



Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

RAPORT O STANIE WARSTWY OZONOWEJ I NATĘŻENIA PROMIENIOWANIA UV-B ZA 2020 R.

w ramach zadania „Monitoring rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2021 – 2022”



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

JEDNOSTKA PROWADZĄCA: Wydział Monitorowania Jakości Powietrza, IMGW-PIB

KIEROWNIK TEMATU: mgr Julita Biszczuk-Jakubowska

WYKONAWCY:

Wydział Monitorowania Jakości Powietrza:

mgr Julita Biszczuk–Jakubowska

mgr Aleksander Curyło

mgr Bogumił Kois

Zakład Teledetekcji Satelitarnej w Krakowie:

dr Bożena Łapeta

mgr Monika Hajto

Stacja Pomiarów Aerologicznych w Legionowie:

mgr Michał Perski

Stacja Meteorologiczna w Łebie:

mgr Mariusz Gieryk

Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna w Zakopanem:

mgr Paweł Parzuchowski

Przy cytowaniu danych należy podawać źródło danych:

Państwowy Monitoring Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

Raport o stanie warstwy ozonowej i natężenia promieniowania UV-B za 2020 r.

- 1 Sprawozdanie z realizacji zadań 1-3 za rok 2020.**
- 1.1 Pomiary rozkładu pionowego ozonu sondą ECC 6AB
- 1.2 Pomiary natężenia promieniowania UV-B
- 1.3 Wyznaczenie całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową

- 2 Raport za rok 2020.**
- 2.1 Wstęp
- 2.2 Ocena stanu warstwy ozonowej w 2020 roku na podstawie wyników monitoringu
- 2.3 Analiza rozkładu pionowego ozonu nad Legionowem w 2020 roku
- 2.4 Ozon całkowity z danych satelitarnych nad Europą Środkową w 2020 roku
- 2.5 Promieniowanie UV-B zmierzone na sieci monitoringu w 2020 roku
- 2.6 Wnioski
- 3 Opracowanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych**
- 4 Podsumowanie**
- 5 Literatura**

Załącznik 1 - Profile ozonu z sondaży ozonowych wykonanych w okresie 1.01 - 31.12.2020 r. i odpowiadające im satelitarne mapy całkowitej zawartości ozonu w atmosferze

Załącznik 2 - Dobowe przebiegi promieniowania UV-B z okresu styczeń – grudzień 2020 r. (średnie, maksymalne i minimalne) zmierzone za pomocą przyrządu Solar Light (Łeba, Legionowo, Zakopane)

Załącznik 3 – Dawki dobowe promieniowania UV-B z okresu styczeń - grudzień 2020 r. zmierzone za pomocą przyrządu Solar Light (Łeba, Legionowo, Zakopane)

1 Sprawozdanie z realizacji zadań 1-3 za rok 2020.

Prezentowane Sprawozdanie oraz Raport zawierają wyniki i analizy pomiarów realizowanych w ramach programu monitorowania rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce uzyskane od stycznia do października 2020 r. w ramach umowy nr 7/2017/F z dnia 05.04.2017 r. na „Monitoring rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2017 – 2020” oraz od listopada do grudnia 2020 r. w ramach umowy nr GIOŚ/30/2021/DMŚ/NFOŚ z dnia 15.02.2021 r. na „Monitoring rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2021 – 2022”.

1.1 Pomiary rozkładu pionowego ozonu sondą ECC 6AB

W okresie od stycznia do grudnia 2020 roku na Stacji Pomiarów Aerologicznych w Legionowie wykonywano systematycznie, co najmniej raz w tygodniu sondáže ozonowe, elektrochemiczną sondą ozonową ECC6AB produkcji Science Pump Corporation, USA. Sondáže wykonywano w systemie sondażowym DigiCORA MW41/RS41-SG i w systemie nawigacyjnym GPS. 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 sondáže ozonowych w Legionowie.

Liczba sondáže		Pułap (km)	Średnia wysokość (km)
Razem	Standard		
51	51	≥30	33,9
-	-	26 ÷ <30	-
Razem 51	51	≥26	33,9
1	1	<26	18,0

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

Liczba sondaży	O_3D/O_3S Współczynnik korekcji	Średni współczynnik	Uwagi
42	$0,85 \div 1,00$	0,95	$O_3D \leq O_3S$
5	$1,01 \div 1,15$	1,04	$O_3D > O_3S$
Razem 47	$0,85 \div 1,15$	0,95	
2	$0,82 \div 0,84$	0,83	$O_3D / O_3S < 0,85$
1	1,21	1,21	$O_3D / O_3S > 1,15$
1	-	-	Błędny pomiar
1	-	-	Niski pułap

Z wykonanych w roku 2020 sondaży, dwa z nich były nieudane: 13 maja z powodu przedwczesnego pęknięcia balonu; 1 lipca zmierzono bardzo niskie koncentracje ozonu w całym sondażu.

Całkowita zawartość ozonu w profilu (O_3S) była porównywana z pomiarem całkowitej zawartości ozonu w atmosferze O_3D (pomiar naziemny lub satelitarny) i obliczano najlepsze dopasowanie współczynnika korekcji. Wyniki porównania wskazują na dobrą zgodność obu systemów pomiarowych. W 47 przypadkach współczynnik korekcji mieści się w granicach $0,85 \div 1,15$, średni współczynnik wynosi 0,95.

Po każdym sondażu ozonu opracowane wyniki przekazywano pocztą elektroniczną do 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 01.01.2020 r. do 31.12.2020 r.

L.P.	Data	H [km]	1 O ₃ [D]	2 O ₃ [D]	1+2 O ₃ [D]	3 O ₃ [D]	CF	Uwagi
01	2020-01-02	33,317	323,2	23,9	347,1	297	0,86	
02	2020-01-08	34,544	307,3	19,2	326,5	322	0,99	
03	2020-01-15	35,690	295,3	19,2	314,5	292	0,93	
04	2020-01-22	33,762	368,8	23,9	392,7	368	0,94	
05	2020-01-30	33,443	368,4	19,2	387,6	355	0,92	
06	2020-02-05	34,830	381,5	21,0	402,5	383	0,95	
07	2020-02-12	32,648	434,3	26,1	460,4	413	0,90	
08	2020-02-19	32,445	356,1	31,2	387,3	388	1,00	
09	2020-02-26	34,385	405,0	21,0	426,1	369	0,87	
10	2020-03-04	35,173	427,3	27,4	454,7	435	0,96	
11	2020-03-11	34,765	322,6	22,2	344,8	350	1,02	
12	2020-03-18	32,643	332,2	39,4	371,6	349	0,94	
13	2020-03-25	34,816	335,9	32,2	368,1	372	1,01	
14	2020-04-01	34,691	341,2	20,9	362,1	355	0,98	
15	2020-04-08	31,870	318,2	39,4	357,6	355	0,99	
16	2020-04-15	33,412	302,5	33,4	335,9	315	0,94	
17	2020-04-22	32,639	290,0	37,3	327,3	319	0,97	
18	2020-04-29	34,283	330,2	27,1	357,3	300	0,84	
19	2020-05-06	35,881	400,2	28,8	429,0	426	0,99	
20	2020-05-13	18,010	-	-	-	370	-	Niski pułap
21	2020-05-20	33,972	354,1	31,3	385,4	355	0,92	
22	2020-05-27	32,496	313,3	43,5	356,8	355	1,00	
23	2020-06-03	32,247	303,9	51,8	355,7	362	1,02	
24	2020-06-10	32,471	329,6	41,8	371,4	344	0,93	
25	2020-06-17	33,059	231,5	37,7	269,2	325	1,21	
26	2020-06-24	33,763	286,1	29,8	315,9	305	0,97	
27	2020-07-01	32,714	22,5	-	-	323	-	Błędny pomiar
28	2020-07-08	34,088	364,5	29,8	394,3	360	0,91	
29	2020-07-16	34,122	359,5	29,8	389,3	350	0,90	
30	2020-07-22	33,388	306,9	35,7	342,6	320	0,93	
31	2020-08-05	35,279	313,2	24,9	338,1	321	0,95	
32	2020-08-12	32,310	252,4	49,4	301,8	304	1,01	
33	2020-08-19	33,539	296,8	36,5	333,3	310	0,93	
34	2020-08-26	32,700	291,4	36,5	327,9	294	0,90	
35	2020-09-02	33,176	332,3	37,6	369,9	326	0,88	
36	2020-09-09	31,861	215,0	45,2	260,2	267	1,03	
37	2020-09-16	33,811	236,9	32,0	268,9	266	0,99	
38	2020-09-23	32,847	298,5	37,6	336,1	282	0,84	
39	2020-09-30	33,033	260,9	32,0	292,9	269	0,92	
40	2020-10-07	35,788	306,1	21,4	327,4	284	0,87	
41	2020-10-14	35,101	278,7	21,4	300,0	314	1,05	
42	2020-10-21	34,968	260,4	21,4	281,7	261	0,93	
43	2020-10-28	34,545	275,0	21,4	296,3	287	0,97	
44	2020-11-04	33,789	242,5	27,5	270,0	271	1,00	
45	2020-11-11	35,287	272,5	19,1	291,6	268	0,92	
46	2020-11-18	34,267	219,3	18,7	238,0	230	0,97	
47	2020-11-25	35,868	259,7	14,2	273,9	263	0,96	
48	2020-12-02	35,740	333,3	14,8	348,1	286	0,82	
49	2020-12-09	35,463	276,7	14,1	290,8	274	0,94	
50	2020-12-16	35,631	238,8	14,4	253,2	241	0,95	
51	2020-12-23	33,824	264,7	16,0	280,7	276	0,98	
52	2020-12-30	34,255	325,1	19,6	344,6	347	1,01	

H	- Pułap sondażu.
1 O ₃ S	- Zawartość ozonu w jednostkach Dobsona [D], scałkowana do maksymalnej wysokości 35km.
2 O ₃ S	- Zawartość ozonu obliczona z średniej wartości stosunku zmieszania w warstwie od 16hPa do pułapu danych O ₃ .
1+2 - O ₃ S	- Całkowita zawartość ozonu w sondażu (CZO ₃).
3 - O ₃ D	- CZO ₃ zmierzona spektrofotometrem naziemnym Dobsona w Belsku lub spektrofotometrem OMPS

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

1.2 Pomiary natężenia 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. Dane ze stacji były na bieżąco przekazywane i archiwizowane na dysku twardym serwera w Warszawie, a następnie opracowywane. W roku 2020 pomiary były wykonywane bezawaryjnie. Uzyskane w roku 2020 dane zostały przekazane do GIOŚ na płycie CD.

Program pomiarowy został zrealizowany w 100%.

*Wyniki pomiarów (dobowe przebiegi oraz dawki) promieniowania UV-B uzyskane z czujników SL501 z Łeby, Legionowa i Zakopanego znajdują się w **Załączniku 2** oraz **Załączniku 3**.*

1.3 Wyznaczenie całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową

Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2020 roku, podobnie jak w latach ubiegłych, był prowadzony z wykorzystaniem danych satelitarnych z czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) znajdującego się na pokładzie satelity meteorologicznych 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 Zakładzie Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB.

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.

W 2020 roku satelitarny monitoring ozonu był prowadzony bez problemów i mapy rozkładu całkowitej zawartości ozonu (CZO₃) nad Europą Środkową były generowane codziennie.

Otrzymane w 2020 r. mapy zostały przekazane do GIOŚ na płycie CD.

Tabela 4. Wykaz map ozonu całkowitego opracowanych w Zakładzie Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB na podstawie danych z czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) w 2020 r.

Dzień	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x	x
02	x o	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o
03	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x
04	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x	x o	x
05	x	x o	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x
06	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
07	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x
08	x o	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x	x	x
09	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o
10	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x o	x
11	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x
12	x	x o	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x
13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x
15	x o	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x	x
16	x	x	x	x	x	x	x o	x	x o	x	x	x o
17	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
18	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x	x o	x
19	x	x o	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x
20	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
21	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x
22	x o	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x	x	x
23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x o
24	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x
25	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x
26	x	x o	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x
27	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
28	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x
29	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
30	x o	■	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o
31	x	■	x	■	x	■	x	x	■	x	■	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 2020

2.1 Wstęp

Ozon (O_3) jest gazem występującym w atmosferze w śladowych ilościach, ale mimo to o kluczowym znaczeniu dla biosfery i zmieniającego się klimatu. Znaczenie to wynika z właściwości fizycznych ozonu pochłaniania promieniowania w pasmach UV i w podczerwieni.

Zgodnie z klasyczną teorią Chapmana (1930) ozon tworzy się w procesie fotochemicznym inicjowanym pochłanianiem intensywnego promieniowania UV przez tlen cząsteczkowy. Po dysocjacji O_2 na atomy, tlen atomowy łączy się szybko z inną cząsteczką O_2 . Warunkiem powstania ozonu jest obecność trzeciej dowolnej cząsteczki, która przejmie nadmiar energii. Główne źródło ozonu znajduje się w strefie międzyzwołnikowej na wysokościach powyżej 25km. Maksymalne nasycenie atmosfery ozonem występuje latem na wysokości ~35km i wynosi ~10 cząsteczek O_3 na milion cząsteczek powietrza. Ozon ze strefy zwołnikowej jest przenoszony w stronę biegunów - powstaje warstwa ozonowa, która rozprzestrzenia się nad całym globem. Pochłanianie przez ozon promieniowania UV powoduje wzrost temperatury powietrza i powstanie stratosfery na wysokościach od 6-18km do ~50km. Dolna granica stratosfery (tropopauza) ogranicza zasięg konwekcji, stabilizuje klimat na powierzchni Ziemi.

Stratosferyczna warstwa ozonowa, zawierająca średnio ~90% ozonu całkowitego, absorbuje w pełni zabójcze promieniowanie UV-C (100-280nm) i pochłania większość promieniowania UV-B (280-320nm), powodując że do powierzchni Ziemi dociera tylko kilka procent biologicznie czynnego promieniowania UV. Cieńsza warstwa ozonowa zwiększa ilość słonecznego promieniowania UV-B. Wiadomo, że promieniowanie to może być szkodliwe dla wszelkich organizmów żyjących, a wzrost jego natężenia może spowodować szkody w naturalnych ekosystemach, w tym może również wywierać niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka (m. in. zachorowania na raka skóry, zaćmę i osłabienie układu odpornościowego).

Ozon przy powierzchni Ziemi jest wtórnym zanieczyszczeniem powietrza, produkowanym podczas słonecznej pogody w obecności tlenków azotu i lotnych węglowodorów, działającym toksycznie na drogi oddechowe podczas epizodów tzw. smogu fotochemicznego. Z wieloletnich serii obserwacji metodą pasków Schoenbeina wiemy, że podczas ery przemysłowej stężenie ozonu przyziemnego wzrosło bardziej niż dwukrotnie. Potwierdza to także wieloletnia seria obserwacji ozonu przyziemnego w Krakowie w latach 1854-1878 (Degórska i in, 1996).

Codziennie pomiary całkowitej zawartości ozonu w atmosferze (CO_3) w Polsce rozpoczęto na stacji IGF PAN w Belsku w marcu 1963 roku. Kilka stacji posiadających dobrze skalibrowane dane CO_3 w umiarkowanych szerokościach geograficznych półkuli północnej już na początku lat 1970 donosiło o spadkowym trendzie zawartości ozonu w atmosferze. Pomiary te zainspirowały do intensyfikacji badań w dziedzinie chemii atmosfery i rozszerzenia sieci stacji globalnej obserwacji ozonu. W roku 1974 sugerowano możliwość zmniejszenia koncentracji ozonu w górnej stratosferze, w związku z emisją freonów produkowanych od lat 1930. Dzięki współpracy IMGW i PAN w 1979 roku

rozpoczęto program regularnych cotygodniowych sondaży ozonowych na Stacji Pomiarów Aerologicznych w Legionowie.

Szybki wzrost zawartości freonów i halonów w atmosferze doprowadził do przyspieszenia procesów niszczenia ozonu, w skali globalnej w końcu lat 1970., a 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 w 1987 roku Protokół Montrealski (PM), a po szeregu rewizji w kolejnych latach wytwarzanie freonów i halonów zostało zakazane. Pomiarы atmosferyczne potwierdzają skuteczność PM w zmniejszaniu ilości substancji szkodliwych dla warstwy ozonowej.

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.

W raporcie przedstawiono analizę stanu warstwy ozonowej i poziomu promieniowania UV-B na podstawie pomiarów wykonanych w IMGW-PIB w 2020 roku.

2.2 Ocena stanu warstwy ozonowej w 2020 roku na podstawie wyników monitoringu.

W okresie od stycznia 1979 do maja 1993 w sondażach ozonowych w Legionowie wykorzystywano sondę OSE (typu Brewer-Mast produkowaną w byłym NRD), pracującą w systemie radiosondażowym METEORIT/Marz. Analiza danych serii 1979-05.1993 (to jest okres szczytowego nasycenia atmosfery freonami i halonami) wykazała istotny spadkowy trend ozonu w dolnej stratosferze, największy w sezonach zimy i wiosny (Lityńska i in., 1997).

Od czerwca 1993 roku pomiary są wykonywane z użyciem sondy ECC5A/6A/6AB w systemie radiosondażowym Vaisala DIGICORA. Od stycznia 1995 roku, w latach chłodnych zim w stratosferze na półkuli północnej, wykonywane są dodatkowe sondaże ozonowe w projekcie MATCH (statystyczne badanie procesu fotochemicznego niszczenia ozonu stratosferycznego na trajektoriach cząstek w arktycznym wirze polarnym).

W roku 2020 kontynuowano systematyczne sondaże ozonowe rozpoczęte w 1979 roku. Rutynowo w każdą środę w terminie 12UT uzyskiwany jest profil ozonu z użyciem elektrochemicznej sondy ozonowej ECC6AB, unoszonej w powietrzu przez balon meteorologiczny do maksymalnej wysokości 35km.

2.3 Analiza rozkładu pionowego ozonu nad Legionowem w 2020 roku.

Na podstawie serii pomiarów z lat 1994 - 2020 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 $1\text{hPa} = 100\text{Pa}$. Paskal (Pa) jest to ciśnienie występujące na powierzchni płaskiej 1m^2 , na którą działa prostopadle siła 1N (niutona). Zawartość ozonu wyrażona jest w jednostkach Dobsona ($1\text{DU} = 2,69 \times 10^{20}$ molekuł O_3/m^2). W Tabeli 5 przedstawiono zawartości ozonu w warstwach atmosfery dla miesiący 2020 roku oraz okresu 1994-2019, a także standaryzowane odchylenia średnich miesięcznych 2020 roku względem średniego wieloletniego rozkładu. Standaryzowane odchylenia pokazują anomalne zawartości ozonu w atmosferze, jeśli wartości odchyień przekraczają +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 ozonu rośnie z wysokością do maksimum w warstwie 50/30hPa (~21-24km), ale najwyższe stężenia są osiągnięte w średniej stratosferze. 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 średnich miesięcznych zawartościach ozonu nad Legionowem w 2020 roku odnotowano anomalie ozonu w całym profilu. W styczniu widoczny był bardzo silny wzrost koncentracji ozonu w dolnej troposferze. Dodatkowo anomalie ozonu pojawiły się w średniej stratosferze w marcu, a w warstwie maksymalnej koncentracji ozonu w maju i lipcu. Na niższych wysokościach w warstwie UTLS (dolna stratosfera i górna troposfera) obserwowano ujemne anomalie ozonu w trzech miesiącach (kwiecień, wrzesień, listopad). W dolnej troposferze ujemna anomalia wystąpiła w czerwcu. W całej troposferze w większości miesięcy na różnych wysokościach pojawiały się obniżone koncentracje ozonu. Średnia CZO_3 w sondażach w 2020 roku pozostawała w granicach naturalnej zmienności.

Tabela 5. Zawartość ozonu w warstwach atmosfery nad Legionowem w 2020r.

WYSZCZEGÓLNIENIE	Warstwy atmosfery między standardowymi powierzchniami izobarycznymi (hPa)												
	<u>~1000</u> 700	<u>700</u> 500	<u>500</u> 300	<u>300</u> 200	<u>200</u> 150	<u>150</u> 100	<u>100</u> 70	<u>70</u> 50	<u>50</u> 30	<u>30</u> 20	<u>20</u> 10	<u>10</u> 00	
Styczeń.....	a	10,5	8,1	9,6	10,0	10,8	25,5	33,2	41,0	70,2	43,9	48,3	42,4
	b	8,0	7,6	8,9	11,7	16,0	29,9	35,6	40,5	62,6	39,6	41,9	41,4
	c	3,0	1,4	0,7	-0,5	-1,4	-0,6	-0,4	0,2	1,8	1,6	1,5	0,3
Luty.....	a	10,5	8,5	11,1	18,7	22,6	38,2	33,9	50,0	65,7	44,6	46,2	46,0
	b	9,1	8,0	9,5	14,1	19,2	32,2	38,0	43,2	63,8	40,3	43,9	45,7
	c	1,1	0,8	1,2	1,1	0,9	0,8	-0,6	1,3	0,4	1,3	0,6	0,2
Marzec.....	a	12,3	8,9	9,0	14,4	20,9	27,7	31,2	42,4	69,3	43,3	52,7	53,3
	b	10,8	8,8	11,3	18,9	23,1	35,2	37,5	41,8	62,3	39,0	44,5	49,3
	c	1,2	0,1	-1,3	-0,8	-0,6	-1,3	-1,1	0,2	1,5	1,4	2,1	2,3
Kwiecień.....	a	12,9	9,6	10,5	7,1	13,8	24,1	31,3	40,2	62,6	39,3	44,8	50,0
	b	12,7	10,0	12,9	18,3	22,1	31,9	34,8	39,6	60,5	38,7	47,5	51,0
	c	0,2	-0,6	-1,1	-2,2	-2,1	-1,3	-0,7	0,2	0,6	0,2	-0,6	-0,7
Maj.....	a	12,4	10,0	11,7	20,3	22,7	32,3	31,2	39,8	62,1	43,2	51,4	51,7
	b	13,6	10,8	12,6	16,2	21,0	28,6	30,5	36,4	56,5	38,6	50,3	50,7
	c	-1,2	-1,2	-0,8	0,9	0,5	0,9	0,2	1,4	2,2	2,7	0,4	0,5
Czerwiec.....	a	10,9	9,3	12,8	14,8	14,7	26,6	24,1	31,0	54,9	42,4	55,9	51,5
	b	13,4	11,0	13,3	14,2	16,9	24,1	25,7	32,0	53,7	39,5	53,2	49,4
	c	-2,0	-1,9	-0,4	0,2	-0,7	0,9	-0,6	-0,6	0,7	1,3	1,2	1,1
Lipiec.....	a	10,6	11,0	12,5	22,4	17,3	24,6	26,5	34,5	57,2	42,3	61,0	47,3
	b	12,7	10,6	13,2	15,0	15,2	21,3	23,8	30,4	51,8	39,5	53,2	49,7
	c	-1,2	0,5	-0,5	1,4	0,7	1,3	1,6	2,5	2,2	1,7	2,1	-1,0
Sierpień.....	a	12,2	10,9	13,0	8,1	13,1	19,7	22,4	29,6	51,5	38,4	54,0	50,2
	b	12,7	10,3	12,5	11,0	12,4	19,5	24,3	29,5	48,6	37,8	50,2	49,4
	c	-0,3	0,8	0,4	-1,0	0,2	0,1	-0,8	0,1	0,9	0,2	1,1	0,4
Wrzesień.....	a	11,8	8,3	10,2	6,0	8,0	13,4	17,5	25,6	46,7	34,6	44,3	48,7
	b	11,0	9,4	10,5	10,1	9,4	17,9	24,5	30,1	48,4	35,8	45,6	48,2
	c	0,8	-1,7	-0,4	-1,3	-0,9	-1,7	-2,5	-2,2	-0,7	-0,3	-0,4	0,3
Październik.....	a	8,4	7,7	8,9	8,5	7,0	19,8	26,1	31,2	49,2	37,8	44,3	46,8
	b	9,4	8,4	9,8	9,1	9,0	16,8	23,6	29,4	48,0	34,5	40,8	46,0
	c	-1,2	-1,2	-0,7	-0,2	-1,1	1,0	0,8	0,8	0,5	1,3	0,8	0,7
Listopad.....	a	9,1	7,6	7,8	5,5	4,9	12,0	18,4	26,9	50,6	39,5	45,1	41,8
	b	8,2	7,8	8,7	8,4	9,9	19,7	26,7	30,6	50,8	36,6	39,5	42,0
	c	0,9	-0,3	-1,1	-1,4	-2,5	-1,9	-2,0	-1,4	-0,0	1,1	1,3	-0,1
Grudzień.....	a	8,5	7,7	8,2	7,8	11,1	21,5	29,8	31,7	53,8	37,0	38,0	37,0
	b	7,9	7,6	9,0	9,8	11,6	24,6	29,8	34,3	55,3	38,1	39,2	38,6
	c	0,6	0,2	-0,6	-0,6	-0,2	-0,5	0,0	-0,7	-0,4	-0,4	-0,3	-0,5

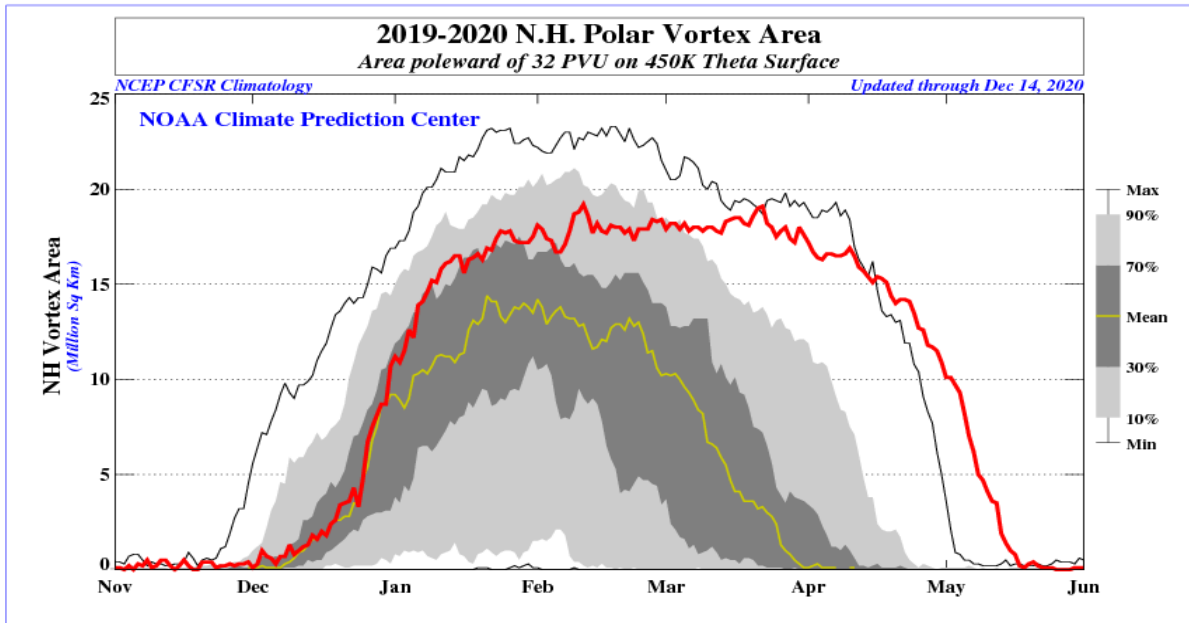
a – średnie miesięczne (D) w 2020 roku.

b – średnie miesięczne wieloletnie (D) z lat 1994-2019.

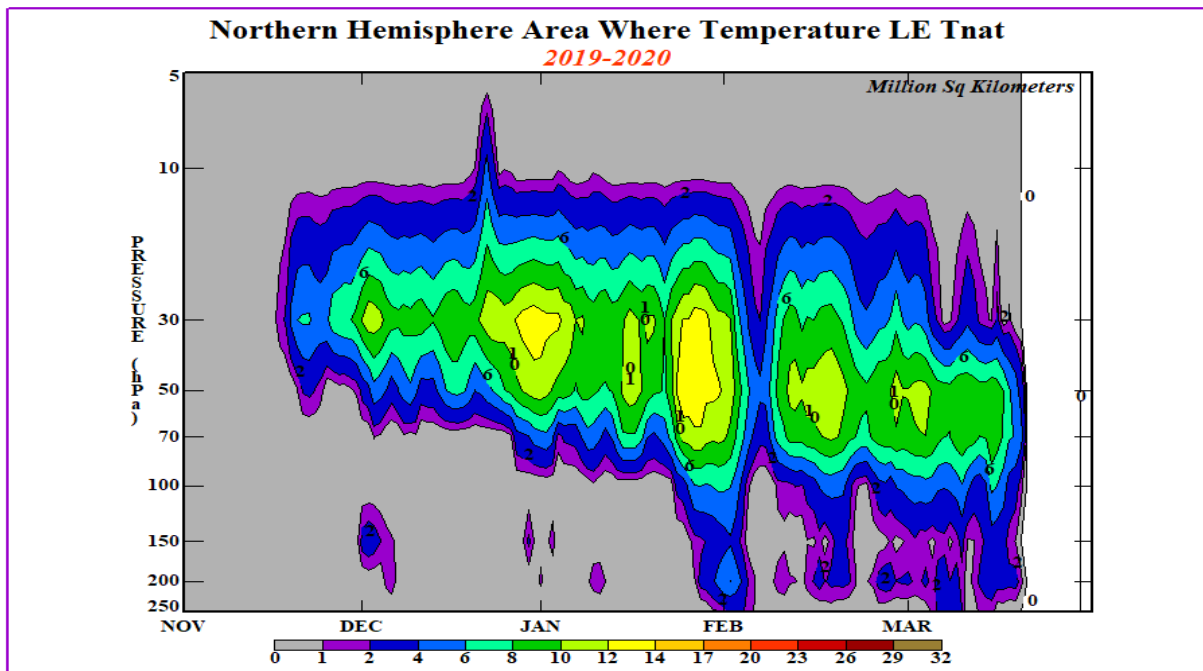
c –standaryzowane odchylenie: $(a-b)/\sigma$, gdzie σ jest odchyleniem standardowym średnich miesięcznych z lat 1994-2019.

Procesy niszczenia ozonu i warunki meteorologiczne w arktycznej stratosferze

W marcu i kwietniu 2020 roku po raz pierwszy w historii obserwacji nad Arktyką pojawiły się wyraźne oznaki dziury ozonowej (sporadyczne spadki CZO₃ poniżej 220 DU w różnych częściach wiru w okresie 3 tygodni) (Kuttippurath i in., 2021) .



Rys. 1 Wielkość powierzchni arktycznego stratosferycznego wiru polarnego na powierzchni izentropowej 450 K podczas zimy 2019/2020 na półkuli północnej.

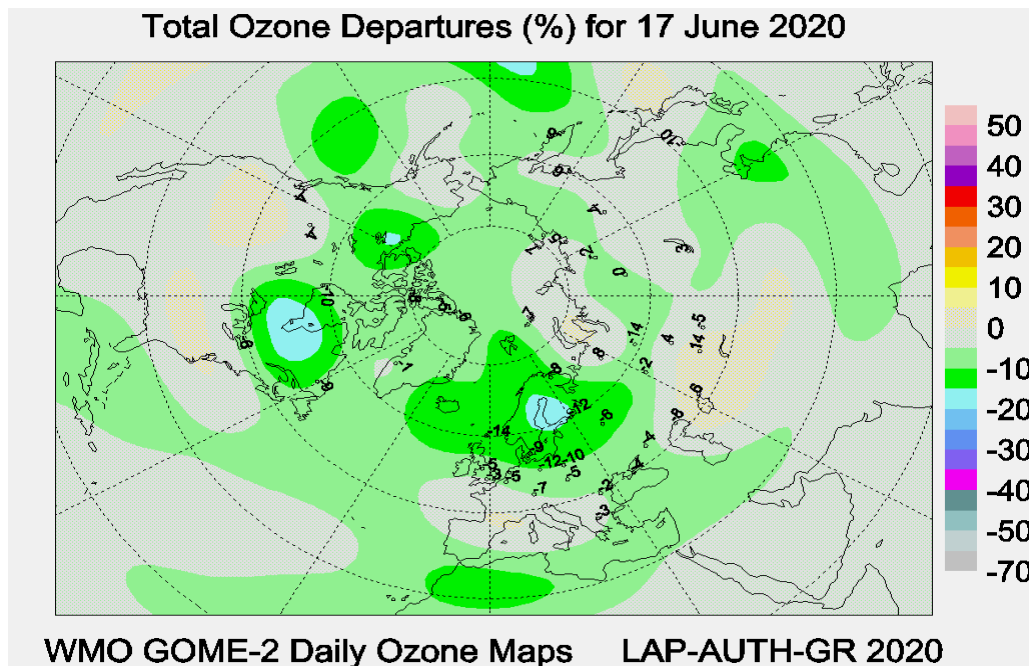


Rys. 2 Wielkość powierzchni z możliwością tworzenia PSC typu I w rejonach polarnej stratosfery nad półkulą północną podczas zimy 2019/2020.

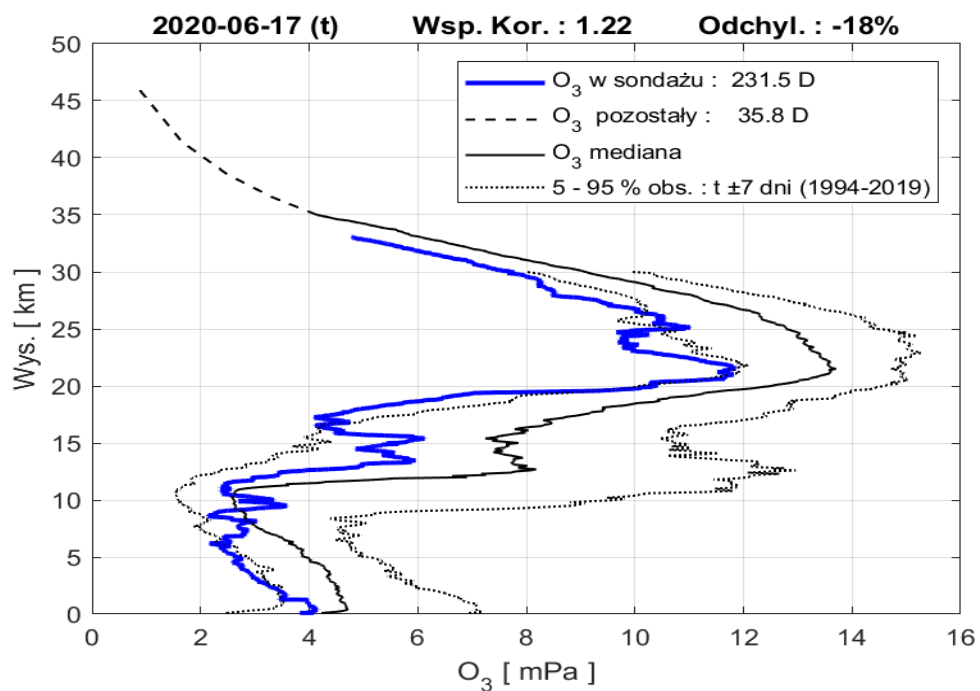
W stratosferze cząstki powietrza poruszają na powierzchniach izentropowych (powierzchnie stałej wartości temperatury potencjalnej). W rejonach polarnych powierzchnia izentropowa 450K leży w warstwie maksymalnej koncentracji ozonu w profilu pionowym (70/50hPa). Rysunek 1 pokazuje wielkość powierzchni wiru polarnego w arktycznej stratosferze na wysokości maksymalnej koncentracji ozonu dla sezonu zimowo-wiosennego 2019/2000, na tle statystyki z lat ubiegłych. Wzrost powierzchni wiru wynikał z radiacyjnego spadku temperatury podczas nocy polarnej. Wir polarny pozostawał w izolacji od cieplejszych mas powietrza aż do marca gdy nastąpiło nagłe ogrzanie stratosferyczne kończące sezon występowania PSC (Rys. 2). W marcu wir pokrywał rekordową powierzchnię 19 milionów km² i pozostawał stabilny do połowy kwietnia. Potem ulegał stopniowej dyssypacji, aż do zaniku w połowie maja. Długi sezon PSC i niskie temperatury w arktycznej stratosferze sprawiły, że powstały wyjątkowe warunki meteorologiczne, podobne do tych, które każdego roku od wczesnych lat 1980. powodują powstanie wiosennej dziury ozonowej nad Antarktydą.

Epizody ubytków ozonu nad Polską i Europą w 2020 roku

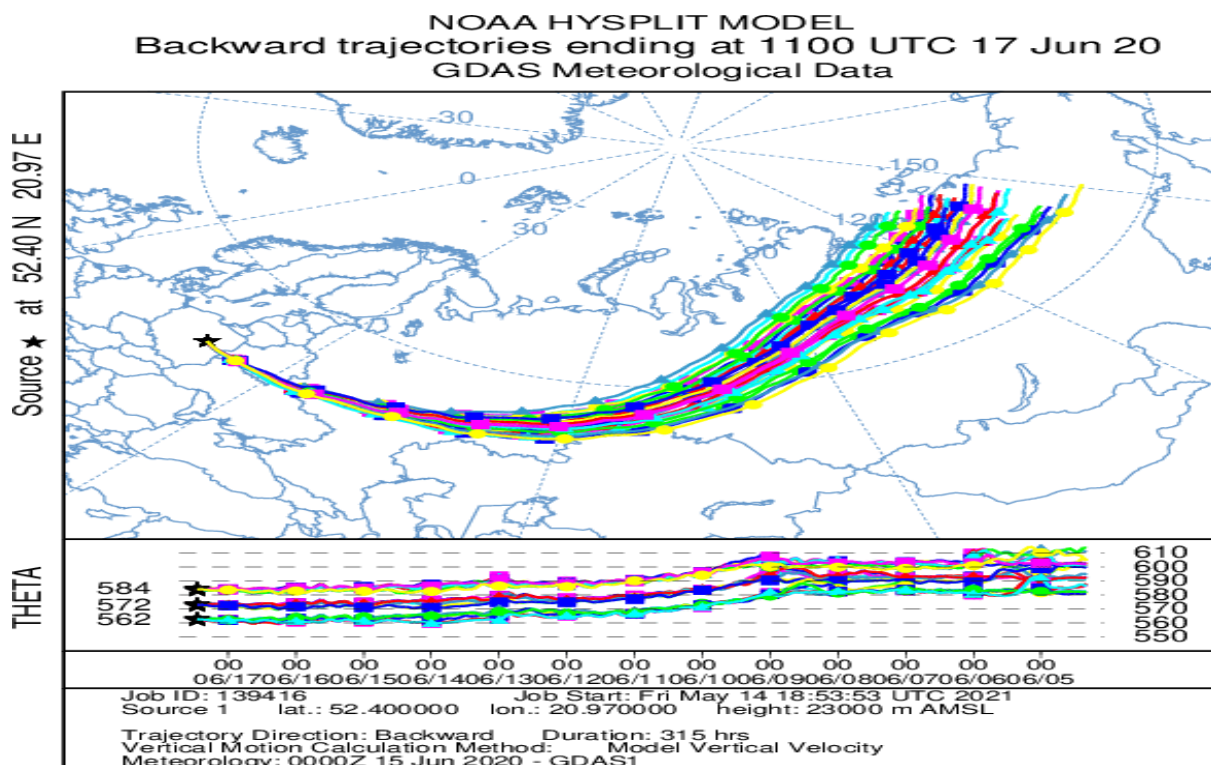
Stabilne położenie wiru polarnego w Arktyce w sezonie zimowo-wiosennym 2019/2020 sprawiło, że zubożone w ozon masy powietrza stratosferycznego dotarły do umiarkowanych szerokości półkuli północnej dużo później niż w ubiegłych latach (Rys. 3). Mapy całkowitej zawartości ozonu z danych satelitarnych i naziemnych w dniach 14-17 czerwca pokazały obszar największych spadków CZO₃ na półkuli północnej w rejonie Skandynawii i Europy Północno-Wschodniej. W sondażu ozonowym w Legionowie 17 czerwca 2020 (Rys. 4) spadek koncentracji ozonu był widoczny praktycznie w całej stratosferze, z rekordowym ubytkiem ozonu w warstwie maksymalnej koncentracji. Do przeanalizowania epizodu ubytków ozonu, obliczono wsteczne trajektorie cząstek powietrza, kończące się w rejonie anomalii na wysokości 23km (Rys. 5). Masa z ubytkiem ozonu pochodziła z arktycznej stratosfery. Na trajektorii widać nieadiabaticzne osiadanie gęstszego powietrze arktycznego w cieplejszej masie powietrza otaczającego. Cykloniczne zakrzywienie trajektorii w pobliżu tropopauzy sugeruje przenikanie zubożonych w ozon mas powietrza z pozostałości wiru polarnego. Część cząstek powietrza docierającego w rejon ujemnej anomalii nad Legionowem sugeruje inną możliwość - unoszenie powietrza o niskiej koncentracji ozonu z dolnej troposfery (Rys. 6). Podczas tego epizodu miernik promieniowania UV, SL 501, pracujący na stacji IMGW-PIB w Łebie zmierzył rekordowo wysokie promieniowanie rumieniowo czynne w serii pomiarów na tej stacji od czerwca 1993 roku. Indeks UV 14 czerwca w Łebie wyniósł 6,9.



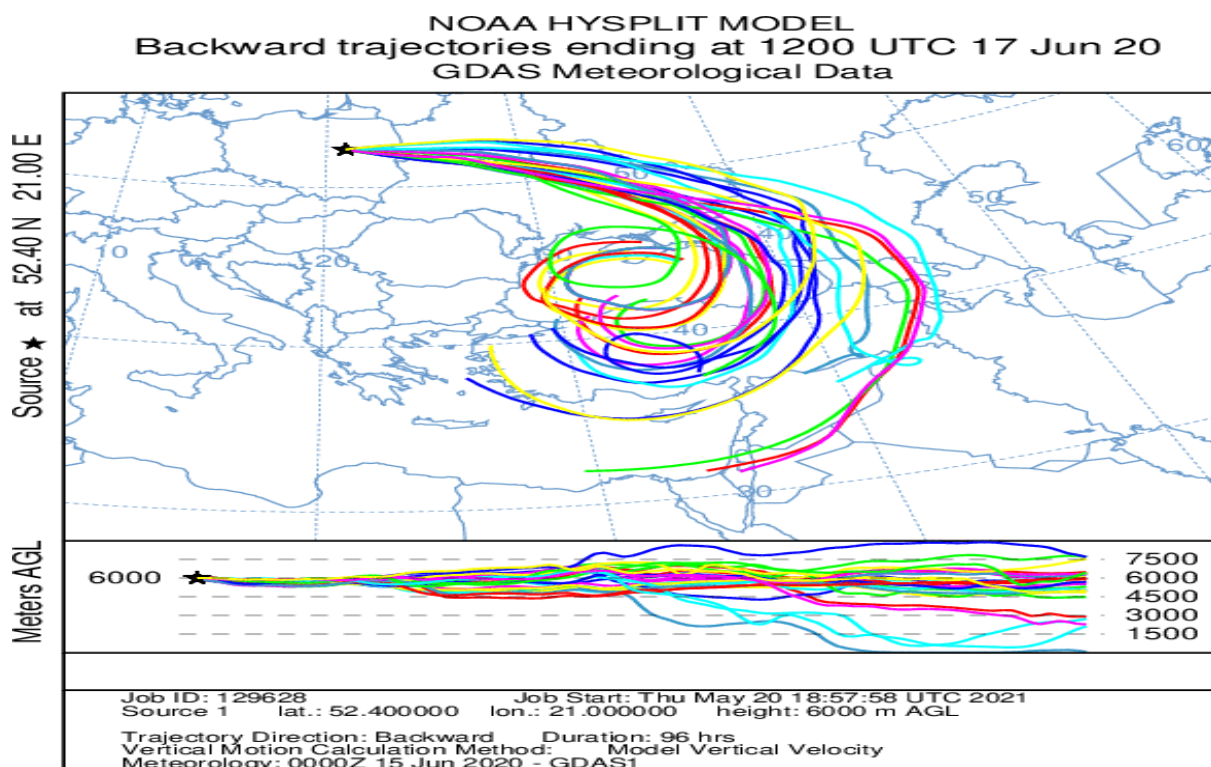
Rys. 3. Procentowe odchylenia całkowitej zawartości ozonu od odpowiednich średnich miesięcznych wieloletnich nad półkulą północną, na podstawie danych satelitarnych GOME-2 i obserwacji naziemnych.



Rys. 4. Sondaż z ubytkami ozonu nad Legionowem 17 czerwca 2020 roku.



Rys. 5. Trajektorie wsteczne HYSPLIT cząstek powietrza kończące się w rejonie anomalii w warstwie maksymalnej koncentracji ozonu nad Legionowem 17 czerwca 2020 r.

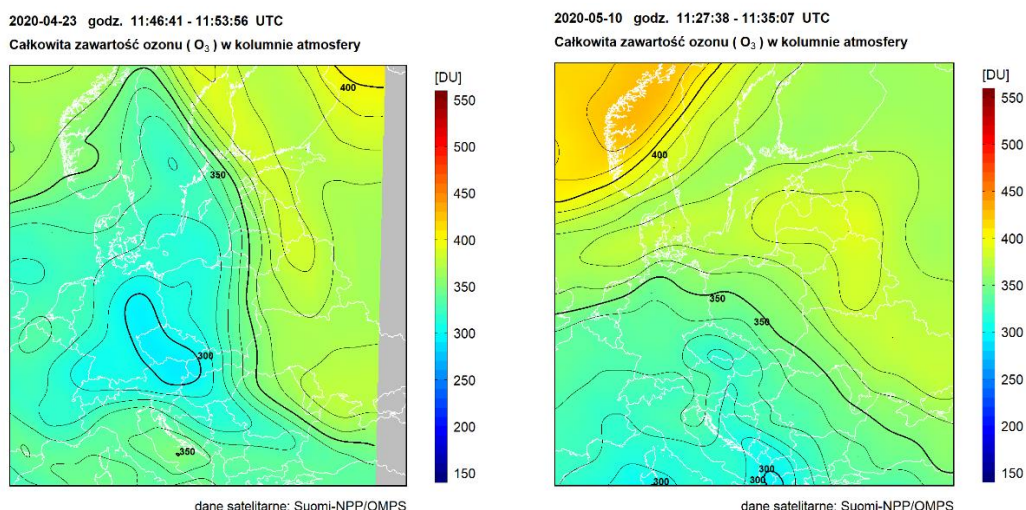


Rys. 6. Trajektorie wsteczne HYSPLIT cząstek powietrza kończące się w rejonie anomalii w górnej troposferze nad Legionowem 17 czerwca 2020 r.

2.4 Ozon całkowity z danych satelitarnych nad Europą Środkową w 2020 roku

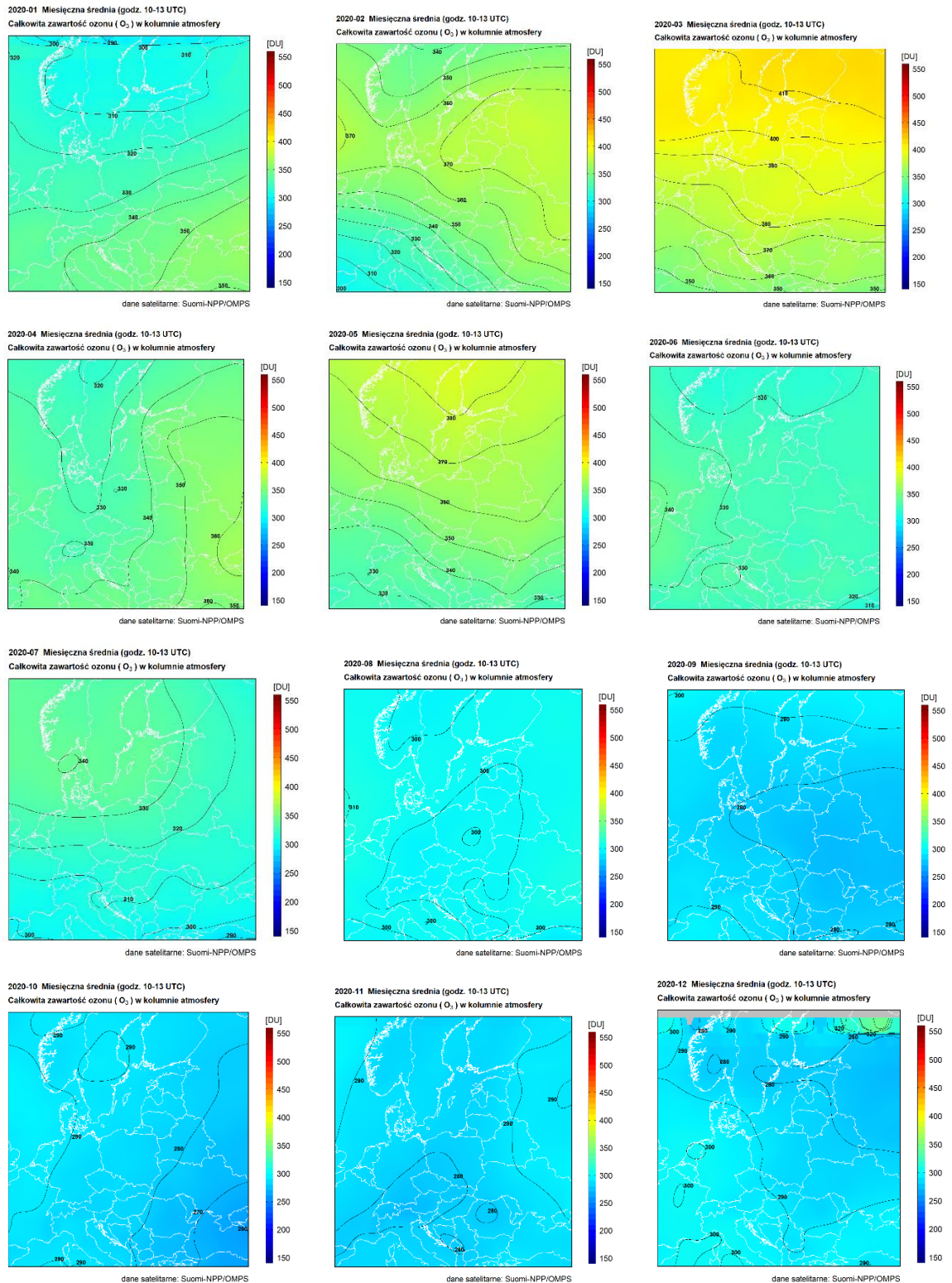
Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2020 roku, podobnie jak w latach ubiegłych, był prowadzony z wykorzystaniem danych satelitarnych z czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS), znajdującego się na pokładzie satelity meteorologicznego Suomi-NPP (S-NPP). Satelita S-NPP przelatuje nad Polską dwa razy na dobę: w godzinach od 10:30 UTC do 12:15 UTC oraz od 00:00 UTC do 02:00 UTC. Ponieważ czujnik OMPS mierzy promieniowanie w paśmie optycznym spektrum, do monitoringu całkowitej zawartości ozonu mogły być wykorzystane jedynie dane z dziennych przelotów satelity S-NPP.

Pola całkowitej zawartości ozonu wygenerowane z danych S-NPP/OMPS były 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 odwróconych odległości. Przykładowe rozkłady całkowitej zawartości ozonu nad Europą Środkową przedstawiono na rysunku 7.



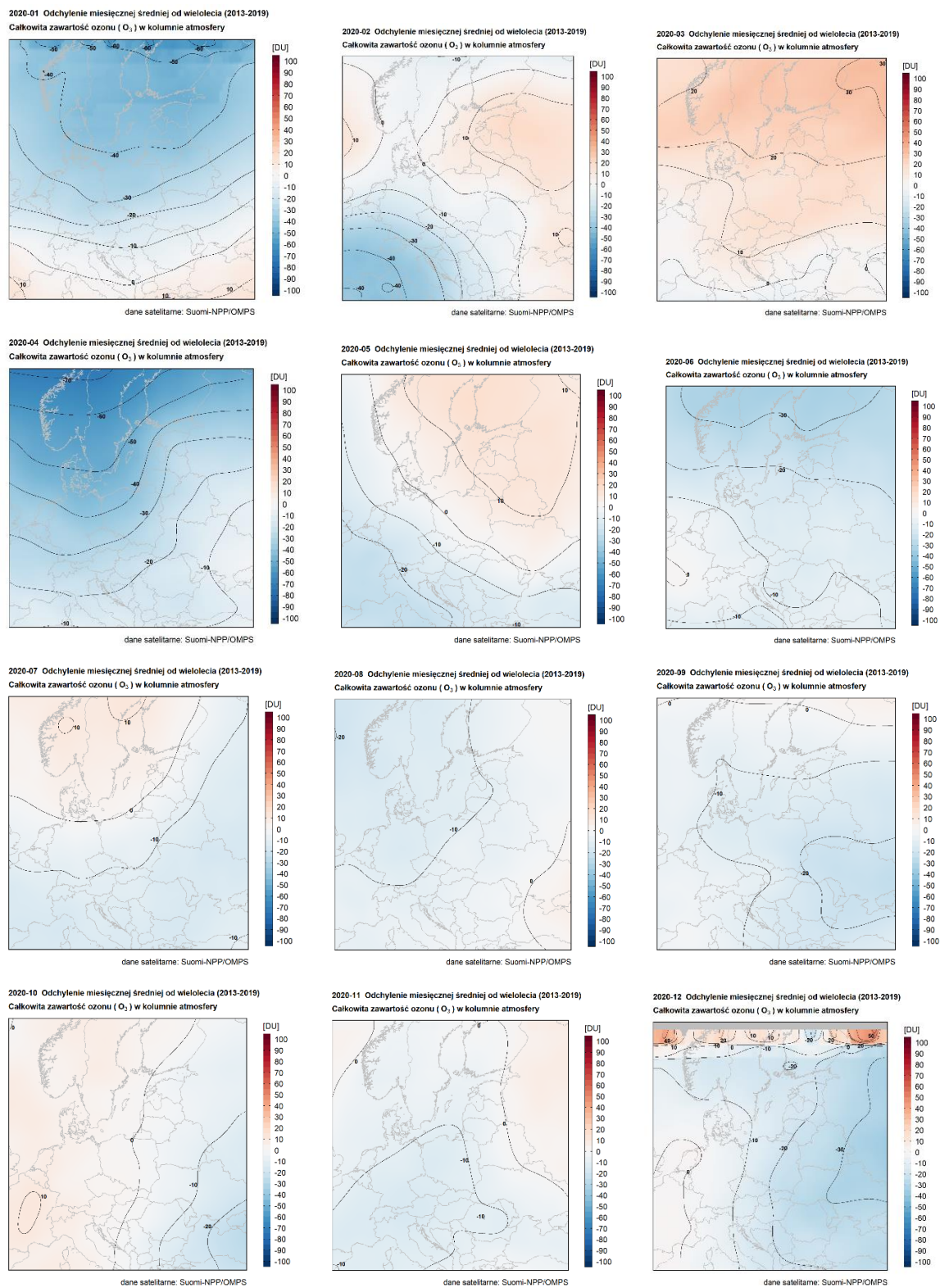
Rys. 7. Całkowita zawartość ozonu w kolumnie atmosfery (w Dobsonach - DU) w dniach 23 kwietnia i 10 maja 2020 r., wyznaczona z danych S-NPP/OMPS.

Satelitarny monitoring ozonu w 2020 roku był prowadzony bez problemów i mapy rozkładu całkowitej zawartości ozonu (CZO₃) nad Europą Środkową były generowane codziennie. Dane te zostały następnie wykorzystane do stworzenia średnich miesięcznych rozkładów całkowitej zawartości ozonu (Rys. 8) oraz odchylenia od średnich wieloletnich (Rys. 9). Średnie wieloletnie CZO₃ zostały obliczone na podstawie danych S-NPP/OMPS z całego dostępnego obecnie okresu, tj. dla lat 2013-2019.



Rys. 8. Średnie miesięczne rozkłady całkowitej zawartości ozonu w kolumnie atmosfery, wyznaczone z satelitarnych danych S-NPP/OMPS w 2020 r.

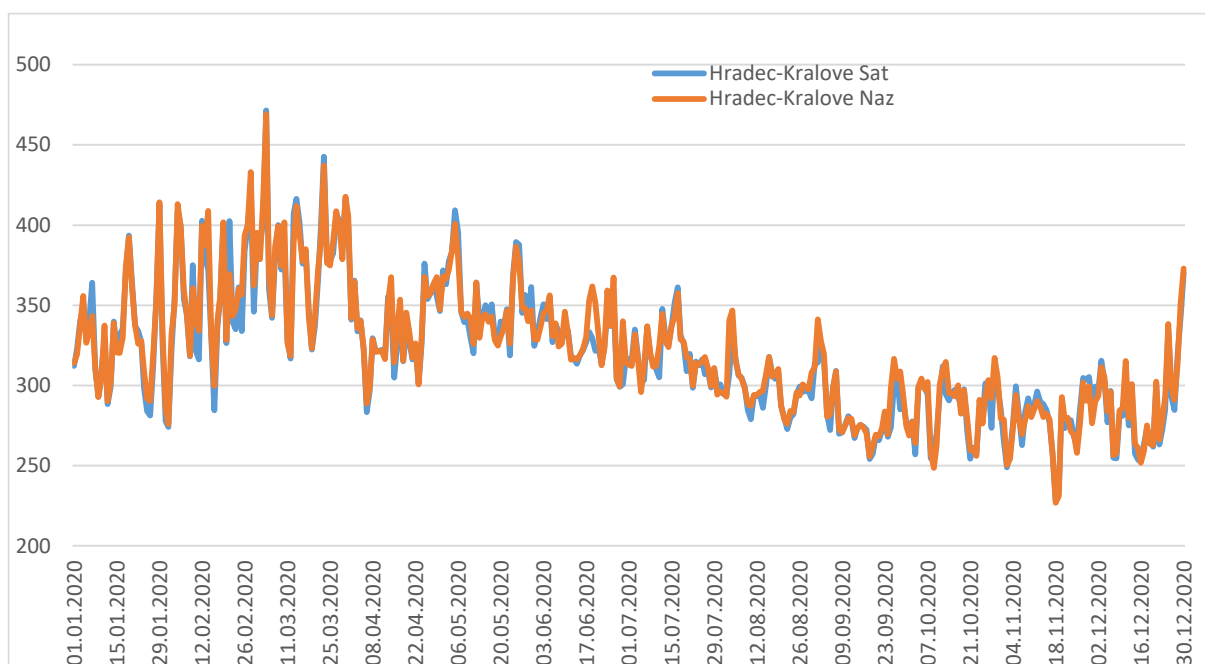
Otrzymana zmienność średnich miesięcznych rozkładów ozonu jest zgodna z cyklem rocznym tego parametru, z wyjątkiem kwietnia, dla którego otrzymano niższe wartości całkowitej zawartości ozonu niż w maju i marcu.



Rys. 9. Rozkłady odchylenia średniej miesięcznej zawartości ozonu wyznaczonej z danych S-NPP/OMPS w 2020 r. od średniej wieloletniej z okresu 2013-2019.

Łatwo zauważyć, że zawartość ozonu w Polsce w styczniu, kwietniu, czerwcu i wrześniu 2020 r. była niższa od średniej z poprzednich 7 lat, a wyższa w marcu i maju. Największe ujemne odchylenia od średniej z lat 2013-2019 zanotowano w kwietniu 2020 r. Wahwały się one od -2,7% do -18,6%. Z kolei w maju dodatnie odchylenia sięgały 7,7% przy czym na obszarze Polski były one rzędu 4%.

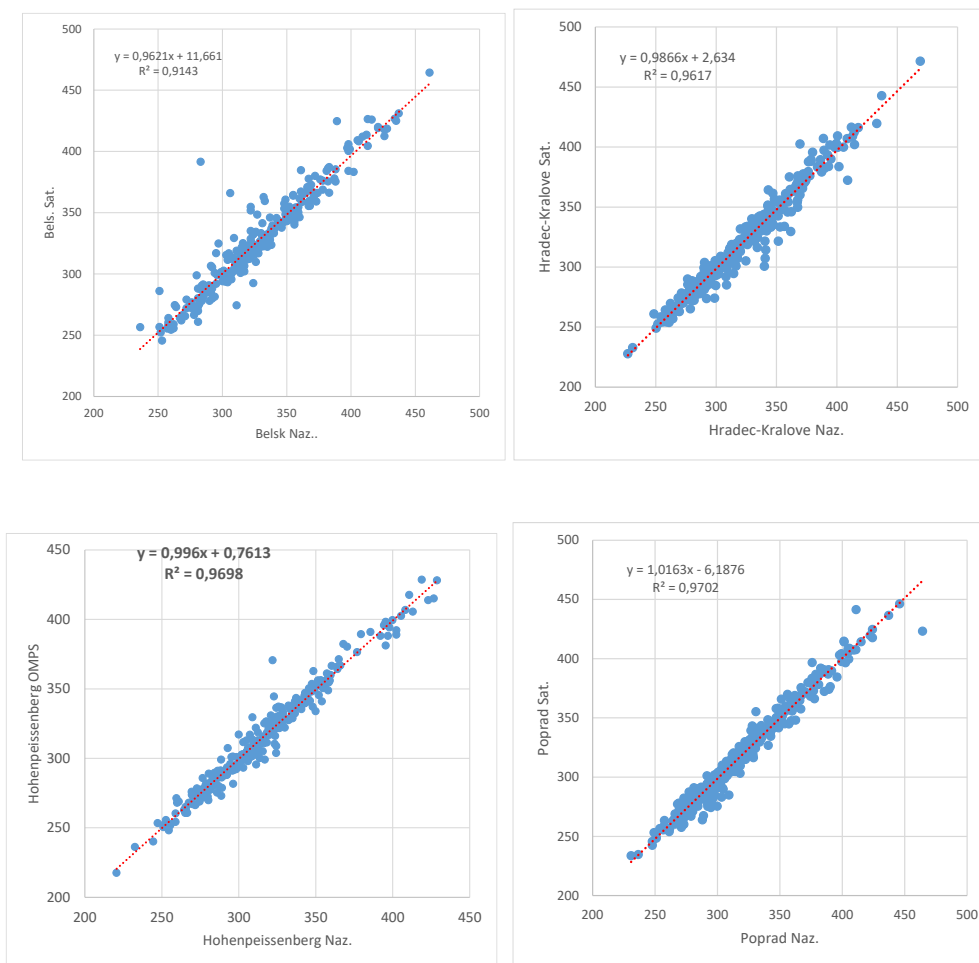
W ramach monitoringu prowadzono również weryfikację dokładności całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych poprzez porównanie ich z pomiarami naziemnymi dla czterech stacji z obszaru Europy Środkowej, które znajdują się w obrębie każdej transmisji S-NPP odbieranej w Zakładzie Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB. Stacje te to: Belsk (21°E, 52°N), Hohenpeissenberg (11,0°E, 47,8°N), Hradec-Kralove (15,8°E, 50,2°N) oraz Poprad Ganovce (20,3°E, 49°N). Wszystkie dane naziemne wykorzystane w analizie pobrane zostały ze Światowego Centrum Danych Ozonowych i UV, znajdującego się w Toronto (Kanada) (www.woudc.org). Na rysunku 10 przedstawiono zmienność roczną całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych oraz zmierzonej na stacji w Hradec-Kralove w 2020 r.



Rys. 10. Całkowita zawartość ozonu wyznaczona z danych S-NPP/OMPS oraz zmierzona spektrofotometrem Dobsona w Hradec-Kralove (CZE) w 2020 roku.

Zgodność obu krzywych jest bardzo dobra i w obu przypadkach widzimy znaczny spadek całkowitej zawartości ozonu w kwietniu 2020 r.

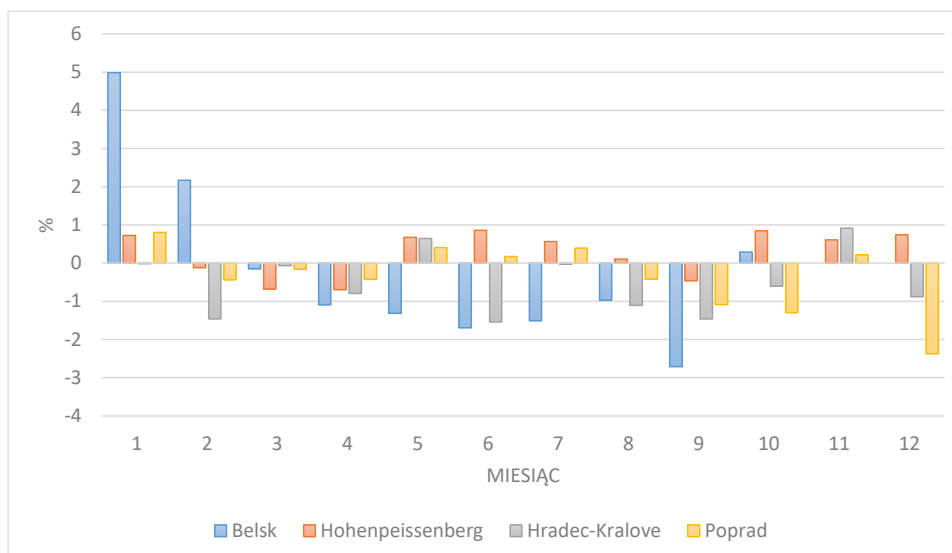
Wykresy korelacji wartości całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych i z danych pochodzących ze stacji pomiarów naziemnych pokazano na rysunku 11.



Rys. 11. Porównanie całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych S-NPP/OMPS oraz zmierzonej spektrofotometrem dla stacji w Belsku, Hradec-Kralove, Hohenpeissenbergu oraz Popradzie w 2020 r.

Łatwo zauważyć bardzo dobrą zgodność pomiędzy całkowitą zawartością ozonu wyznaczoną z danych satelitarnych oraz uzyskaną z pomiarów naziemnych dla wszystkich czterech stacji. Współczynniki determinacji regresji liniowej R^2 otrzymane dla poszczególnych stacji mieszczą się w przedziale od 0,92 do 0,97 (Rys. 11).

Dla większości miesięcy wykorzystanie danych satelitarnych S-NPP/OMPS prowadzi do zaniżania całkowitej zawartości ozonu dla wszystkich stacji (Rys. 12). Stosunkowo wysokie dodatnie wartości różnic procentowych uzyskano dla miesięcy zimowych dla Belska. Wartości liczbowe różnic mieszczą się w przedziale od 2,2% do 5,0% (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 S-NPP/OMPS oraz z pomiarów naziemnych w roku 2020.

W celu określenia dokładności metody wyznaczania zawartości ozonu z danych satelitarnych S-NPP/OMPS, obliczono średnią różnicę pomiędzy całkowitą zawartością ozonu wyznaczoną z danych satelitarnych i naziemnych, średnią różnicę bezwzględną, korelację oraz błąd procentowy metody. Wyniki przedstawione zostały w Tabeli 6.

Tabela 6. Wyniki porównania pomiędzy zawartością ozonu wyznaczoną z danych S-NPP/OMPS i zmierzoną spektrofotometrem w 2020 r., dla stacji Belsk, Hohenpeissenberg, Hradec-Kralove oraz Poprad Ganovce.

	Korelacja	Średnia różnica [DU]	Średnia różnica bezwzględna [DU]	RMSE %
Belsk	0,96	-0,83	7,7	3,79
Hohenpeissenberg	0,98	-0,51	4,51	2,07
Hradec-Kralove	0,98	-1,68	5,28	2,53
Poprad	0,98	-0,98	5,01	2,25

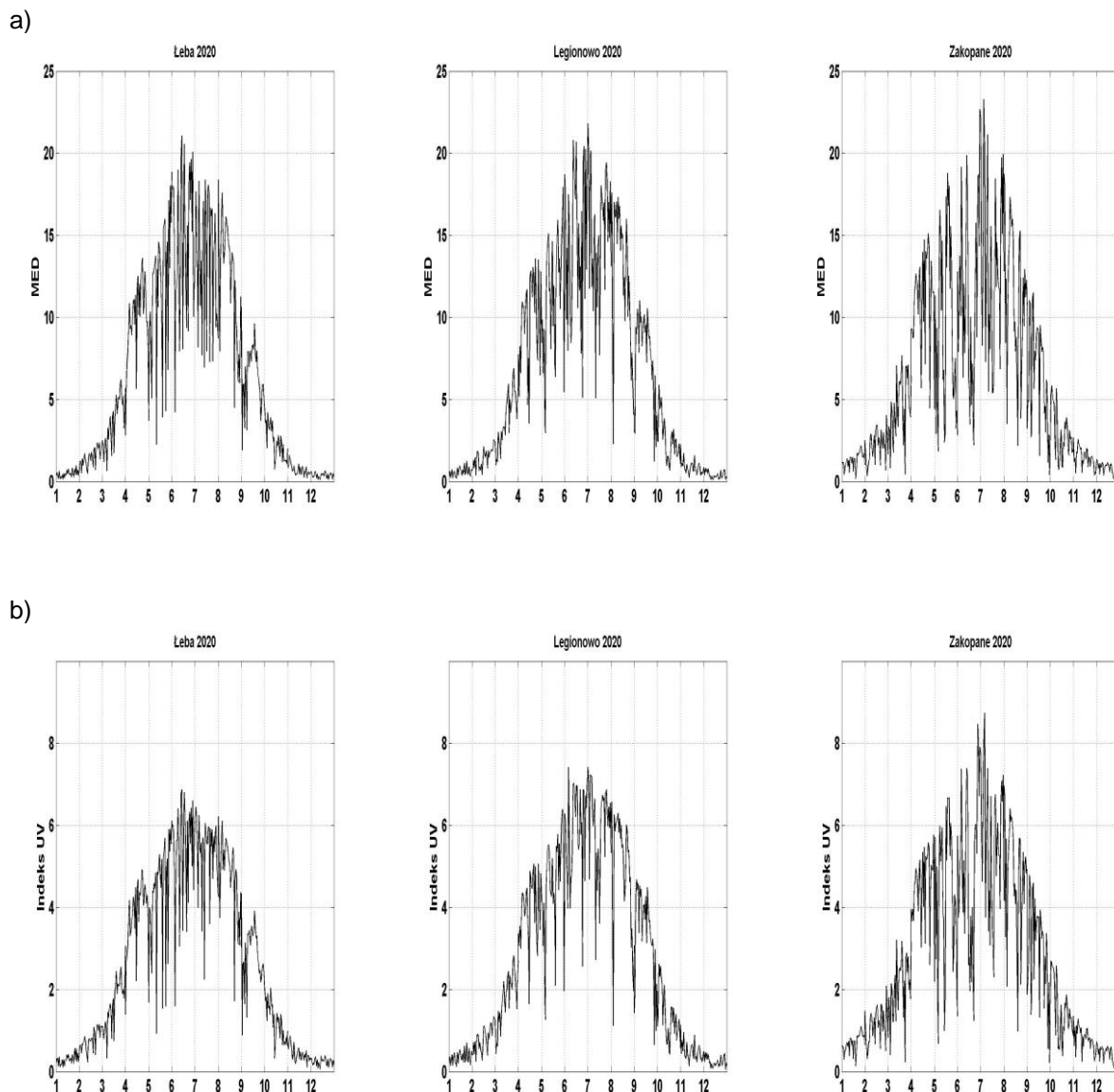
Objaśnienie: DU - Dobsony

Dla wszystkich czterech stacji zgodność całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych OMPS z pomiarami naziemnymi jest bardzo dobra – średni błąd procentowy waha się w granicach od 2,07% do 3,79%. Na uwagę zasługuje również bardzo wysoka korelacja, która dla wszystkich stacji jest większa od 0,9.

2.5 Promieniowanie UV-B zmierzone na sieci monitoringu w 2020 roku

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

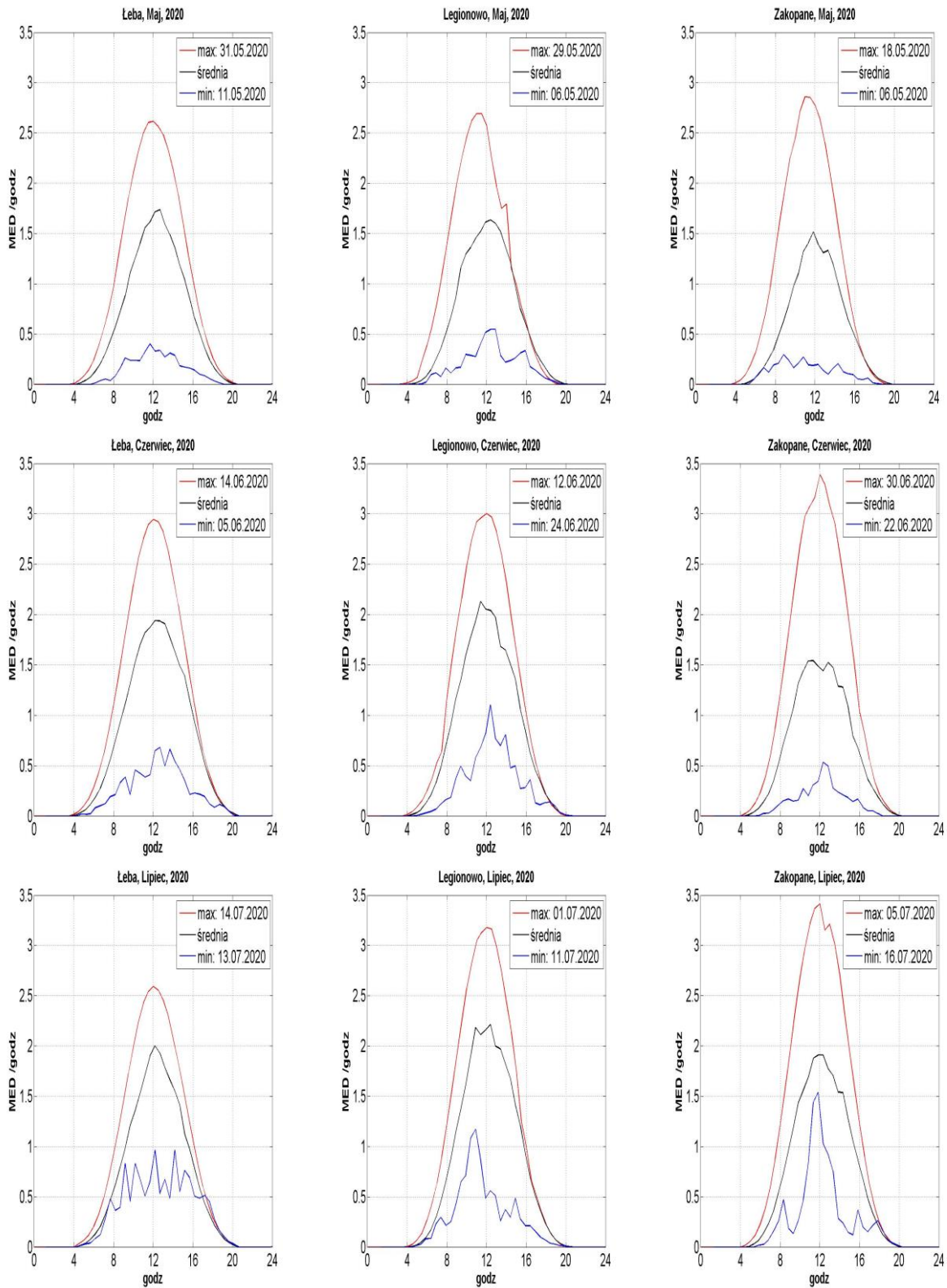
Poniżej przedstawiono wartości dawek dziennych UV-B [MED] i Indeksu UV zmierzone na stacjach IMGW-PIB w 2020 roku (Rys. 13).



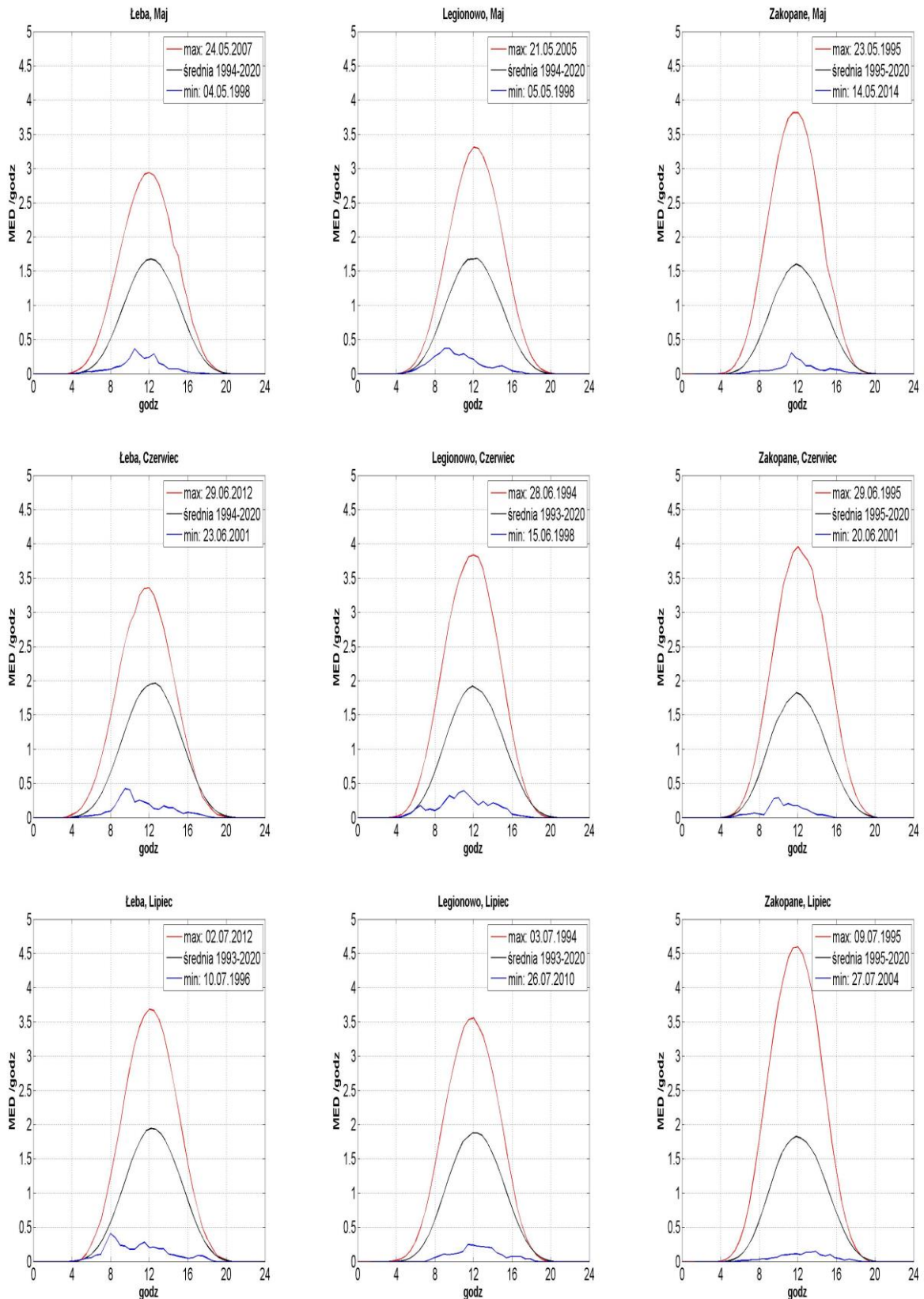
Rys. 13. Wartości dawek dziennych UV-B [MED] (a) i Indeksu UV (b) z czujników SL501 w Łebie, Legionowie i Zakopanem w 2020 r.

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. Południkowy rozkład wielkości promieniowania UV powinno się zauważyć porównując średnie dzienne, przebiegi dzienne z maksymalną dawką oraz dawki miesięczne w poszczególnych miesiącach. Dla miesięcznych średnich dobowych efekt taki występuje dla chłodnej pory roku, w styczniu, marcu, październiku i listopadzie. (Tabela. 7, Rys. 14). Maksymalne dawki układają się południkowo dla stycznia, lutego, lipca, września, listopada i grudnia. Podobny rozkład mają dawki miesięczne w styczniu, marcu, październiku, listopadzie i grudniu. W miesiącach letnich południkowy rozkład jest często zaburzony. Wynika to z faktu, że wraz z nadejściem okresu ciepłego zaczynają rozwijać się procesy konwekcyjne sprzyjające powstawaniu chmur. Odwrócony rozkład otrzymano dla średnich dobowych w maju oraz dla dawek miesięcznych w maju i czerwcu. Gdy analizujemy większą ilość danych niż dla pojedynczego roku południkowy rozkład promieniowania widać bardzo dobrze na przebiegach dobowych w serii (Rys. 15). Dla miesięcy od maja do lipca przebiegi z maksymalnymi dawkami dobowymi układają się rosnąco z północy na południe, natomiast średnie miesięczne, odwrotnie z południa na północ. Maksymalne dawki dobowe odpowiadają sytuacjom bezchmurnego nieba, najczęściej z małą ilością ozonu i aerozoli, natomiast wartości średnie opisują typowe promieniowania na danej stacji w wybranym miesiącu.



Rys. 14. Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B (w MED/h) zmierzonego przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu 2020 r.



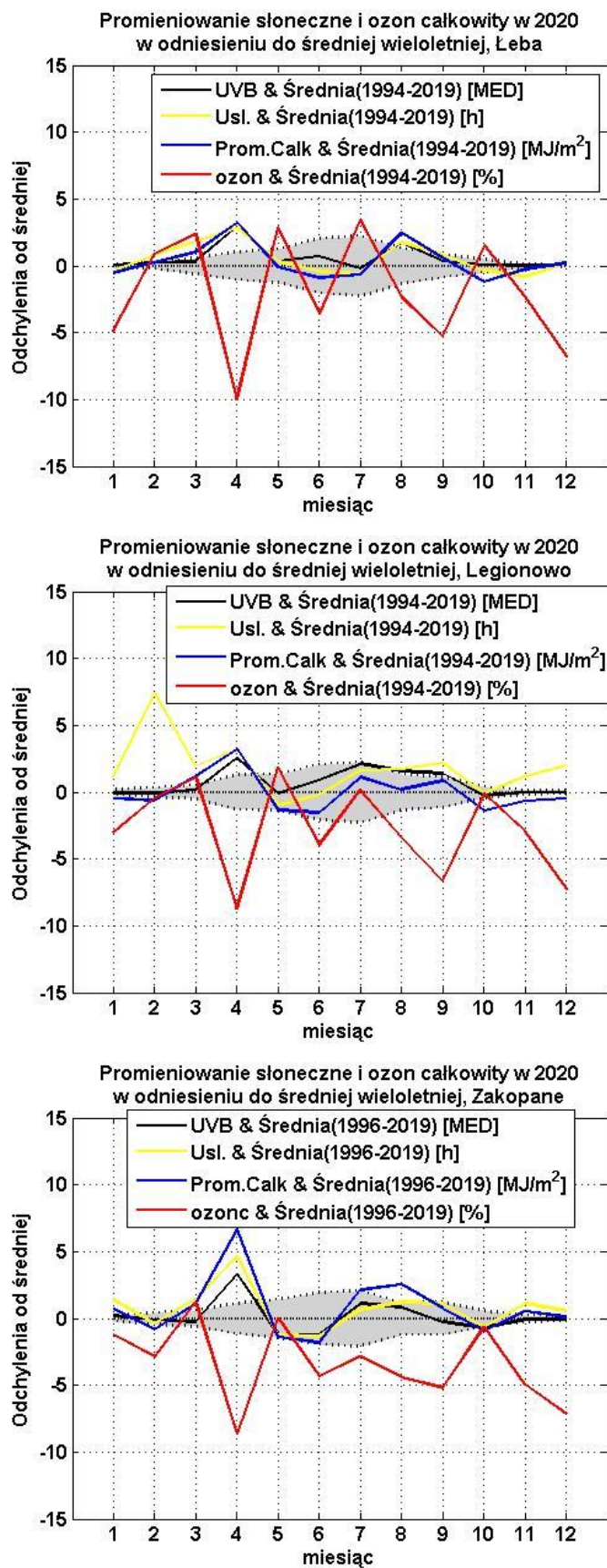
Rys. 15. Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B (w MED/h) zmierzonego przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu dla całej serii pomiarowej od 1993 do 2020 r.

Tabela 7. Dienne – średnie, maksymalne i minimalne dawki UV-B oraz miesięczne dawki promieniowania UV-B (w MED) zmierzonego przyrządami SL501 w 2020 r.

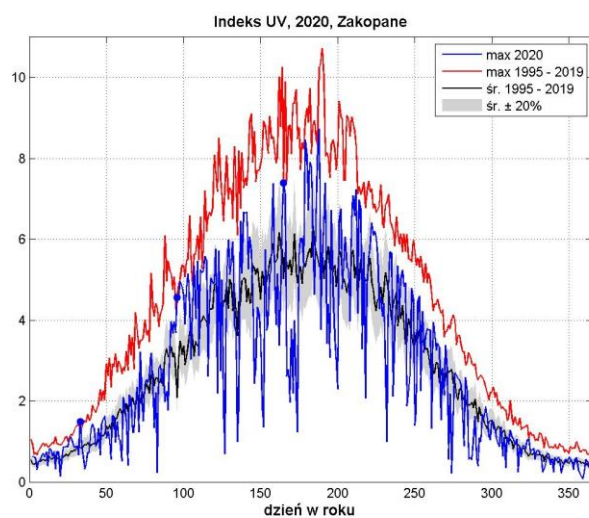
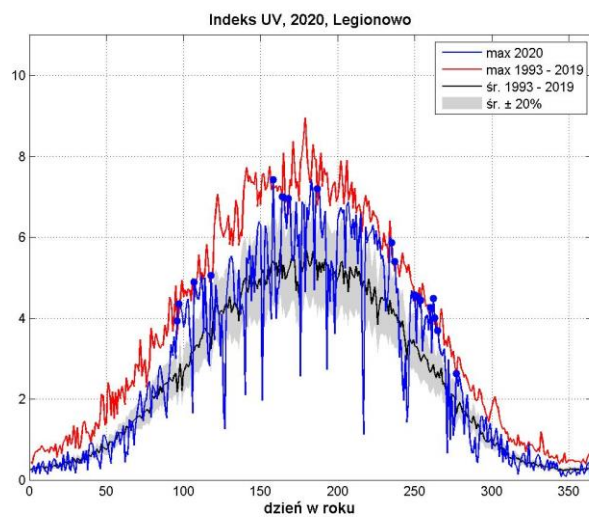
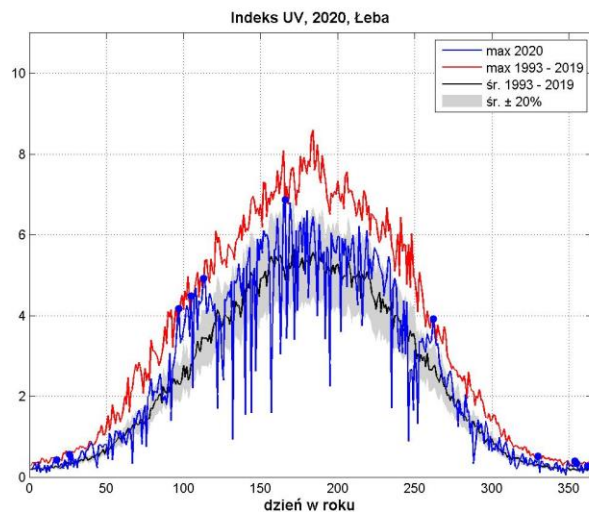
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Łeba												
Śr. Dobowe	0,5	1,4	3,7	10,0	11,7	14,5	13,2	12,2	6,5	2,4	0,7	0,4
Max. Dob.	1,0	2,4	6,2	13,6	18,8	21,1	18,4	18,4	10,7	4,4	1,6	0,6
Min. Dob.	0,2	0,5	0,7	2,9	2,3	4,3	7,0	4,5	1,9	0,8	0,2	0,1
Dawka mies.	14,4	41,4	113,2	298,9	362,1	434,5	409,1	378,1	195,9	75,3	21,2	11,6
Legionowo												
Śr. Dobowe	0,6	1,4	3,9	9,8	11,2	14,5	15,2	12,2	7,7	2,5	0,9	0,4
Max. Dob.	1,2	2,6	6,9	13,6	17,9	20,8	21,8	17,6	11,0	5,9	2,3	0,9
Min. Dob.	0,2	0,4	1,0	3,6	3,0	5,1	5,1	2,3	1,2	0,7	0,3	0,1
Dawka mies.	17,7	40,1	119,7	295,0	346,4	433,7	471,3	379,7	231,5	77,7	25,7	12,4
Zakopane												
Śr. Dobowe	1,3	2,1	4,4	11,2	9,2	11,2	13,2	11,4	6,4	2,8	1,5	0,8
Max. Dob.	2,2	4,0	7,7	15,1	18,8	22,7	23,3	18,7	11,5	5,8	2,7	1,3
Min. Dob.	0,2	0,4	0,5	4,5	1,8	2,2	5,4	2,2	0,4	0,7	0,4	0,2
Dawka mies.	39,3	61,4	137,8	335,1	285,6	337,2	408,2	353,2	192,8	87,4	43,7	24,8

Dla 2020 roku maksymalną dawkę miesięczną, 471 MED zmierzono w lipcu dla Legionowa, a maksymalną dawkę dobową, 23,3 MED w lipcu dla Zakopanego. Maksymalne miesięczne dawki dobowe wystąpiły, w czerwcu dla Łeby, a w lipcu dla Legionowa i Zakopanego.

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 2020 roku większe od typowych wartości, identyfikowanych przez odchylenie standardowe (szary obszar) zaobserwowano dla kwietnia na wszystkich stacjach oraz w mniejszym stopniu dla sierpnia i września w Legionowie i Zakopanem. W obu tych przypadkach występowała mniejsza niż średnia ilość ozonu całkowitego oraz więcej dni bezchmurnych, czyli typowych czynników związanych z wyższą pogodą.



Rys. 16. Odchylenie od średniej wieloletniej promieniowania UV-B, promieniowania całkowitego, ozonu całkowitego i usłonecznienia w 2020 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 2020 roku dla stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem na tle średniego oraz maksymalnego Indeksu UV od początku pomiarów do 2020 roku dla każdej stacji. Niebieskie punkty oznaczają ekstremalne wartości w serii dla danego dnia roku zmierzone w 2020 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 dobową 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.

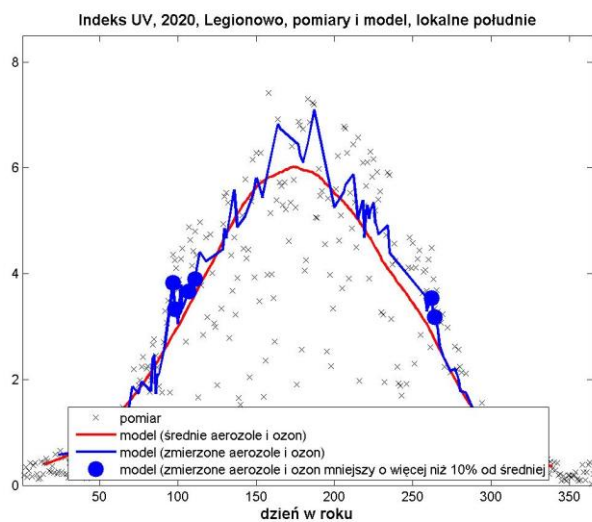
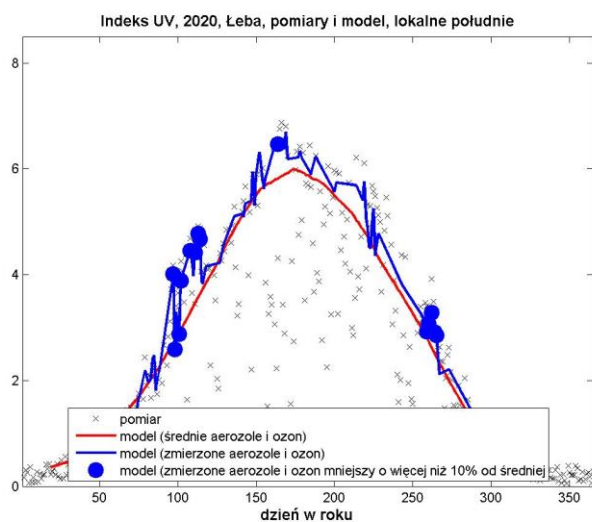
Na rysunku 17 przedstawiono przebieg roczny Indeksu UV z 2020 roku na tle średniego oraz maksymalnego Indeksu UV z okresu od 1993 (Zakopane od 1995) do 2019 roku dla każdej ze stacji.

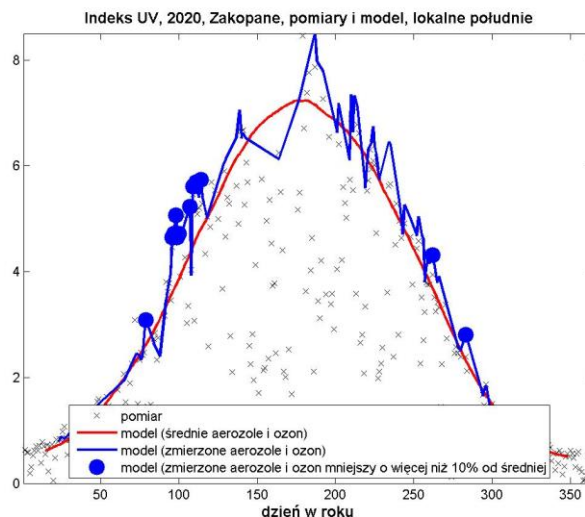
W roku 2020 na wszystkich stacjach obserwowano epizodycznie wartości Indeksu UV zbliżające się do ekstremów wieloletnich w seriach pomiarowych, a nawet je przekraczające. Najwięcej dni z ekstremalnymi wartościami Indeksu UV występowało w Legionowie i Łebie oraz kilka dla Zakopanego. Ekstrema występowały głównie w kwietniu, wczesną jesienią oraz w pojedynczych dniach w lecie. Największe wartości Indeksu UV na stacjach IMGW-PIB w 2020 roku zmierzono odpowiednio: 14 czerwca w Łebie (UVI 6,9), 6 czerwca i 1 lipca w Legionowie (UVI 7,4), 6 lipca w Zakopanem (UVI 8,7). Największe dawki dzienne rumieniowego promieniowania UV zanotowano 14 czerwca w Łebie (21,08 MED), 1 lipca w Legionowie (21,80 MED), 5 lipca w Zakopanem (23,27 MED).

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. 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, ozonu całkowitego i aerozoli z 2020 roku obliczono, używając model transferu promieniowania słonecznego FastRT (Webb i Engelsen, 2006) 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 2005-2019. Na rysunku 18 umieszczono również pomiary Indeksu UV z 2020 roku. Zestawienie wartości z wybranego 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 2020 roku na stacjach IMGW-PIB obserwowano podwyższone wartości promieniowania UV-B w kwietniu, wczesną wiosną oraz w pojedynczych dniach lata. Zwiększenie promieniowania w kwietniu oraz w sierpniu i we wrześniu można przypisać mniejszej niż średnia wartość ozonu całkowitego (niebieskie kropki), natomiast za letnie ekstrema odpowiada przede wszystkim mniejsza ilość aerozoli.



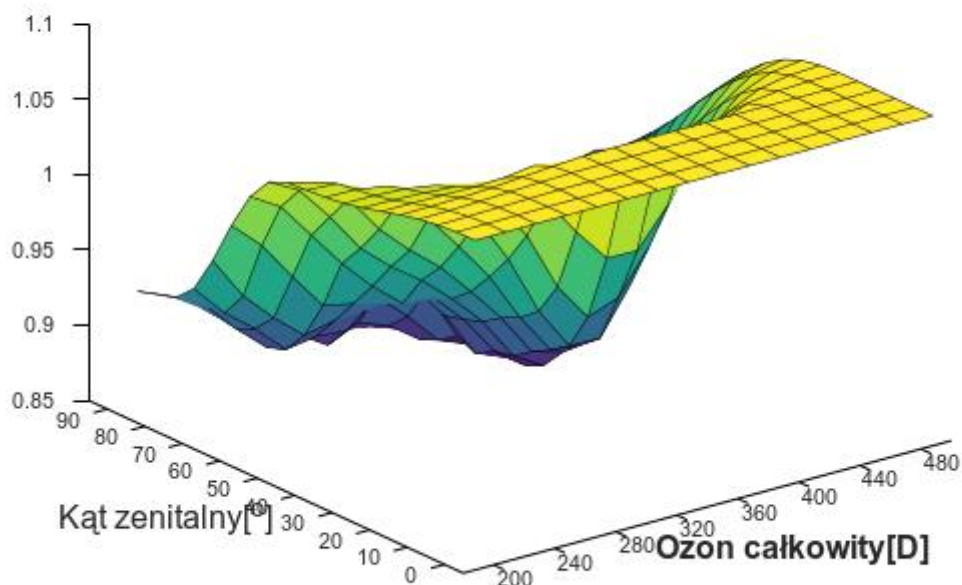


Rys. 18. Przebiegi roczne Indeksu UV z 2020 roku obliczonego z wykorzystaniem modelu transferu promieniowania słonecznego FastRT dla stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem z wykorzystaniem pomiarów satelitarnych ozonu całkowitego i aerozoli 2005-2020.

Długoterminowe zmiany promieniowania UV-B w pomiarach na stacjach IMGW-PIB

Regularne kalibracje międzynarodowe w Obserwatorium Fizyczno – Meteorologicznym/ Światowym Centrum Promieniowania (PMOD/WRC) w Davos (Szwajcaria) czujników Solar Light SL501 używanych na stacjach IMGW-PIB zaczęły się około 2005 roku. Wcześniej używano jedynie pomiarów porównawczych z czujnikiem traktowanym jako referencyjny, wzorcowanym podczas porównań międzynarodowych oraz, dla danych z początku serii pomiarowej w latach 90-tych z założenia że nowo-kupione czujniki miały parametry deklarowane przez producenta. Dlatego do analizowania tendencji promieniowania na stacjach niezbędne było wykonanie tzw. homogenizacji, gdzie skorygowano dane z początku pomiarów. Dane dla każdego z czujników zostały porównane dla warunków bezchmurnego nieba z promieniowaniem obliczonym z użyciem modelu transferu promieniowania słonecznego, libradtran (Mayer i Kylling 2005). Jako sytuacje bezchmurne przyjęto takie, gdy występowało pełne usłonecznienie uzyskane z równolegle prowadzonych na stacjach pomiarów aktywności. Do obliczeń użyto dane o ozonie całkowitym i aerozolu z NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Centre (GES DISC). Parametry aerozoli zostały przeliczone do długości fali 305nm, w pobliżu maksimum czułości krzywej erytemalnej. Dodatkowym problemem był brak charakterystyk laboratoryjnych czujnika #0933 pracującego na stacji w Legionowie w latach 1998 - 2011. Prawdopodobnie po jednej z burz, wielkość mierzonego sygnału spadła na tyle, że został on wycofany z pomiarów. Niestety było to w okresie, kiedy na kalibrację laboratoryjną był wysyłany tylko czujnik referencyjny #0935. Aby użyć pomiary z tego okresu w serii pomiarowej utworzono unormowaną macierz korekcyjną (Rys. 19) z pomiarów, pomocniczych danych ozonu i aerozoli (GES DISC), usłonecznienia oraz modelu transferu promieniowania (RT). Natomiast do otrzymania absolutnych współczynników kalibracyjnych wykorzystano pomiary porównawcze z czujnikiem #0935, dla którego były wykonane dwie kalibracje w PMOD/WRC, w tym czasie.

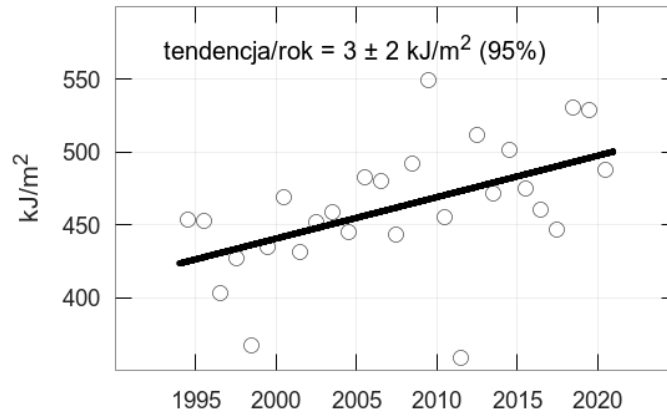
**Macierz korekcyjna SL#0933
na pdst. danych z Legionowa 1998-2011**



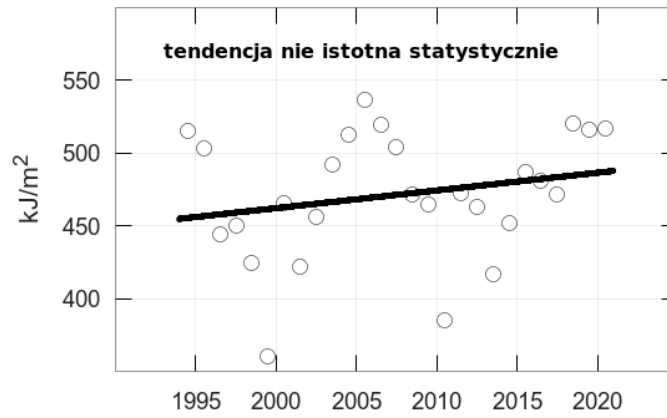
Rys. 19. Macierz korekcyjna czujnika SL #0933 odtworzona z danych pomiarowych na stacji, z pomocą pomiarów ozonu, aerozoli, usłonecznienia i modelowania RT.

Na rysunku 20 przedstawiono serie danych po przeliczeniu. Okazało się, że występuje istotna statystycznie tendencja dodatnia wzrostu dawek rocznych promieniowania erytemalnego UV-B dla stacji w Łebie $+3 \pm 2 \text{ kJ/m}^2$ rocznie (poziom ufności 95%). Dla Legionowa i Zakopanego nie znaleziono istotnej statystycznie tendencji. Dawki roczne promieniowania zestawiono z medianami rocznymi ozonu całkowitego (Rys. 21) i głębokością optyczną aerozoli (Rys. 22). Okazało się, że w analizowanym okresie ozon całkowity nie wykazuje żadnej istotnej statystycznie tendencji w przeciwieństwie do ilości aerozoli, których ilość zmniejszyła się w czasie $-0,003 \pm 0,002$ na rok (poziom ufności 95%). Nachylenie dopasowanych linii dla ozonu i aerozoli wygląda podobnie dla każdej z analizowanych stacji. Jednak dopasowane proste nie pokrywają się, są nieznacznie przesunięte względem siebie. Widać to szczególnie dla aerozoli. Okazuje się, że najwięcej aerozoli jest w Legionowie, następnie w Zakopanem i najmniej w Łebie. W przypadku ozonu całkowitego widać że typowo jest go mniej nad Zakopanem niż nad Legionowem i Łebą. Natomiast nachylenie dopasowanych prostych dla erytemalnego promieniowania UV-B widocznie różni się między stacjami. Po uwzględnieniu wpływu ozonu i aerozoli, które podobnie zmieniają się z czasem można wnioskować, że przyczyną jest różny dla każdej ze stacji wpływ chmur na ilość docierającego promieniowania.

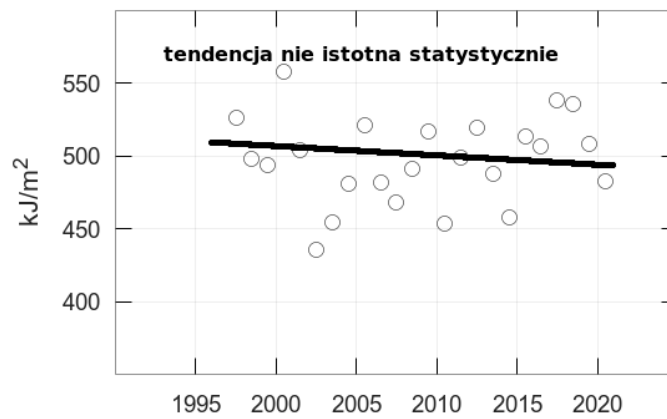
**UV-B erytemalne, suma roczna
Łeba, 1994 - 2020**



**UV-B erytemalne, suma roczna
Legionowo, 1994 - 2020**

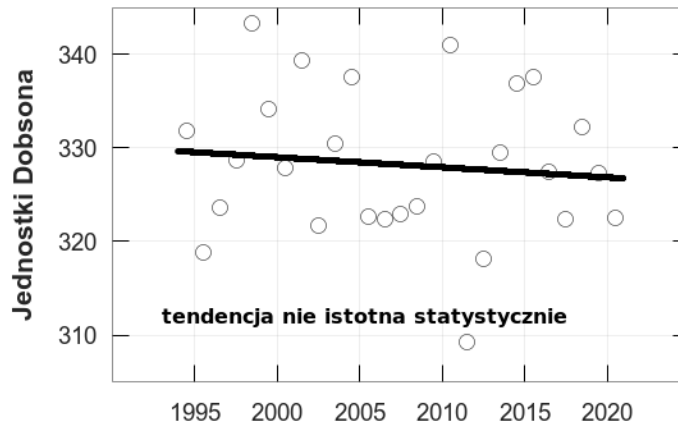


**UV-B erytemalne, suma roczna
Zakopane, 1996 - 2020**

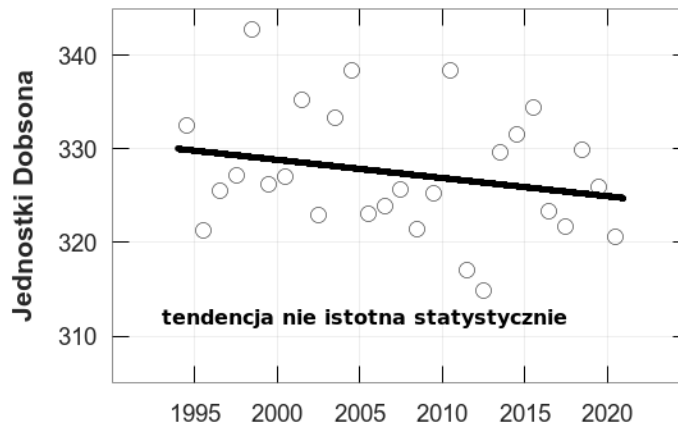


Rys. 20. Serie homogenizowanych pomiarów promieniowania erytemalnego UV-B dla stacji IMGW-PIB.

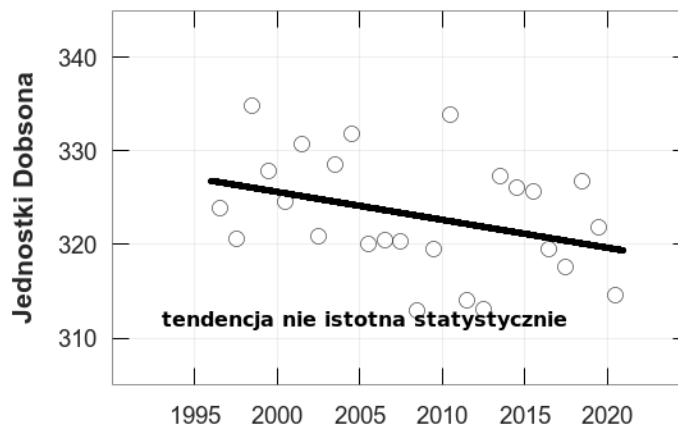
Ozon, mediana roczna
Łeba, 1994 - 2020



Ozon, mediana roczna
Legionowo, 1994 - 2020

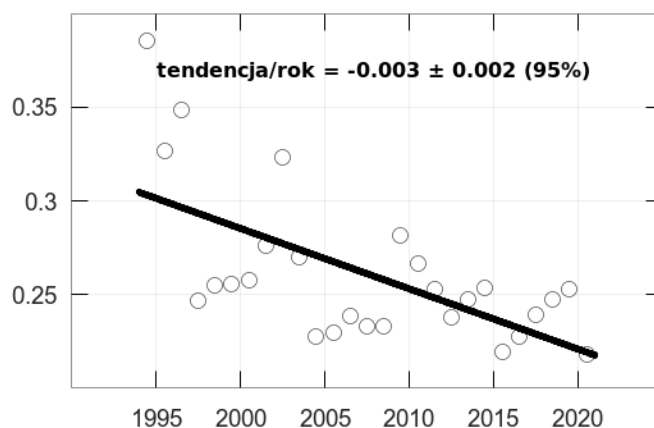


Ozon, mediana roczna
Zakopane, 1996 - 2020

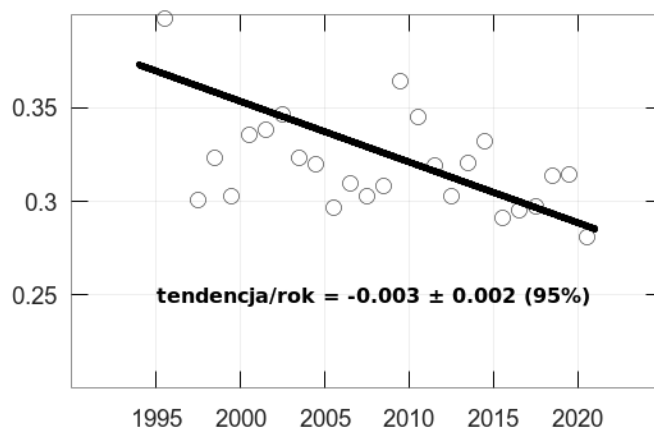


Rys. 21. Serie ozonu całkowitego z danych GES DISC dla stacji IMGW-PIB.

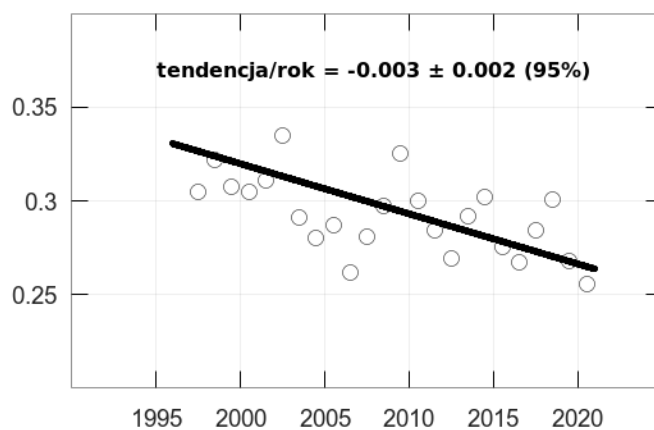
Głębokość optyczna aerozoli @ 305nm, mediana roczna
Łeba, 1994 - 2020



Głębokość optyczna aerozoli @ 305nm, mediana roczna
Legionowo, 1994 - 2020



Głębokość optyczna aerozoli @ 305nm, mediana roczna
Zakopane, 1996 - 2020



Rys. 22. Serie głębokości optycznej aerozoli dla UV-B, obliczone z danych GES DISC dla stacji IMGW-PIB.

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.

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. Wir polarny rozpadający się później na wiosnę w połączeniu z silną adwekcją subtropikalną może znacznie zwiększać poziom promieniowania UV-B.

W marcu i kwietniu 2020 roku nad Arktyką po raz pierwszy w historii obserwacji pojawiły się wyraźne oznaki dziury ozonowej. Uważa się, że spadki te są zwiastunem zmian klimatu w regionie i przy obecnym wciąż wysokim poziomie zawartości antropogenicznego chloru jest prawdopodobne, że ubytki ozonu w Arktyce na skutek silnego wiru polarnego narażaby prawie 650 milionów ludzi i ekosystem na niezdrowy poziom promieniowania ultrafioletowego <https://acp.copernicus.org/preprints/acp-2020-1313/acp-2020-1313.pdf>. Obserwowane dotychczas ubytki ozonu w Arktyce nie powinny być jednak określane mianem dziury ozonowej. Termin ten oznacza spadek ozonu na rozległym obszarze, który trwa bez przerwy kilka miesięcy, tak jak nad Antarktydą. Może niepokoić fakt, że rozległa dziura ozonowa nad Antarktydą w 2020 po raz pierwszy w historii pomiarów zamknęła się tak późno, dopiero w grudniu (australijskie lato) (<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>).

W ostatnich latach w gronie ekspertów toczy się dyskusja na temat jakości danych sondażu ozonowych. Stwierdzono, że po roku 2013 dane 1/3 stacji należących do globalnej sieci obserwacji ozonu wykazały niewyjaśniony spadek całkowitej zawartości w sondażach w stosunku do referencyjnych pomiarów za pomocą spektrofotometrów naziemnych i satelitarnych (Stauffer i in., 2019). Porównanie z satelitarnymi profilami ozonu pokazuje, że sondy nie domierzają 5-10 lub więcej procent ozonu w średniej stratosferze. Analizowane są zmiany w konstrukcji czujników ECC oraz procedur przygotowania sond ozonowych, ale dotychczas nie zidentyfikowano żadnego pojedynczego czynnika, który byłby za to odpowiedzialny. Odbywają się regularne spotkania robocze

O3S-DQA adresowane do osób odpowiedzialnych za QA/QC (zapewnienie jakości/kontrolę jakości) wyników sondazy ozonowych, głównie na europejskich stacjach sondazy ozonowych.

Mimo zmniejszającej się zawartości w atmosferze chlorowcopochodnych gazów zagrożenie dla warstwy ozonowej będzie występować w okresie najbliższych kilkudziesięciu 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.

Mapy całkowitej zawartości ozonu z danych satelitarnych i naziemnych w dniach 14-17 czerwca 2020 r. pokazały obszar największych spadków CZO₃ na półkuli północnej w rejonie Skandynawii i Europy Północno-Wschodniej. W sondażu ozonowym w Legionowie 17 czerwca 2020 spadek koncentracji ozonu był widoczny praktycznie w całej stratosferze, z rekordowym ubytkiem ozonu w warstwie maksymalnej koncentracji.

Dla 2020 roku maksymalną dawkę miesięczną promieniowania UV-B, 471 MED zmierzono w lipcu dla Legionowa a maksymalną dawkę dobową, 23,3 MED w lipcu dla Zakopanego. Maksymalne miesięczna dawki dobowe wystąpiły, w czerwcu dla Łeby, a w lipcu dla Legionowa i Zakopanego.

W 2020 roku na stacjach IMGW-PIB obserwowano podwyższone wartości promieniowania UV-B w kwietniu, wczesną wiosną oraz w pojedynczych dniach lata. Zwiększenie promieniowania w kwietniu oraz w sierpniu i we wrześniu można przypisać mniejszej niż średnia wartość ozonu całkowitego, natomiast za letnie ekstrema odpowiada przede wszystkim mniejsza ilość aerozoli.

Największe wartości Indeksu UV na stacjach IMGW-PIB, w 2020 roku zmierzono odpowiednio: 14 czerwca w Łebie (UVI 6,9), 6 czerwca i 1 lipca w Legionowie (UVI 7,4), 6 lipca w Zakopanem (UVI 8,7). Największe dawki dzienne rumieniowego promieniowania UV zanotowano 14 czerwca w Łebie (21,08 MED), 1 lipca w Legionowie (21,80 MED), 5 lipca w Zakopanem (23,27 MED).

Analiza serii danych erytemalnego promieniowania UV-B ze stacji w Łebie pokazała tendencję wzrostową $+3 \pm 2$ kJ/m² (poziom ufności 95%). Dla Legionowa i Zakopanego nie znaleziono istotnej statystycznie tendencji.

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, sondáže ozonowe w Legionowie wykonuje się w systemie Światowego Monitoringu Ozonu WMO z podstawową częstotliwością 1 raz w tygodniu. Wykonuje się również dodatkowe sondáže związane 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 O₃ z danego 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. Poniżej przedstawiono wykaz ostatnio przekazanych danych do bazy danych WOUDC.

Nazwa	Roz.	Wielkość	Czas	Atryb
[.]		<DIR>		
LN2021052611	csv	320 037	08.06.2021 10:06	-660
LN2021051911	csv	304 963	08.06.2021 10:06	-660
LN2021051211	csv	318 162	08.06.2021 10:06	-660
LN2021050511	csv	266 217	08.06.2021 10:06	-660
LN2021042811	csv	312 338	08.06.2021 10:06	-660
LN2021042111	csv	343 467	08.06.2021 10:06	-660
LN2021041411	csv	341 915	08.06.2021 10:06	-660
LN2021040711	csv	341 332	08.06.2021 10:06	-660
LN2021033111	csv	325 179	08.06.2021 10:06	-660
LN2021032411	csv	327 373	08.06.2021 10:06	-660
LN2021031711	csv	319 590	08.06.2021 10:06	-660
LN2021031011	csv	329 704	08.06.2021 10:06	-660
LN2021030311	csv	326 786	08.06.2021 10:06	-660
LN2021022411	csv	334 252	08.06.2021 10:06	-660
LN2021021711	csv	342 436	08.06.2021 10:06	-660
LN2021021011	csv	347 314	08.06.2021 10:06	-660

Rys. 23. Fragment listingu sondáže ozonowych z Legionowa w bazie danych WOUDC.

Od 1994 roku wyniki sondáže 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 sondáže ozonowych wysyłane są w trybie operacyjnym - po zakończeniu sondażu automatycznie generowana jest depesza w ustalonym formacie NILU zawierająca metadane oraz pionowe profile PTUW i O₃. 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.

Files Mark Commands Net Show Configuration Start

FTP Transfer mode Binary (archives, c) Disconnect Waiting for server... 226 Transfer complete

ftp://kois@zardoz.nilu.no

0: /viper/nadir/projects/vintersol/data/o3sondes/legionow/*.*

Name	Ext	Size	Date	Attr
[.]	<DIR>			
ws_ftp	log	254	2006-08-10 09:06	-644
nilu_20210526_1117	txt	320 245	2021-06-08 11:45	-644
nilu_20210519_1115	txt	299 170	2021-05-21 20:10	-644
nilu_20210512_1118	txt	315 034	2021-05-21 20:10	-644
nilu_20210505_1115	txt	257 623	2021-05-21 20:10	-644
nilu_20210428_1115	txt	302 970	2021-05-21 20:10	-644
nilu_20210421_1115	txt	335 778	2021-04-26 09:47	-644
nilu_20210414_1115	txt	332 141	2021-04-26 09:47	-644
nilu_20210407_1114	txt	330 215	2021-04-26 09:47	-644
nilu_20210331_1130	txt	320 286	2021-04-26 09:47	-644
nilu_20210324_1116	txt	322 362	2021-04-26 09:47	-644
nilu_20210317_1116	txt	313 158	2021-04-26 09:47	-644
nilu_20210310_1119	txt	320 906	2021-04-26 09:47	-644
nilu_20210303_1115	txt	320 228	2021-04-26 09:47	-644
nilu_20210224_1115	txt	329 126	2021-04-26 09:47	-644
nilu_20210217_1116	txt	333 649	2021-04-26 09:47	-644
nilu_20210210_1115	txt	336 301	2021-04-26 09:47	-644
nilu_20210203_1116	txt	338 688	2021-04-26 09:47	-644
LN210127	B12	350 858	2021-01-28 18:54	-644
LN210120	B12	329 070	2021-01-28 18:53	-644
LN210113	B12	347 166	2021-01-28 18:52	-644
LN210106	B12	325 948	2021-01-28 18:51	-644
LN201230	B12	333 960	2021-01-28 18:51	-644
LN201223	B12	317 996	2021-01-28 18:50	-644
LN201216	B12	338 172	2021-01-28 18:49	-644
LN201209	B12	342 070	2021-01-28 18:49	-644
LN201202	B12	343 994	2021-01-28 18:48	-644
LN201125	B12	326 268	2021-01-28 18:47	-644
LN201118	B12	322 884	2021-01-28 18:46	-644
LN201111	B12	328 500	2021-01-28 18:45	-644
LN201104	B12	328 446	2021-01-28 18:45	-644

Rys. 24. Fragment listingu zawartości serwera ftp zardoz.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 O₃, oraz do corocznego raportowania pracy stacji. Ostatni raport zawierający m.in. harmonogram przekazywania danych został przesłany w sierpniu 2020 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 2020 roku.

Współpraca międzynarodowa

- W dniu 3 lipca 2020 uczestniczono w roboczym spotkaniu (on-line) Europejskich Sondaży Ozonowych. Współorganizatorami spotkania byli eksperci grupy ASOPOPS: Roeland Van Maelderen z RMI oraz Herman Smit z Centrum Badawczego Juelich GmbH. W spotkaniu uczestniczyło około 20 osób odpowiedzialnych za utrzymanie jakości sondaży ozonowych na poszczególnych stacjach. Dyskutowano nad problemami związanymi z utrzymaniem jakości sondaży ozonowych i homogenizacją serii sondaży ozonowych. Przedstawiono status homogenizacji danych serii sondaży ozonowych z Legionowa.
- Wiosną i latem 2020 roku na wielu stacjach w strefie umiarkowanych szerokości geograficznych półkuli północnej zauważono niespotykaną wcześniej ujemną anomalię ozonu w troposferze swobodnej. Badanie międzynarodowego zespołu naukowców wykazało, że główną przyczyną anomalii było zmniejszenie ilości zanieczyszczeń w związku z blokadą COVID-19. W badaniach zostały wykorzystane dane sondaży ozonowych w Legionowie. Podsumowaniem międzynarodowej współpracy jest publikacja zatytułowana „COVID-19 Crisis Reduces Free Tropospheric Ozone Across the Northern Hemisphere”, która ukazała się w czasopiśmie Geophysical Research Letters <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2020GL091987>.

4 Podsumowanie

W 2020 roku realizowano program monitorowania rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą oraz promieniowania UV-B w Polsce.

W 2020 roku na Stacji Aerologicznej w Legionowie wykonano 52 rutynowe sondáže ozonowe, program pomiarowy został wykonany w 100%.

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 2020 program pomiarowy został wykonany w 100%.

W 2020 roku w Obserwatorium Fizyczno – Meteorologicznym / Światowym Centrum Promieniowania (PMOD/WRC) w Davos (Szwajcaria) przeprowadzono kalibrację czujnika SL501 #0935 z sieci IMGW-PIB. W ramach kalibracji wykonano laboratoryjne pomiary charakterystyk spektralnej i kątowej czujników oraz porównanie ze spektrofotometrem wzorcowym. Dla czujnika został wydany certyfikat kalibracji.

Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2020 roku, podobnie jak w latach ubiegłych, był prowadzony z wykorzystaniem danych satelitarnych z czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) znajdującego się na pokładzie satelitów 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 Zakładzie Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB. W 2020 roku satelitarny monitoring ozonu

był prowadzony bez problemów i mapy rozkładu całkowitej zawartości ozonu (CZO₃) nad Europą Środkową były generowane codziennie.

Wyniki sondáže 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 na serwerach IMGW-PIB.

Dane pomiarowe, powstałe w wyniku realizacji umów monitoringu w roku 2020, zostały dołączone do niniejszego raportu na płycie CD.

5 Literatura

1. Degórska M., Rajewska-Więch B., Krzyścin J., 1996, Seria obserwacji ozonu przyziemnego wykonana w Krakowie w latach 1854-1878 i próba oceny jej współczesnej wartości, *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, M-18(273), 55-60.
2. GES DISC. <http://disc.gsfc.nasa.gov>
3. Kuttippurath Jayanarayanan Feng , Wuhu, Müller Rolf, Kumar Pankaj, Raj Sarath, Pillai Gopalakrishna Gopikrishnan, Raina Roy Arctic on the verge of an ozone hole? *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion* started: 24 February 2021 <https://doi.org/10.5194/acp-2020-1313>
4. Litynska Z., B. Kois, B. Jaworska, 1997. The variation of ozone concentration profile over Poland. *Eastern Europe and global change*, 3 to 10 October 1994, Kassandra, Halkidiki, Greece, European Commission, Science Research Development, pp. 213-224.
5. Mayer B, Kylling A (2005). The libRadtran software package for radiative transfer calculations - description and examples of use *Atmos. Chem. Phys.* 5 1855-1877.
6. Stauffer, Ryan Michael and Thompson, Anne M. and Kollonige, Debra E and Witte, Jacquelyn Cecile and Tarasick, David W. and Davies, Jonathan and Voemel, Holger and Morris, Gary A. and Van Malderen, Roeland and Johnson, Bryan J. J. and et al. A Post-2013 Drop-off in Total Ozone at a Third of Global Ozonesonde Stations: ECC Instrument Artifacts? *Journal Earth and Space Science Open Archive*, 2019 DOI = {10.1002/essoar.10501543.3}, url={<https://doi.org/10.1002/essoar.10501543.3>}
7. Steinbrecht, W., Kubistin, D., Plass-Dülmer, C., Davies, J., Tarasick, D. W., Gathen, P., et al. (2021). COVID-19 crisis reduces free tropospheric ozone across the Northern Hemisphere. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091987. <https://doi.org/10.1029/2020GL091987>
8. Webb, A. R. and O. Engelsen (2006) Calculated Ultraviolet Exposure Levels for a Healthy Vitamin D Status. *Photochemistry and Photobiology.* 82(6), 1697-1703.

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 Pracowni Promieniowania Słonecznego z Centrum Badań i Rozwoju IMGW-PIB za udostępnienie do analizy danych promieniowania całkowitego i usłonecznienia ze stacji w Łebie i Zakopanem.

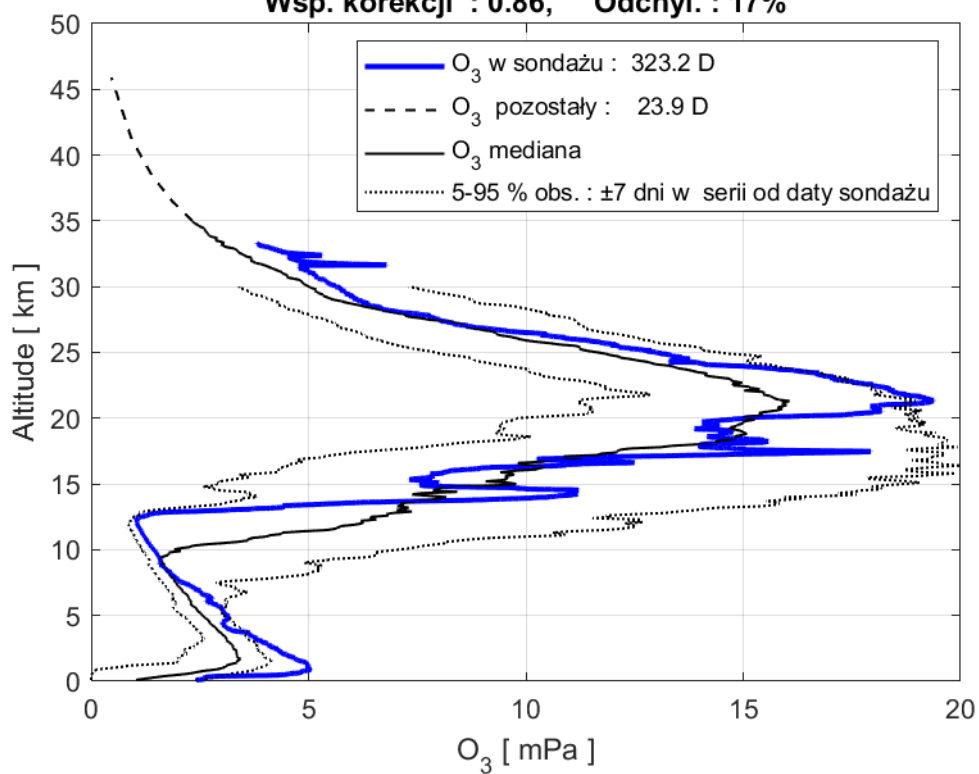
ZAŁĄCZNIKI

1. PROFILE OZONU Z SONDAŻY OZONOWYCH WYKONANYCH W OKRESIE 1.01 DO 31.12.2020 R. I ODPOWIADAJĄCE IM SATELITARNE MAPY CAŁKOWITEJ ZAWARTOŚCI OZONU W ATMOSFERZE.
2. DOBOWE PRZEBIEGI PROMIENIOWANIA UV-B Z MIESIĘCY STYCZEŃ - GRUDZIEŃ 2020 R. (ŚREDNIE, MAKSYMALNE I MINIMALNE) ZMIERZONE ZA POMOCĄ PRZYRZĄDU SOLAR LIGHT (ŁEBA, LEGIONOWO, ZAKOPANE).
3. DAWKI DOBOWE PROMIENIOWANIA UV-B Z MIESIĘCY STYCZEŃ - GRUDZIEŃ 2020 R. ZMIERZONE ZA POMOCĄ PRZYRZĄDU SOLAR LIGHT (ŁEBA, LEGIONOWO, ZAKOPANE).

ZAŁĄCZNIK 1

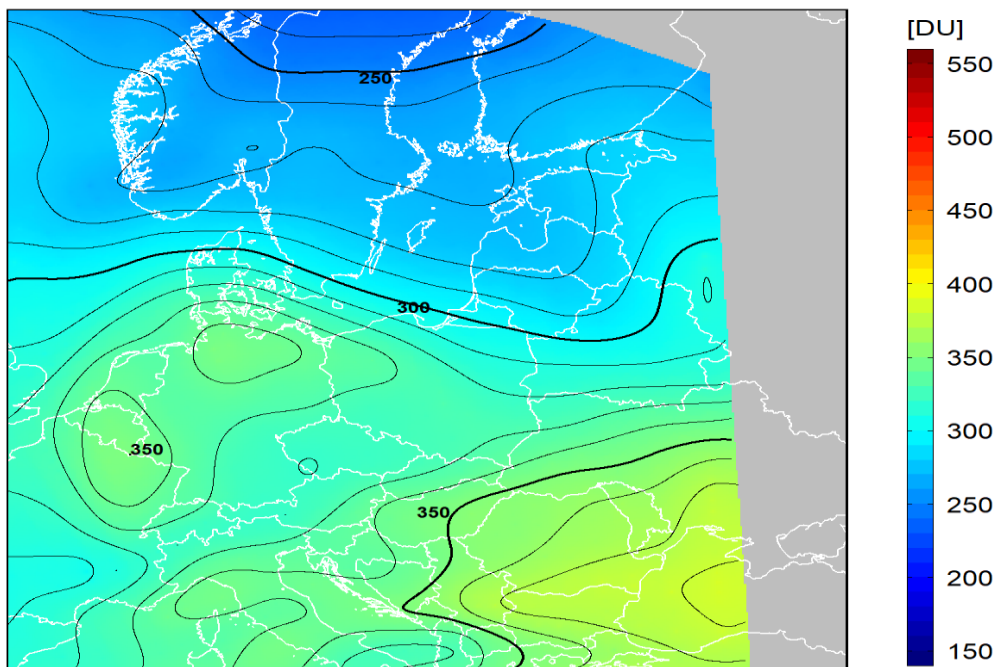
PROFILE OZONU Z SONDAŻY OZONOWYCH WYKONANYCH
W OKRESIE 1.01 DO 31.12.2020 R. I ODPOWIADAJĄCE IM
SATELITARNE MAPY CAŁKOWITEJ ZAWARTOŚCI OZONU
W ATMOSFERZE

Legionowo, 02-Jan-2020 11:16:48
Wsp. korekcji : 0.86, Odchyl. : 17%



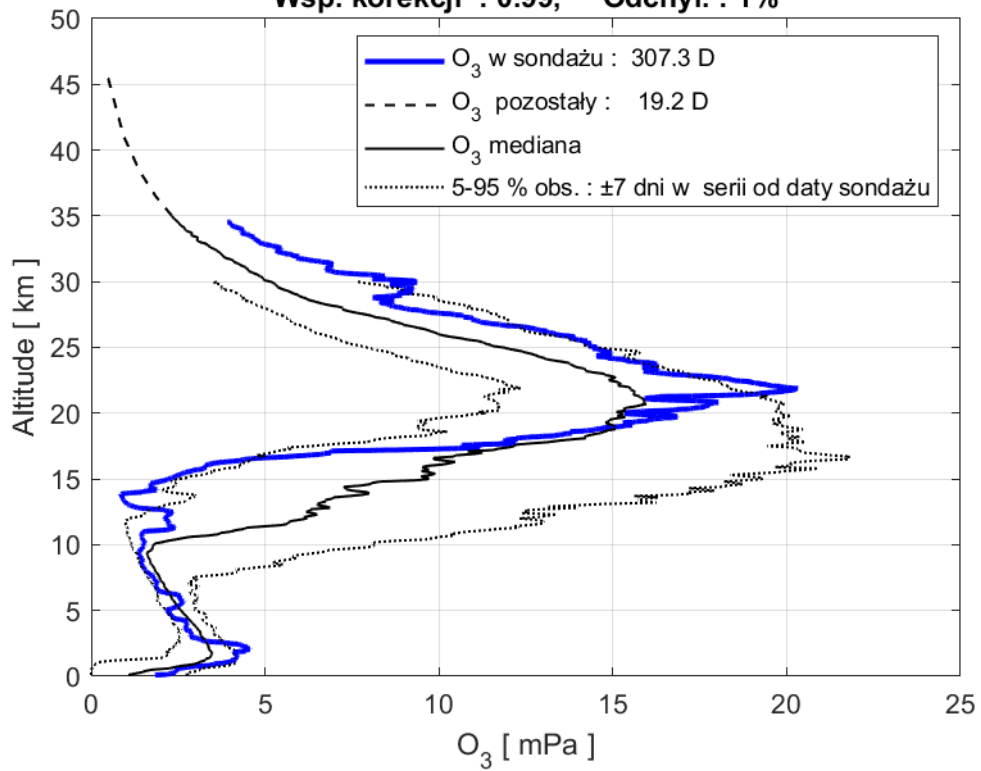
2020-01-02 godz. 11:46:42 - 11:53:49 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



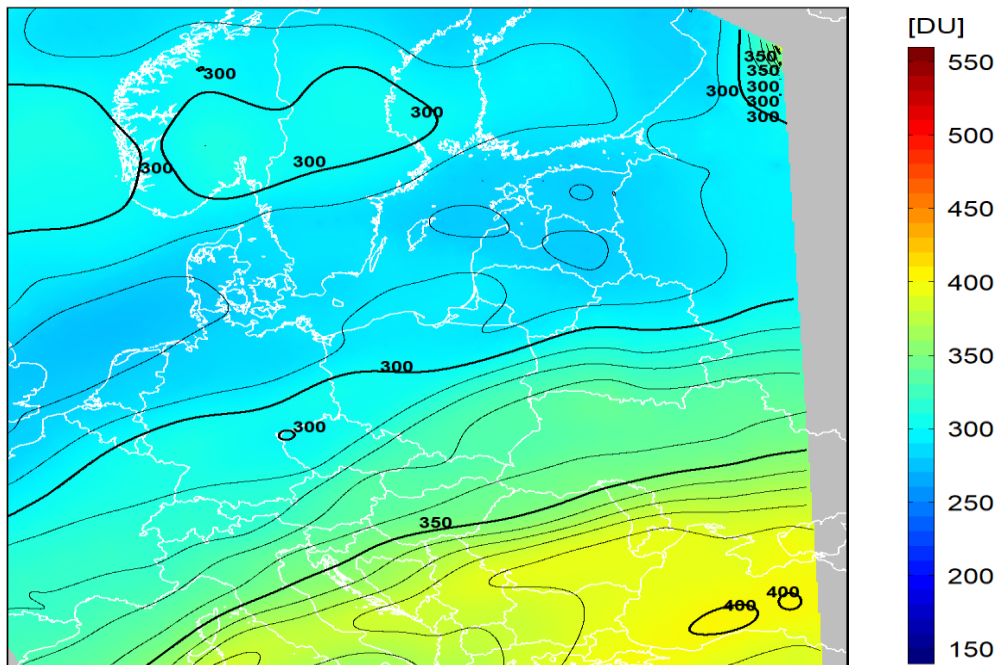
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 08-Jan-2020 11:19:12
Wsp. korekcji : 0.99, Odchyl. : 1%

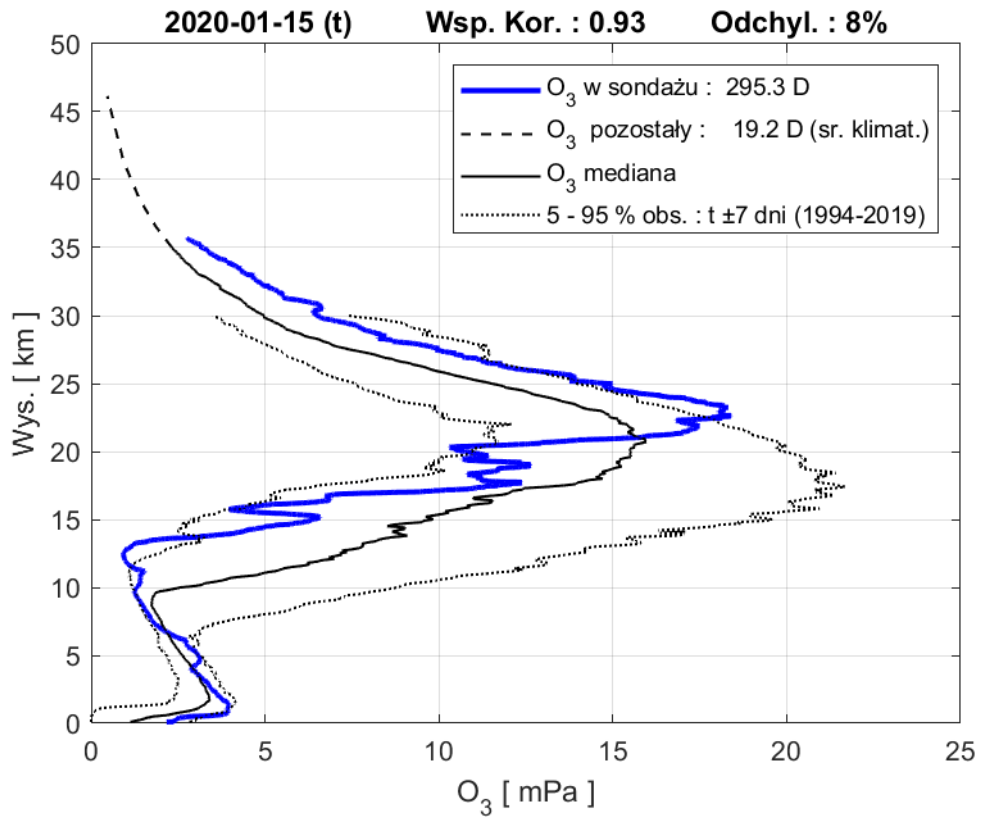


2020-01-08 godz. 11:33:53 - 11:41:15 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery

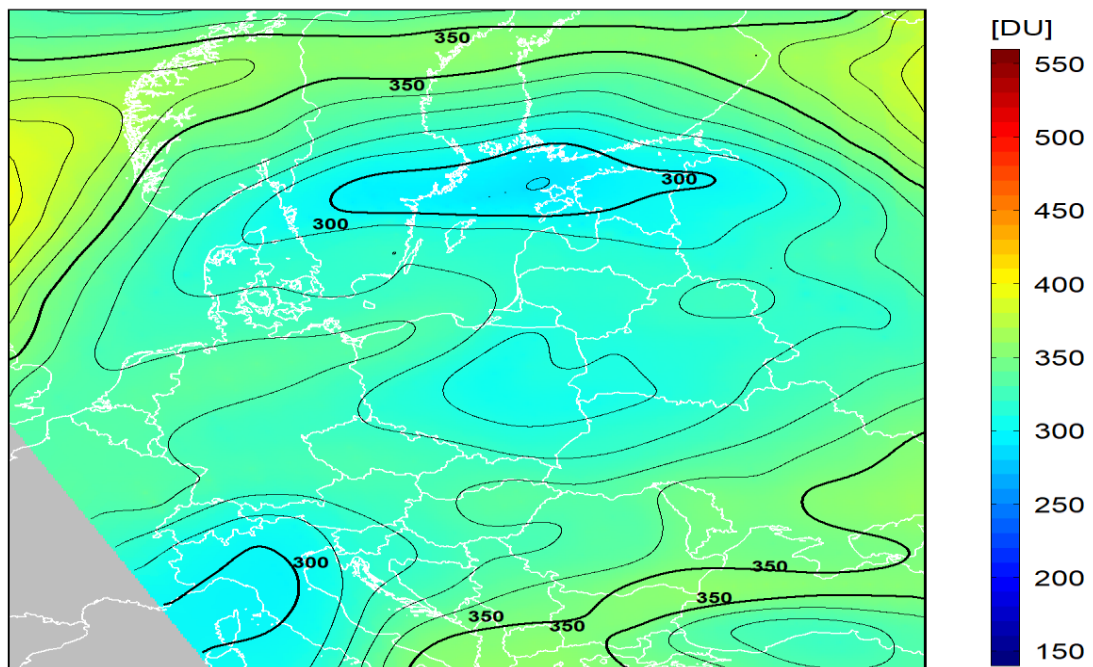


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS



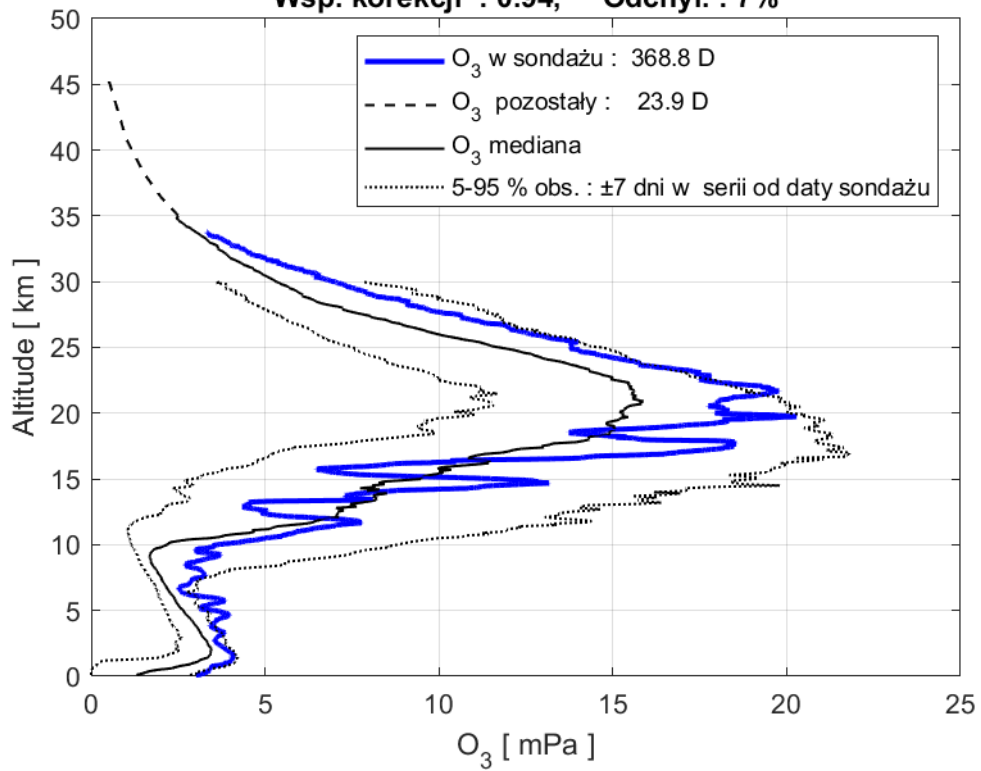
2020-01-15 godz. 11:02:01 - 11:10:01 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



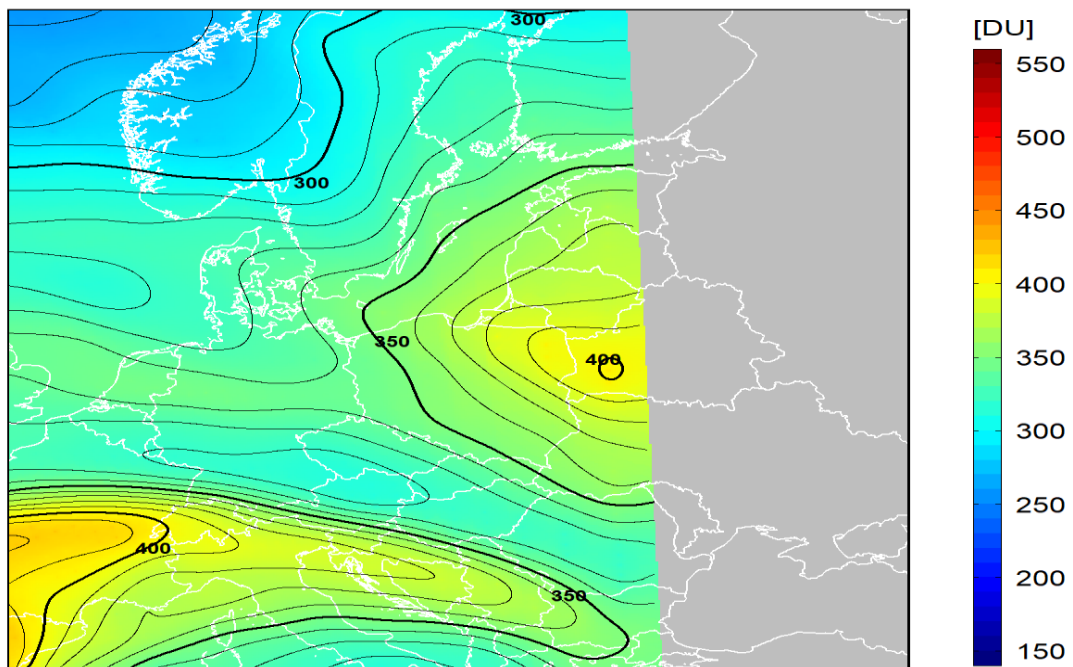
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 22-Jan-2020 11:21:00
Wsp. korekcji : 0.94, Odchyl. : 7%



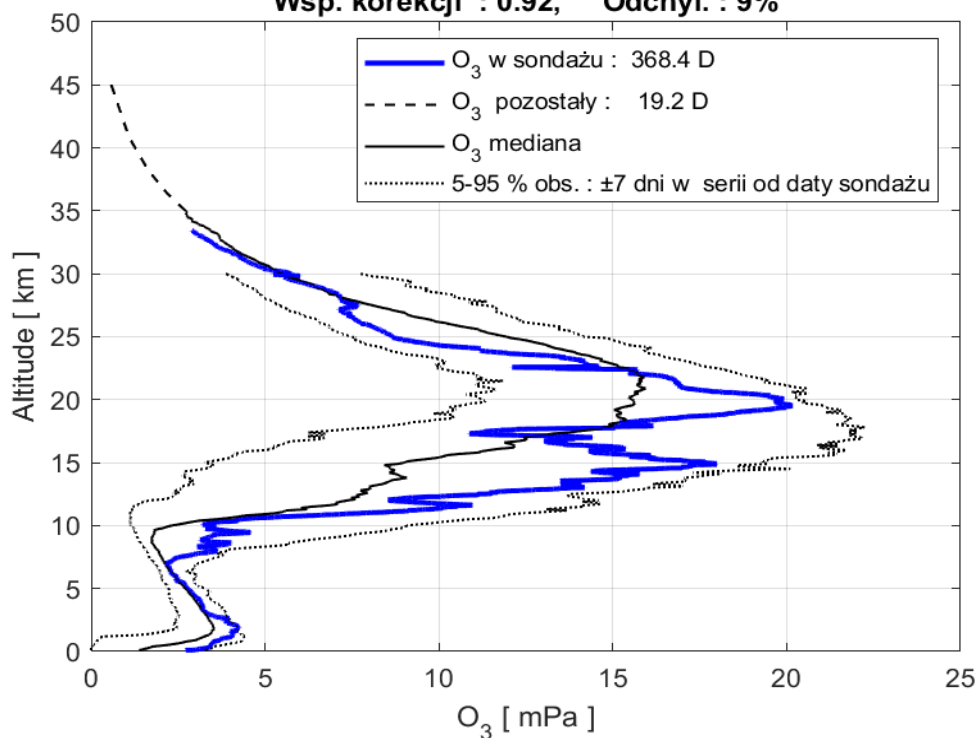
2020-01-22 godz. 12:11:46 - 12:18:53 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



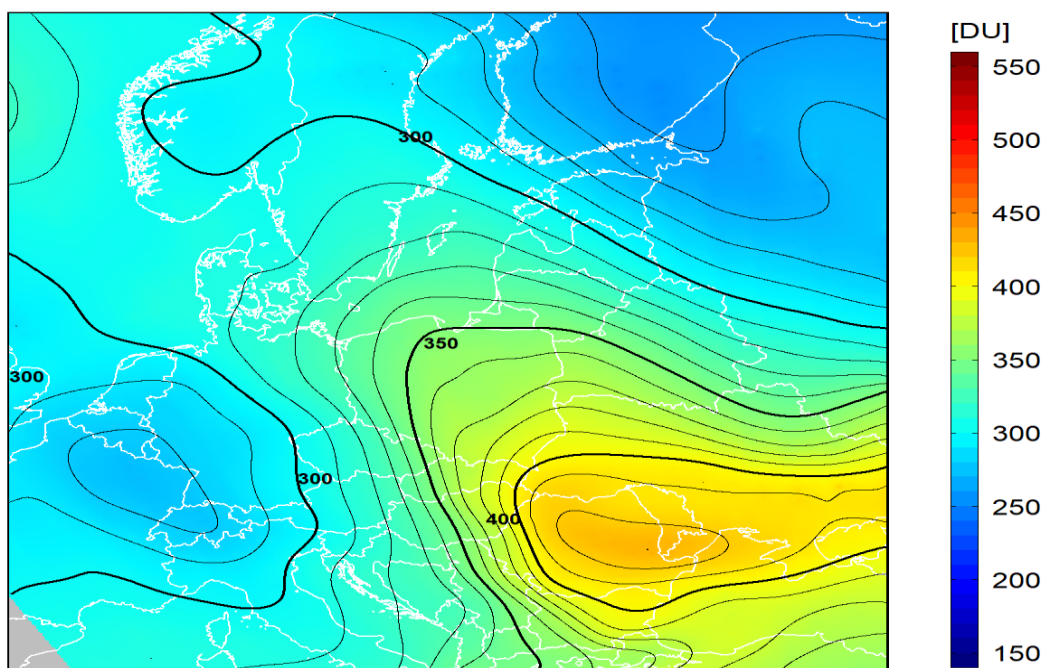
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 30-Jan-2020 11:21:36
Wsp. korekcji : 0.92, Odchyl. : 9%



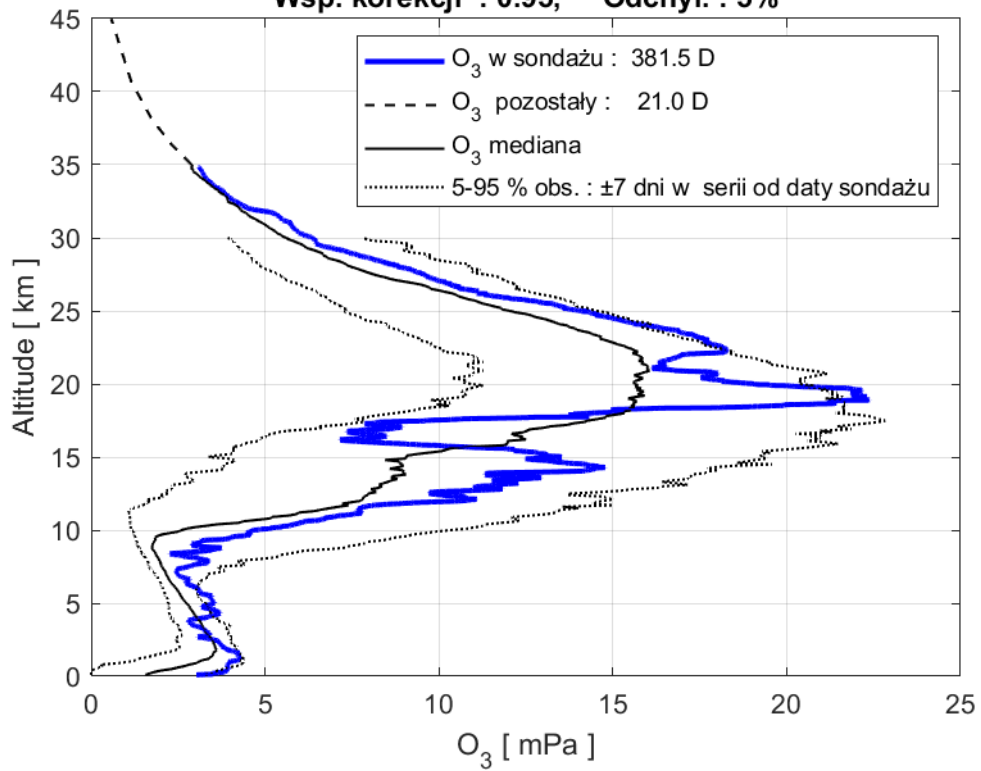
2020-01-30 godz. 11:21:03 - 11:28:39 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



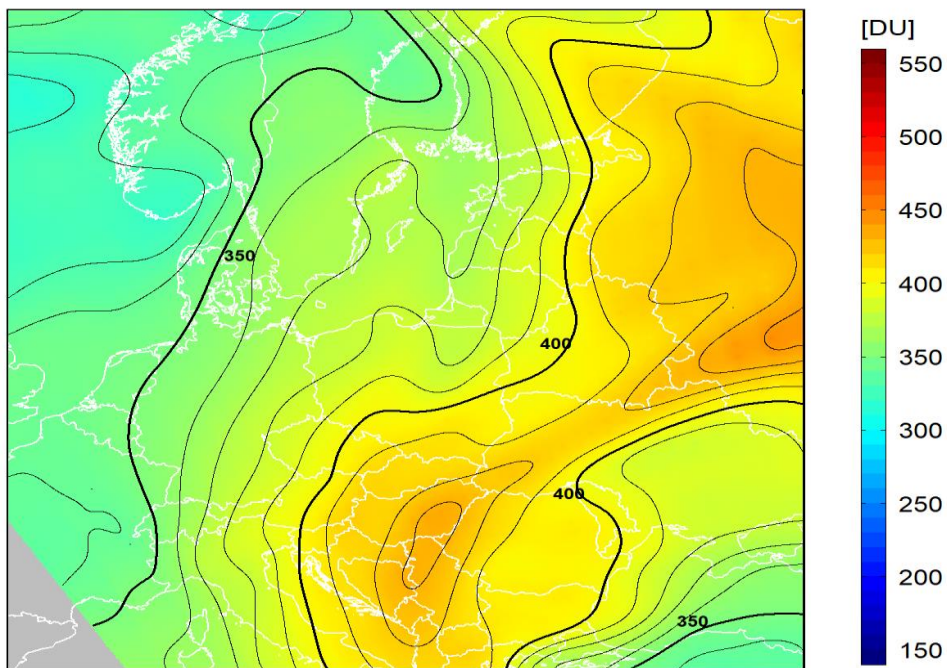
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 05-Feb-2020 11:22:48
Wsp. korekcji : 0.95, Odchyl. : 5%



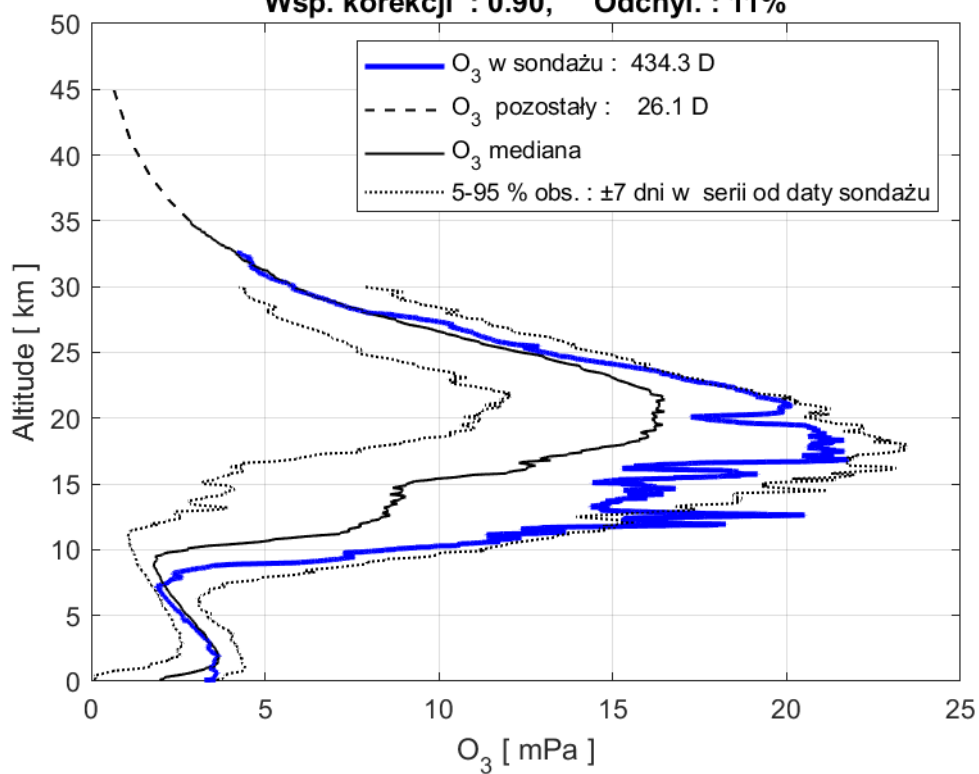
2020-02-05 godz. 11:08:25 - 11:16:09 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



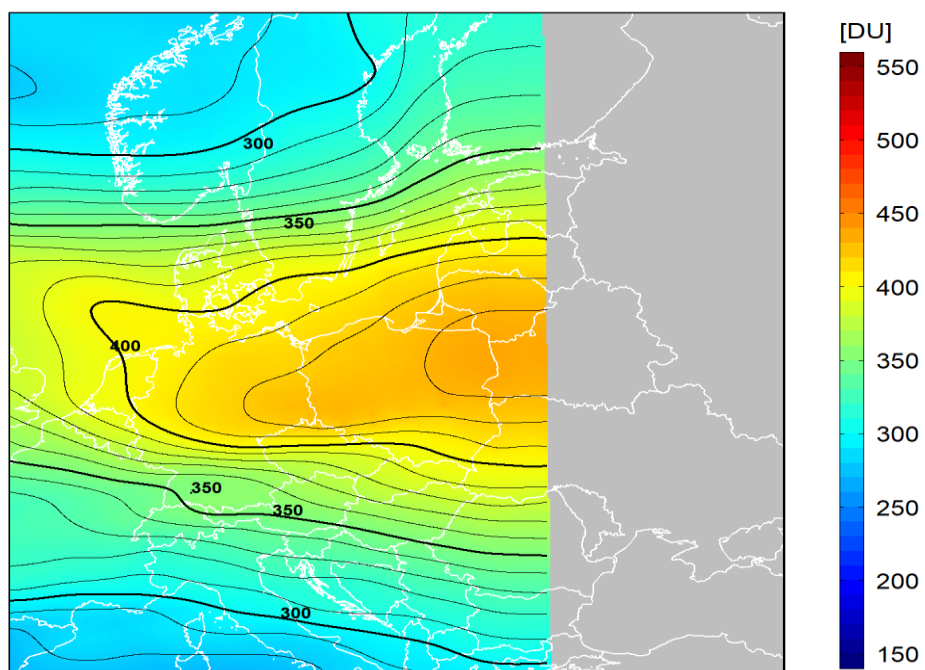
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 12-Feb-2020 11:46:12
Wsp. korekcji : 0.90, Odchyl. : 11%



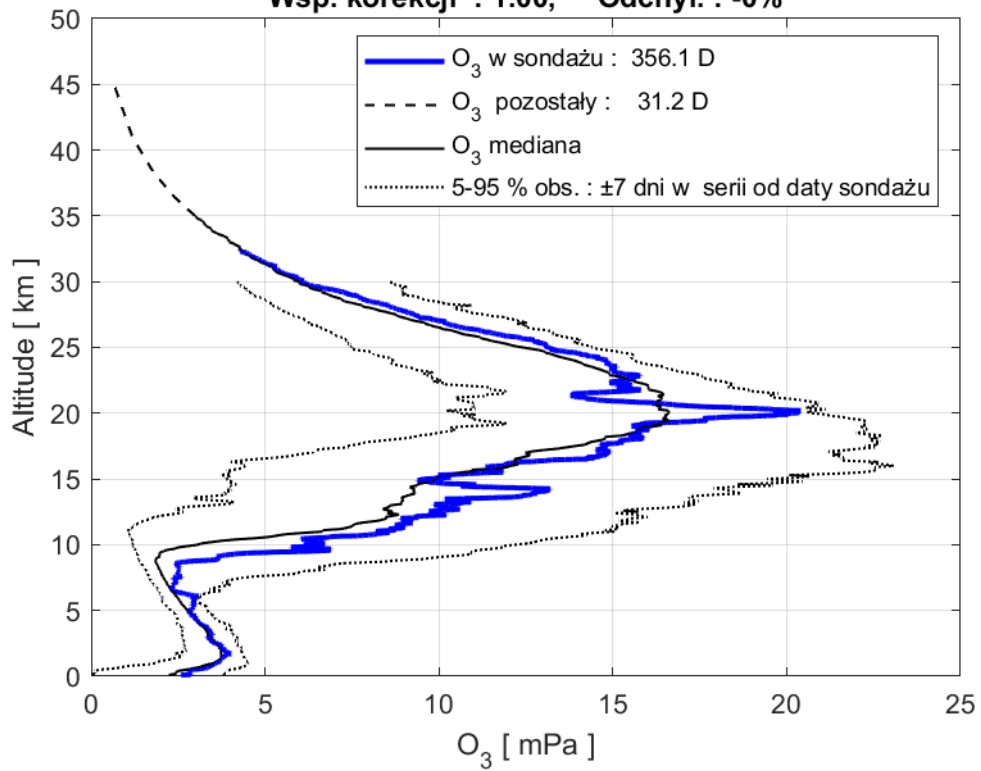
2020-02-12 godz. 12:18:17 - 12:25:24 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



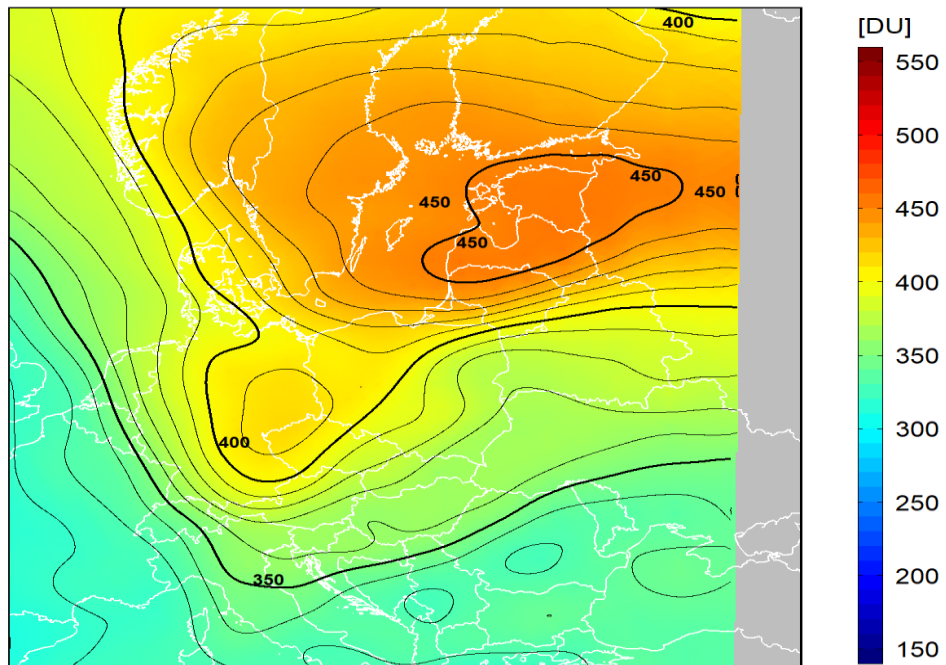
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 19-Feb-2020 11:17:24
Wsp. korekcji : 1.00, Odchyl. : -0%



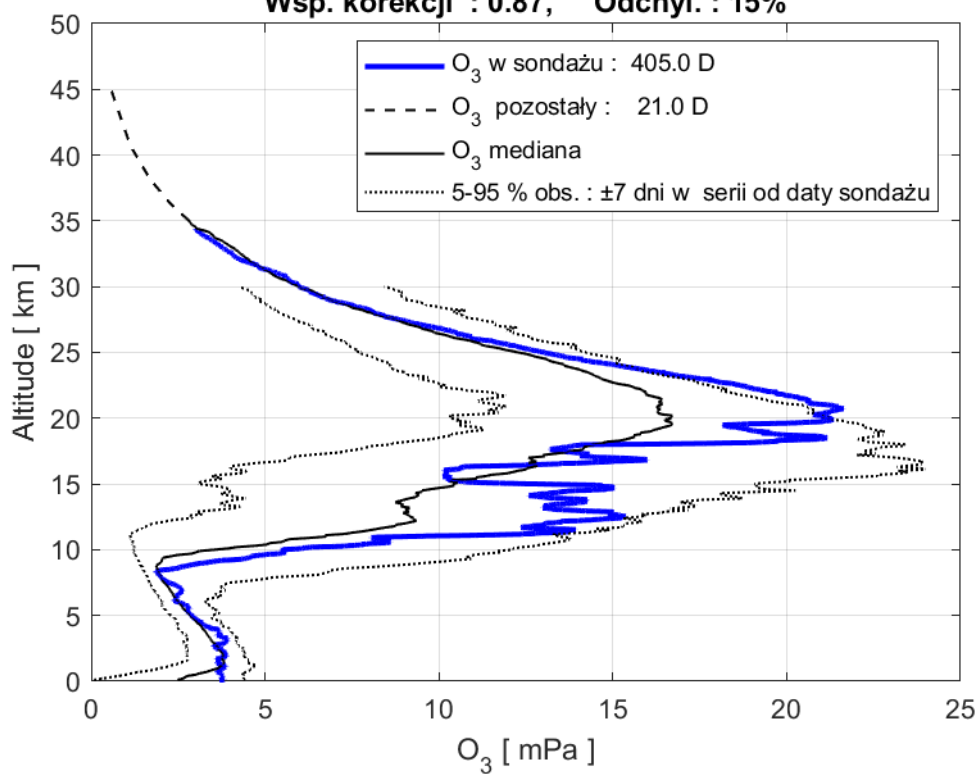
2020-02-19 godz. 11:46:34 - 11:53:49 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



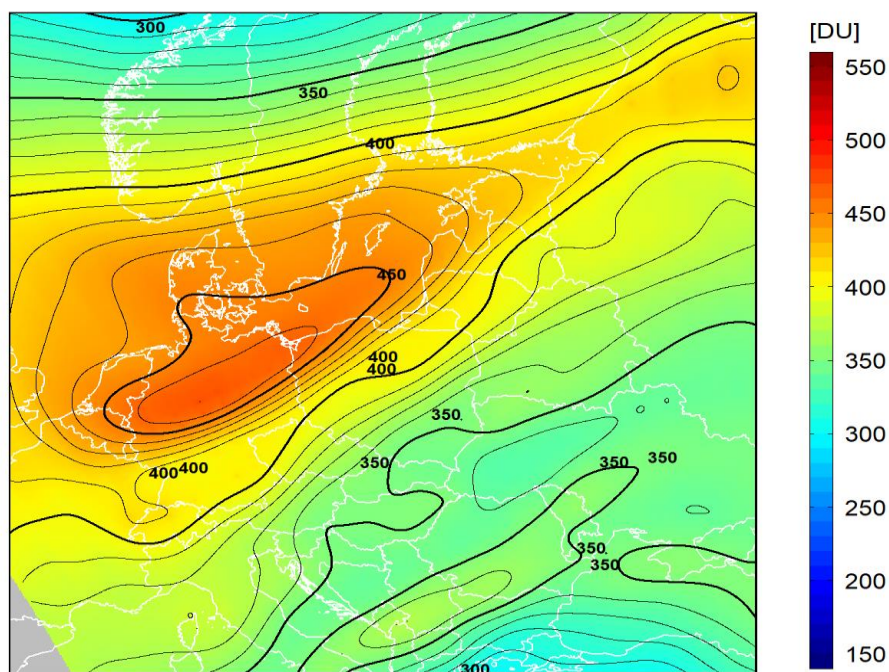
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 26-Feb-2020 11:18:36
Wsp. korekcji : 0.87, Odchyl. : 15%



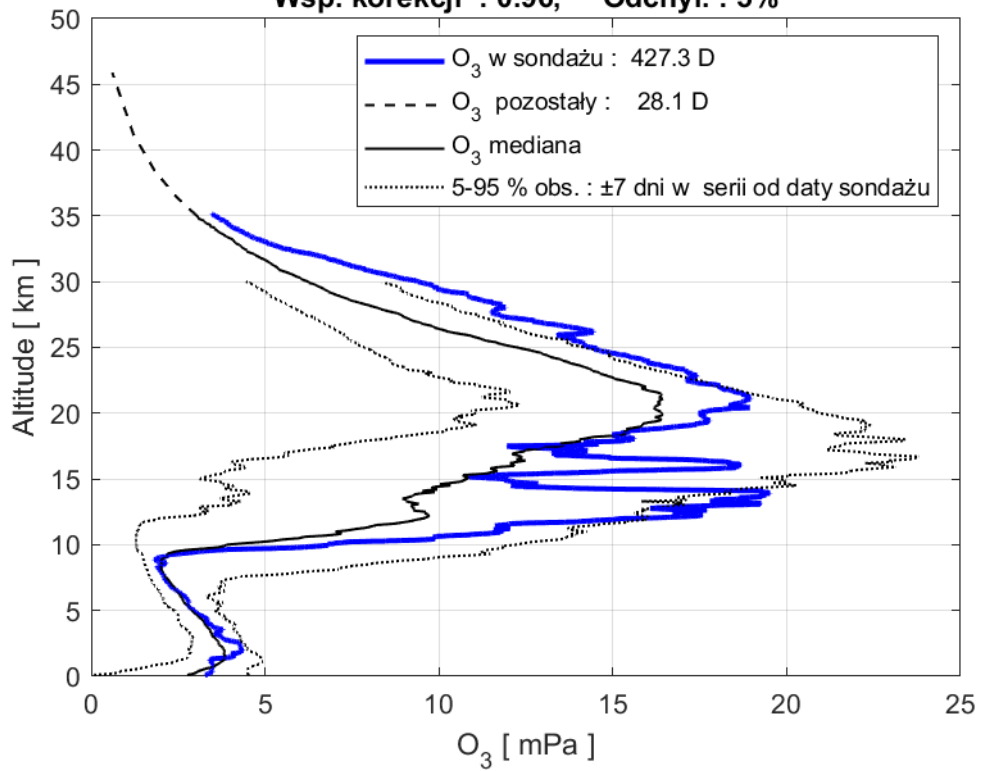
2020-02-26 godz. 11:14:54 - 11:22:31 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



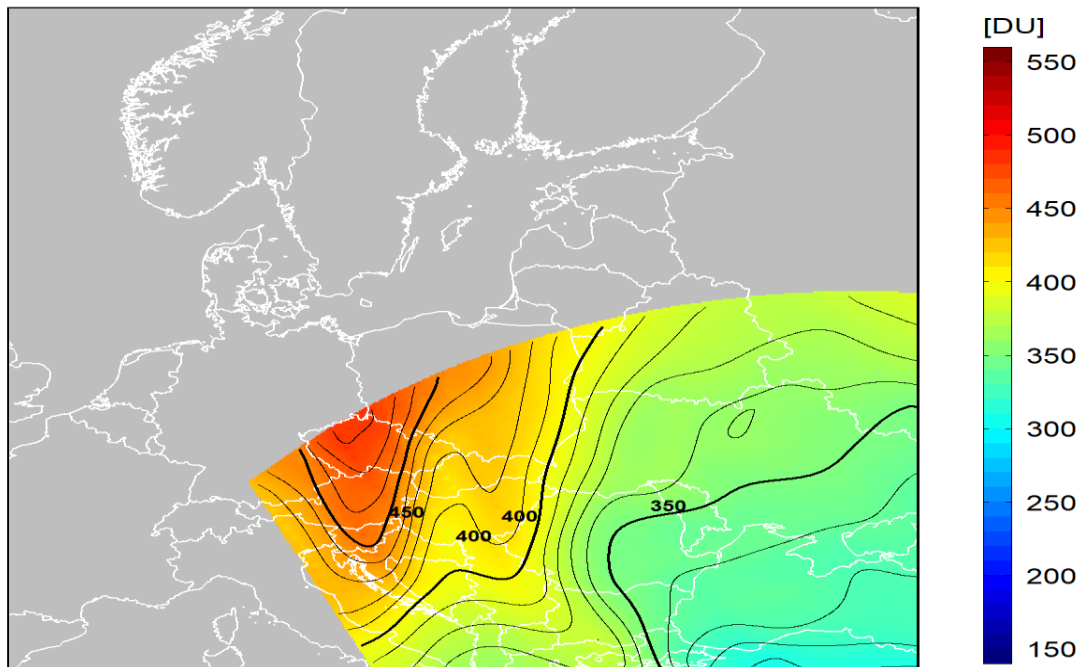
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 04-Mar-2020 11:18:00
Wsp. korekcji : 0.96, Odchyl. : 5%



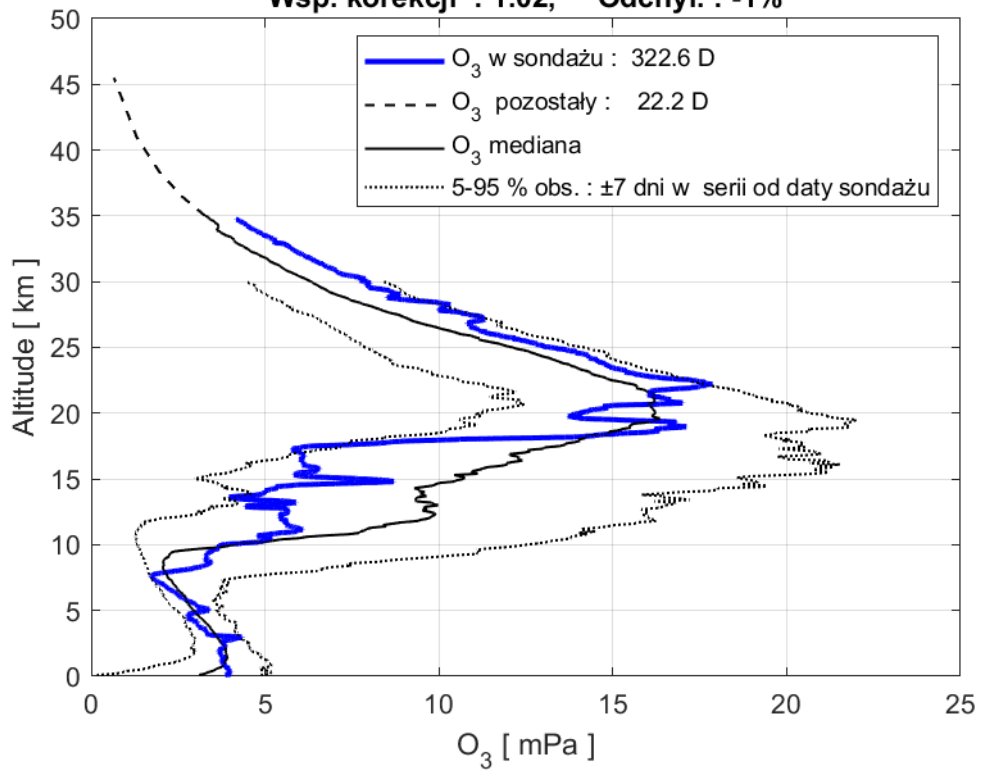
2020-03-04 godz. 10:43:09 - 10:47:38 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



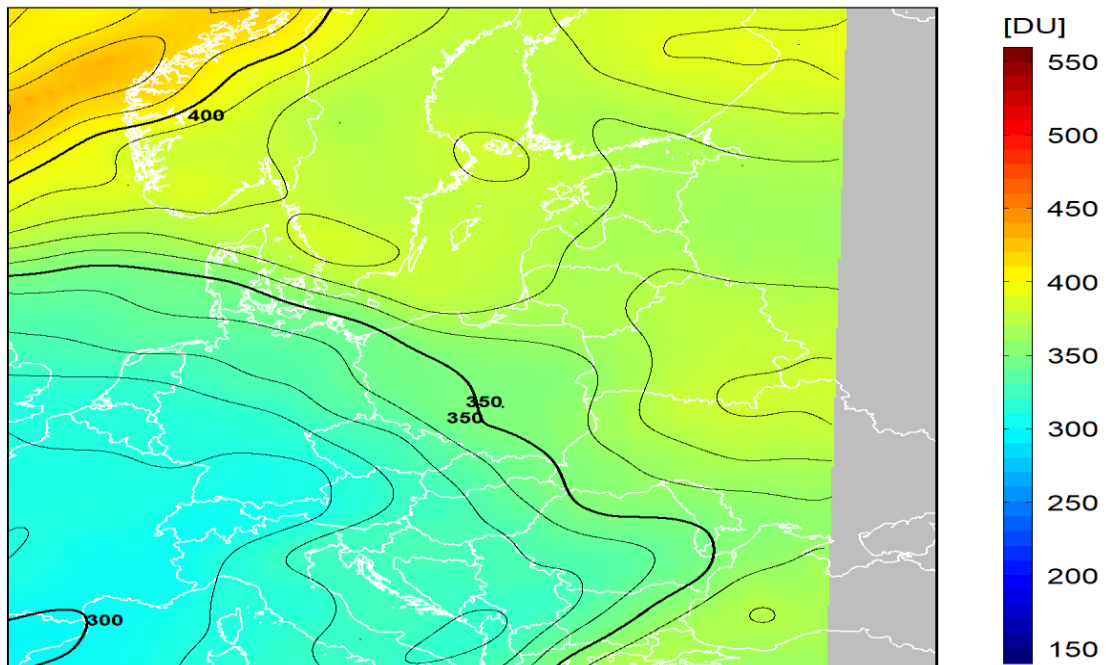
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 11-Mar-2020 11:16:48
Wsp. korekcji : 1.02, Odchyl. : -1%



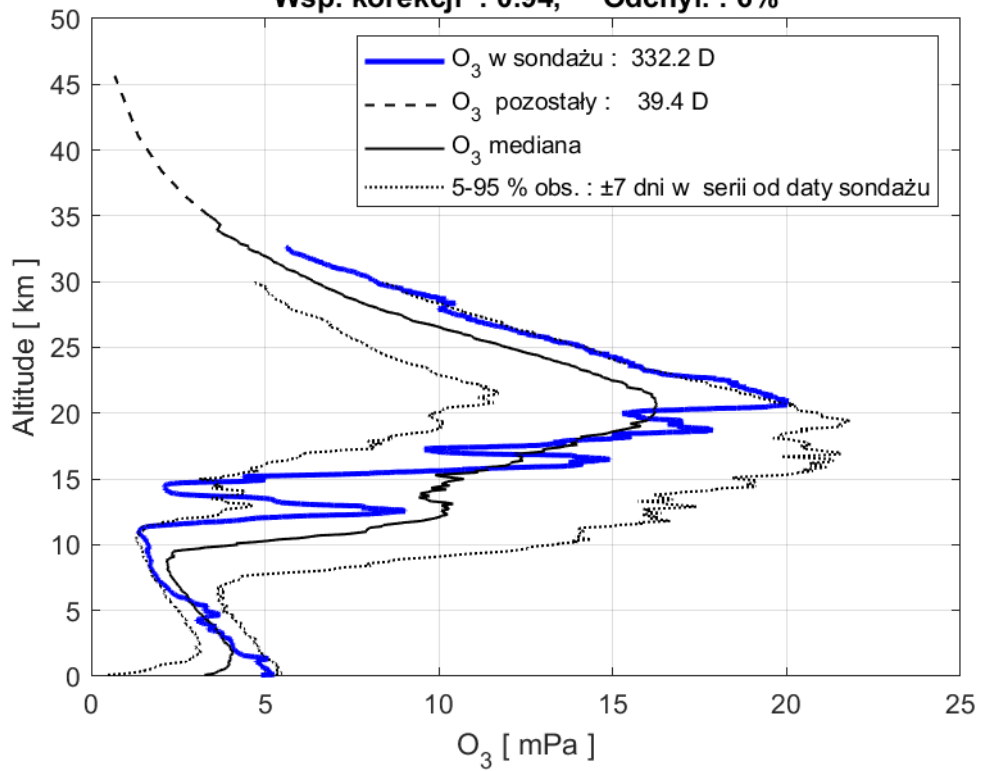
2020-03-11 godz. 11:53:02 - 12:00:09 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



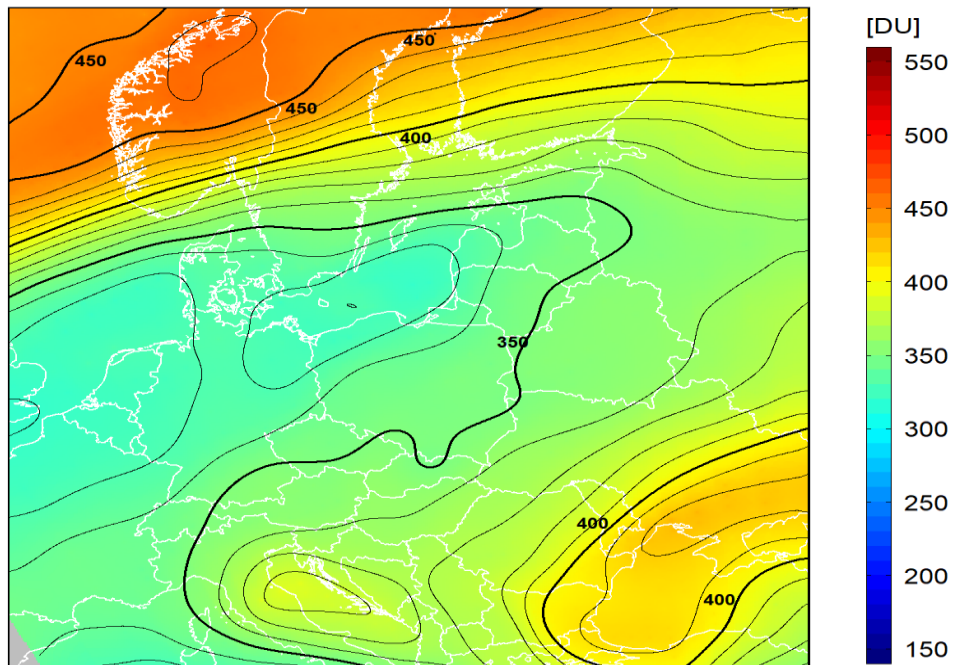
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 18-Mar-2020 11:23:24
Wsp. korekcji : 0.94, Odchyl. : 6%



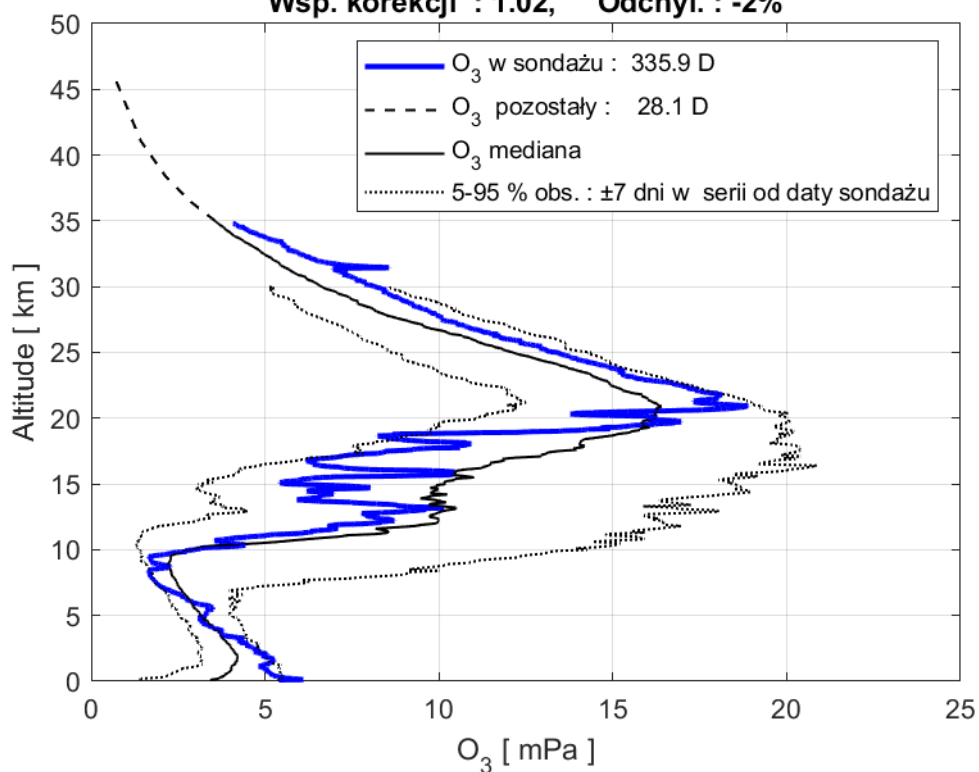
2020-03-18 godz. 11:21:19 - 11:28:55 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



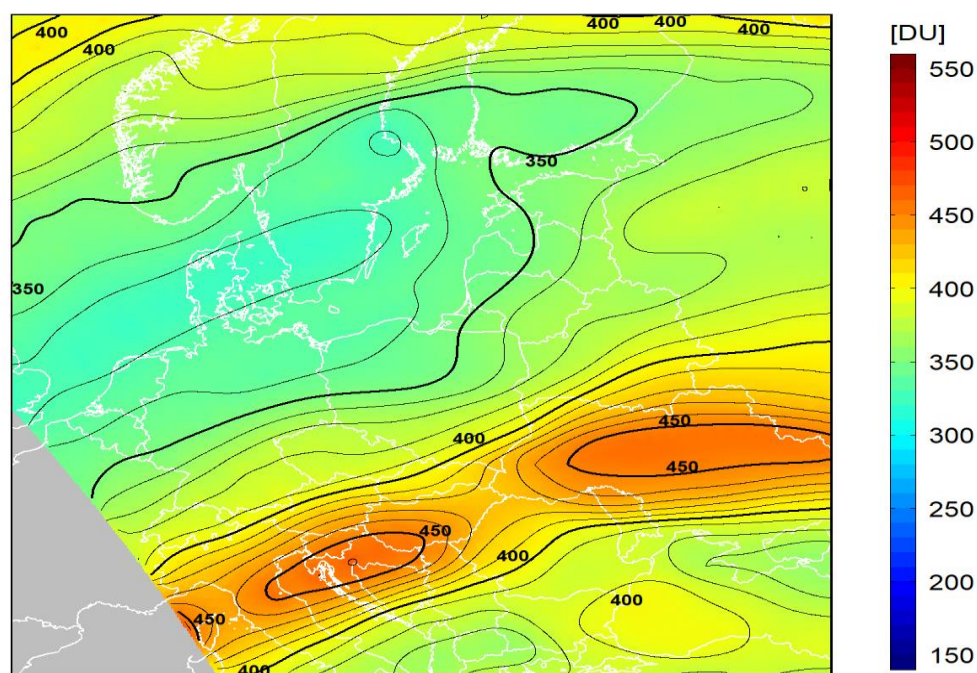
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 25-Mar-2020 11:15:00
Wsp. korekcji : 1.02, Odchyl. : -2%



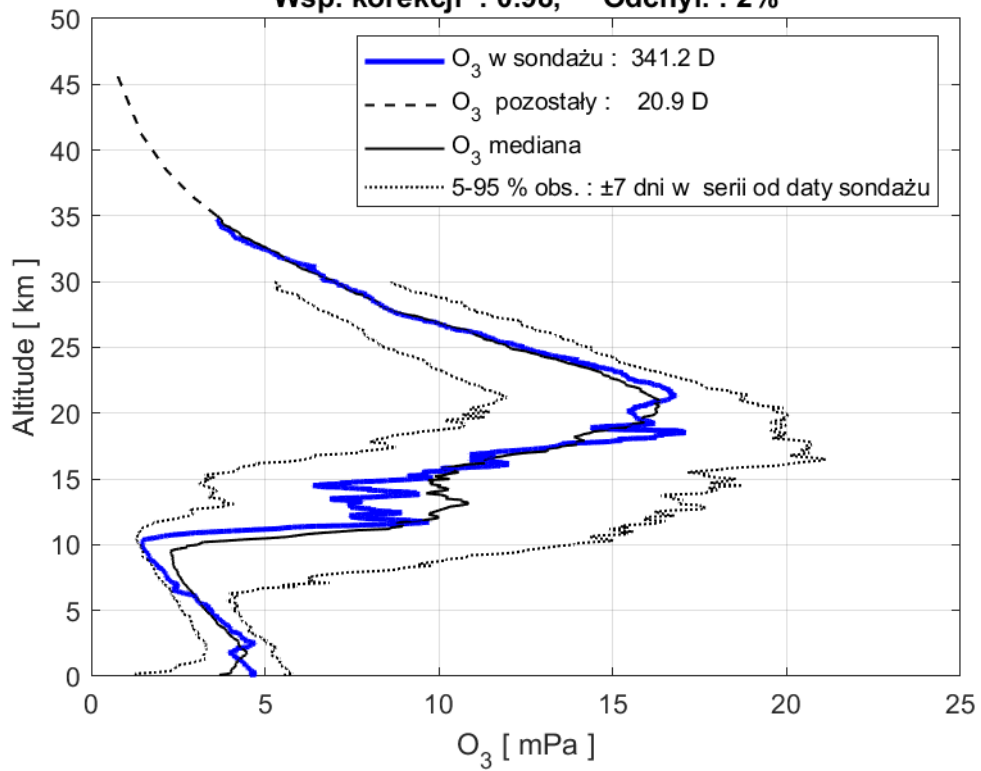
2020-03-25 godz. 10:49:34 - 10:57:48 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



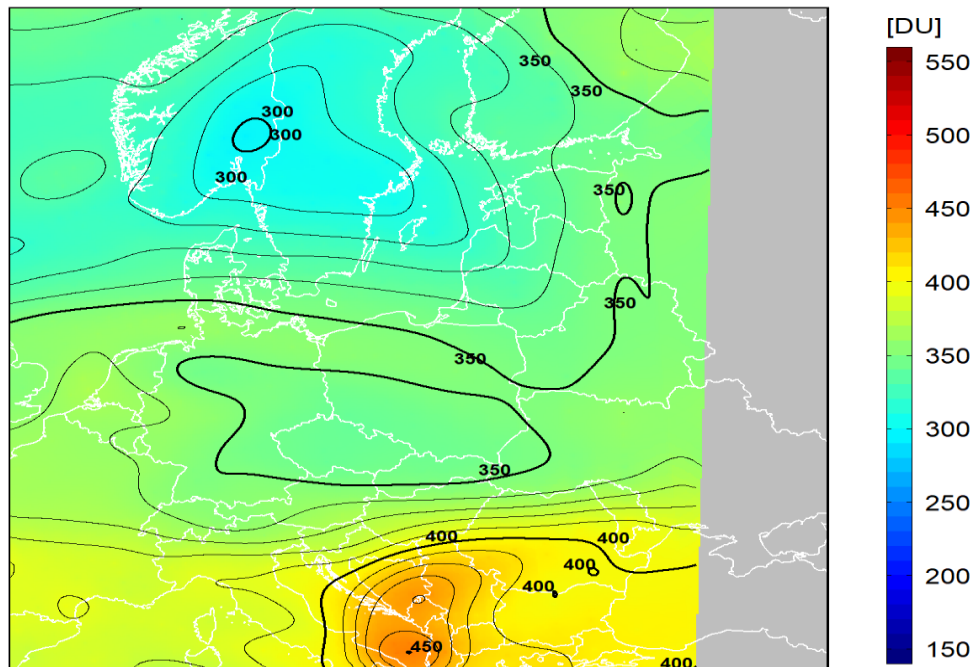
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 01-Apr-2020 11:18:36
Wsp. korekcji : 0.98, Odchyl. : 2%



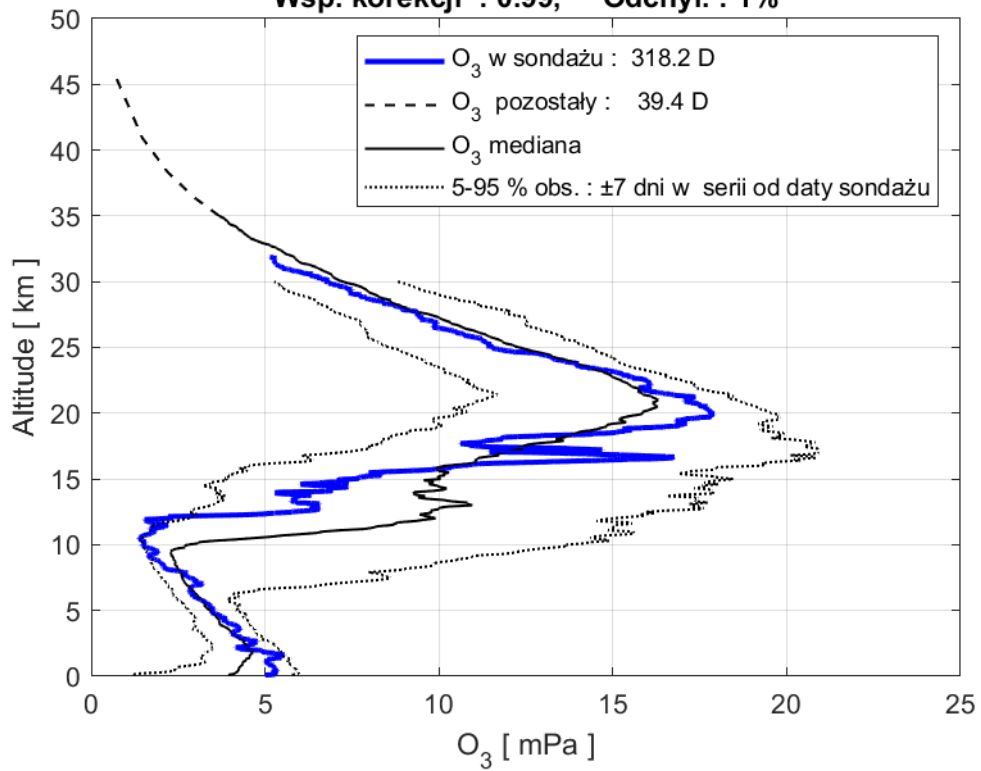
2020-04-01 godz. 11:59:27 - 12:06:34 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



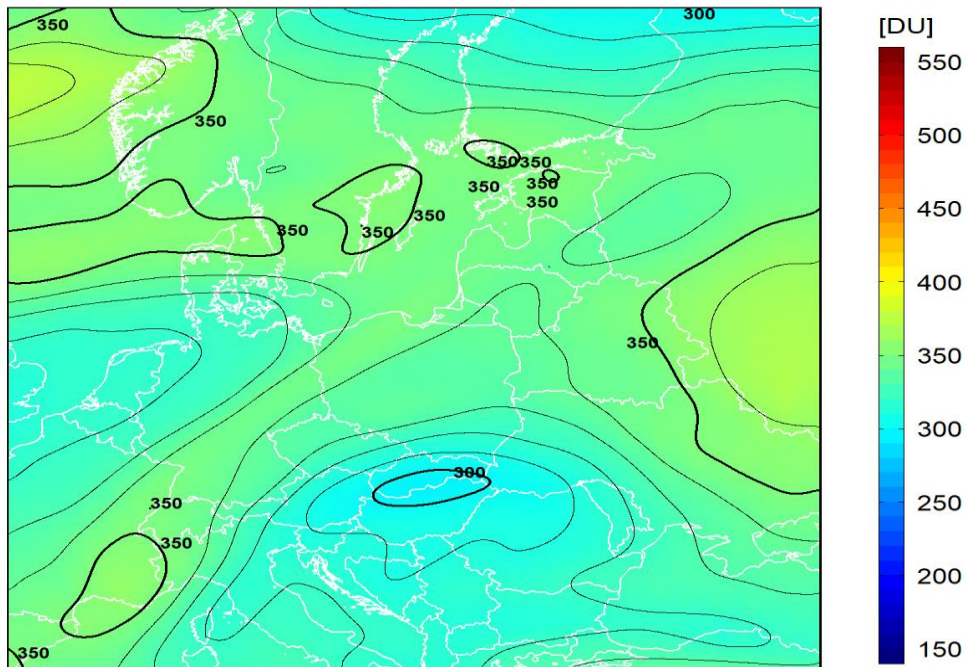
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 08-Apr-2020 11:17:24
Wsp. korekcji : 0.99, Odchyl. : 1%



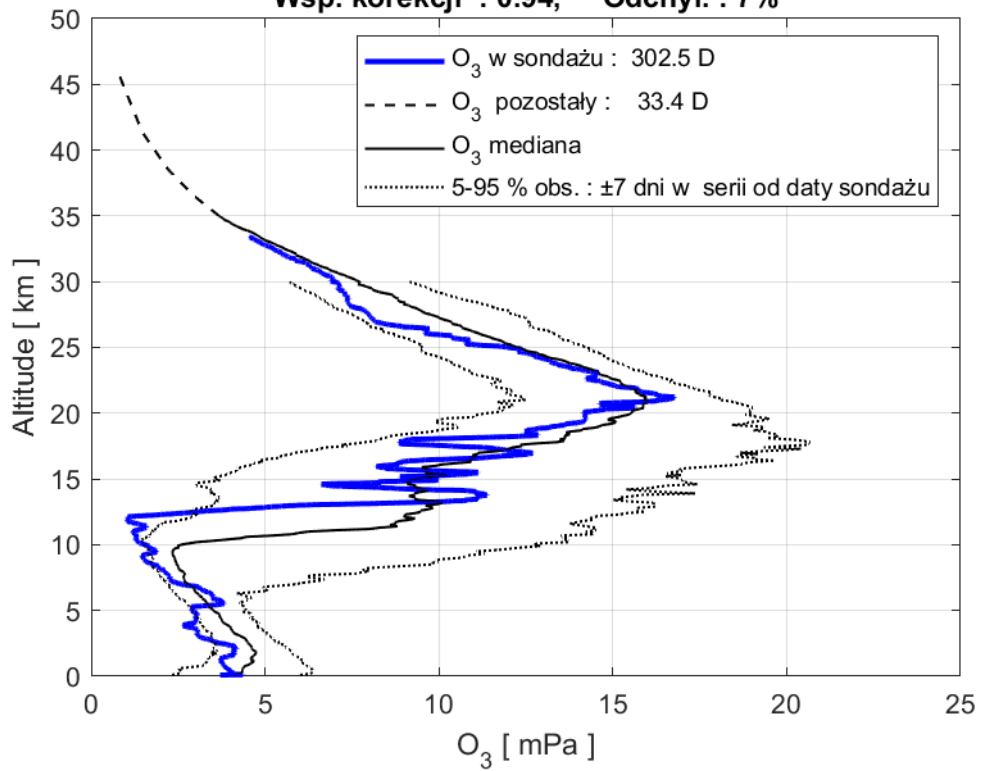
2020-04-08 godz. 11:27:41 - 11:35:10 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



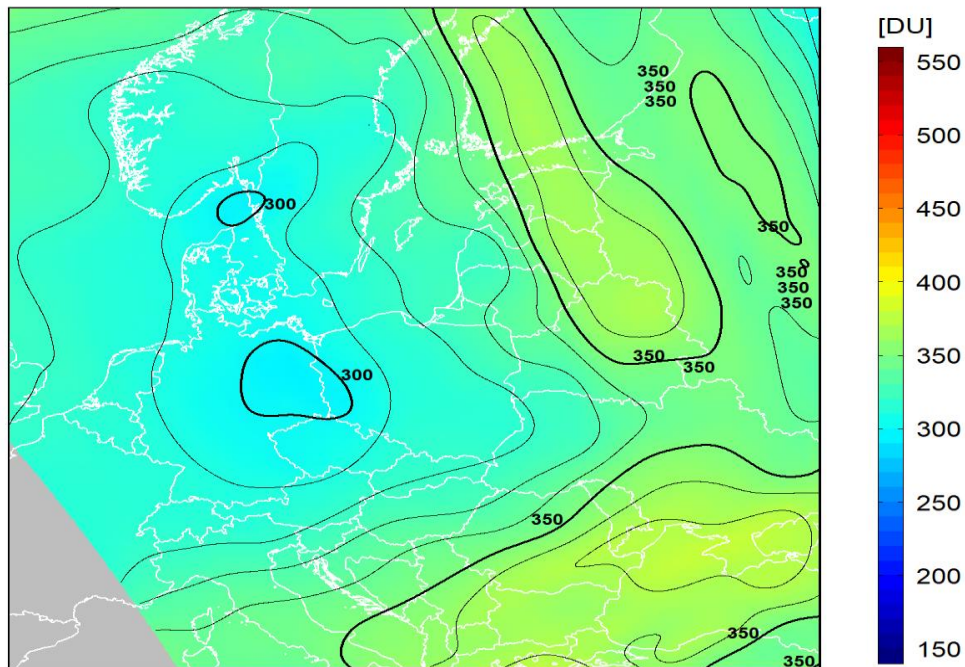
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 15-Apr-2020 11:24:00
Wsp. korekcji : 0.94, Odchyl. : 7%



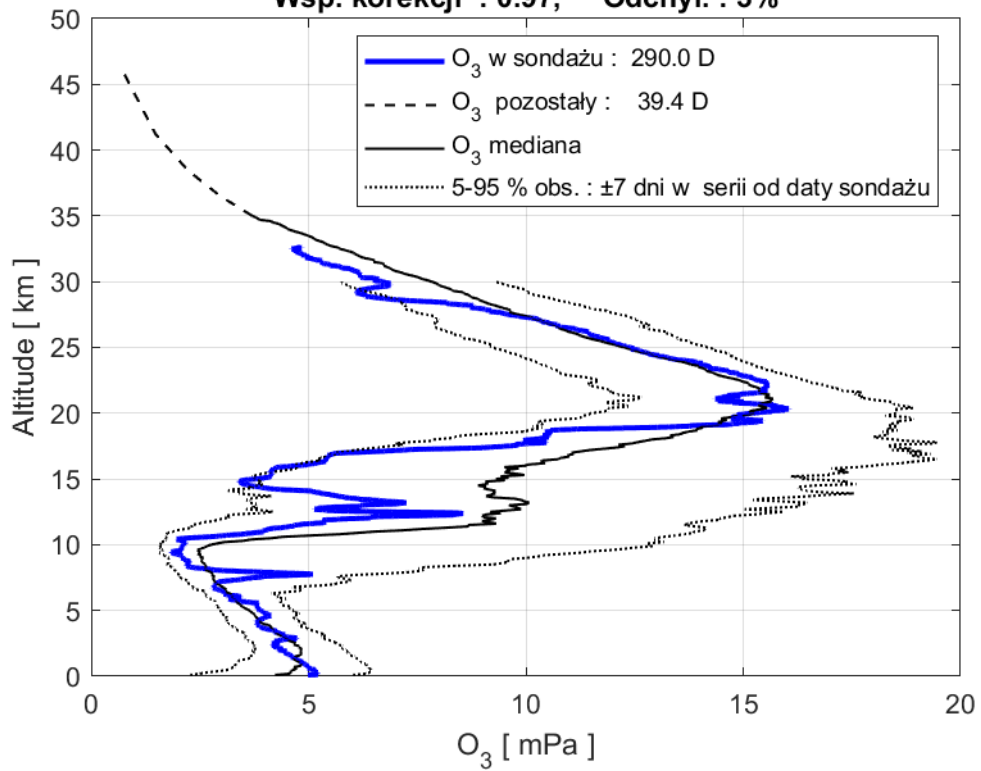
2020-04-15 godz. 10:55:59 - 11:04:06 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



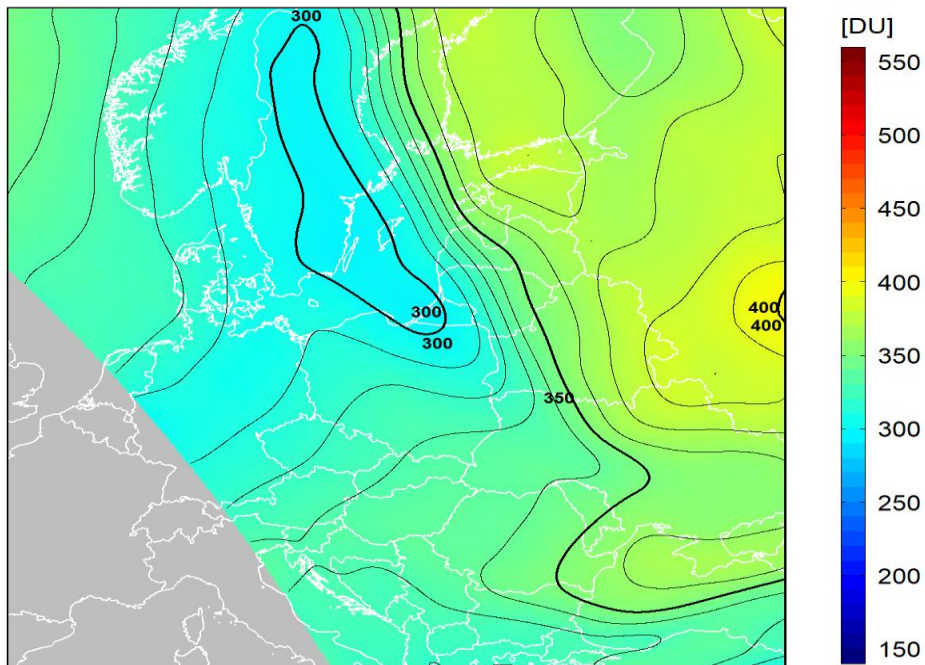
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 22-Apr-2020 11:21:36
Wsp. korekcji : 0.97, Odchyl. : 3%



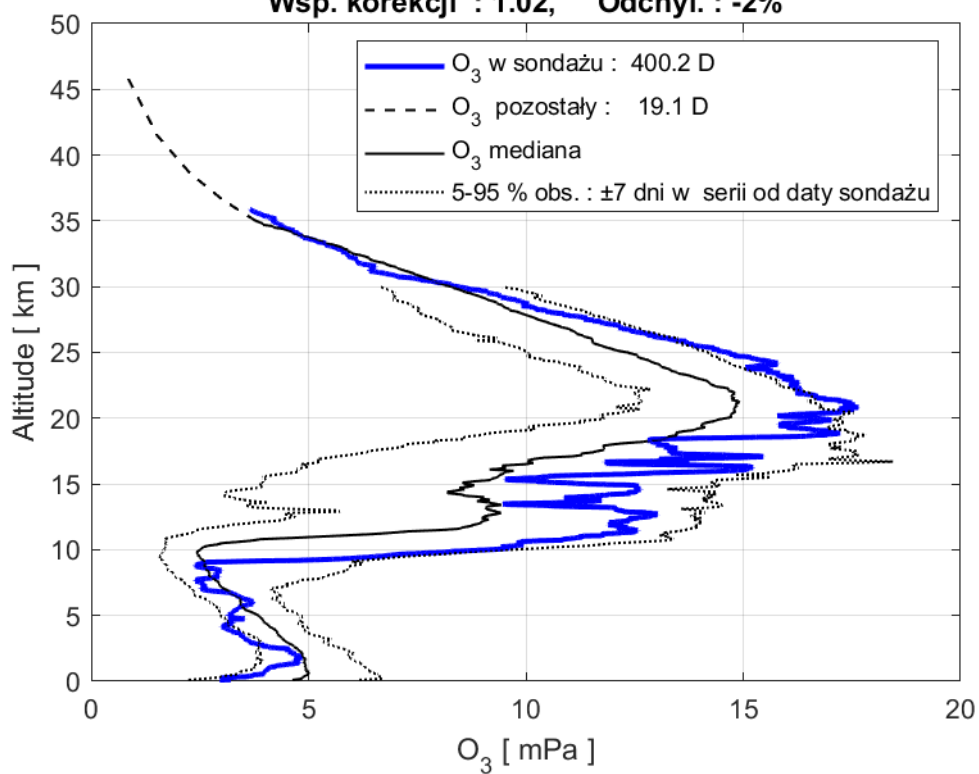
2020-04-22 godz. 10:24:22 - 10:33:14 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



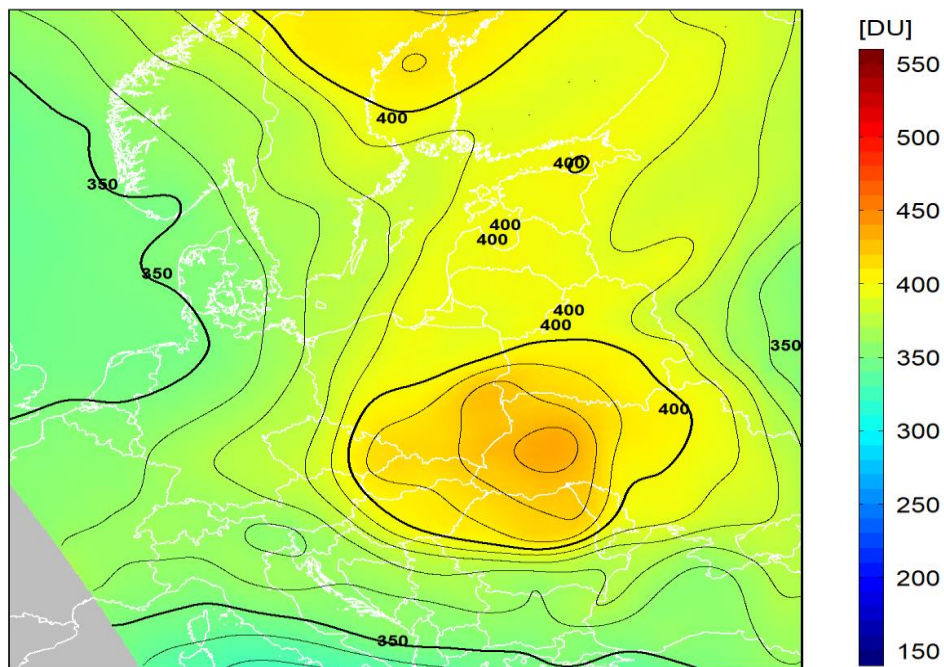
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 06-May-2020 11:16:12
Wsp. korekcji : 1.02, Odchyl. : -2%



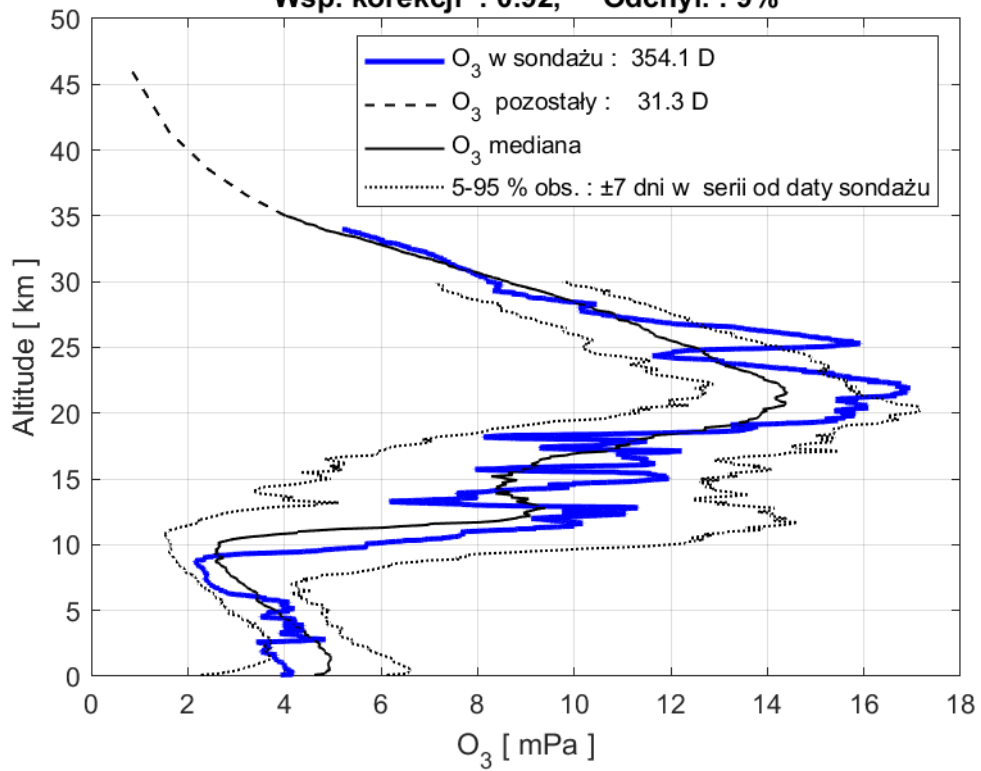
2020-05-06 godz. 11:02:19 - 11:10:18 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



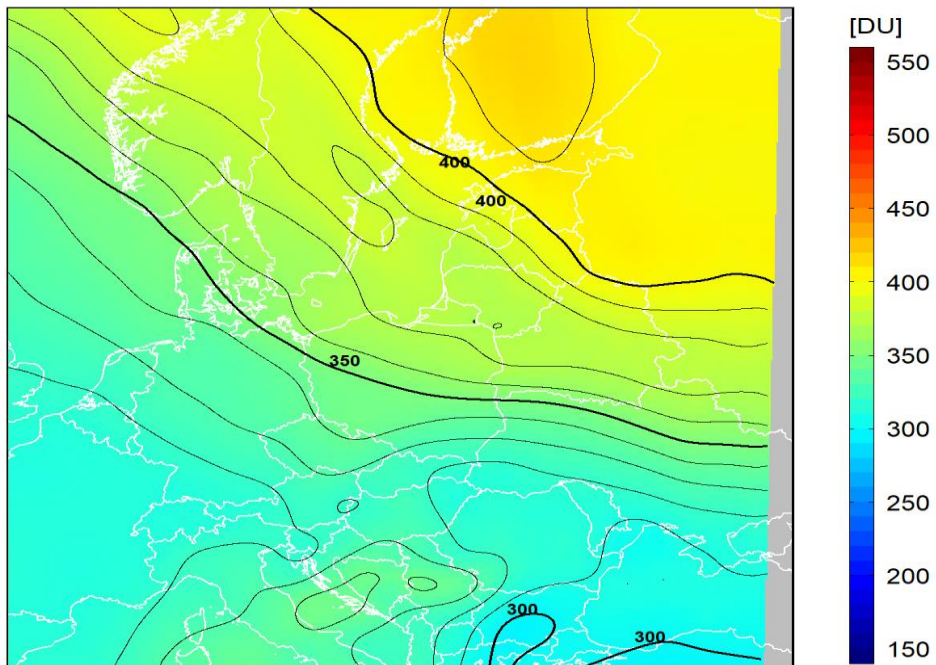
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 20-May-2020 11:17:24
Wsp. korekcji : 0.92, Odchyl. : 9%

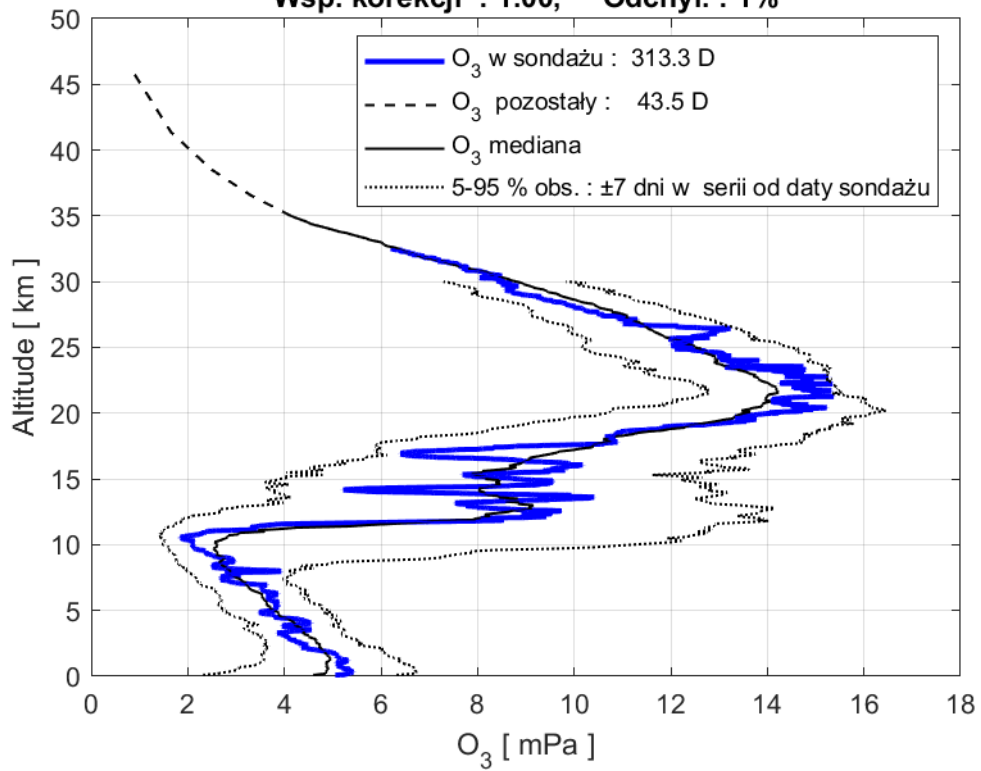


2020-05-20 godz. 11:40:19 - 11:47:41 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery

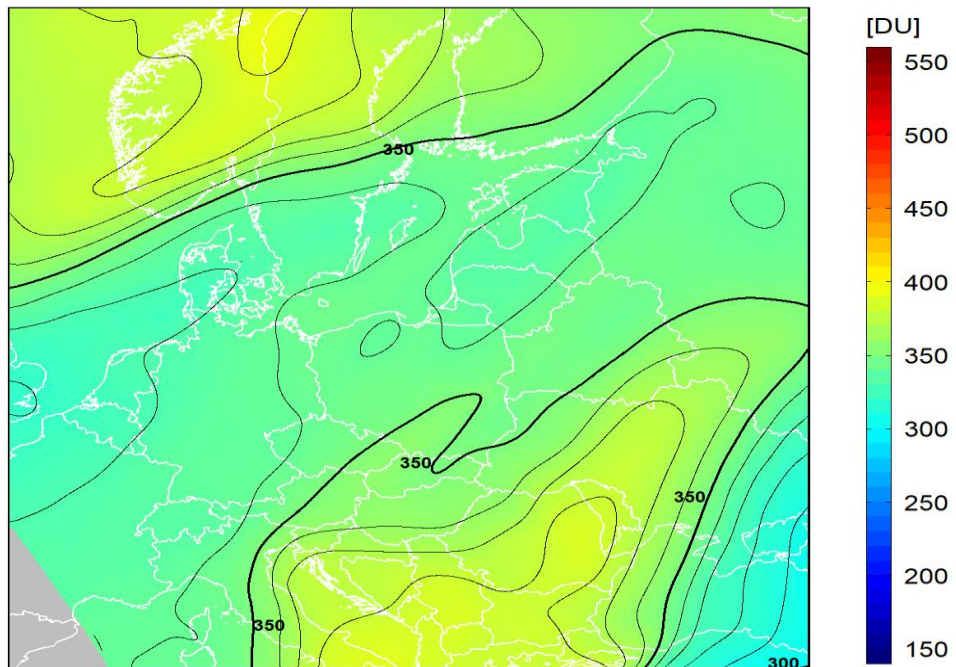


Legionowo, 27-May-2020 11:22:12
Wsp. korekcji : 1.00, Odchyl. : 1%



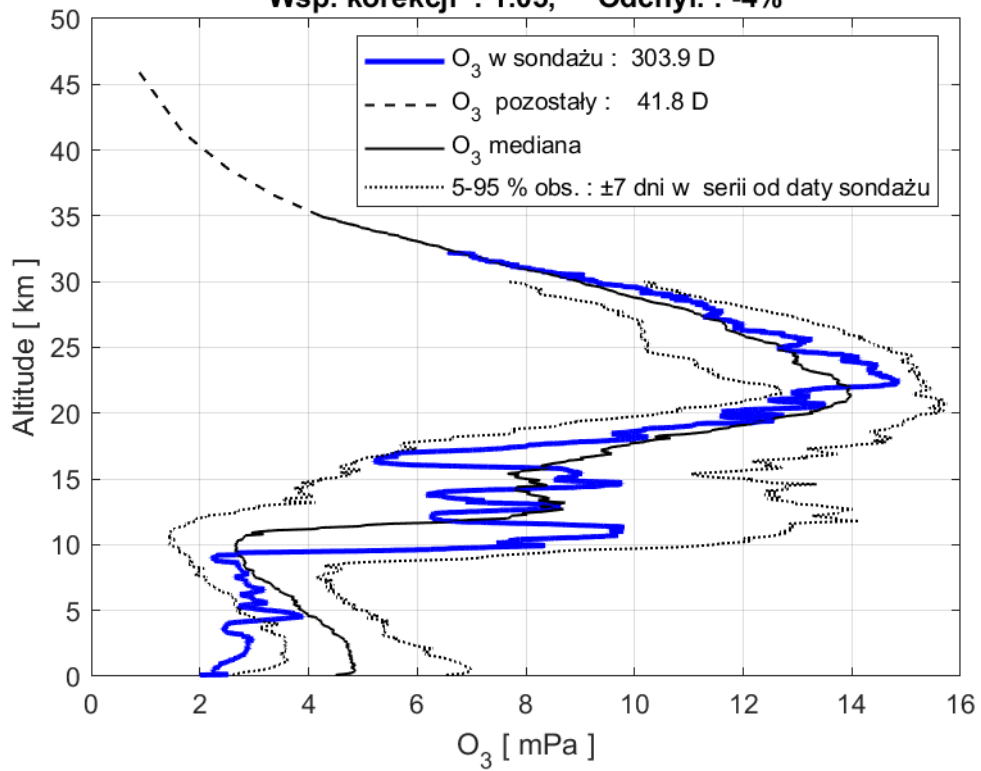
2020-05-27 godz. 11:08:34 - 11:16:25 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



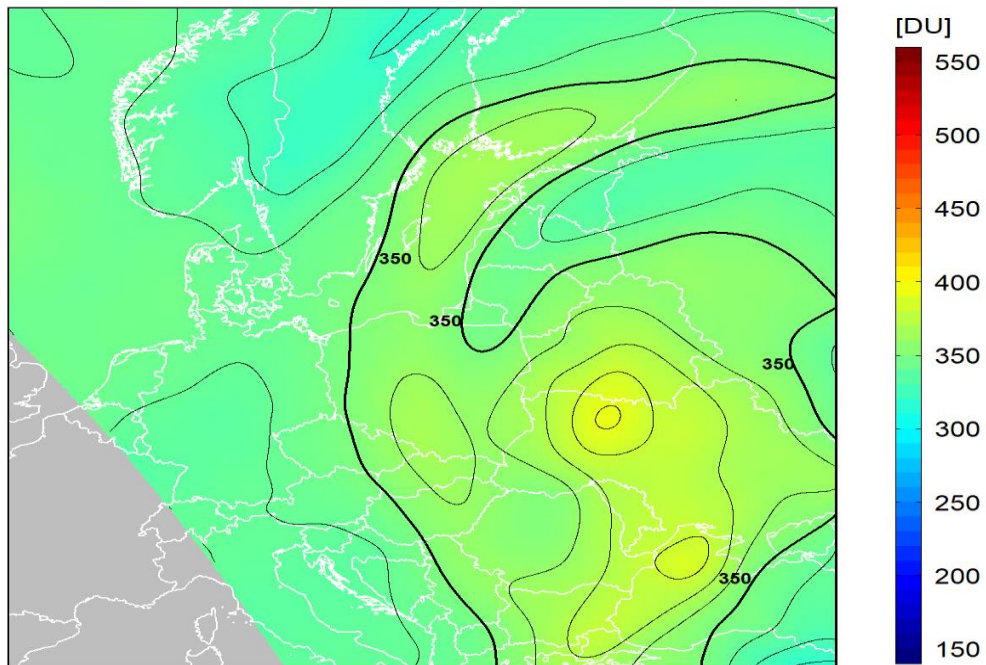
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 03-Jun-2020 11:19:12
Wsp. korekcji : 1.05, Odchyl. : -4%



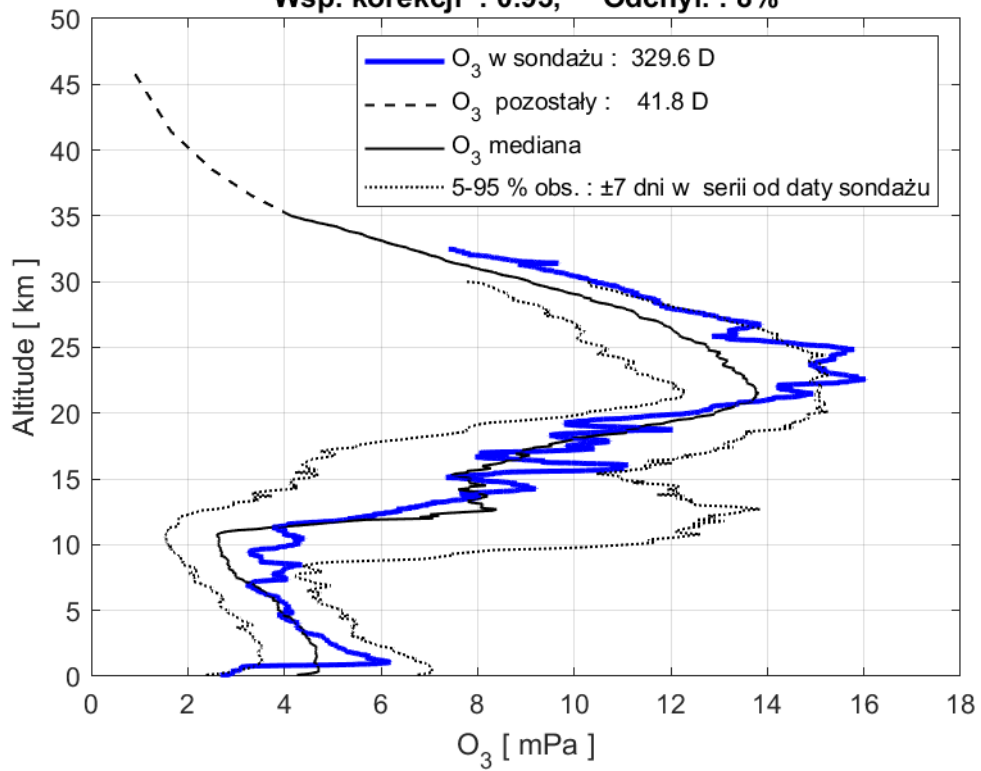
2020-06-03 godz. 10:36:56 - 10:45:25 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



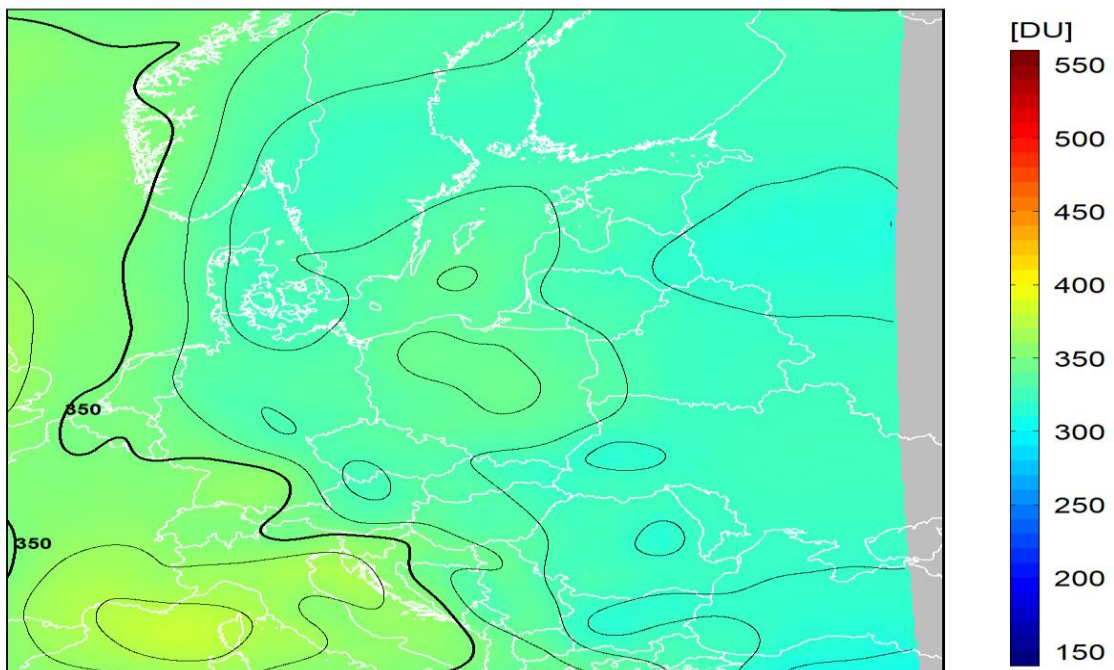
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 10-Jun-2020 11:22:12
Wsp. korekcji : 0.93, Odchyl. : 8%



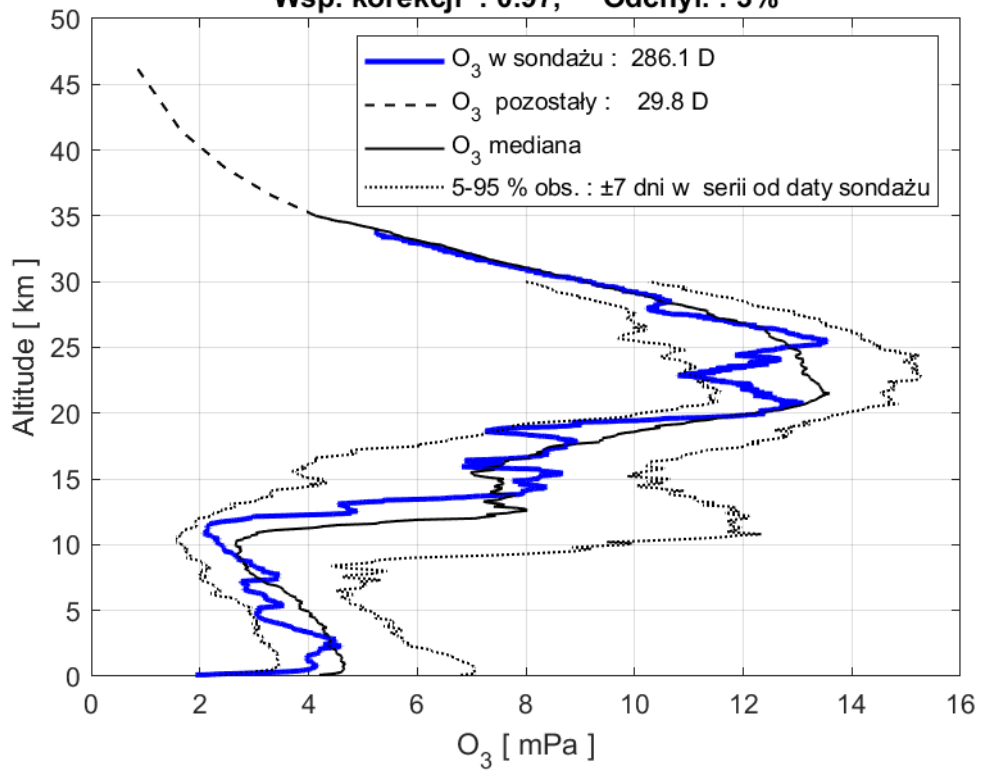
2020-06-10 godz. 11:46:36 - 11:53:51 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



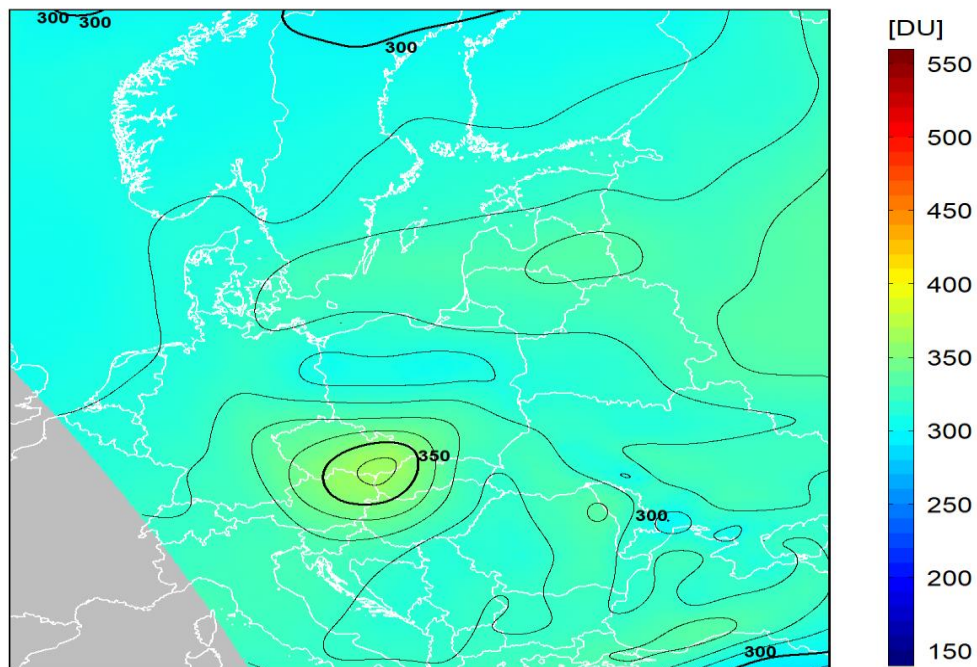
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 24-Jun-2020 11:16:48
Wsp. korekcji : 0.97, Odchyl. : 3%



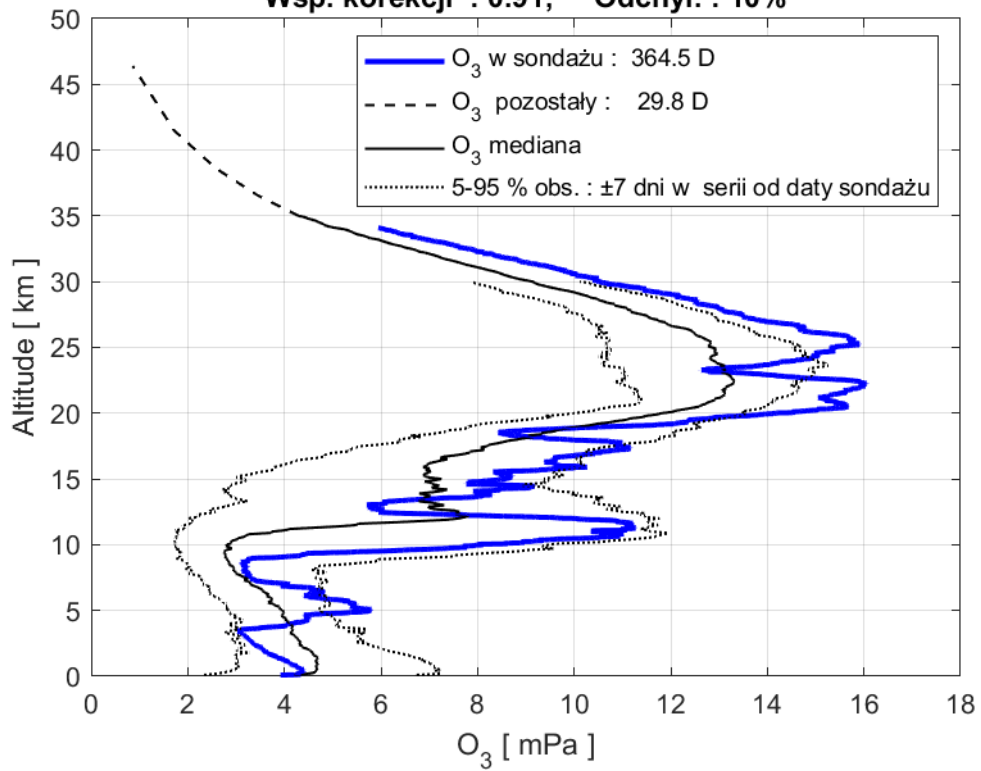
2020-06-24 godz. 10:43:07 - 10:51:21 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



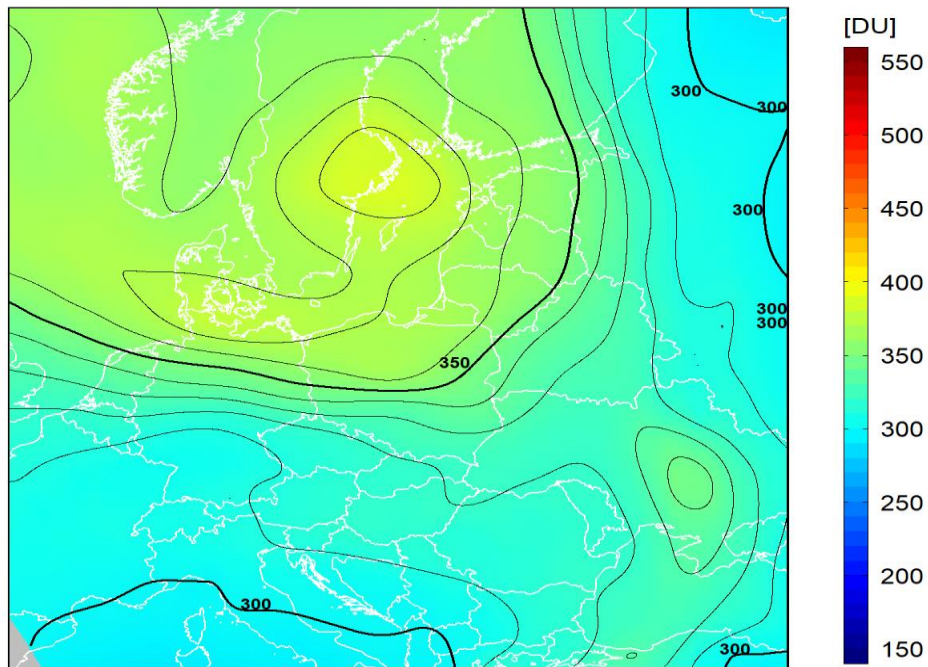
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 08-Jul-2020 11:28:12
Wsp. korekcji : 0.91, Odchyl. : 10%



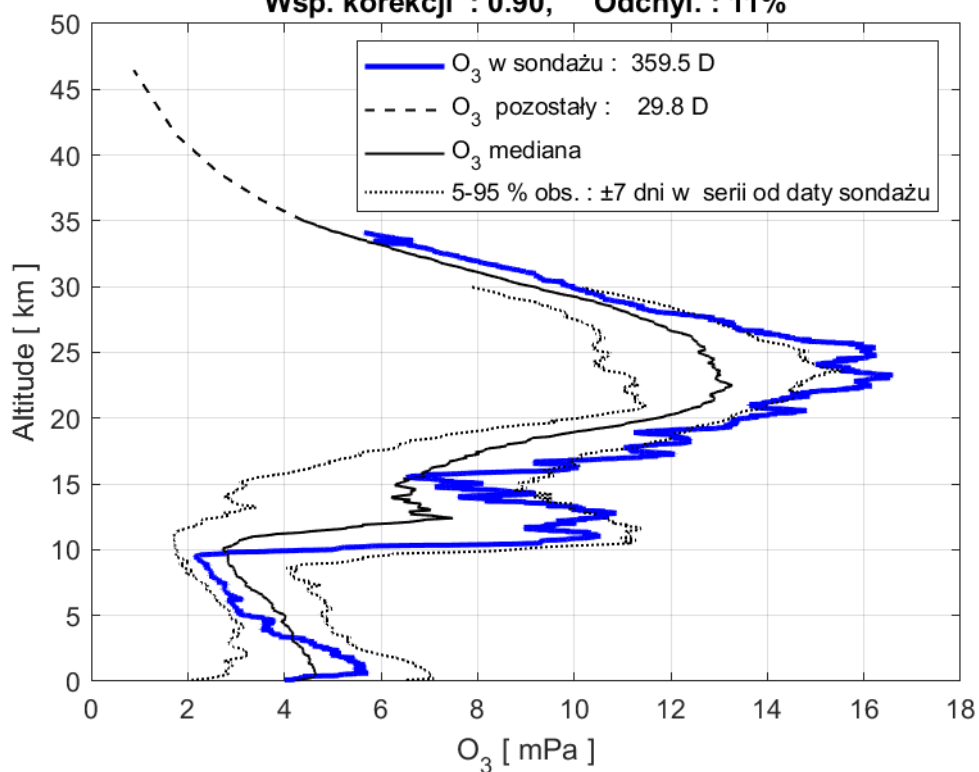
2020-07-08 godz. 11:21:15 - 11:28:52 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



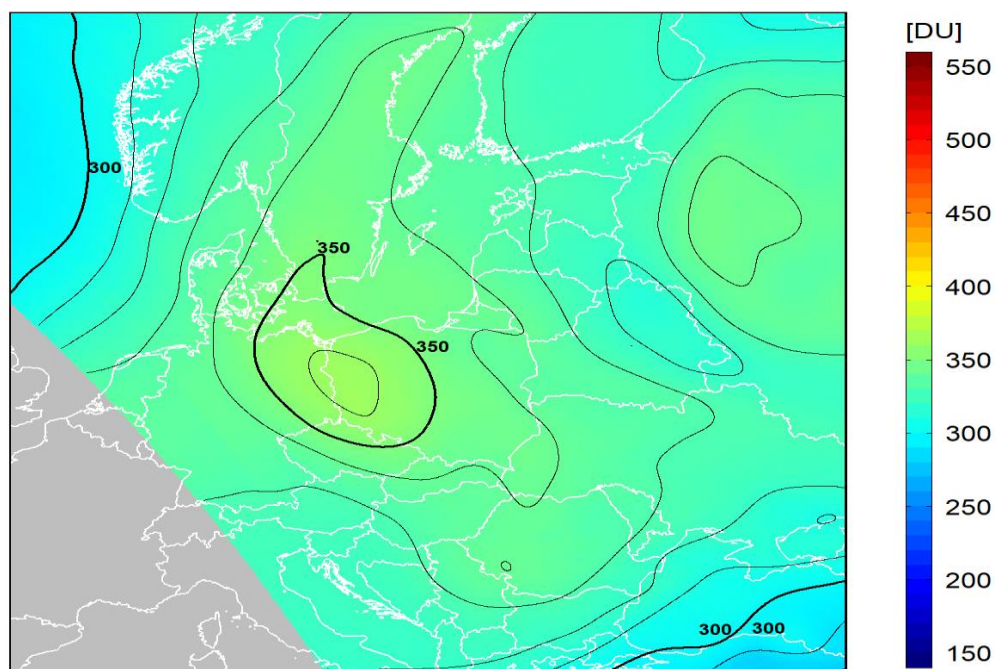
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 16-Jul-2020 11:26:24
Wsp. korekcji : 0.90, Odchyl. : 11%



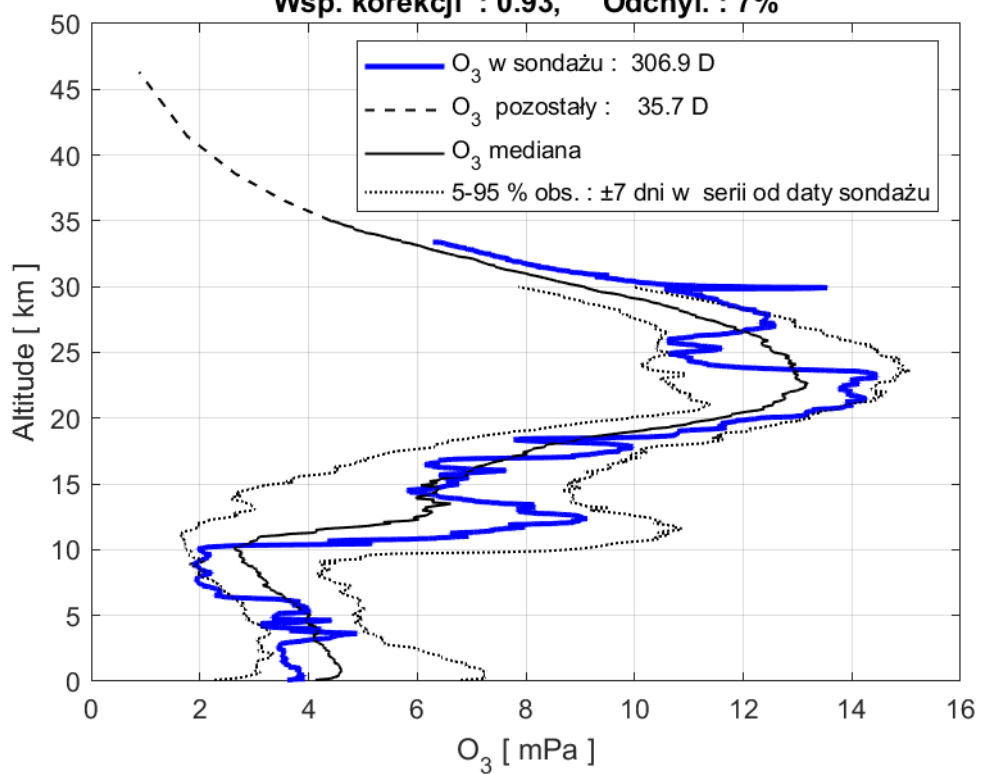
2020-07-16 godz. 10:30:45 - 10:39:14 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



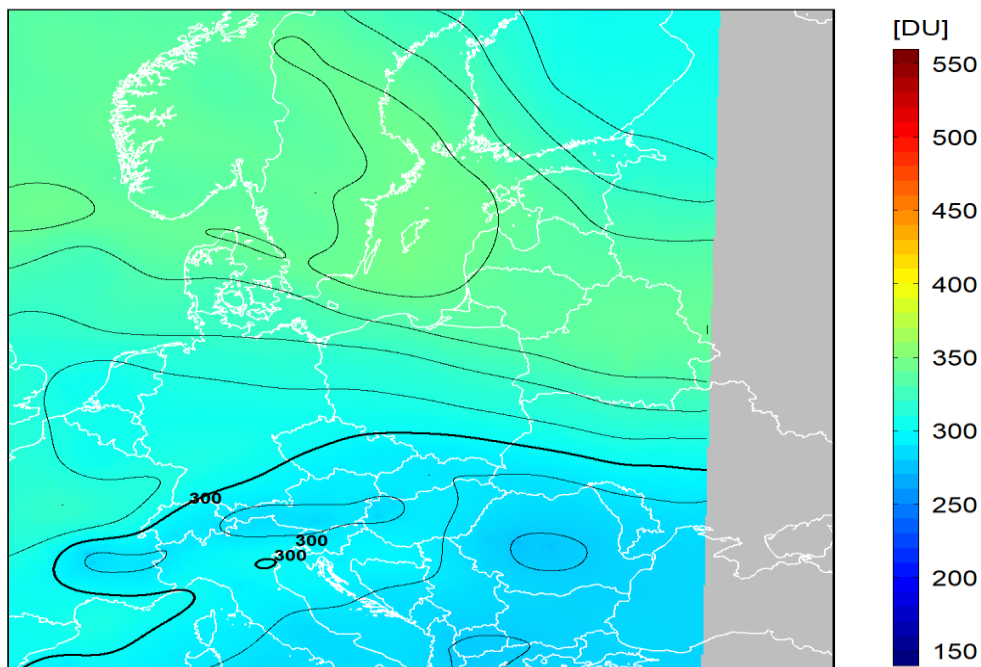
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 22-Jul-2020 11:22:12
Wsp. korekcji : 0.93, Odchyl. : 7%



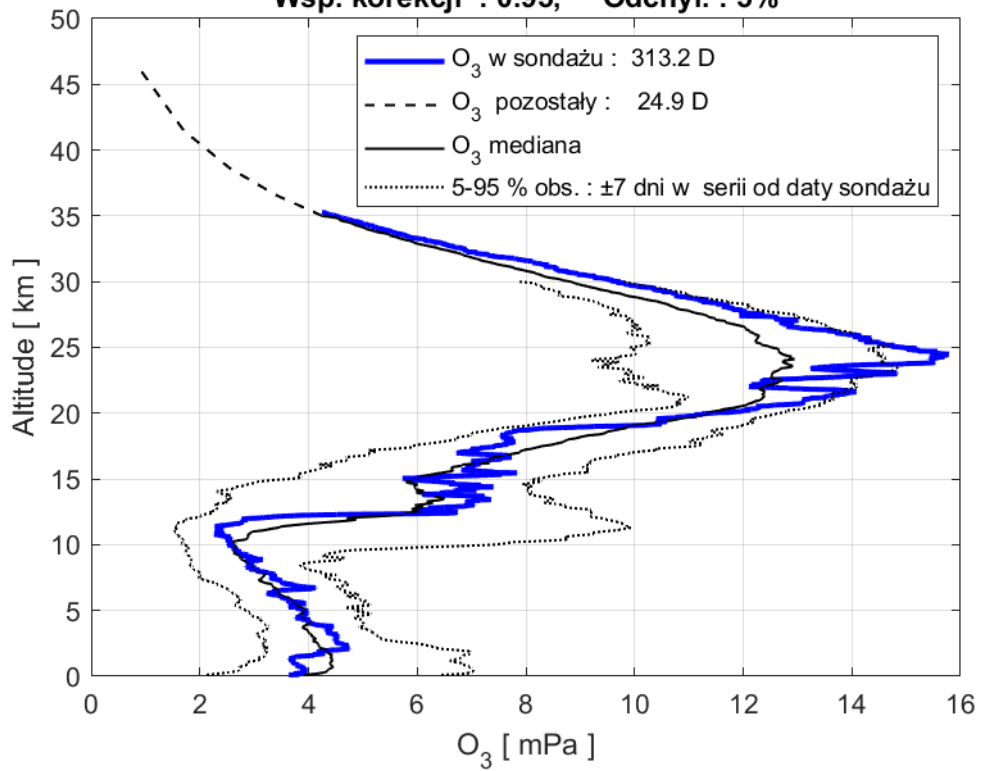
2020-07-22 godz. 11:59:32 - 12:06:39 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery

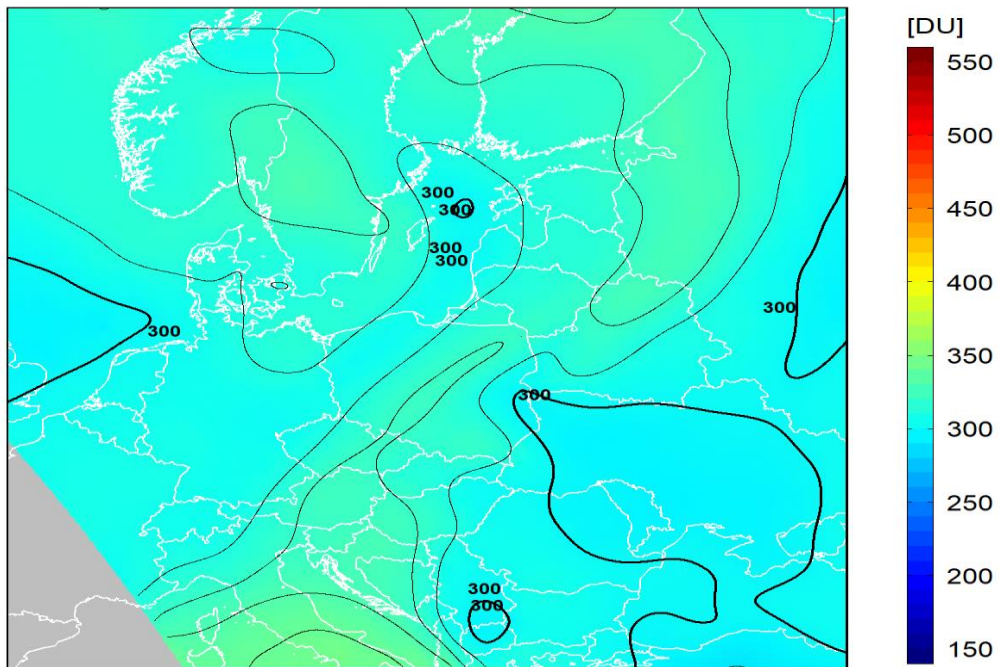


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 05-Aug-2020 11:30:00
 Wsp. korekcji : 0.95, Odchyl. : 5%

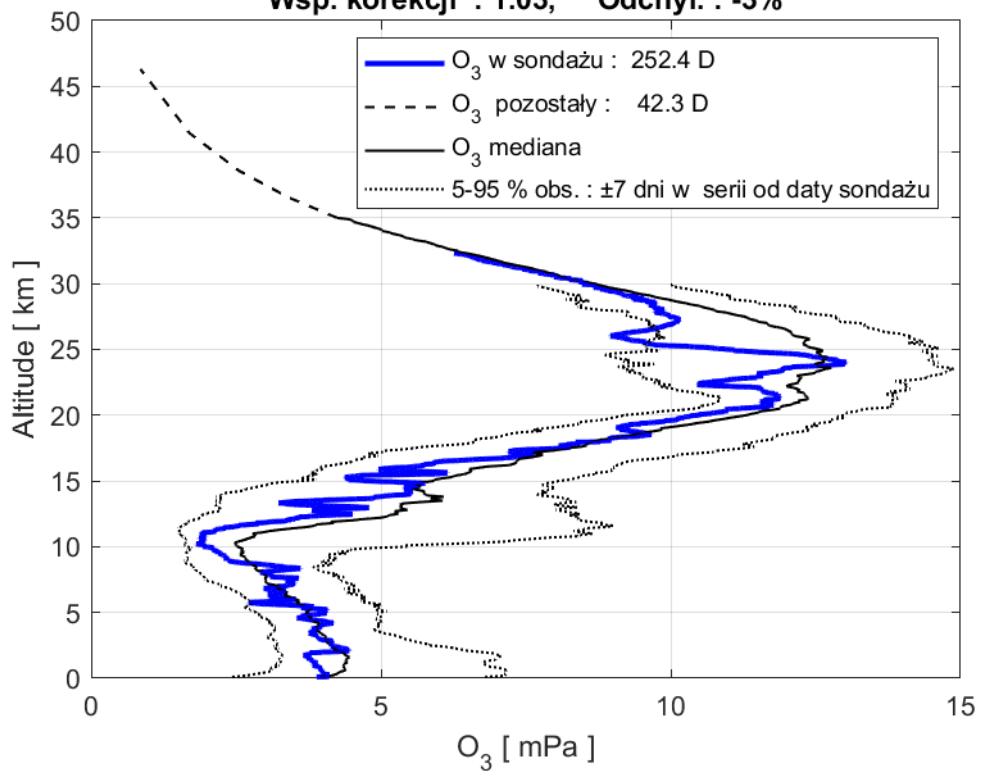


2020-08-05 godz. 10:56:10 - 11:04:16 UTC
 Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



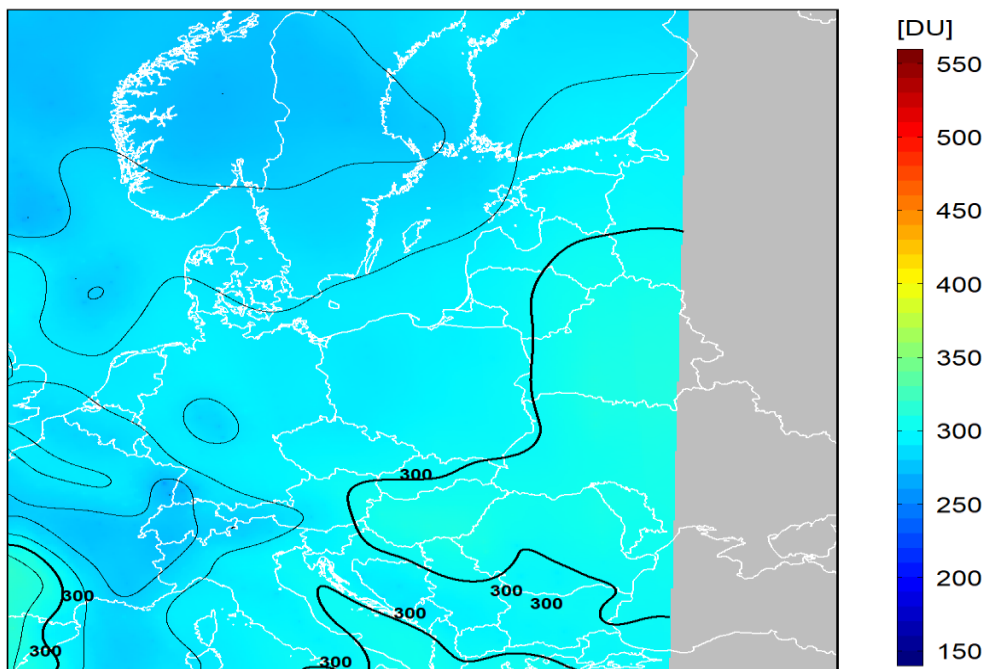
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 12-Aug-2020 11:16:12
Wsp. korekcji : 1.03, Odchyl. : -3%



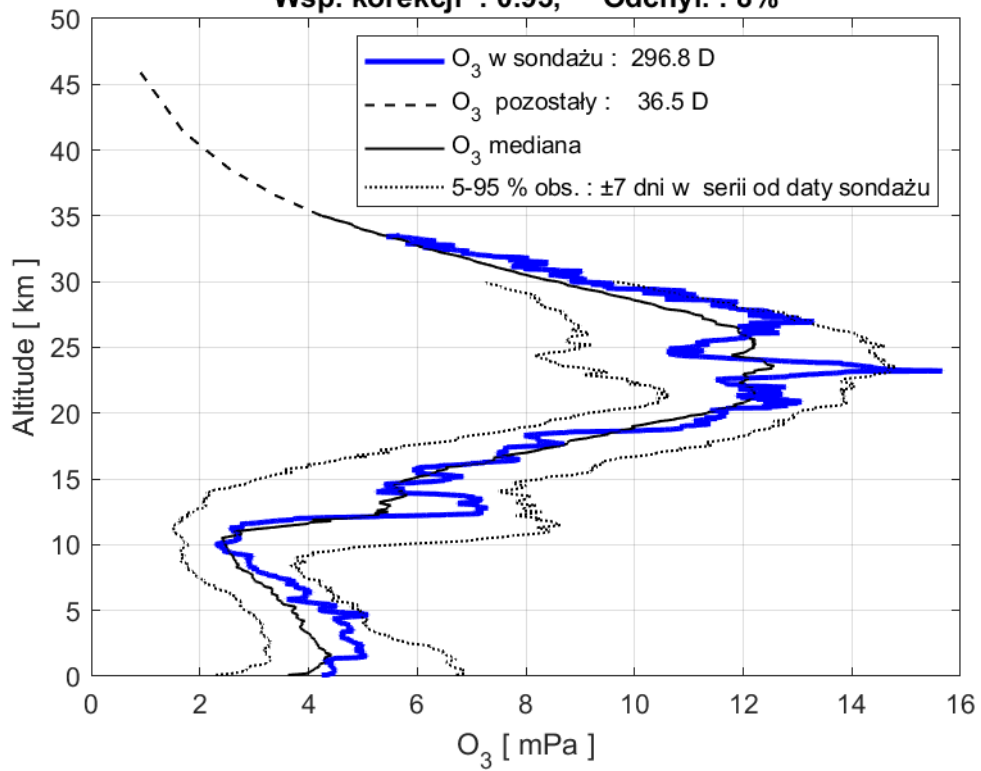
2020-08-12 godz. 12:06:04 - 12:13:11 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



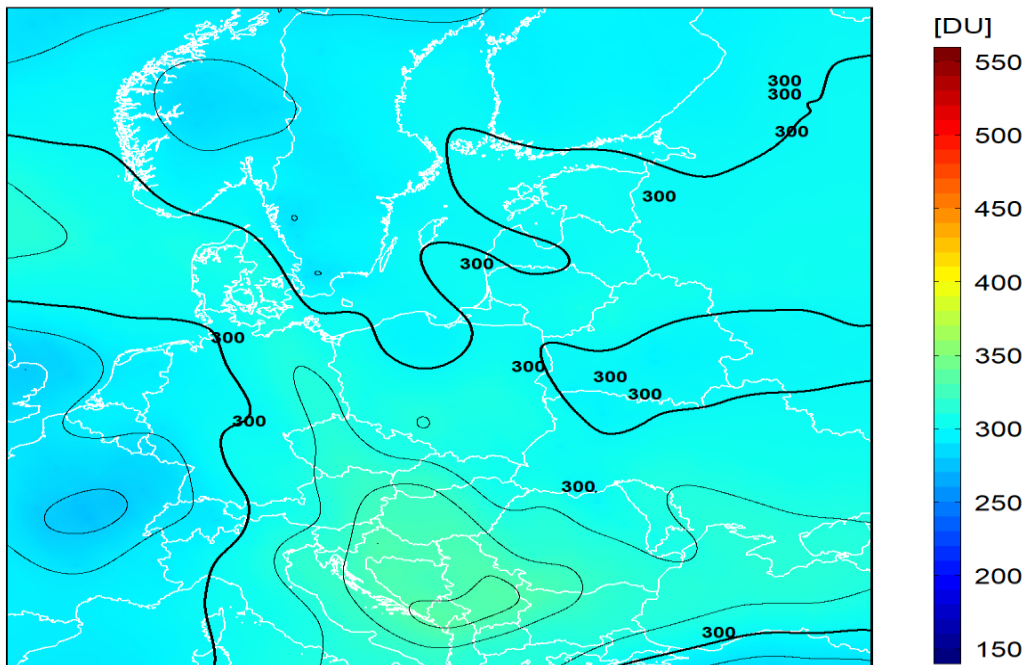
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 19-Aug-2020 11:34:48
 Wsp. korekcji : 0.93, Odchyl. : 8%



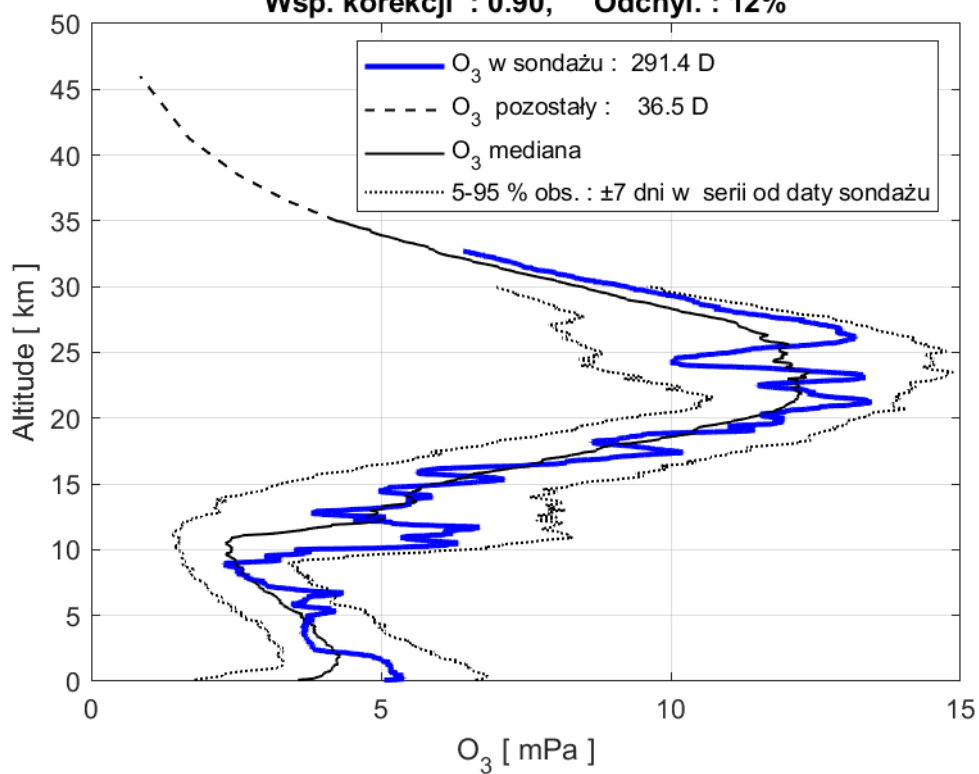
2020-08-19 godz. 11:34:24 - 11:41:46 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



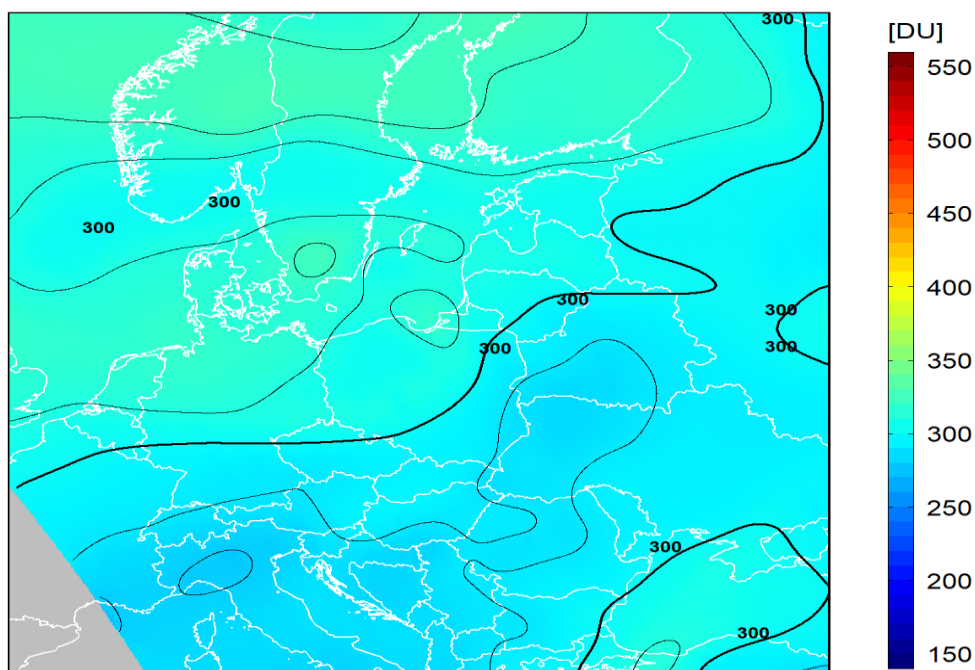
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 26-Aug-2020 11:23:24
Wsp. korekcji : 0.90, Odchyl. : 12%

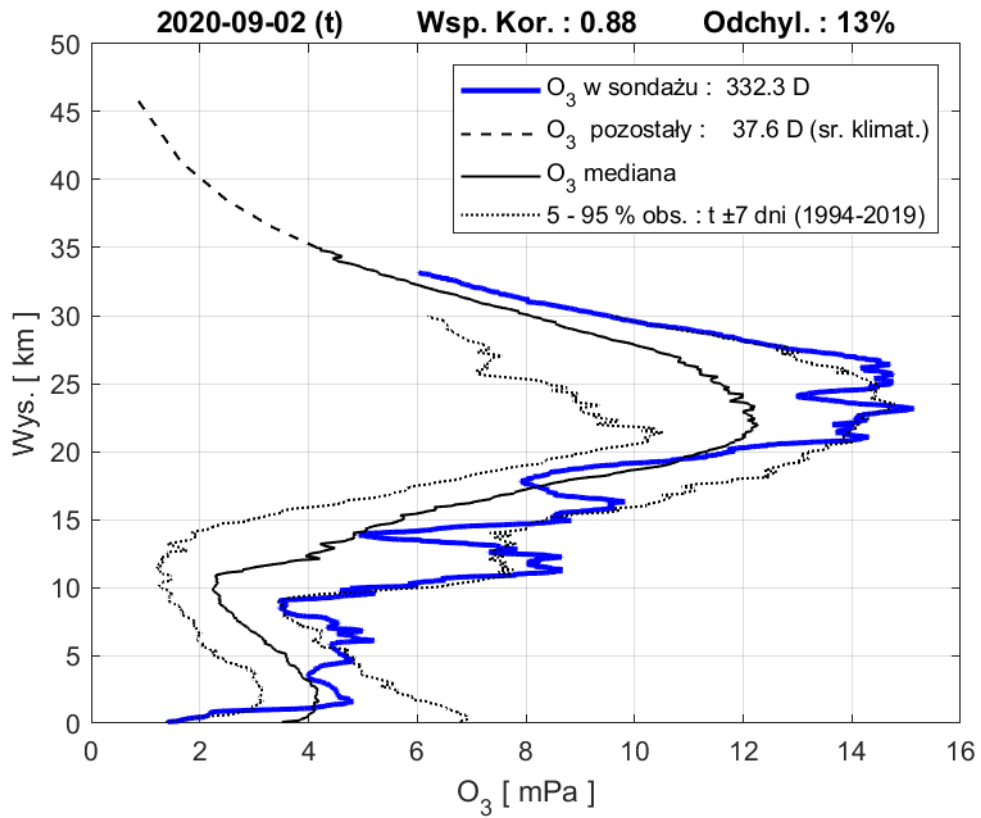


2020-08-26 godz. 11:02:43 - 11:10:35 UTC

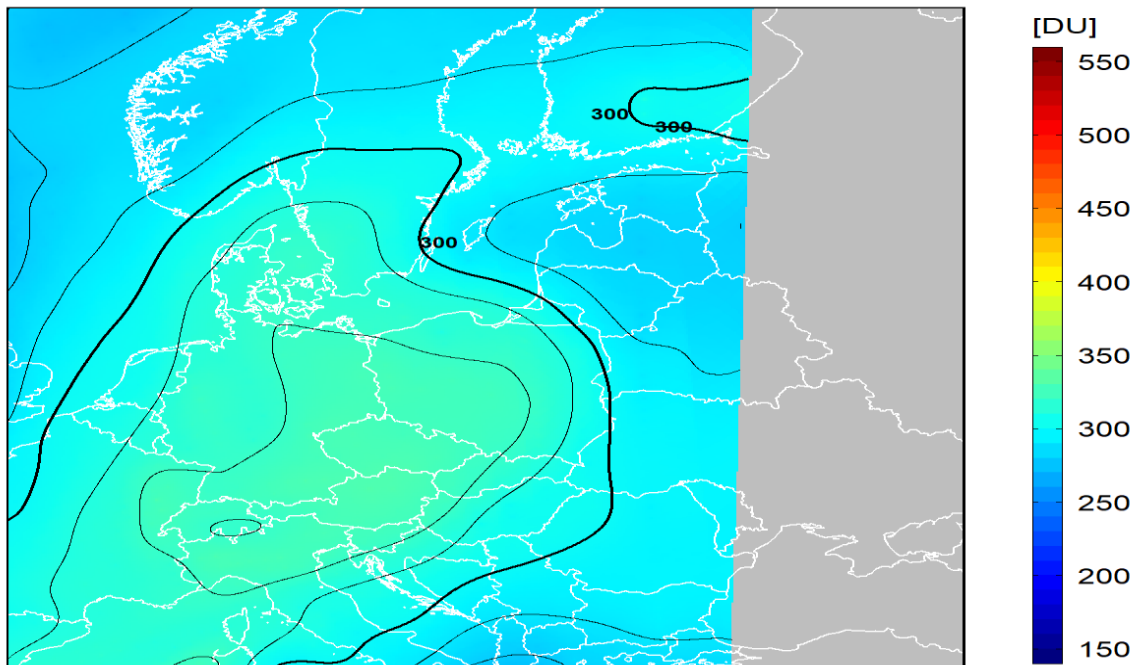
Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

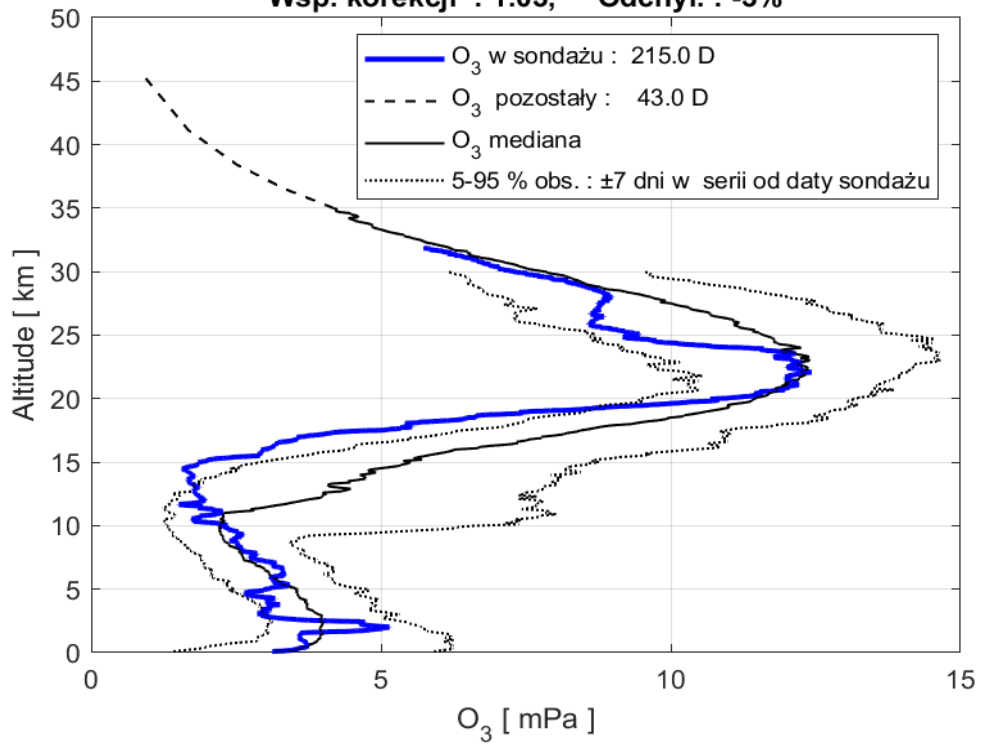


2020-09-02 godz. 12:12:27 - 12:19:34 UTC
 Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



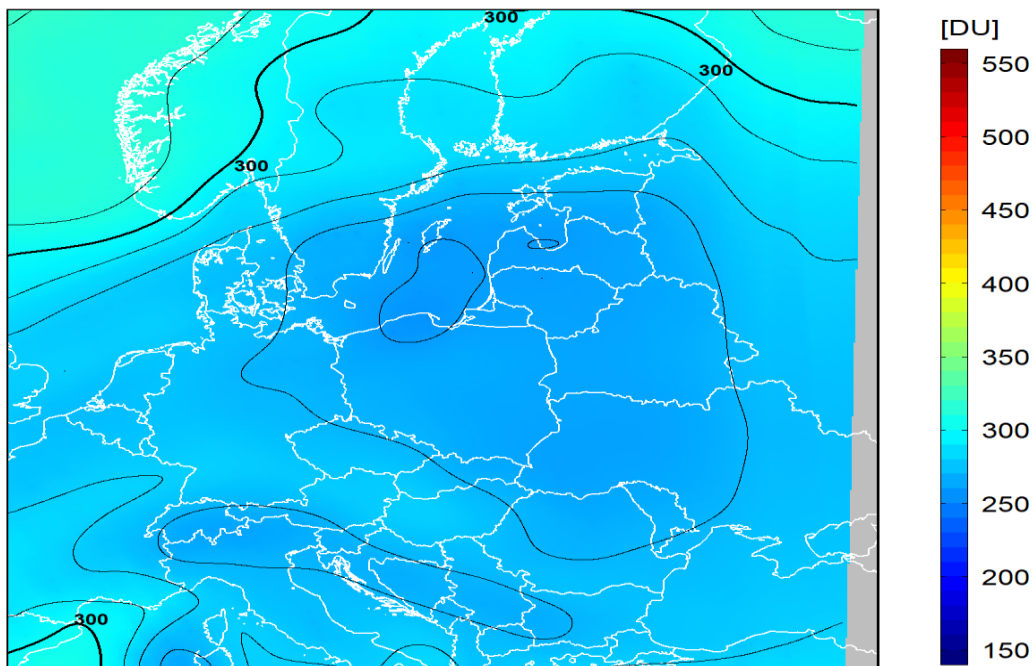
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 09-Sep-2020 11:17:24
Wsp. korekcji : 1.03, Odchyl. : -3%



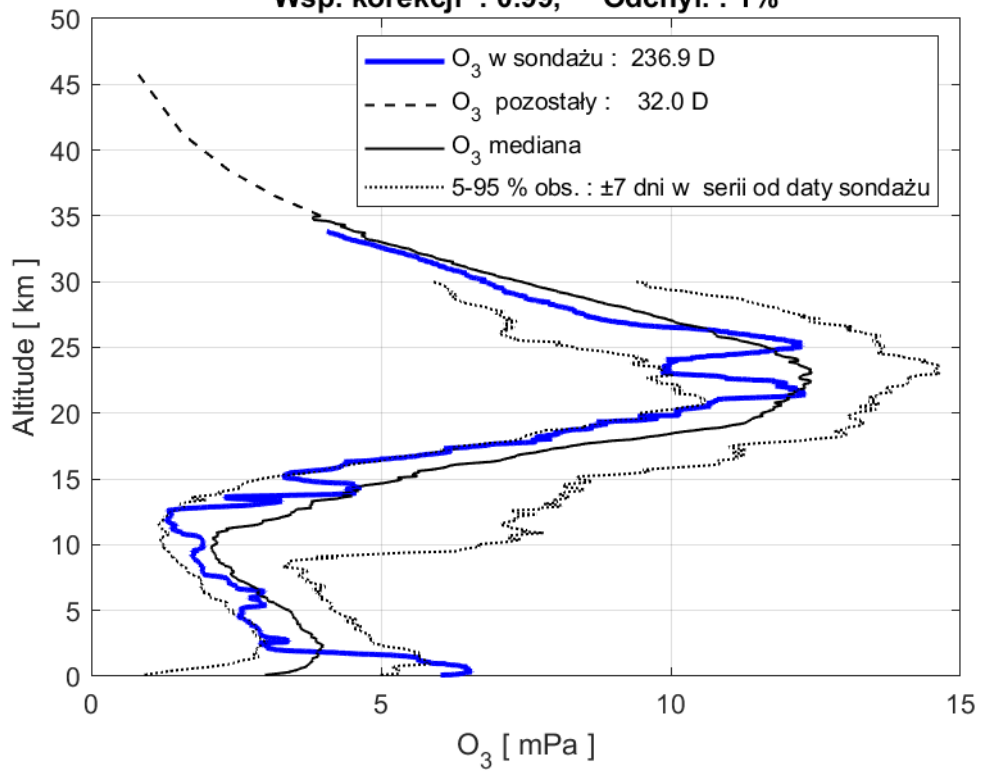
2020-09-09 godz. 11:40:48 - 11:48:10 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



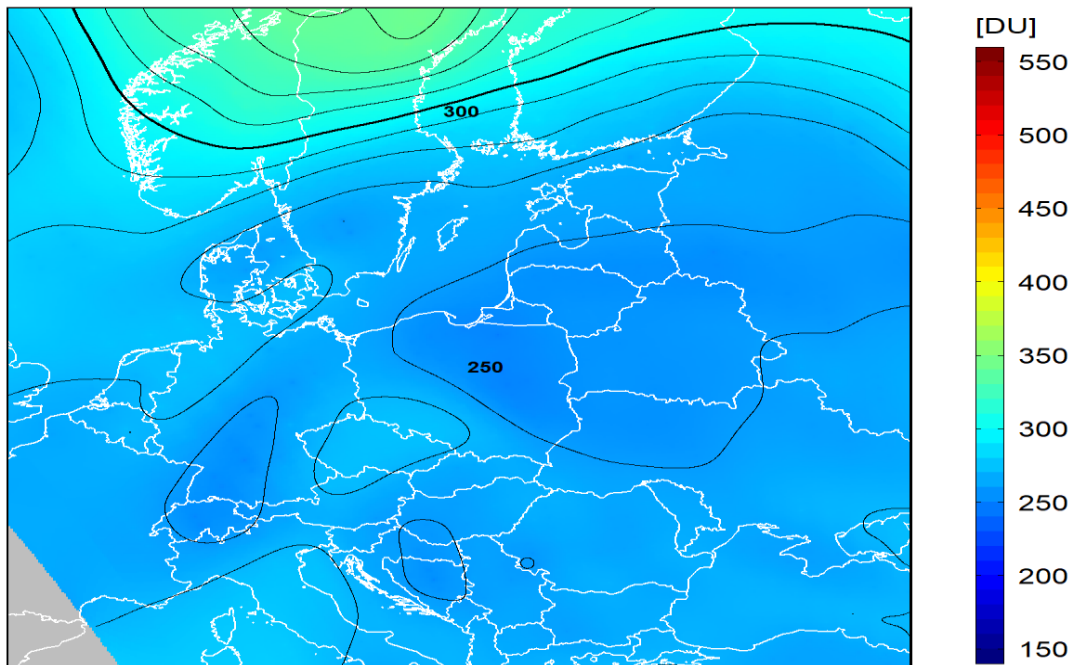
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 16-Sep-2020 11:20:24
Wsp. korekcji : 0.99, Odchyl. : 1%



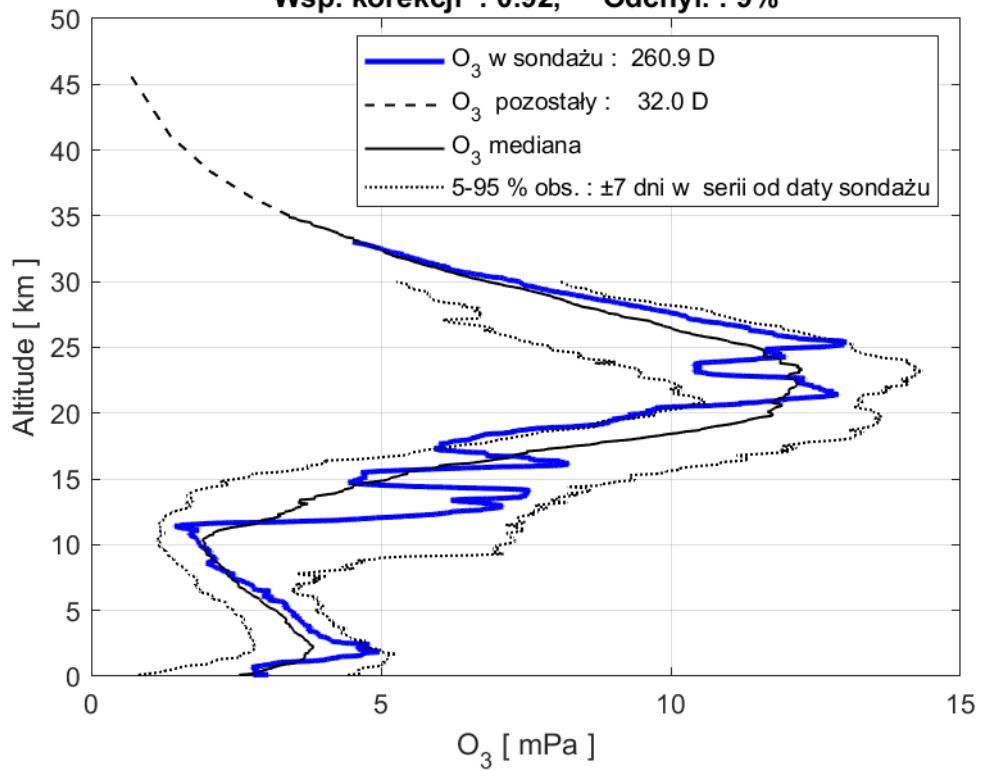
2020-09-16 godz. 11:09:06 - 11:16:58 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery

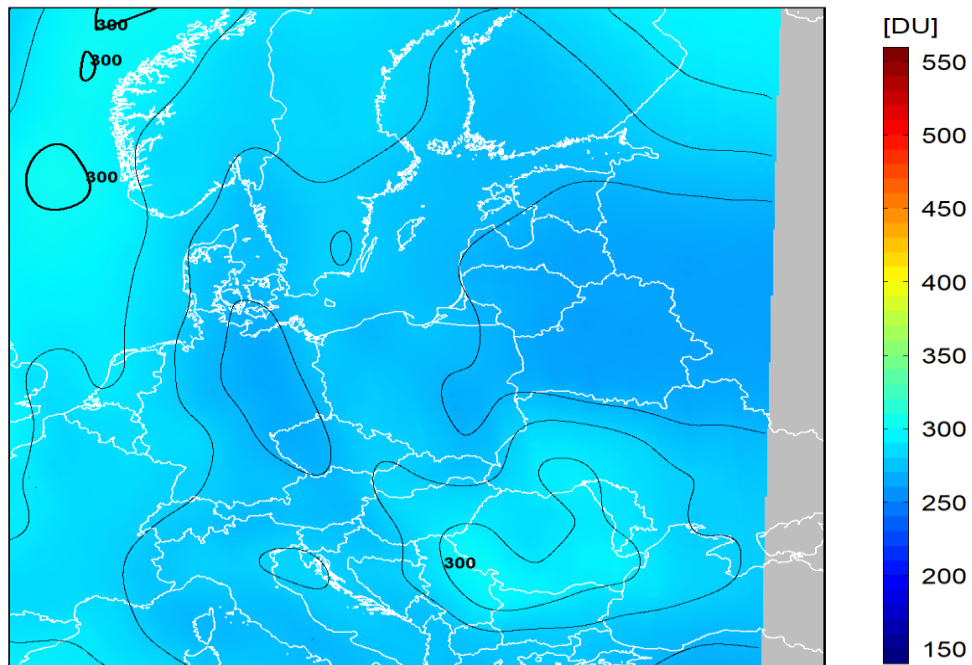


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 30-Sep-2020 11:16:12
Wsp. korekcji : 0.92, Odchyl. : 9%

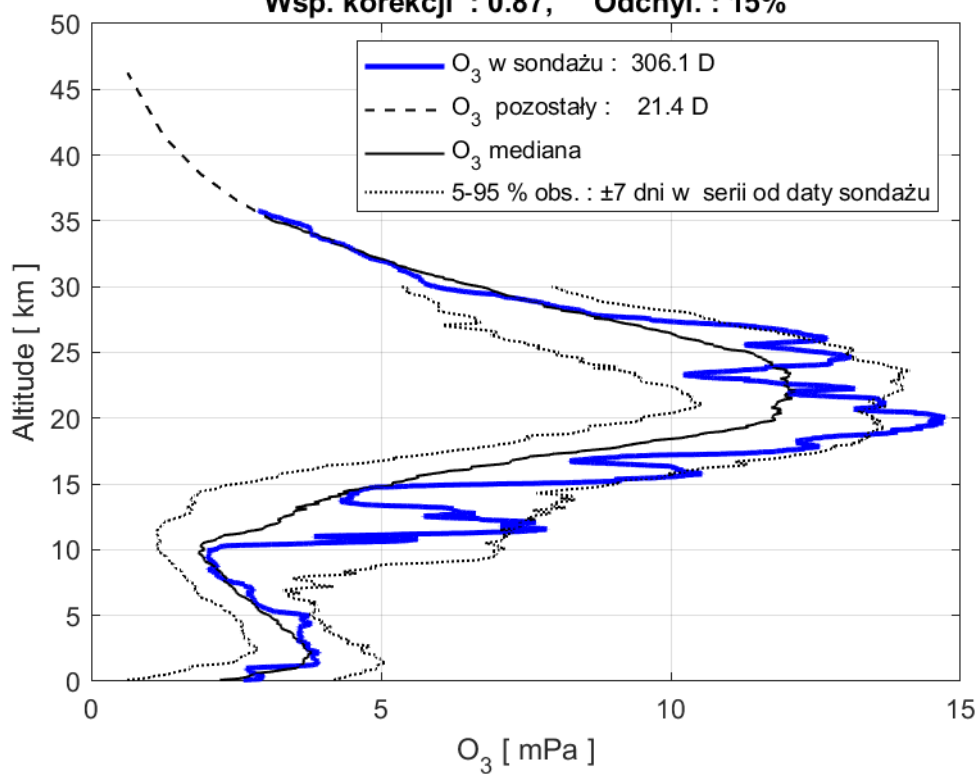


2020-09-30 godz. 11:47:13 - 11:54:27 UTC
Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



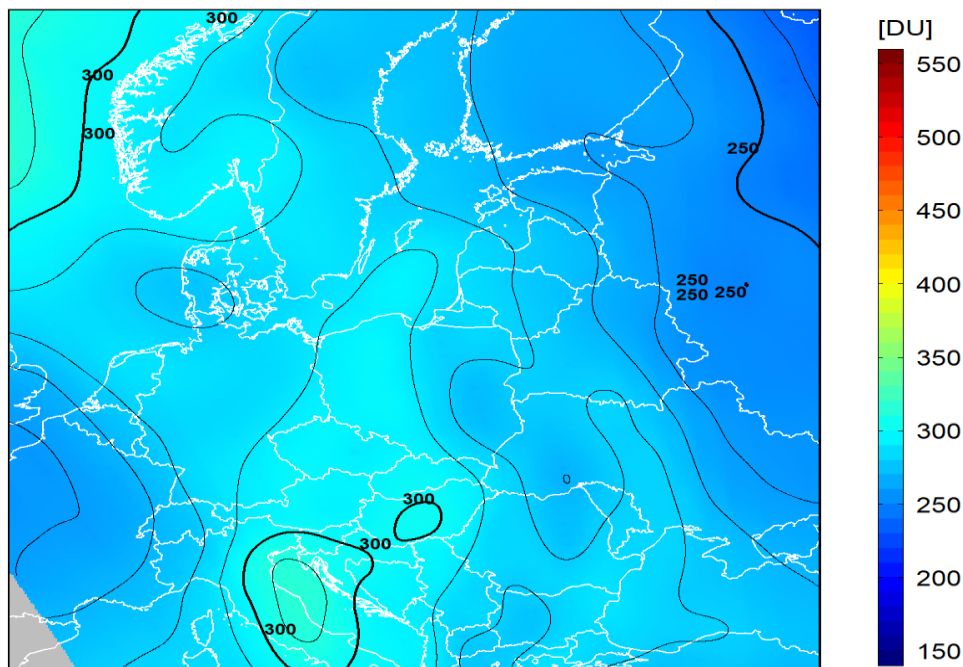
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 07-Oct-2020 11:17:24
Wsp. korekcji : 0.87, Odchyl. : 15%



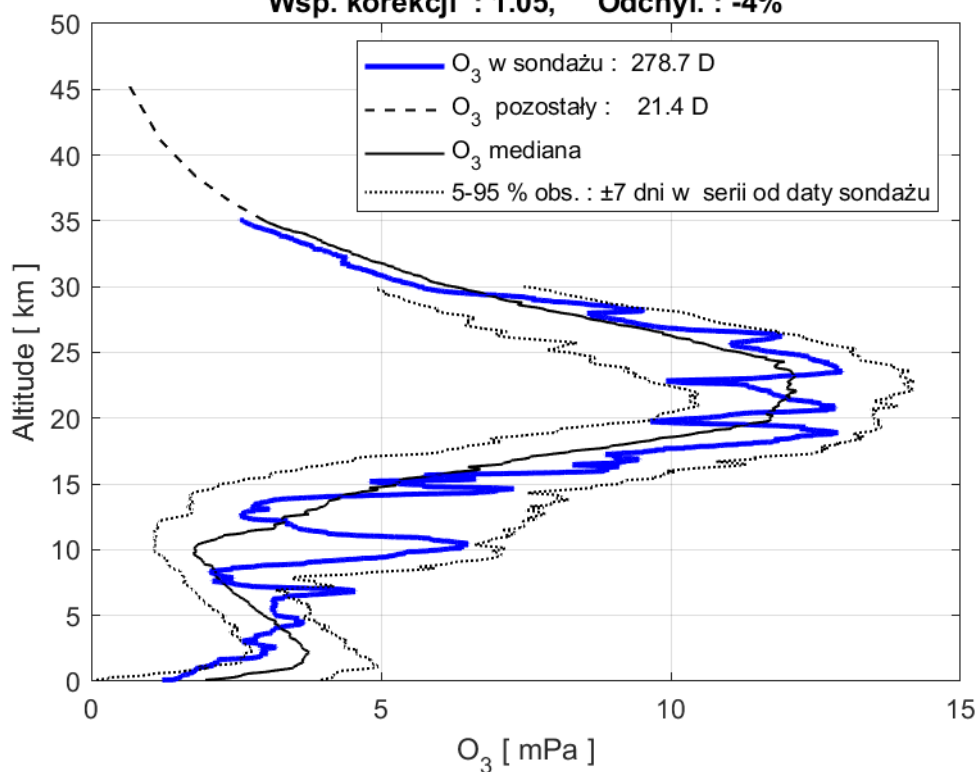
2020-10-07 godz. 11:15:25 - 11:23:10 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



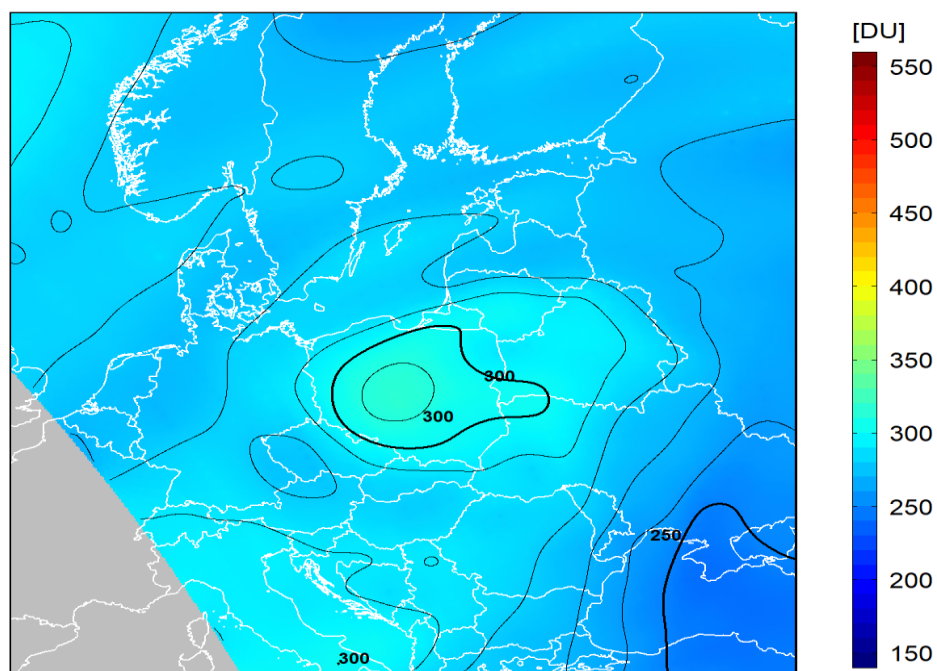
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 14-Oct-2020 11:19:12
Wsp. korekcji : 1.05, Odchyl. : -4%



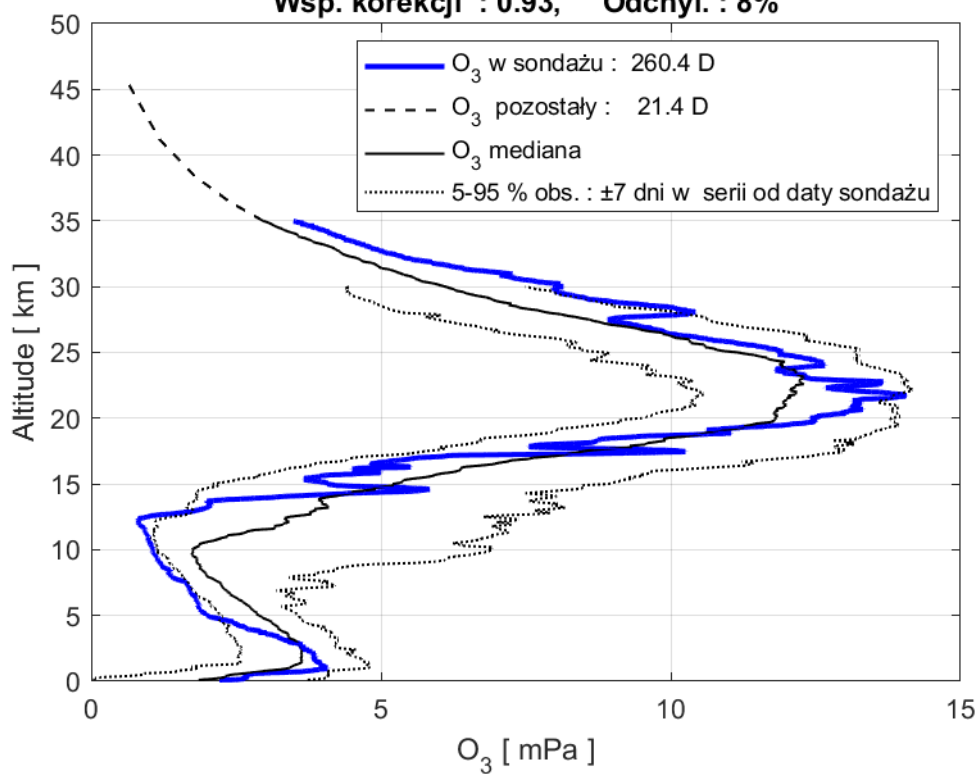
2020-10-14 godz. 10:43:41 - 10:52:03 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



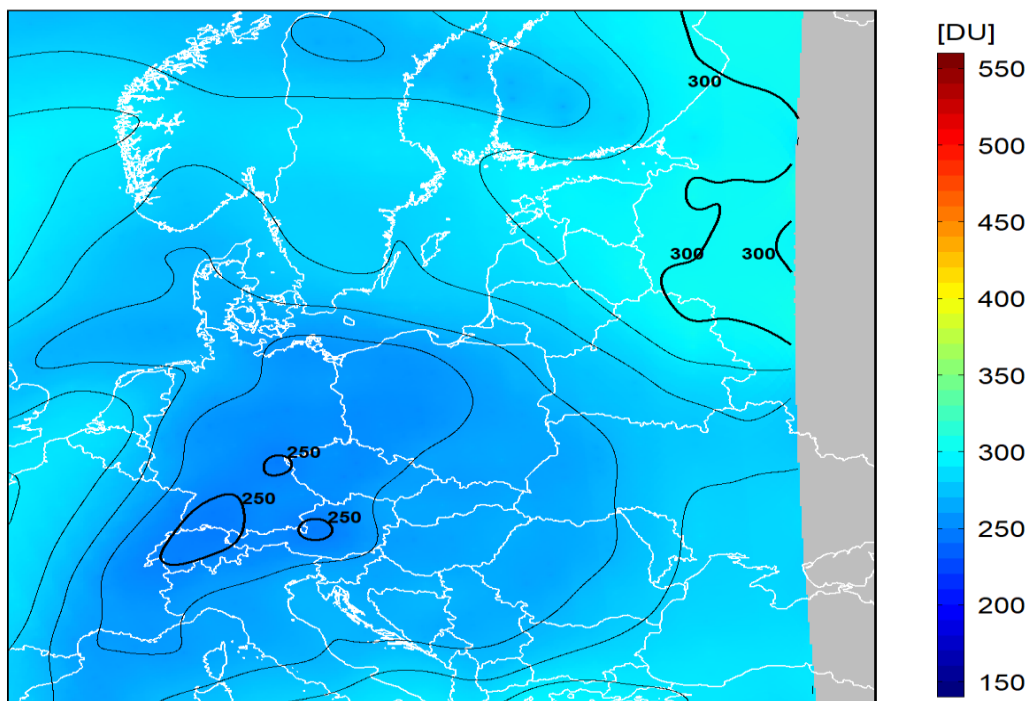
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 21-Oct-2020 11:17:24
Wsp. korekcji : 0.93, Odchyl. : 8%



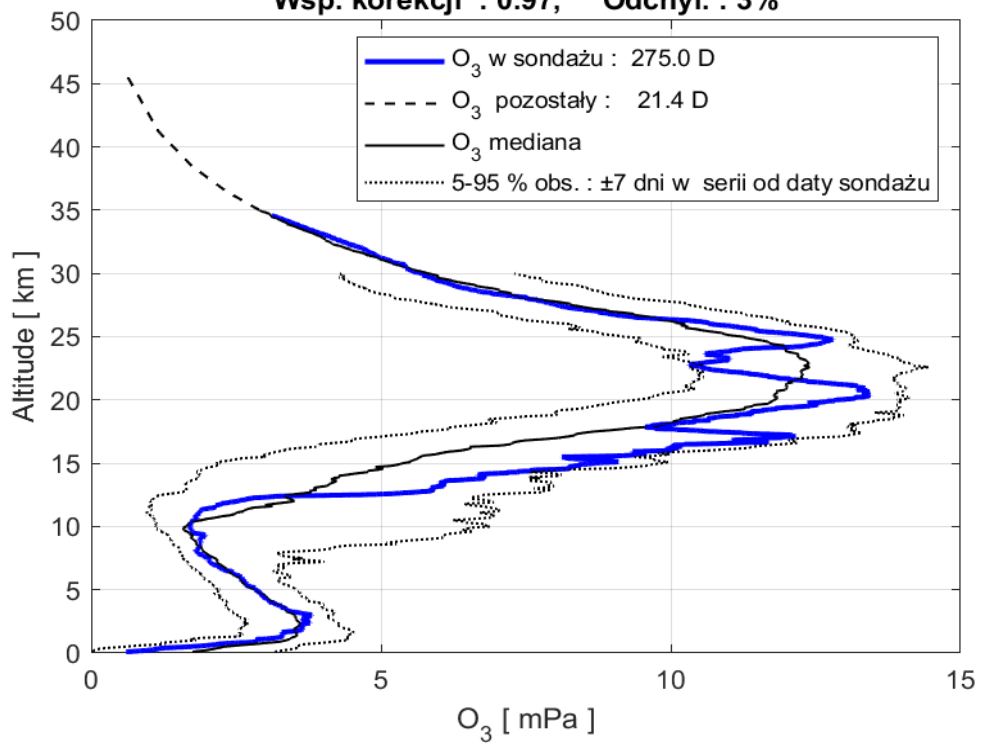
2020-10-21 godz. 11:53:22 - 12:00:29 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



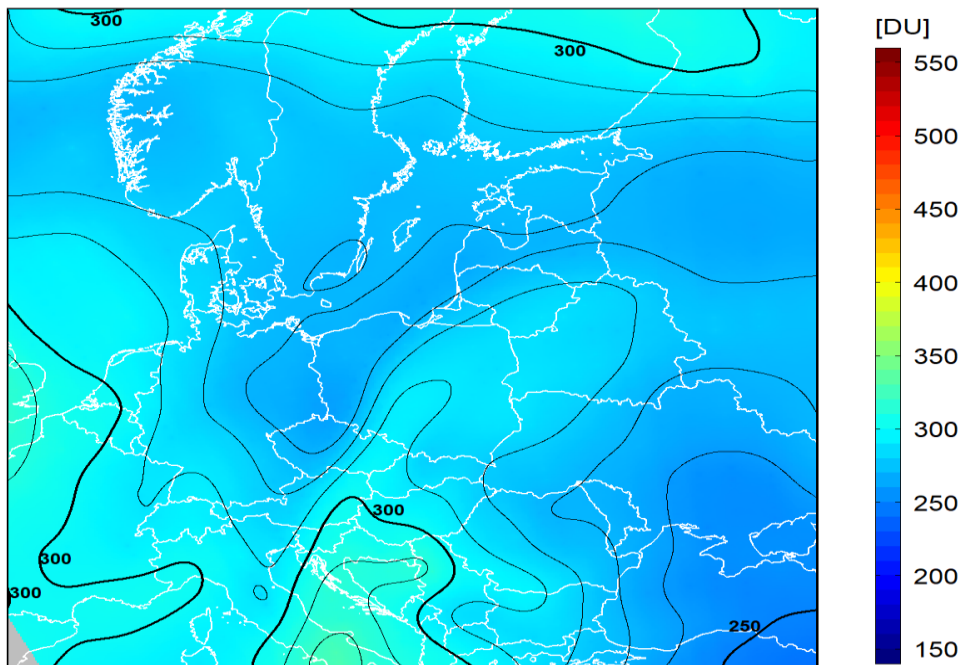
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 28-Oct-2020 11:22:48
Wsp. korekcji : 0.97, Odchyl. : 3%



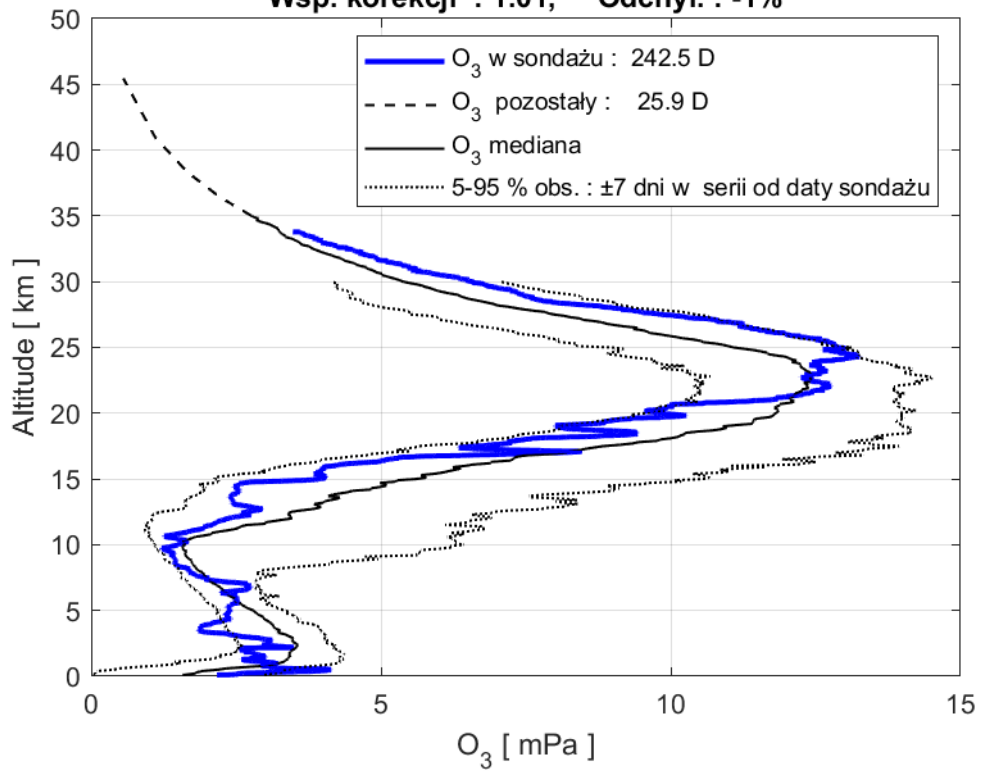
2020-10-28 godz. 11:21:35 - 11:29:12 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



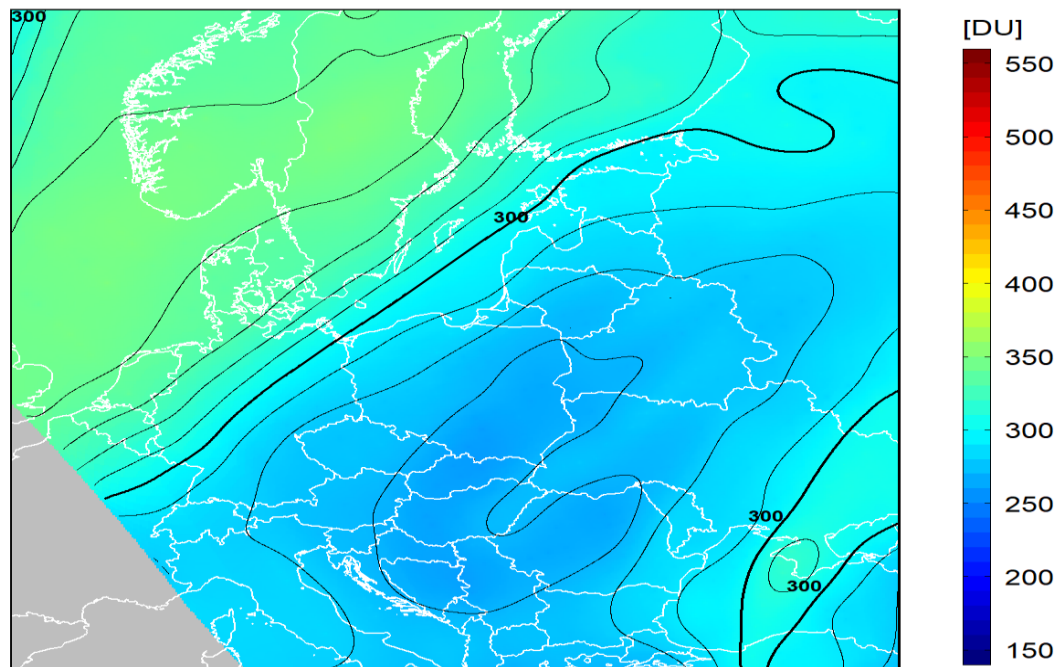
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 04-Nov-2020 11:30:00
Wsp. korekcji : 1.01, Odchyl. : -1%



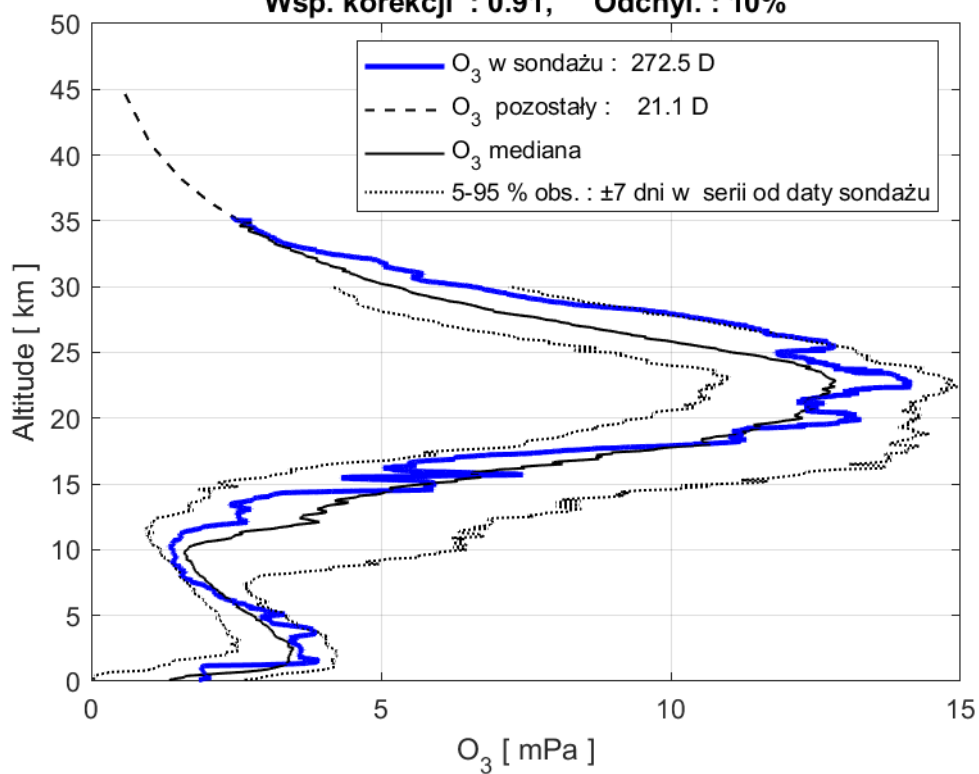
2020-11-04 godz. 10:49:51 - 10:58:05 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



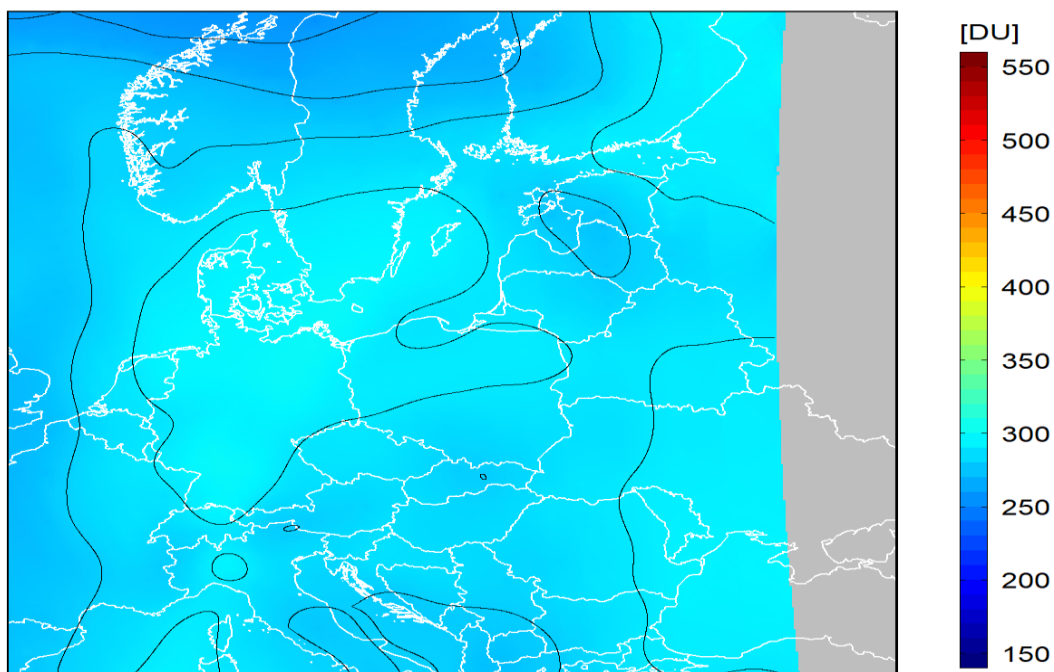
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 11-Nov-2020 11:19:12
Wsp. korekcji : 0.91, Odchyl. : 10%



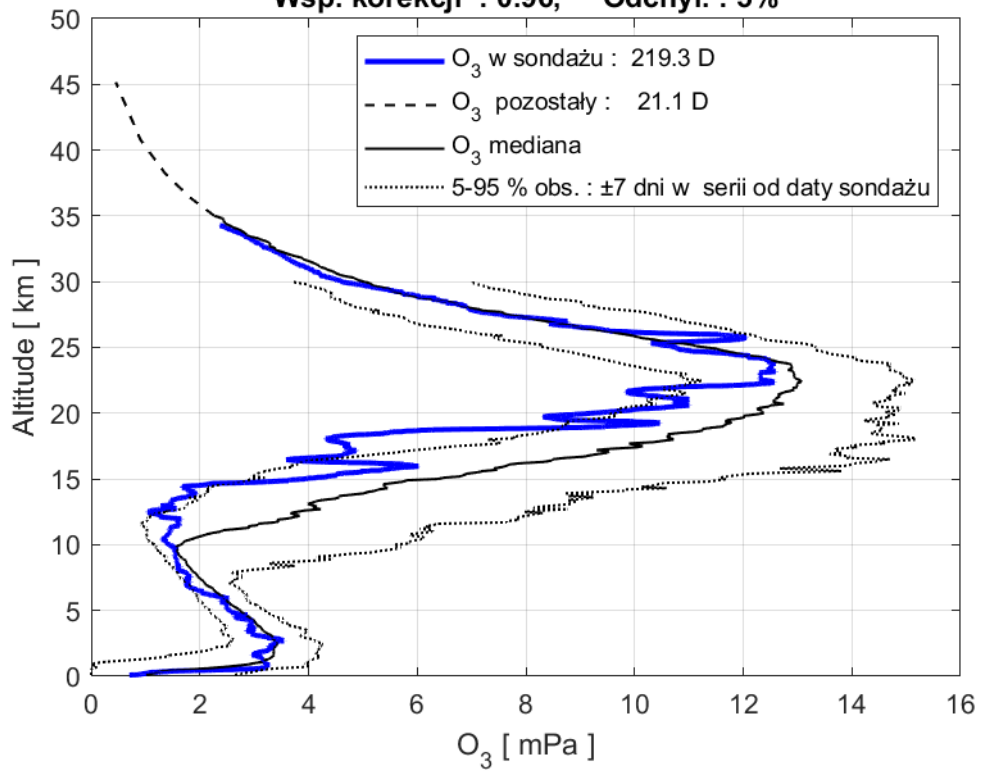
2020-11-11 godz. 11:59:32 - 12:06:39 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



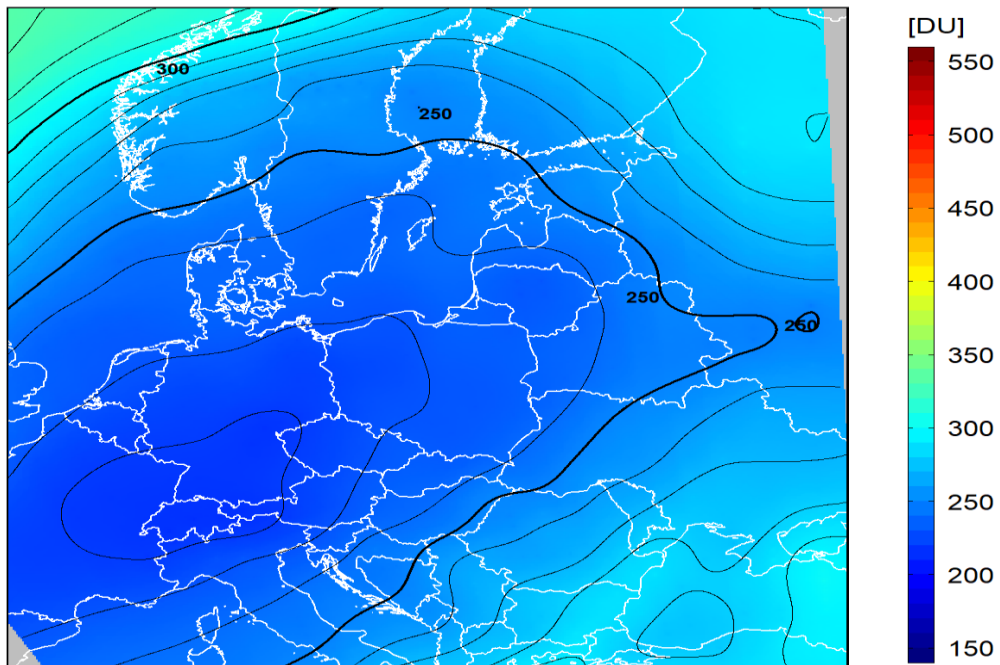
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 18-Nov-2020 11:18:36
Wsp. korekcji : 0.96, Odchyl. : 5%



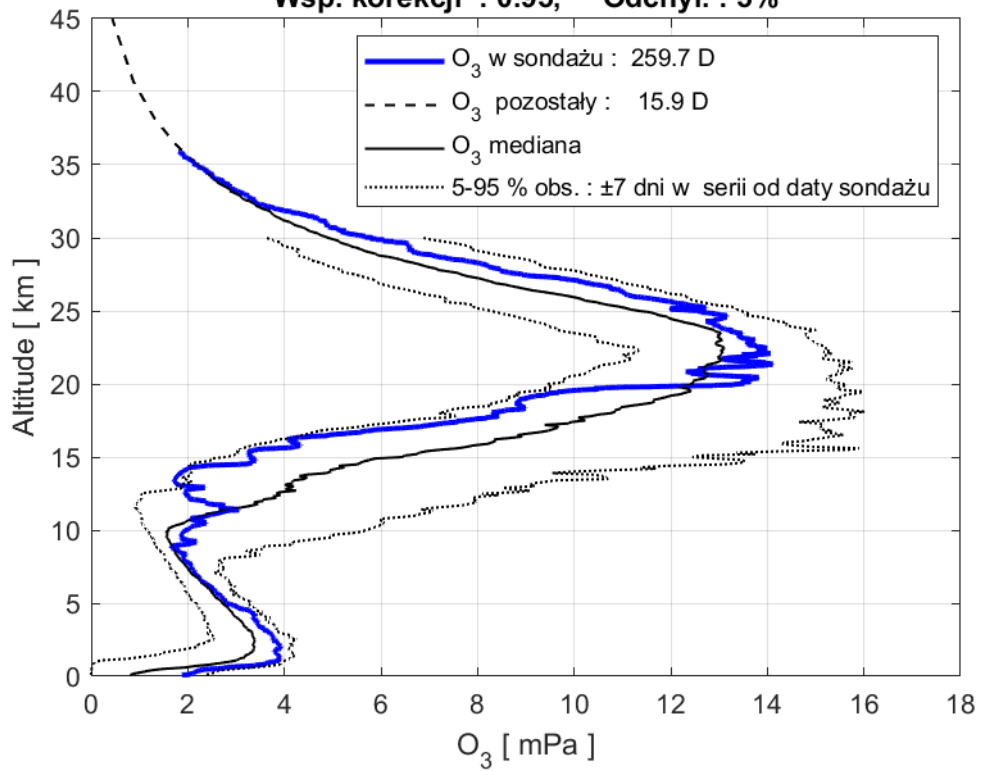
2020-11-18 godz. 11:27:49 - 11:35:10 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



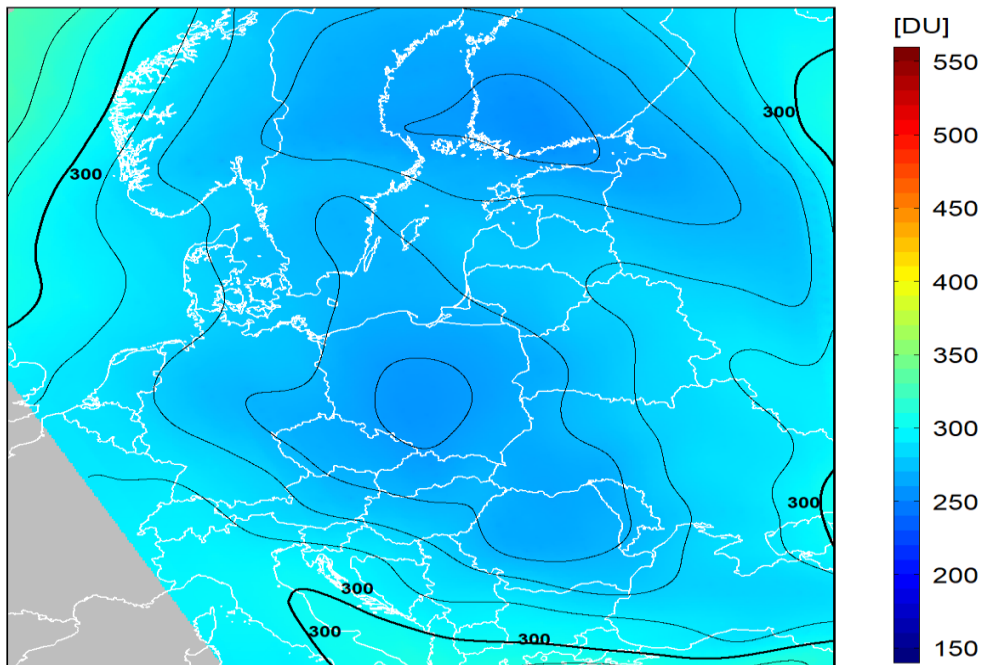
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 25-Nov-2020 11:16:12
Wsp. korekcji : 0.95, Odchyl. : 5%



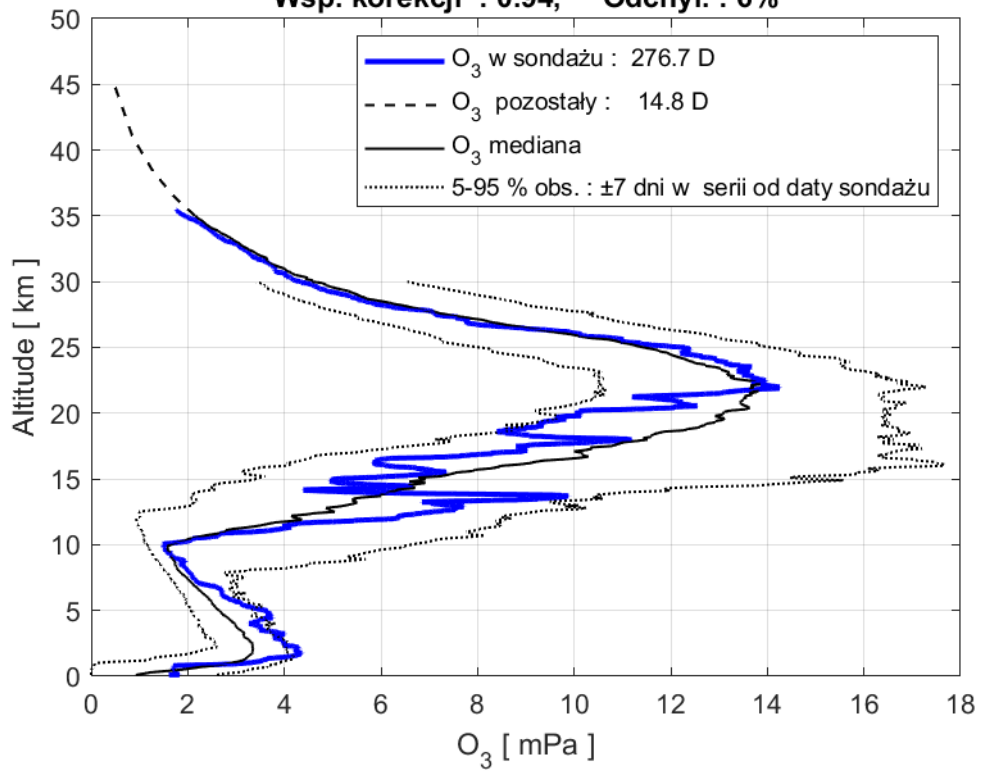
2020-11-25 godz. 10:56:01 - 11:04:08 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



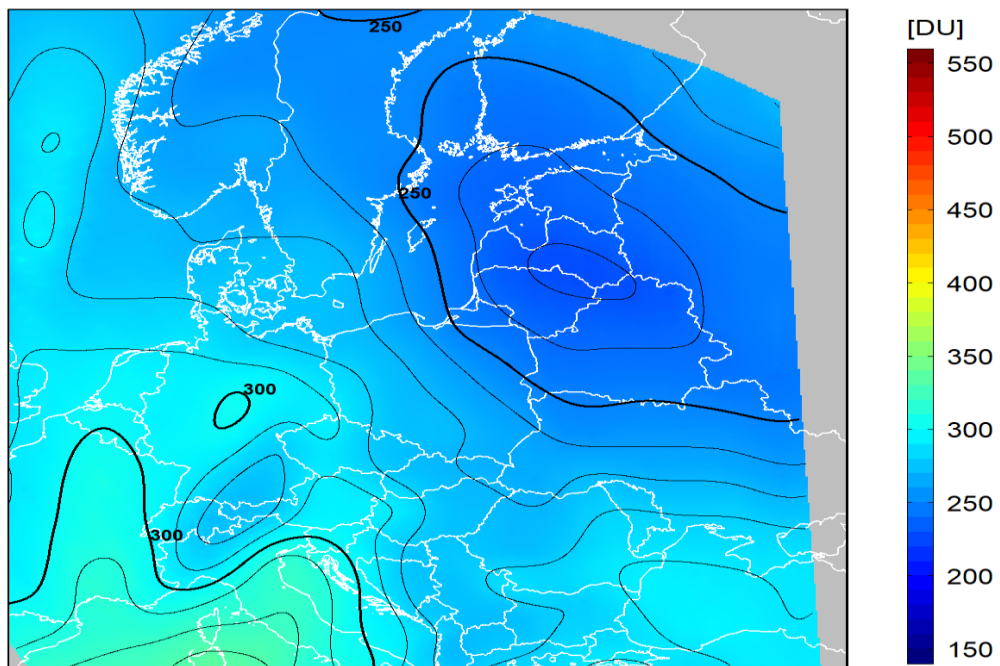
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 09-Dec-2020 11:16:48
Wsp. korekcji : 0.94, Odchyl. : 6%



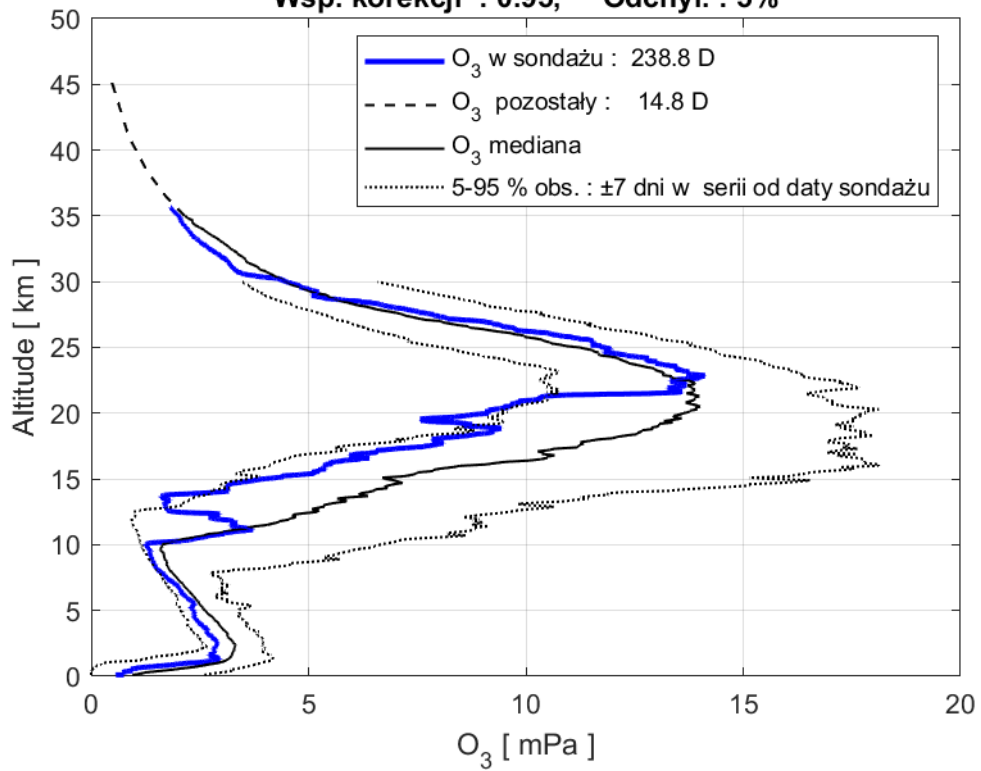
2020-12-09 godz. 11:33:47 - 11:41:09 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



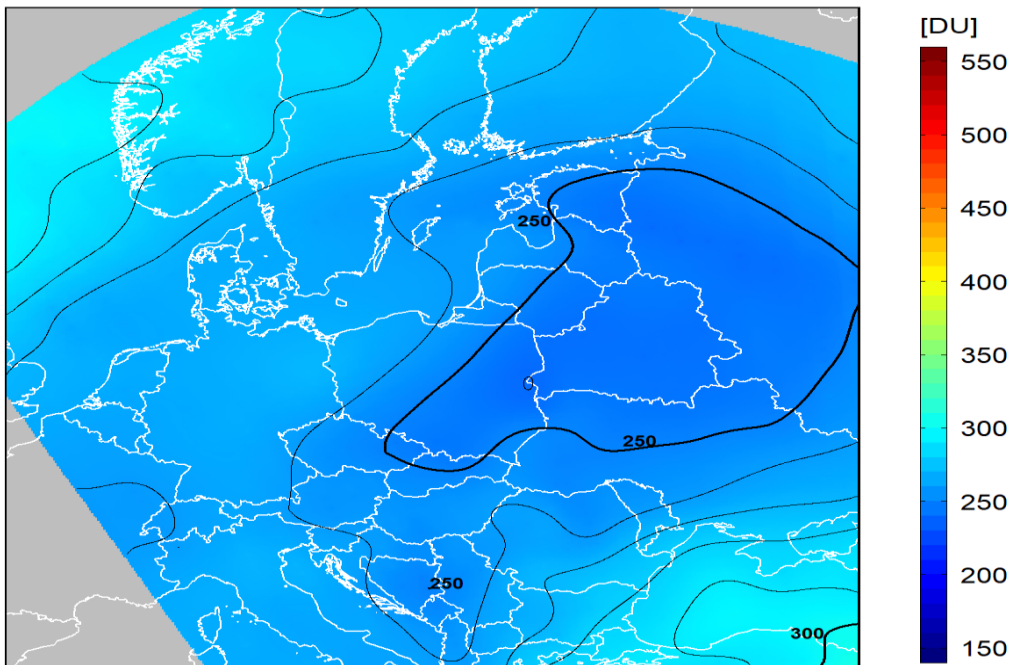
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 16-Dec-2020 11:19:48
Wsp. korekcji : 0.95, Odchyl. : 5%



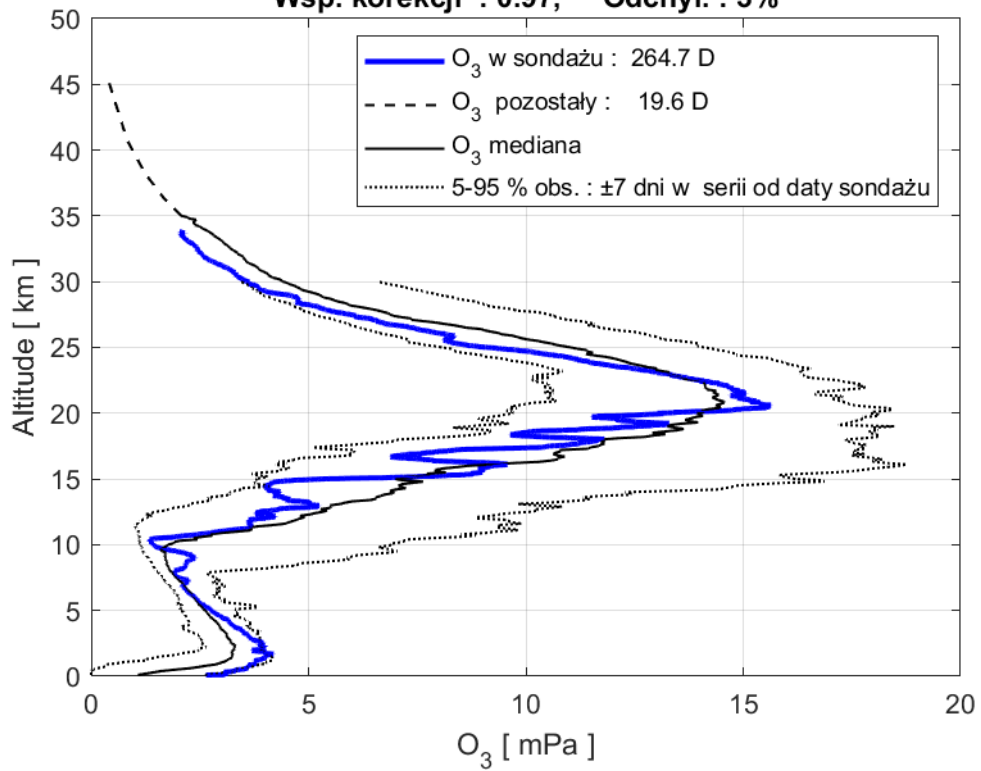
2020-12-16 godz. 11:02:11 - 11:09:33 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



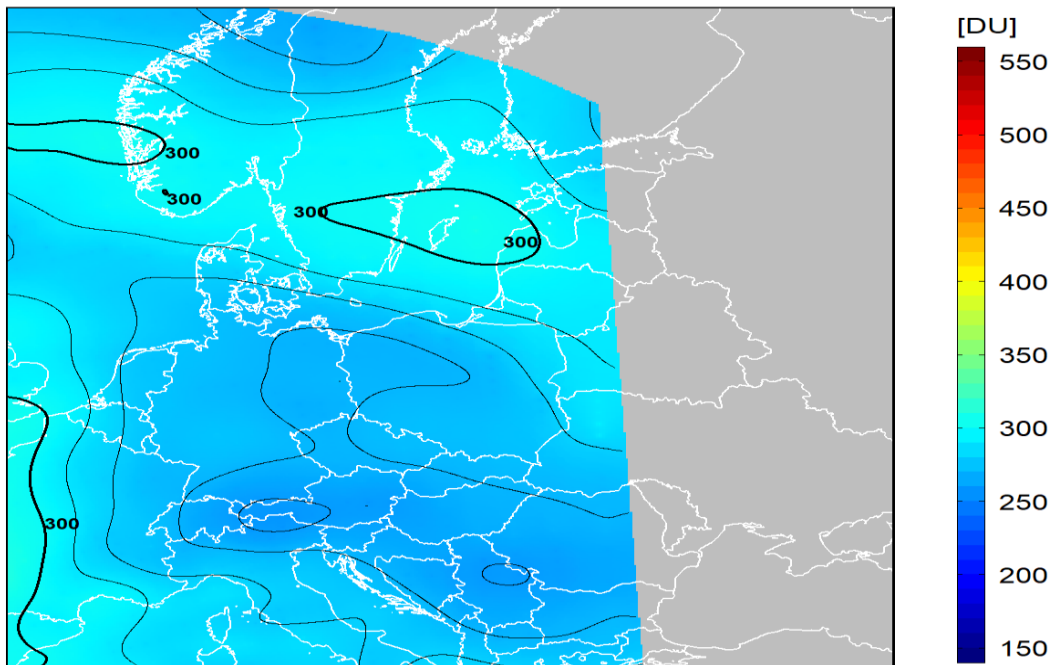
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 23-Dec-2020 11:15:36
Wsp. korekcji : 0.97, Odchyl. : 3%



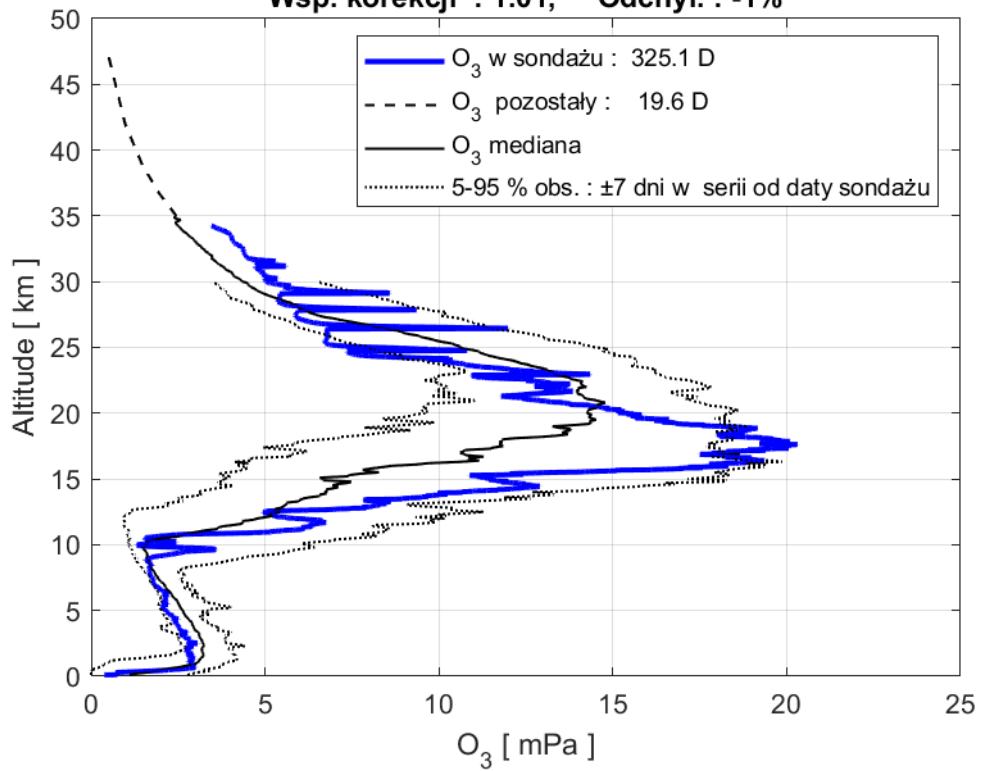
2020-12-23 godz. 12:11:58 - 12:19:05 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



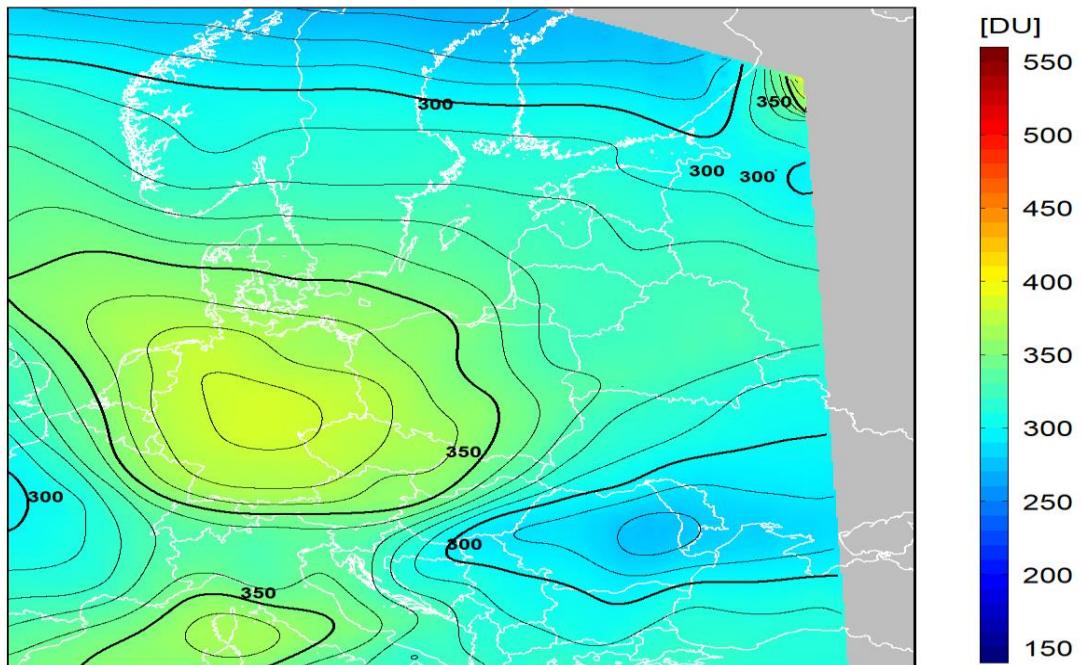
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo, 30-Dec-2020 11:17:24
Wsp. korekcji : 1.01, Odchyl. : -1%



2020-12-30 godz. 11:40:15 - 11:47:29 UTC

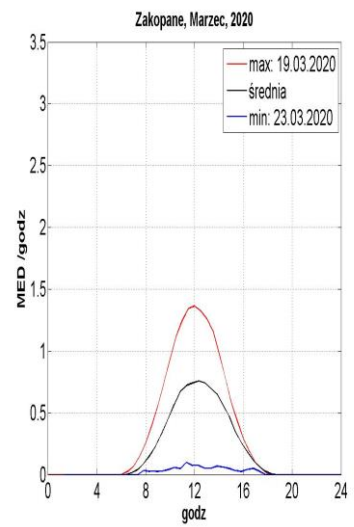
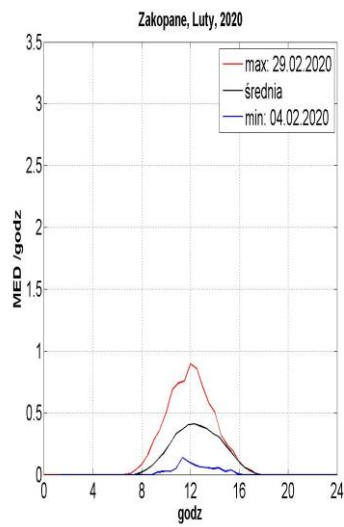
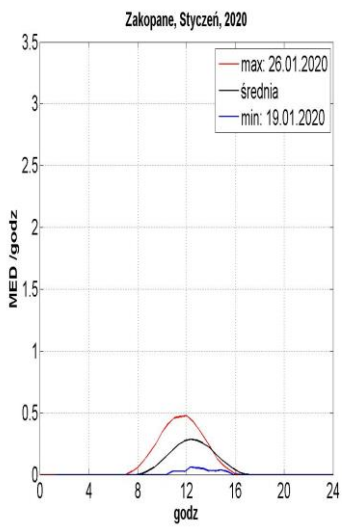
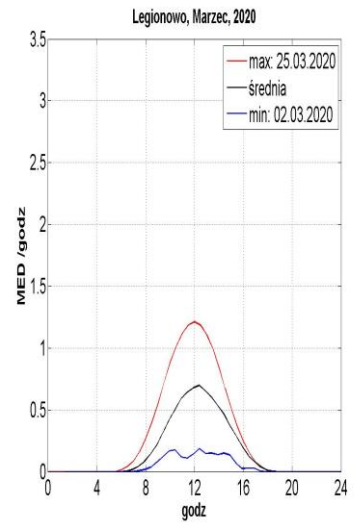
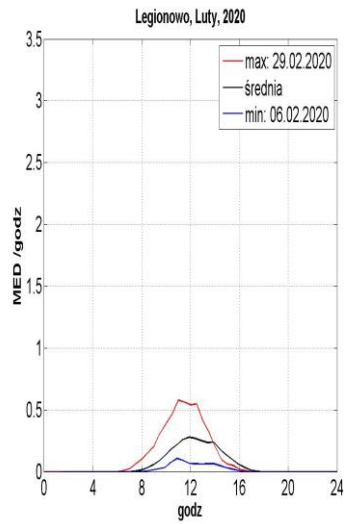
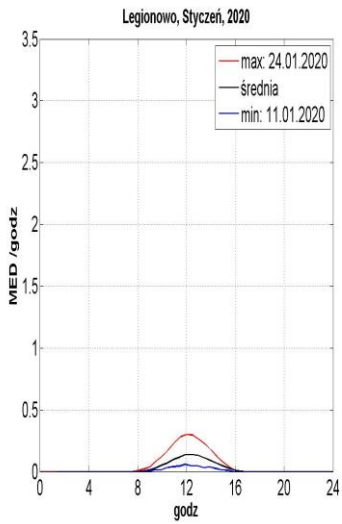
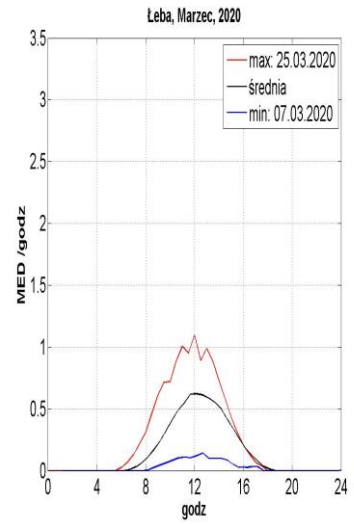
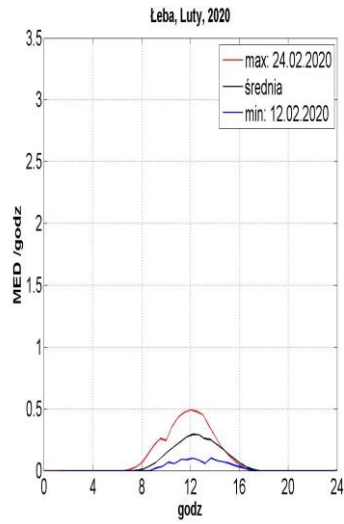
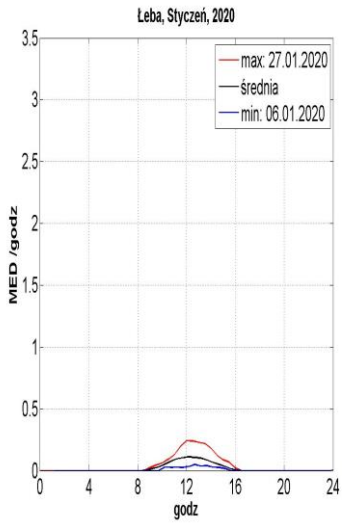
Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery

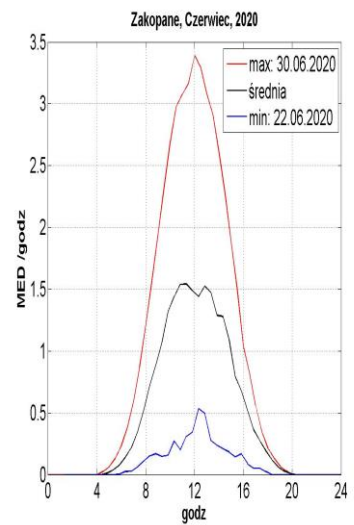
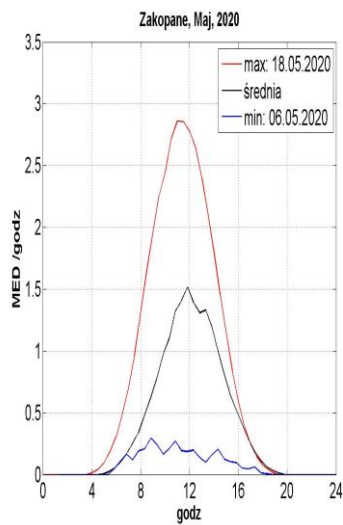
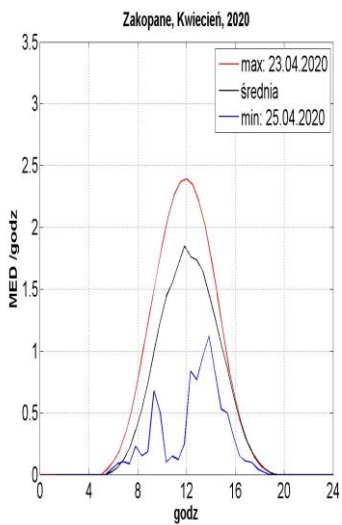
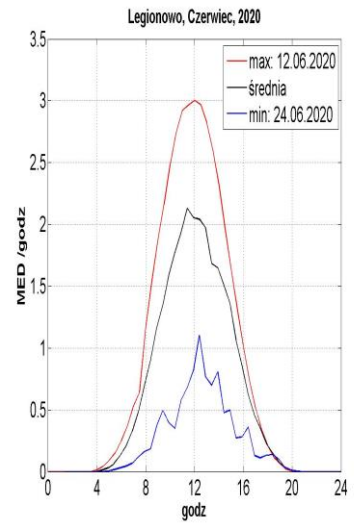
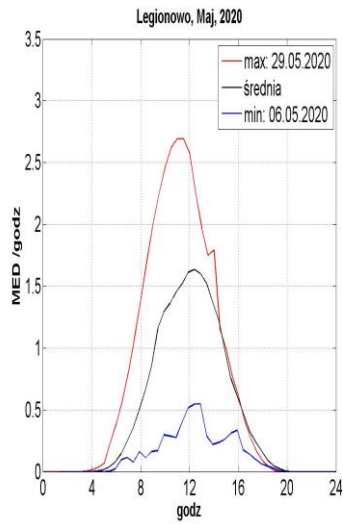
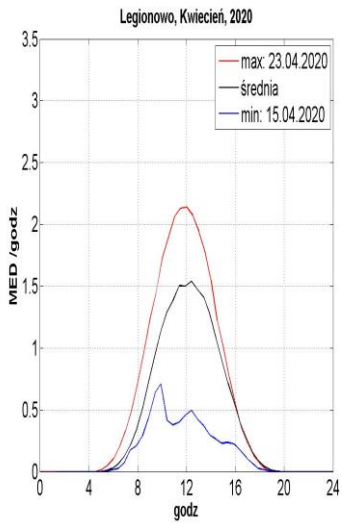
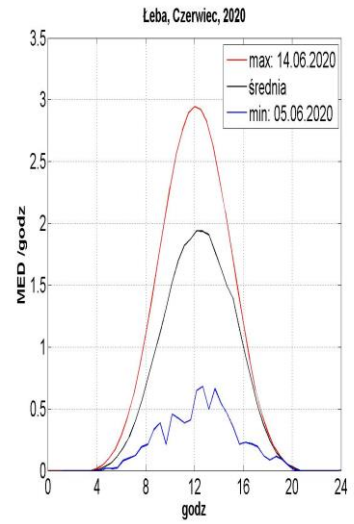
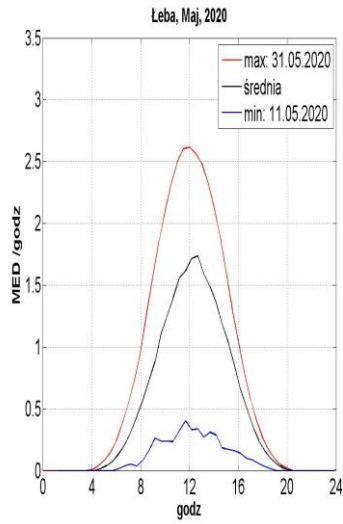
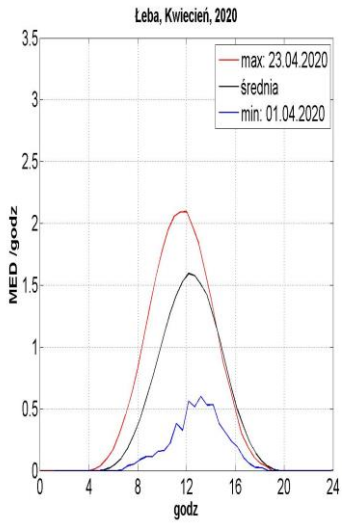


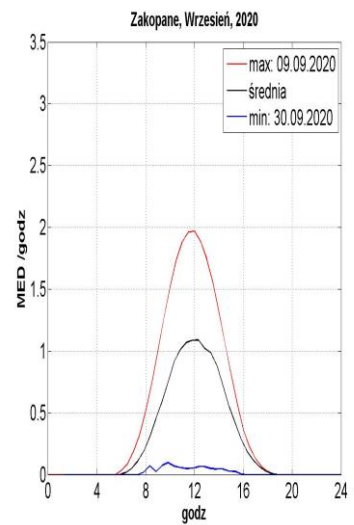
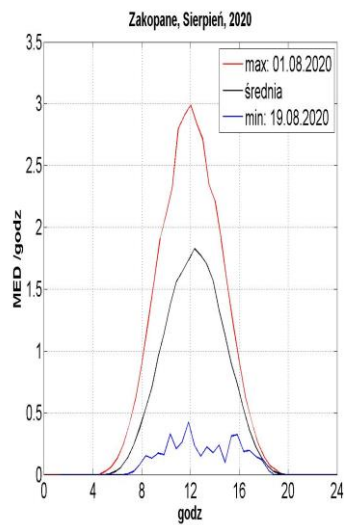
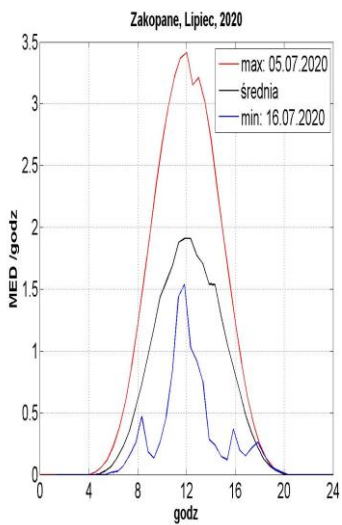
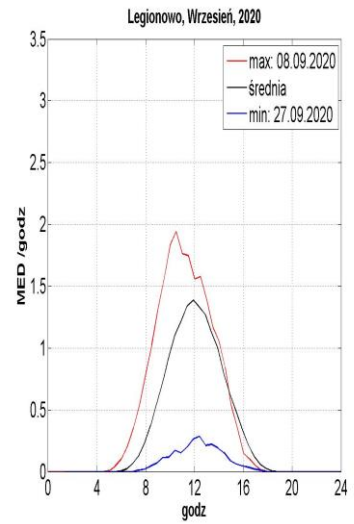
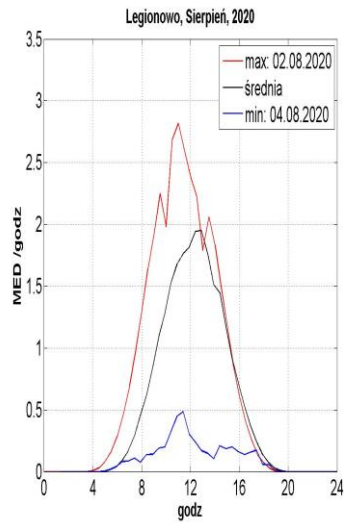
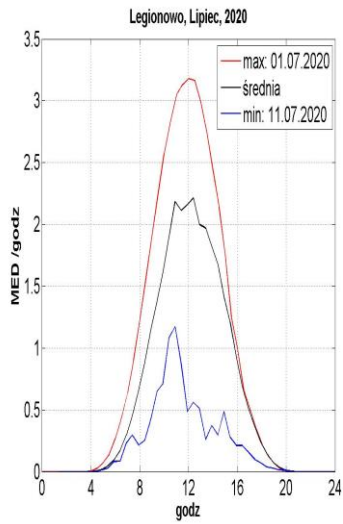
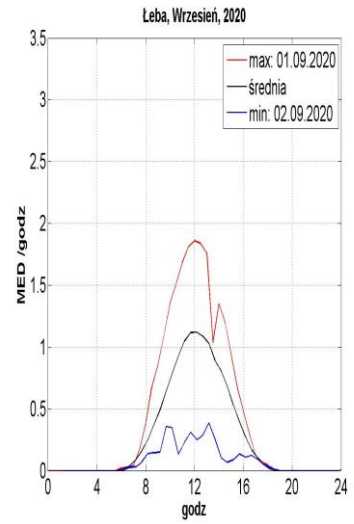
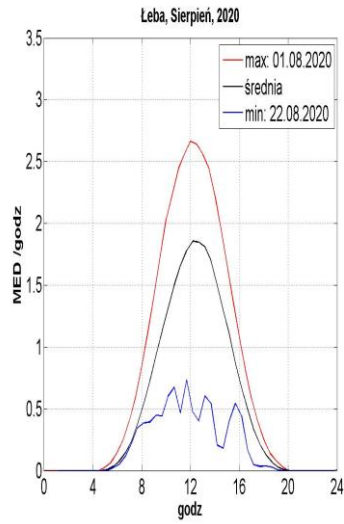
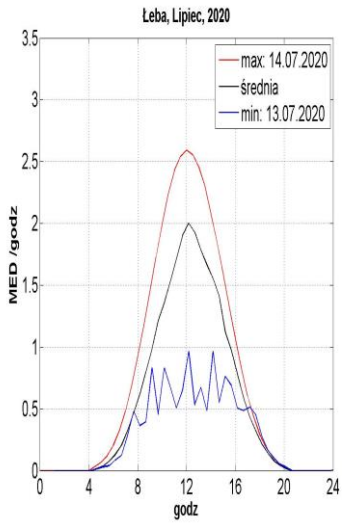
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

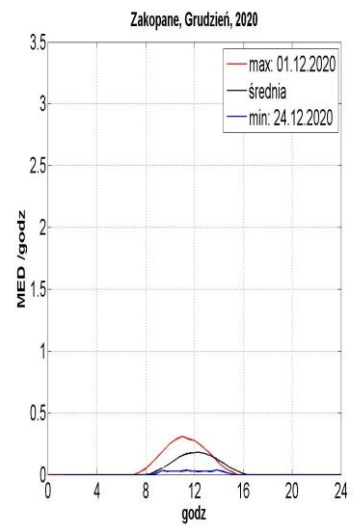
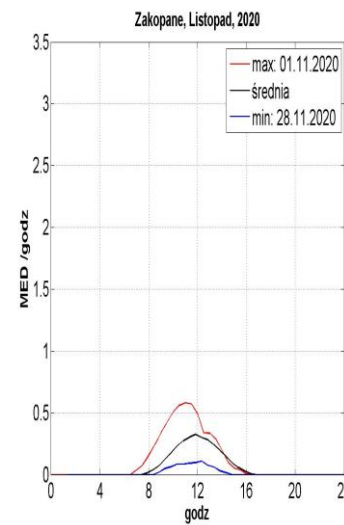
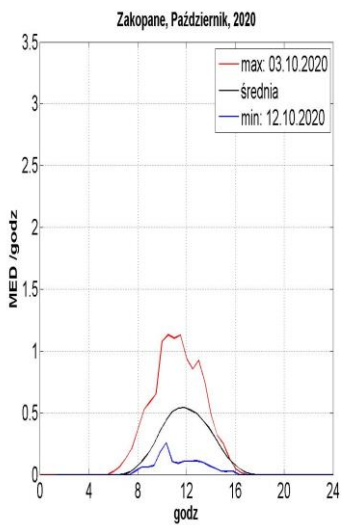
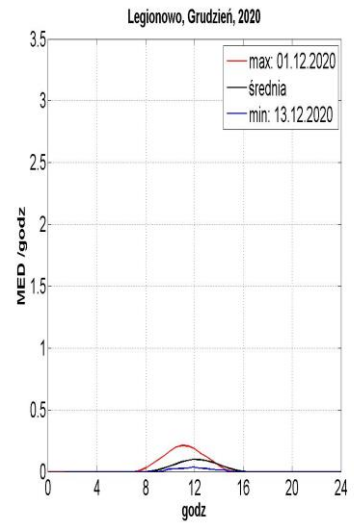
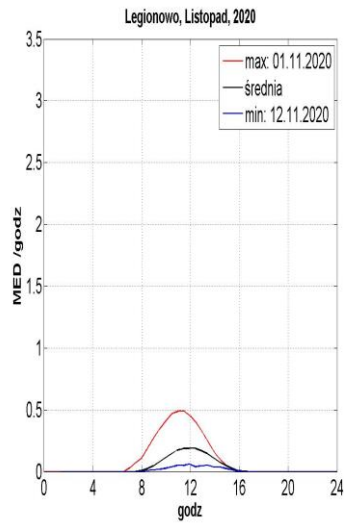
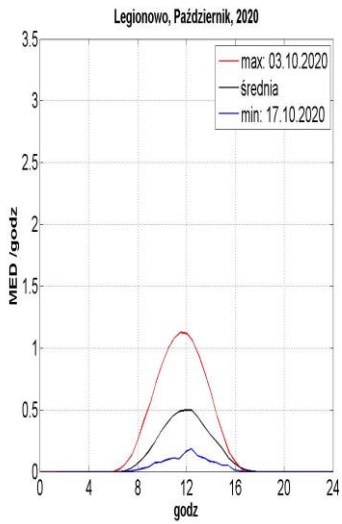
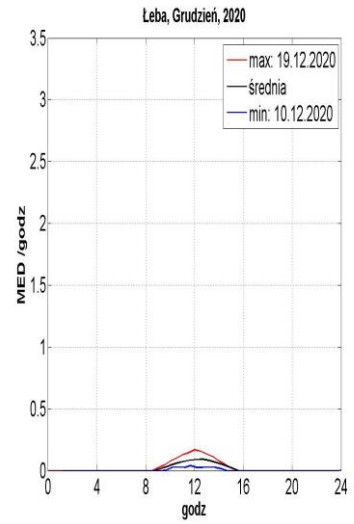
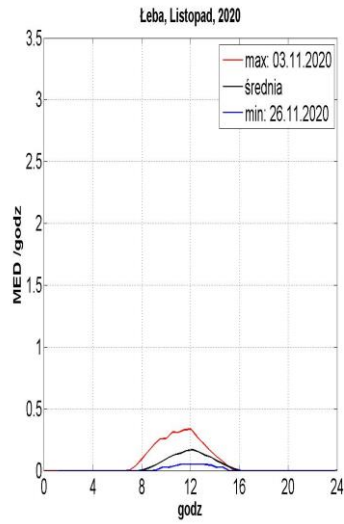
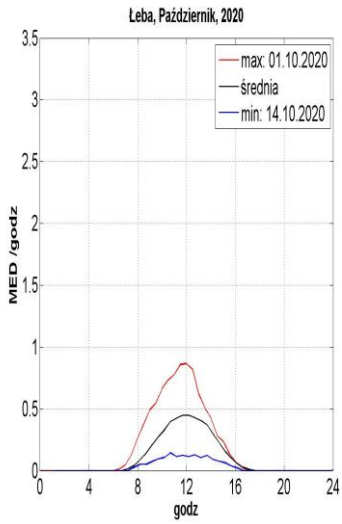
ZAŁĄCZNIK 2

DOBOWE PRZEBIEGI PROMIENIOWANIA UV-B Z MIESIĘCY
STYCZEŃ - GRUDZIEŃ 2020 R. (ŚREDNIE, MAKSYMALNE
I MINIMALNE) ZMIERZONE ZA POMOCĄ PRZYRZĄDU SOLAR LIGHT
(ŁEBA, LEGIONOWO, ZAKOPANE)









ZAŁĄCZNIK 3

DAWKI DOBOWE PROMIENIOWANIA UV-B Z MIESIĘCY
STYCZEŃ - GRUDZIEŃ 2020 R. ZMIERZONE ZA POMOCĄ
PRZYRZĄDU SOLAR LIGHT (ŁEBA, LEGIONOWO, ZAKOPANE)

	Łeba, dawki dobowe promieniowania UV-B [MED]											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01	0,30	0,65	2,50	2,85	3,72	17,76	12,19	18,36	10,66	4,44	1,01	0,60
02	0,54	1,25	1,86	5,43	9,28	18,01	17,65	12,76	1,94	3,59	0,82	0,55
03	0,36	1,17	1,21	7,17	10,34	17,86	14,37	7,97	5,88	3,74	1,61	0,28
04	0,19	0,54	2,15	7,95	6,91	14,60	12,61	13,25	5,93	2,05	1,40	0,30
05	0,63	1,37	2,65	9,35	5,10	4,25	8,18	15,74	3,28	4,22	1,11	0,32
06	0,16	1,01	1,97	10,85	12,58	11,66	18,30	17,59	7,01	3,46	0,95	0,57
07	0,31	1,51	0,67	9,30	12,73	11,85	13,28	14,71	6,04	3,27	0,63	0,60
08	0,18	1,72	3,24	9,46	13,00	12,78	10,74	13,30	3,15	3,16	0,71	0,21
09	0,42	1,30	2,58	8,94	13,31	18,99	13,44	13,82	7,93	3,89	0,97	0,46
10	0,17	1,11	3,32	10,15	13,75	11,36	7,72	14,93	7,85	3,09	0,57	0,12
11	0,49	0,66	3,96	10,96	2,28	7,97	15,34	16,13	7,00	3,69	0,40	0,30
12	0,24	0,49	2,63	11,10	12,92	10,95	17,07	15,83	7,95	2,47	0,44	0,21
13	0,47	1,42	1,58	9,59	10,63	19,60	6,98	15,38	7,63	2,69	0,47	0,13
14	0,39	1,70	3,91	11,35	14,58	21,08	18,37	14,57	7,35	0,76	0,62	0,45
15	0,71	1,59	4,29	5,67	14,19	8,10	15,86	14,28	8,28	1,18	1,07	0,39
16	0,48	1,27	1,75	11,72	13,04	13,33	7,94	13,98	8,29	1,73	0,45	0,43
17	0,78	1,80	3,82	12,50	11,98	20,56	16,97	10,90	8,01	2,48	0,86	0,49
18	0,48	1,37	4,51	10,17	8,86	15,64	18,07	12,59	9,62	2,20	0,43	0,34
19	0,44	0,91	5,27	12,03	3,93	12,18	17,49	13,95	7,77	2,80	0,49	0,62
20	0,48	1,93	4,13	10,08	15,40	9,39	7,31	13,55	7,29	2,07	0,93	0,60
21	0,29	2,07	4,58	12,25	15,70	15,59	16,67	13,39	7,94	1,56	0,69	0,24
22	0,83	0,74	5,14	13,28	16,00	9,17	16,19	4,51	6,67	2,77	0,27	0,19
23	0,43	1,74	4,98	13,59	4,31	18,04	16,62	12,26	6,32	2,33	0,60	0,47
24	0,29	2,36	5,91	10,24	13,38	19,44	7,34	9,76	5,86	1,20	0,56	0,13
25	0,76	2,23	6,21	10,67	14,59	17,18	13,97	9,17	5,37	2,26	0,89	0,30
26	0,44	1,98	5,14	12,78	6,81	19,64	14,11	6,76	3,73	1,25	0,21	0,52
27	0,98	2,36	4,67	12,01	17,13	15,23	16,35	6,09	4,32	1,29	0,52	0,45
28	0,42	1,37	5,22	9,73	13,02	20,10	9,41	7,75	5,87	1,26	0,59	0,41
29	0,70	1,79	3,26	9,72	18,01	10,08	10,23	6,02	5,91	1,24	0,44	0,14
30	0,35	-	4,41	8,01	15,80	12,08	9,60	11,27	5,06	1,10	0,49	0,50
31	0,72	-	5,66	-	18,85	-	8,72	7,58	-	2,00	-	0,32

	Legionowo, dawki dobowe promieniowania UV-B [MED]											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01	0,26	0,66	2,39	7,76	8,47	18,70	21,80	14,66	3,09	2,49	2,28	0,86
02	0,62	0,78	1,01	5,18	9,87	17,18	20,09	17,60	2,94	2,44	0,90	0,41
03	0,27	1,33	1,34	8,22	6,62	9,90	11,76	7,39	9,40	5,88	1,11	0,82
04	0,44	0,82	1,22	6,61	9,27	14,22	19,72	2,31	9,00	4,44	0,98	0,59
05	0,74	1,46	3,01	10,08	3,49	7,98	20,16	17,00	10,50	4,62	1,72	0,78
06	0,22	0,38	2,38	10,95	2,99	17,48	11,88	16,12	9,82	5,11	0,77	0,49
07	0,53	1,74	2,23	10,65	11,24	15,23	13,57	16,15	7,89	3,89	0,70	0,76
08	0,62	1,85	1,43	10,66	13,86	10,51	10,40	17,04	11,01	2,56	0,54	0,35
09	0,32	1,73	3,06	9,01	14,60	8,47	15,78	14,50	9,71	3,03	1,05	0,36
10	0,27	0,65	2,53	10,40	15,10	9,08	16,26	17,31	10,02	3,83	0,79	0,13
11	0,20	0,87	3,23	11,39	11,58	13,13	5,09	16,03	8,27	3,03	0,58	0,33
12	0,83	0,71	3,33	11,70	11,77	20,78	13,91	16,78	8,94	1,42	0,26	0,19
13	0,39	1,07	3,29	4,67	8,07	19,30	10,63	14,07	9,73	0,96	0,61	0,11
14	0,75	0,42	2,86	7,51	10,83	17,56	14,25	15,57	10,15	1,52	0,94	0,33
15	0,95	1,12	4,51	3,57	14,61	17,22	14,98	14,82	9,11	1,52	1,11	0,32
16	0,78	2,12	4,74	12,44	9,49	20,69	7,73	15,06	9,54	0,92	1,11	0,27
17	0,60	1,65	5,27	12,82	11,91	14,44	12,10	11,37	7,26	0,70	0,66	0,30
18	0,38	1,51	5,95	12,05	7,25	10,58	18,03	12,42	10,55	1,60	0,64	0,33
19	0,74	1,86	2,97	11,26	6,38	15,73	17,18	9,81	9,48	2,73	1,57	0,49
20	0,47	1,30	4,99	13,08	12,85	11,68	16,78	13,11	8,73	3,05	0,71	0,15
21	1,12	0,83	4,22	12,40	14,80	13,10	15,91	16,01	8,83	2,29	0,63	0,21
22	0,43	1,90	4,63	10,29	15,91	7,81	16,96	14,05	7,82	3,18	0,40	0,19
23	0,51	1,48	4,97	13,59	12,75	16,45	11,69	10,06	7,30	1,69	0,63	0,68
24	1,23	1,78	6,52	10,63	13,57	5,11	19,03	12,51	6,23	2,50	0,99	0,27
25	0,49	1,82	6,91	7,96	10,56	19,32	19,45	10,66	7,34	2,58	1,12	0,25
26	0,48	1,94	5,52	7,41	12,61	20,41	18,27	8,98	5,03	1,57	0,93	0,45
27	0,90	1,90	5,49	13,52	14,82	11,14	14,63	6,17	1,24	1,55	0,40	0,70
28	0,43	1,89	4,69	9,87	16,29	20,26	17,02	7,85	6,46	1,74	0,54	0,68
29	0,33	2,55	3,84	6,49	17,92	12,91	14,87	6,01	2,13	2,28	0,46	0,12
30	0,69	-	5,15	12,78	5,48	17,28	18,29	4,09	4,00	1,47	0,60	0,28
31	0,67	-	5,99	-	11,43	-	13,12	4,17	-	1,09	-	0,22

	Zakopane, dawki dobowe promieniowania UV-B [MED]											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01	1,15	2,52	1,69	9,28	4,43	12,80	22,11	18,71	3,26	1,97	2,66	1,33
02	1,15	1,54	3,34	9,29	11,33	7,92	12,03	18,02	4,91	5,28	1,22	1,26
03	1,14	0,82	3,14	8,74	2,90	10,92	8,28	8,47	4,90	5,85	1,40	0,83
04	0,42	0,36	0,82	8,82	9,35	13,75	12,55	12,35	11,05	5,18	0,52	1,11
05	0,66	0,81	4,85	11,44	3,35	10,11	23,27	3,53	10,85	4,87	1,80	0,45
06	1,03	1,22	4,28	11,82	1,85	19,15	20,20	10,65	2,71	4,73	1,74	1,09
07	1,20	1,39	2,25	12,66	10,84	14,22	7,30	13,66	2,95	2,20	2,56	0,87
08	1,39	2,74	1,80	12,25	16,55	6,35	11,59	14,56	11,12	1,35	2,25	1,15
09	0,95	2,89	4,80	12,00	14,64	12,04	16,18	17,32	11,48	5,67	2,11	1,07
10	1,27	2,13	3,73	10,19	10,42	7,85	21,13	16,48	5,67	4,32	1,94	0,38
11	0,55	1,56	2,79	12,14	14,67	9,26	5,50	15,56	7,94	0,99	2,05	0,70
12	1,46	1,94	7,08	13,06	6,26	14,38	10,15	16,00	7,42	0,74	0,57	0,94
13	1,45	2,79	4,08	8,88	6,81	19,89	8,09	14,52	8,80	1,07	1,28	0,99
14	1,16	1,05	3,37	5,70	2,39	16,29	15,56	9,16	9,37	2,19	1,10	0,97
15	1,47	3,07	5,77	10,51	2,90	6,46	13,01	9,73	9,27	3,14	1,81	1,15
16	0,62	3,43	6,12	13,97	17,35	5,54	5,41	7,96	9,06	0,95	1,65	1,05
17	1,37	3,38	5,91	9,77	13,06	3,48	5,43	8,81	1,60	0,85	1,38	0,90
18	1,38	2,22	6,39	14,72	18,77	10,04	5,96	5,66	9,51	2,37	1,99	0,61
19	0,18	2,67	7,68	7,17	16,80	4,68	12,75	2,20	8,55	2,16	1,97	1,03
20	0,62	1,98	3,99	14,03	17,99	7,17	18,46	10,87	7,92	3,62	0,90	1,08
21	1,73	1,00	2,23	13,61	11,76	3,24	11,85	14,77	8,21	3,21	1,47	0,55
22	1,62	3,16	4,40	14,00	15,54	2,22	14,56	15,29	7,87	3,91	1,43	0,46
23	1,72	2,55	0,47	15,09	13,07	8,55	12,67	3,85	4,16	3,30	0,92	0,19
24	1,76	2,04	6,98	14,22	8,01	12,11	11,92	7,09	4,58	1,94	1,45	0,16
25	2,05	2,99	7,04	4,48	5,28	15,75	11,68	9,13	3,00	1,61	1,52	0,33
26	2,17	2,06	6,31	9,05	5,05	8,80	6,85	12,43	6,20	3,10	1,41	0,78
27	1,83	2,29	7,11	13,44	6,25	18,52	16,05	9,49	6,00	2,63	1,23	0,98
28	1,50	0,71	4,70	11,73	7,53	18,71	19,72	12,91	1,18	2,70	0,39	0,63
29	1,50	4,04	4,27	11,49	3,26	14,35	15,10	11,25	2,84	1,79	0,50	0,86
30	1,72	-	3,92	11,55	4,32	22,68	19,95	12,27	0,41	1,92	0,51	0,55
31	1,05	-	6,46	-	2,84	-	12,81	10,49	-	1,78	-	0,29