



Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

Monitoring rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2023 – 2025

Raport o stanie warstwy ozonowej i natężenia promieniowania UV-B za 2023 r.

Opracowano w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie, przez poniżej wymienionych autorów:

Wydział Monitorowania Jakości Powietrza IMGW-PIB:

mgr Julita Biszczuk-Jakubowska
mgr Aleksander Curyło
mgr Bogumił Kois

Zakład Teledetekcji Satelitarnej w Krakowie:

dr Bożena Łapeta
mgr Monika Hajto
mgr Michał Perski
mgr Mariusz Gieryk
mgr Paweł Parzuchowski

Stacja Pomiarów Aerologicznych w Legionowie:

Stacja Meteorologiczna w Łebie:

Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna w Zakopanem:

Sprawdził i zatwierdził:

Kierownik Wydziału Monitorowania Jakości Powietrza
mgr Julita Biszczuk-Jakubowska



Praca zrealizowana na podstawie umowy z GIOŚ nr GIOŚ/13/2023/DMŚ/NFOŚiGW z dnia 03.02.2023 r., finansowana wyłącznie ze środków NFOŚiGW.

Przy cytowaniu danych należy podawać źródło danych:

Państwowy Monitoring Środowiska, Inspekcja Ochrony Środowiska.

Spis treści

1.	Sprawozdanie z realizacji zadań 1-3 za rok 2023.....	2
1.1	Pomiary rozkładu pionowego ozonu sondą ECC 6AB.....	2
1.2	Pomiary natężenia promieniowania UV-B.....	5
1.3	Wyznaczenie całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową	6
2.	Raport za rok 2023.....	8
2.1	Wstęp.....	8
2.2	Ocena stanu warstwy ozonowej w 2023 roku na podstawie wyników monitoringu.....	9
2.3	Analiza rozkładu pionowego ozonu nad Legionowem w 2023 roku	10
	<i>Zimowo-wiosenne ubytki ozonu stratosferycznego 2022/2023</i>	<i>12</i>
	<i>Analiza wieloletnich zmian koncentracji ozonu nad Legionowem</i>	<i>18</i>
2.4	Ozon całkowity z danych satelitarnych nad Europą Środkową w 2023 roku .	20
2.5	Promieniowanie UV-B zmierzone na sieci monitoringu w 2023 roku.....	27
	<i>Długoterminowe zmiany promieniowania UV-B w pomiarach na stacjach IMGW-PIB</i>	<i>39</i>
2.6	Wnioski	41
3.	Opracowanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych	43
	<i>Współpraca międzynarodowa</i>	<i>46</i>
4.	Podsumowanie.....	47
	Spis załączników:	50
	ZAŁĄCZNIK 1	52
	ZAŁĄCZNIK 2	98
	ZAŁĄCZNIK 3	104

1. Sprawozdanie z realizacji zadań 1-3 za rok 2023

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 uzyskanych w okresie I-XII 2023 r. w ramach umowy nr GIOŚ/13/2023/DMŚ/NFOŚiGW z dnia 03.02.2023 r. na „Monitoring rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2023 – 2025”.

1.1 Pomiary rozkładu pionowego ozonu sondą ECC 6AB

W okresie od stycznia do grudnia 2023 roku na Stacji Pomiarów Aerologicznych (SPA) 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 (hPa)	Średnia wysokość (km)
Razem	Standard		
39	39	<=10	32,74
9	9	10 ÷ 32	27,41
Razem 48	48	<=32	31,74
4	4	>32	17,85

Tabela 2. Wyniki porównania całkowitej zawartości ozonu obliczonej z sondażu (CZO₃S) ze zmierzoną spektrofotometrem Dobsona (CZO₃D)

Liczba sondaży	O ₃ D/O ₃ S Współczynnik korekcji	Średni współczynnik	Uwagi
39	0,85÷1,00	0,948	O ₃ D ≤ O ₃ S
4	1,00÷1,15	1,016	O ₃ D > O ₃ S
Razem 43	0,85÷1,15	0,955	0,85 < O ₃ D / O ₃ S < 1,15
9	-	-	Brak pomiaru Dobsona (3) Niski pułap P > 32hPa (3) Interferencja sygnału GPS (2) Błąd czujnika (1)

Całkowita zawartość ozonu w profilu O₃S była porównywana z pomiarem całkowitej zawartości ozonu w atmosferze O₃D (pomiar naziemny lub satelitarny) i obliczano najlepsze dopasowanie współczynnika normalizacji. Wyniki porównania wskazują na bardzo dobrą zgodność obu systemów pomiarowych. W 43 przypadkach współczynnik normalizacji mieści się w granicach 0,85 - 1,15, średni współczynnik wynosi 0,954.

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 01.01.2023 r. do 31.12.2023 r.

L.P.	Data	H [m]	P [hPa]	O ₃ [D]	O ₃ S[D]	NF	Uwagi
01	2023-01-04	26800	17	228,8	307,4	0,911	
02	2023-01-11	32270	7	250,1	284,2	0,989	
03	2023-01-18	33660	7	344,6	375,6	-	brak CZO ₃
04	2023-01-25	32990	7	318,1	349,2	0,962	
05	2023-02-01	25530	21	263,6	314,2	0,930	
06	2023-02-08	32670	7	280	314,2	0,939	
07	2023-02-15	33150	6	202	236,7	0,989	
08	2023-02-22	33130	7	306,3	340,2	0,991	

L.P.	Data	H [m]	P [hPa]	O ₃ [D]	O ₃ S[D]	NF	Uwagi
09	2023-03-01	26670	18	286,5	314,2	0,942	
10	2023-03-08	33150	7	379,4	418,6	0,941	
11	2023-03-15	33190	7	359,2	397,8	0,920	
12	2023-03-22	32400	8	349,4	390,1	0,877	
13	2023-03-29	33280	7	372,1	408,4	0,962	
14	2023-04-05	30970	10	354,8	408,5	0,989	
15	2023-04-12	32470	8	358,5	401,7	0,951	
16	2023-04-19	33300	7	331	384	0,995	
17	2023-04-26	32320	9	321,3	369,4	1,037	
18	2023-05-03	32250	9	326	372,9	0,992	
19	2023-05-10	30950	11	337,6	395,7	0,974	
20	2023-05-17	33500	8	312,4	353,2	-	brak CZO ₃
21	2023-05-24	19420	62	139,1	-	-	P>32hPa
22	2023-05-31	24100	33	193,7	-	-	P>32hPa
23	2023-06-07	32610	9	311,3	356,6	0,973	
24	2023-06-14	33190	8	357,3	396,3	0,946	
25	2023-06-21	31590	11	299,0	356,0	0,932	
26	2023-06-27	31450	11	320,8	378,1	0,915	
27	2023-07-05	25900	24	226,4	373,8	0,915	
28	2023-07-12	32250	10	277,7	329,0	0,961	
29	2023-07-19	33800	8	313,5	352,9	0,927	
30	2023-07-26	20340	55	144,4	-	-	P>32hPa
31	2023-08-02	33730	8	319,8	360,1	0,941	
32	2023-08-09	33660	8	296,4	337,1	0,952	
33	2023-08-16	34870	7	253,5	288,8	0,966	
34	2023-08-23	32300	9	244,8	291,4	0,923	
35	2023-08-30	35210	6	254,2	284,9	1,025	
36	2023-09-06	32150	10	224,7	276,9	0,990	
37	2023-09-13	7520	395	36,5	-	-	zakłócenia GPS
38	2023-09-20	31670	6	230,7	-	-	błąd czujnika O ₃
39	2023-09-27	31420	9	227,6	279,8	0,961	
40	2023-10-04	32650	8	268,7	309,6	0,901	
41	2023-10-11	33240	7	223,7	262,8	1,001	

L.P.	Data	H [m]	P [hPa]	O ₃ [D]	O ₃ S[D]	NF	Uwagi
42	2023-10-18	31430	9	277,3	322,3	0,912	
43	2023-10-25	31370	9	240,6	287,0	1,000	
44	2023-11-01	32200	8	314,5	352,9	0,977	
45	2023-11-08	31970	8	326,2	364,8	0,962	
46	2023-11-15	31290	9	298,2	341,9	0,942	
47	2023-11-22	33550	6	263,8	296,8	0,926	
48	2023-11-30	32730	7	338,4	375,0	0,867	
49	2023-12-06	32880	6	262,3	295,3	0,986	
50	2023-12-13	31880	7	287,8	323,5	0,964	
51	2023-12-20	25750	18	241,3	-	-	brak CZO ₃
52	2023-12-27	22070	15	228,7	-	-	zakłócenia GPS

H – wysokość pułapu sondażu [m]

P – ciśnienie pułapu sondażu [hPa]

O₃ – zawartość ozonu w jednostkach Dobsona [D], scałkowana do wysokości pułapu danych O₃ sondażu

O₃S – całkowita zawartość ozonu obliczona w sondażu (CZO₃)

NF – współczynnik normalizacji: CZO₃ zmierzona spektrofotometrem Dobsona / CZO₃ w sondażu

Uwaga: od 2023 całkowita zawartość ozonu w sondażu O₃S jest wyznaczana w zależności od ciśnienia pułapu sondażu P:

P > 32hPa: nie można określić O₃S,

10hPa < P <= 32hPa: do O₃S dodaje się pozostałą zawartość ozonu z tablic klimatycznych średnich miesięcznych,

P <= 10hPa: całkuje się ozon w profilu tylko do 10hPa i dodaje się pozostałą zawartość ozonu powyżej 10hPa z tablic klimatycznych.

*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 2023 pomiary były wykonywane bezawaryjnie. Uzyskane w roku 2023 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 2023 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 meteorologicznych Suomi-NPP (S-NPP) i NOAA-20. Satelity te przelatują nad Polską dwa razy na dobę: w godzinach od 09:15 UTC do 13:00 UTC oraz od 23:30 UTC do 02:30 UTC. Ponieważ czujnik OMPS mierzy promieniowanie w paśmie optycznym spektrum, do monitoringu całkowitej zawartości ozonu mogły być wykorzystane jedynie dane z dziennych przelotów satelitów S-NPP.

Pola całkowitej zawartości ozonu wygenerowane z danych OMPS 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 odwróconych odległości.

Satelitarny monitoring ozonu w 2023 roku prowadzony był prawie bez problemów. Jedynie w dniach 26 lipca i 2 listopada całkowita zawartość ozonu (CZO₃) nie została wyznaczona z powodu błędów w transmisji danych satelitarnych.

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 2023 r.

Dzień	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01	x	x o	x o	x	x	x	x	x	x	x	x o	x
02	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	-	x
03	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
04	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x
05	x	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x	x	x
06	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o
07	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x
08	x	x o	x o	x	x	x	x	x	x	x	x o	x
09	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x
10	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
11	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x
12	x	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x	x	x
13	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o
14	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x
15	x	x o	x o	x	x	x	x	x	x	x	x o	x
16	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x
17	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
18	x o	x	x	x o	x	x	x	x	x	x o	x	x
19	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x
20	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o
21	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x
22	x	x o	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x
23	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o	x
24	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
25	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x
26	x	x	x	x o	x	x	- o	x	x	x	x	x
27	x o	x	x	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x o
28	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
29	x	□	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x
30	x	□	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o	x
31	x	□	x	□	x o	□	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 został zrealizowany w 99,45%

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

2. Raport za rok 2023

2.1 Wstęp

Ozon, choć występuje w atmosferze w niewielkich ilościach, odgrywa kluczową rolę dla biosfery i klimatu poprzez pochłanianie promieniowania UV i ciepła. Jego istnienie w stratosferze zostało odkryte w 1913 roku przez francuskich fizyków, Fabry'ego i Buissona, którzy zauważyli brak promieniowania UV poniżej 310nm, co doprowadziło do identyfikacji ozonu jako substancji pochłaniającej to promieniowanie. Rozwój technik pomiarowych, takich jak spektrofotometr Dobsona a także bezpośrednie pomiary ozonu w atmosferze za pomocą sond ozonowych wynoszonych na balonach umożliwiając badanie i monitorowanie ozonu w atmosferze.

Ozon, chemicznie oznaczany jako O_3 , powstaje w górnych warstwach atmosfery w wyniku interakcji intensywnego słonecznego promieniowania UV z tlenem (O_2). Warstwa ozonowa w atmosferze Ziemi pochłania całkowicie szkodliwe promieniowanie UV-C i ponad 95% promieniowania UV-B, chroniąc tym samym życie na Ziemi przed jego negatywnym wpływem. Jednak substancje takie jak związki chloru (CFC) wypuszczane do atmosfery z działalnością przemysłową zaczęły naruszać warstwę ozonową już w latach 70. XX wieku, co wkrótce doprowadziło do powstawania zjawiska wiosennej dziury ozonowej nad Antarktydą.

Dziura ozonowa przyczyniła się do podpisania Protokołu Montrealskiego w 1987 roku, który zakazał produkcji i użycia substancji CFC. Dzięki temu porozumieniu nasycenie atmosfery antropogenicznymi związkami chloru stratosferycznego przestało spadać pod koniec lat 90. XX wieku, a pierwsze oznaki regeneracji warstwy ozonowej są już widoczne (Solomon i in, 2016). Równowaga ozonu w atmosferze jest jednak delikatna i wymaga stałego monitorowania. Pomiar całkowitej zawartości ozonu w atmosferze oraz sondaże ozonowe są kluczowe dla monitorowania stanu warstwy ozonowej i oceny skutków działań podejmowanych w celu jej ochrony.

W Polsce, od 1963 roku na stacji IGF PAN w Belsku prowadzone są codzienne pomiary całkowitej zawartości ozonu w atmosferze przy użyciu spektrofotometru Dobsona. Program ten stanowi ważny element globalnej sieci monitoringu ozonu, umożliwiając śledzenie zmian w zawartości ozonu w atmosferze na przestrzeni lat. Od 1979 roku na Stacji Pomiarów Aerologicznych IMGW-PIB w Legionowie prowadzone są regularne cotygodniowe sondaże ozonowe sondami elektrochemicznymi, co pozwala na monitorowanie zawartości ozonu w atmosferze i śledzenie jego zmian na przestrzeni

lat. Te długoterminowe pomiary są kluczowe dla zrozumienia dynamiki warstwy ozonowej i oceny skuteczności podejmowanych działań.

Obok zimowych spadków ozonu w dolnej stratosferze, nowym sygnałem trendowym jest pojawienie się spadku ozonu w średniej stratosferze, który można wiązać z podtlenkiem azotu. W przeciwieństwie do CFC, stosowanie i emisja N_2O nie są regulowane Protokołem Montrealskim (<https://csl.noaa.gov/assessments/ozone/2022/>). Podtlenek azotu jest największą pojedynczą substancją zubożającą warstwę ozonową, która, jeśli jej emisje nie będą kontrolowane pozostanie dominującą substancją zubożającą warstwę ozonową w XXI wieku. Zmniejszenie emisji podtlenku azotu zwiększyłoby zatem tempo odbudowy warstwy i zmniejszyłoby antropogeniczne wymuszanie klimatu.

W raporcie przedstawiono analizę stanu warstwy ozonowej i poziomu promieniowania UV-B na podstawie pomiarów wykonanych w IMGW-PIB w 2023 roku.

2.2 Ocena stanu warstwy ozonowej w 2023 roku na podstawie wyników monitoringu

Elektrochemiczne sondy ozonowe są używane od ponad 50 lat do pomiarów pionowych profili ozonu w atmosferze. Pomiar za pomocą sondy opiera się na szybkiej reakcji chemicznej między cząsteczkami ozonu (O_3) a roztworami jodku potasu o różnych stężeniach. Komory czujnika są połączone mostkiem jonowym, zapobiegając wyrównywaniu stężeń elektrolitu. Dzięki temu, przy pełnym bilansie stechiometrycznym 1:1 ($O_3 = I_2$), jedna cząsteczka ozonu wywołuje przepływ prądu dwóch elektronów.

Sondy ozonowe są unoszone przez balony meteorologiczne i elektronicznie połączone ze standardową radiosondą meteorologiczną. Pozwala to na przesyłanie danych do odbiornika naziemnego i uzyskiwanie pomiarów w bardzo wysokiej rozdzielczości (~100m) do wysokości 30-35km. Każda sonda jest unikalnym instrumentem, starannie przygotowywanym na 3-7 dni przed wzlotem. W dniu wzlotu określana jest wydajność pompki i mierzony tzw. prąd tła. Pomimo starannej kalibracji pomiary należy dokładnie analizować, biorąc pod uwagę pewne niepewności, takie jak względne odchylenie (~5%) między sondami od różnych producentów czy błąd systematyczny (3%-10%) między sondami tego samego typu. Od 2004 roku zespół ekspertów ASOPOS ocenia regularnie dane sond ozonowych ECC, co przyczynia się do poprawy jakości danych na globalnej sieci Global Atmosphere Watch (GAW). Jednak obserwowany nagły spadek ozonu w stratosferze w latach 2014-2016, wciąż jest przedmiotem badań. Regularna ocena danych ozonowych jest kluczowa, a najnowsze

zalecenia dotyczące standardowej procedury przygotowania sond ozonowych zostały opracowane przez zespół ekspertów ASOPOS2 w sierpniu 2021. Obecnie na świecie działa ponad 100 stacji sondażu ozonowych, a ich dane są wykorzystywane do kalibracji satelitów, analizy trendów ozonowych i klimatologii w algorytmach satelitarnych.

Od stycznia 1979 do maja 1993 w sondażach ozonowych w Legionowie wykorzystywano sondę OSE typu Brewer-Mast, pracującą w systemie radiosondażowym METEORIT/Marz. Od czerwca 1993 roku pomiary są wykonywane z użyciem sondy ECC5A/6A w systemie radiosondażowym Vaisala DIGICORA. Od 1995 roku, w latach chłodnych zim w stratosferze na półkuli północnej, wykonywane są dodatkowe sondaże ozonowe w projekcie Match – to jest statystyczne badanie procesu fotochemicznego niszczenia ozonu w stratosferze na trajektoriach cząstek w arktycznym wirze polarnym.

2.3 Analiza rozkładu pionowego ozonu nad Legionowem w 2023 roku

W roku 2023 kontynuowano systematyczne sondaże ozonowe rozpoczęte w 1979 roku. Rutynowo w każdą środę w terminie 12UT wykonywano sondaż ozonu z użyciem elektrochemicznej sondy ozonowej ECC6AB, unoszonej w powietrzu przez balon meteorologiczny do maksymalnej wysokości 35km.

Na podstawie serii pomiarów z lat 1994 - 2022 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 podawane jest w hektopaskalach (hPa), przy czym 1hPa = 100Pa. Paskal (Pa) jest to ciśnienie występujące na powierzchni płaskiej 1m², na którą działa prostopadle siła 1 niutona (N). Zawartość ozonu wyrażona jest w jednostkach Dobsona (1D = 2,69x10²⁰ molekuł O₃ /m²). W tabeli 5 przedstawiono zawartości ozonu dla miesięcy 2023 roku i okresu 1994-2022, a także standaryzowane odchylenia średnich miesięcznych roku względem średniego wieloletniego rozkładu. Standaryzowane odchylenia pokazują anomalne zawartości ozonu w atmosferze, jeśli wartości odchyłeń przekraczają +2 lub -2.

W średnim wieloletnim 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 i osiąga maksymalną zawartość na przełomie zimy i wiosny. Maksimum roczne ozonu w warstwie granicznej (100/700hPa) świadczy o transporcie ozonu do troposfery, wysokie wartości ozonu latem wskazują na fotochemiczne źródło ozonu blisko powierzchni Ziemi.

Analiza średnich miesięcznych zawartości ozonu nad Legionowem w 2023 roku nie wykazała anomalii, zaobserwowano jednak znaczące ujemne odchylenia: w lutym w warstwie maksymalnej koncentracji ozonu (50/30hPa), w sierpniu w warstwie maksymalnej zmienności w średniej stratosferze (30/20hPa) i we wrześniu w dolnej stratosferze (150/100hPa).

Tabela 5. Zawartość ozonu w warstwach atmosfery nad Legionowem w 2023 r.

WYSZCZEGÓLNIENIE		Warstwy atmosfery między standardowymi powierzchniami izobarycznymi [hPa]											
		$\frac{\sim 1000}{700}$	$\frac{700}{500}$	$\frac{500}{300}$	$\frac{300}{200}$	$\frac{200}{150}$	$\frac{150}{100}$	$\frac{100}{70}$	$\frac{70}{50}$	$\frac{50}{30}$	$\frac{30}{20}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{10}{00}$
Styczeń	a	10,2	8,2	8,0	4,6	10,1	21,6	28,4	35,9	60,8	40,4	37,2	43,9
	b	8,3	7,6	8,7	11,2	15,8	28,9	34,2	39,8	62,0	39,4	41,2	41,9
	c	1,1	0,8	-0,4	-1,0	-0,8	-0,6	-0,5	-0,5	-0,2	0,2	-0,6	0,5
Luty	a	10,5	8,3	8,5	9,8	10,6	19,1	25,3	33,0	58,1	36,8	42,8	46,0
	b	9,4	8,0	9,7	15,1	19,6	32,6	37,4	42,8	63,3	40,0	43,4	46,1
	c	0,6	0,3	-0,4	-0,5	-1,2	-1,0	-1,0	-1,2	-0,7	-0,7	-0,1	-0,0
Marzec	a	11,0	8,7	9,0	13,7	22,9	36,7	40,8	45,6	70,0	41,5	48,4	49,2
	b	11,1	8,8	10,9	17,8	22,2	33,3	36,7	41,3	62,3	38,9	44,9	49,8
	c	-0,1	-0,1	-0,6	-0,4	0,1	0,3	0,4	0,6	1,1	0,5	0,6	-0,1
Kwiecień	a	11,9	10,1	11,0	28,5	27,0	32,6	33,3	43,2	60,2	36,9	42,6	48,2
	b	12,8	10,0	12,4	17,2	21,1	31,0	34,7	39,5	60,3	38,7	47,9	50,6
	c	-0,5	0,0	-0,3	1,1	0,8	0,1	-0,2	0,6	-0,0	-0,5	-0,9	-0,8
Maj	a	13,9	10,5	10,5	12,1	21,5	32,9	30,3	34,1	58,6	41,1	53,9	51,5
	b	13,6	10,7	12,5	16,6	20,7	28,0	30,2	36,0	56,2	38,3	50,5	50,4
	c	0,2	-0,1	-0,7	-0,5	0,1	0,7	0,0	-0,5	0,6	0,8	0,8	0,5
Czerwiec	a	14,8	11,8	15,1	20,5	18,5	25,5	31,8	32,4	54,6	40,9	54,1	50,4
	b	13,2	10,8	13,0	14,5	17,1	24,3	25,5	31,7	53,0	39,4	52,8	49,8
	c	0,6	0,7	0,8	0,7	0,3	0,2	1,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3
Lipiec	a	15,9	11,4	13,4	11,1	13,4	19,2	24,6	32,3	55,9	40,2	53,9	50,9
	b	13,0	10,6	13,2	14,7	14,9	21,0	23,9	30,5	51,9	39,3	53,1	50,1
	c	1,1	0,6	0,1	-0,5	-0,3	-0,4	0,2	0,7	0,9	0,3	0,2	0,2
Sierpień	a	13,9	10,6	12,9	14,3	11,4	20,1	20,4	27,6	45,5	33,1	50,7	50,3
	b	12,5	10,2	12,3	11,0	11,6	19,3	23,8	29,0	48,1	37,7	50,9	50,3
	c	0,6	0,4	0,3	0,6	-0,0	0,2	-0,9	-0,6	-0,7	-1,1	-0,0	-0,0
Wrzesień	a	13,6	9,9	10,5	6,7	4,2	9,7	18,5	28,7	44,4	33,7	46,1	52,2
	b	11,1	9,4	10,7	9,5	9,3	17,8	24,3	29,7	47,9	34,7	45,4	49,5
	c	1,1	0,4	-0,1	-0,5	-1,2	-1,5	-1,3	-0,4	-0,9	-0,2	0,1	1,3
Październik	a	9,6	9,2	10,1	8,8	8,8	17,9	22,4	29,4	49,1	36,9	42,6	48,7
	b	9,6	8,2	9,6	8,5	8,7	16,7	23,4	29,2	47,8	34,9	41,7	47,3

WYSZCZEGÓLNIENIE	Warstwy atmosfery między standardowymi powierzchniami izobarycznymi [hPa]												
	$\frac{\sim 1000}{700}$	$\frac{700}{500}$	$\frac{500}{300}$	$\frac{300}{200}$	$\frac{200}{150}$	$\frac{150}{100}$	$\frac{100}{70}$	$\frac{70}{50}$	$\frac{50}{30}$	$\frac{30}{20}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{10}{00}$	
c	0,0	0,8	0,2	0,1	0,0	0,2	-0,2	0,1	0,3	0,5	0,1	0,5	
Listopad	a	8,7	8,0	9,2	14,7	12,2	26,3	34,0	36,8	57,4	39,5	44,3	46,1
	b	8,3	7,7	8,7	8,3	9,4	19,4	26,1	30,4	50,4	36,5	39,9	43,5
	c	0,2	0,3	0,3	1,4	0,7	1,1	1,2	1,4	1,6	0,8	0,7	0,8
Grudzień	a	8,1	7,8	8,3	10,3	14,6	30,4	30,9	33,8	51,6	33,9	34,2	39,7
	b	8,2	7,7	8,6	8,4	10,6	22,8	28,6	33,6	54,5	38,0	39,2	41,0
	c	-0,0	0,2	-0,2	0,4	0,9	0,8	0,3	0,0	-0,4	-0,9	-0,9	-0,2

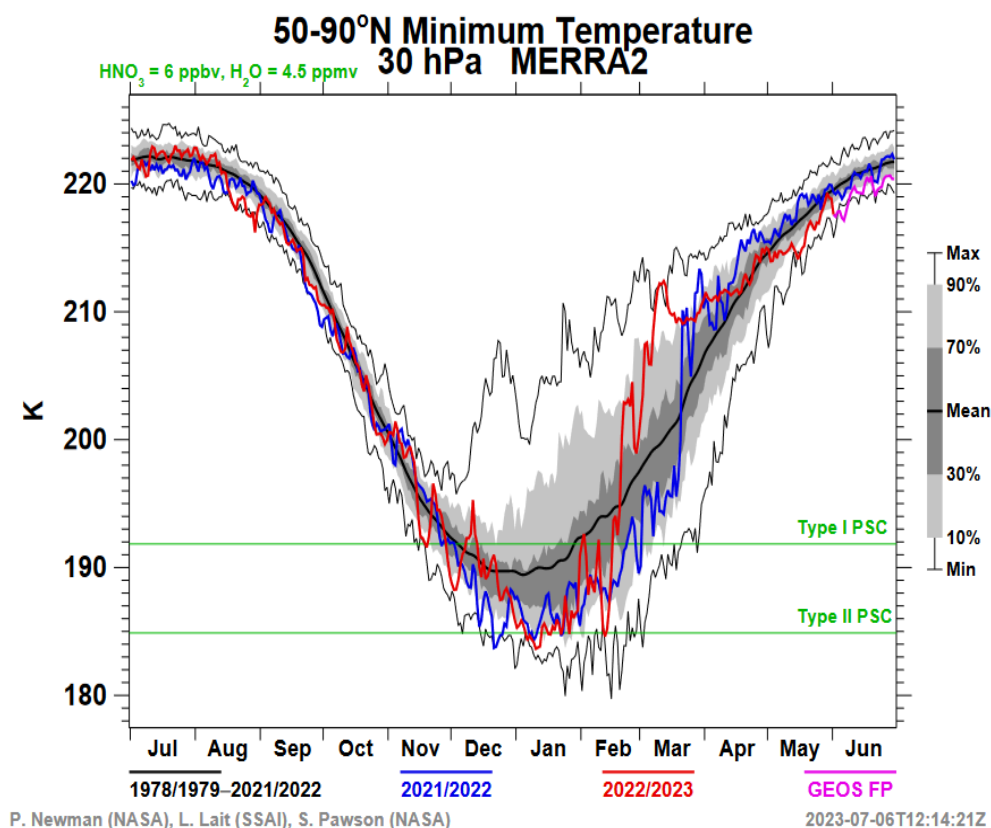
a – średnie miesięczne [D] w 2023 roku

b – średnie miesięczne wieloletnie [D] z lat 1994-2022

c – standaryzowane odchylenie: $(a-b)/\sigma$, gdzie σ jest odchyleniem standardowym średnich miesięcznych z lat 1994-2022

Zimowo-wiosenne ubytki ozonu stratosferycznego 2022/2023

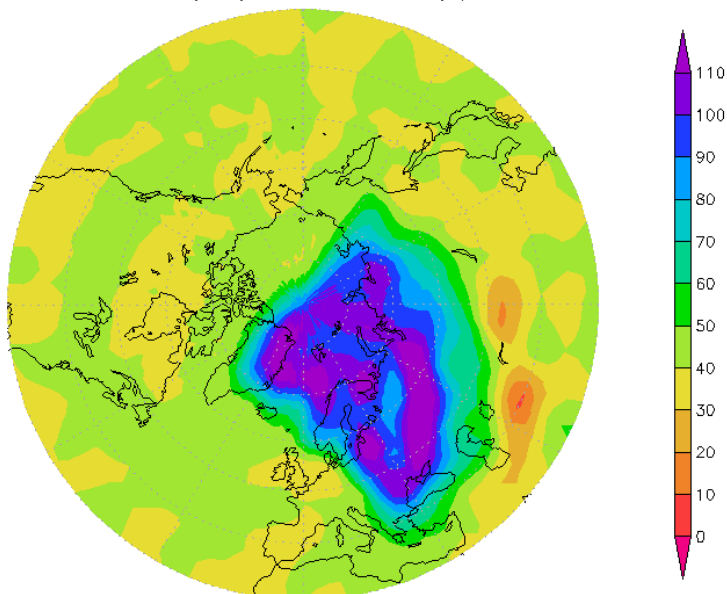
Ilość ozonu niszczony w stratosferze w sezonie zimowo-wiosennym na półkuli północnej jest bardzo zmienna z roku na rok, zwykle dużo niższa niż na półkuli południowej.



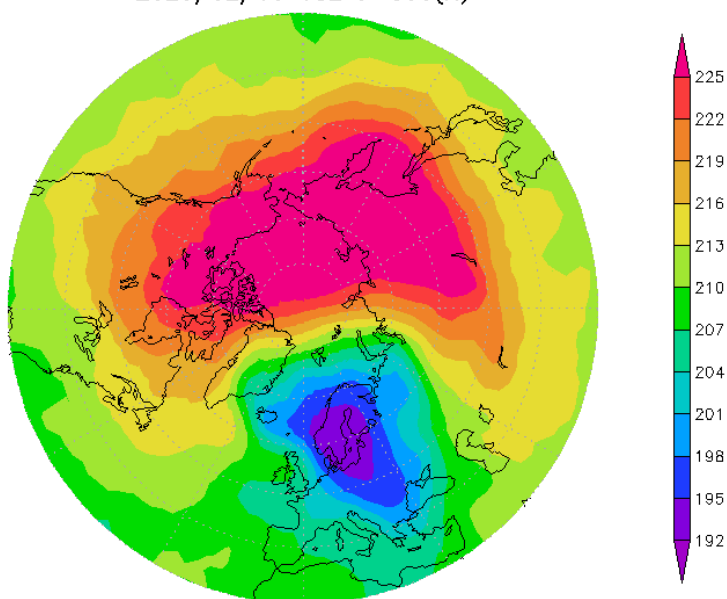
Rys. 1. Najniższe temperatury w stratosferze na półkuli północnej w obszarze 50-90°N dla powierzchni izobarycznej 30hPa, na tle zmienności wieloletniej

Duży potencjał destrukcji ozonu w sezonie zimowo-wiosennym 2022/2023 zapowiadały bardzo niskie temperatury w arktycznej stratosferze. Nagłe ogrzanie stratosferyczne w połowie lutego spowodowało jednak szybki zanik polarnych chmur stratosferycznych PSC (Rys. 1).

NIES STRAS potential vorticity ($10^{-6} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{kg}^{-1} \text{K}$) NCEP Reanalysis
2023/02/15 12Z $\theta=550(\text{K})$

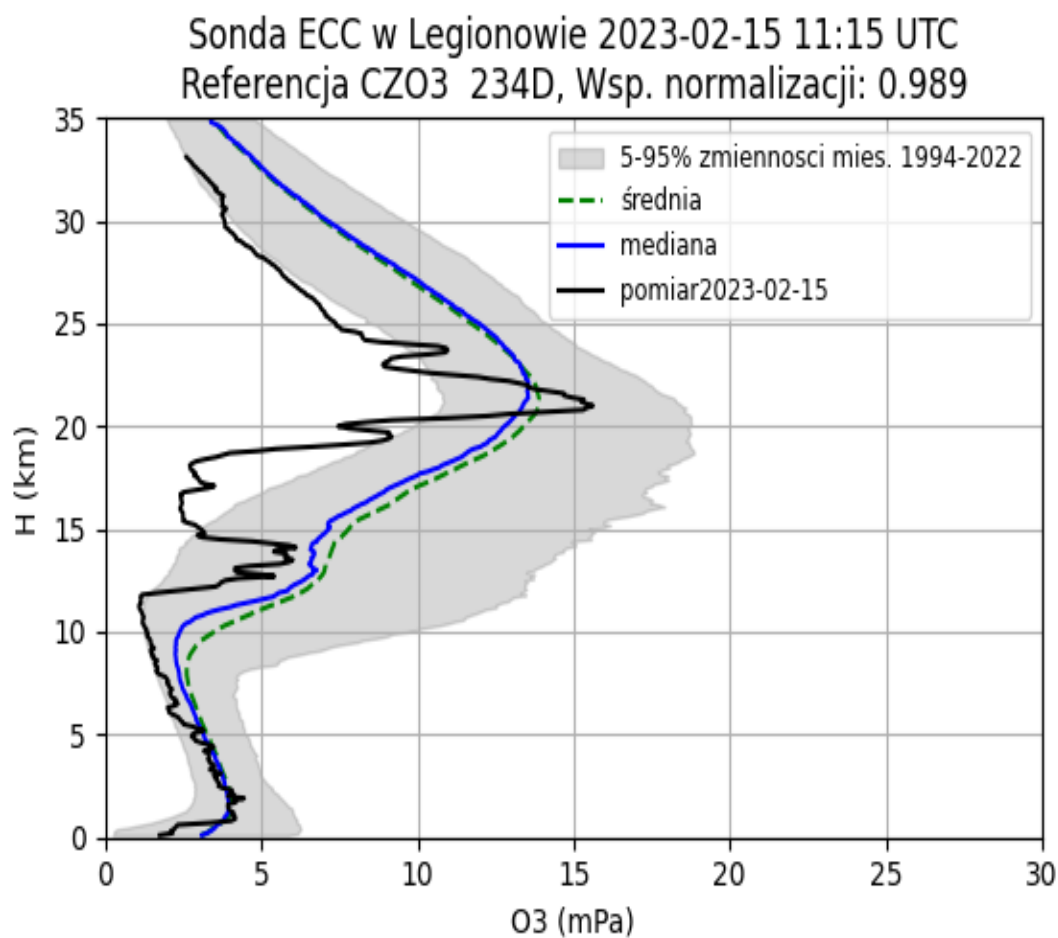


NIES STRAS temperature (K) NCEP Reanalysis
2023/02/15 18Z $\theta=550(\text{K})$



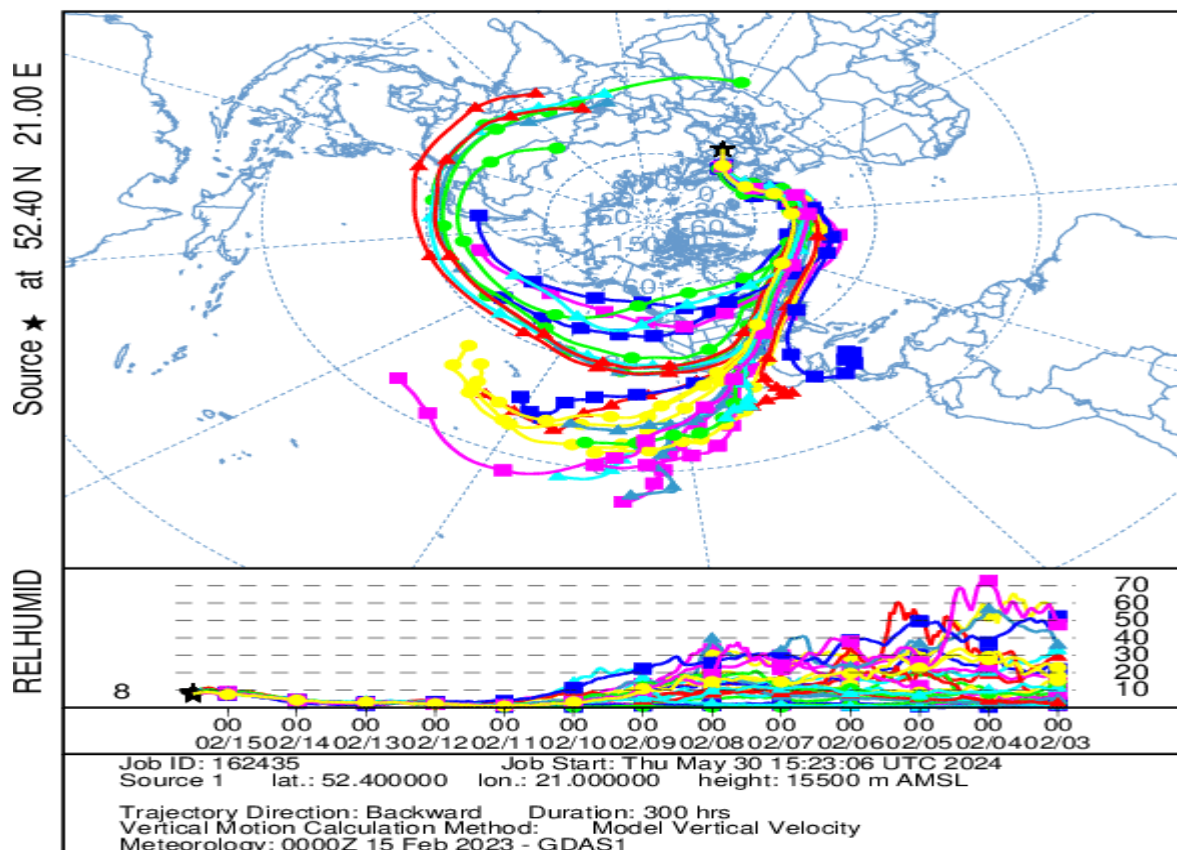
Rys. 2. Wirowość potencjalna oraz temperatura powietrza nad półkulą północną na powierzchni izentropowej 550K (~21km) opracowana przez NIES <https://db.cger.nies.go.jp/gem/stras/en/reanalysis.html?date=20230215&polar=n&k=550>

Mapy wirowości potencjalnej i temperatury powietrza opracowane przez Japoński Instytut Badań Środowiska obrazują położenie chłodnego wiru polarnego na powierzchni izentropowej 550K (~21km) (Rys. 2). Na mapach jest widoczne przesunięcie arktycznego wiru polarnego na południe. 15 lutego stacja w Legionowie znalazła się na jego brzegu na wysokości 21km, a na większych wysokościach w jego wnętrzu. Poza warstwą największej koncentracji ozonu (~21km) obserwowano skrajnie niskie koncentracje ozonu praktycznie w całej stratosferze (Rys. 3).



Rys. 3. Profil ozonu nad Legionowem podczas adwekcji wiru polarnego nad Polskę 15 lutego 2023 r., na tle zmienności wieloletniej

NOAA HYSPLIT MODEL
 Backward trajectories ending at 1200 UTC 15 Feb 23
 GDAS Meteorological Data

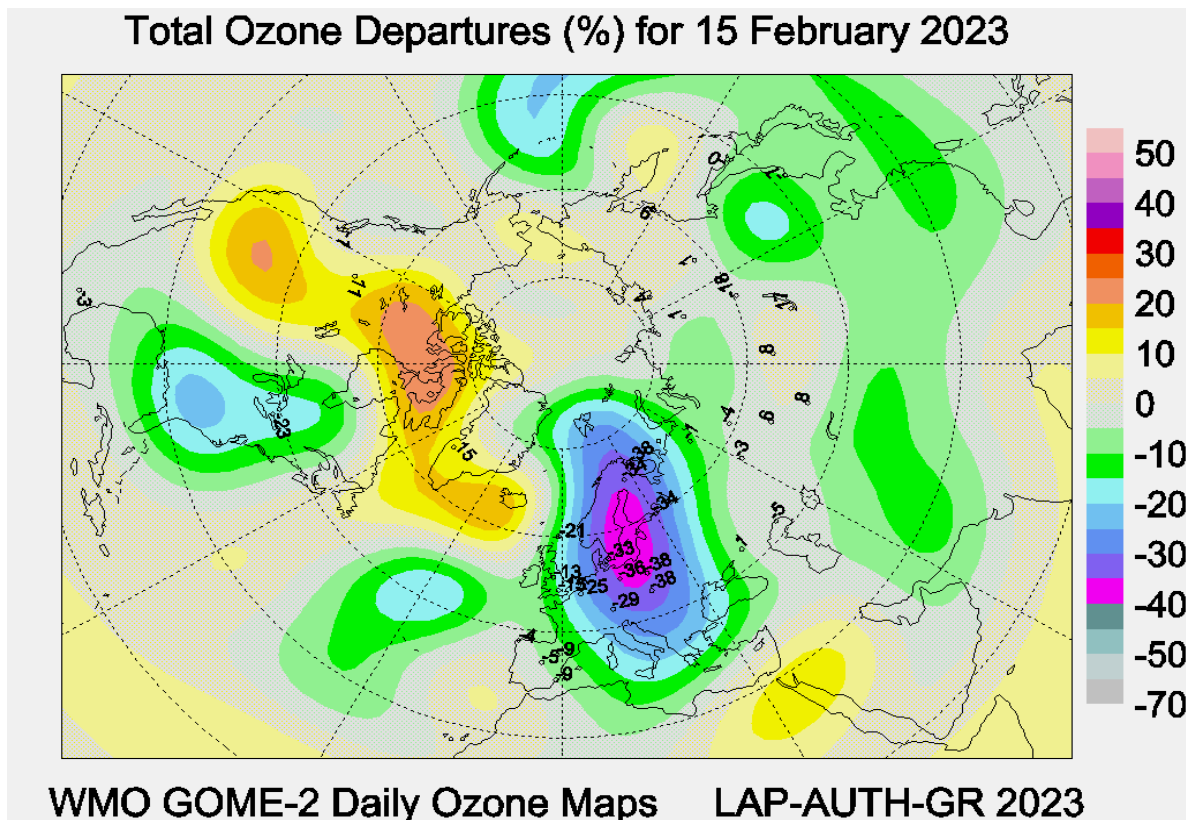


Rys. 4. Wsteczne trajektorie NOAA HYSPLIT oraz wilgotność względna dla cząstek powietrza docierającego nad Legionowo w warstwie 15-16km 15 lutego 2023

Analiza zespołu cząstek NOAA na trajektoriach wstecznych w modelu HYSPLIT (Rys. 4) pokazuje dwa źródła masy dla niskich koncentracji ozonu nad Legionowem w dolnej stratosferze. Cząstki o wyższej wilgotności z górnej troposfery pochodziły z ciepłych regionów blisko równika, nad Pacyfikiem. Natomiast powietrze arktyczne zostało przetransportowane z regionów polarnych. Intensywne mieszanie zubożonych w ozon mas powietrza i ewentualne zmiany w chemii ozonu w wilgotnym powietrzu mogłyby wyjaśniać niedobory ozonu w dolnej stratosferze nad Legionowem (Rys. 3).

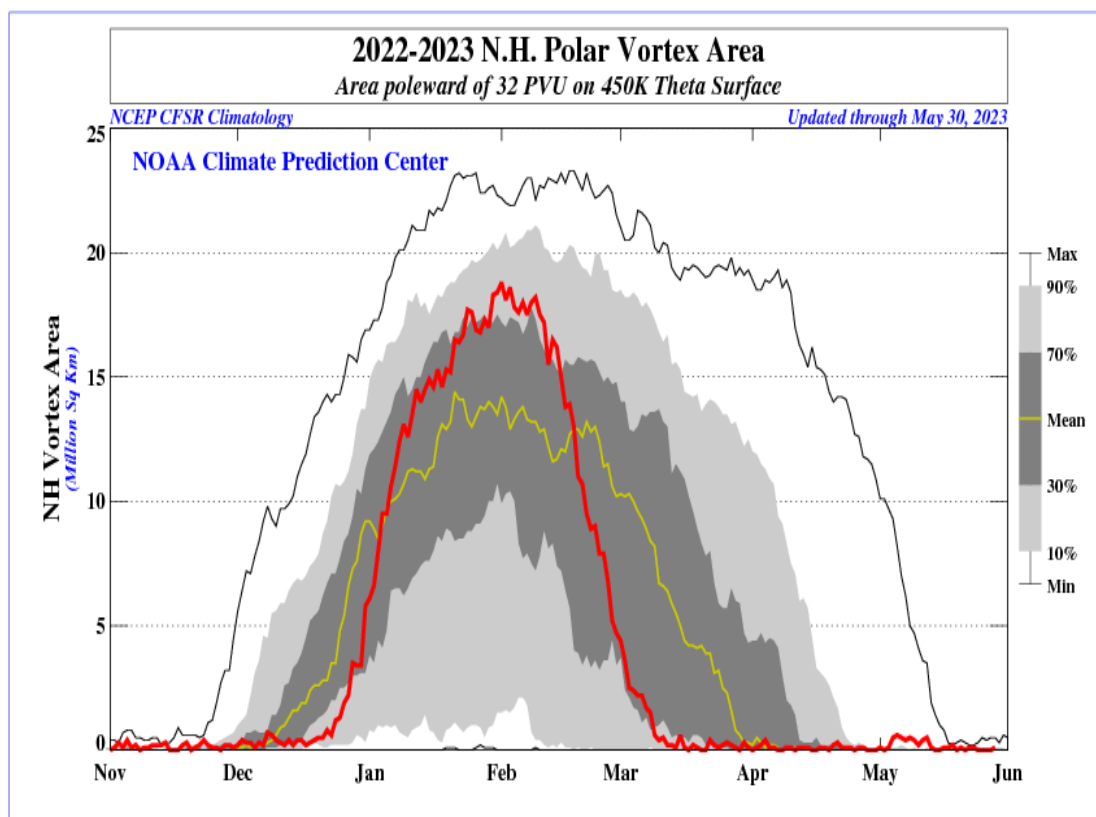
Dalszych wskazówek do wyjaśnienia anomalii ozonu w dolnej stratosferze dostarczają badania Ball i in. (2020), które wykazały, że mieszanie w stratosferze powietrza równikowego z natury ubogiego w ozon z powietrzem w średnich szerokościach geograficznych osłabia tempo naprawy warstwy ozonowej w wybranych rejonach na kuli ziemskiej. Dodatkowo stwierdzony wzrost koncentracji ozonu przyziemnego w strefie tropików sprzyja większej emisji jodu z powierzchni oceanu, powodując zmniejszenie zawartości ozonu w dolnej stratosferze nad równikiem, a następnie także i w strefie średnich szerokości geograficznych (Koenig i in. 2020). Potencjał niszczenia ozonu przez

jod jest porównywalny do tego z chlorem i bromem uwalnianych się z antropogenicznych gazów przenikających do stratosfery (Koenig i in. 2020), a których stosowanie zostało zabronione przez Protokół Montrealski z 1987 roku i późniejsze poprawki. Istnieją więc przesłanki do osłabienia regeneracji warstwy ozonowej, a może i powrotu do spadkowej tendencji zawartości ozonu w stratosferze nad niektórymi obszarami.



Rys. 5. Mapa WMO GOME-2 procentowych odchyłeń CZO₃ nad półkulą północną w dniu 15 lutego 2023 r.

Na rysunku 5 przedstawiono mapę WMO procentowych odchyłeń zawartości ozonu w kolumnie atmosfery (CZO₃) nad półkulą północną, na podstawie pomiarów satelitarnych GOME-2 i naziemnych, dla 15 lutego 2023. Największe ubytki CZO₃, sięgały blisko 40%, występowały nad Arktyką oraz w rejonie północnej Europy, w tym nad Polską. Zasięg geograficzny tych ubytków obejmował szerokości geograficzne od około 50°N do bieguna północnego, a największe anomalie koncentrowały się w strefie arktycznej i subarktycznej. Wielkość i zasięg przestrzenny obserwowanej anomalii CZO₃ kwalifikuje się jako mini-dziura ozonowa.



Rys. 6. Powierzchnia arktycznego wiru polarnego na powierzchni izentropowej 450K (~20km) podczas zimy stratosferycznej 2022/2023 nad półkulą północną https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar/gif_files/vtx_nh_2022-2023.png

Od połowy lutego postępował proces erozji wiru polarnego. W wyniku kilku impulsów ogrzania stratosferycznego temperatura we wnętrzu wiru na poziomie głównego maksimum koncentracji ozonu wzrosła znacznie powyżej -78°C (Rys. 1), co zakończyło sezonowy proces niszczenia ozonu. Przedwczesny rozpad arktycznego wiru polarnego na początku marca zapobiegł dużym stratom ozonu na wiosnę.

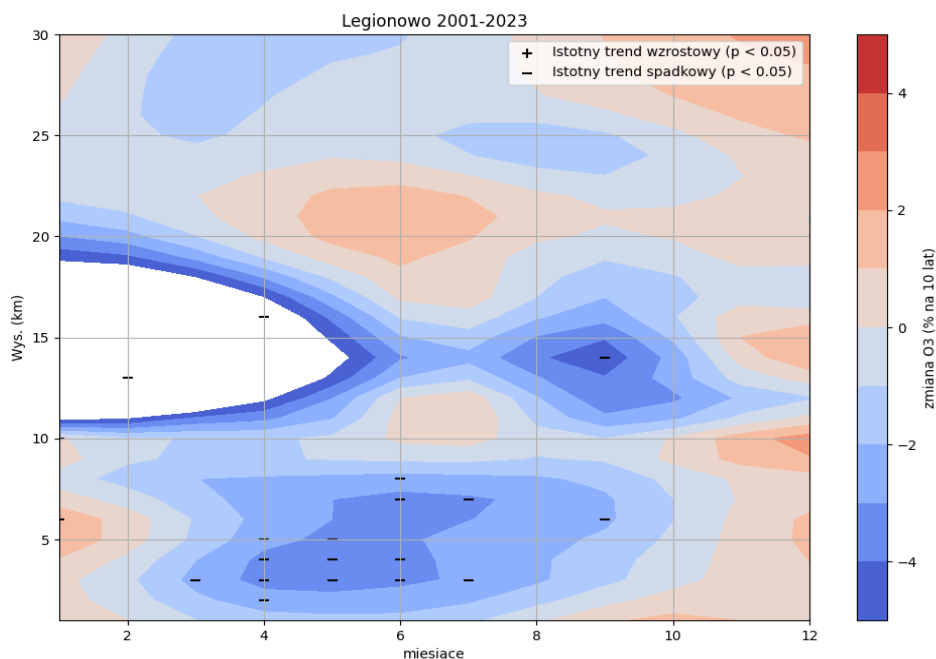
Istnieje wiele potencjalnych przyczyn powtarzających się epizodów letnich ubytków ozonu, które przypominają uwarstwienie mas powietrza jak w przypadkach mini-dziur ozonowych w chłodnej porze roku. Mogą to być zmiany w wielkoskalowej cyrkulacji atmosferycznej, ocieplenie klimatu jak również wpływ zanieczyszczeń powietrza. Dokładne zrozumienie tych zjawisk i ich potencjalnych konsekwencji wymaga bardziej szczegółowych badań i analiz. W przypadku dużych spadków poziomu ozonu w okresie letnim, przy sprzyjającej pogodzie i najwyższym położeniu Słońca, może dojść do rekordowego natężenia promieniowania UV.

Analiza wieloletnich zmian koncentracji ozonu nad Legionowem

Aby dokładnie zrozumieć trendy w zawartości ozonu w okresie zmniejszania ilości substancji niszczących warstwę ozonową, konieczna jest analiza zmian zarówno w troposferze, jak i w stratosferze. Istnieją dowody na to, że brak zmian w CZO_3 w strefie zwrotnikowej jest wynikiem wzrostu ozonu troposferycznego, który rekompensuje spadek ozonu w dolnej stratosferze (WMO, 2022). Ten spadek jest spowodowany przyspieszeniem cyrkulacji atmosferycznej związanej ze zmianami klimatycznymi i jest zgodny z wynikami modelowania. Diallo i in. (2018, 2019) wykazali istnienie strukturalnej zmiany cyrkulacji prowadzącej do osiadania ozonu w sezonie zimowym na półkuli północnej w warstwie maksimum ozonu. Niemniej jednak, analizy tych zmian przy użyciu różnych zestawów danych obserwacyjnych wykazują znaczące niepewności.

Sondaże ozonowe są szczególnie przydatne do analizy trendów ozonu w stratosferze do wysokości około 30-35km ze względu na ich dużą rozdzielczość pionową (~100m) i relatywnie niską niepewność pomiarową (~5-10%).

Na podstawie rutynowych sondaży ozonowych z lat 2001-2023 obliczono interpolowane wartości nieunormowanego ciśnienia cząstkowego ozonu, dla sondaży które osiągnęły powierzchnię 10hPa oraz ze współczynnikiem normalizacji Dobsona w zakresie 0,9-1,1. Przygotowanie danych do analizy obejmowało filtrację eksponentjalną (odrzućenie par danych z nienaturalnymi skokami danych), wygładzanie przerw w danych metodą spline, wyznaczenie średnich biegnących w warstwach 1km. Wybrano podzbiór danych ciśnienia cząstkowego ozonu przypisany do wysokości 1:30km; dane uśrednione w 1km warstwach, centrowane na środku. Obliczono średnie miesięczne profile w tych warstwach. Odrzucono anomalie w częściach profili przekraczające 3σ od średnich miesięcznych wieloletnich. Wyznaczono liniowe trendy w miesiącach metodą liniowej regresji. Przy prezentacji wyników na rysunku 7 zastosowano wygładzanie trendu z użyciem filtru gaussowskiego. Zaznaczono trendy istotne statystycznie ($p < 0,05$). Biały obszar oznacza, że przy dostępnej ilości danych wyznaczenie znaku trendu nie zawsze jest możliwe. Do bardzo dużej zmienności ozonu w dolnej stratosferze w sezonie zimowo-wiosennym przyczyniają się interakcje ozonu z dynamicznymi zmianami cyrkulacji.



Rys. 7. Zmiany zawartości ozonu nad Legionowem w okresie 2001-2023. Zaznaczono trendy istotne statystycznie ($p < 0,05$)

Wyniki analizy i dyskusja trendów w profilach ozonu:

- W dolnej stratosferze, po okresie silnego spadku ozonu w sezonie zimy i wiosny w szczytowym okresie nasycenia atmosfery (1979-1993) substancjami niszczącymi warstwę ozonową, następuje teraz wyraźne wyhamowanie.
- Równolegle, w średniej stratosferze, rozwija się nowa tendencja spadku ozonu. Spadki zaczynają się na wysokości 30km w końcu zimy i przenoszą się do nieco niższych wysokości (~24km) w końcu lata.

Analiza przypadków letnich ubytków ozonu nad Legionowem w raportach z lat poprzednich sugeruje powolny transport ozonu w warstwie 23-28km z wysokich szerokości geograficznych półkuli północnej.

Wskazówkami do wyjaśnienia trendów ozonu w średniej stratosferze (Rys. 7) i przypadków letnich ubytków nad Legionowem są badania Sagi i in. (2017). Na podstawie wieloletnich (2002-2013) obserwacji Odin/SMR wykazali, że ozon jest niszczone w średniej stratosferze, w fotochemicznym cyklu z tlenkami azotu. Głównym źródłem NO_x w stratosferze jest produkcja NO przez reakcję N_2O ze wzbudzonym atomem tlenu $\text{O}(^1\text{D})$, która pojawia się w niskich i umiarkowanych szerokościach geograficznych na wysokości około 30km (Brasseur i Solomon, 2005). Niszczenie ozonu powodowane

przez NO_x może się rozpoczynać jeszcze w czasie zimy i/lub na wiosnę, kiedy słabnie wir polarny.

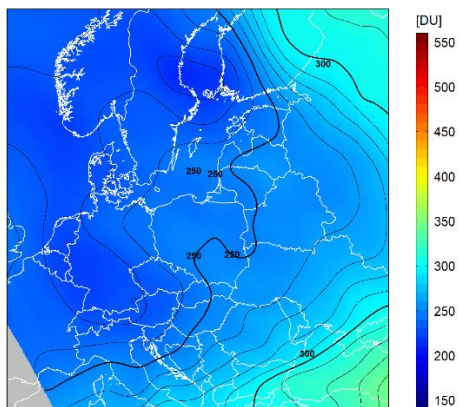
- We wrześniu obserwuje się zmniejszanie zawartości ozonu w warstwie UTLS. W porównaniu do stratosfery, dynamika ozonu w tej warstwie jest bardziej skomplikowana. Jedną z potencjalnych przyczyn może być wydłużanie się okresu ciepłego, które prowadzi do częstszej adwekcji powietrza zwrotnikowego. Jeśli do górnej troposfery trafia zwrotnikowe powietrze o niskiej zawartości ozonu, może to przyczynić się do obniżenia ogólnej koncentracji ozonu w tej warstwie.
- Spadki ozonu w troposferze swobodnej w cieplejszych miesiącach mogą być z jednej strony wynikiem przenikania ozonu w zubożonych polarnych masach po rozpadzie wiru polarnego na wiosnę, a z drugiej strony mniejszej emisji antropogenicznych prekursorów ozonu w okresie letnim.

2.4 Ozon całkowity z danych satelitarnych nad Europą Środkową w 2023 roku

Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2023 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 meteorologicznych Suomi-NPP (S-NPP) i NOAA-20. Satelity te przelatują nad Polską dwa razy na dobę: w godzinach od 09:15 UTC do 13:00 UTC oraz od 23:30 UTC do 02:30 UTC. Ponieważ czujnik OMPS mierzy promieniowanie w paśmie optycznym spektrum, do monitoringu całkowitej zawartości ozonu mogły być wykorzystane jedynie dane z dziennych przelotów satelitów S-NPP.

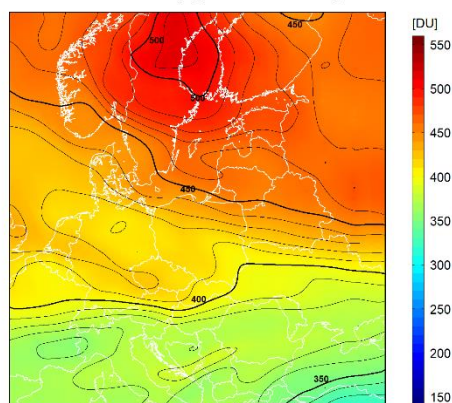
Pola całkowitej zawartości ozonu wygenerowane z danych OMPS były przekształcane do regularnej siatki współrzędnych w zakresie 40°-64° szerokości geograficznej północnej i 10°-28° długości geograficznej wschodniej z krokiem 0,25°. Interpolację przestrzenną wykonano metodą odwróconych odległości. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe rozkłady całkowitej zawartości ozonu nad Europą Środkową w odwzorowaniu Merkatora (EPSG:3395).

2023-02-13 godz. 11:10:40 - 11:18:24 UTC
Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

2023-03-05 godz. 11:36:04 - 11:43:26 UTC
Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery

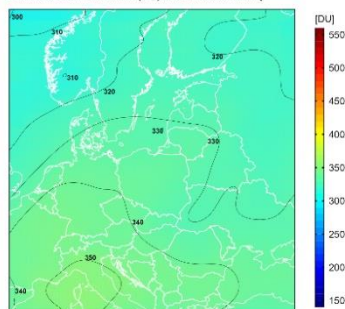


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Rys. 8. Całkowita zawartość ozonu w kolumnie atmosfery (w Dobsonach - DU) w dniach 13.02.2023 i 05.03.2023 r., wyznaczona z danych S-NPP/OMPS

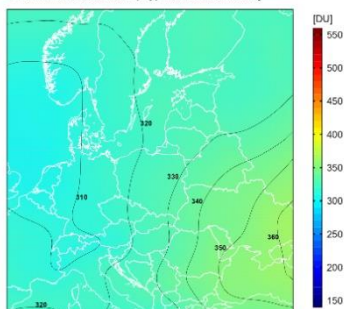
Dane o rozkładzie CZO₃ zostały wykorzystane do wyznaczenia średnich miesięcznych rozkładów całkowitej zawartości ozonu (Rys. 9)

2023-01 Miesięczna średnia (godz. 10-13 UTC)
Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



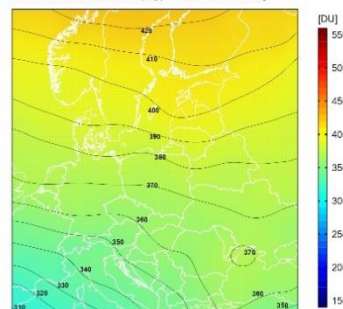
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

2023-02 Miesięczna średnia (godz. 10-13 UTC)
Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



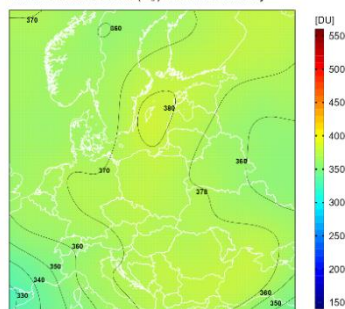
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

2023-03 Miesięczna średnia (godz. 10-13 UTC)
Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



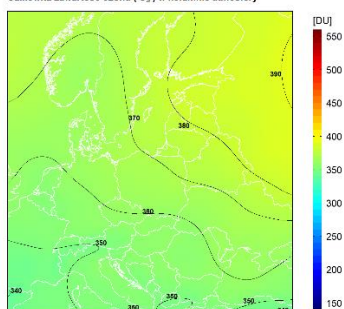
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

2023-04 Miesięczna średnia (godz. 10-13 UTC)
Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



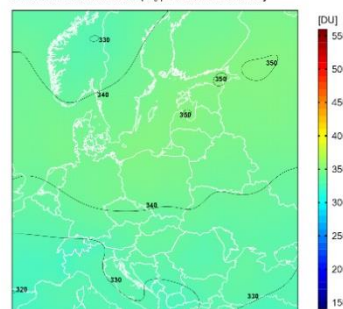
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

2023-05 Miesięczna średnia (godz. 10-13 UTC)
Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery

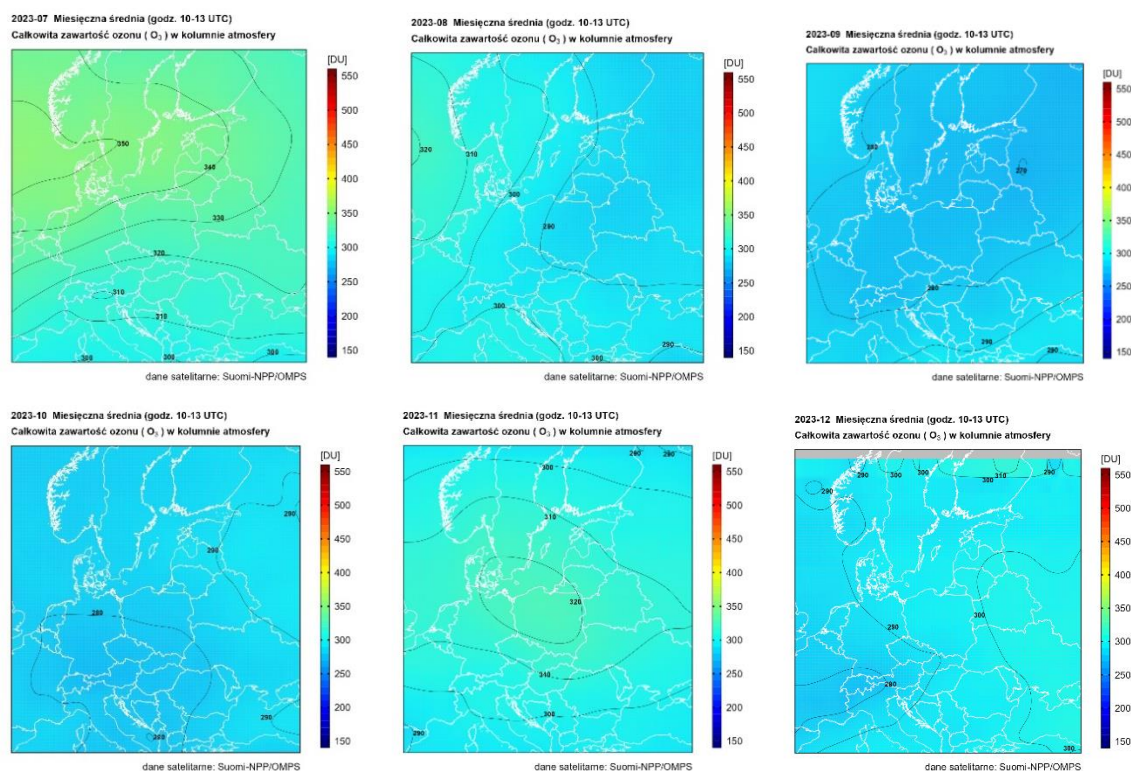


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

2023-06 Miesięczna średnia (godz. 10-13 UTC)
Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery

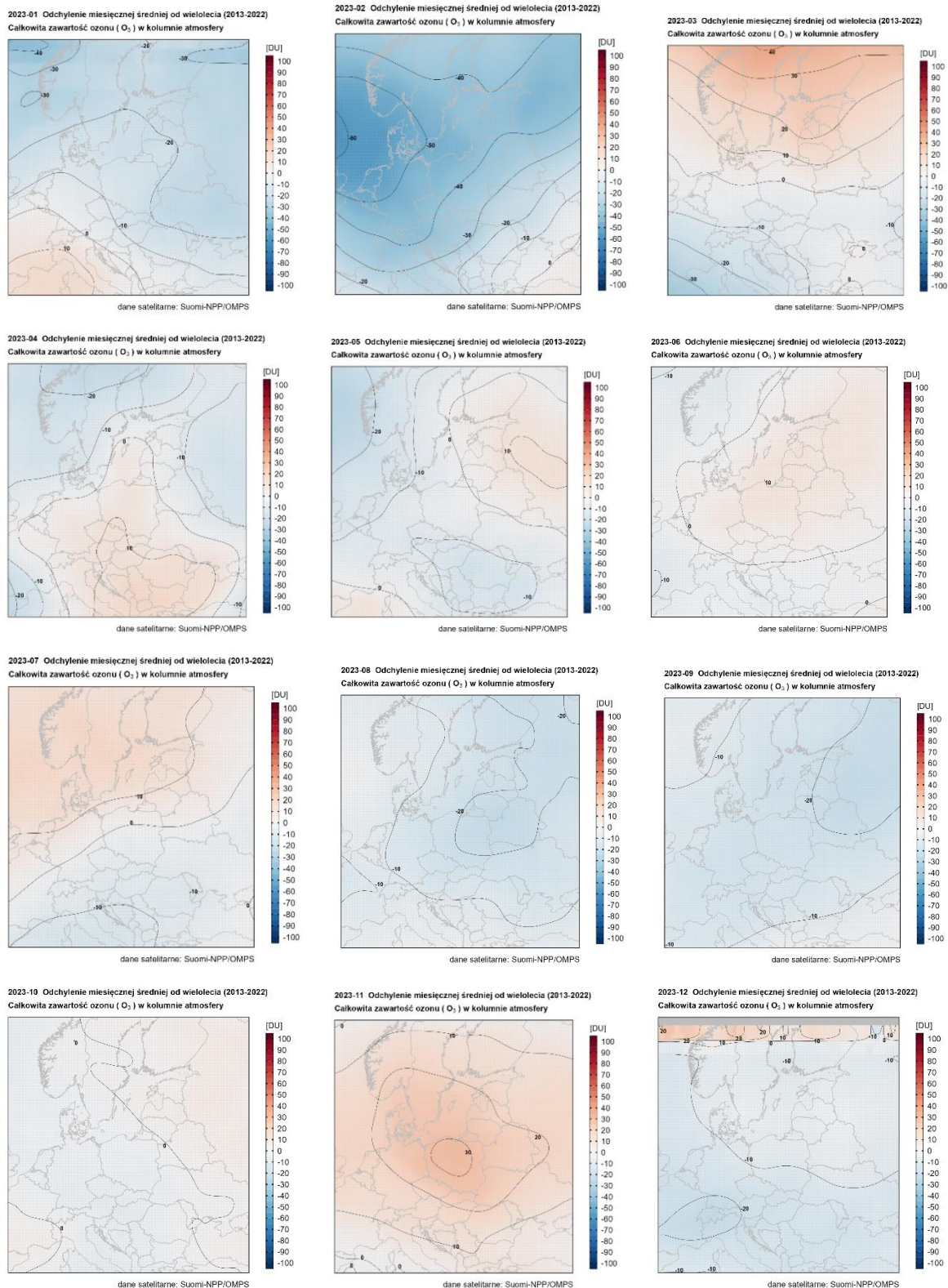


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS



Rys. 9. Średnie miesięczne rozkłady całkowitej zawartości ozonu w kolumnie atmosfery, wyznaczone z satelitarnych danych OMPS w 2023 r.

Otrzymana zmienność średnich miesięcznych rozkładów CZO₃ jest zgodna z cyklem rocznym tego parametru, który charakteryzuje się najwyższymi wartościami wiosną i najniższymi jesienią. Wyjątek stanowią rozkłady CZO₃ otrzymane dla stycznia i lutego 2023, które charakteryzują się wartościami typowymi dla lata. Te ujemne odchylenie widoczne jest również na rozkładach różnic średnich miesięcznych wartości CZO₃ w 2023 roku i średnich miesięcznych wieloletnich z lat 2013-2022 przedstawionych na rysunku 10. Największe ujemne odchylenia CZO₃ od średniej wieloletniej wystąpiły nad większością Europy Centralnej w lutym 2023. W styczniu 2023, obniżone wartości CZO₃ obserwowano w północnej części analizowanego obszaru. Z kolei marzec i listopad 2023 charakteryzowały się podwyższonymi wartościami CZO₃ otrzymanymi odpowiednio dla północnej części Europy Centralnej i Polski (Rys. 10).

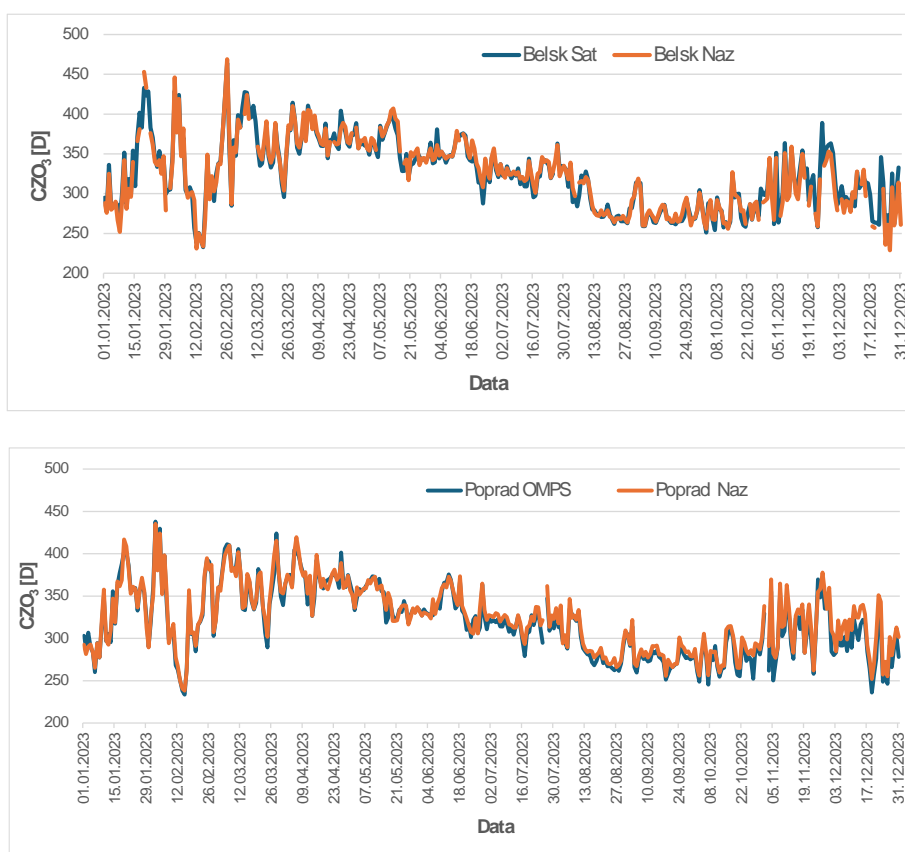


Rys. 10. Rozkłady odchyłeń średnich miesięcznych zawartości ozonu wyznaczonych z danych OMPS w 2023 r. od średnich miesięcznych wieloletnich z okresu 2013-2022

W ramach monitoringu prowadzono również weryfikację dokładności całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych OMPS poprzez porównanie

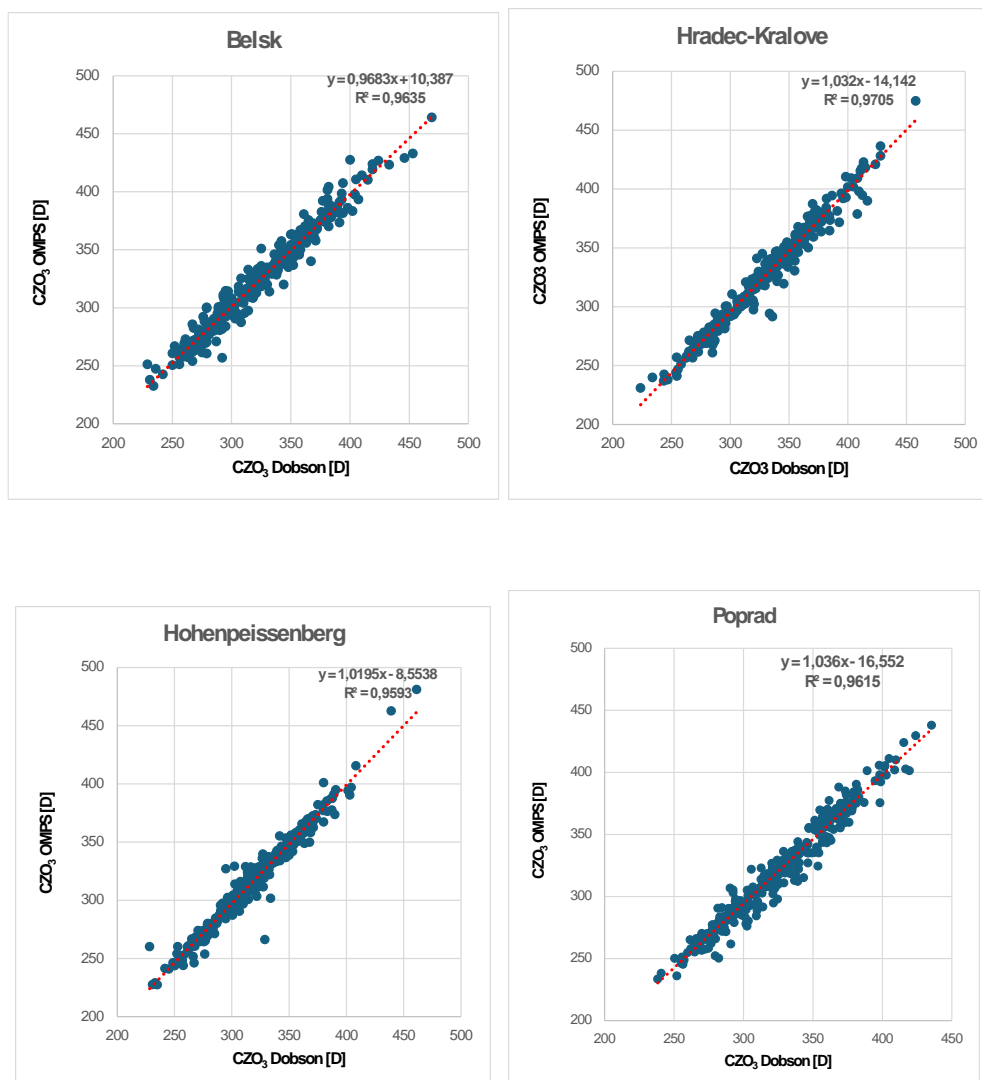
z pomiarami naziemnymi dla czterech stacji z obszaru Europy Środkowej, które znajdują się w obrębie każdej transmisji S-NPP. Stacje te to: Belsk (21°E, 52°N), Hohenpeissenberg (11°E, 47,8°N), Hradec-Kralove (15,8°E, 50,2°N) oraz Poprad (20,3°E, 49°N). Pomiary na tych stacjach wykonywane są spektrofotometrem Brewera (Poprad, Hradec-Kralove, Hohenpeissenebrg) oraz Dobsona (Belsk). Wszystkie dane naziemne wykorzystane w analizie pobrane zostały ze Światowego Centrum Danych Ozonowych i UV, znajdującego się w Toronto (Kanada) (www.woudc.org). Dla stacji Hradec-Kralove brak jest danych pomiarowych dla całego lipca oraz grudnia 2023 roku. Natomiast w przypadku serii pomiarowych ze stacji w Belsku i Hohenpeissenbergu zanotowano braki danych występujące w okresie całego roku. W przypadku Belska było to w sumie 25 dni a dla Hohenpeissenbergu – 92 dni.

Na rysunku 11 przedstawiono przykładowe przebiegi roczne CZO₃ wyznaczone z danych satelitarnych oraz zmierzone na stacjach w Belsku i Popradzie. Charakteryzują się one typową zmiennością z wyjątkiem kilku dni w styczniu i lutym 2023, kiedy widoczne są wyraźne spadki CZO₃.



Rys. 11. Przebiegi roczne całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych czujnika OMPS oraz zmierzonej spektrofotometrem dla stacji w Belsku i Popradzie w 2023 roku

Porównanie wartości całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych i z danych pochodzących ze stacji pomiarów naziemnych pokazano na rysunku 12.

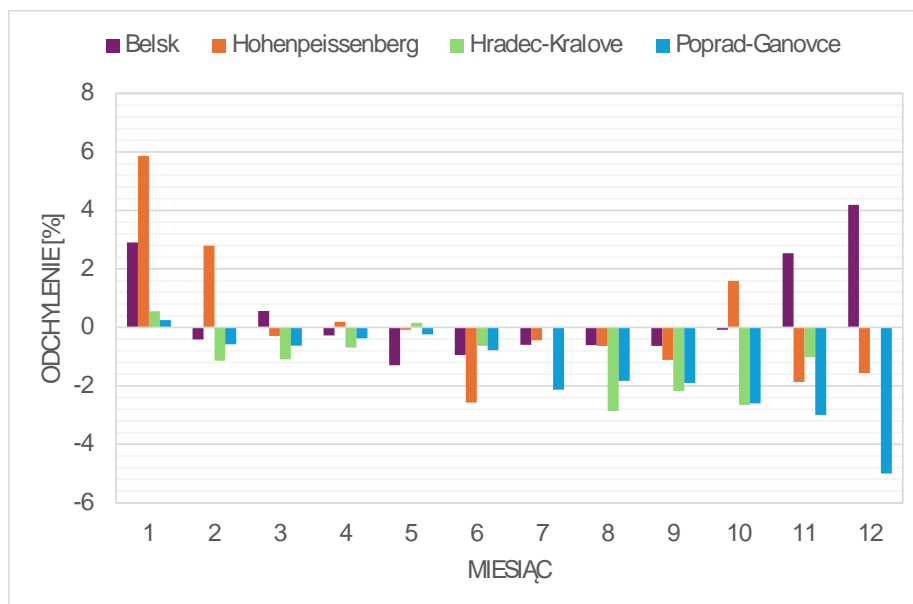


Rys. 12. Porównanie całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych czujnika OMPS oraz zmierzonej spektrofotometrem dla stacji w Belsku, Hradec-Kralove, Hohenpeissenbergu oraz Popradzie w 2023 roku. Linia kropkowaną zaznaczono krzywą regresji liniowej

Dla wszystkich czterech stacji otrzymano bardzo dobrą zgodność pomiędzy całkowitą zawartością ozonu wyznaczoną z danych satelitarnych OMPS oraz uzyskaną z pomiarów naziemnych. Współczynniki determinacji R^2 otrzymane dla poszczególnych stacji mieszczą się w przedziale od 0,959 do 0,971 (Rys. 12).

Przedstawiony na rysunku 13 rozkład średnich miesięcznych różnic procentowych uzyskany dla analizowanych stacji wskazuje na brak błędów systematycznych metody wyznaczania CZO₃, ale widoczna jest nieco gorsza dokładność metody zimą, co może

wynikać z niedokładności modelowania transferu promieniowania przy niskich kątach zenitalnych Słońca. Widoczne jest również zróżnicowanie dokładności metody w zależności od stacji i pory roku jednak trudno jest wskazać na jednoznaczne cechy tego zróżnicowania.



Rys. 13. Rozkład odchylenia średnich miesięcznych wartości całkowitej zawartości ozonu wyznaczonych dla Belska, Hohenpeissenbergu, Hradec-Kralove i Popradu wyznaczonych z danych satelitarnych OMPS od pomiarów naziemnych w roku 2023

W celu określenia dokładności metody wyznaczania zawartości ozonu z danych satelitarnych 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 2023 r. dla stacji Belsk, Hohenpeissenberg, Hradec-Kralove oraz Poprad

	Korelacja	Średnia różnica [D]	Średnia różnica bezwzględna [D]	RMSE %
Belsk	0,982	0,15	6,29	2,63
Hohenpeissenberg	0,979	-2,37	5,83	2,74
Hradec-Kralove	0,985	-3,63	6,49	2,69
Poprad	0,983	-4,86	7,24	2,97

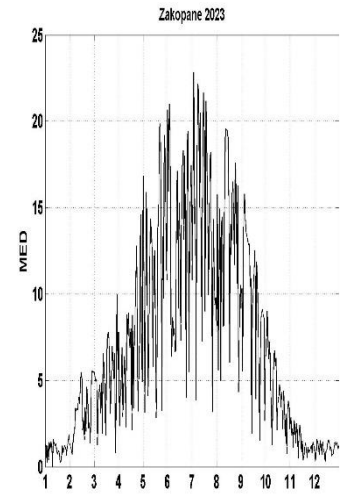
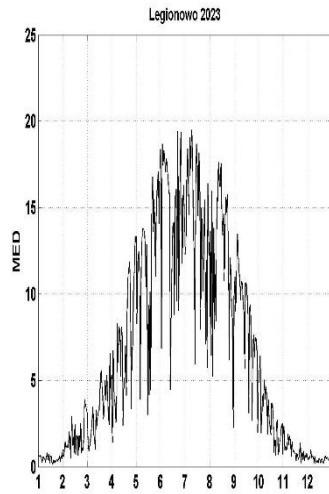
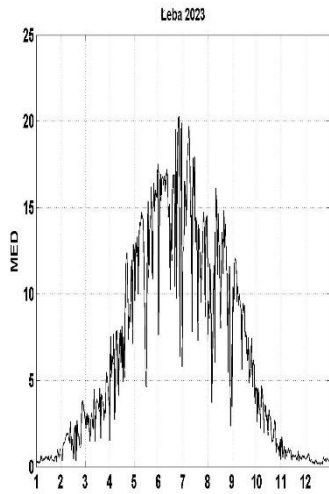
Dla wszystkich czterech stacji zgodność całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych OMPS z pomiarami naziemnymi jest bardzo dobra – średni błąd procentowy waha się w granicach od 2,63% do 2,97%. W przypadku wszystkich stacji, z wyjątkiem Belska, CZO_3 wyznaczona z danych satelitarnych OMPS jest zaniżona w stosunku do pomiarów naziemnych. Na uwagę zasługuje również bardzo wysoka korelacja, która dla wszystkich stacji jest większa lub równa 0,97.

2.5 Promieniowanie UV-B zmierzone na sieci monitoringu w 2023 roku

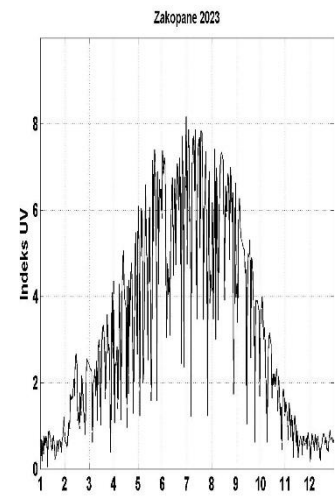
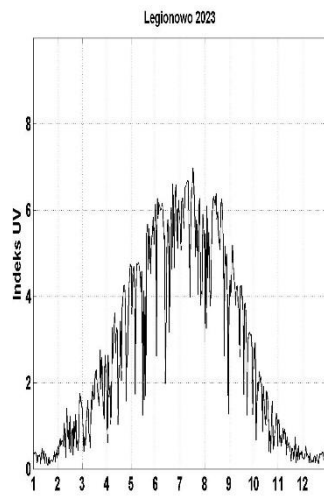
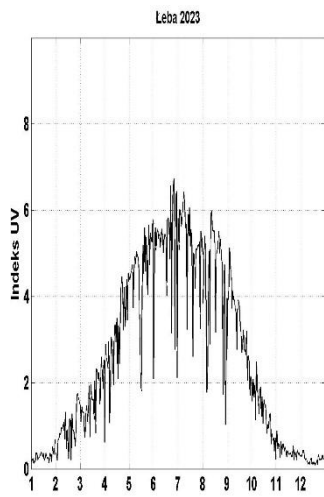
Pomiary rumieniowo czynnego promieniowania UV-B wykonywane są w sieci monitoringu IMGW-PIB od połowy 1993 r. z wykorzystaniem przyrządów UV Biometer Model 501 (SL501) firmy Solar Light, zainstalowanych na stacjach w Łebie, Legionowie i Zakopanem.

Poniżej przedstawiono wartości dawek dziennych UV-B [MED] i Indeksu UV (UVI) zmierzone na stacjach IMGW-PIB w 2023 roku (Rys. 14).

a)

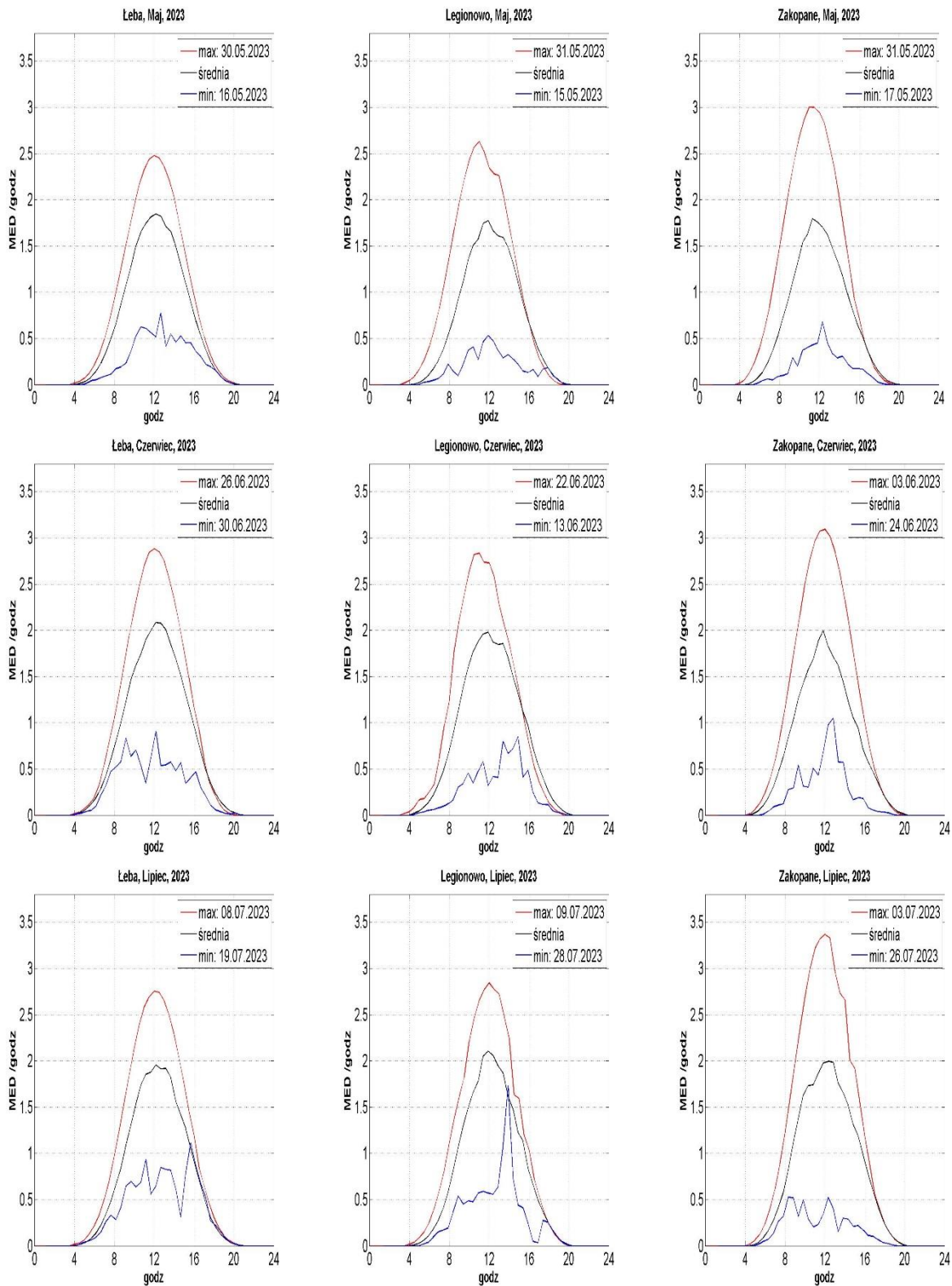


b)

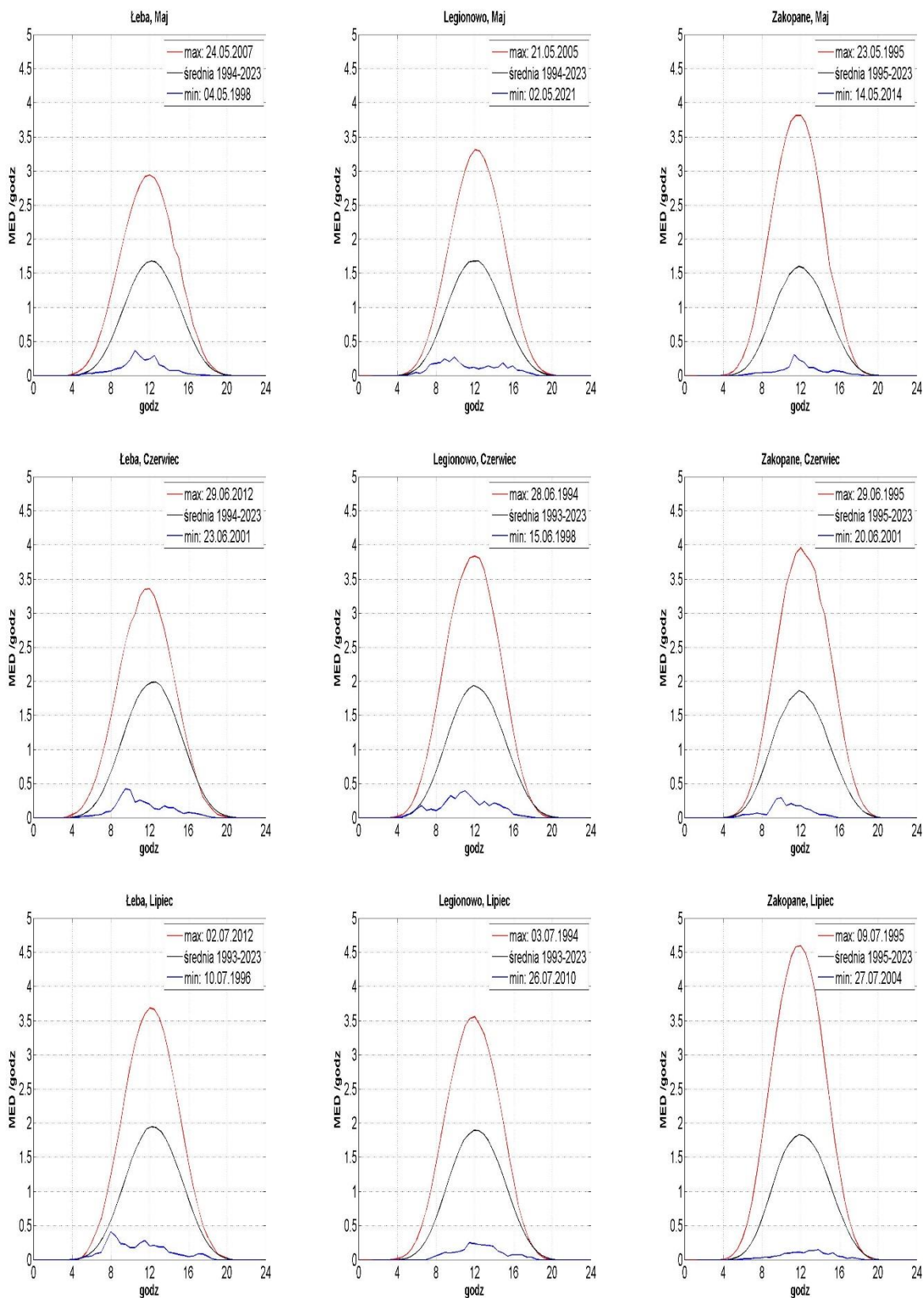


Rys. 14. Wartości dawek dziennych UV-B [MED] (a) i Indeksu UV (b) z czujników SL501 w Łebie, Legionowie i Zakopanem w 2023 r.

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. Górskie położenie stacji w Zakopanem powoduje, że wraz z nadejściem okresu ciepłego zaczynają rozwijać się tam procesy konwekcyjne sprzyjające powstawaniu chmur. Natomiast nad położoną nad Bałtykiem stacją w Łebie często napływa powietrze z północy z małą ilością aerozoli. W efekcie w pomiarach obserwuje się często odwrócenie rozkładu geograficznego promieniowania, tzn. największe promieniowanie występuje w Łebie a najmniejsze w Zakopanym. Maksymalne promieniowanie obserwuje się przy bezchmurnym niebie. Dlatego rozkład geograficzny maksimów dobowych promieniowania jest na ogół południkowy. Dla 2023 taki rozkład obserwuje się we wszystkich miesiącach z wyjątkiem czerwca i lipca, gdzie najmniejsze miesięczne maksima dobowe występowały dla Legionowa, (Tabela. 7, Rys. 15). Odwrócony rozkład można zaobserwować porównując miesięczne średnie dobowe dla kwietnia, maja i czerwca. Dla miesięcy od lipca do grudnia rozkład średnich dawek dobowych jest południkowy. Rozkłady, południkowy dla maksimów miesięcznych i odwrócony dla średnich dawek dobrze widać porównując dane dla serii pomiarowych (Rys. 16).



Rys. 15. Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B [MED/h] zmierzonych przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu 2023 r.



Rys. 16. Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B [MED/h] zmierzonych przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu dla całej serii pomiarowej od 1993 do 2023 r

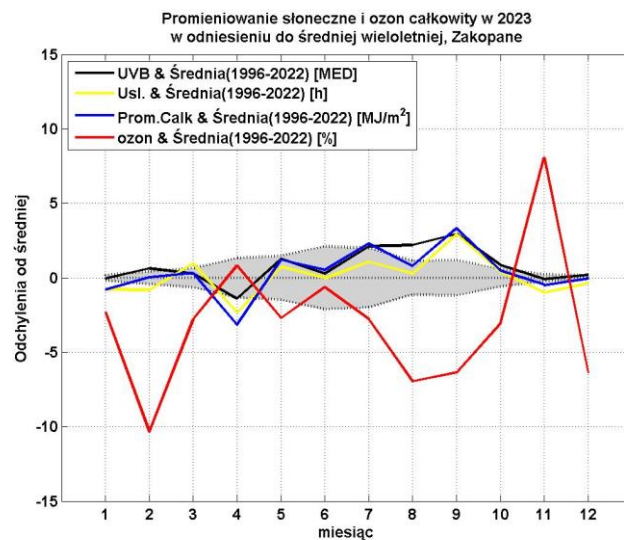
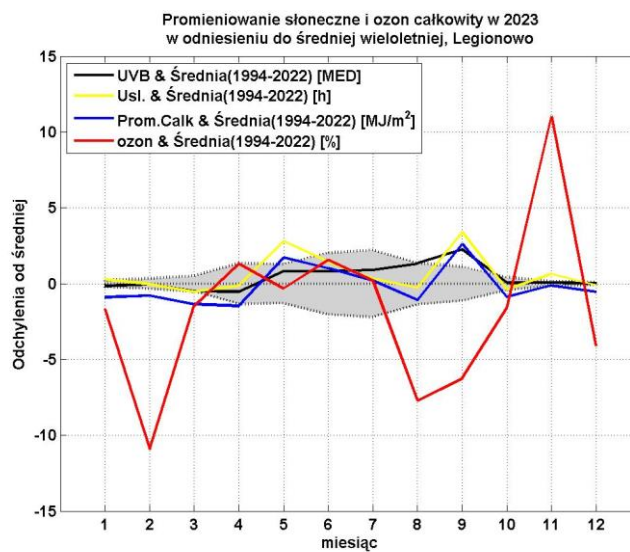
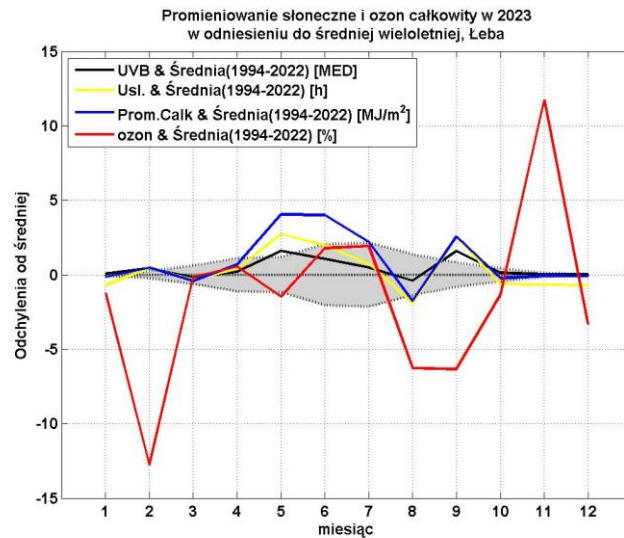
Tabela 7. Dienne – średnie, maksymalne i minimalne dawki UV-B oraz miesięczne dawki promieniowania UV-B (w MED) zmierzonych przyrządami SL501 w 2023 r.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Łeba												
Śr. Dobowe	0,5	1,6	3,2	7,4	13,0	15,0	13,9	10,2	7,8	2,5	0,7	0,3
Max. Dob.	1,0	3,8	5,5	12,8	17,5	20,3	19,7	16,1	12,1	4,7	1,7	0,8
Min. Dob.	0,2	0,3	1,5	1,5	4,6	5,8	7,3	2,4	3,5	0,4	0,3	0,1
Dawka mies.	15,3	45,2	100,4	221,0	402,0	451,1	431,6	314,8	233,6	77,7	21,3	10,8
Legionowo												
Śr. Dobowe	0,5	1,4	3,2	6,8	12,1	14,5	14,1	12,0	8,6	2,8	1,0	0,5
Max. Dob.	1,0	3,9	6,6	13,3	18,4	19,4	19,5	17,6	13,5	6,4	2,3	1,0
Min. Dob.	0,2	0,5	0,9	1,4	3,0	4,5	5,7	2,3	2,0	0,7	0,2	0,2
Dawka mies.	14,7	39,8	100,2	203,8	374,2	434,7	436,2	372,3	258,5	87,6	28,8	14,1
Zakopane												
Śr. Dobowe	1,0	2,9	5,0	6,5	11,7	13,0	14,3	12,8	9,6	4,4	1,4	1,1
Max. Dob.	1,9	5,5	10,0	14,6	20,7	21,0	22,8	19,5	15,8	9,0	2,9	1,6
Min. Dob.	0,0	0,7	0,8	2,1	2,8	4,0	3,2	4,4	1,5	0,8	0,4	0,3
Dawka mies.	30,9	79,9	154,5	194,3	361,6	388,7	443,3	395,3	288,2	136,0	43,4	32,6

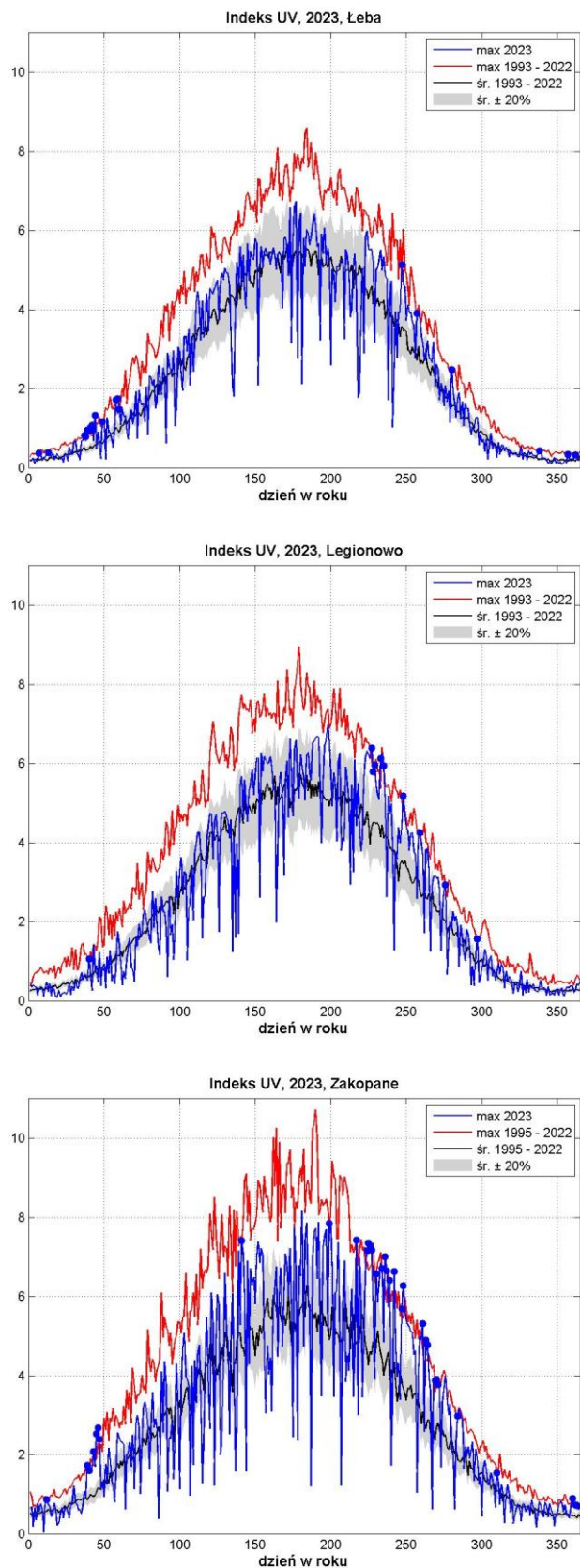
Dla 2023 roku maksymalną dawkę miesięczną, 451,1MED (Tabela 7) zmierzono w czerwcu dla Łeby. Maksymalną dawkę dobową, 22,85MED zaobserwowano dla 3 lipca w Zakopanem. Maksymalne dawki dobowe dla Łeby i Legionowa wystąpiły: 26 czerwca (Łeba, 20,27MED) oraz 9 lipca (Legionowo, 19,50MED). Maksymalne sumy miesięczne zmierzono dla Zakopanego i Legionowa w lipcu, odpowiednio 443,3MED oraz 436,2MED.

Ilość promieniowania UV docierającego do powierzchni Ziemi zależy od wielu czynników. Dlatego do oceny przyczyn jego zmiany wykorzystano prowadzone równolegle 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 17 porównano średnie miesięczne wartości 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 2023 roku wyróżniają się pomiary z września gdzie promieniowanie UV-B było większe od typowych wartości, identyfikowanych przez odchylenie standardowe (szary obszar) dla Łeby, Legionowa i Zakopanego. Jest to skorelowane z mniejszą od średniej ilością ozonu całkowitego oraz większym od średniej usłonecznieniem. Związane to było z występującą w tym okresie wyżową pogodą dającą wiele bezchmurnych dni. W tym miesiącu zwiększone promieniowanie UV było skorelowane z większym od średniego promieniowaniem całkowitym. Podobna, chociaż mniej zauważalna, sytuacja obserwowana była w maju, w Łebie. W Zakopanem okres podwyższonego promieniowania UV trwał od lipca do września. W sierpniu mimo, że ilość usłonecznienia była zbliżona do wartości średniej, mniejsza od średniej ilość ozonu całkowitego spowodowała podwyższone UV.



Rys. 17. Odchylenie od średniej wieloletniej promieniowania UV-B, promieniowania całkowitego, ozonu całkowitego i usłonecznienia w 2023 r. Szary obszar reprezentuje zmienność promieniowania UV-B w granicach $\pm 1\sigma$. Średnie wieloletnie wartości ozonu całkowitego obliczone na podstawie danych satelitarnych



Rys. 18. Przebiegi roczne Indeksu UV z 2023 roku dla stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem na tle średniego oraz maksymalnego Indeksu UV od początku pomiarów do 2022 roku dla każdej stacji. Niebieskie punkty oznaczają ekstremalne wartości w serii dla danego dnia roku zmierzone w 2023 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.

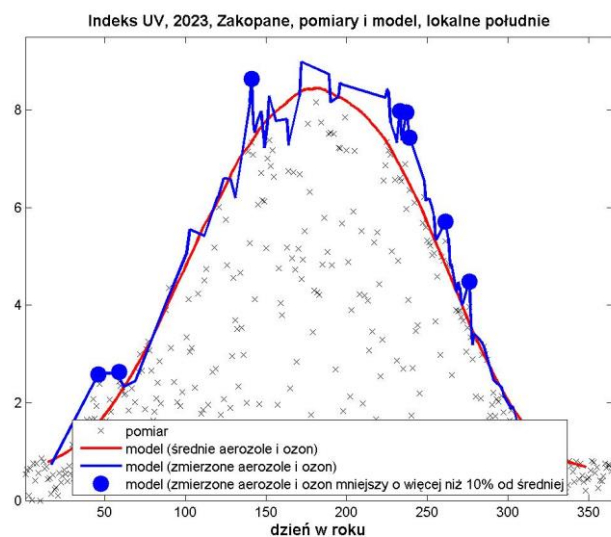
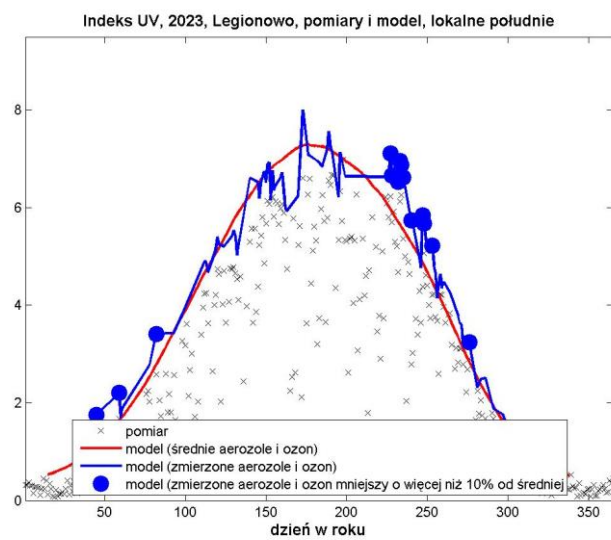
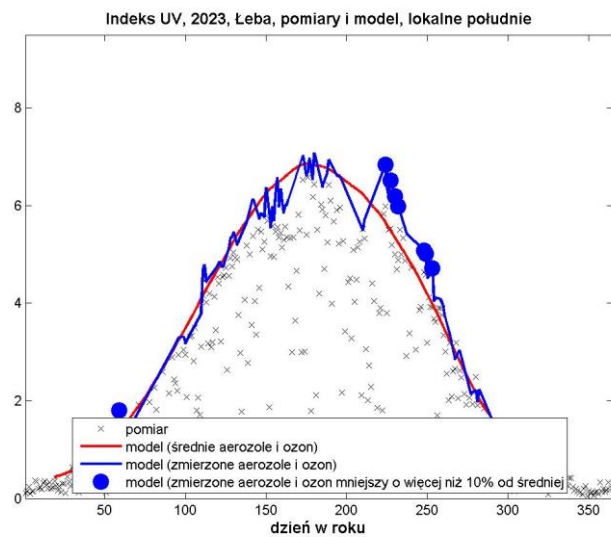
Na rysunku 18 przedstawiono przebieg roczny Indeksu UV z 2023 roku na tle średniego oraz maksymalnego Indeksu UV z okresu od 1993 (Zakopane od 1995) do 2022 roku dla każdej ze stacji.

W roku 2023 podwyższone wartości Indeksu UV obserwowano głównie na stacji w Zakopanem, od sierpnia do września. W szeregu dni zaobserwowano ekstremalne w seriach wartości Indeksu UV. W mniejszym stopniu, w tym okresie, ekstremalne UV wystąpiło także w pojedynczych dniach w Legionowie i Łebie. Wyróżniają się też pomiary Indeksu UV dla Zakopanego i Łeby, z lutego oraz w pojedynczych dniach w styczniu i grudniu kiedy obserwowano ekstremalne promieniowanie. W pozostałych miesiącach zmierzono zbliżone do typowych wartości Indeksu UV. Największe wartości Indeksu UV na stacjach IMGW-PIB w 2023 roku zmierzono odpowiednio: 30 czerwca w Zakopanem (UVI 8,2), w Legionowie 17 lipca (UVI 7,0) i w Łebie 26 czerwca (UVI 6,7).

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 wyznaczone zwykle dla dłuższych długości fal niż UV. Nieliczne pomiary w zakresie UV używane do wyznaczenia 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 2023 roku obliczono, używając model transferu promieniowania słonecznego FastRT wartości Indeksu UV dla bezchmurnego nieba dla lokalnego południa (Rys. 19).

Podobne obliczenie wykonano dla danych uśrednionych ozonu całkowitego i aerozoli 30-dniową średnią biegnącą z okresu 2005-2022. Na rysunku umieszczono również pomiary Indeksu UV z 2023 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.

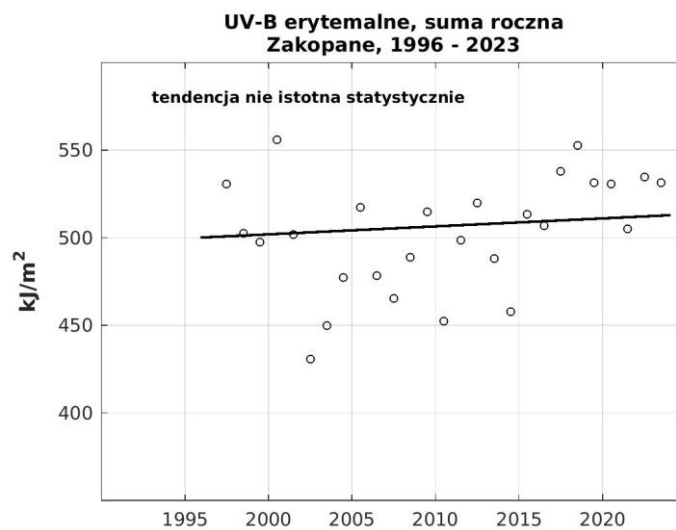
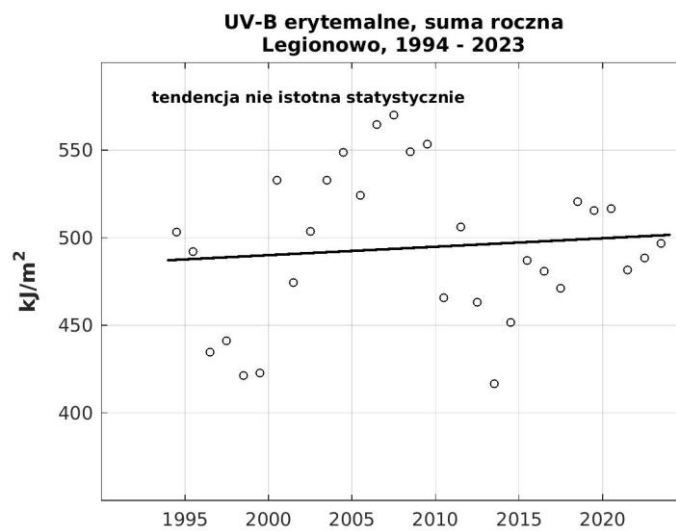
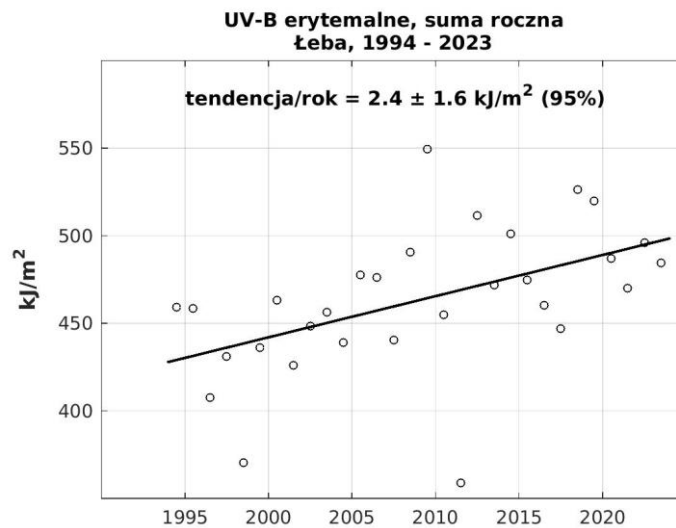
W 2023 roku zwracają uwagę pomiary dla wszystkich stacji w sierpniu i wrześniu oraz w lutym. Podwyższone promieniowanie można, w większości przypadków, przypisać mniejszą od typowej w tym okresie ilością ozonu całkowitego (niebieskie kropki).



Rys. 19. Przebiegi roczne Indeksu UV z 2023 roku obliczonego z wykorzystaniem modelu transferu promieniowania słonecznego FastRT dla stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem z wykorzystaniem pomiarów satelitarnych ozonu całkowitego i aerozoli 2005-2023

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 jest wykonanie tzw. homogenizacji, gdzie skorygowane zostaną 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 and Kylling 2005), Jako sytuacje bezchmurne przyjęto takie, gdy występowało pełne usłonecznienie uzyskane z równolegle prowadzonych na stacjach pomiarów aktynometrycznych. Do obliczeń użyto dane o ozonie całkowitym i aerozoluach z NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Centre (GES DISC). Na rysunku 20 przedstawiono serię danych po przeliczeniu.



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

Okazało się, że występuje istotna statystycznie tendencja dodatnia wzrostu dawek rocznych promieniowania erytemalnego UV-B dla stacji w Łebie $+2,4 \pm 1,6 \text{ kJ/m}^2$ rocznie (poziom ufności 95%). Tendencja głębokości optycznej z danych z re-analazy (GES DISC) dla długości 305nm okazała się ujemna i istotna statystycznie. Może to sugerować, że jednym z czynników który mógł spowodować wzrost UV było zmniejszenie ilości aerozoli. Dla Legionowa i Zakopanego nie znaleziono istotnych statystycznie tendencji.

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.

Protokół Montrealski, wraz z jego uzupełnieniami zapobiegł katastrofalnemu zubożeniu warstwy ozonowej i dzięki temu oznaki jej regeneracji są teraz widoczne. Powrotu warstwy ozonowej do stanu sprzed 1980. można oczekiwać w drugiej połowie XXI w. Długa skala czasowa odzysku warstwy ozonowej wynika z powolnego tempa, w jakim substancje zubożające warstwę ozonową są usuwane z atmosfery w procesach naturalnych. Dlatego należy zapewnić wysokiej jakości pomiary satelitarne i naziemne całkowitej zawartości ozonu oraz profili ozonu. Duże znaczenie mają pomiary na 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.

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. Niszczenie stratosferycznej warstwy ozonowej nad Arktyką jest mniejsze niż nad Antarktydą i wykazuje większe wahania z roku na rok z powodu wysoce zmiennych warunków meteorologicznych w rejonach polarnych półkuli północnej. W marcu i kwietniu 2020 roku nad Arktyką pojawiły się wyraźne oznaki dziury ozonowej. Ale nawet największe ubytki ozonu w Arktyce nie prowadzą do całkowitej zawartości ozonu tak niskiej jak nad Antarktydą, ponieważ zawartości ozonu w Arktyce na początku zimy są znacznie większe niż te nad Antarktydą. W związku z tym rozległa i powtarzająca się dziura ozonowa jak nad Antarktydą nie pojawia się w Arktyce.

W ostatnich latach na stan warstwy ozonowej w obszarach polarnych i poza nimi wpływają interakcje ozonu z klimatem, poprzez zmiany w cyrkulacji atmosfery i wzrost koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze. Informacje o rozmieszczeniu pionowym są szczególnie ważne w badaniach transportu ozonu, ponieważ ruch w atmosferze jest głównie poziomy. Dokładne dane sondaży ozonowych pochodzące ze światowej sieci GAW są coraz ważniejsze dla zrozumienia długoterminowych zmian zarówno w ozonie troposferycznym, jak i stratosferycznym - każdy z nich może mieć wpływ na zmiany w quasi-poziomym transporcie dalekiego zasięgu, a także pionową wymianę / mieszanie między warstwami.

Analiza aktualnych trendów ozonu, na podstawie zhomogenizowanej serii danych sond ozonowych w Legionowie w latach 2001-2023 wykazała wyhamowanie spadków ozonu w dolnej stratosferze.

Nowym sygnałem trendowym jest pojawienie się spadku ozonu w średniej stratosferze w cieplej porze roku, który można wiązać z podtlenkiem azotu. W przeciwieństwie do CFC, stosowanie i emisja N₂O nie są regulowane Protokołem Montrealskim. Podtlenek azotu jest największą pojedynczą substancją zubożającą warstwę ozonową, która, jeśli jej emisje nie będą kontrolowane pozostanie dominującą substancją zubożającą warstwę ozonową w XXI wieku. Zmniejszenie emisji podtlenku azotu zwiększyłoby zatem tempo odbudowy warstwy ozonowej i zmniejszyłoby antropogeniczne wymuszanie klimatu.

Spadkowy trend ozonu w dolnej troposferze jest wynikiem zmniejszenia ilości zanieczyszczeń prekursorów ozonu. Na wielu stacjach w strefie umiarkowanych szerokości geograficznych półkuli północnej wiosną i latem 2020 roku 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.

Dane satelitarne pokazują, że w 2023 roku największe ujemne odchylenia CZO_3 od średniej wieloletniej wystąpiły nad większością Europy Centralnej w lutym. W styczniu 2023, obniżone wartości CZO_3 obserwowano w północnej części analizowanego obszaru. Z kolei marzec i listopad 2023 charakteryzowały się podwyższonymi wartościami CZO_3 otrzymanymi odpowiednio dla północnej części Europy Centralnej i Polski.

W 2023 roku zwracają uwagę pomiary promieniowania UV-B dla wszystkich stacji w sierpniu i wrześniu oraz w lutym. Podwyższone promieniowanie można, w większości przypadków, przypisać mniejszą od typowej w tym okresie ilością ozonu całkowitego.

Dla 2023 roku maksymalną dawkę miesięczną, 451,1MED zmierzono w czerwcu dla Łeby. Maksymalną dawkę dobową, 22,85MED zaobserwowano dla 3 lipca w Zakopanem. Maksymalne dawki dobowe dla Łeby i Legionowa wystąpiły: 26 czerwca (Łeba, 20,27MED) oraz 9 lipca (Legionowo, 19,50MED). Maksymalne sumy miesięczne zmierzono dla Zakopanego i Legionowa w lipcu, odpowiednio 443,3MED oraz 436,2MED.

Największe wartości Indeksu UV na stacjach IMGW-PIB w 2023 roku zmierzono odpowiednio: 30 czerwca w Zakopanem (UVI 8,2), w Legionowie 17 lipca (UVI 7,0) i w Łebie 26 czerwca (UVI 6,7).

3. Opracowanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych

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

Od 1979 roku, sondaże ozonowe w Legionowie wykonuje się w systemie Światowego Monitoringu Ozonu WMO z podstawową częstotliwością 1 raz w tygodniu. Wykonuje się również dodatkowe sondaże związane z udziałem w projekcie MATCH badania chemicznego niszczenia ozonu w stratosferze w wirze polarnym. Wyniki sondaży ozonowych są systematycznie przekazywane do bazy Globalnej Sieci Detekcji Zmian Składu Atmosfery (NDACC). Są one dostępne publicznie w centrum obliczeniowym NASA LaRC, (<https://www-air.larc.nasa.gov/missions/ndacc/data.html#>) po upływie 1 roku od pomiaru.

Stations available 112
Clear ALL

- kitt.peak
- la.reunion.maido
- la.reunion.stdenis
- lannemezan
- laramie.wy
- lauder
- legionowo
 - ames »
 - o3sonde
- lerwick
- lindenberg
- london.ontario
- macquarie.island
- marambio

Files available 1127
Uncheck Files Create Download File ... Selected files = 226.85 MB
Download Type: .zip .tar

legionowo/ames

Download	legionowo/ames (files [...] 1127)	Size (KB)	Date
<input checked="" type="checkbox"/>	o3sonde/lg230531.b11	213.11	20240516
<input checked="" type="checkbox"/>	o3sonde/lg230524.b11	180.24	20240516
<input checked="" type="checkbox"/>	o3sonde/lg230301.b11	236.60	20240516
<input checked="" type="checkbox"/>	o3sonde/lg991229.b11	42.17	20231021
<input checked="" type="checkbox"/>	o3sonde/lg991027.b11	35.64	20231021
<input checked="" type="checkbox"/>	o3sonde/lg991020.b11	35.85	20231021
<input checked="" type="checkbox"/>	o3sonde/lg991014.b11	37.59	20231021
<input checked="" type="checkbox"/>	o3sonde/lg991013.b11	34.05	20231021
<input checked="" type="checkbox"/>	o3sonde/lg990929.b11	34.63	20231021
<input checked="" type="checkbox"/>	o3sonde/lg990922.b11	37.06	20231021
<input checked="" type="checkbox"/>	o3sonde/lg990825.b11	32.05	20231021

Rys. 21. Raport o danych sondazy ozonowych z Legionowa w bazie NDACC

Data Search / Download

Data updates and notifications

The WOUDC data archive can be searched by data category: there are six ozone data categories and three ultraviolet (UV) radiation data categories. The ozone datasets for total column ozone include total ozone and total ozone observations and the vertical ozone profile includes lidar, ozonesonde, Umkehr N-value and C-Umkehr. The UV datasets for UV irradiance include broadband, multiband and spectral.

To search and download data, select the dataset and observation time period. Optionally, draw your map extent of interest and then hit search. All available data for that time period will be displayed.

For more details on how to use this page, please view the [How to Use](#) guide.

Select Dataset, Station, Instrument, Time Period

Dataset
OzoneSonde

Country | Optional
Poland (POL)

Station | Optional
Legionowo (221)

Instrument | Optional
...

Start
2023

End
2024

Set Your Map Extent
How to Use: Interactive Map

Data Distribution For: Ozone Sonde | Station: Legionowo (221) | Country: Poland (POL)

Year	Total Obs	Total Files
2023	~50	~50
2024	~10	~10

Total Observations in Range: 61

Rys. 22. Raport o danych sondazy ozonowych z Legionowa w bazie WOUDC

Od 1994 roku wyniki sondazy 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 sondaży 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 23 przedstawiono fragment listingu zawartości serwera.

The screenshot shows an FTP client window with the following details:

- Window title: kois@upload.nilu.no (legionow) x Nowa sesja
- Address bar: /viper/nadir/projects/vintersol/data/o3sondes/legionow/
- Toolbar: Pobierz, Edytuj, Właściwości, Nowy
- Table columns: Nazwa, Rozmi..., Zmodyfikowany, Prawa, Właś...

Nazwa	Rozmi...	Zmodyfikowany	Prawa	Właś...
ws_ftp.log	1 KB	10.08.2006 09:0...	rw-r--r--	kois
nilu_20240529_112...	60 KB	29.05.2024 13:5...	rw-r--r--	kois
nilu_20240522_111...	328 KB	22.05.2024 15:2...	rw-r--r--	kois
nilu_20240515_111...	231 KB	15.05.2024 14:4...	rw-r--r--	kois
nilu_20240508_111...	334 KB	08.05.2024 15:2...	rw-r--r--	kois
nilu_20240501_112...	312 KB	01.05.2024 15:1...	rw-r--r--	kois
nilu_20240424_111...	353 KB	24.04.2024 15:2...	rw-r--r--	kois
nilu_20240417_111...	64 KB	17.04.2024 14:1...	rw-r--r--	kois
nilu_20240410_111...	340 KB	10.04.2024 15:3...	rw-r--r--	kois
nilu_20240403_112...	346 KB	03.04.2024 15:2...	rw-r--r--	kois
nilu_20240327_111...	100 KB	27.03.2024 14:1...	rw-r--r--	kois
nilu_20240320_111...	353 KB	20.03.2024 14:2...	rw-r--r--	kois
nilu_20240313_111...	51 KB	13.03.2024 14:1...	rw-r--r--	kois
nilu_20240306_111...	329 KB	06.03.2024 14:1...	rw-r--r--	kois
nilu_20240228_112...	320 KB	28.02.2024 14:5...	rw-r--r--	kois
nilu_20240221_111...	332 KB	21.02.2024 14:2...	rw-r--r--	kois
nilu_20240214_111...	319 KB	14.02.2024 14:0...	rw-r--r--	kois
nilu_20240207_111...	200 KB	07.02.2024 13:3...	rw-r--r--	kois
nilu_20240131_111...	344 KB	31.01.2024 14:1...	rw-r--r--	kois
nilu_20240124_111...	281 KB	24.01.2024 14:0...	rw-r--r--	kois
nilu_20240117_112...	226 KB	17.01.2024 13:4...	rw-r--r--	kois
nilu_20240110_111...	208 KB	10.01.2024 13:4...	rw-r--r--	kois

Rys. 23. Raport o danych przekazywanych do bazy NILU

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 to nas do przesyłania na serwer NDACC plików w ustalonym formacie zawierających metadane oraz pionowe profile PTUW i O₃, oraz do corocznego raportowania pracy stacji. We wrześniu 2023 r. przesłano do NDACC raport roczny dotyczący danych sond ozonowych z poprzedniego roku oraz zaktualizowany opis metadanych.

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 2023 roku.

Współpraca międzynarodowa

- W dniach 30 czerwca i 6 lipca 2023 r. uczestniczono w spotkaniach Grupy Roboczej NDACC O3Sondes. Gospodarzami spotkania byli Współprzewodniczący Grupy Roboczej: Ryan Stauffer (NASA/GSFC) i Roeland Van Malderen (RMI). Spotkania poświęcone były aktualizacjom i dyskusjom dotyczącym stacji sondaży ozonowych.
- W grudniu 2023 ukazał się na stronie WMO, jako Raport GAW nr 284, raport z Trzeciej Międzynarodowej Kampanii Kalibracji Radiometrów Słonecznych UV (*Third International Solar UV Radiometer Calibration Campaign (UVC-III)*), która odbyła w 2022 roku w Obserwatorium Fizyczno – Meteorologicznego Światowego Centrum Promieniowania (PMOD/WRC) w Davos (Szwajcaria). W kampanii tej wzięły udział 2 czujniki promieniowania UV SL501 pracujące na sieci IMGW-PIB. [Report of the Third International Solar UV Radiometer Calibration Campaign \(UVC-III\) \(wmo.int\)](https://www.wmo.int/en/our-work/our-workshops-and-campaigns/uv-calibration-campaign-2022)

4. Podsumowanie

W 2023 roku realizowano program monitorowania rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą oraz promieniowania UV-B w Polsce.

W 2023 roku na Stacji Aerologicznej w Legionowie wykonano 52 rutynowych sondaży ozonowych, 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 2023 program pomiarowy został wykonany w 100%.

W 2023 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 czujnika oraz porównanie ze spektrofotometrem wzorcowym. Dla czujnika został wydany certyfikat kalibracji.

Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2023 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 meteorologicznych Suomi-NPP (S-NPP) i NOAA-20. Monitoring prowadzony był prawie bez problemów. Jedynie w dniach 26 lipca i 2 listopada całkowita zawartość ozonu nie została wyznaczona z powodu błędów w transmisji danych satelitarnych.

Wyniki sondaży ozonowych były regularnie przekazywane do Bazy Danych w NILU, w Norwegii gdzie są wykorzystywane do opracowania wyników kampanii MATCH, do bazy Globalnej Sieci Detekcji Zmian Składu Atmosfery (NDACC) w centrum obliczeniowym NASA LaRC 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 umowy monitoringu w roku 2023, zostały dołączone do niniejszego raportu na płycie CD.

5 Literatura

1. Ball, W. T., Alsing, J., Mortlock, D. J., Staehelin, J., Haigh, J. D., Peter, T., Tummon, F., Stübi, R., Stenke, A., Anderson, J., Bourassa, A., Davis, S. M., Degenstein, D., Frith, S., Froidevaux, L., Roth, C., Sofieva, V., Wang, R., Wild, J., Yu, P., Ziemke, J. R., and Rozanov, E. V.: Evidence for a continuous decline in lower stratospheric ozone offsetting ozone layer recovery, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 1379-1394, <https://doi.org/10.5194/acp-18-1379-2018>, 2018.
2. Ball W.T., Chiodo G., Abalos M., Alsing J.: Inconsistencies between chemistry climate model and observed lower stratospheric trends since 1998, *Atmospheric Chemistry and Physics*, DOI: 10.5194/acp-2019-734, 2020.
3. Brasseur, G. P. and Solomon, S.: *Aeronomy of the Middle Atmosphere, Chemistry and Physics of the Stratosphere and Mesosphere*, Vol. 32 of *Atmospheric and Oceanographic Sciences Library*, Springer, Dordrecht, the Netherlands, 2005.
4. Diallo, M., Riese, M., Birner, T., Konopka, P., Müller, R., Hegglin, M. I., Santee, M. L., Baldwin, M., Legras, B., and Ploeger, F.: Response of stratospheric water vapor and ozone to the unusual timing of El Niño and the QBO disruption in 2015–2016, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 13055-13073, <https://doi.org/10.5194/acp-18-13055-2018>, 2018.
5. Diallo, M., Konopka, P., Santee, M. L., Müller, R., Tao, M., Walker, K. A., Legras, B., Riese, M., Ern, M., and Ploeger, F.: Structural changes in the shallow and transition branch of the Brewer–Dobson circulation induced by El Niño, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 425-446, <https://doi.org/10.5194/acp-19-425-2019>, 2019.
6. Engelsen O. and Kylling A.: Fast simulation tool for ultraviolet radiation at the Earth's surface, *Opt. Eng.*, 44(4), 041012, doi:10.1117/12.639087, 2005.
7. GAW Report No. 268, Research Infrastructure Quality Assurance, WEATHER CLIMATE WATER Ozonesonde Measurement Principles and Best Operational Practices ASOPOS 2.0 (Assessment of Standard Operating Procedures for Ozonesondes) August 2021
8. GES DISC. <http://disc.gsfc.nasa.gov>
9. Hossaini, R., Chipperfield, M.P., Montzka, S.A., Leeson, A.A., Dhomse, S., and Pyle, J.A.: The increasing threat to stratospheric ozone from dichloromethane, *Nature Communication*, 8, doi: 10.1038/ncomms15962, 2017.
10. Koenig T.K., Baidar S., Campuzano-Jost P., Cuevas C.A., Dix B., Fernandez R.P., Guo H., Hall S.R., Kinnison D., Nault B.A., Ullmann K., Jimenez J.L., Saiz-Lopez A., Volkamer R., 2020, Quantitative detection of iodine in the stratosphere, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117 (4), 1860-1866, DOI: 10.1073/pnas.1916828117, 2020.
11. 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.

12. Mayer B, Kylling A (2005). The libRadtran software package for radiative transfer calculations - description and examples of use *Atmos. Chem. Phys.* 5 1855-1877.
13. McPeters, R. D, Labow G. J., *Climatology 2011: An MLS and sonde derived ozone climatology for satellite retrieval algorithms* *JGR*, 23 May 2011 <https://doi.org/10.1029/2011JD017006>
14. Sagi K, Pérot K, Murtagh D, and Orsolini Y Two mechanisms of stratospheric ozone loss in the Northern Hemisphere, studied using data assimilation of Odin/SMR atmospheric observations *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 1791–1803, 2017 www.atmos-chem-phys.net/17/1791/2017/ doi:10.5194/acp-17-1791-2017.
15. Solomon S, Ivy D. J., Kinnison D., Mills M.J., Neely R., Schmidt A. D., Emergence of healing in the Antarctic ozone layer *Science*, 2016.
16. 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. et al. A Post-2013 Drop-off in Total Ozone at a Third of Global Ozone Sonde Stations: ECC Instrument Artifacts? *Journal Earth and Space Science Open Archive*, 2019 DOI =10.1002/essoar.10501543.3, <https://doi.org/10.1002/essoar.10501543.3>
17. 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, e2021GL091987. <https://doi.org/10.1029/2021GL091987>
18. World Meteorological Organization (WMO), *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022*, GAW Report No. 278, 509 pp., WMO, Geneva, 2022.

Spis załączników:

Załącznik 1: Profile ozonu z sondaży ozonowych wykonanych w okresie od 1.01 do 31.12.2023 r. i odpowiadające im satelitarne mapy całkowitej zawartości ozonu w atmosferze

Załącznik 2: Dobowe przebiegi promieniowania UV-B z miesięcy styczeń – grudzień 2023 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 2023 r. zmierzone za pomocą przyrządu Solar Light (Łeba, Legionowo, Zakopane)

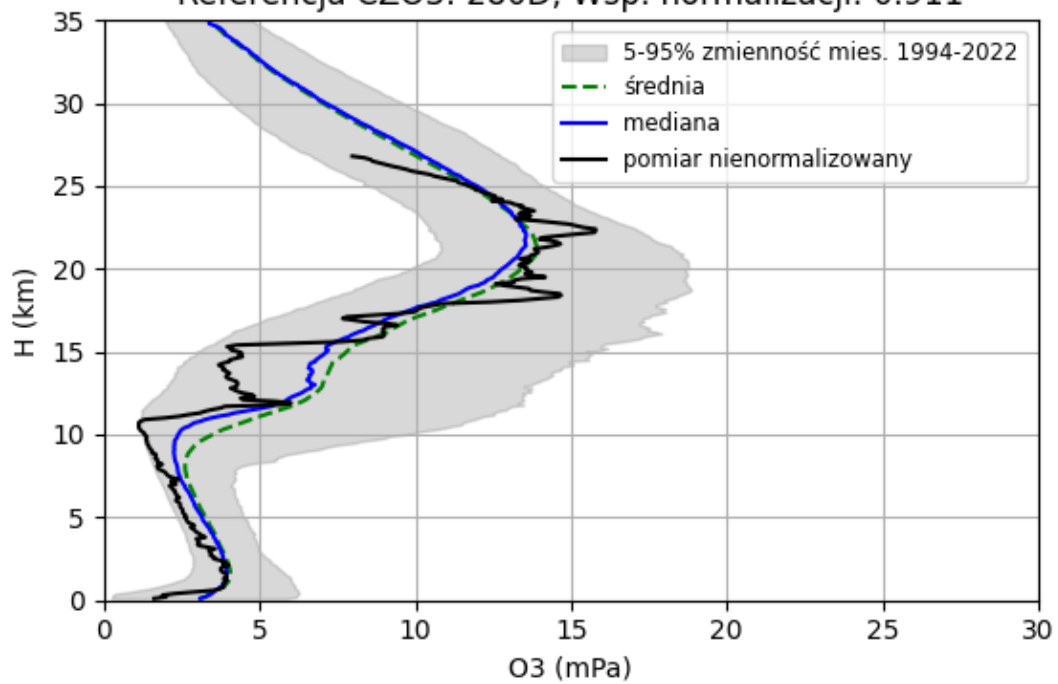
Dziękujemy zespołowi Zakładu Fizyki Atmosfery IGF PAN za udostępnienie serii pomiarów całkowitej zawartości ozonu mierzonej spektrofotometrem Dobsona w Centralnym Obserwatorium Geofizycznym w Belsku.

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.

ZAŁĄCZNIK 1

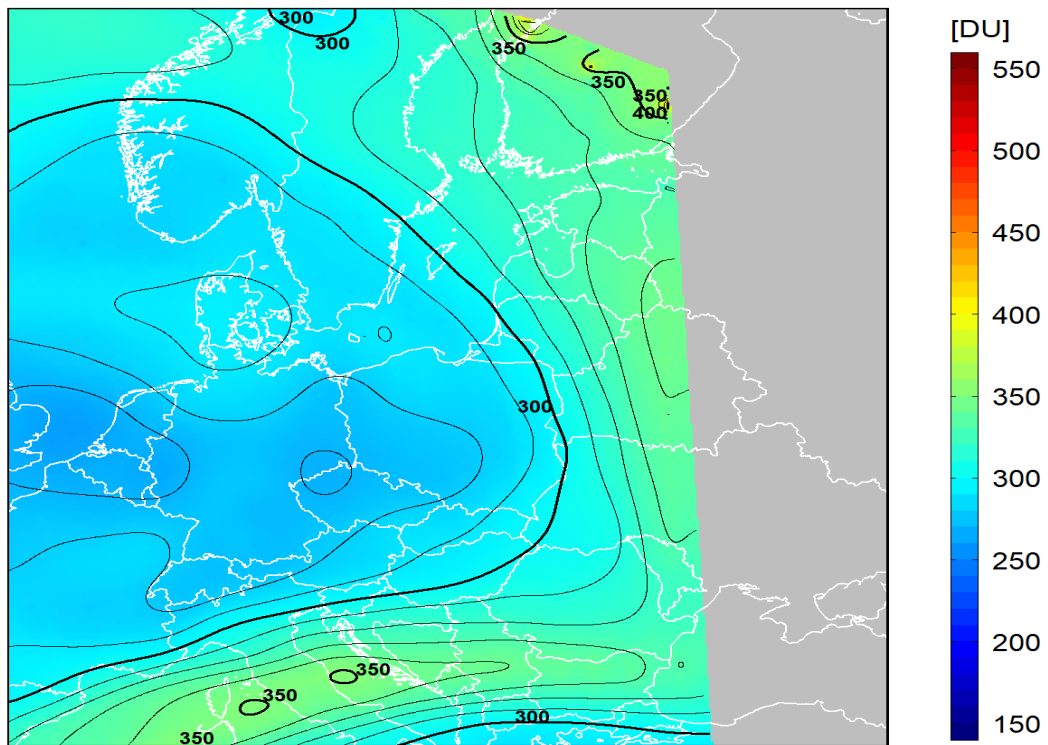
PROFILE OZONU Z SONDAŻY OZONOWYCH WYKONANYCH
W OKRESIE 1.01 DO 31.12.2023 R. I ODPOWIADAJĄCE
IM SATELITARNE MAPY CAŁKOWITEJ ZAWARTOŚCI OZONU
W ATMOSFERZE

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-01-04 12 UTC
Referencja CZO3: 280D, Wsp. normalizacji: 0.911



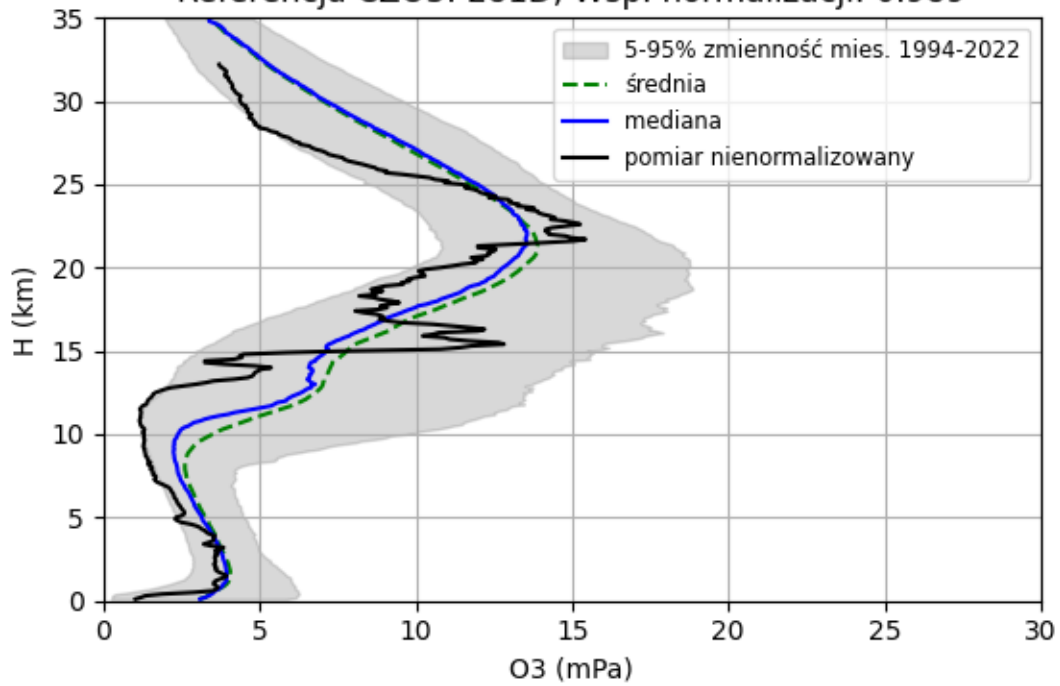
2023-01-04 godz. 12:01:00 - 12:08:07 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



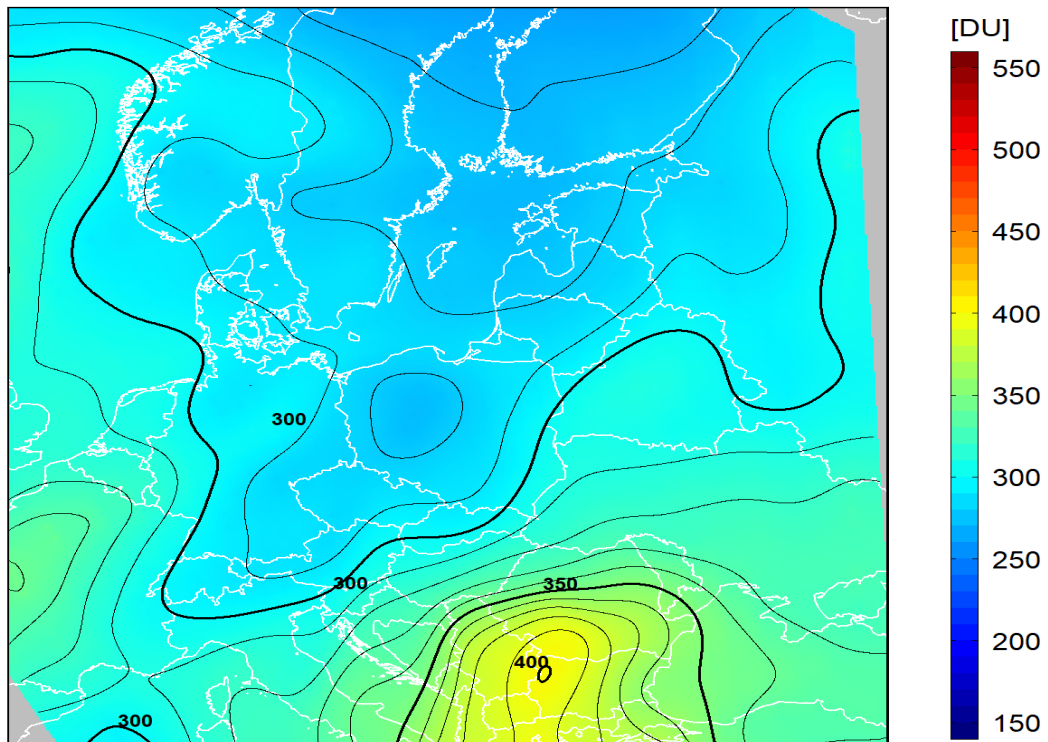
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-01-11 12 UTC
Referencja CZO3: 281D, Wsp. normalizacji: 0.989



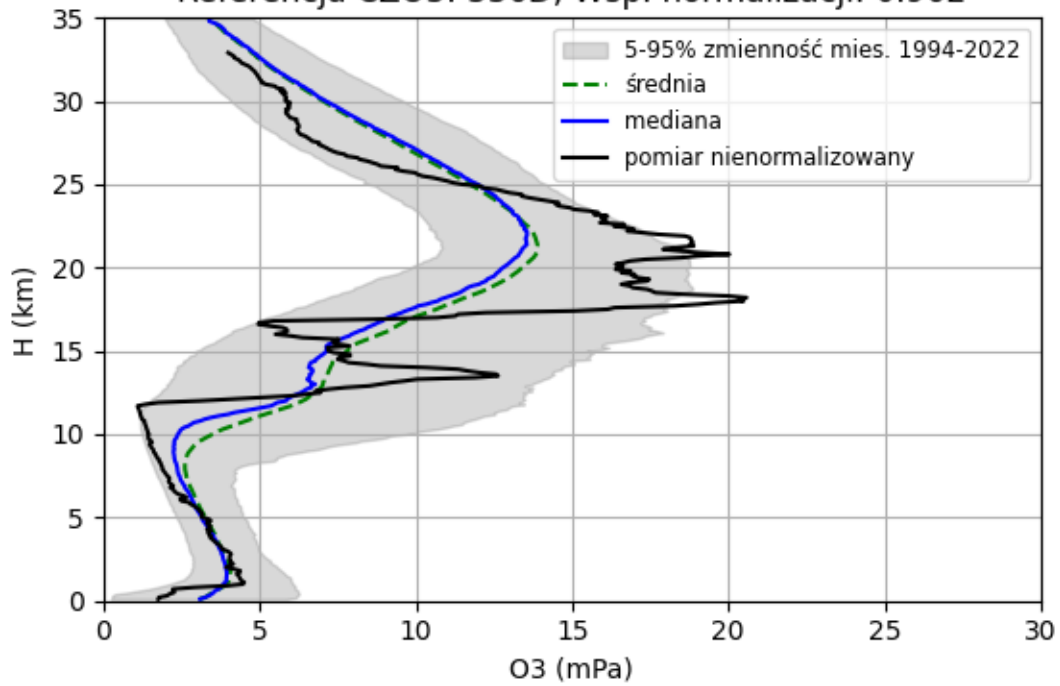
2023-01-11 godz. 11:29:25 - 11:36:55 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



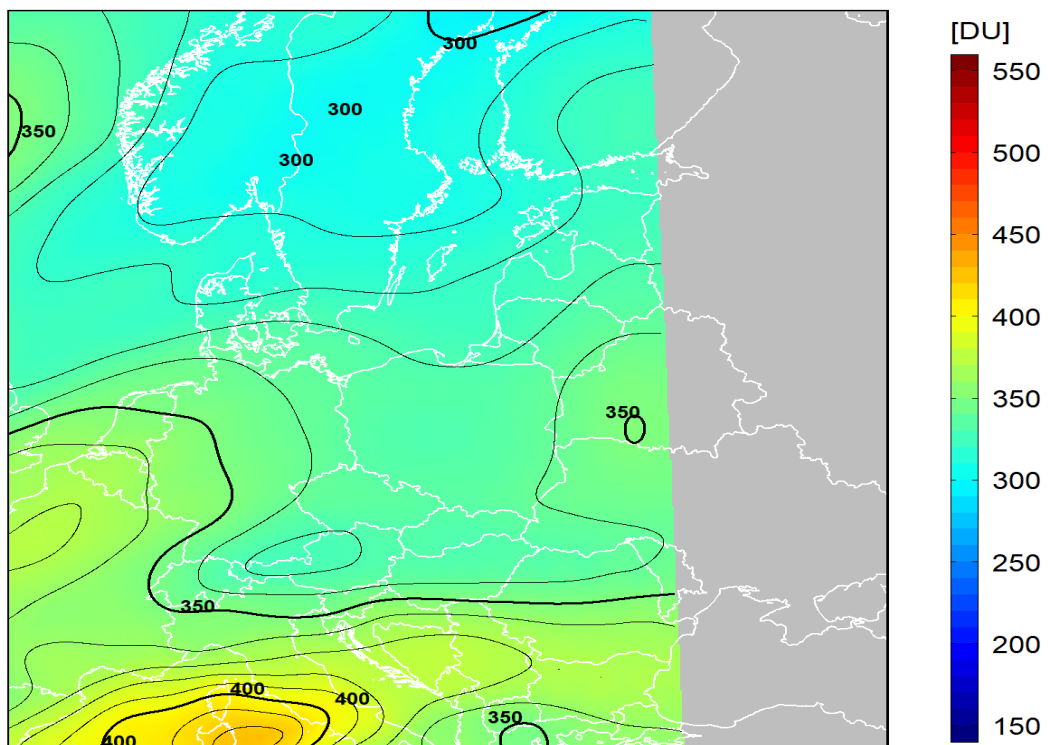
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-01-25 12 UTC
Referencja CZO3: 336D, Wsp. normalizacji: 0.962



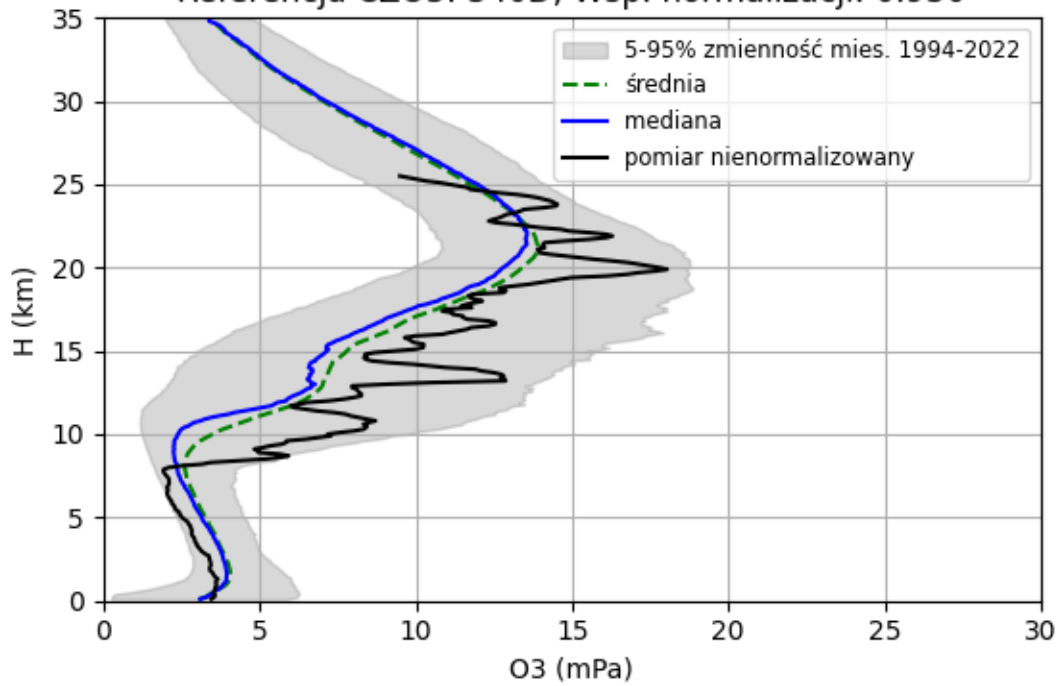
2023-01-25 godz. 12:07:39 - 12:14:46 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



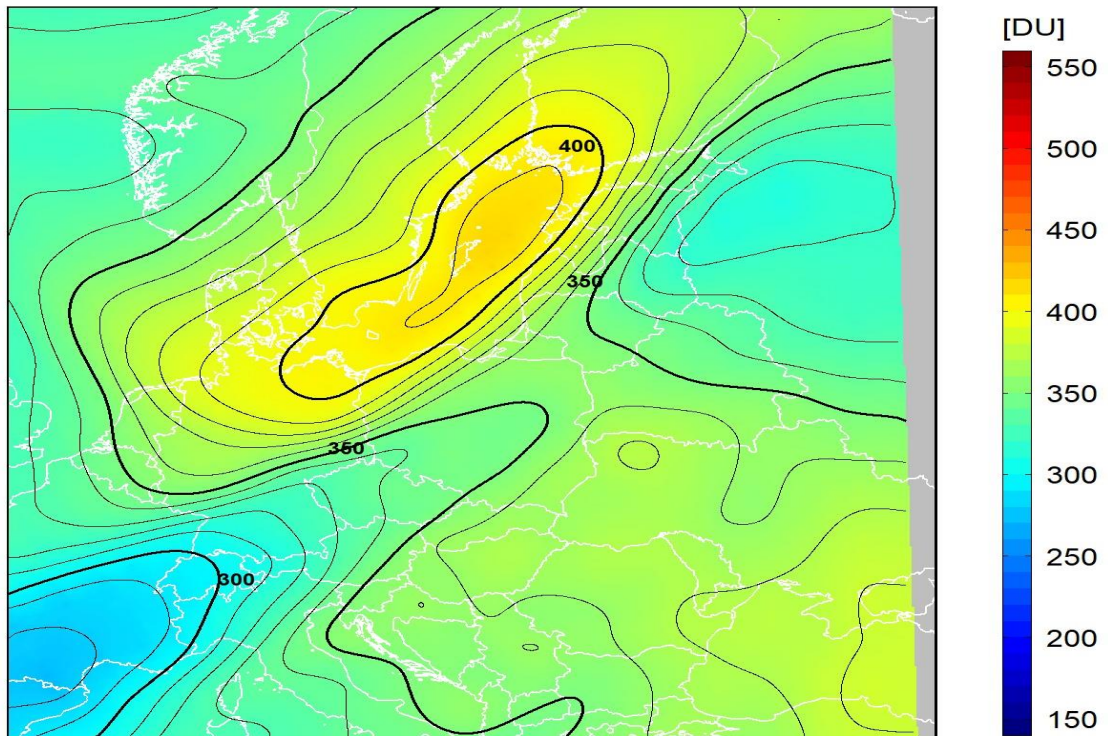
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-02-01 12 UTC
Referencja CZO3: 340D, Wsp. normalizacji: 0.930



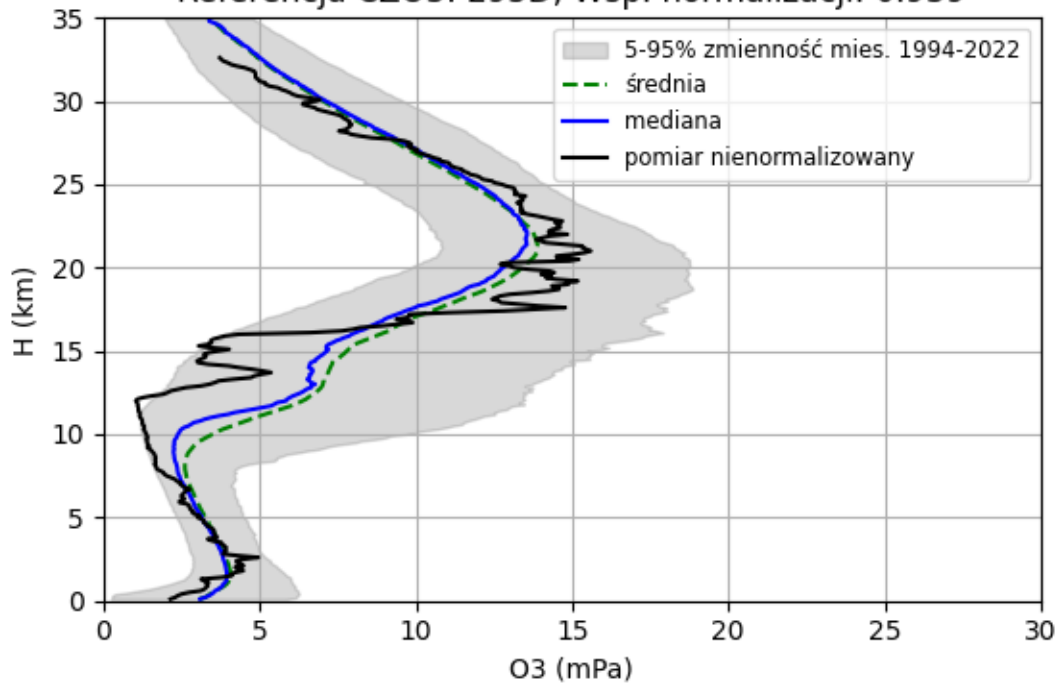
2023-02-01 godz. 11:35:54 - 11:43:23 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



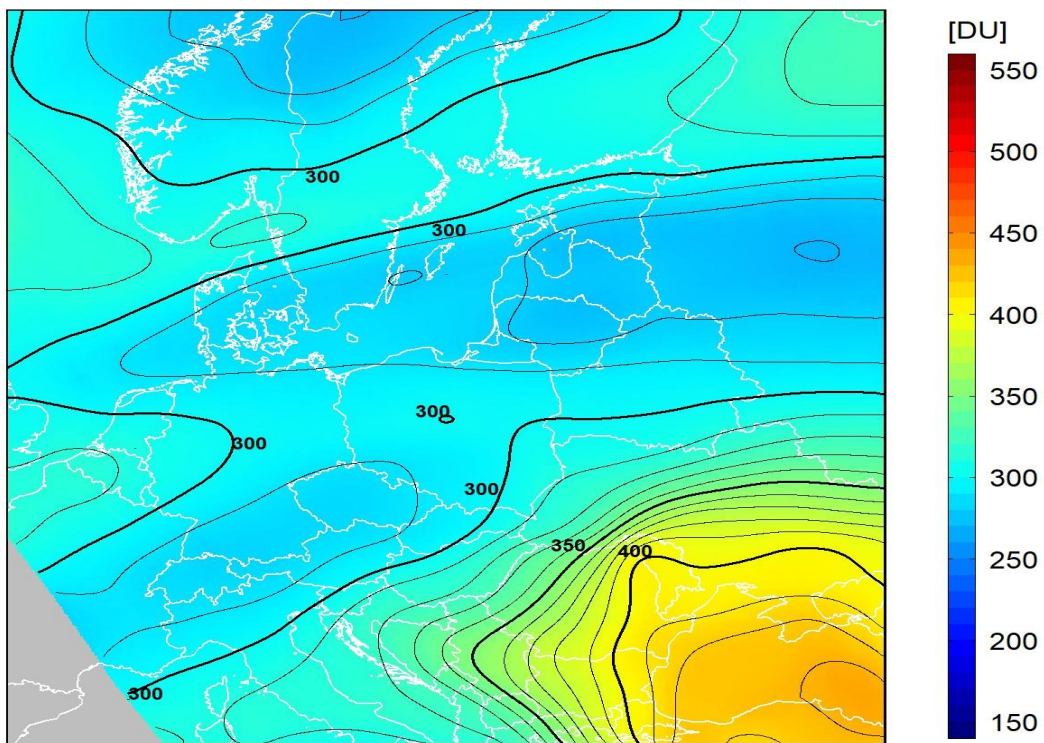
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-02-08 12 UTC
Referencja CZO3: 295D, Wsp. normalizacji: 0.939



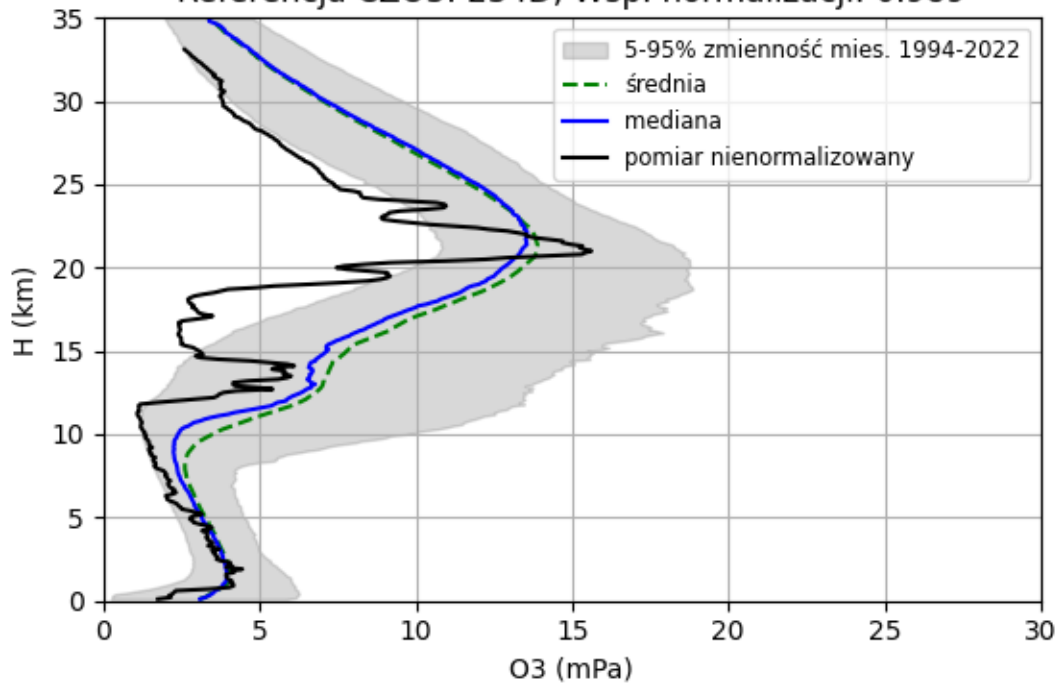
2023-02-08 godz. 11:04:12 - 11:12:11 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



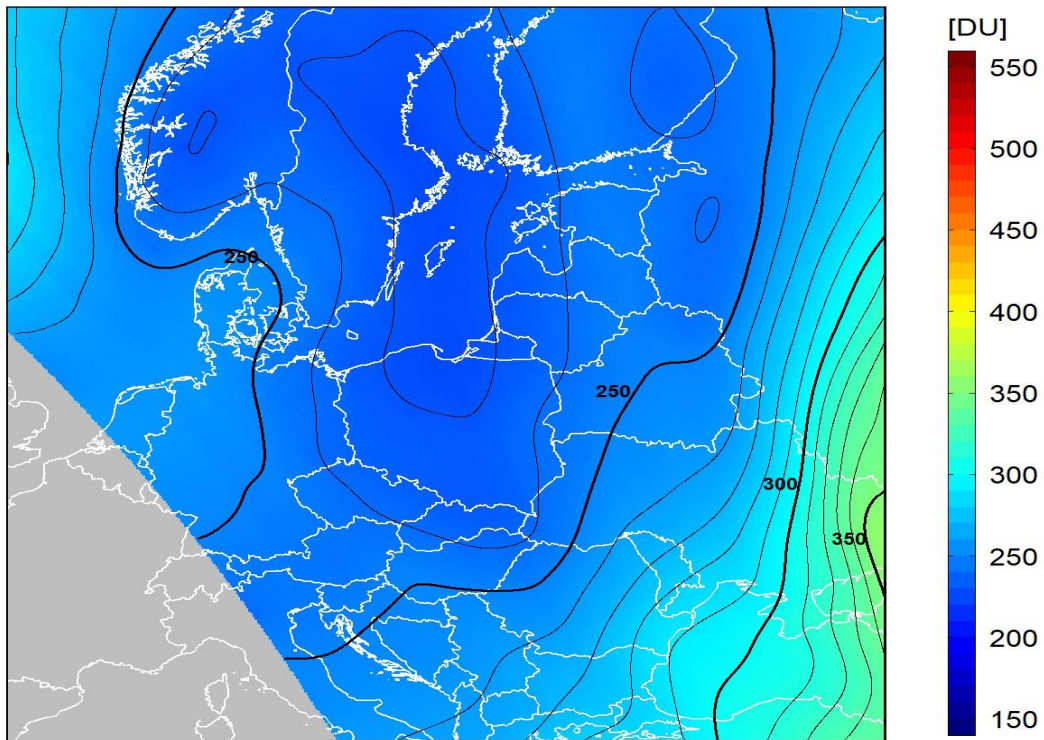
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-02-15 12 UTC
Referencja CZO3: 234D, Wsp. normalizacji: 0.989



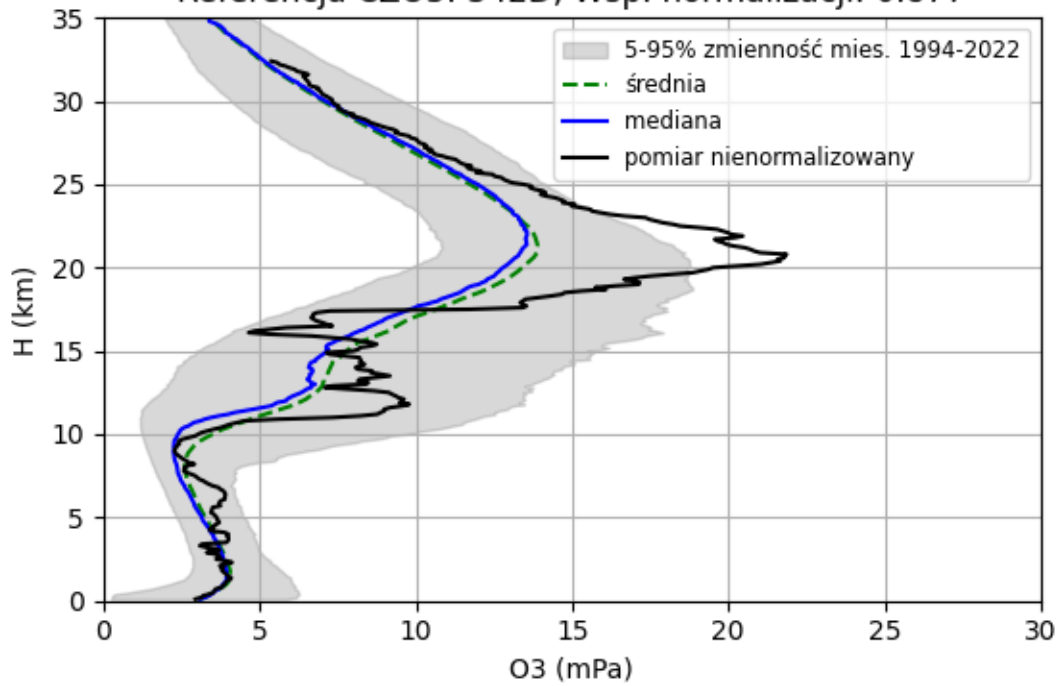
2023-02-15 godz. 10:32:34 - 10:41:10 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



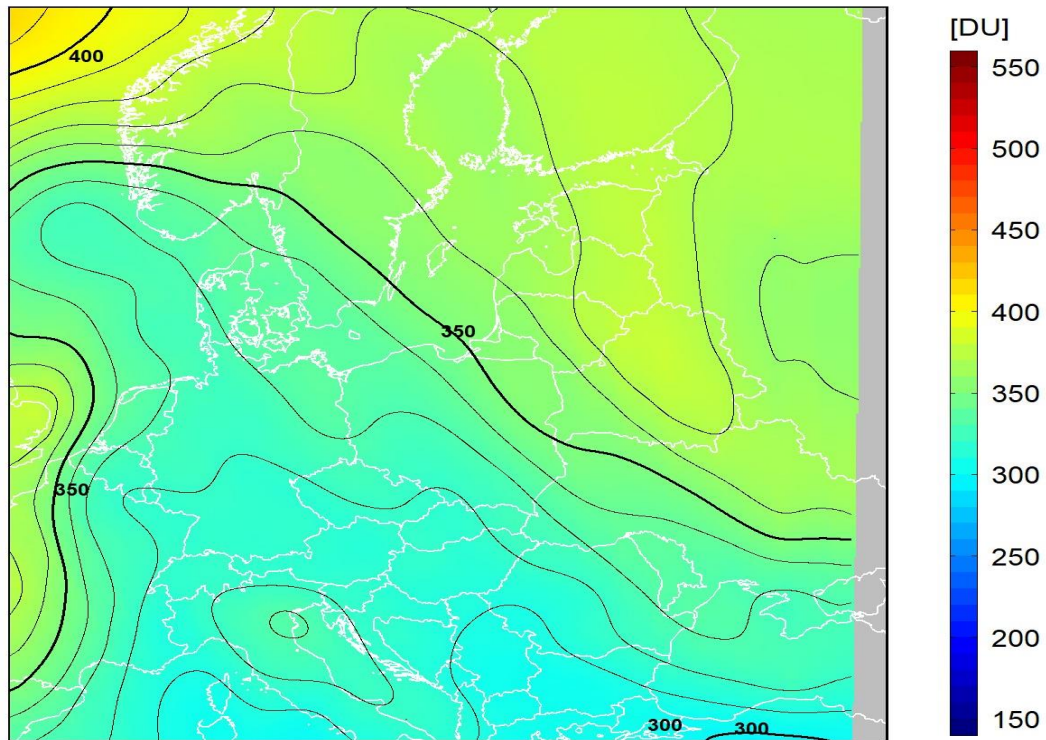
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-03-22 12 UTC
Referencja CZO3: 342D, Wsp. normalizacji: 0.877



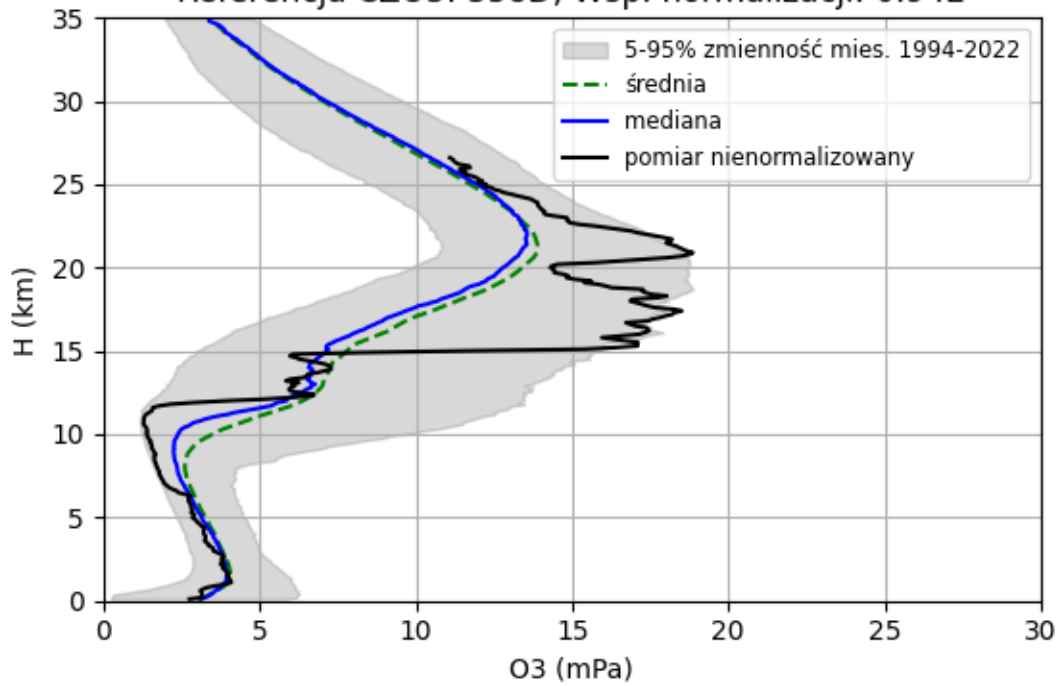
2023-02-22 godz. 11:42:21 - 11:49:35 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



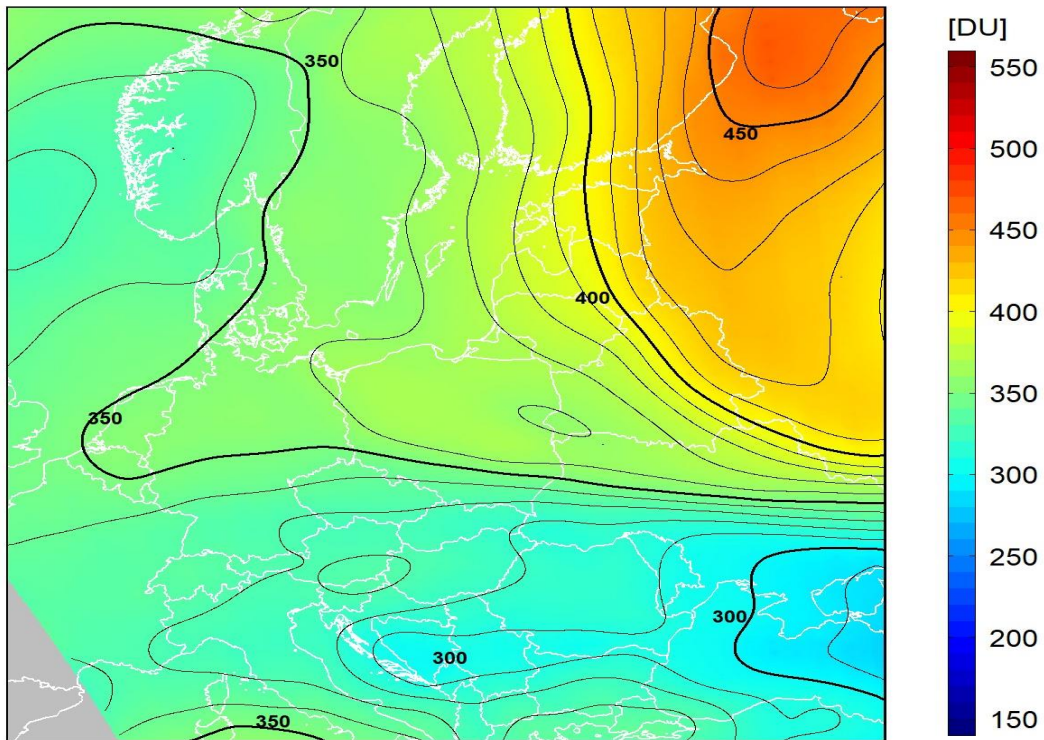
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-03-01 12 UTC
Referencja CZO3: 358D, Wsp. normalizacji: 0.942



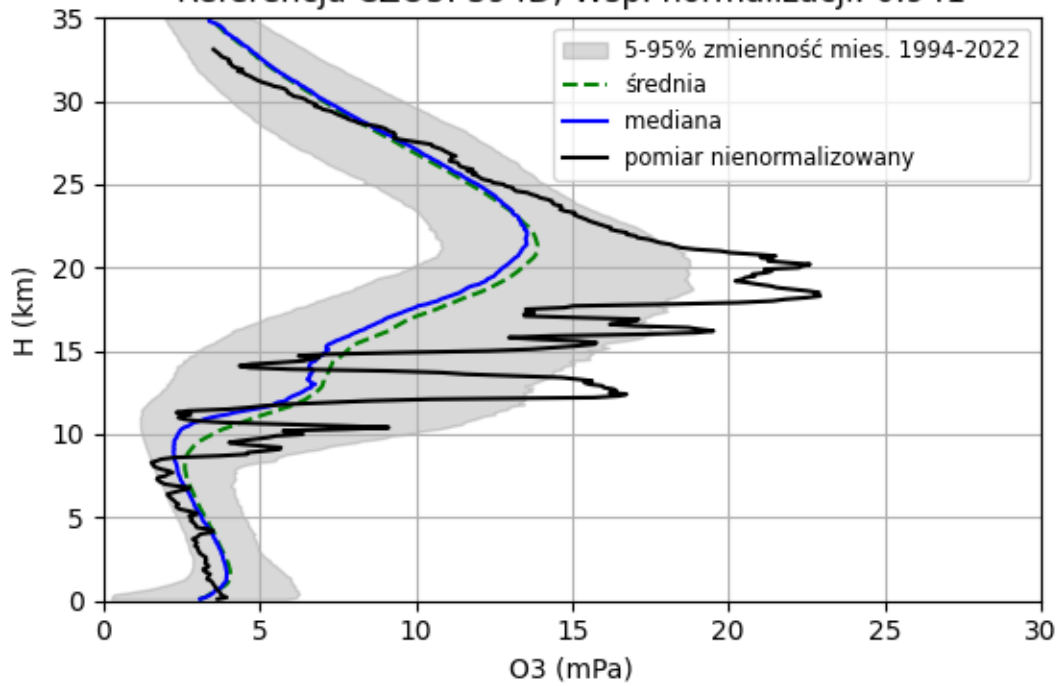
2023-03-01 godz. 11:10:30 - 11:18:22 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



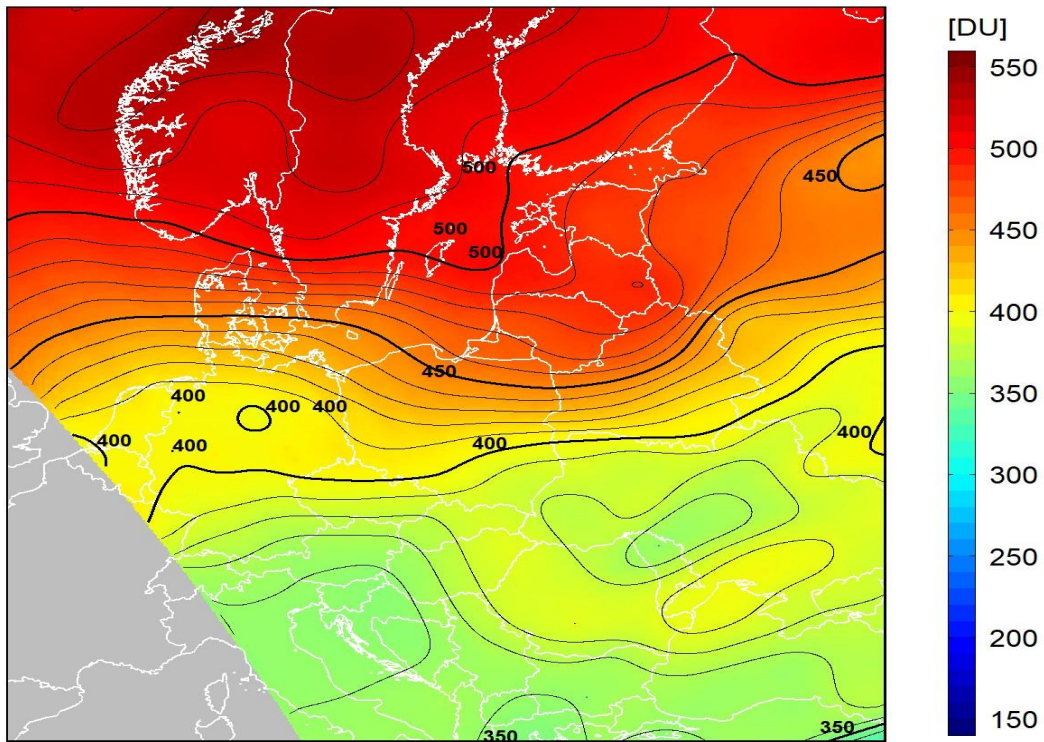
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-03-08 12 UTC
Referencja CZO3: 394D, Wsp. normalizacji: 0.941



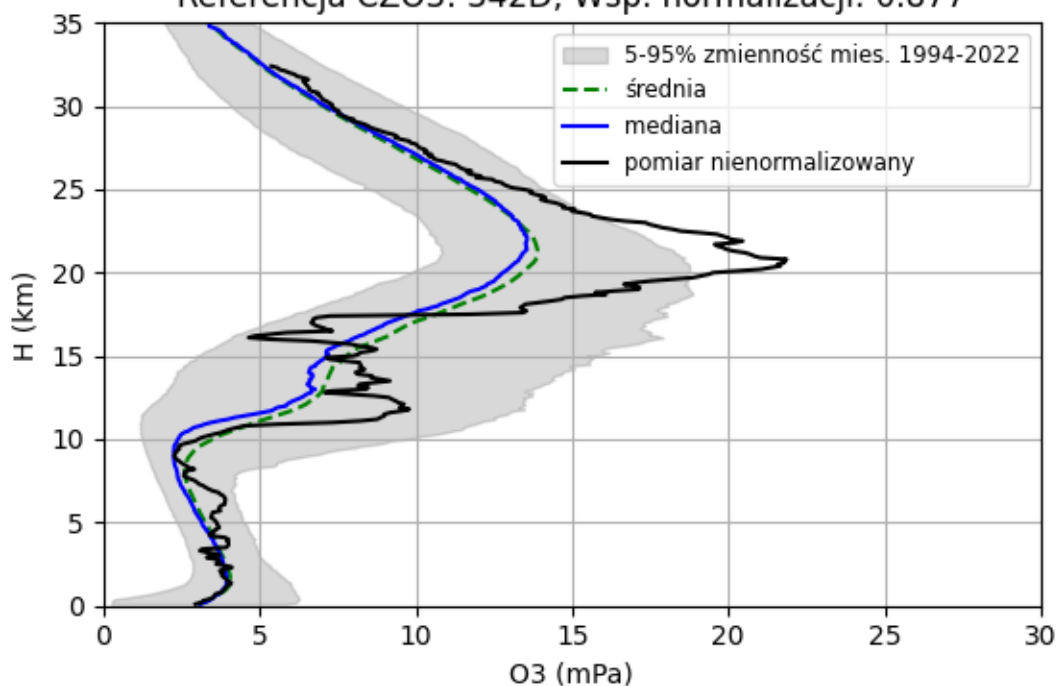
2023-03-08 godz. 10:39:01 - 10:47:38 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



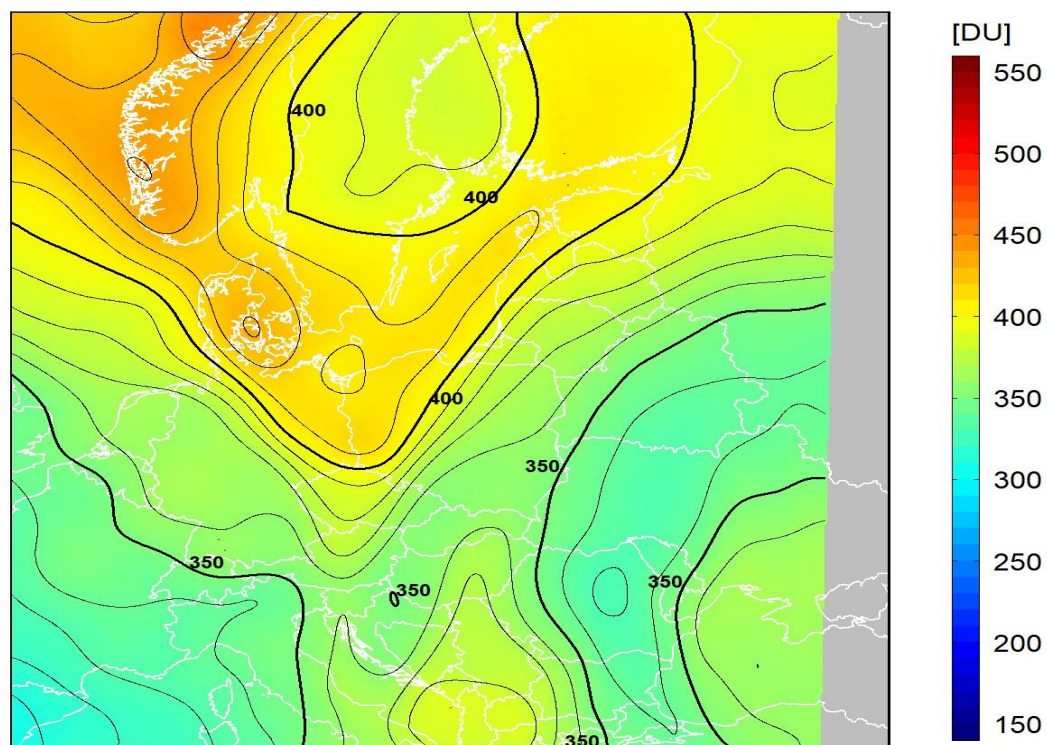
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-03-22 12 UTC
Referencja CZO3: 342D, Wsp. normalizacji: 0.877



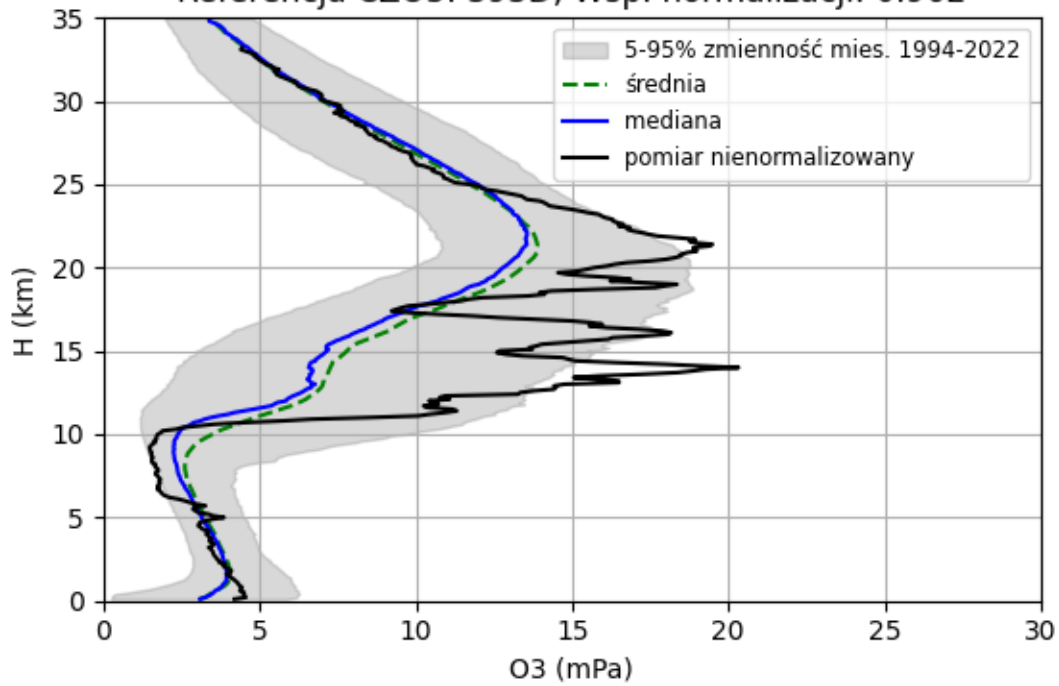
2023-03-15 godz. 11:48:58 - 11:56:12 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



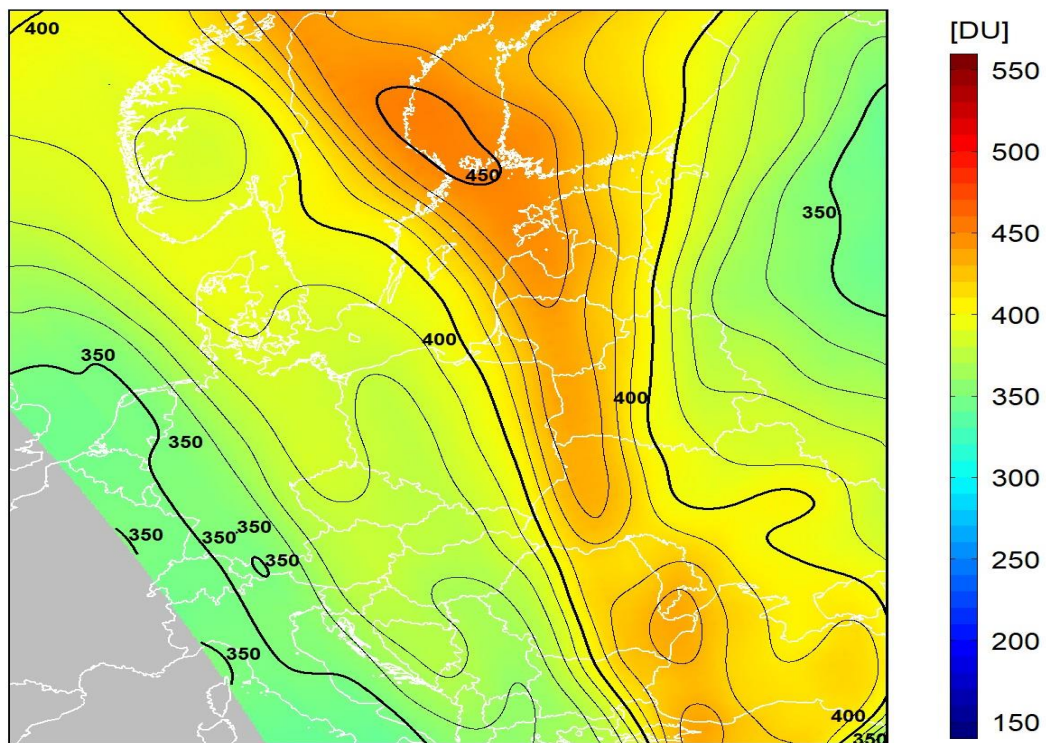
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-03-29 12 UTC
Referencja CZO3: 393D, Wsp. normalizacji: 0.962



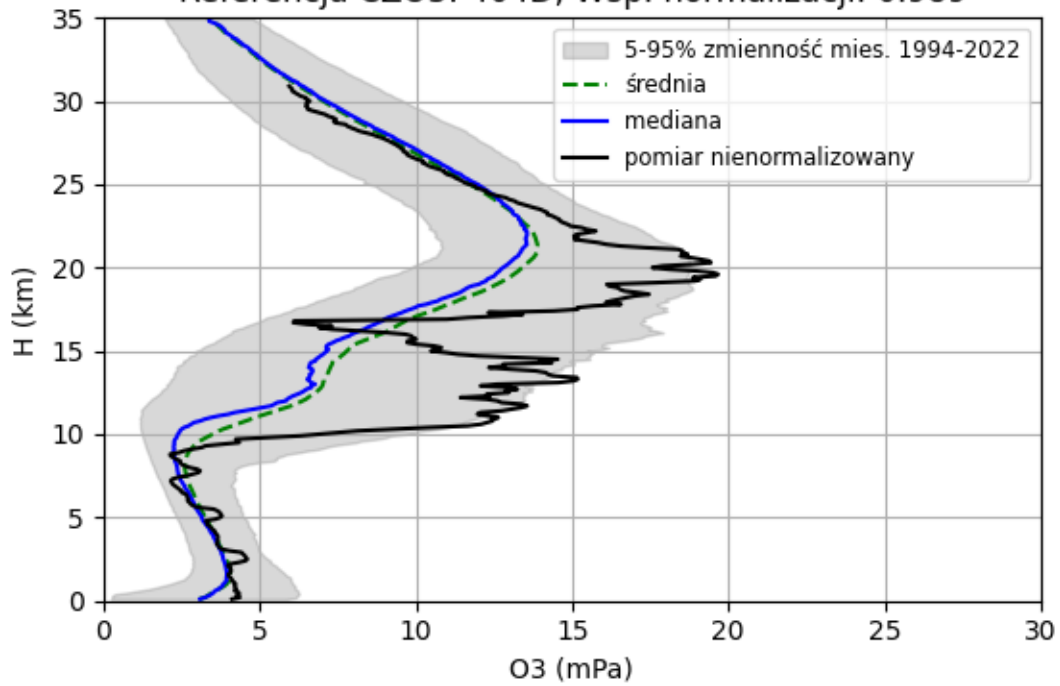
2023-03-29 godz. 10:45:52 - 10:54:13 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



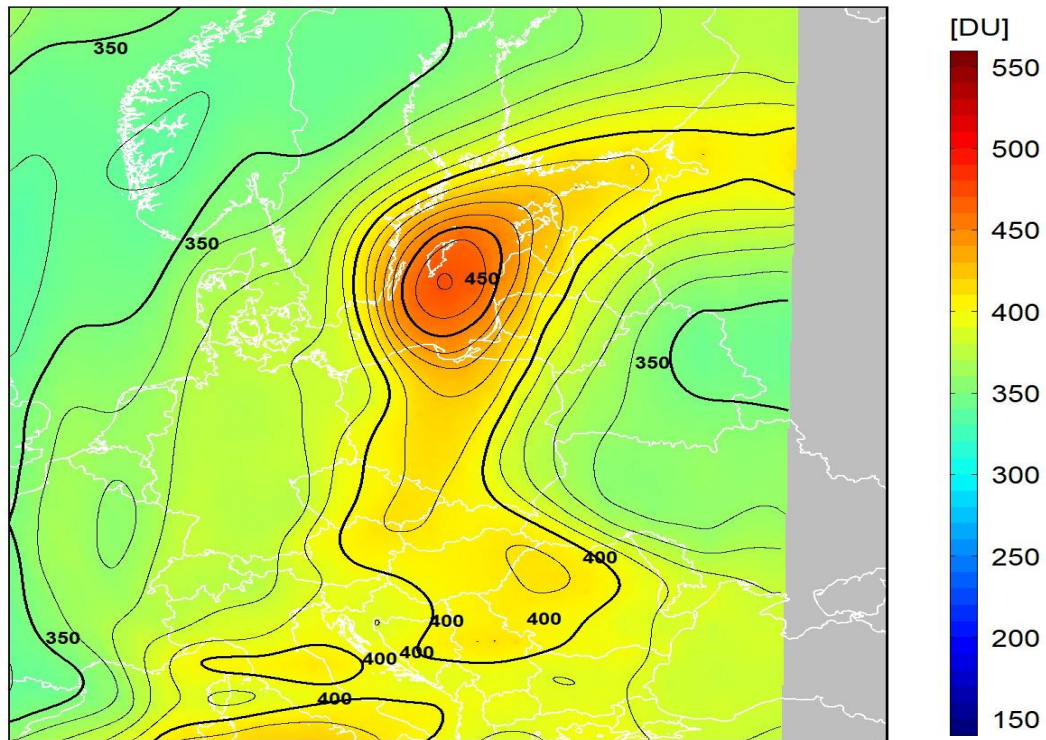
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-04-05 12 UTC
Referencja CZO3: 404D, Wsp. normalizacji: 0.989



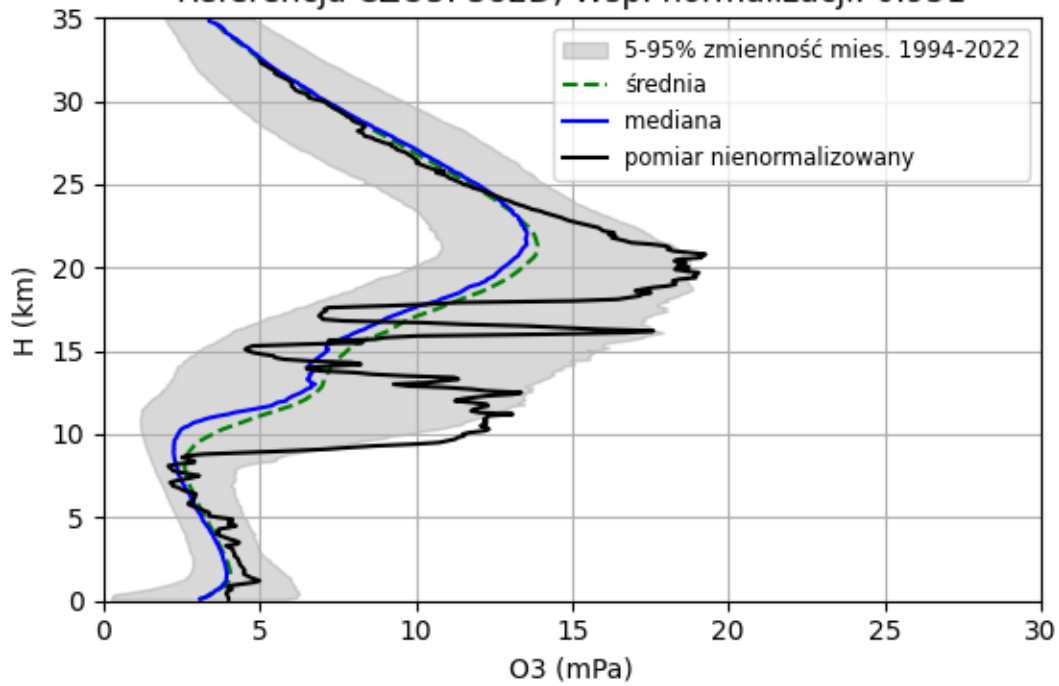
2023-04-05 godz. 11:55:42 - 12:02:49 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



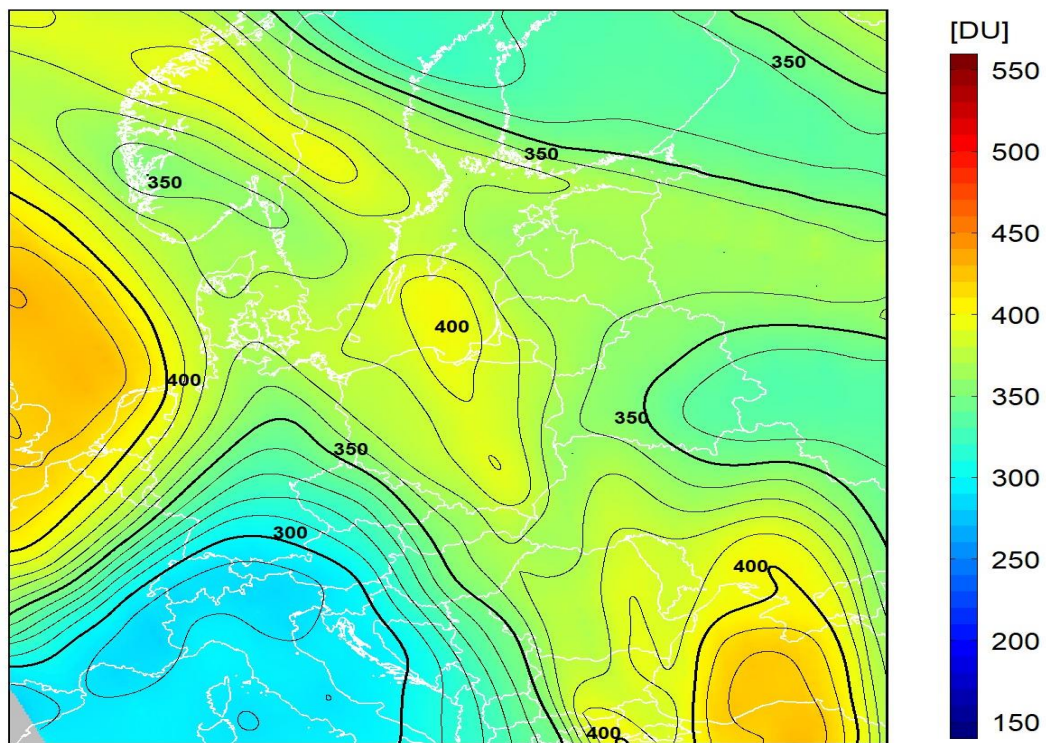
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-04-12 12 UTC
Referencja CZO3: 382D, Wsp. normalizacji: 0.951



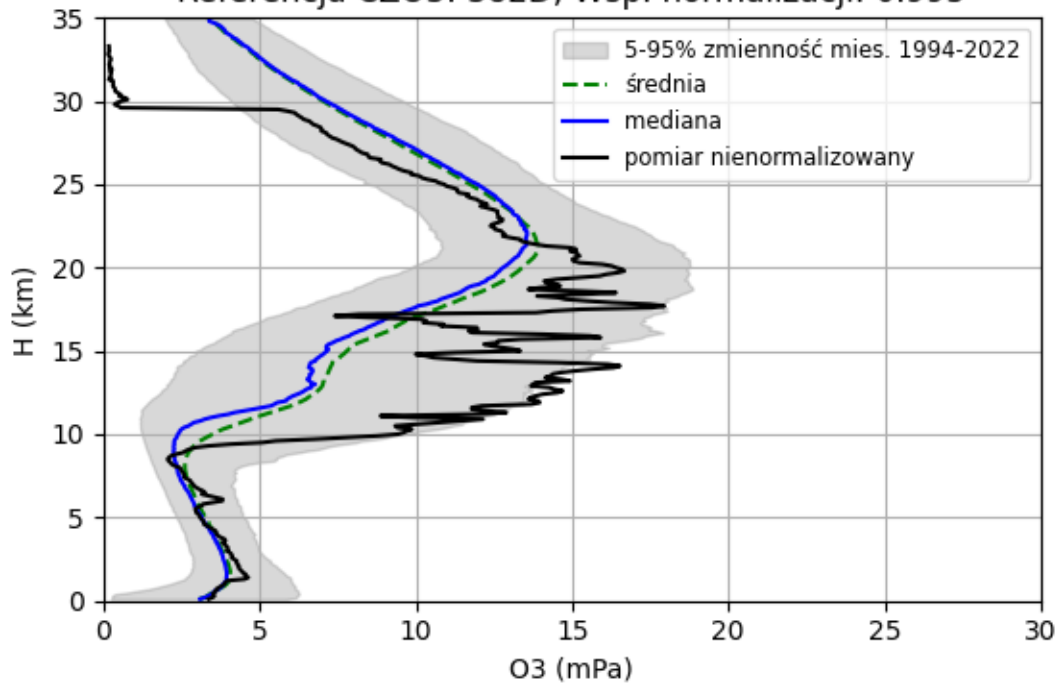
2023-04-12 godz. 11:24:07 - 11:31:37 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



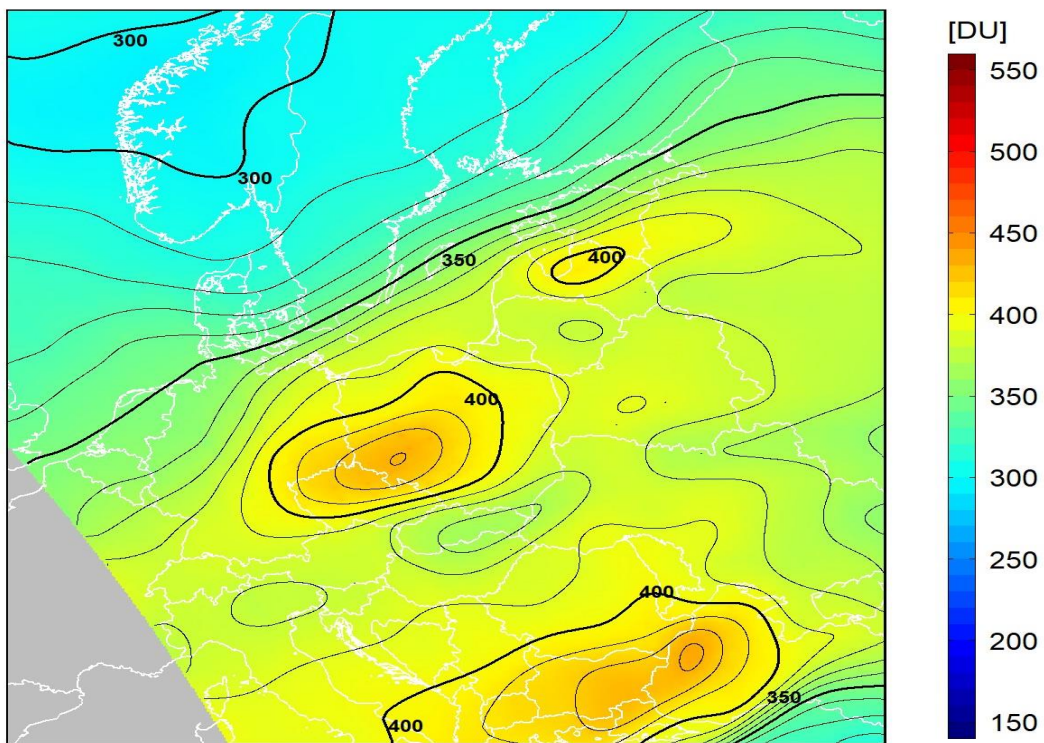
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-04-19 12 UTC
Referencja CZO3: 382D, Wsp. normalizacji: 0.995



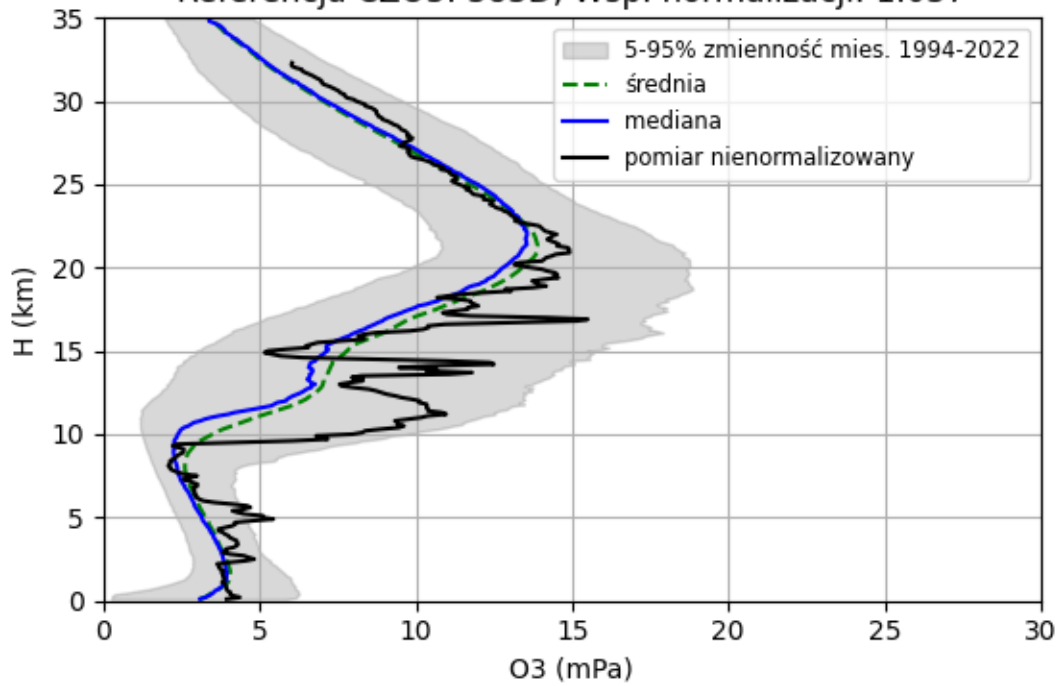
2023-04-19 godz. 10:52:16 - 11:00:30 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



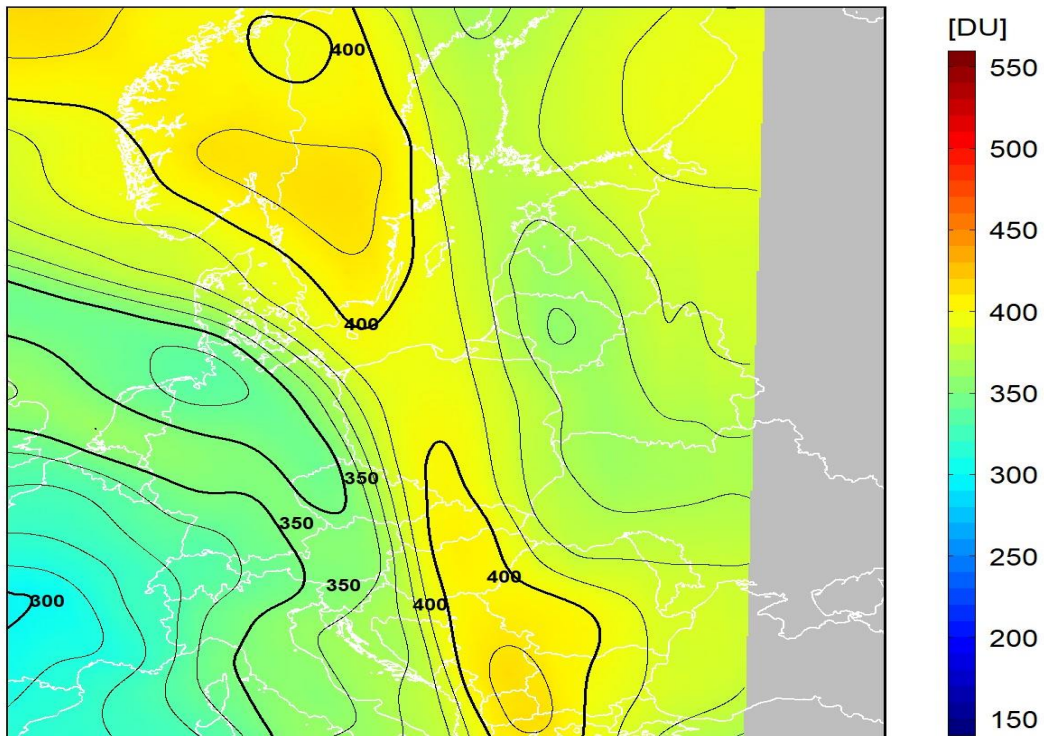
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-04-26 12 UTC
Referencja CZO3: 383D, Wsp. normalizacji: 1.037



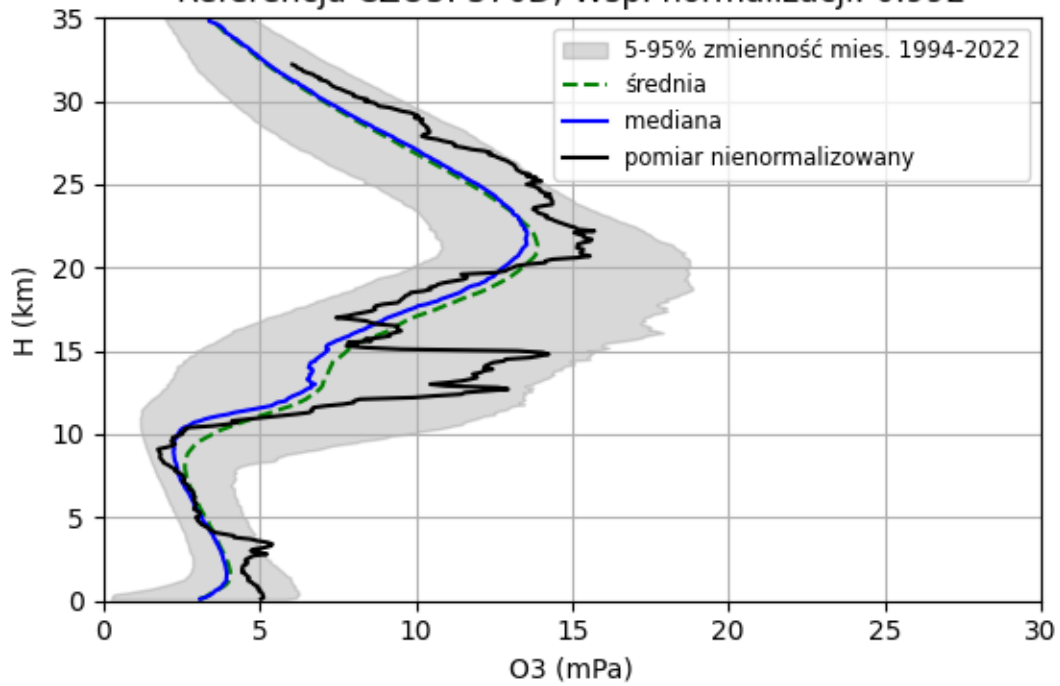
2023-04-26 godz. 12:01:57 - 12:09:04 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



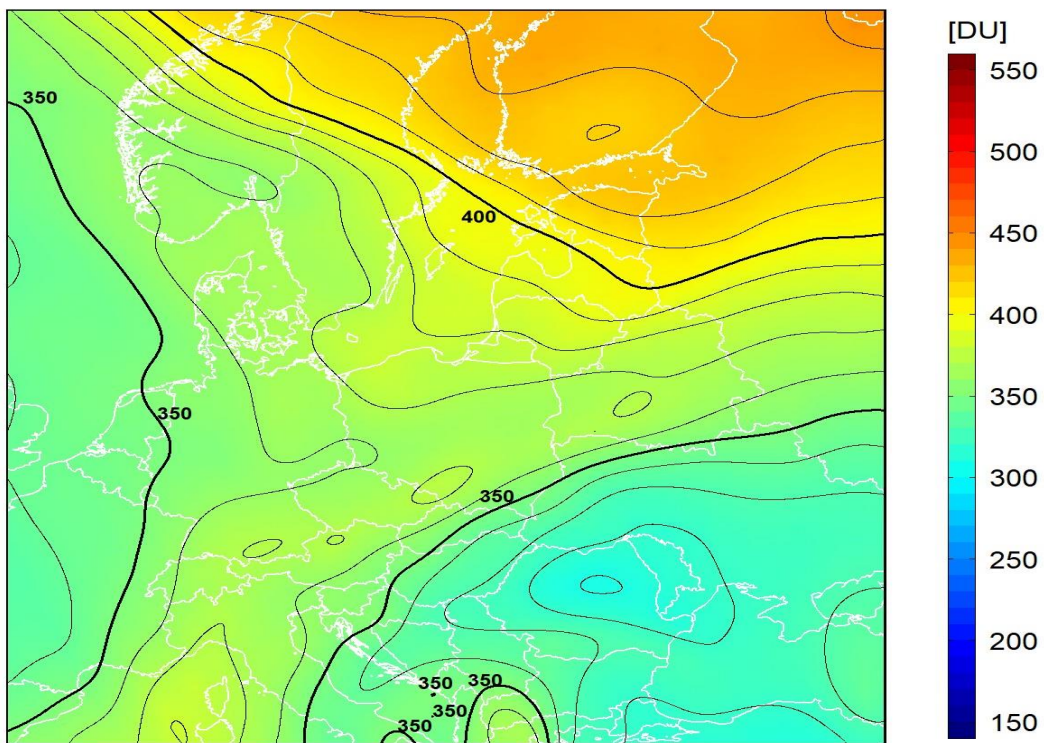
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-05-03 12 UTC
Referencja CZO3: 370D, Wsp. normalizacji: 0.992



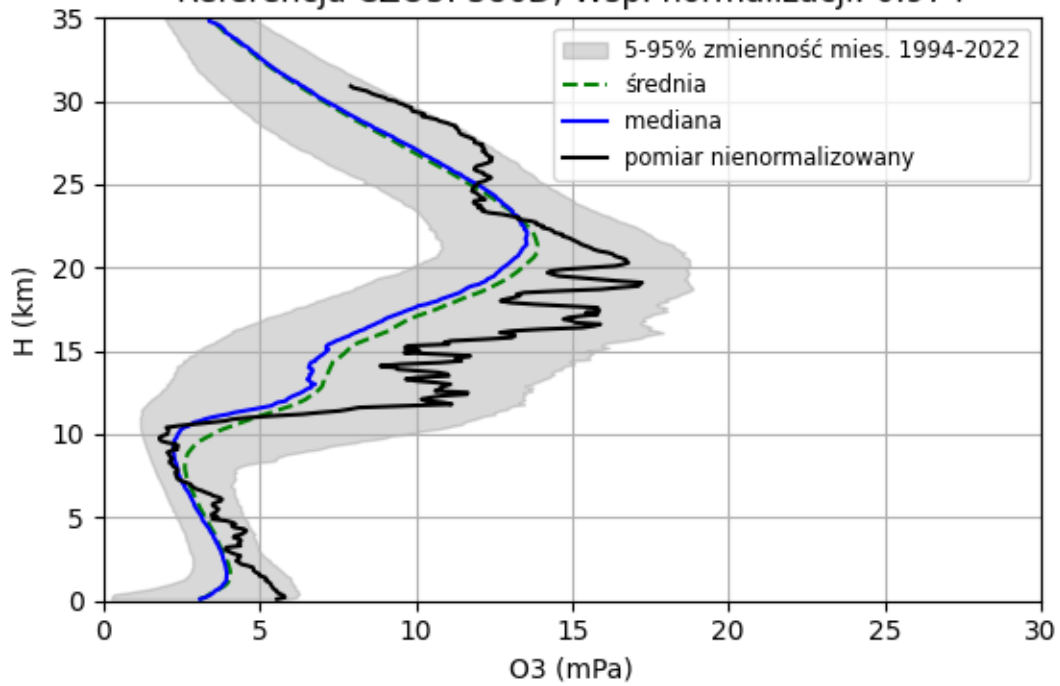
2023-05-03 godz. 11:30:02 - 11:37:31 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



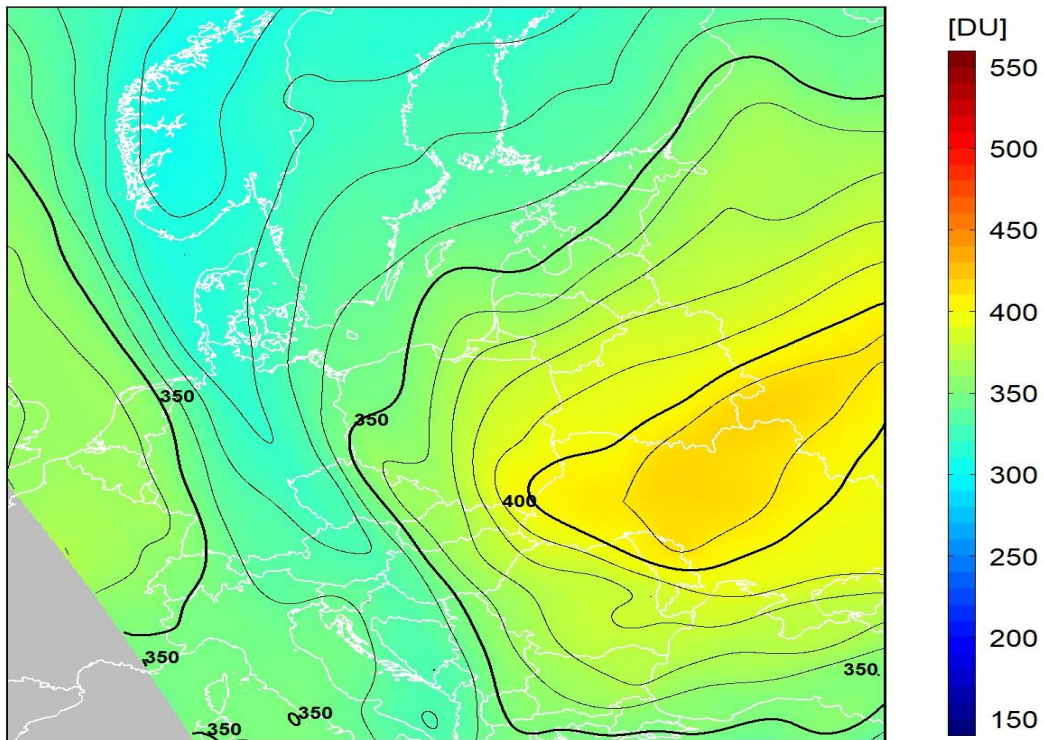
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-05-10 12 UTC
Referencja CZO3: 386D, Wsp. normalizacji: 0.974



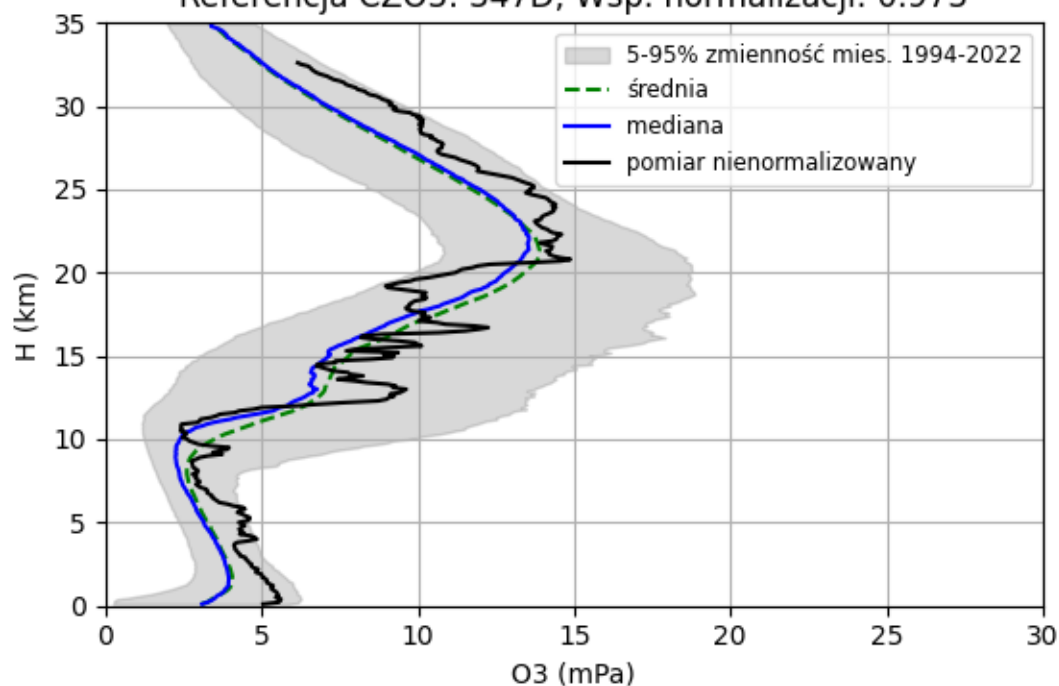
2023-05-10 godz. 10:58:14 - 11:06:21 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



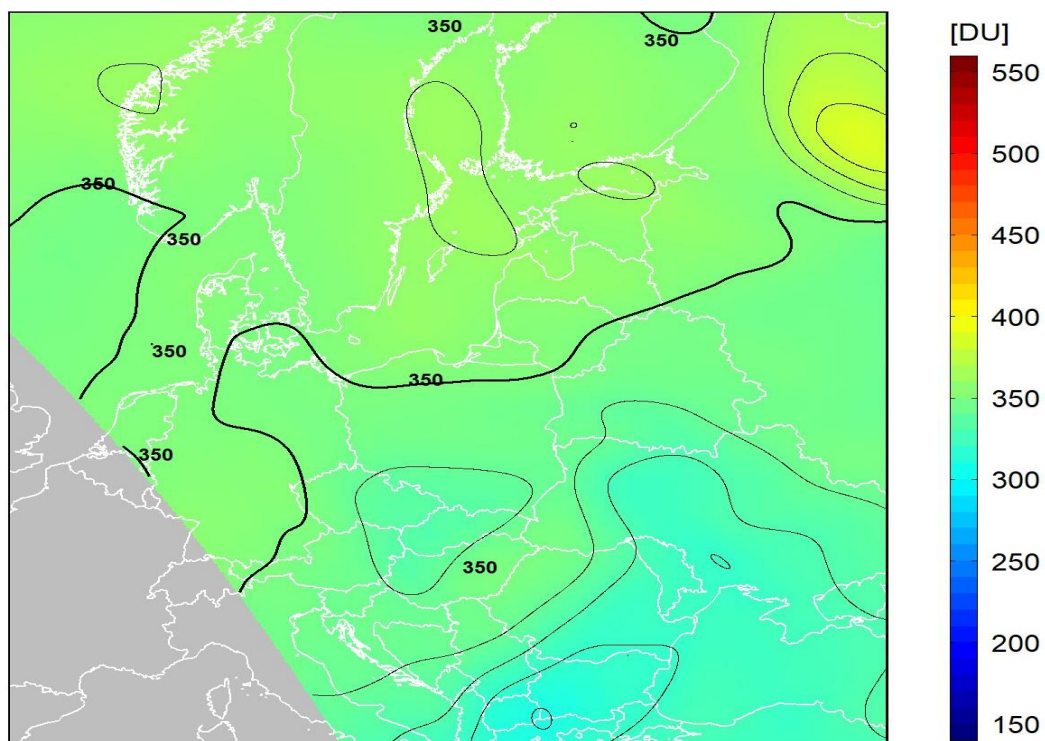
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-06-07 12 UTC
Referencja CZO3: 347D, Wsp. normalizacji: 0.973



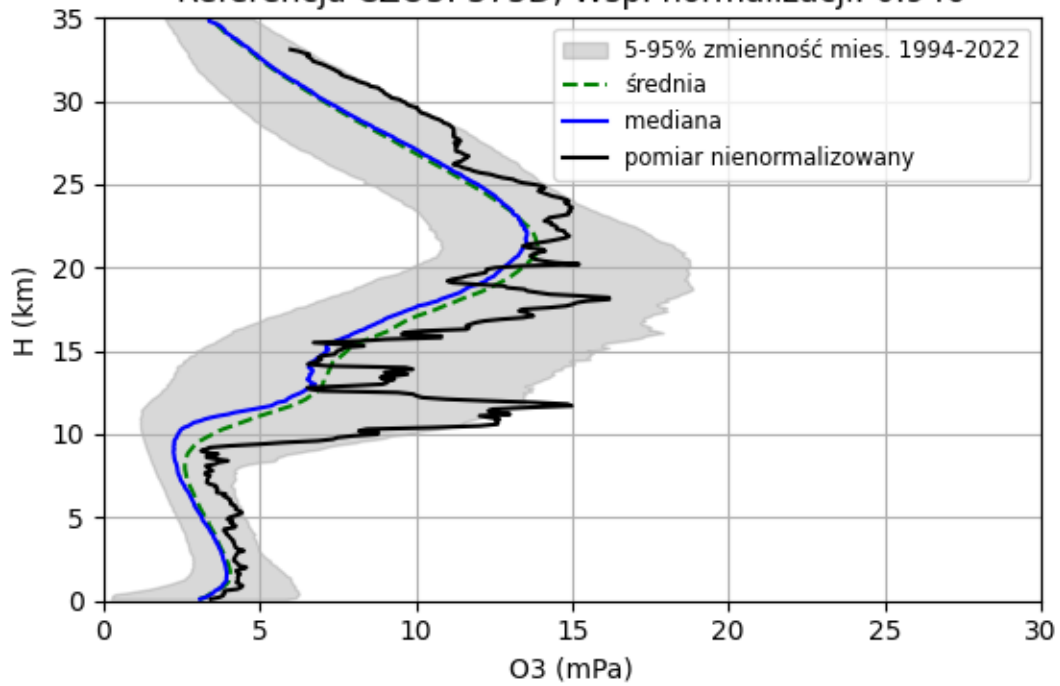
2023-06-07 godz. 10:32:34 - 10:41:10 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



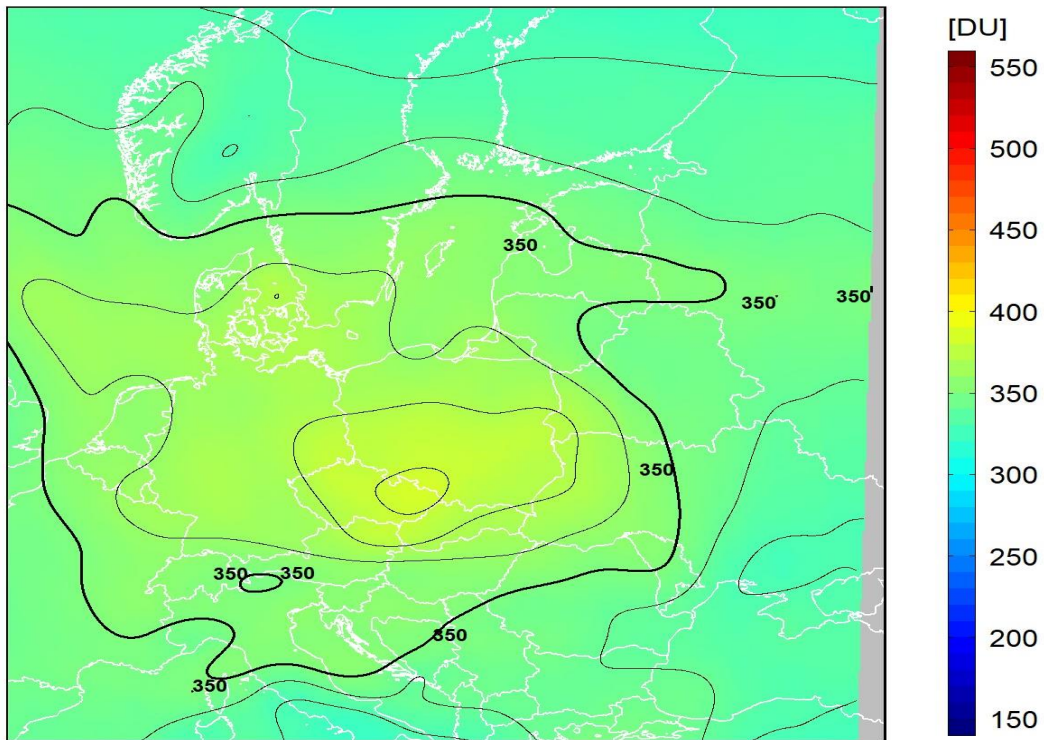
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-06-14 12 UTC
Referencja CZO3: 375D, Wsp. normalizacji: 0.946



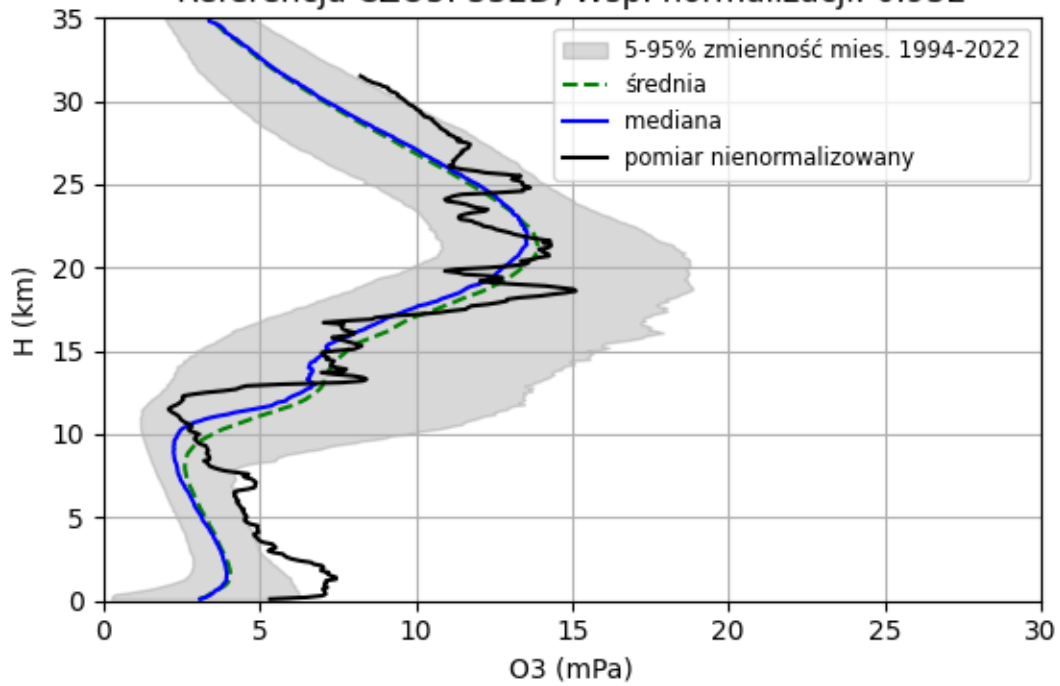
2023-06-14 godz. 11:42:12 - 11:49:27 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



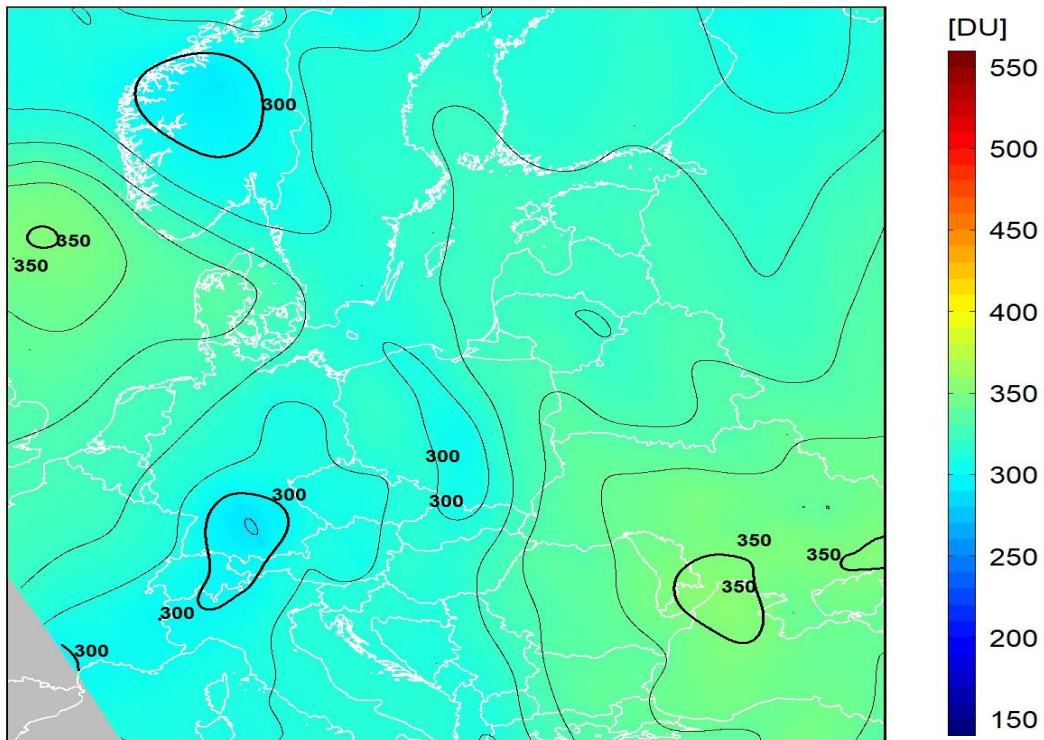
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-06-21 12 UTC
Referencja CZO3: 332D, Wsp. normalizacji: 0.932



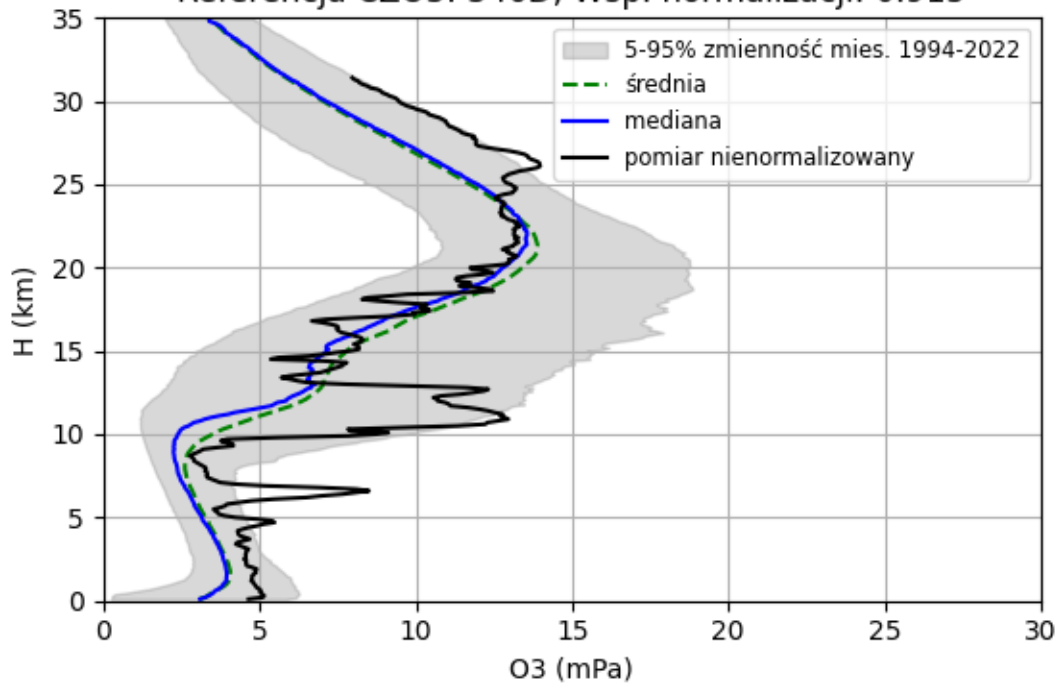
2023-06-21 godz. 11:10:15 - 11:18:06 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



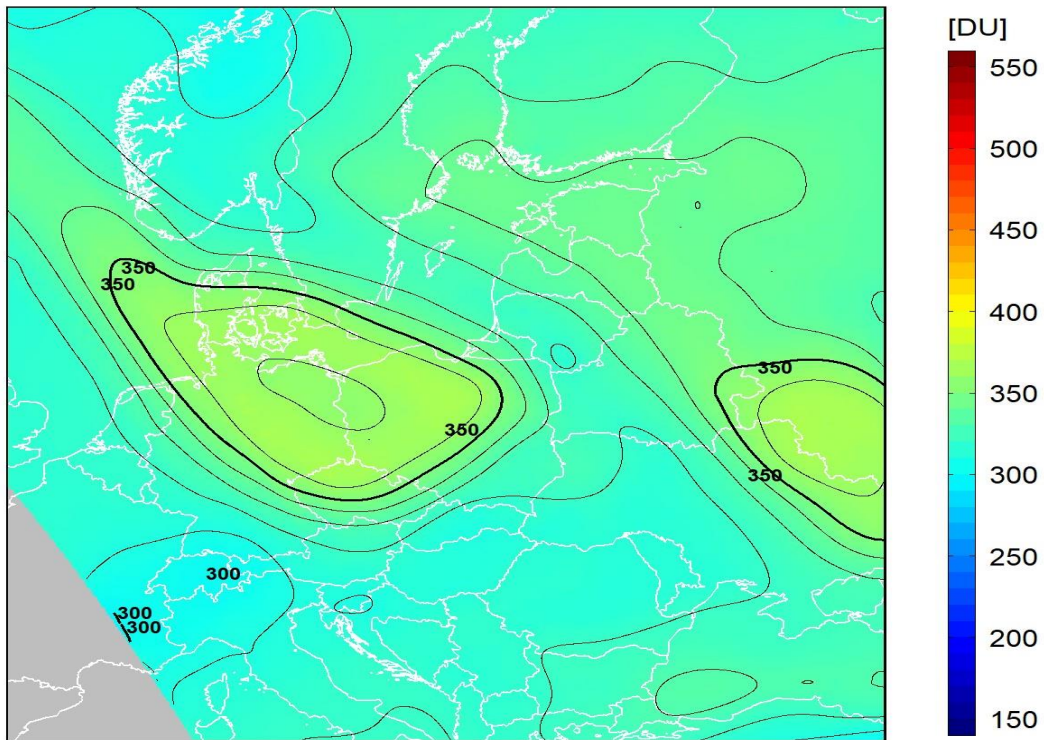
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-06-27 12 UTC
Referencja CZO3: 346D, Wsp. normalizacji: 0.915



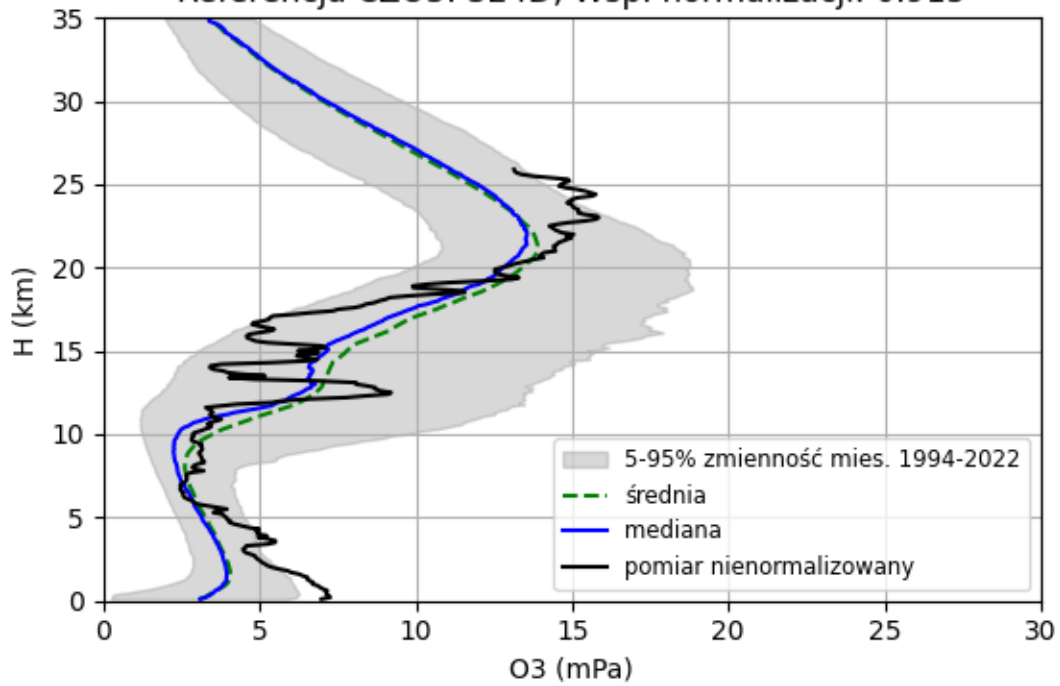
2023-06-27 godz. 10:57:40 - 11:05:47 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



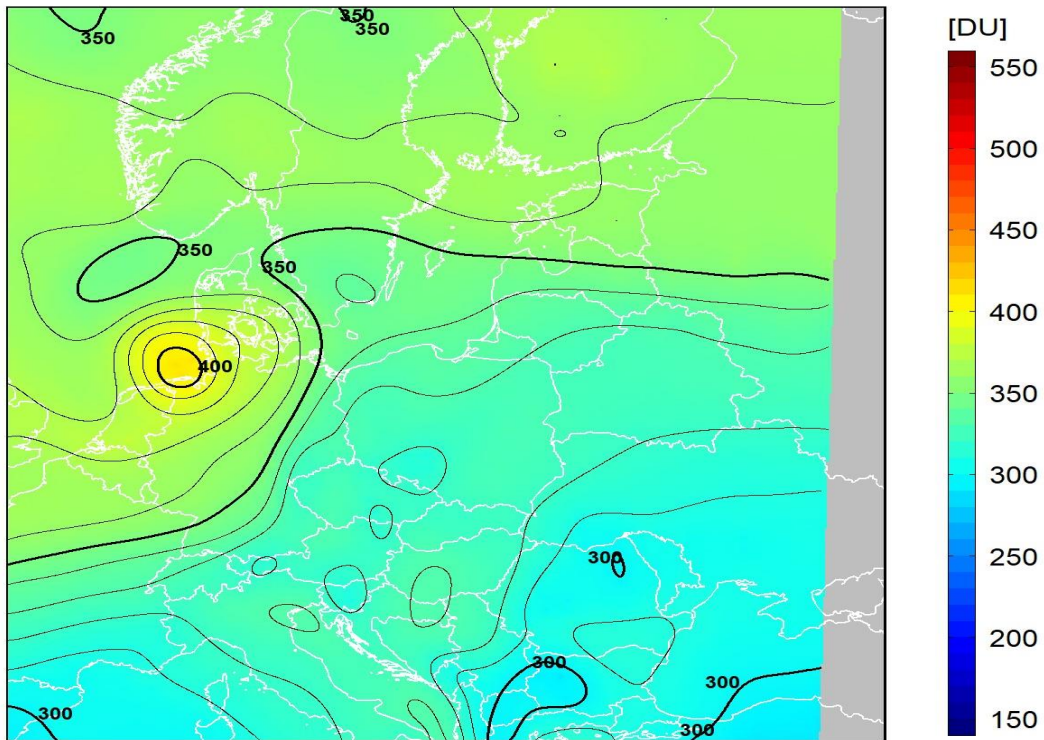
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-07-05 12 UTC
Referencja CZO3: 324D, Wsp. normalizacji: 0.915



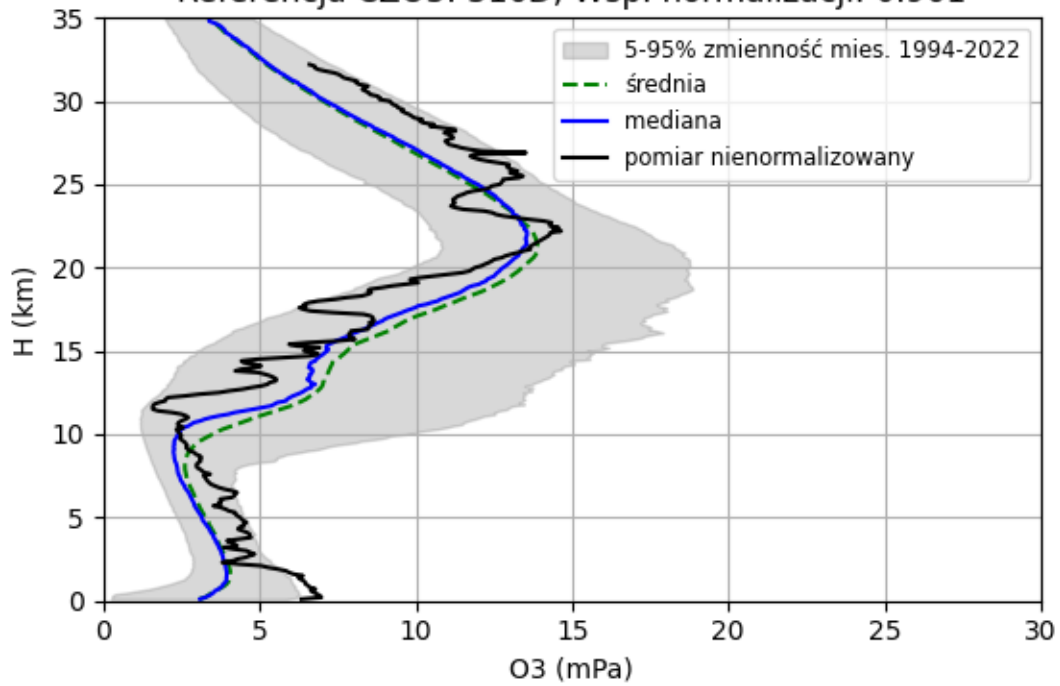
2023-07-05 godz. 11:48:25 - 11:55:39 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



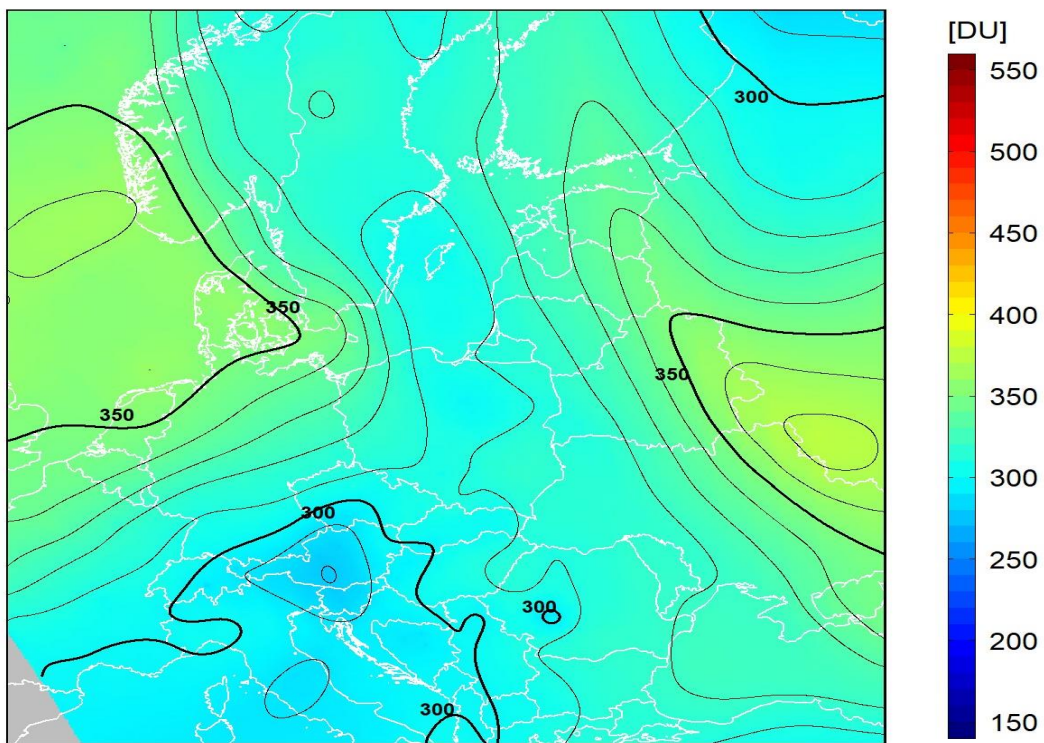
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-07-12 12 UTC
Referencja CZO3: 316D, Wsp. normalizacji: 0.961



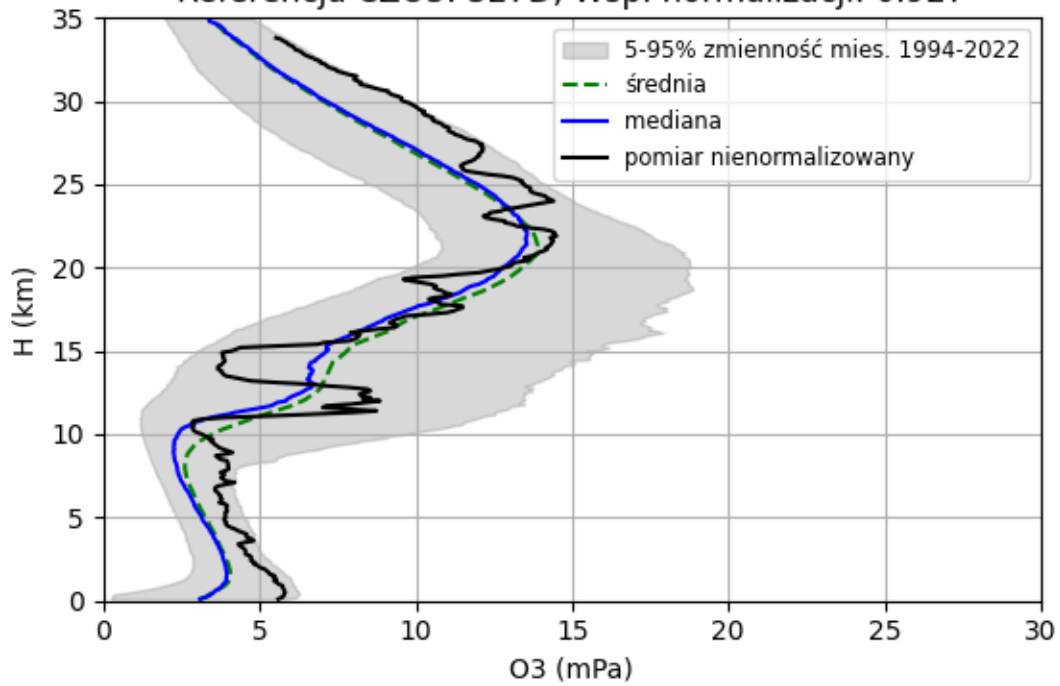
2023-07-12 godz. 11:16:43 - 11:24:27 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



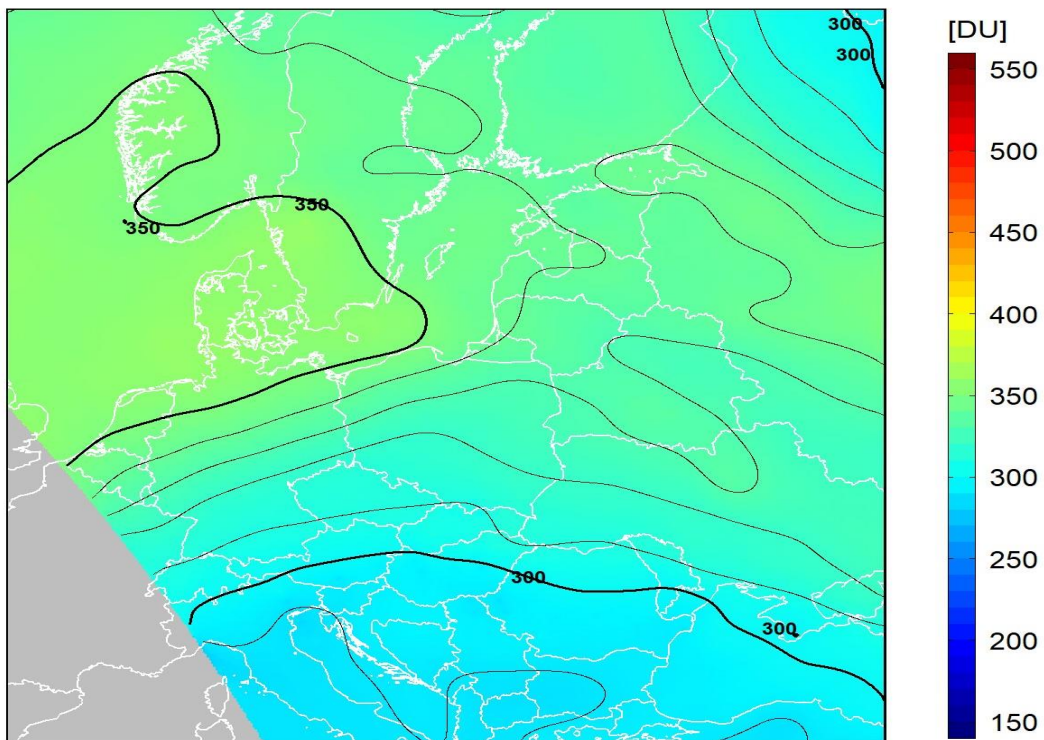
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-07-19 12 UTC
Referencja CZO3: 327D, Wsp. normalizacji: 0.927



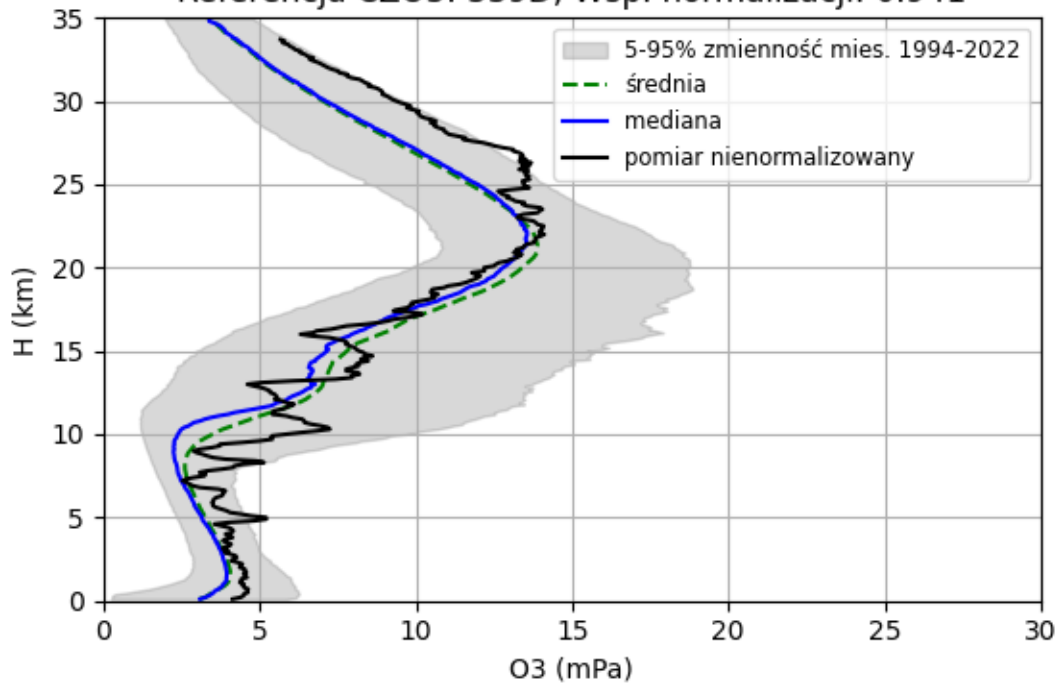
2023-07-19 godz. 10:45:06 - 10:53:20 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



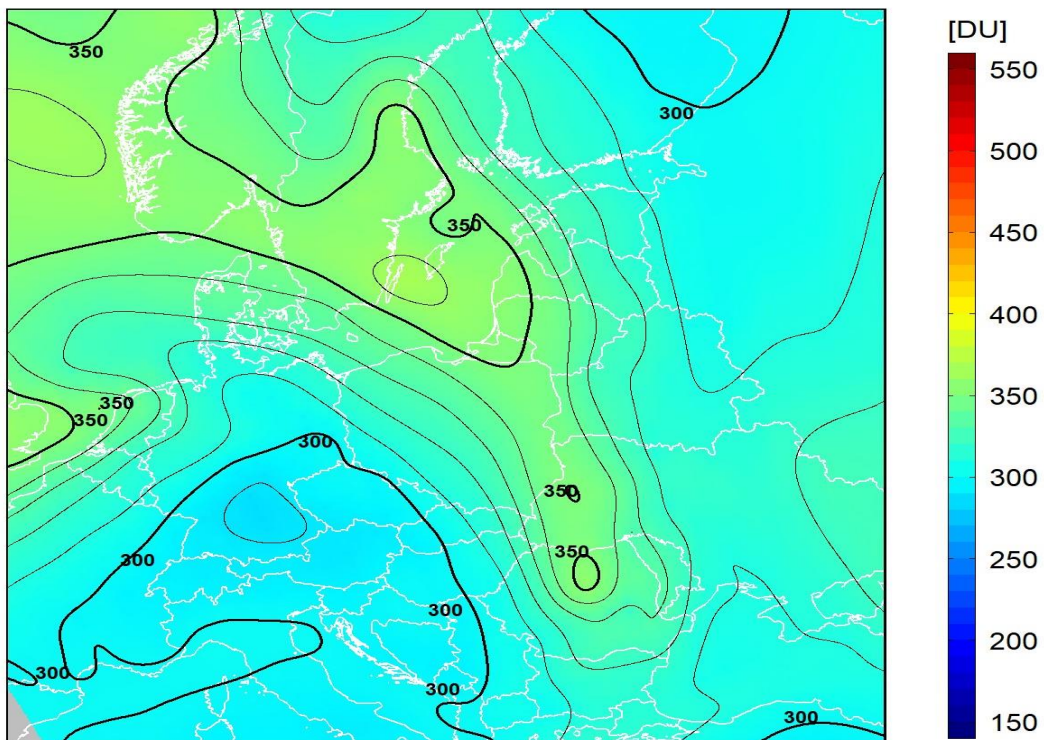
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-08-02 12 UTC
Referencja CZO3: 339D, Wsp. normalizacji: 0.941



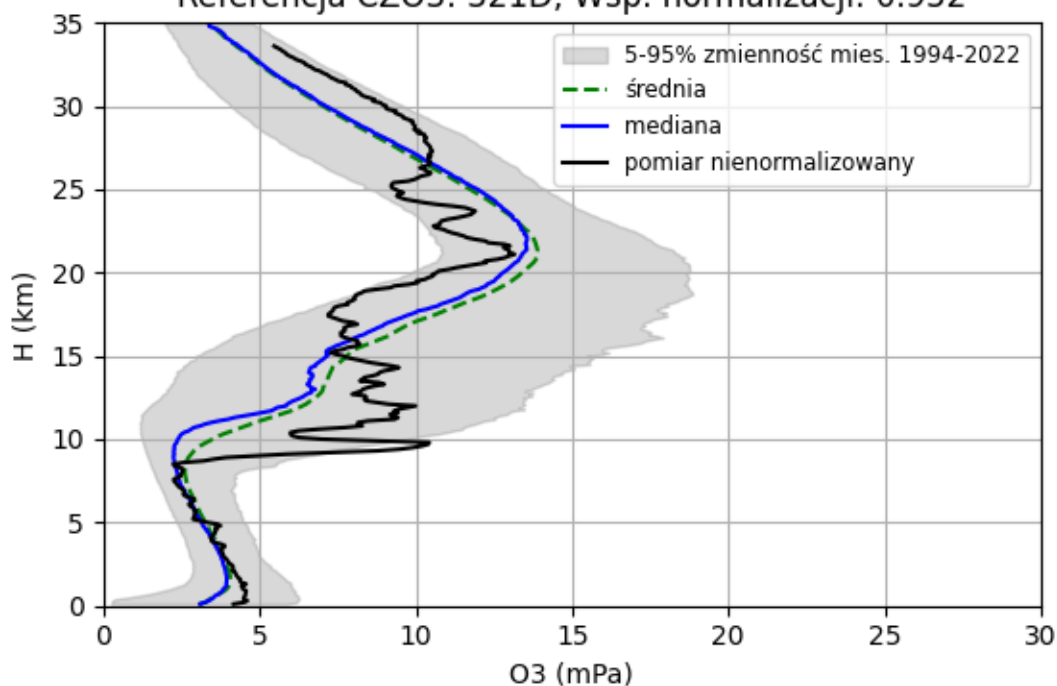
2023-08-02 godz. 11:23:06 - 11:30:43 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



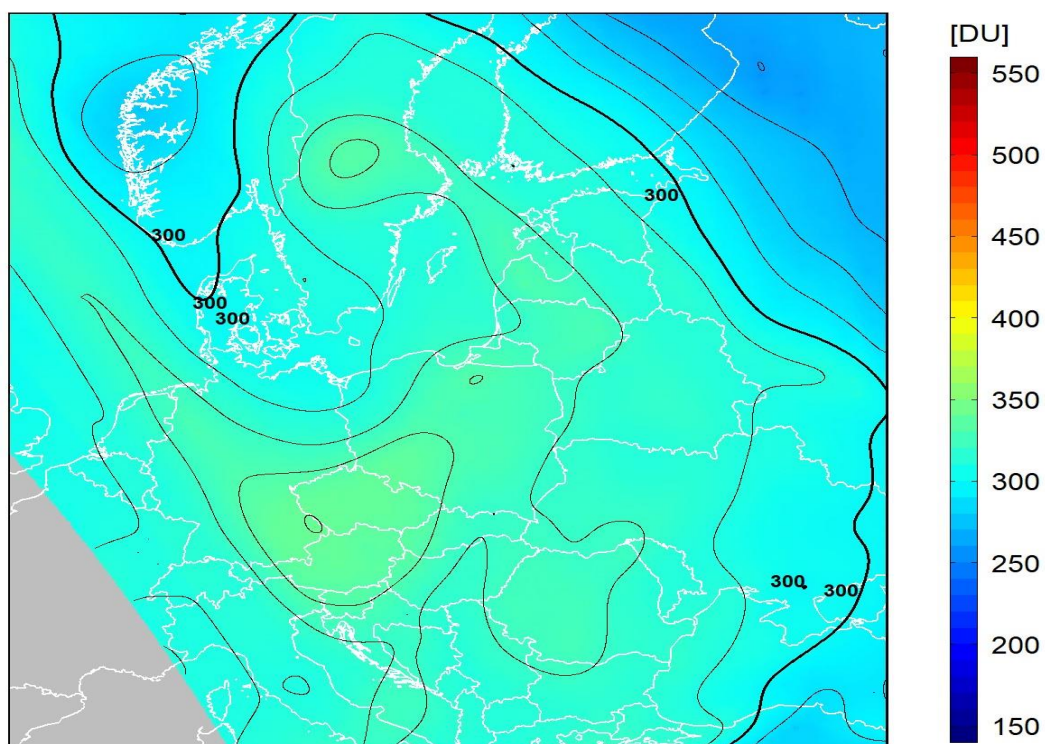
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-08-09 12 UTC
Referencja CZO3: 321D, Wsp. normalizacji: 0.952



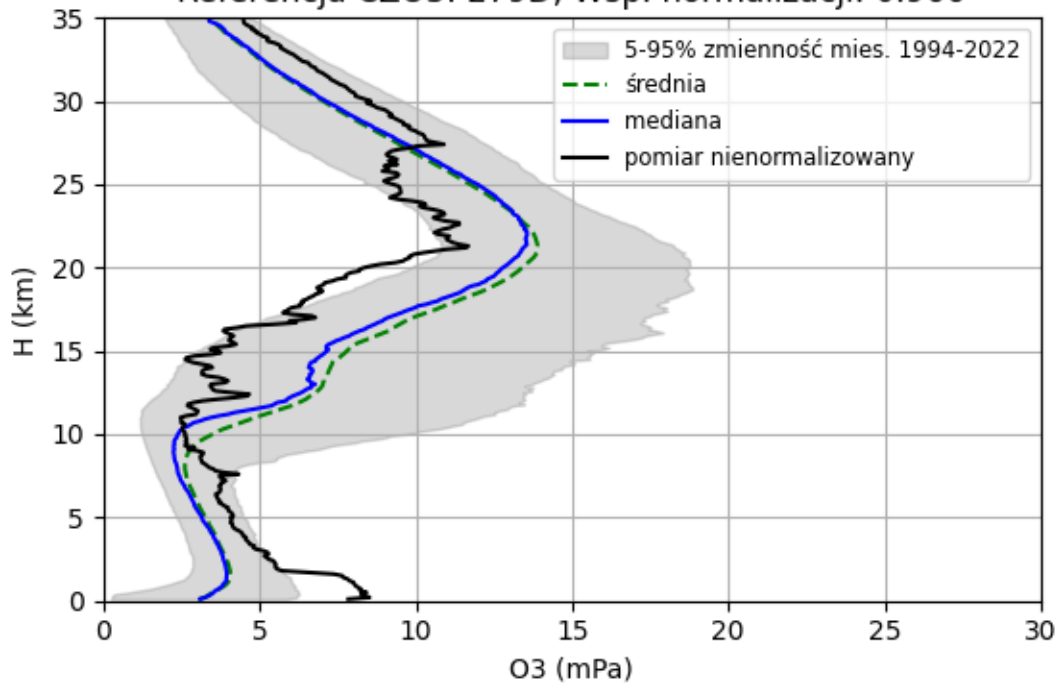
2023-08-09 godz. 10:51:22 - 10:59:37 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



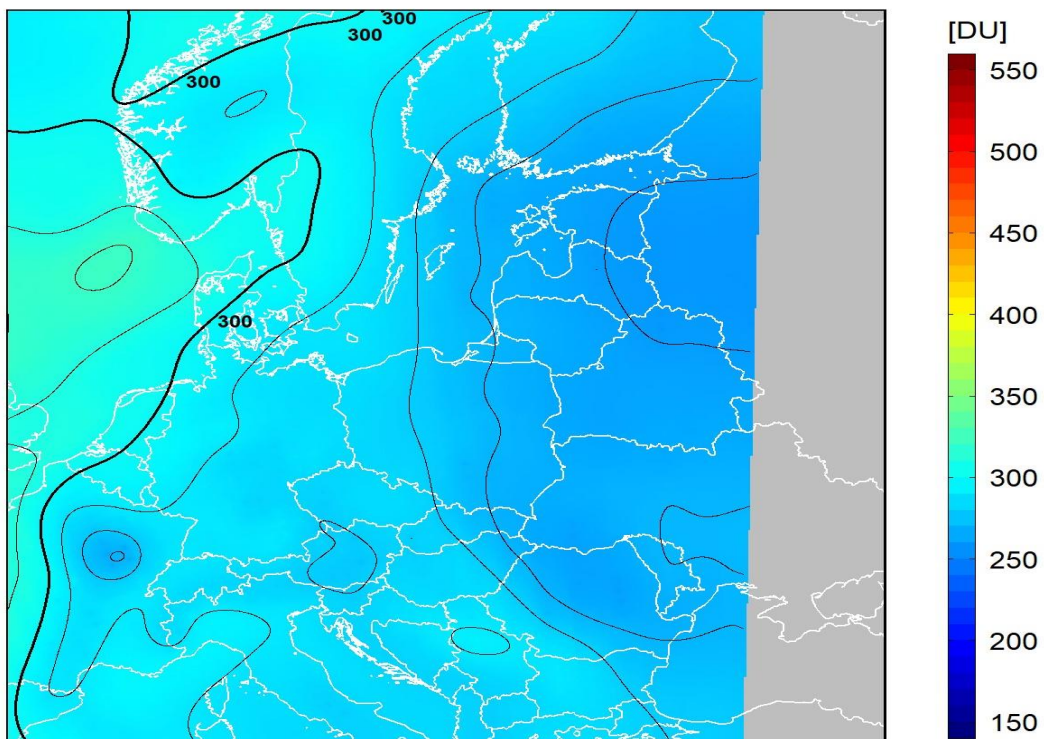
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-08-16 12 UTC
Referencja CZO3: 279D, Wsp. normalizacji: 0.966



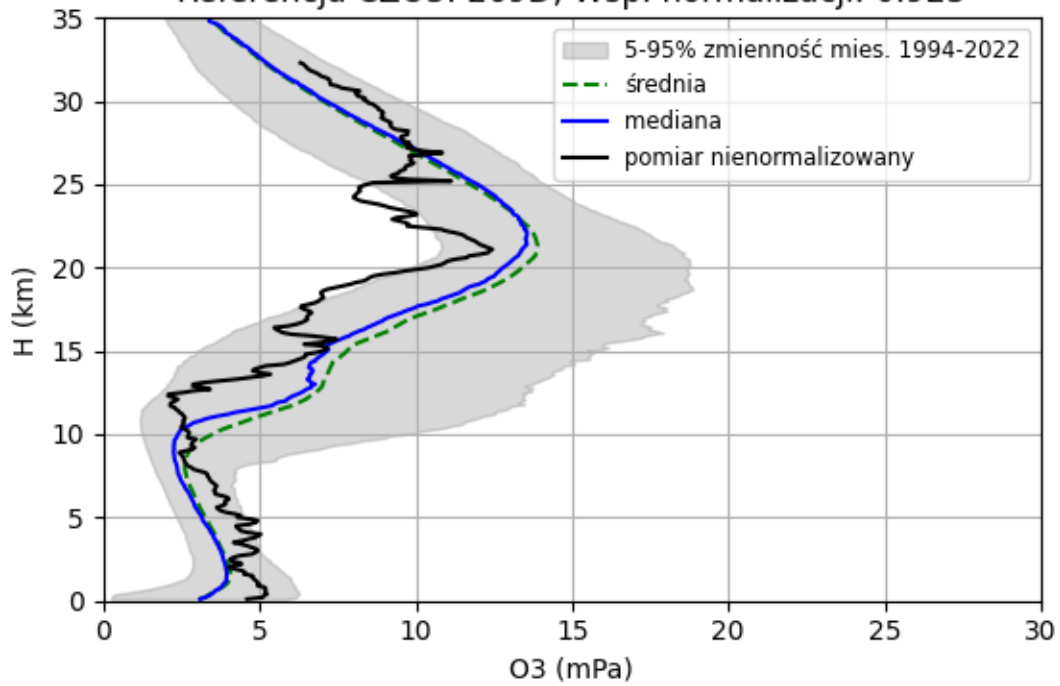
2023-08-16 godz. 12:01:10 - 12:08:17 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



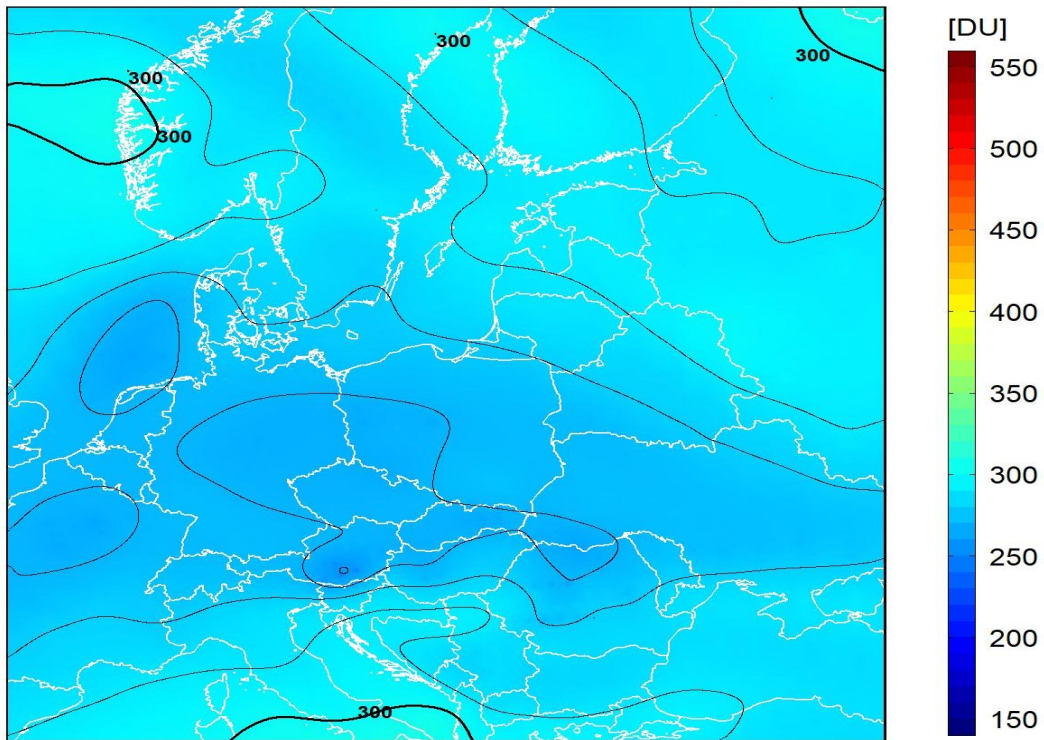
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-08-23 12 UTC
Referencja CZO3: 269D, Wsp. normalizacji: 0.923



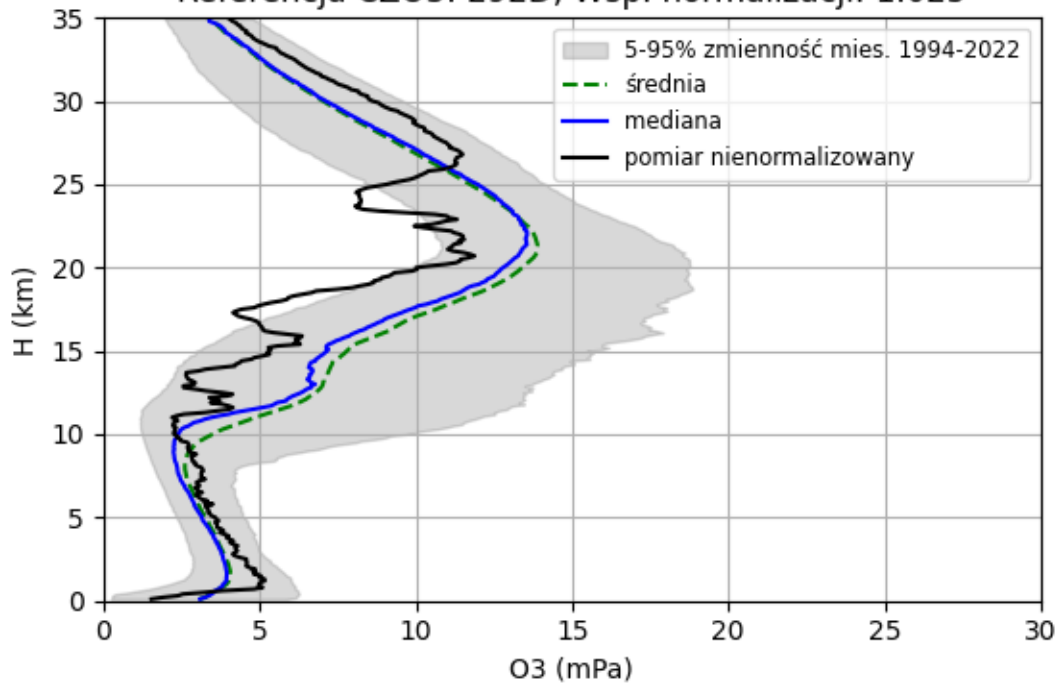
2023-08-23 godz. 11:29:22 - 11:36:52 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



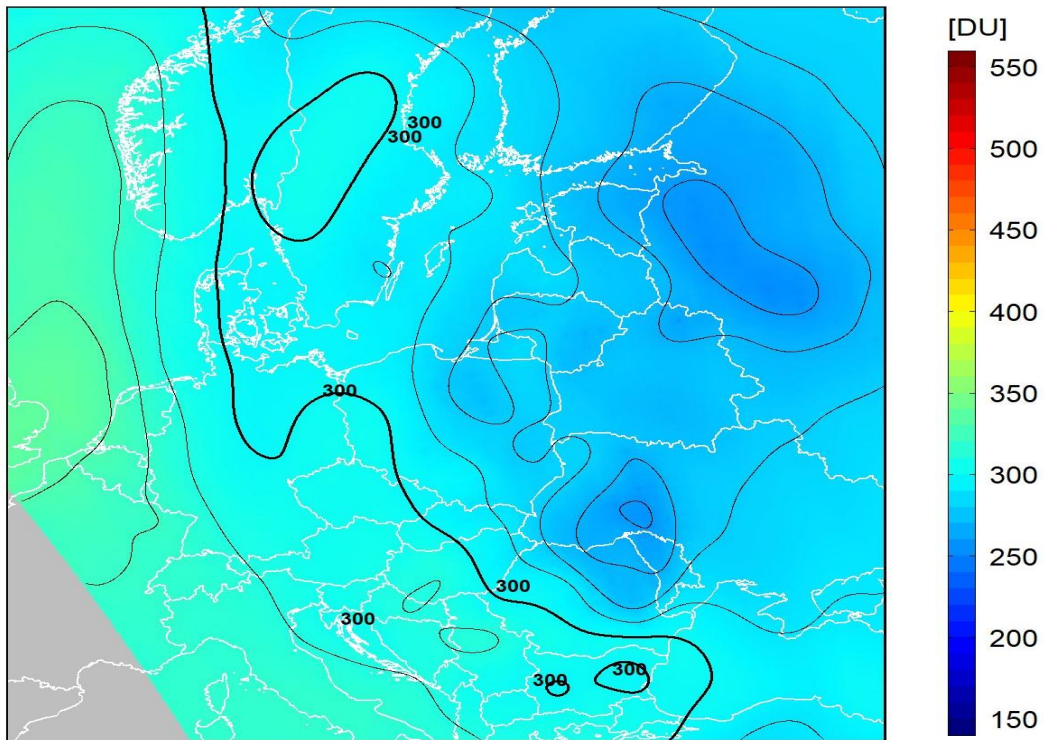
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-08-30 12 UTC
Referencja CZO3: 292D, Wsp. normalizacji: 1.025



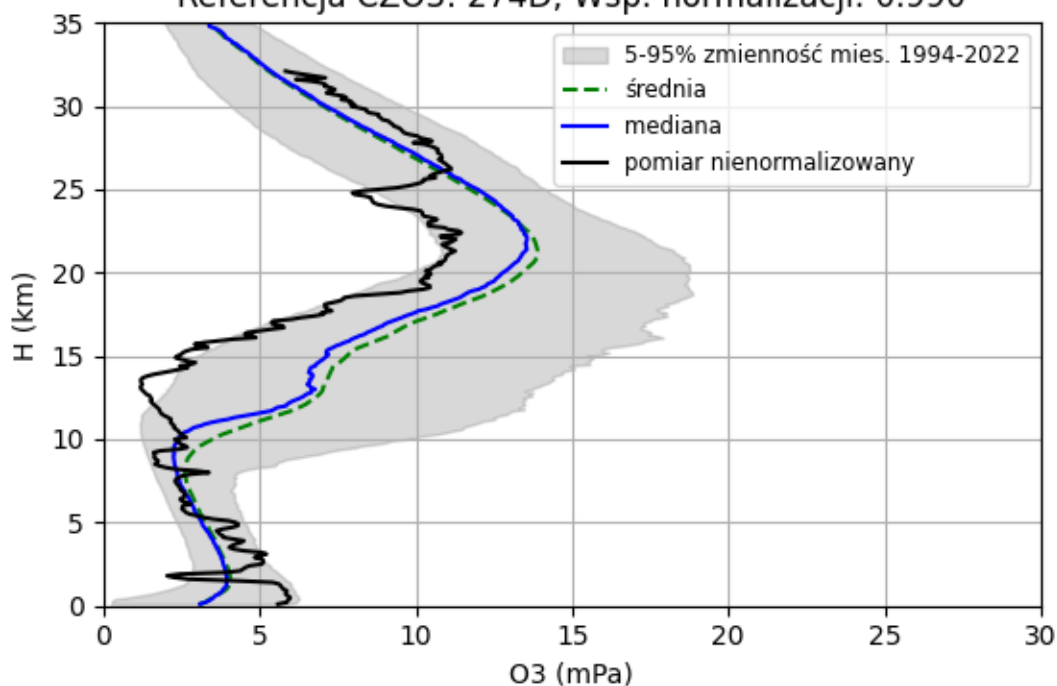
2023-08-30 godz. 10:57:33 - 11:05:40 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



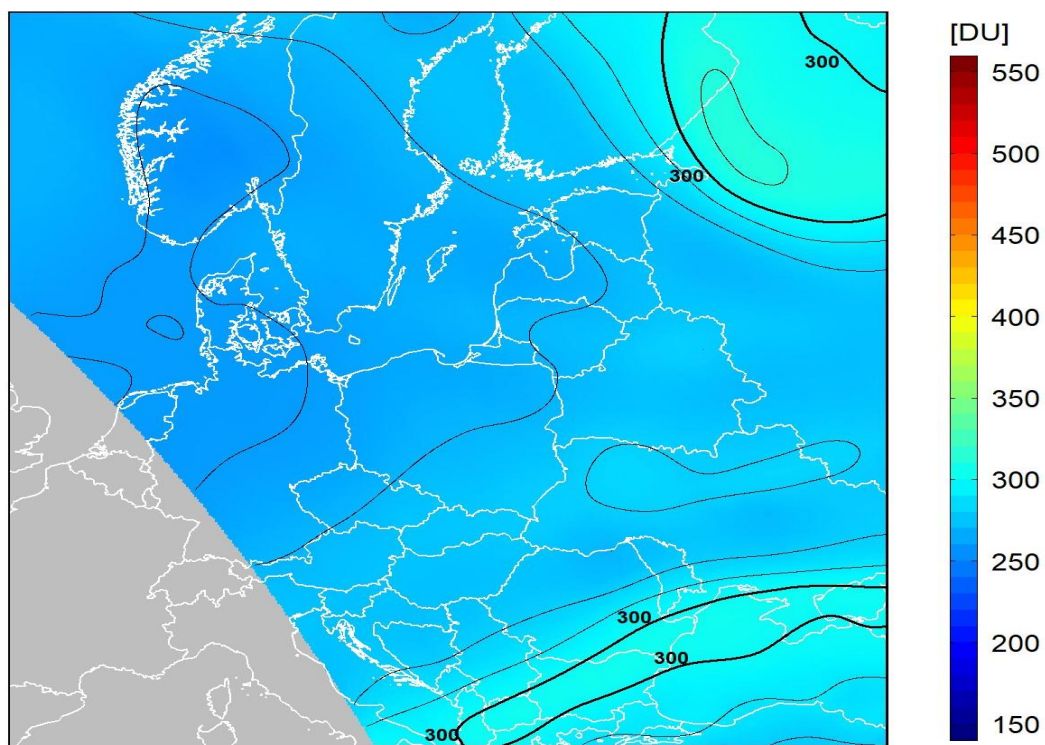
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-09-06 12 UTC
Referencja CZO3: 274D, Wsp. normalizacji: 0.990



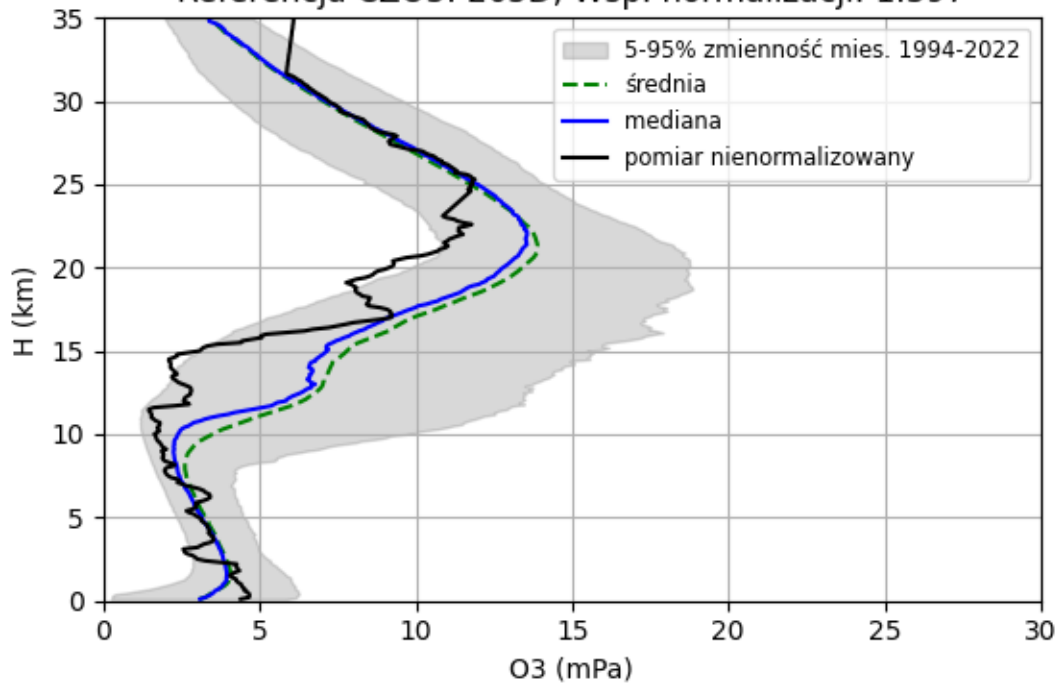
2023-09-06 godz. 10:25:54 - 10:34:38 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



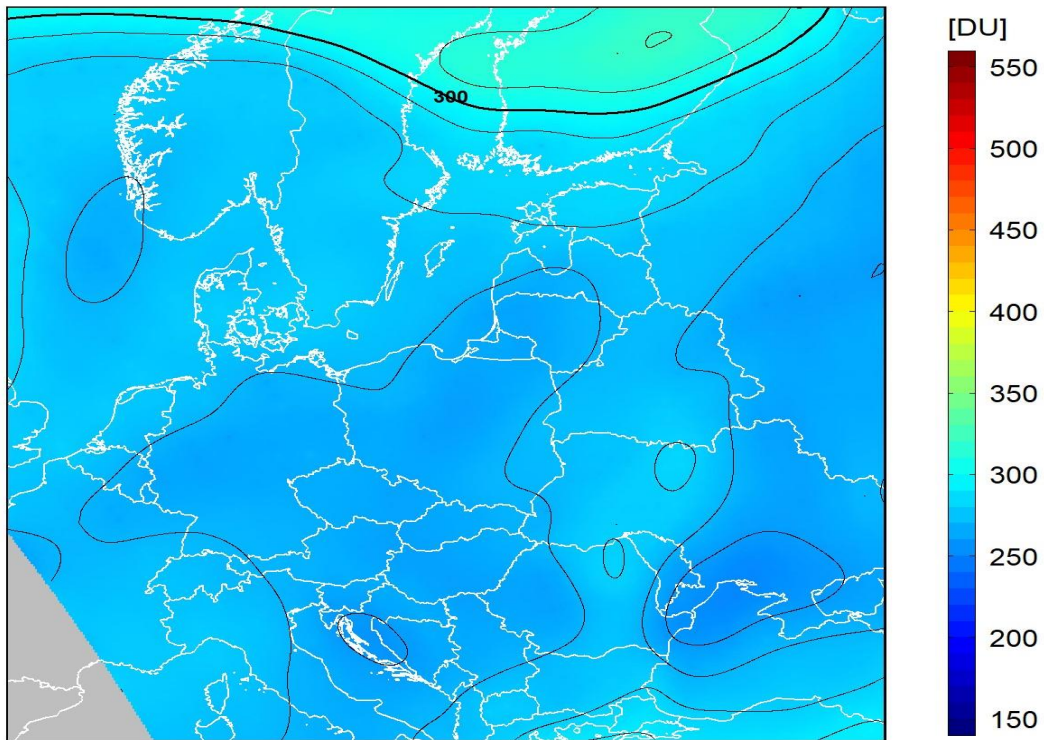
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-09-20 12 UTC
Referencja CZO3: 265D, Wsp. normalizacji: 1.397



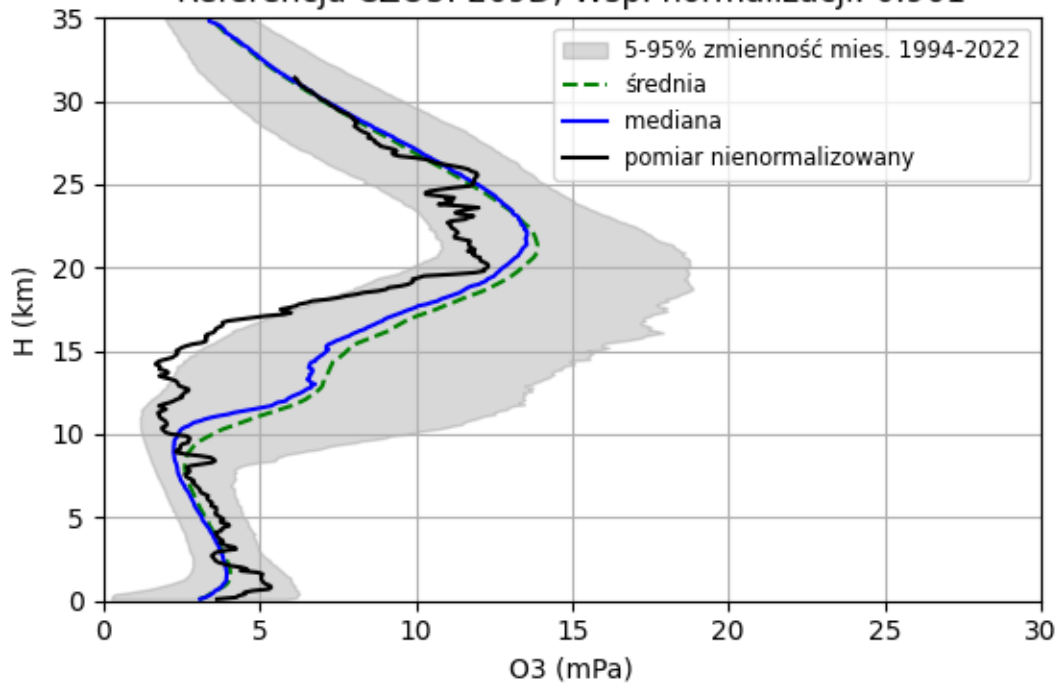
2023-09-20 godz. 11:03:36 - 11:11:35 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



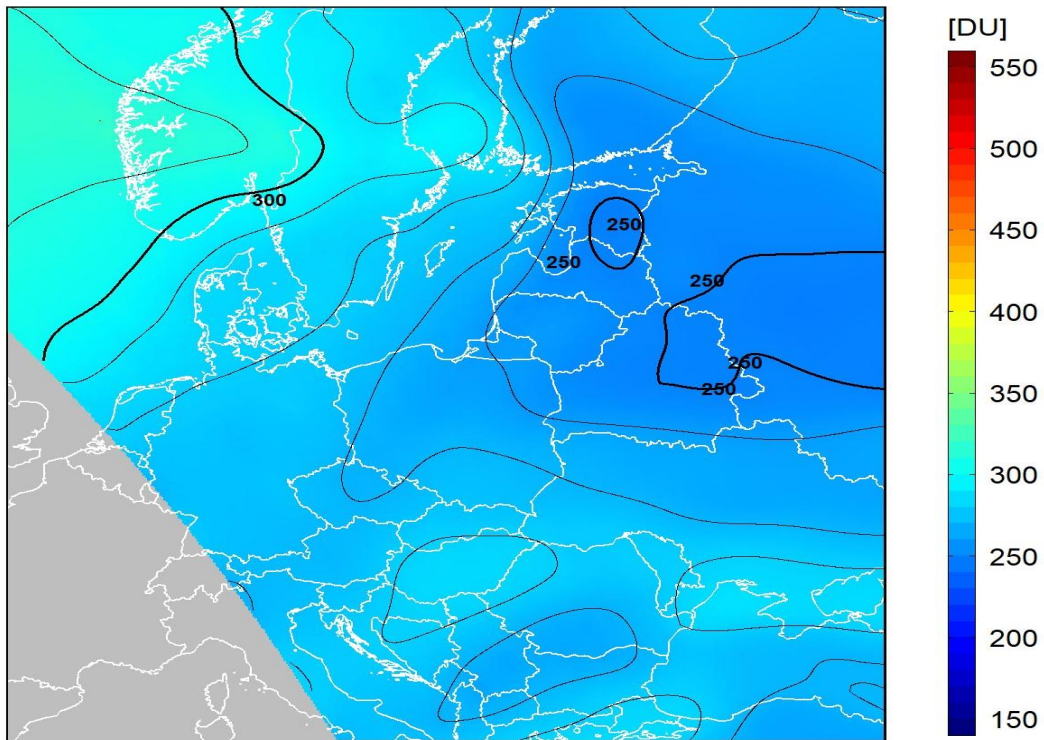
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-09-27 12 UTC
Referencja CZO3: 269D, Wsp. normalizacji: 0.961



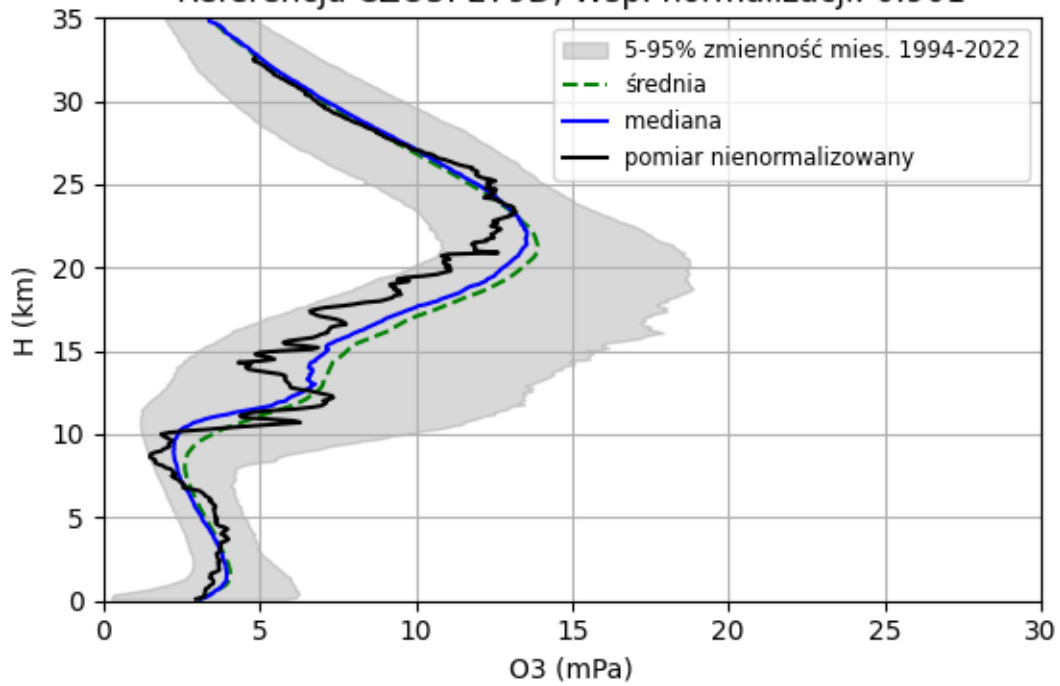
2023-09-27 godz. 10:31:48 - 10:40:25 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



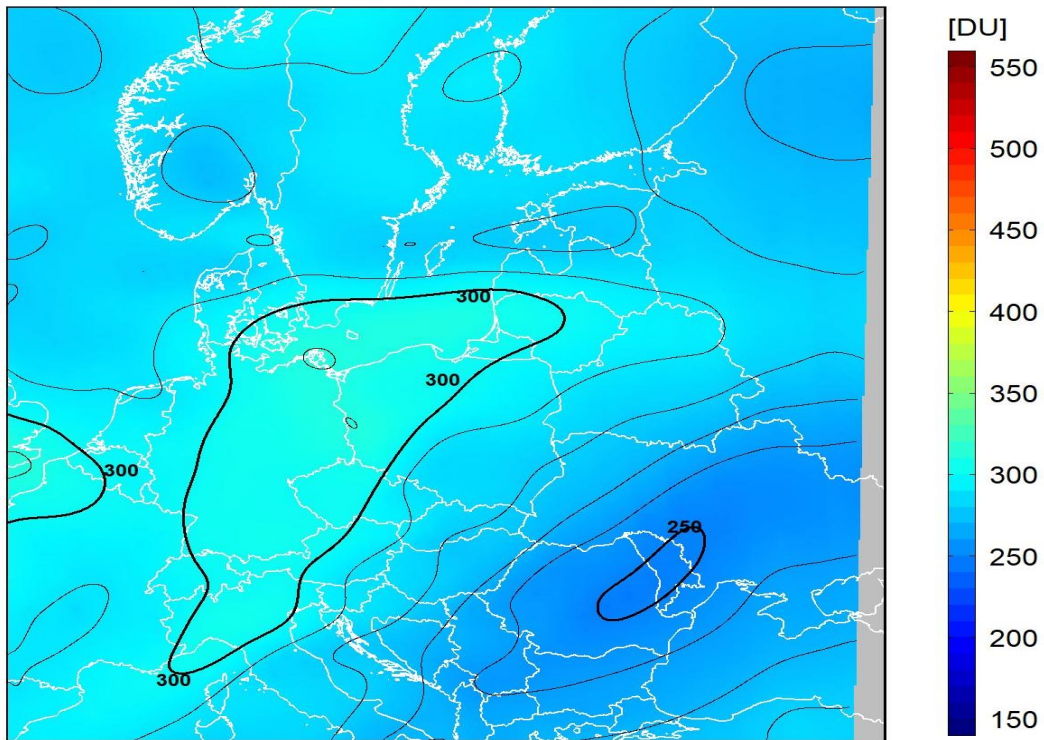
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-10-04 12 UTC
Referencja CZO3: 279D, Wsp. normalizacji: 0.901



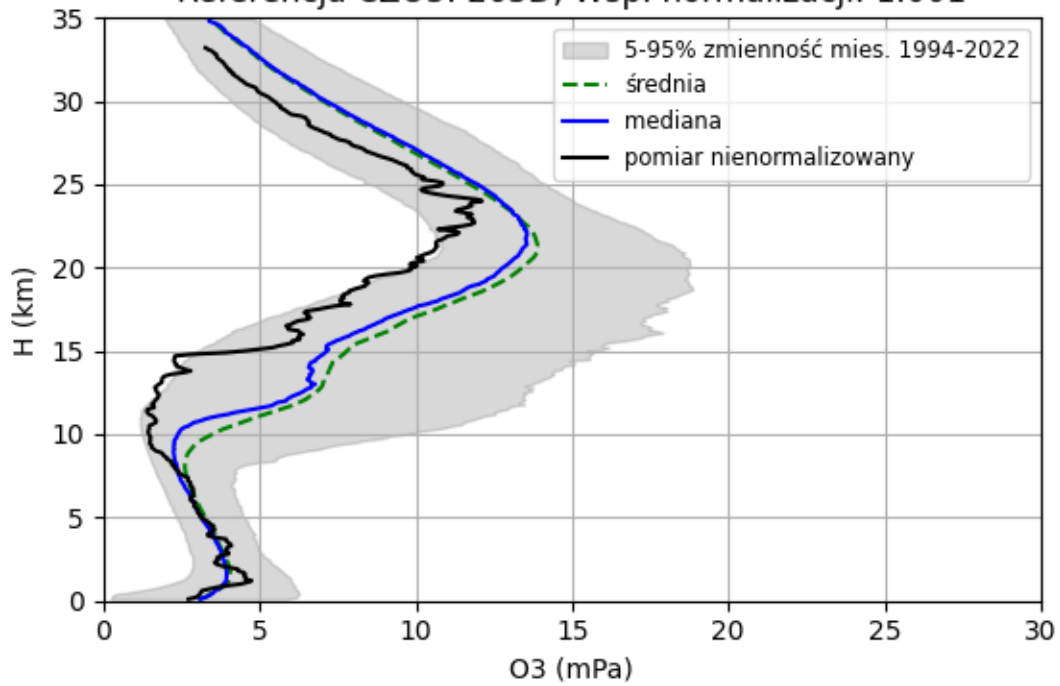
2023-10-04 godz. 11:41:22 - 11:48:36 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



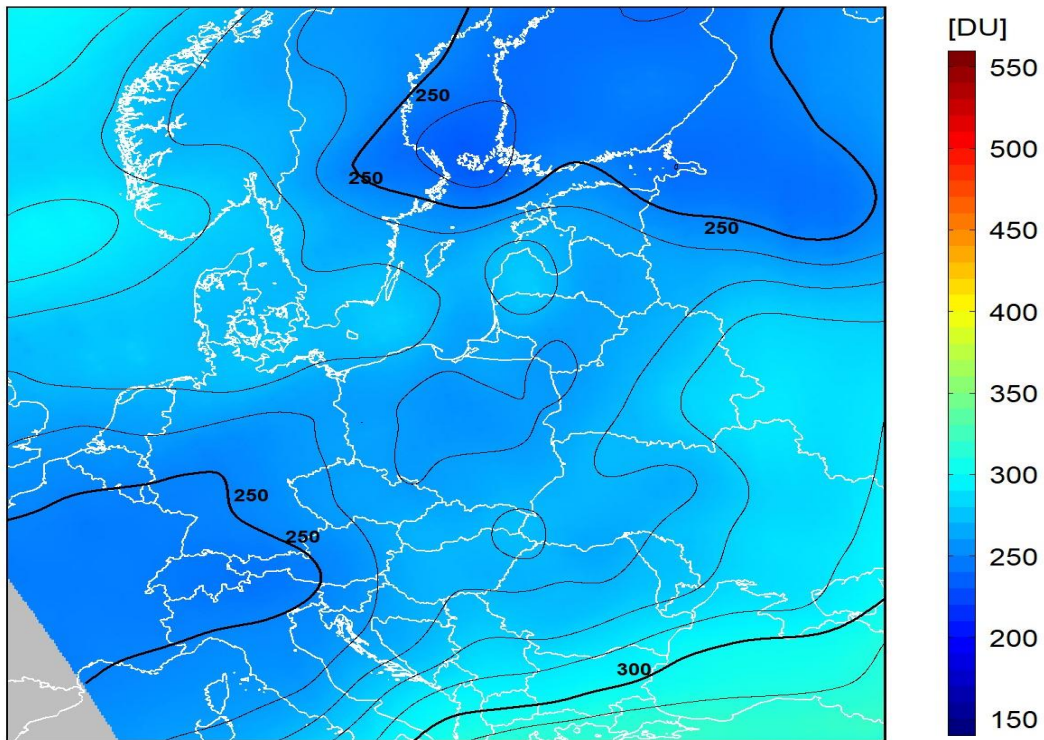
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-10-11 12 UTC
Referencja CZO3: 263D, Wsp. normalizacji: 1.001



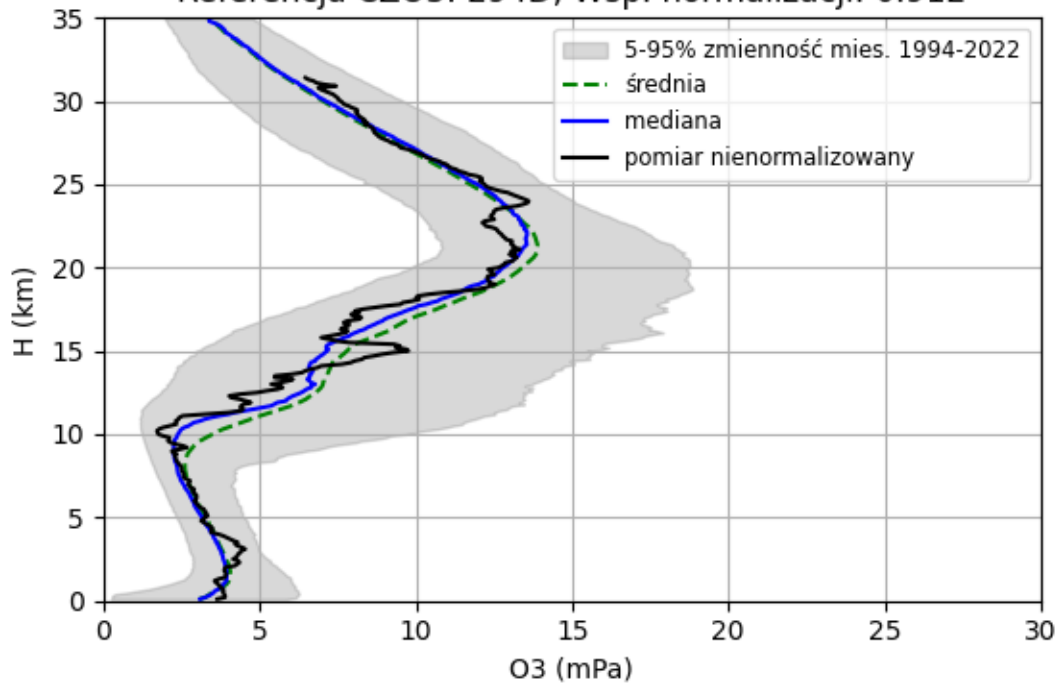
2023-10-11 godz. 11:09:23 - 11:17:15 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O_3) w kolumnie atmosfery



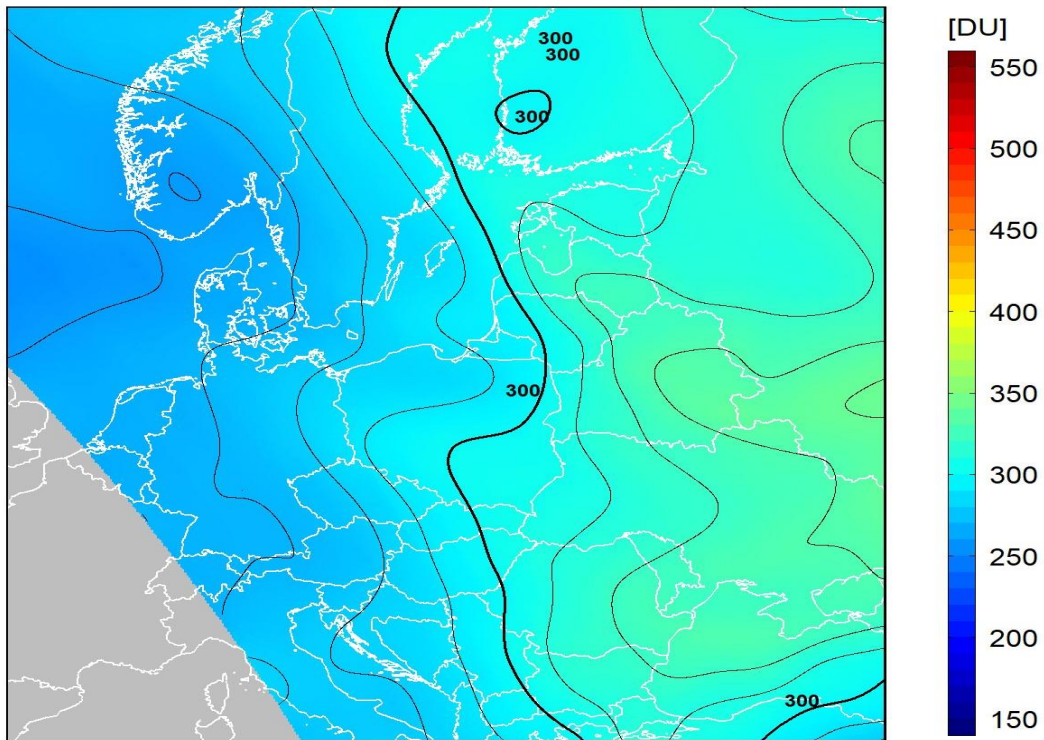
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-10-18 12 UTC
Referencja CZO3: 294D, Wsp. normalizacji: 0.912



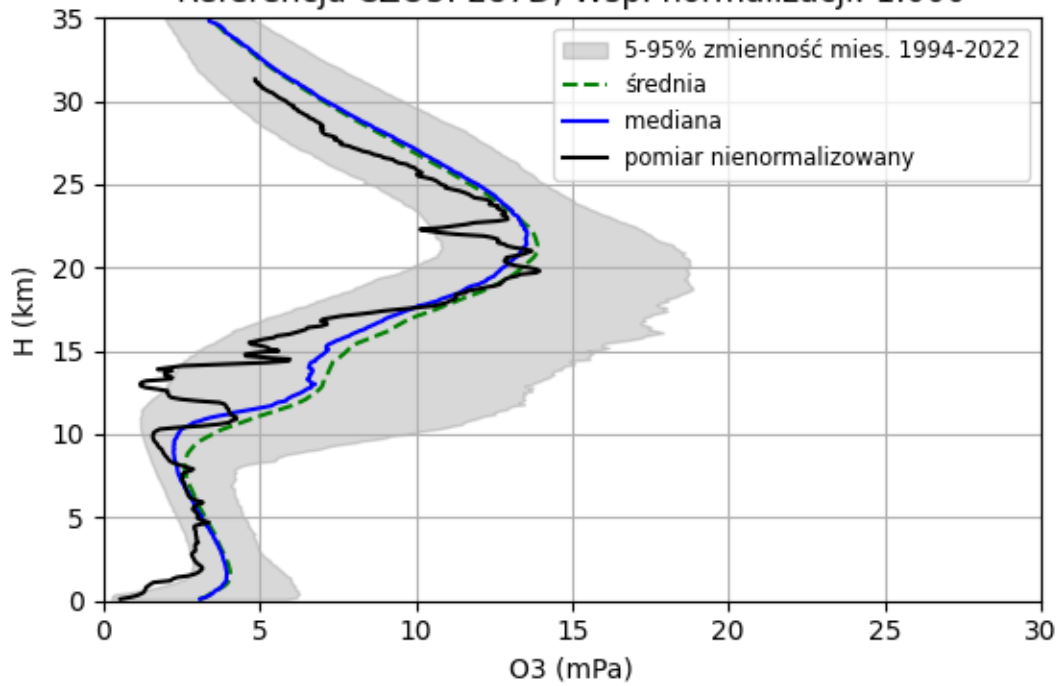
2023-10-18 godz. 10:37:54 - 10:46:23 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



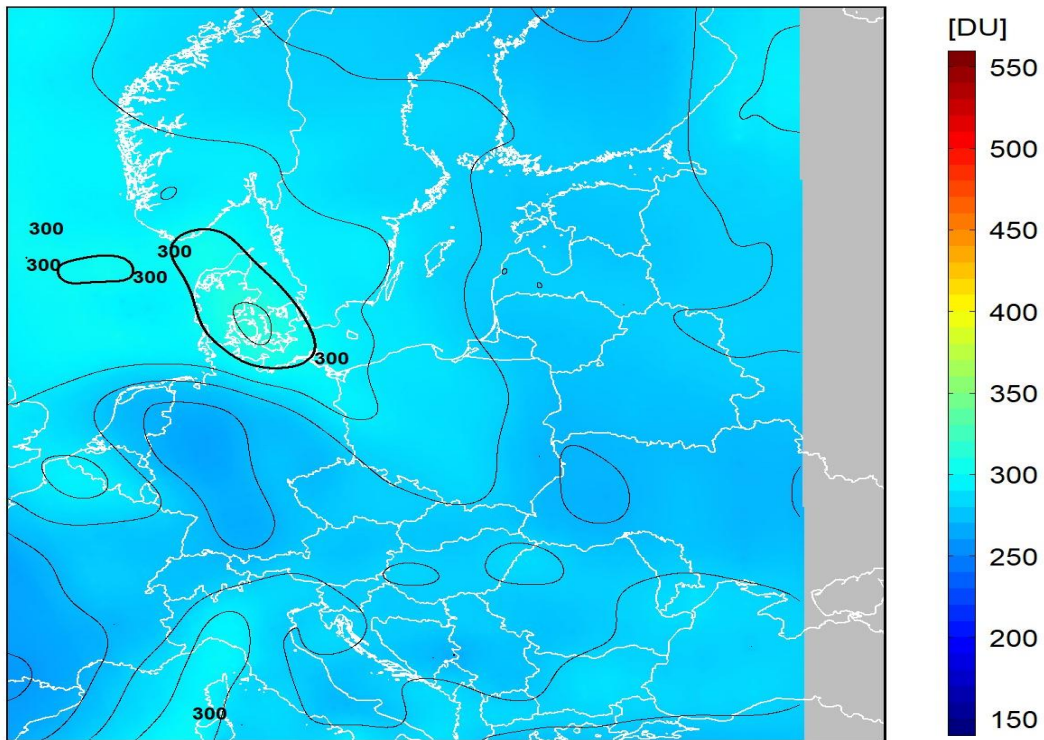
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-10-25 12 UTC
Referencja CZO3: 287D, Wsp. normalizacji: 1.000



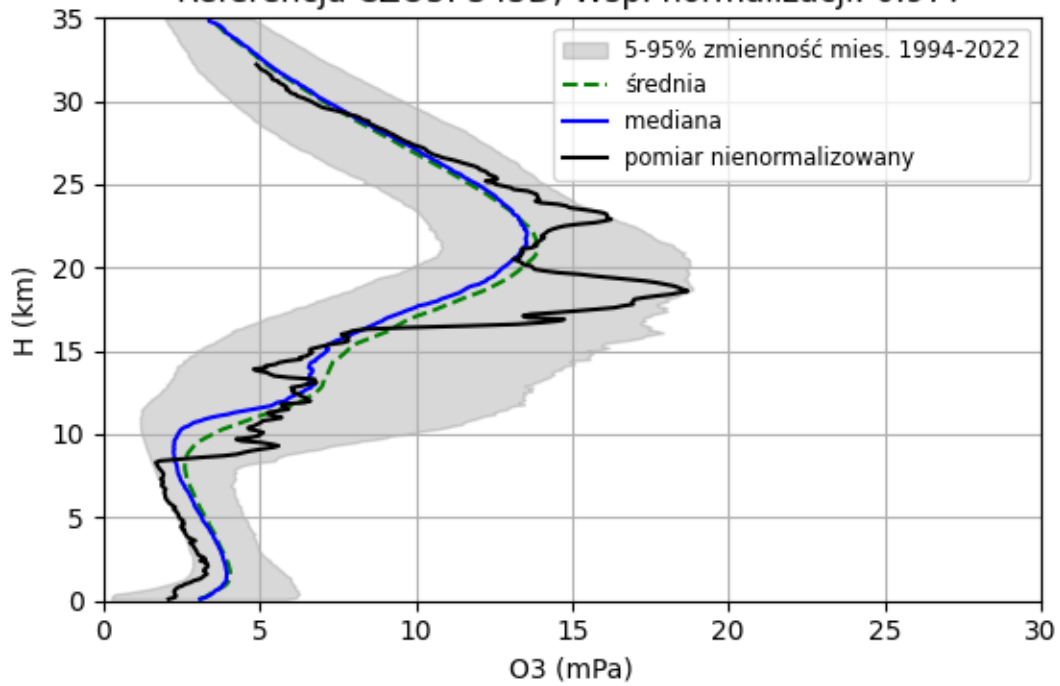
2023-10-25 godz. 11:47:38 - 11:54:53 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



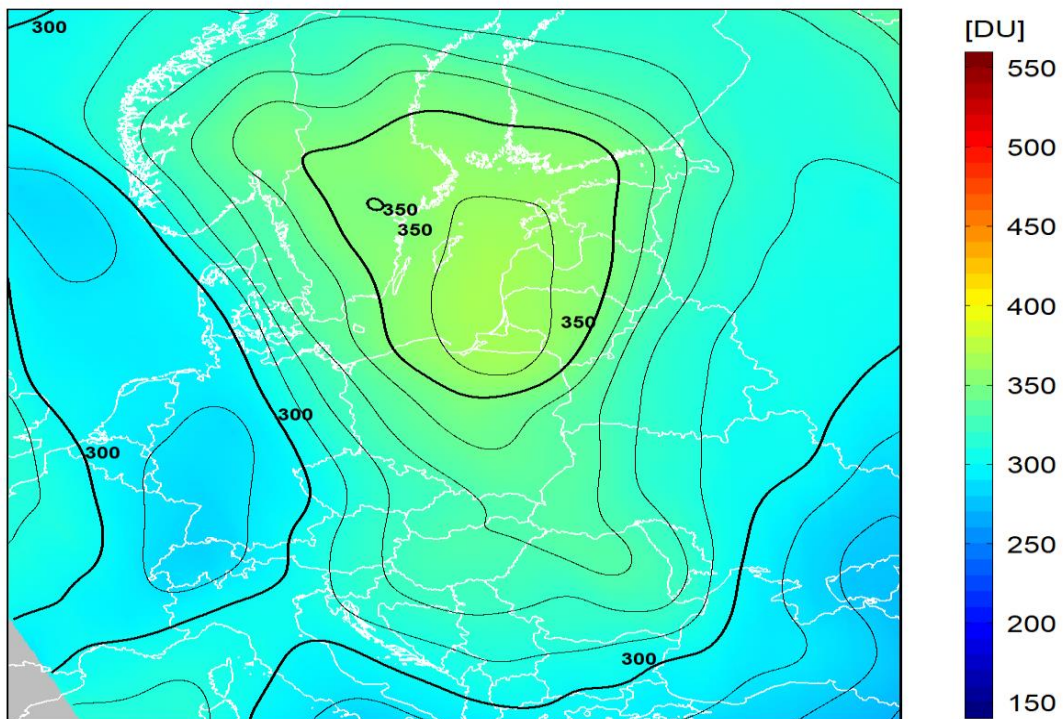
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-11-01 12 UTC
Referencja CZO3: 345D, Wsp. normalizacji: 0.977



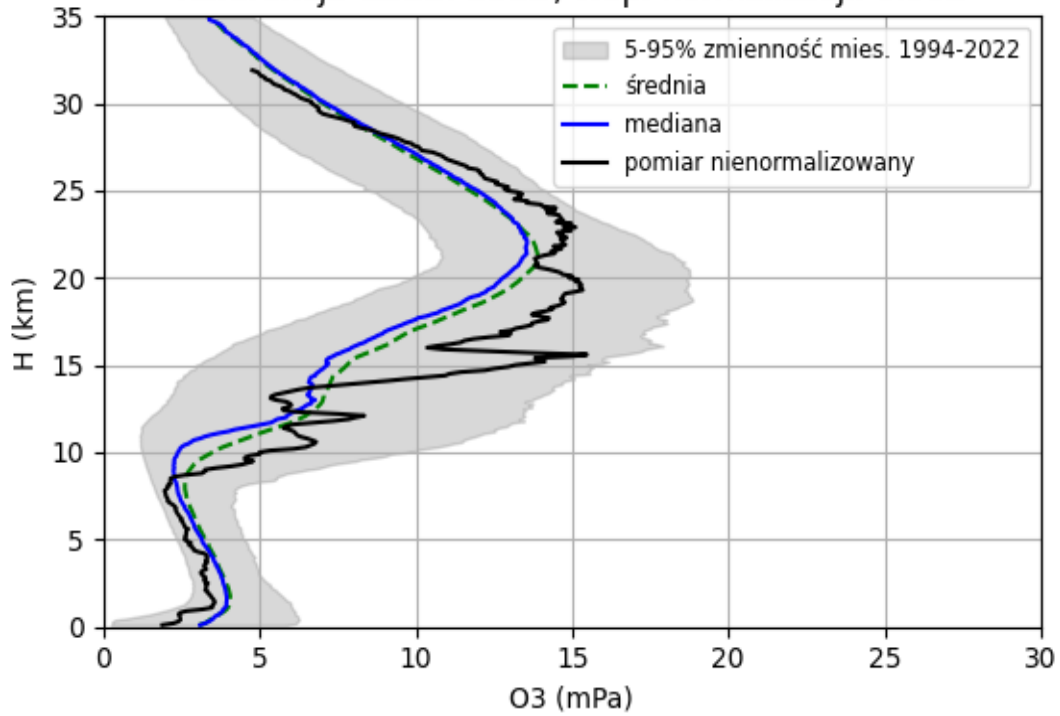
2023-11-01 godz. 11:15:59 - 11:23:36 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



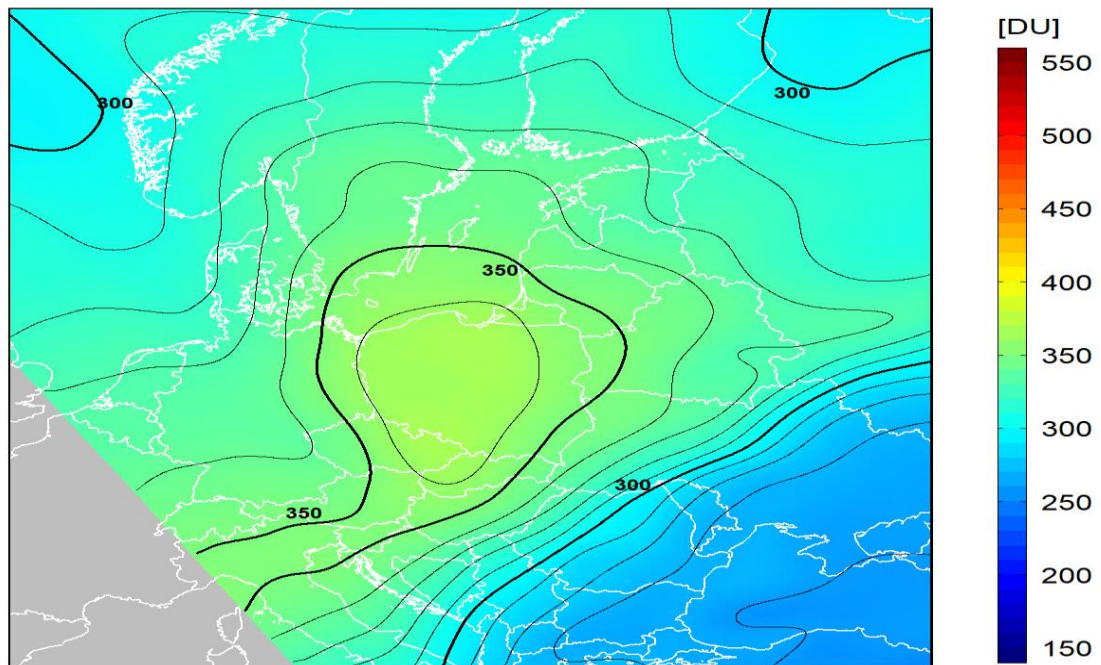
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-11-08 12 UTC
Referencja CZO3: 351D, Wsp. normalizacji: 0.962



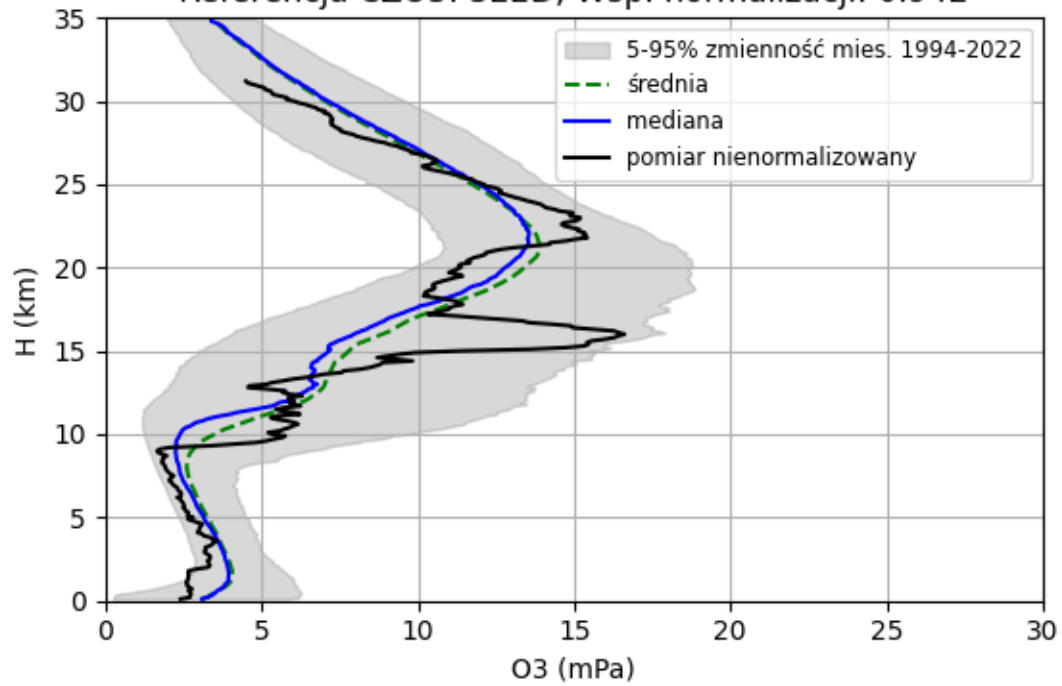
2023-11-08 godz. 10:44:15 - 10:52:36 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



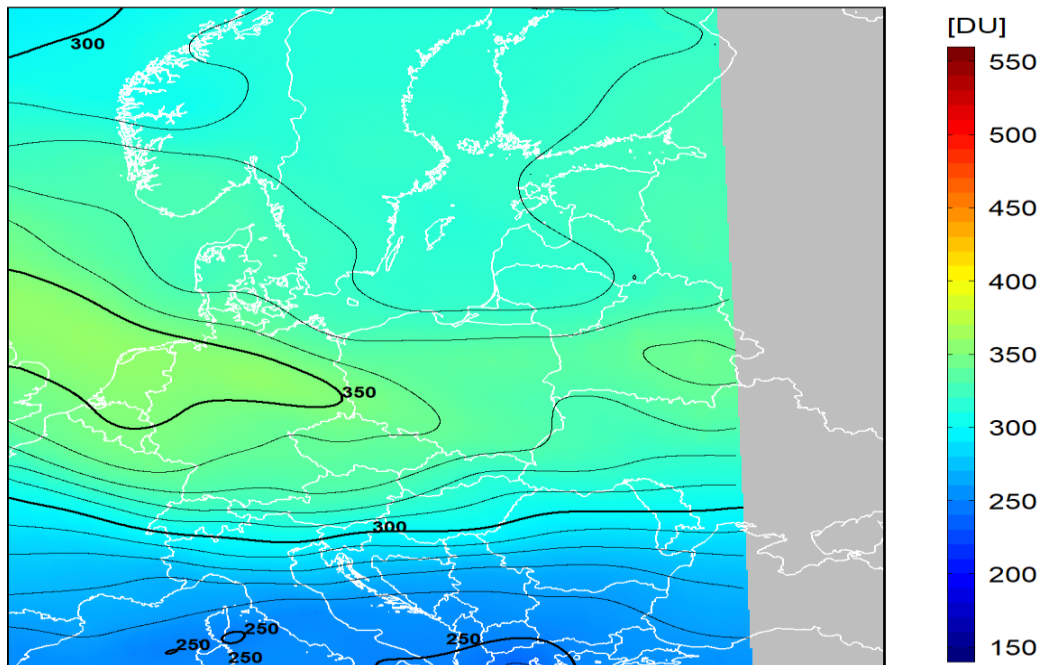
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-11-15 12 UTC
Referencja CZO3: 322D, Wsp. normalizacji: 0.942



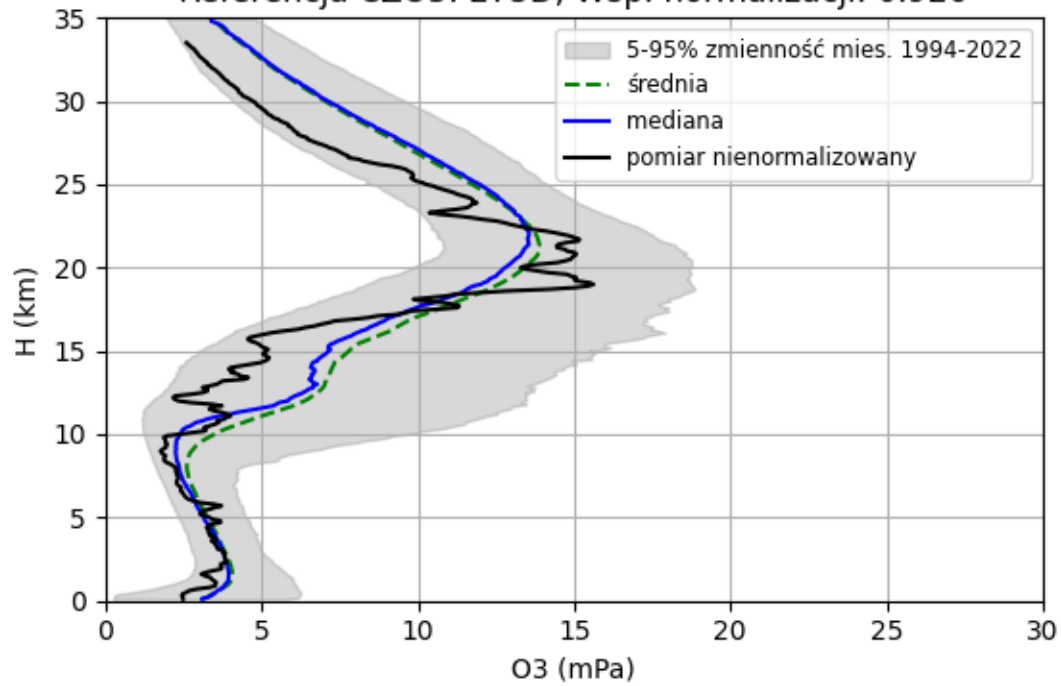
2023-11-15 godz. 11:54:03 - 12:01:10 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



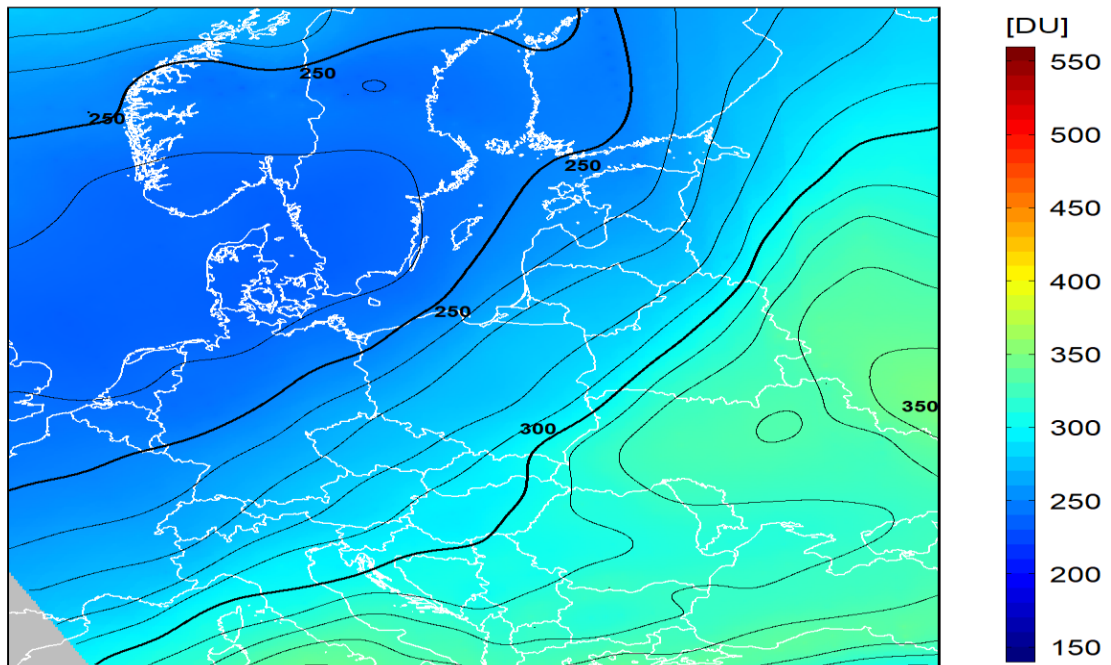
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-11-22 12 UTC
Referencja CZO3: 275D, Wsp. normalizacji: 0.926



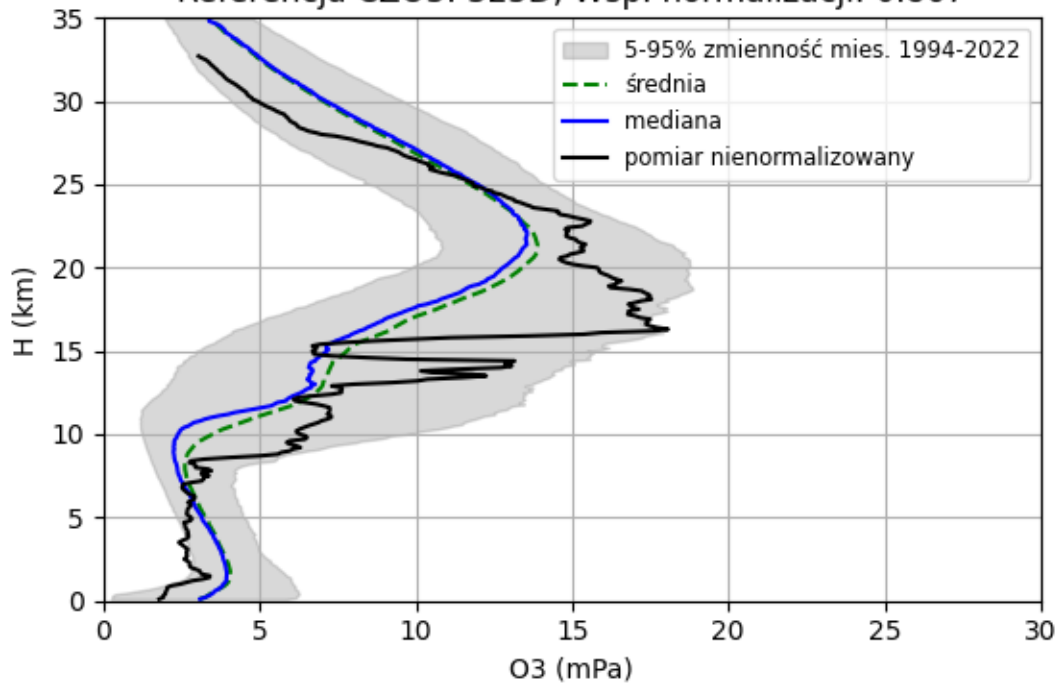
2023-11-22 godz. 11:22:23 - 11:29:52 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



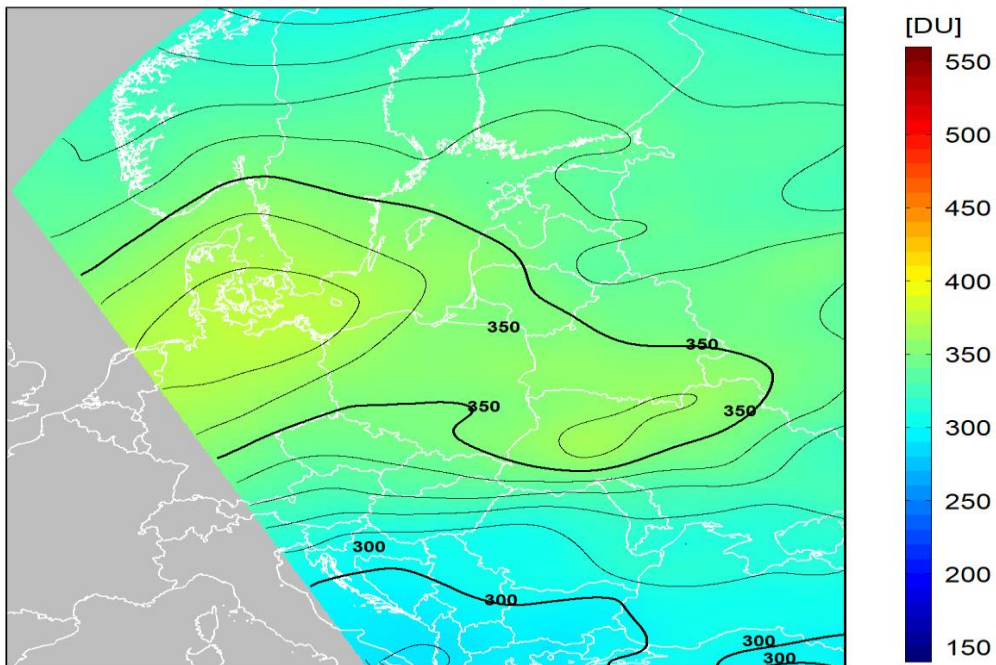
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-11-30 12 UTC
Referencja CZO3: 325D, Wsp. normalizacji: 0.867



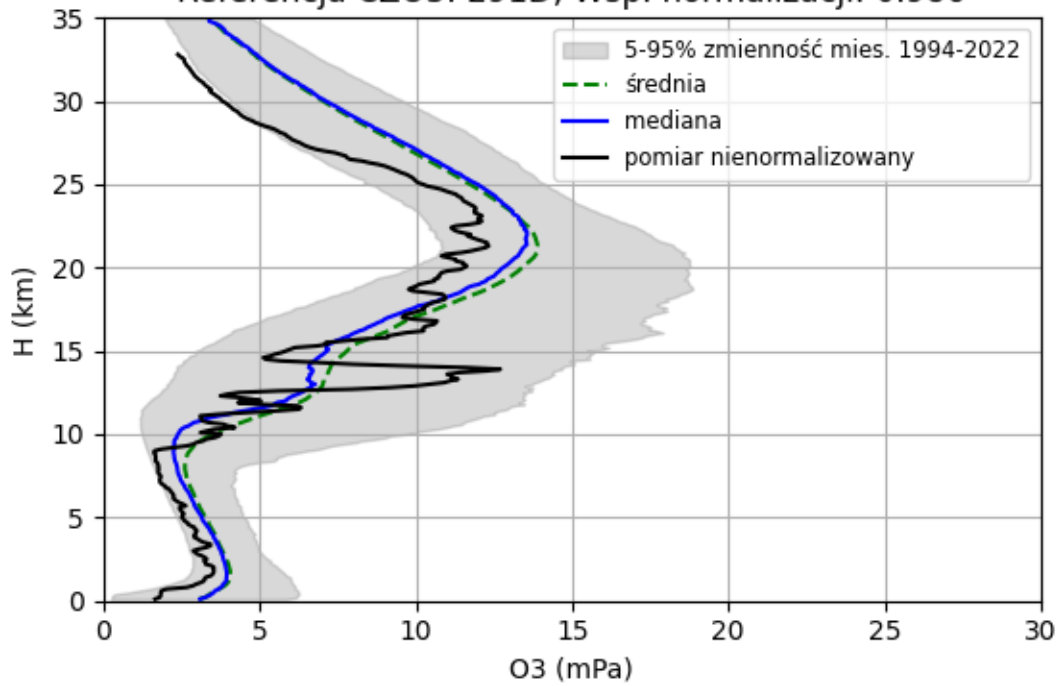
2023-11-30 godz. 10:31:36 - 10:39:28 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



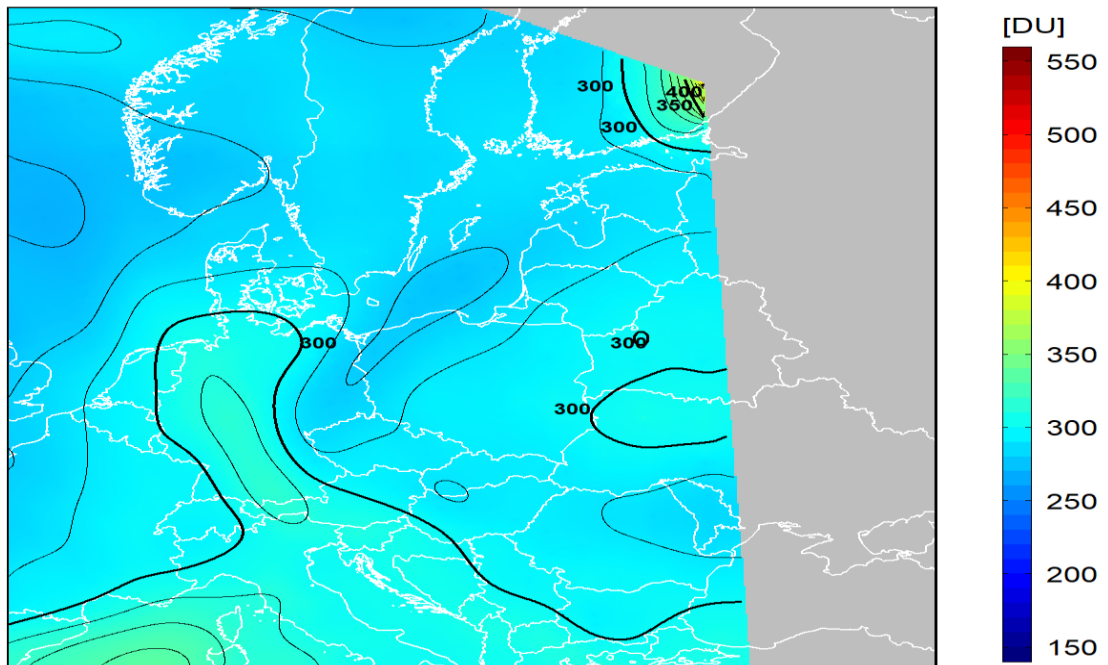
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-12-06 12 UTC
Referencja CZO3: 291D, Wsp. normalizacji: 0.986



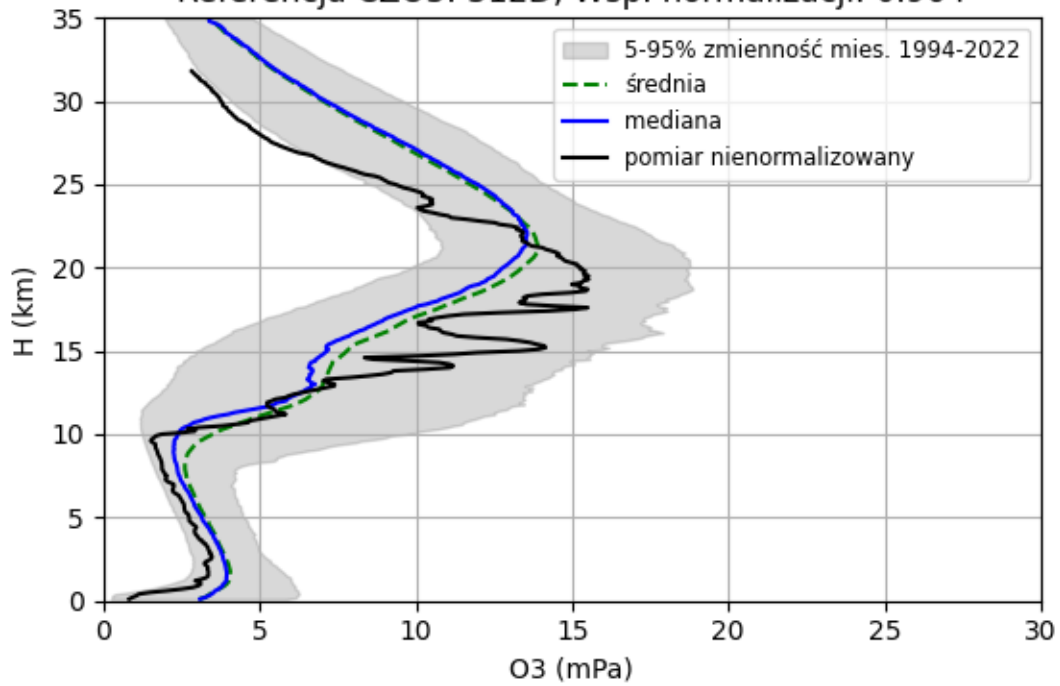
2023-12-06 godz. 12:00:12 - 12:07:19 UTC

Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery



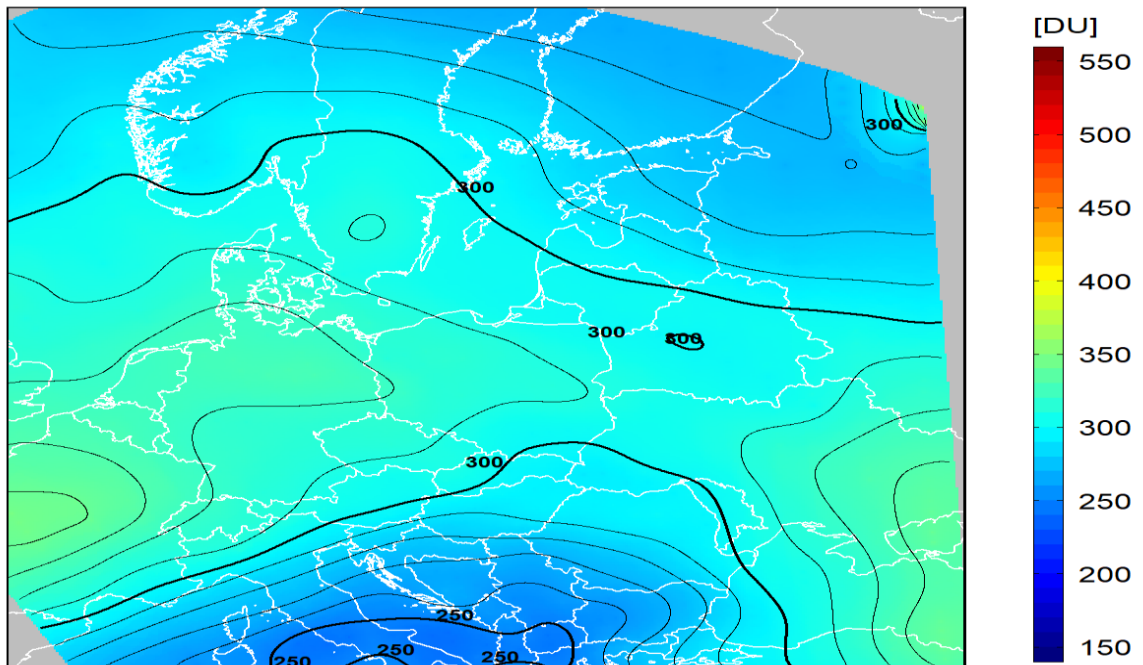
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Sondaż ozonowy w Legionowie 2023-12-13 12 UTC
Referencja CZO3: 312D, Wsp. normalizacji: 0.964



2023-12-13 godz. 11:28:26 - 11:35:55 UTC

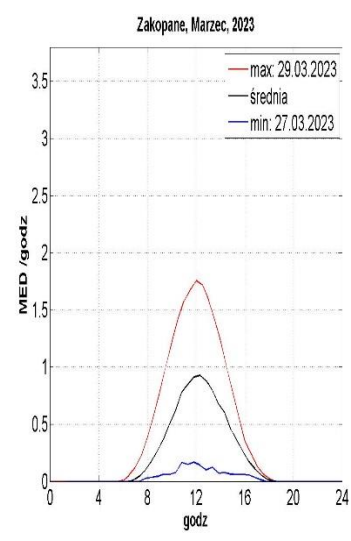
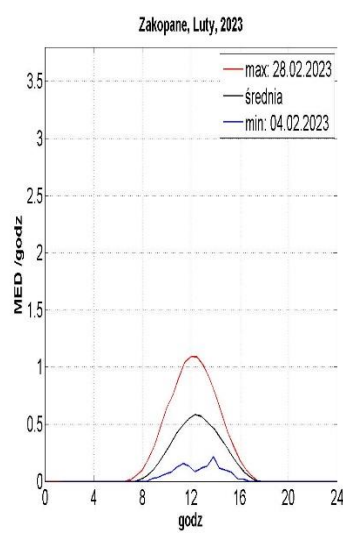
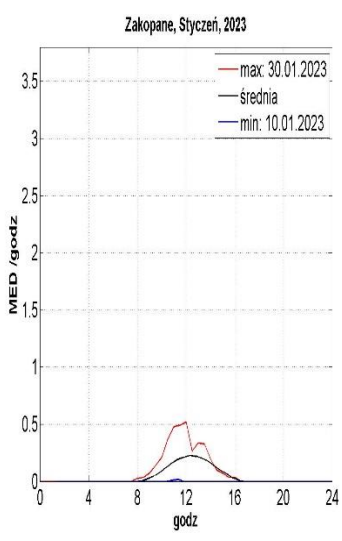
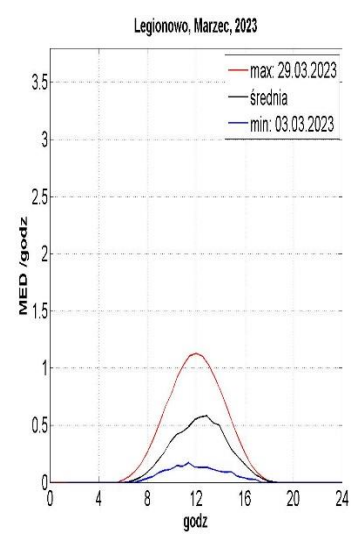
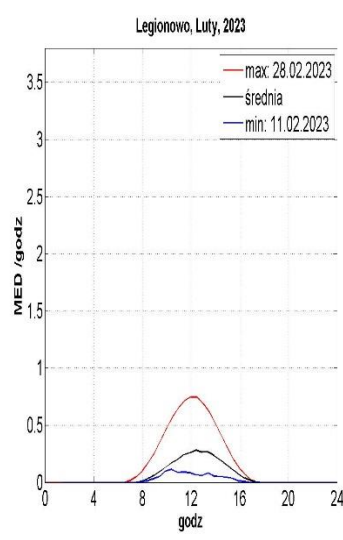
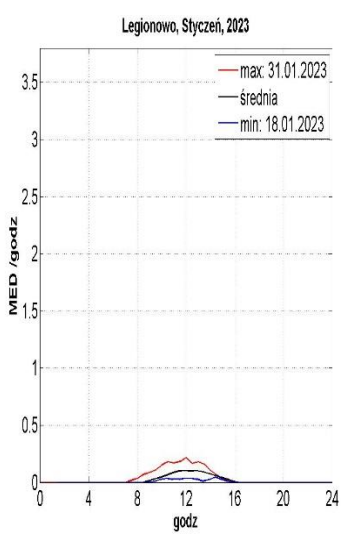
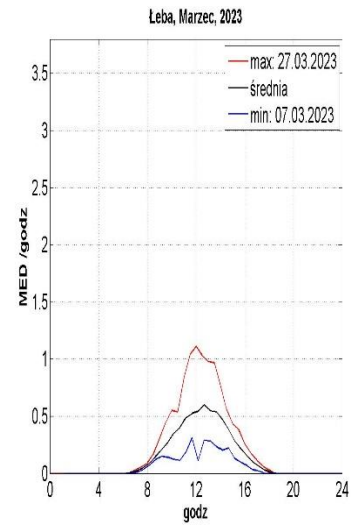
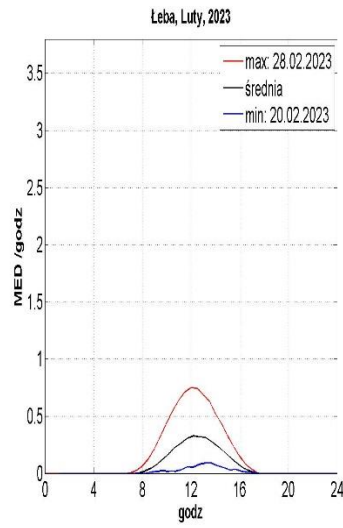
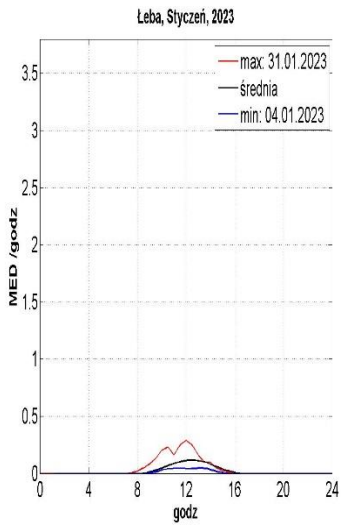
Całkowita zawartość ozonu (O₃) w kolumnie atmosfery

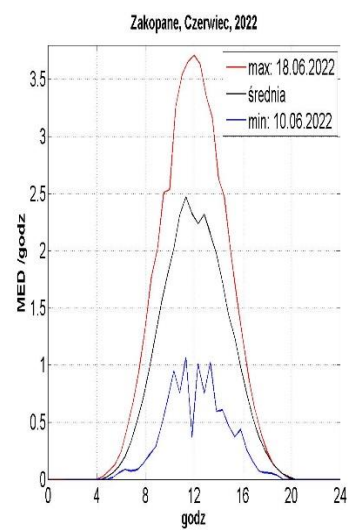
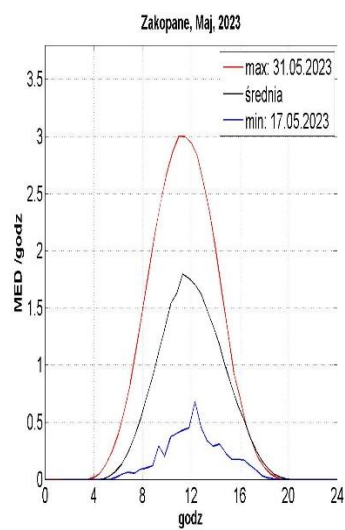
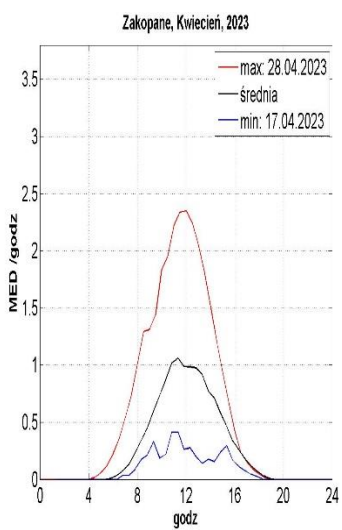
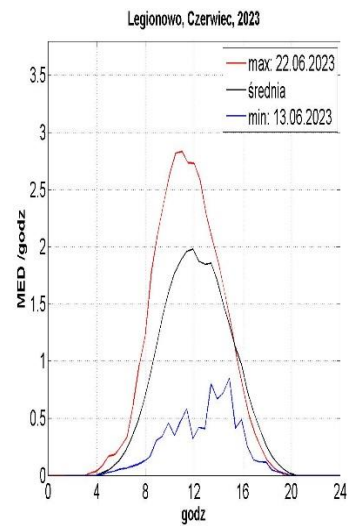
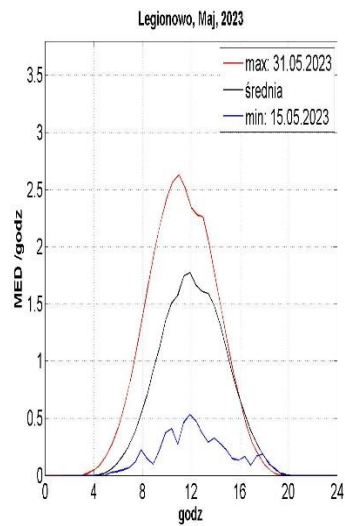
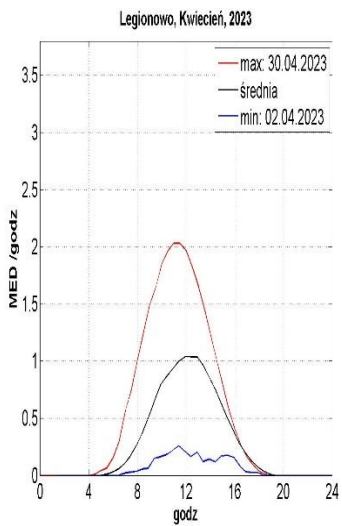
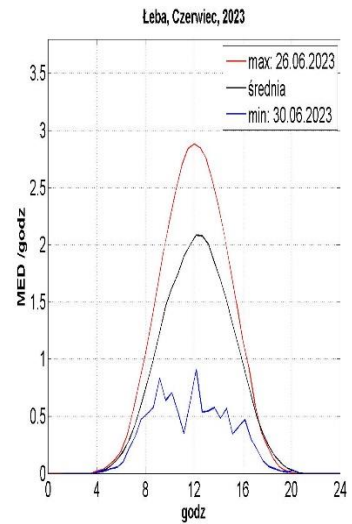
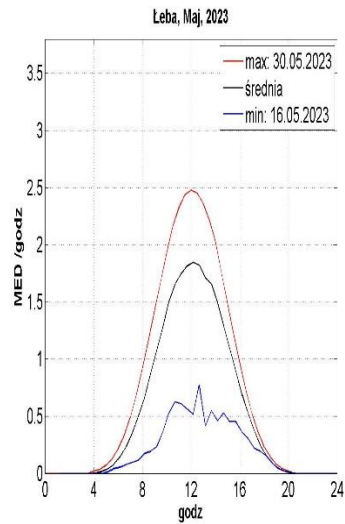
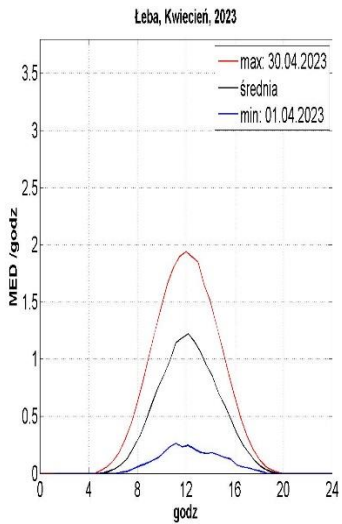


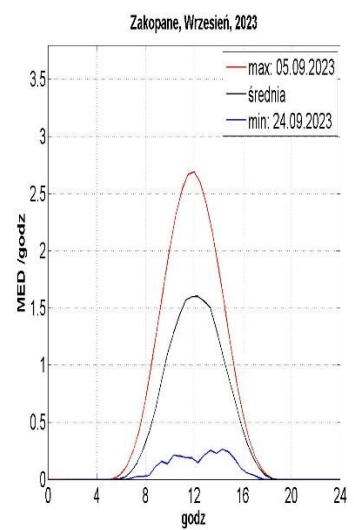
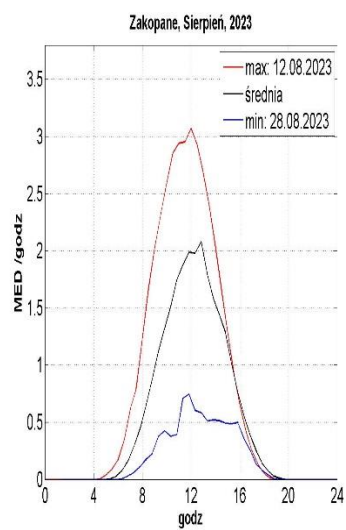
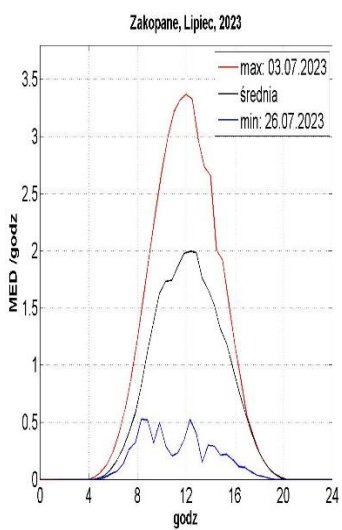
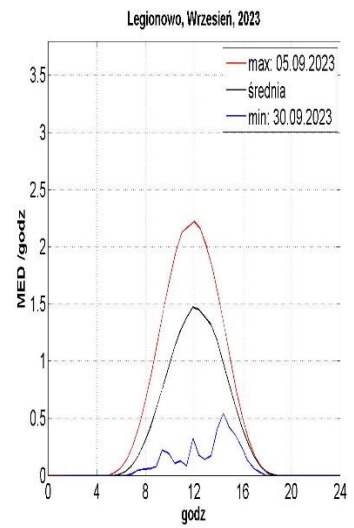
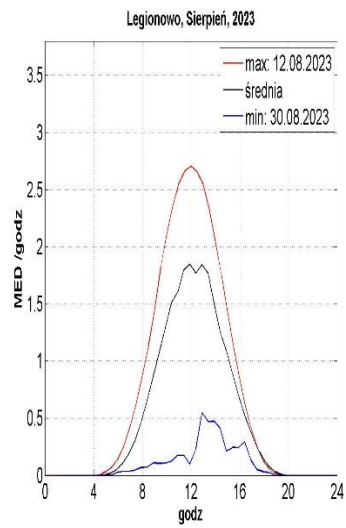
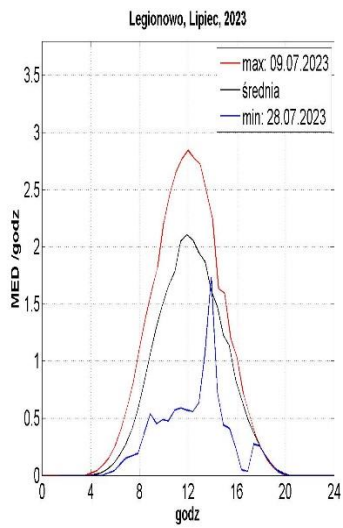
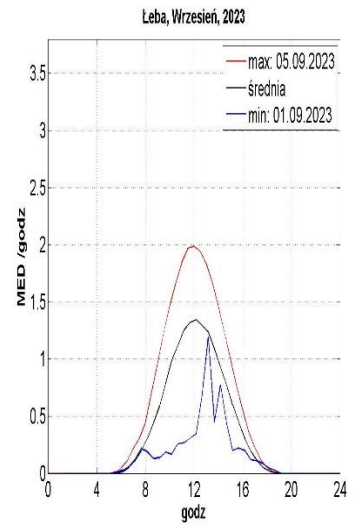
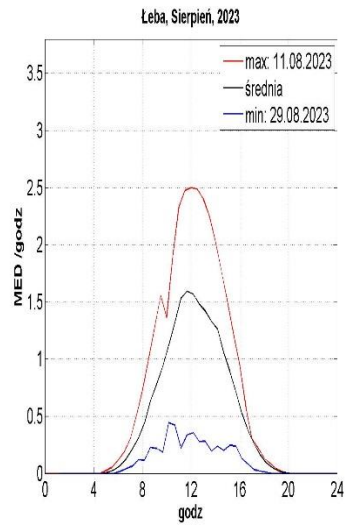
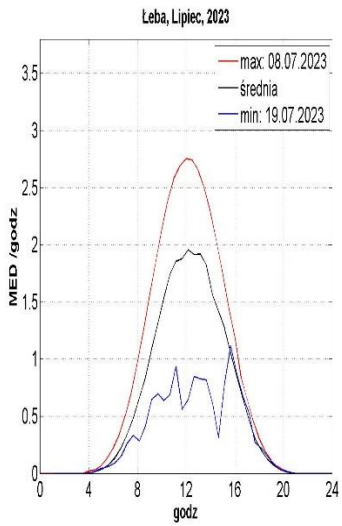
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

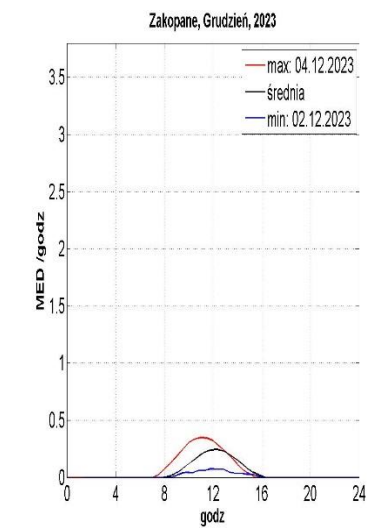
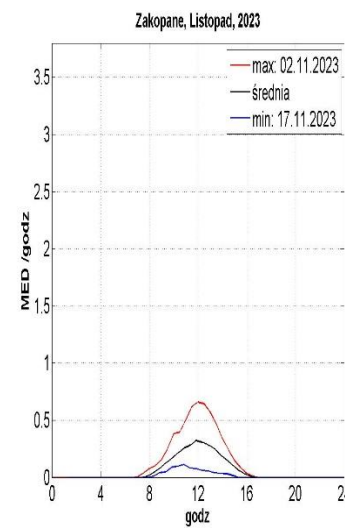
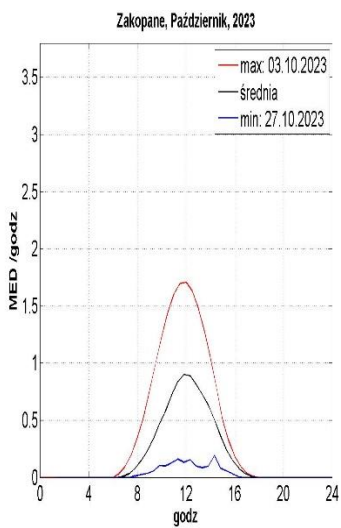
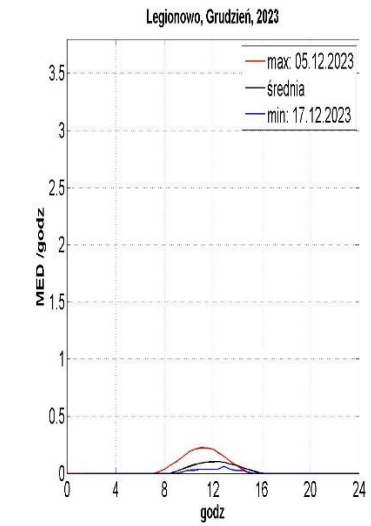
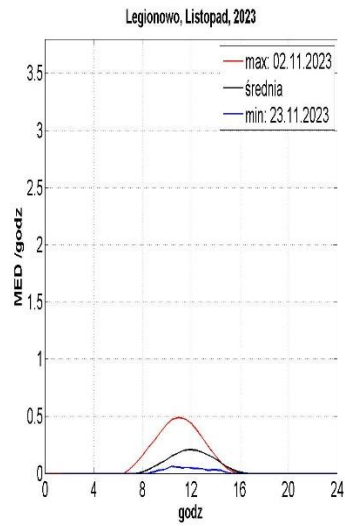
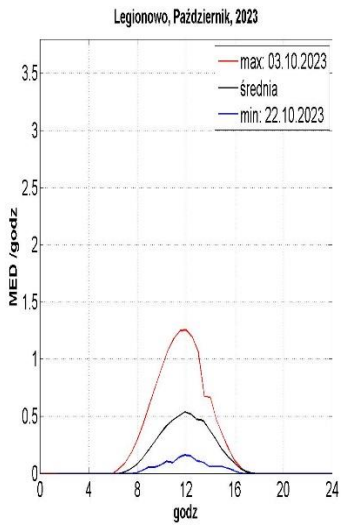
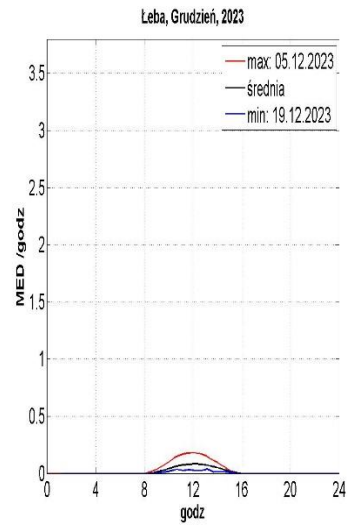
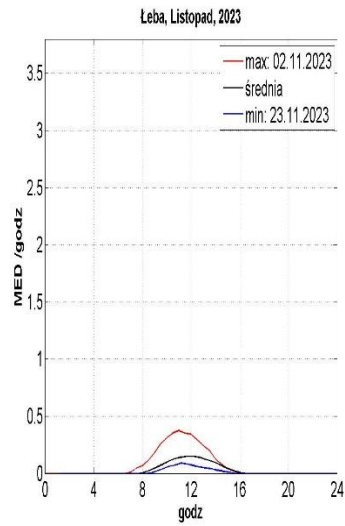
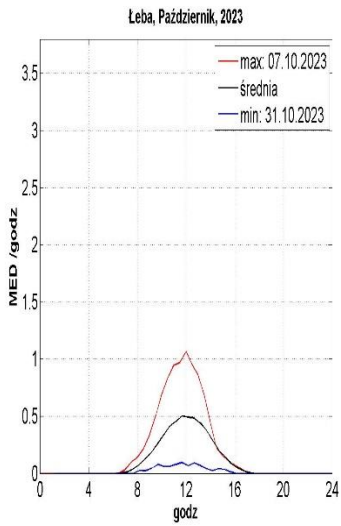
ZAŁĄCZNIK 2

DOBOWE PRZEBIEGI PROMIENIOWANIA UV-B Z MIESIĘCY
STYCZEŃ - GRUDZIEŃ 2023 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 2023 R. ZMIERZONE ZA POMOCĄ
PRZYRZĄDU SOLAR LIGHT (ŁEBA, LEGIONOWO, ZAKOPANE)

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

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

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