenie standardowe (szary obszar) zaobserwowano w dwóch okresach od kwietnia do maja oraz w sierpniu dla Łeby i Legionowa. Szczególnie wyróżnia się maj dla Łeby. Wzrost promieniowania UV skorelowany jest z mniejszą od średniej wieloletniej ilością ozonu

całkowitego. W tych okresach występowała słoneczna pogoda co widać obserwując pomiary usłonecznienia i promieniowania całkowitego.



**Rys. 16.** Odchylenie od średniej wieloletniej promieniowania UV-B, promieniowania całkowitego, ozonu całkowitego i usłonecznienia w 2018 r. Szary obszar reprezentuje zmienność promieniowania

UV-B w granicach  $\pm 1\sigma$ . Średnie wieloletnie ozonu całkowitego obliczone na podstawie danych satelitarnych.



**Rys. 17.** Przebiegi roczne Indeksu UV z 2018 roku dla stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem na tle średniego oraz maksymalnego Indeksu UV od początku pomiarów do 2017 roku dla każdej stacji. Niebieskie punkty oznaczają ekstremalne wartości w serii dla danego dnia roku zmierzone w 2018 roku.

Promieniowanie UV docierające do powierzchni Ziemi potrafi spaść prawie do zera przy bardzo gęstych chmurach a tuż po ich przejściu gwałtownie wzrosnąć. Dawka dzienna, czyli suma

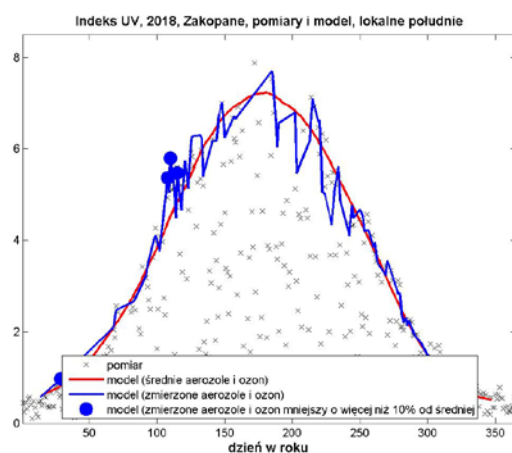
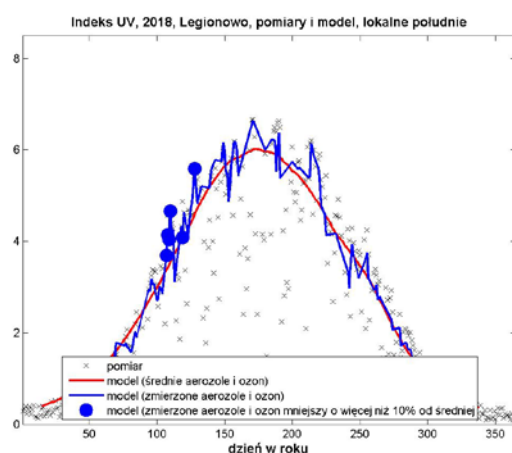
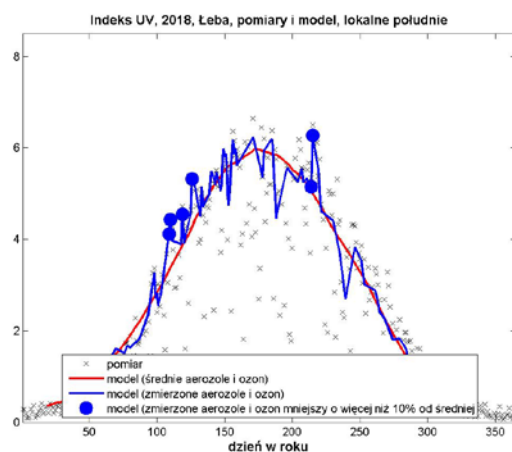
dobowa promieniowania takiego dnia nie będzie wysoka mimo to, tego dnia można doznać oparzeń słonecznych. Dla uwzględnienia tego zagrożenia wprowadzono definicję Indeksu UV, czyli maksymalnej półgodzinnej wartości promieniowania rumieniowego UV-B w ciągu dnia. Użyte w definicji promieniowanie rumieniowe odpowiada czułości ludzkiej skóry. Gdy Indeks UV wynosi 6, co jest dość typową wartością w ciągu lata w Polsce wystarczy około 40 minut opalania się człowieka ze średnio-wrażliwą skórą, aby wystąpił rumień.

Na Rysunku 17 przedstawiono przebieg roczny Indeksu UV z 2018 roku na tle średniego oraz maksymalnego Indeksu UV z okresu od 1993 (Zakopane od 1995) do 2017 roku dla każdej ze stacji.

W roku 2018 na wszystkich stacjach obserwowano epizodycznie wartości Indeksu UV zbliżające się do ekstremów wieloletnich w seriach pomiarowych, a nawet je przekraczające. Ekstremalne wartości Indeksu UV występowały w dwóch okresach na wiosnę oraz w sierpniu dla Łeby i Zakopanego.

Rozdzielenie wpływu chmur, ozonu i aerozoli na docierające do powierzchni Ziemi promieniowanie UV jest złożonym zagadnieniem, zwłaszcza gdy w danych lokalizacjach są dostępne jedynie pomiary za pomocą biernej teledetekcji. W tych sytuacjach, obecność chmur zmniejsza dokładność wyznaczenia ozonu a pomiar aerozoli czyni praktycznie niemożliwym. Nawet w przypadkach gdy jest bezchmurne niebo własności optyczne aerozoli są wyznaczane zwykle dla dłuższych długości fal niż UV. Nieliczne pomiary w zakresie UV używane do wyznaczania aerozoli są zwykle mało dokładne. W efekcie niewiele jest danych gdy mamy dobrej jakości równoczesny pomiar ozonu, aerozoli oraz potrafimy w miarę dobrze ocenić efekt jaki dają chmury. Poniżej umieszczone wykresy zostały tak przygotowane aby wyjaśnić przyczyny dużego wzrostu promieniowania UV w poszczególnych dniach. Korzystając z pomiarów satelitarnych OMI, ozonu całkowitego i aerozoli z 2018 roku obliczono, używając model transferu promieniowania słonecznego FastRT wartości Indeksu UV dla bezchmurnego nieba dla lokalnego południa (Rys. 18). Podobne obliczenie wykonano dla danych uśrednionych ozonu całkowitego i aerozoli 30-dniową średnią biegnącą z okresu 2005-2017. Na Rysunku 18 umieszczono również pomiary Indeksu UV z 2018 roku. Zestawienie wartości dla 2018 roku ze średnią wieloletnią pozwala wyróżnić dni o nietypowo dużych wartościach promieniowania. Natomiast modelowanie FastRT pozwala ocenić czy zwiększone promieniowanie da się wytłumaczyć mniejszą ilością ozonu i aerozoli. Domyślnie zakłada się, że duże wartości promieniowania odpowiadają pomiarom przy bezchmurnym niebie. Dodatkowo niebieskimi kropkami wyróżniono dni, w których ilość ozonu była mniejsza od średniej wieloletniej co najmniej o 10%. Dzięki temu można zlokalizować dni, w których duży wzrost promieniowania można wytłumaczyć dużymi spadkami ozonu. Pozostałe dni z dużymi wielkościami promieniowania można tłumaczyć spadkami ilości aerozoli.

W 2018 wyróżnia się okres wiosenny kwiecień-maj dla wszystkich stacji oraz sierpień dla Łeby, kiedy występowały podwyższone wartości Indeksu UV. Podwyższone promieniowanie na wiosnę można powiązać ze spadkami ozonu większymi niż 10% w stosunku do średniej wieloletniej, natomiast w sierpniu większe wartości Indeksu UV wiązały się częściowo z mniejszą ilością aerozoli oraz mniejszą ilością ozonu całkowitego (Łeba).



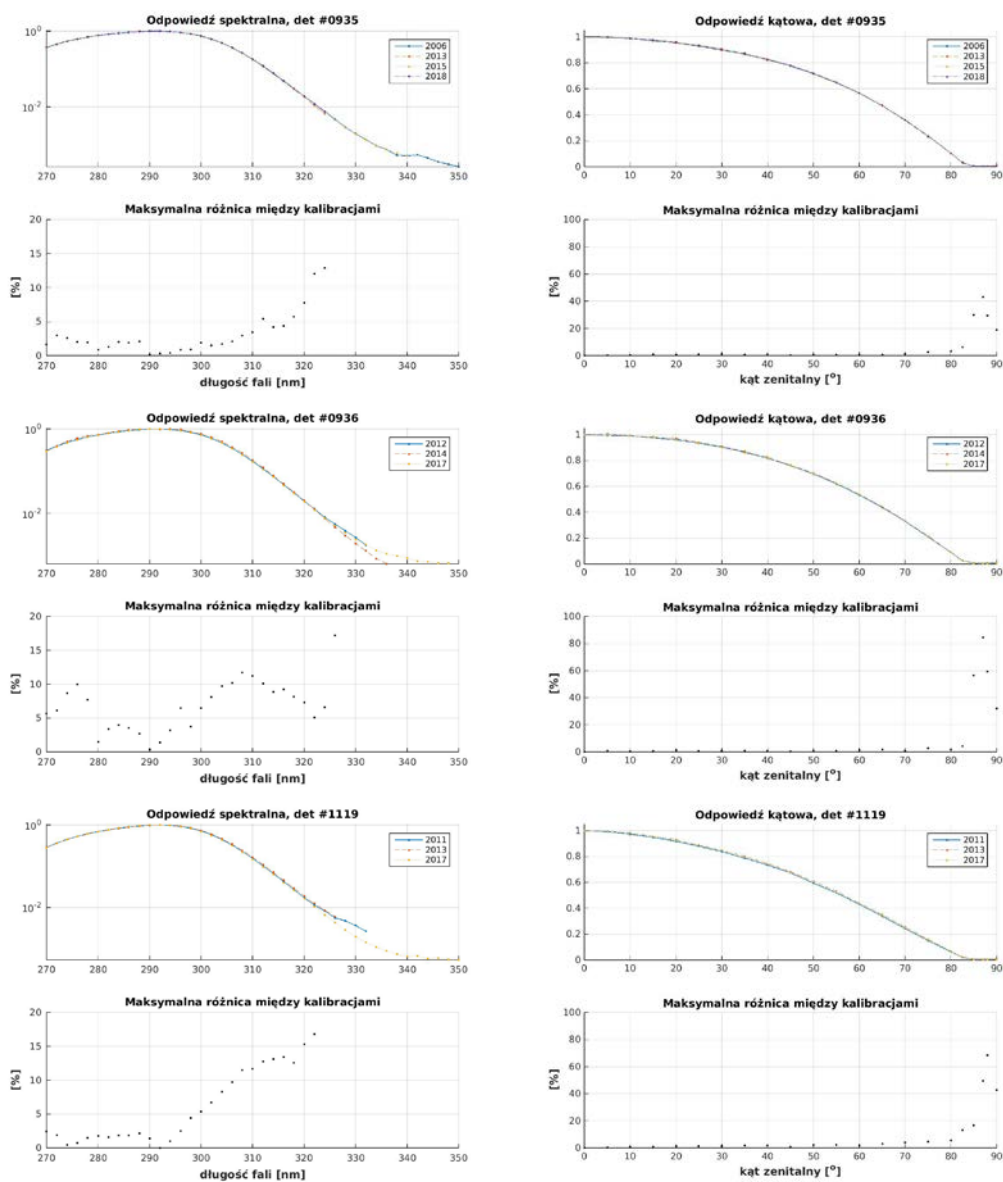
**Rys. 18.** Przebiegi roczne Indeksu UV z 2018 roku obliczonego z wykorzystaniem modelu transferu promieniowania słonecznego FastRT dla stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem z wykorzystaniem pomiarów satelitarnych ozonu całkowitego i aerozoli OMI 2005-2018.

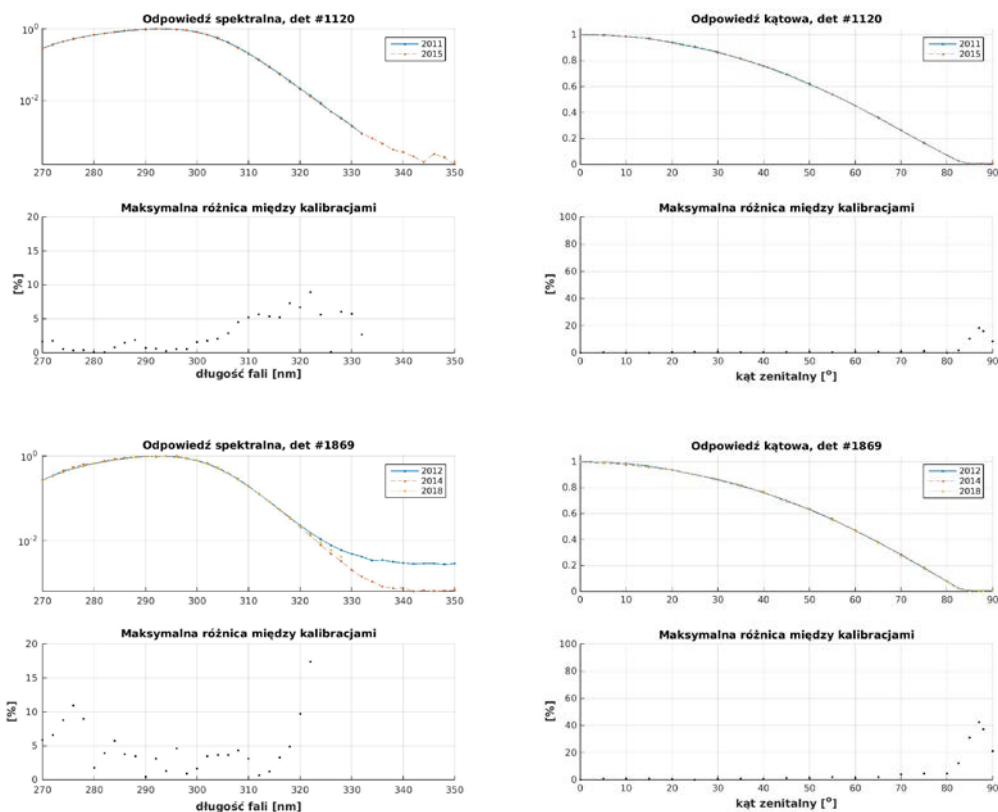
### Charakterystyka czujników SL501 mierzących na sieci IMGW-PIB

W ciągu ostatnich kilkunastu lat prowadzenia pomiarów promieniowania UV-B w IMGW-PIB czujniki SL501 wysyłane są regularnie do kalibracji w Międzynarodowym Centrum Kalibracji w Davos. Zestawienie mierzonych podczas kalibracji charakterystyk spektralnych i kątowych (Rys. 19)

pokazuje, że czujniki te mimo, że różnią się między sobą, to ich charakterystyki dla kolejnych kalibracji, w zakresie UV-B, dla większości czujników różnią się nieznacznie. Najgorzej wypadają tutaj czujniki #0936 i #1869, które należałoby zastąpić w przyszłości na nowe. Większe różnice w charakterystykach spektralnych zaczynają się dopiero pojawiać w zakresie UV-A.

Dla kątów padania promieni słonecznych do ponad osiemdziesięciu stopni charakterystyki czujników praktycznie nie zmieniają się z czasem.





**Rys. 19.** Charakterystyki spektralne i kątowe czujników SL501 uzyskane podczas kalibracji międzynarodowych.

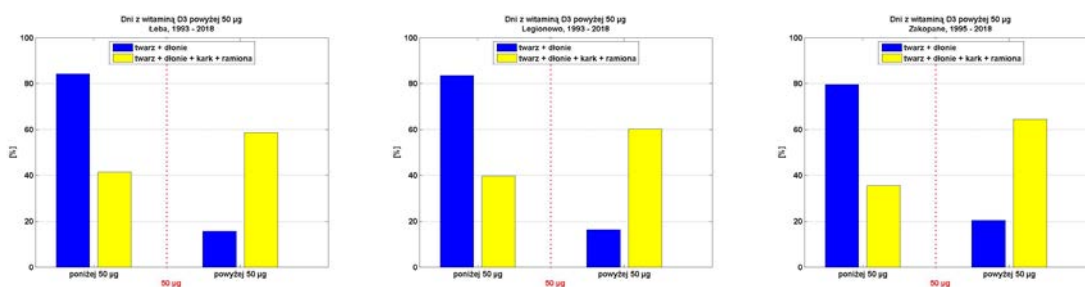
Niestety wykonanie kalibracji czujnika nie gwarantuje uzyskania pomiarów dobrej jakości. Jednym z bardzo istotnych problemów jest możliwość dostawania się wilgoci do czujników, która potrafi istotnie zmienić ich własności. Czujniki kalibrowane w Davos są osuszane, wymienia się im pochłaniacze pary wodnej na nowe. Oryginalne osuszacze są jednak dość małe i w przypadku czujników które mają już ponad dwadzieścia lat i nie są już tak szczelne jak nowe, zaczynają nie spełniać wystarczająco swojego zadania. Dlatego w ostatnim roku zakupiono niestandardowe pochłaniacze, o dużo większej wielkości, które systematycznie są wymieniane na stacjach. Tego typu osuszacze są stosowane w austriackiej sieci monitoringu UV.

### Witamina D3 w 2018 roku

Często uważa się, że odpowiednią ilość witaminy D3 można uzyskać już po kilku minutach słonecznej ekspozycji. Jest to prawda gdy Słońce jest wysoko na niebie. Powszechnie stosowanym suplementem witaminy D3 jest tran, podaje się, że jedna łyżka tranu odpowiada 400 IU (1 IU = 0,025µg). Zalecana dawka dla dorosłego człowieka wynosi 1000 IU. Niedobory witaminy D3 w szerokościach geograficznych Polski są powszechne. Dlatego rekomenduje się przyjmowanie codziennie większych ilości, nawet do 4000 IU. W przedstawionej analizie przyjęto jako zalecaną dawkę dzienną 2000 IU, ponieważ taka ilość witaminy D3 jest zwykle rekomendowana przez

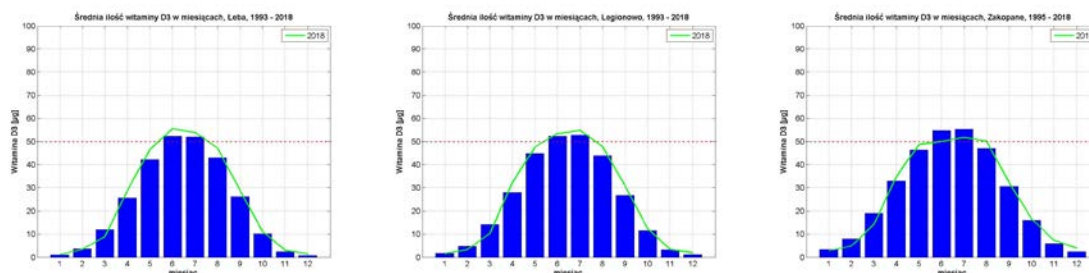
farmaceutów. Przy normalnej, codziennej aktywności nie uzyskamy wystarczającej dawki dziennej. W okresie letnim wystarczy, jeśli tylko jest okazja, opuścić zamknięte pomieszczenie i przebywać na słońcu nie dłużej niż kilkanaście minut (ludzie z fototypem II występującym najczęściej w Polsce) w godzinach od 11 do 15 z odsłoniętymi ramionami i nogami. W tym czasie organizm wyprodukuje dawkę witaminy D3 od kilku do kilkunastu razy większą od zapotrzebowania dziennego. Dłuższa ekspozycja na promieniowanie słoneczne wymaga stosowania zabezpieczeń (kremy, nakrycie głowy, okulary). W chłodnej porze roku promieniowanie UV jest bardzo małe i zazwyczaj jest zbyt chłodno żeby przebywać długo na zewnątrz. Dlatego do oszacowania ilości witaminy D3 jaką może uzyskać człowiek przyjęto jedną godzinę przy najwyższym położeniu Słońca na niebie.

Większość czujników, także czujniki stosowane na sieci IMGW-PIB, używanych do monitorowania poziomu promieniowania UV jest tak zaprojektowana aby pomiar odpowiadał czułości ludzkiej skóry, opisanej tzw. krzywą erytemalną. Do obliczenia promieniowania UV odpowiadającego tworzeniu witaminy D3 wykorzystano macierz konwersji. Macierz została obliczona za pomocą modelu FastRT. Do obliczenia ilości tworzonej witaminy D3 wykorzystano wzór Miyauchi i inni (2013).



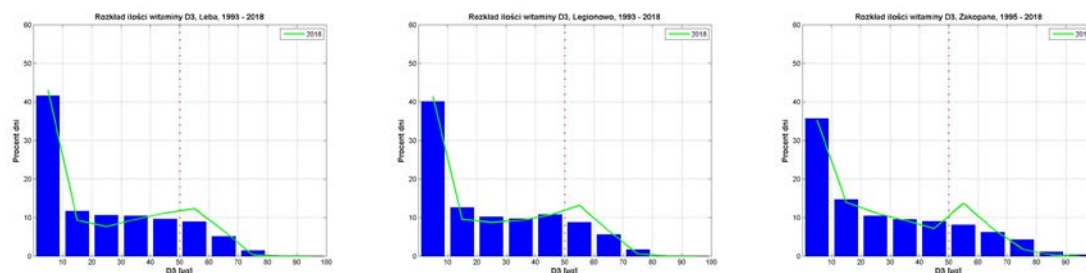
**Rys. 20.** Procent dni w roku, dla 2 różnych typów ekspozycji, z możliwością uzyskania 50 µg witaminy D3 przez godzinę przy najwyższym położeniu Słońca, na podstawie serii pomiarowych dla Łeby, Legionowa i Zakopanego.

Na Rysunku 20 przedstawiono procent dni w seriach pomiarowych dla trzech stacji kiedy ilość tworzonej witaminy D3 jest mniejsza/większa niż 50µg dla dwóch typów ekspozycji. Na każdym z wykresów, z lewej strony pokazano odpowiednio dni gdy nie można było uzyskać zalecanej dawki. Podczas ekspozycji jedynie twarzy i dłoni jest tylko kilkanaście procent dni kiedy możemy otrzymać potrzebną ilość promieniowania. Odkrywając dodatkowo kark i ramiona sytuacja radykalnie się poprawia, gdyż takich dni jest już około 60%. Zwraca także uwagę niewielkie zróżnicowanie między stacjami.



**Rys. 21.** Przebieg roczny średniej ilości witaminy D3 jaką można otrzymać w ciągu godzinnej ekspozycji przy maksymalnym promieniowaniu na podstawie serii pomiarowych z Łeby, Legionowa i Zakopanego. Ilość witaminy D3 obliczona przy założeniu odkrytych twarzy i dłoni.

Na Rysunku 21 przedstawiono roczne przebiegi średnich miesięcznych ilości witaminy D3 otrzymywanej podczas godzinnej ekspozycji podczas maksymalnego promieniowania UV danego dnia. W obliczeniach przyjęto ekspozycję na słońce jedynie twarzy i dłoni. Odpowiada to typowemu ubiorowi w okresie chłodnym ale dotyczy także wielu osób w okresie ciepłym (pracownicy biurowi). Takie osoby mają szansę otrzymać wystarczającą dawkę witaminy D3 jedynie w czerwcu i lipcu.



**Rys. 22.** Rozkład procentowej ilości dni w zależności od możliwej do uzyskania dawki witaminy D3 podczas godzinnej ekspozycji przy maksymalnym promieniowaniu UV w 2018 roku, na tle serii pomiarowych na trzech stacjach. Ilość witaminy D3 obliczona przy założeniu odkrytych twarzy i dłoni.

Na Rysunku 22 przedstawiono histogramy, dla trzech stacji z całych serii pomiarowych, ilości witaminy D3 uzyskanej podczas jednogodzinnej ekspozycji na słońce przy maksymalnym promieniowaniu w ciągu dnia. Dodatkowo narysowano odpowiednie rozkłady dla 2018 roku. Okazuje się w 2018 roku wystąpiły dla każdej stacji lokalne maksima w okolicach wartości 50µg. Procenty dni odpowiadające tym ekstremom były większe od wartości typowych dla serii. Związane to jest z występującą w 2018 roku większą niż zwykle liczbą dni słonecznych.

## 2.6 Wnioski

**Polska jest stroną Konwencji Wiedeńskiej o ochronie warstwy ozonowej i Protokołu Montrealskiego (PM) w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową od dnia 11 października 1990 r. i wywiązuje się z przyjętych zobowiązań. W przypadku Konwencji zobowiązanie dotyczy zapewnienia środków niezbędnych do wykonywania pomiarów ozonu atmosferycznego i natężenia słonecznego promieniowania UV-B zgodnie z programem Państwowego Monitoringu Środowiska. Zasadniczym zaleceniem Protokołu Montrealskiego i**

**jego poprawek jest redukcja substancji kontrolowanych aż do ich całkowitej eliminacji w odniesieniu do produkcji i zużycia (zgodnie z wprowadzonymi definicjami). Niewypełnianie postanowień Protokołu Montrealskiego może opóźnić, a nawet uniemożliwić regenerację warstwy ozonowej.**

Od ponad 40 lat obserwowane są wyraźne zmiany ilości i rozkładu przestrzennego ozonu w atmosferze. Warstwa stratosferycznego ozonu jest naturalnym filtrem słonecznego promieniowania UV, co ma podstawowe znaczenie dla życia na Ziemi, a jej rozrzedzenie jest przedmiotem zainteresowania opinii publicznej i środowiska naukowego. Ubytki ozonu w rejonach polarnych, w tym regularnie, od 1985 r., pojawiająca się wiosenna dziura ozonowa nad Antarktydą, powodują znaczny wzrost promieniowania UV-B docierającego do powierzchni Ziemi. Dodatkowo, duże zmiany w profilu ozonu powodują zmiany cyrkulacji atmosferycznej zarówno w skali regionalnej jak i globalnej poprzez modyfikację struktury termicznej atmosfery. Może to mieć istotny wpływ na zmiany klimatu. W ostatnich latach na stan warstwy ozonowej w obszarach polarnych i poza nimi wpływają zmiany cyrkulacji atmosfery i wzrost koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze. Nad Polską i Europą pojawiają się epizody jednoczesnej adwekcji na różnych wysokościach, polarnej masy z fotochemicznym ubytkiem ozonu i masy subtropikalnej o naturalnie niskiej zawartości ozonu. Podczas tych epizodów pojawiają się wysokie wartości Indeksu UV. Wir polarny rozpadający się później na wiosnę, nawet bez fotochemicznych ubytków, w połączeniu z silną adwekcją subtropikalną może znacznie zwiększać poziom promieniowania UV-B. W ostatnich latach pojawiło się niespodziewane zmniejszenie grubości ochronnej warstwy ozonowej nad dużymi obszarami w strefie umiarkowanych szerokości geograficznych półkuli północnej, w tym również nad Polską. Analiza epizodów ubytków ozonu w warstwach górnej troposfery i dolnej stratosfery nad Legionowem sugeruje silne unoszenie powietrza i jego transport z niskich szerokości geograficznych. Jest to zgodne z symulacjami w modelach, które pokazują długoterminowy wzrost unoszenia tropikalnego powietrza wywołany przeszłym wzrostem zawartości gazów cieplarnianych. W ostatnim czasie zwrócono uwagę, że istnieją gazy takie jak  $N_2O$ , których emisja nie jest monitorowana przez PM. Koncentracja  $N_2O$  systematycznie rośnie i może wpływać na osłabienie warstwy ozonowej w średniej stratosferze w okresie letnim ze względu na długi okres połowicznego rozpadu (>100lat).

**Mimo zmniejszającej się zawartości w atmosferze chlorowcopochodnych gazów zagrożenie dla warstwy ozonowej będzie występować w okresie najbliższych kilkadziesiąt lat. Dlatego należy zapewnić wysokiej jakości pomiary satelitarne całkowitej zawartości ozonu i profili ozonu w skali globu i na wybranych stacjach naziemnych z długimi seriami pomiarowymi (Belsk od 1963 r., Legionowo od 1979 r.). Pomiary naziemne są wykorzystywane do walidacji pomiarów satelitarnych, prowadzenia bieżącego monitoringu ozonu i analizy trendów. Bez wysokiej jakości pomiarów nie będzie możliwe śledzenie oczekiwanej regeneracji warstwy ozonowej przypisywanej spadkowi zawartości SZWO, a także zrozumienie znacznego wychłodzenia średniej stratosfery i ocieplenia troposfery, których można oczekiwać w następnych dziesięcioleciach.**

Dane satelitarne ozonu pokazują wzrost ozonu w górnej stratosferze w okresie ostatnich 20 lat. Jest to pozytywny efekt działania Protokołu Montrealskiego. W warstwie UTLS widoczne jest

zmniejszanie zawartości ozonu w ciągu całego roku, najbardziej na wiosnę. Nad Polską i Europą obserwowane są epizody niewyjaśnionych spadków całkowitej zawartości ozonu, w ekstremalnych przypadkach nawet ponad 20% w stosunku do średniej wieloletniej. W szerokościach geograficznych Polski na warstwę UTLS przypada znaczna część całej warstwy ozonowej, niedobory ozonu w tym rejonie atmosfery mogą zatem prowadzić do wysokich dawek promieniowania UV-B. Zmiany zawartości ozonu nad Polską potwierdza najnowsza analiza połączonych danych satelitarnych. Wykazano, że w warstwie UTLS pomiędzy 60°S-60°N mimo zmniejszania zawartości freonów w atmosferze po roku 1998 obserwowane jest ciągłe zmniejszanie zawartości ozonu. Modele nie odtwarzają dobrze obserwowanych trendów ozonu. Jedną z niezweryfikowanych hipotez mówi o zagrożeniu dla warstwy ozonowej substancjami VSLS (ang. Very Short Lived Substances). Do tej pory uważano, że VSLS mimo, że zawierają w swoim składzie chlor są przyjazne dla warstwy ozonowej ('ozone friendly') ponieważ rozpadają się w czasie krótszym niż 6 miesięcy i nie zdołają dotrzeć do wyższych warstw atmosfery. Silna konwekcja może powodować unoszenie wilgotnych mas powietrza do wysokości gdzie panują najniższe temperatury (otoczenie tropopauzy). Substancje, które niszczą warstwę ozonową po przedostaniu się do stratosfery mogą niszczyć ozon w skali globalnej.

W roku 2018 maksymalną dawkę miesięczną promieniowania UV-B zmierzono w Łebie i wyniosła ona 465 MED. Największa dawka dobową, 21,8 MED wystąpiła 21 czerwca w Zakopanem. W 2018 roku większe od typowych wartości promieniowania zaobserwowano w dwóch okresach od kwietnia do maja oraz w sierpniu dla Łeby i Legionowa. Obserwowane wartości Indeksu UV na wiosnę można powiązać ze spadkami ozonu większymi niż 10% w stosunku do średniej wieloletniej, natomiast w sierpniu większe wartości Indeksu UV wiązały się częściowo z mniejszą ilością aerozoli oraz mniejszą ilością ozonu całkowitego (Łeba).

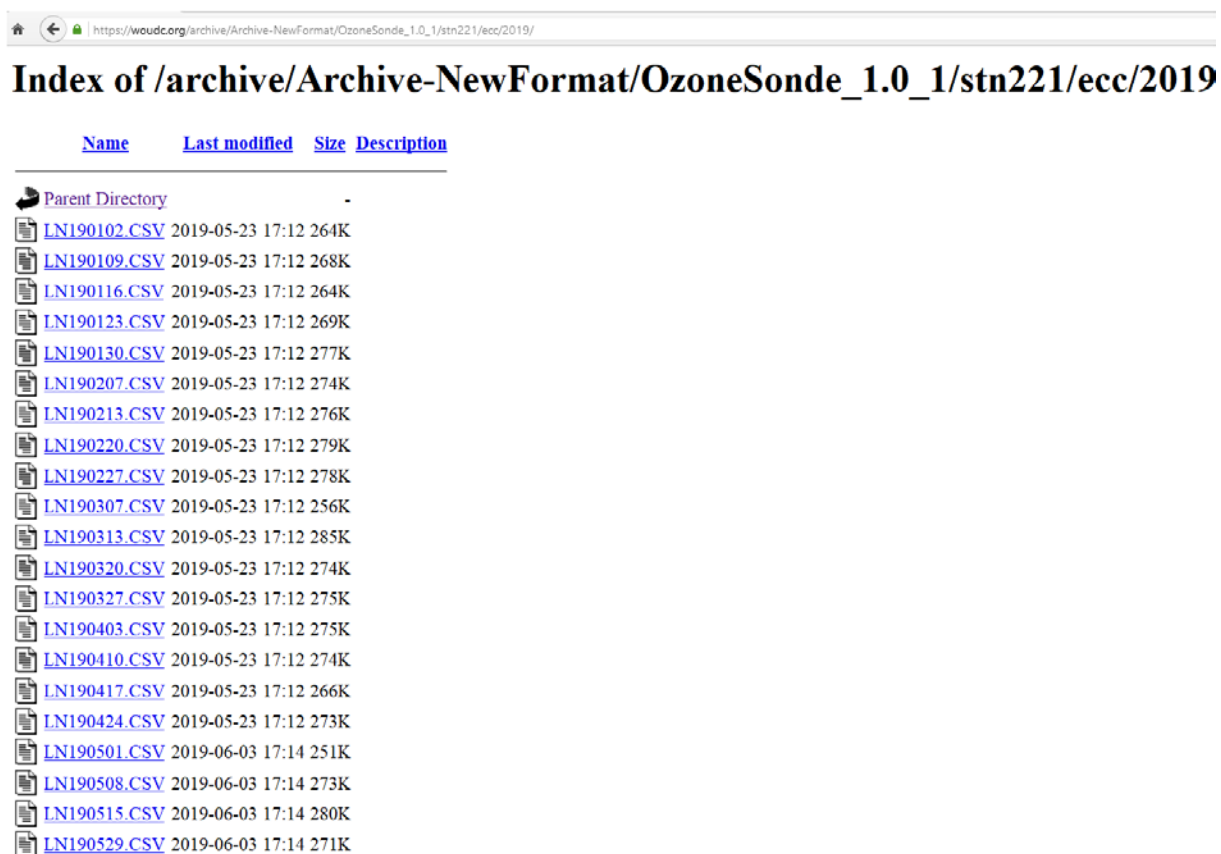
Dla Polski średnia ilość syntetyzowanej w ludzkiej skórze witaminy D3 podczas ekspozycji na Słońce dłoni i twarzy w ciągu jednej godziny dla najwyższego położenia Słońca jest poniżej zalecanej przez farmaceutów dawki 2000 IU z wyjątkiem czerwca i lipca. Eksponując na słońce dodatkowo szyję i ramiona ilość dni gdy mamy możliwość otrzymania rekomendowanej ilości witaminy D3 wzrasta z kilkunastu do sześćdziesięciu procent w ciągu roku.

W 2018 r. słoneczna pogoda utrzymująca się przez wiele letnich tygodni zwiększyła ilość dni, w porównaniu do średniej wieloletniej, w których była możliwość wytworzenia ze słonecznego promieniowania UV zalecanej ilości witaminy D3.

### 3 Opracowanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych

Badanie globalnego procesu ubożenia warstwy ozonowej z natury rzeczy wymaga współpracy międzynarodowej. Polska jest sygnatariuszem Wiedeńskiej Konwencji o Ochronie Warstwy Ozonowej, zobowiązującej nas do monitorowania w Polsce ozonu atmosferycznego i promieniowania UV-B.

Od 1979 roku, sondaże ozonowe w Legionowie wykonuje się w systemie Światowego Monitoringu Ozonu WMO z podstawową częstotliwością 1 raz w tygodniu. Wykonuje się również dodatkowe sondaże związane są z udziałem w projekcie MATCH badania chemicznego niszczenia ozonu w stratosferze w wirze polarnym. Wyniki w postaci plików CSV zawierających metadane oraz pionowe profile PTUW i O<sub>3</sub> z jednego sondażu są systematycznie przekazywane do bazy Globalnej Sieci Detekcji Zmian Składu Atmosfery (NDACC) w Maryland, USA, i do Światowej Bazy Danych Ozonu i UV (WOUDC) w Toronto, w Kanadzie. Na Rysunku 23 przedstawiono wykaz ostatnio przekazanych danych do bazy danych WOUDC.



<a href="#">Name</a>	<a href="#">Last modified</a>	<a href="#">Size</a>	<a href="#">Description</a>
<a href="#">Parent Directory</a>	-		
<a href="#">LN190102.CSV</a>	2019-05-23 17:12	264K	
<a href="#">LN190109.CSV</a>	2019-05-23 17:12	268K	
<a href="#">LN190116.CSV</a>	2019-05-23 17:12	264K	
<a href="#">LN190123.CSV</a>	2019-05-23 17:12	269K	
<a href="#">LN190130.CSV</a>	2019-05-23 17:12	277K	
<a href="#">LN190207.CSV</a>	2019-05-23 17:12	274K	
<a href="#">LN190213.CSV</a>	2019-05-23 17:12	276K	
<a href="#">LN190220.CSV</a>	2019-05-23 17:12	279K	
<a href="#">LN190227.CSV</a>	2019-05-23 17:12	278K	
<a href="#">LN190307.CSV</a>	2019-05-23 17:12	256K	
<a href="#">LN190313.CSV</a>	2019-05-23 17:12	285K	
<a href="#">LN190320.CSV</a>	2019-05-23 17:12	274K	
<a href="#">LN190327.CSV</a>	2019-05-23 17:12	275K	
<a href="#">LN190403.CSV</a>	2019-05-23 17:12	275K	
<a href="#">LN190410.CSV</a>	2019-05-23 17:12	274K	
<a href="#">LN190417.CSV</a>	2019-05-23 17:12	266K	
<a href="#">LN190424.CSV</a>	2019-05-23 17:12	273K	
<a href="#">LN190501.CSV</a>	2019-06-03 17:14	251K	
<a href="#">LN190508.CSV</a>	2019-06-03 17:14	273K	
<a href="#">LN190515.CSV</a>	2019-06-03 17:14	280K	
<a href="#">LN190529.CSV</a>	2019-06-03 17:14	271K	

Rys. 23. Fragment listingu zawartości serwera WOUDC z danymi sondaży ozonowych z Legionowa

Od 1994 roku wyniki sondażu są przekazywane regularnie do Bazy Danych w Norweskim Instytucie Badania Powietrza (NILU) w Oslo, w Norwegii, w ramach współpracy w programach Unii Europejskiej, dotyczących badania ozonu w stratosferze. Wyniki sondażu ozonowych wysyłane są w trybie operacyjnym - po zakończeniu sondażu automatycznie generowana jest depesza w ustalonym formacie NILU zawierająca metadane oraz pionowe profile PTUW i O<sub>3</sub>. Depesza ta w postaci pliku tekstowego LN jest po wstępnej kontroli danych przesyłana na serwer ftp w NILU. Na Rysunku 24 przedstawiono fragment listingu zawartości serwera.

↑ Name	Ext	Size	Date	Attr
LN181107	P11	333 130	2018-11-15 11:49	-644
LN181114	P11	353 824	2018-11-15 11:50	-644
LN181121	P11	326 836	2018-12-14 14:45	-644
LN181128	P11	323 408	2018-12-14 14:45	-644
LN181205	P11	300 474	2018-12-14 14:46	-644
LN181212	P11	329 592	2018-12-14 14:46	-644
LN181219	P11t	348 520	2019-01-03 10:33	-644
LN181227	P11	333 600	2019-01-03 10:33	-644
LN190102	P11	318 724	2019-01-03 10:34	-644
LN190109	P11	328 239	2019-01-14 10:22	-644
LN190116	P11	321 637	2019-02-08 10:17	-644
LN190123	P11	332 554	2019-02-08 10:18	-644
LN190130	P11	336 717	2019-02-08 10:19	-644
LN190207	P11	331 266	2019-02-08 10:19	-644
LN190213	P11	339 272	2019-04-17 16:01	-644
LN190220	P11	342 031	2019-04-17 16:02	-644
LN190227	P11	338 954	2019-04-17 16:03	-644
LN190307	P11	308 528	2019-04-17 16:04	-644
LN190313	P11	341 917	2019-04-17 16:04	-644
LN190320	P11t	333 646	2019-04-17 16:05	-644
LN190327	P11	332 606	2019-04-17 16:05	-644
LN190403	P11	334 792	2019-04-17 16:06	-644
LN190410	P11	334 014	2019-04-17 16:06	-644
LN190417	P11	327 774	2019-04-17 16:07	-644
LN190424	P11	334 532	2019-05-30 09:23	-644
LN190501	P11	305 152	2019-05-30 09:23	-644
LN190508	P11	331 200	2019-05-30 09:23	-644
LN190515	P11	345 193	2019-05-30 09:23	-644
LN190529	P11	332 866	2019-05-30 09:23	-644

Rys. 24. Fragment listingu zawartości serwera ftp zardez.nilu.no z pomiarami z Legionowa

Od 2005 roku stacja w Legionowie jest częścią sieci NDACC (ang. Network for the Detection of Atmospheric Composition Change – Globalna Sieć Detekcji Zmian Składu Atmosfery). Obliguje nas to do przesyłania na serwer NDACC plików w ustalonym formacie zawierających metadane oraz pionowe profile PTUW i O<sub>3</sub>, oraz do corocznego raportowania pracy stacji. Ostatni raport zawierający m.in. harmonogram przekazywania danych został przesłany w sierpniu 2018 roku.

Dane dotyczące ciśnienia cząstkowego ozonu w atmosferze nad Legionowem z poprzedniego roku i w ujęciu retrospekcyjnym oraz dane o promieniowaniu UV-B z poprzedniego roku z sieci IMGW-PIB są zamieszczane w rocznikach Głównego Urzędu Statystycznego. Ostatni zestaw danych przekazano do GIOŚ w lipcu 2018 roku.

Na podstawie złożonych do GIOŚ wniosków z prośbą o udostępnienie danych promieniowania UV-B, w 2018 r. przygotowano i przekazano do udostępnienia zbiory danych dla 2 odbiorców krajowych. W maju, na prośbę osoby prywatnej, udostępniono dane półgodzinnych dawek promieniowania UV-B dla stacji Łeba i Legionowo z lat 1993-2015 oraz dla stacji Zakopane z lat 1995-2015. W lipcu, na prośbę pracownika Zakładu Higieny Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu, udostępniono dane Indeksu UV z 3 stacji, dla wybranych okresów z lat 2015-2018.

#### 4 Podsumowanie

W 2018 roku realizowano program monitorowania rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą oraz promieniowania UV-B w Polsce.

W 2018 roku wykonano 55 sondaży ozonowych, 54 sondaże standardowe i 1 sondaż w ramach kampanii MATCH - badanie fotochemicznych ubytków ozonu w arktycznym wirze polarnym.

Stacje pomiarowe promieniowania UV-B w Łebie, Legionowie i w Zakopanem, wykorzystujące mierniki Solar Light UV biometer model 501, od utworzenia sieci monitoringu w 1993 r. pracują bez większych awarii. W roku 2018 program pomiarowy został wykonany w 100%.

W okresie lipiec-sierpień 2018 roku w Obserwatorium Fizyczno – Meteorologicznym / Światowym Centrum Promieniowania (PMOD/WRC) w Davos (Szwajcaria) przeprowadzono kalibrację dwóch czujników SL501 z sieci IMGW-PIB. W ramach kalibracji wykonano laboratoryjne pomiary charakterystyk spektralnej i kątowej czujników oraz porównanie ze spektrofotometrem wzorcowym QASUME. Dla każdego czujnika został wydany certyfikat kalibracji.

Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2018 roku był prowadzony z wykorzystaniem danych z czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) znajdującego się na pokładzie satelity meteorologicznego Suomi NPP (S-NPP). Całkowita zawartość ozonu wyznaczana była za pomocą oprogramowania OMPSNADIR\_SPA V.1.0.1 przygotowanego przez NASA, Direct Readout Laboratory, GODDARD SPACE FLIGHT CENTER, (<https://directreadout.sci.gsfc.nasa.gov>). W 2018 roku nie było problemów z odbiorem danych satelitarnych i mapy rozkładu całkowitej zawartości ozonu nad Europą Środkową były generowane każdego dnia.

Wyniki sondaży ozonowych były regularnie przekazywane do Bazy Danych w NILU, w Norwegii gdzie są wykorzystywane do opracowania wyników kampanii MATCH, do bazy Globalnej Sieci Detekcji Zmian Składu Atmosfery (NDACC) w Maryland, USA oraz do Światowej Bazy Danych Ozonu i UV (WOUDC) w Toronto, Kanada.

Wyniki realizowanego monitoringu pionowego rozkładu ozonu i UV-B są regularnie publikowane w wydawnictwach GIOŚ i GUS.

Dane pomiarowe powstałe w wyniku realizacji umowy monitoringu są gromadzone, przechowywane i archiwizowane w systemach IMGW-PIB w Warszawie z wyłączeniem surowych danych satelitarnych, które są przechowywane na płytach DVD w Dziale Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB w Krakowie.

Dane pomiarowe, powstałe w wyniku realizacji umów monitoringu w roku 2018, zostały dołączone do niniejszego raportu na płycie CD.

## 5 Literatura

1. Ball, W. T., Alsing, J., Mortlock, D. J., Staehelin, J., Haigh, J. D., Peter, T., Tummon, F., Stübi, R., Stenke, A., Anderson, J., Bourassa, A., Davis, S. M., Degenstein, D., Frith, S., Froidevaux, L., Roth, C., Sofieva, V., Wang, R., Wild, J., Yu, P., Ziemke, J. R., and Rozanov, E. V.: Evidence for a continuous decline in lower stratospheric ozone offsetting ozone layer recovery, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 1379-1394, <https://doi.org/10.5194/acp-18-1379-2018>, 2018.
2. Brasseur, G. P. and Solomon, S.: *Aeronomy of the Middle Atmosphere, Chemistry and Physics of the Stratosphere and Mesosphere*, Vol. 32 of Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Springer, Dordrecht, the Netherlands, 2005.
3. Danielsen, E. Stratospheric-tropospheric exchange based on radioactivity, ozone and potential vorticity. *J. Atmos. Sci.* 1968,25, 502–518.
4. Engelsen O. and Kylling A., Fast simulation tool for ultraviolet radiation at the Earth's surface. *Optical Engineering*, 44 (4), 041012 (2005).
5. Goutail F., Pommereau J-P, Pazmino A., Lefevre F, Chipperfield M, Feng W,(2), Van Roozendaal M.(3), Jepsen N., Hansen G., Kivi R, Bogner K., Strong K, and Walker K. Total ozone loss during the 2017/18 Arctic winter and comparison to previous years. *Geophysical Research Abstracts Vol. 20, EGU2018-1978*, 2018 EGU General Assembly 2018.
6. Huang, G., Liu, X., Chance, K., Yang, K., Bhartia, P. K., Cai, Z., Allaart, M., Ancellet, G., Calpini, B., Coetzee, G. J. R., Cuevas-Agulló, E., Cupeiro, M., De Backer, H., Dubey, M. K., Fuelberg, H. E., Fujiwara, M., Godin-Beekmann, S., Hall, T. J., Johnson, B., Joseph, E., Kivi, R., Kois, B., Komala, N., König-Langlo, G., Laneve, G., Leblanc, T., Marchand, M., Minschwaner, K. R., Morris, G., Newchurch, M. J., Ogino, S.-Y., Ohkawara, N., Piders, A. J. M., Posny, F., Querel, R., Scheele, R., Schmidlin, F. J., Schnell, R. C., Schrems, O., Selkirk, H., Shiotani, M., Skrivánková, P., Stübi, R., Taha, G., Tarasick, D. W., Thompson, A. M., Thouret, V., Tully, M. B., Van Malderen, R., Vömel, H., von der Gathen, P., Witte, J. C., and Yela, M.: Validation of 10-year SAO OMI Ozone Profile (PROFOZ) product using ozonesonde observations, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 2455-2475, <https://doi.org/10.5194/amt-10-2455-2017>, 2017.
7. Lin, Meiyun, Fiore, Arlene M., Horowitz, Larry W., Langford, Andrew O., Oltmans, Samuel J., Tarasick, David, Rieder, Harald E. Climate variability modulates western US ozone air quality in spring via deep stratospheric intrusions. *Nature Communications*, 2015/05/12/online, <https://doi.org/10.1038/ncomms8105>.

8. Miyauchi M., Hirai C., Nakajima H., The solar exposure time required for vitamin D3 synthesis in the human body estimated by numerical simulation and observation in Japan. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 59(4), 257-263 (2013).
9. Sagi K, Pérot K , Murtagh D , and Orsolini Y Two mechanisms of stratospheric ozone loss in the Northern Hemisphere, studied using data assimilation of Odin/SMR atmospheric observations *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 1791–1803, 2017 [www.atmos-chem-phys.net/17/1791/2017/](http://www.atmos-chem-phys.net/17/1791/2017/) doi:10.5194/acp-17-1791-2017.
10. Solomon S, Ivy D. J., Kinnison D. , Mills M.J., Neely R., Schmidt A. D., Emergence of healing in the Antarctic ozone layer *Science*, 2016.

#### Podziękowania

*Dziękujemy zespołowi Zakładu Fizyki Atmosfery IGF PAN za udostępnienie serii pomiarów całkowitej zawartości ozonu mierzonej spektrofotometrem Dobsona w Centralnym Obserwatorium Geofizycznym w Belsku.*

*Dziękujemy również zespołowi Sekcji Aktynometrii z Centrum Hydrologiczno-Meteorologicznej Służby Pomiarowo-Obserwacyjnej IMGW-PIB za udostępnienie do analizy danych promieniowania całkowitego i usłonecznienia ze stacji w Łebie i Zakopanem.*