



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 natężeniu promieniowania UV-B za 2022 rok**



Praca wykonana na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (umowa nr GIOŚ/13/2023/DMŚ/NFOŚiGW z dnia 03.02.2023 r.) finansowana ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Warszawa, 2023

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

Stacja Pomiarów Aerologicznych w Legionowie: mgr Michał Perski  
Stacja Meteorologiczna w Łebie: mgr Mariusz Gieryk  
Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna w Zakopanem: mgr Paweł Parzuchowski

Przy cytowaniu danych należy podawać źródło danych:  
Państwowy Monitoring Środowiska, Inspekcja Ochrony Środowiska

## Spis treści

1. Sprawozdanie z realizacji zadań 1-3 za rok 2022.....	4
1.1. Pomiary rozkładu pionowego ozonu sondą ECC 6AB.....	4
1.2. Pomiary natężenia promieniowania UV-B .....	6
1.3. Wyznaczenie całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową ..	7
2. Raport za rok 2022 .....	9
2.1. Wstęp .....	9
2.2. Ocena stanu warstwy ozonowej w 2022 roku na podstawie wyników monitoringu.....	13
2.3. Analiza rozkładu pionowego ozonu nad Legionowem w 2022 roku. ....	14
2.4. Ozon całkowity z danych satelitarnych nad Europą Środkową w 2022 roku	25
2.5. Promieniowanie UV-B zmierzone na sieci monitoringu w 2022 roku.....	34
2.6. Wnioski.....	48
3. Opracowanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych .....	49
4. Podsumowanie .....	53
5. Literatura .....	54
Spis załączników: .....	58
ZAŁĄCZNIK 1.....	59
ZAŁĄCZNIK 2.....	109
ZAŁĄCZNIK 3.....	114

## 1. Sprawozdanie z realizacji zadań 1-3 za rok 2022

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-X 2022 r. w ramach umowy nr GIOŚ/30/2021/DMS/NFOŚ z dnia 15.02.2021 r. na „Monitoring rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2021 – 2022” oraz w okresie XI-XII 2022 r. w ramach umowy nr GIOŚ/13/2023/DMS/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 2022 roku na Stacji Pomiarów Aerologicznych (SPA) w Legionowie wykonywano systematycznie, co najmniej raz w tygodniu sondaże ozonowe, elektrochemiczną sondą ozonową ECC6AB produkcji Science Pump Corporation, USA.

Sondaże 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.

Na przełomie VII-VIII 2022 r. na Stacji Pomiarów Aerologicznych w Legionowie wykonywany był remont pomieszczenia do pompowania balonów meteorologicznych, w związku z czym konieczne było wyłączenie tego pomieszczenia z użytkowania na okres ok. 2 tygodni. W tym okresie nie było możliwości wykonywania sondaży ozonowych, w wyniku czego sondaż nie został wykonany w tygodniu 1-7 sierpnia 2022 r.

Dla poprawy jakości wykonywanych kalibracji czujników ozonowych ECC6AB przed wzlotem, w 2022 roku zakupiono i zamontowano klimatyzator w pracowni ozonowej.

Program pomiarowy został zrealizowany w 98,1%.

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

Liczba sondaży			Pułap (km)	Średnia wysokość (km)
Standard	Alert	Razem		
49	5	52	≥30	33,53
1	-	1	<30	24,21
50		53		33,25

**Tabela 2.** Wyniki porównania całkowitej zawartości ozonu obliczonej z sondażu (CZO<sub>3</sub>S) ze zmierzoną spektrofotometrem Dobsona (CZO<sub>3</sub>D)

Liczba sondaży	Współczynnik korekcji NF= CZO <sub>3</sub> D / CZO <sub>3</sub> S	Średni współczynnik	Uwagi
36	0,900÷0.999	0,966	CZO <sub>3</sub> D <= CZO <sub>3</sub> S
13	1,000÷1,100	1,016	CZO <sub>3</sub> D > CZO <sub>3</sub> S
Razem 49	0,900÷1,100	0,982	0,9 =< NF <= 1,1
1	-	-	Niski pułap
2	-	-	CZO <sub>3</sub> S < 200D
1	-	-	Brak pomiaru w Belsku

Szacowana całkowita zawartość ozonu w sondażu CZO<sub>3</sub>S była porównywana z naziemnym pomiarem całkowitej zawartości ozonu w atmosferze CZO<sub>3</sub>D (pomiar spektrofotometrem Dobsona w Belsku) i obliczano najlepsze dopasowanie współczynnika normalizacji.

Wyniki porównania wskazują na bardzo dobrą zgodność obu systemów pomiarowych. W 49 przypadkach współczynnik normalizacji mieści się w granicach 0,9 ÷ 1,1, średni współczynnik wynosi 0,982.

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 01.01.2022 r. do 31.12.2022 r.

L.P.	Data	H [m]	O <sub>3</sub> S D	CZO <sub>3</sub> S D	CZO <sub>3</sub> D D	NF	Uwagi
01	2022-01-05	33495	352,0	394,4	364	0,923	
02	2022-01-12	34301	289,3	331,7	315	0,950	
03	2022-01-26	33662	336,6	379,0	355	0,937	
04	2022-02-01	32970	293,9	339,9	335	0,986	Match
05	2022-02-02	33272	344,2	390,2	403	1,033	Match/Standard
06	2022-02-09	34623	300,6	346,6	338	0,975	
07	2022-02-18	33551	-3,1	-----	343	-----	O <sub>3</sub> S < 200D
08	2022-02-23	33778	335,4	381,4	364	0,954	
09	2022-03-02	34587	372,2	422,1	390	0,924	
10	2022-03-09	34677	301,2	351,1	339	0,965	
11	2022-03-16	33127	321,6	371,5	370	0,996	
12	2022-03-23	34146	309,0	359,0	339	0,944	
13	2022-03-28	33032	274,2	324,2	324	0,999	Match
14	2022-03-30	32999	318,9	368,9	343	0,930	Match/Standard
15	2022-03-31	32544	274,8	324,8	357	1,099	Match
16	2022-04-06	33117	311,7	362,8	367	1,012	
17	2022-04-13	34592	312,9	364,0	350	0,961	
18	2022-04-20	33520	339,5	396,1	413	1,043	
19	2022-04-27	34294	329,1	378,1	364	0,963	
20	2022-05-04	33308	317,8	367,3	357	0,972	

21	2022-05-11	35267	302,7	352,1	350	0,994	
22	2022-05-18	31557	325,8	375,2	368	0,981	
23	2022-05-25	34157	322,4	371,8	363	0,976	
24	2022-06-01	33335	352,2	399,9	376	0,940	
25	2022-06-08	33303	263,8	319,6	322	1,008	
26	2022-06-15	31835	310,0	357,7	347	0,970	
27	2022-06-22	32101	287,4	335,1	332	0,991	
28	2022-06-29	34827	254,1	311,3	308	0,989	
29	2022-07-06	32841	285,9	333,2	324	0,972	
30	2022-07-13	35014	275,5	334,3	331	0,990	
31	2022-07-20	34361	281,1	328,4	318	0,968	
32	2022-07-25	33844	277,1	324,4	317	0,977	
33	2022-08-12	32692	265,4	313,3	317	1,012	
34	2022-08-17	34528	258,7	311,6	311	0,998	
35	2022-08-24	35205	250,8	311,3	307	0,986	
36	2022-08-31	32065	247,7	295,5	294	0,995	
37	2022-09-07	34077	255,0	307,7	308	1,001	
38	2022-09-14	34115	253,0	301,3	304	1,009	
39	2022-09-21	34098	289,7	346,2	348	1,005	
40	2022-09-28	33751	304,5	352,8	339	0,961	
41	2022-10-05	33083	216,7	266,5	279	1,047	
42	2022-10-12	34391	250,3	297,1	304	1,023	
43	2022-10-19	32696	272,5	319,3	322	1,009	
44	2022-10-26	33576	233,9	275,1	265	0,963	
45	2022-11-02	33088	231,9	276,4	287	1,038	
46	2022-11-09	34200	140,3	184,8	279	-----	O <sub>3</sub> S < 200D
47	2022-11-16	31699	275,4	319,9	304	0,950	
48	2022-11-23	34079	273,2	317,8	313	0,985	
49	2022-12-01	33549	254,7	289,2	----	-----	Brak danych CZO <sub>3</sub> D
50	2022-12-07	24209	-----	-----	289	-----	H < 30000m
51	2022-12-14	31662	286,6	327,9	300	0,915	
52	2022-12-21	32387	203,4	238,1	231	0,970	
53	2022-12-28	32402	249,2	286,9	265	0,924	

H – pułap sondażu

O<sub>3</sub>S – zawartość ozonu w profilu scałkowana do wysokości powierzchni 10hPa, wyrażona w jednostkach Dobsona (1 D = 2,69×10<sup>20</sup> cząsteczek O<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>)

CZO<sub>3</sub>S – oszacowanie całkowitej zawartości ozonu w sondażu (CZO<sub>3</sub>) – suma zawartości ozonu scałkowanej i pozostałej zawartości ozonu do granicy atmosfery według tablic (McPeters, 2012) lub ze stosunku zmieszania ozon/powietrze w sondażu

CZO<sub>3</sub>D – całkowita zawartość ozonu zmierzona spektrofotometrem naziemnym Dobsona w Belsku

NF – Współczynnik normalizacji Dobsona: CZO<sub>3</sub>D / CZO<sub>3</sub>S

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 2022 pomiary były wykonywane prawie bezawaryjnie. Uzyskane w roku 2022 dane zostały przekazane do GIOŚ na płycie CD.

Program pomiarowy został zrealizowany w 99,59%.

*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 2022 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.

W 2022 roku miała miejsce awaria czujnika na satelicie S-NPP i całkowita zawartość ozonu nie mogła być wyznaczana z danych OMPS w okresie 27.07-10.08.2022. Satelitarny monitoring ozonu był w tym czasie prowadzony z wykorzystaniem danych z czujnika TROPOMI znajdującego się na pokładzie satelity Sentinel-5P. Jest to czujnik dedykowany do monitorowania składu atmosfery, w tym całkowitej zawartości ozonu w kolumnie atmosfery.

W pozostałych dniach 2022 roku monitoring ozonu prowadzony był bez problemów. Jedynie w dniu 25 października całkowita zawartość ozonu 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) oraz z czujnika TROPOMI w 2022 r.

Dzień	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01	x	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x o
02	x	x o	x o	x	x	x	x	x	x	x	x o	x
03	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
04	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
05	x o	x	x	x	x o	x	x	x	x	x o	x	x
06	x	x	x	x o	x	x o	x o	x	x	x	x	x
07	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o
08	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x
09	x	x o	x o	x	x	x	x	x	x	x	x o	x
10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
11	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
12	x o	x	x	x	x	x	x	x o	x	x o	x	x
13	x	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x	x	x
14	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o
15	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x
16	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x	x o	x
17	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x
18	x	x o	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
19	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x
20	x	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x	x	x
21	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o
22	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x
23	x	x o	x o	x	x	x	x	x	x	x	x o	x
24	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x
25	x	x	x	x	x o	x	x o	x	x	-	x	x
26	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x
27	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x	x
28	x	x o	x o	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o
29	x	■	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x
30	x	■	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x
31	x	■	x o	■	x	■	x	x o	■	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 99,73%

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



## 2. Raport za rok 2022

### 2.1. Wstęp

Nazwa ozon pochodzi od greckiego słowa "ὄζον", co oznacza "pachnieć". Ozon tworzy się w małych ilościach podczas wyładowań atmosferycznych a jego charakterystyczny zapach jest rozpoznawalny w świeżym powietrzu po burzy. Choć występuje w atmosferze tylko w śladowych ilościach ma kluczowe znaczenie dla biosfery i zmieniającego się klimatu.

Cząsteczka ozonu ( $O_3$ ) została odkryta przez niemieckiego chemika Schönbeina w 1840 roku. Wieloletnie obserwacje za pomocą pasków Schönbeina, testowymi papierkami pokrytymi jodkiem potasu i skrobią kukurydzianą, dowodzą, że stężenie ozonu przyziemnego wzrosło ponad dwukrotnie w erze przemysłowej. Potwierdza to także wieloletnia seria obserwacji ozonu przyziemnego w Krakowie w latach 1854-1878 (Degórska i in, 1996).

Ozon przyziemny jest jednym z głównych składników smogu fotochemicznego. Poziom ozonu przyziemnego jest mierzony w jednostkach ppbv (ang. parts per billion by volume), co oznacza liczbę cząsteczek ozonu na miliard cząsteczek powietrza. Poziom 100ppbv ozonu przyziemnego w powietrzu jest już znacznie powyżej bezpiecznych wartości i może mieć szkodliwe skutki dla zdrowia ludzi oraz dla środowiska. Długotrwałe działanie takiego poziomu ozonu przyziemnego może prowadzić u ludzi do podrażnień dróg oddechowych, nasilonych objawów astmy, zmniejszenia funkcji płuc oraz zwiększenia ryzyka infekcji układu oddechowego. Osoby narażone na działanie toksycznego ozonu powinny unikać aktywności na zewnątrz w godzinach, gdy poziom ozonu jest najwyższy, czyli zazwyczaj w gorące, słoneczne dni.

Warstwa ozonowa w atmosferze Ziemi została odkryta w 1913 roku przez francuskich fizyków Fabry'ego i Buissona. Podczas swoich badań zauważyli oni, że natężenie promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi jest zgodne z widmem promieniowania ciała doskonale czarnego o temperaturze 5500-6000K, z wyjątkiem końcowego obszaru widma ultrafioletowego, gdzie brakowało promieniowania o długości fali poniżej około 310nm. Przyjęto, że brakujące promieniowanie jest pochłaniane przez pewien składnik atmosfery. Ostatecznie, udało się dopasować widmo brakującego promieniowania do znanej substancji chemicznej - ozonu. Te badania pozwoliły na identyfikację roli ozonu w filtracji promieniowania UV i odkrycie stratosferycznej warstwy ozonowej.

Model powstawania i destrukcji ozonu w stratosferze zaproponował Chapman (1930). Zgodnie z tym modelem, intensywne promieniowanie słoneczne UV oddziałuje z cząsteczkami tlenu ( $O_2$ ), powodując ich dysocjację na atomy tlenu. Atomy tlenu następnie łączą się z innymi cząsteczkami tlenu, tworząc ozon. Proces ten jest równoważony przez reakcje chemiczne, w których ozon rozpada się pod wpływem atomów tlenu oraz substancji rodnikowych zawierających atomy azotu, wodoru, chloru, bromu i jodu. Koncentracja ozonu w atmosferze zależy od równowagi pomiędzy promieniowaniem słonecznym, które tworzy ozon, a reakcjami chemicznymi, które go niszczą. Średnio w atmosferze występuje trzy cząsteczki ozonu na milion cząsteczek powietrza, a maksymalne nasycenie ozonu (~10 cząsteczek  $O_3$  na milion cząsteczek powietrza) obserwuje się latem na wysokości około 35km.

Właściwości ozonu zostały szczegółowo zbadane przez brytyjskiego meteorologa G.M.B. Dobsona, który skonstruował spektrofotometr - urządzenie służące do pomiaru całkowitej zawartości ozonu w atmosferze. Dzięki temu wynalazkowi, w latach 1928-1958, udało się stworzyć ogólnosiwiatową sieć stacji monitorujących ozon. Ta sieć stacji monitorowania ozonu istnieje do dziś i przyczynia się do pogłębienia naszej wiedzy na temat zmian w zawartości ozonu atmosferycznego oraz do obserwacji rozwoju dziur ozonowych. Ozon jest przenoszony z równikowej średniej stratosfery w kierunku biegunów, co prowadzi do powstania warstwy ozonowej rozprzestrzeniającej się na całym globie. Stratosferyczna warstwa ozonowa, znajdująca się na wysokościach 10-50km, zawiera średnio 90% całkowitej zawartości ozonu w atmosferze.

Warstwa ozonowa pełni istotną rolę w ochronie przed szkodliwym promieniowaniem UV. Zawarte w niej cząsteczki ozonu całkowicie pochłaniają promieniowanie UV-C o długości fali 100-280nm, które jest bardzo szkodliwe dla organizmów żywych. Natomiast w pasmie UV-B o długości fali 280-320nm warstwa ozonowa przepuszcza tylko niewielką ilość biologicznie aktywnego promieniowania, zatrzymując większość jego szkodliwego działania. Nadmierna ekspozycja na promieniowanie UV może negatywnie wpływać na cały ekosystem, w tym na zdrowie człowieka. Może powodować szereg chorób, jak np. nowotwory skóry, zaćmę czy osłabienie układu odpornościowego.

Tropopauza odgrywa istotną rolę w stabilizacji klimatu na powierzchni Ziemi, ponieważ ogranicza zasięg konwekcji atmosferycznej. Powietrze w warstwie tropopauzy staje się stabilne, działa jako bariera dla transportu substancji chemicznych, w tym ozonu, pomiędzy troposferą a stratosferą. Część ozonu przenika jednak przez tropopauzę i dostaje się do troposfery. W szczególności, późną wiosną, gdy strumień polarnej masy powietrza przemieszcza się w kierunku zachodnich Stanów Zjednoczonych po zimach, w których wystąpiło zjawisko La Niña. W takich przypadkach, wtargnięcia ozonu ze stratosfery stają się szczególnie częste. Podobne zjawisko obserwuje się również w Europie, gdzie na przykład na szczycie Zugspitze w Niemczech od połowy lat siedemdziesiątych do 2005 roku zaobserwowano podwojenie składowej ozonu pochodzącej ze stratosfery.

Mimo, że wtargnięcia ozonu ze stratosfery do troposfery są możliwe, szanse na dotarcie tych intruzji ozonowych aż do powierzchni Ziemi są niewielkie. Chemia in situ, czyli procesy chemiczne zachodzące w samej troposferze, głównie związane z zanieczyszczeniami powietrza, pozostaje głównym czynnikiem wpływającym na produkcję ozonu troposferycznego.

Ozon troposferyczny, który występuje w dolnych warstwach atmosfery, jest silnym gazem cieplarnianym i ma wpływ na zmiany klimatu. Rosnące spalanie biomasy w tropikach oraz używanie paliw kopalnych w umiarkowanych szerokościach geograficznych znacznie zmieniło globalny bilans ozonu w troposferze od czasów przedindustrialnych.

Na początku lat 70. w pomiarach na kilku stacjach posiadających dobrze skalibrowane dane w umiarkowanych szerokościach geograficznych półkuli północnej, takich jak stacja w Belsku, zaobserwowano spadkowy trend zawartości ozonu w atmosferze. Te pomiary stały się inspiracją do intensyfikacji badań nad chemią atmosfery.

W 1974 roku odkryto, że emitowane przez człowieka związki chlorofluorowęglowodory (CFC), po kilku latach przedostają się do wyższych warstw stratosfery, gdzie powoli ulegają rozpadowi

pod wpływem intensywnego promieniowania słonecznego. Uwolniony chlor, nawet w małych ilościach światła słonecznego, rozpoczyna katalityczny cykl niszczenia ozonu. W kolejnych latach wzrost zawartości tych substancji w atmosferze przyspieszył procesy degradacji ozonu, co miało globalne konsekwencje w końcu lat 1970.

W 1985 roku na półkuli południowej, w rejonie Antarktydy, niespodziewanie odkryto sezonowy spadek zawartości ozonu w atmosferze, o ponad 50% w porównaniu do norm wieloletnich. To zjawisko zostało nazwane "dziurą ozonową". Dziurę ozonową definiuje się jako obszar, w którym zawartość ozonu w kolumnie atmosferycznej spada poniżej 220 jednostek Dobsona ( $1D = 2,69 \times 10^{20} \text{ O}_3/\text{m}^2$ ), czyli poniżej historycznych danych obserwowanych wcześniej. Dziura ozonowa pojawia się wiosną każdego roku na obszarze sięgającym nawet 30 milionów  $\text{km}^2$ . Rozpad wiru polarnego późną wiosną, w połączeniu z intensywnym przemieszczaniem się mas powietrza subtropikalnego, może znacząco zwiększać poziom promieniowania UV-B na powierzchni Ziemi. W 2021 roku dziura ozonowa nad Antarktydą po raz pierwszy w historii pomiarów zamknęła się dopiero w grudniu, podczas australijskiego lata.

W roku 2022 naukowcy z Massachusetts Institute of Technology zidentyfikowali związek między pożarami lasów w Australii a zubożeniem ozonu. Skupili się na dymie emitowanym podczas mega pożaru "Black Summer", który miał miejsce w Australii od grudnia 2019 do stycznia 2020 roku. Wykazali, że cząsteczki dymu pochodzące z pożarów w Australii przyczyniły się do spadku stężenia kwasu solnego (HCl) w umiarkowanych szerokościach geograficznych, jednocześnie powodując wzrost ClO. To spowodowało zubożenie ozonu na południowej półkuli, w szczególności nad Australią, Nową Zelandią oraz częściami Afryki i Ameryki Południowej. Ponadto, cząsteczki dymu poszerzyły dziurę ozonową nad Antarktydą o 10% w porównaniu z poprzednim rokiem.

W roku 1987 został podpisany Protokół Montrealski (PM) w obawie o dalsze uszkodzenie warstwy ozonowej. Ponieważ negatywny wpływ substancji zubożających warstwę ozonową, takich jak CFC, był dobrze udokumentowany, PM wprowadził zakaz produkcji i użycia tych substancji. Dzięki uregulowaniom wprowadzonym przez PM, stężenie ozonu w warstwie stratosferycznej przestało maleć pod koniec lat 90. Pomiar atmosferyczne potwierdzają skuteczność PM w zmniejszaniu ilości substancji szkodliwych dla warstwy ozonowej. Pierwsze pozytywne sygnały regeneracji warstwy ozonowej zostały potwierdzone przez badania przeprowadzone przez Solomon i innych naukowców w 2016 roku, które wykazały istotne zmniejszenie się dziury ozonowej nad Antarktydą. Jednakże, ze względu na długi okres półtrwania kluczowych substancji, takich jak CFC, pełna regeneracja warstwy ozonowej potrwa kilkadziesiąt lat przy ścisłym przestrzeganiu PM.

Ozon stratosferyczny jest podatny na zubożenie ze względu na działanie szkodliwych substancji, takich jak chlor i brom. Ich rola w destrukcji warstwy ozonowej w stratosferze Antarktyki jest dobrze poznana. Jednakże, rola jodu w tym procesie nie jest jeszcze w pełni zrozumiana. Badania przeprowadzone przez Cuevas i innych naukowców w 2022 roku sugerują, że jod może odgrywać istotną rolę w niszczeniu ozonu w dolnej części warstwy ozonowej w czasie wiosny nad Antarktydą, a nawet dominować w procesie utraty ozonu w lecie. Dodatkowo, jod może również wpływać na czas formowania się i zamykania się dziury ozonowej, skracając ten proces o kilka dni. To odkrycie podkreśla

potrzebę dalszych badań nad rolą jodu w destrukcji ozonu i jego wpływu na warstwę ozonową w Antarktyce.

Badania Sagi i in. (2017) wykazały, że ubytki ozonu w średniej stratosferze są związane z cyklem niszczenia ozonu przez tlenki azotu ( $\text{NO}_x$ ), głównie w wyniku reakcji tlenku azotu ( $\text{N}_2\text{O}$ ) z wzbudzonym atomem tlenu ( $\text{O}(1\text{D})$ ). Proces ten zachodzi głównie w niskich i umiarkowanych szerokościach geograficznych na wysokości około 30km.  $\text{N}_2\text{O}$  jest gazem cieplarnianym, emitowanym zarówno przez naturalne procesy, jak i przez działalność człowieka. Ma on znaczny potencjał do powodowania efektu cieplarnianego, choć jego stężenie w atmosferze jest niższe niż stężenie dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ). Pomimo niższego stężenia,  $\text{N}_2\text{O}$  odgrywa istotną rolę ze względu na swoją aktywność w cyklu niszczenia ozonu. Proces ten rozpoczyna się zimą lub na wiosnę, gdy wir polarny osłabia się, a ozonowe powietrze z niższych szerokości geograficznych przenika do obszaru polarnego. W wyniku cyklu niszczenia ozonu przez  $\text{NO}_x$  dochodzi do ubytków ozonu w stratosferze. Ponadto, zmiany w równowadze ozonu w stratosferze mają wpływ na klimat globalny. Odkrycia te wskazują na znaczenie zarówno tlenków azotu, jak i innych gazów cieplarnianych, takich jak dwutlenek węgla, w zmianach klimatu i równowadze ozonu w atmosferze.

Badania nad wpływem aktywności słonecznej na stężenie ozonu w atmosferze sugerują, że intensywność promieniowania UV odgrywa ważną rolę w dynamice górnych warstw atmosfery. Interakcje między stratosferą a troposferą są istotnym czynnikiem, a fazy cykli słonecznych mogą wpływać na relacje słoneczno-klimatyczne oraz zmienność ozonu.

W ostatnich badaniach Li i in. (2019) oraz Chidinma (2021), zaobserwowano, że niska aktywność słoneczna jest związana ze spadkiem całkowitej zawartości ozonu, podczas gdy wysoka aktywność słoneczna może prowadzić do wzrostu. Te wyniki wskazują na istnienie zależności między cyklami słonecznymi a stężeniem ozonu w atmosferze.

Oprócz aktywności słonecznej, czynnikiem mającym wpływ na dynamikę ozonu jest QBO (Quasi-Biennial Oscillation) - oscylacja atmosferyczna w stratosferze, która zmienia się w cyklu około 28-29 miesięcy. Badania sugerują, że QBO może wpływać na dystrybucję ozonu w stratosferze poprzez zmiany w cyrkulacji atmosferycznej. Połączenie dwóch czynników - aktywności słonecznej i QBO - jest istotne dla zrozumienia zmienności ozonu w atmosferze. Dalsze badania w tym obszarze są ważne dla rozeznania w mechanizmach regulujących ozonową równowagę i oceny skutków zmian ozonu na klimat Ziemi.

Codziennie pomiary całkowitej zawartości ozonu w atmosferze w Polsce rozpoczęły się w marcu 1963 roku na stacji IGF PAN w Belsku za pomocą spektrofotometru Dobsona. W roku 1979 rozpoczęto program regularnych cotygodniowych sondaży ozonowych na Stacji Pomiarów Aerologicznych IMGW-PIB w Legionowie, używając sond elektrochemicznych. Początkowo stosowano sondy typu Brewer-Mast w systemie radiosondażowym METEORIT/Marz, a od czerwca 1993 roku zastosowano sondy ECC5A/6A(AB) w systemie radiosondażowym Vaisala DIGICORA. Dodatkowe sondaże ozonowe są wykonywane w projekcie Match od 1995 roku. Kampanie są organizowane w latach chłodnych zim w stratosferze na półkuli północnej, w celu śledzenia procesu fotochemicznego niszczenia ozonu w arktycznym wirze polarnym.

Obowiązek monitorowania stanu warstwy ozonowej i natężenia promieniowania nadfioletowego przy powierzchni Ziemi wynika z dwóch międzynarodowych dokumentów, których Polska jest sygnatariuszem. Pierwszym z nich jest Konwencja Narodów Zjednoczonych o ochronie warstwy ozonowej z 1985 roku, opublikowana w polskim Dzienniku Ustaw w 1992 roku (Nr 98, poz. 488). Drugim dokumentem jest Protokół Montrealski dotyczący ograniczenia emisji substancji niszczących warstwę ozonową z 1987 roku, wraz z uzupełnieniami, również opublikowanymi w polskim Dzienniku Ustaw w 1992 roku (Nr 98, poz. 490). Te dokumenty nakładają na Polskę i inne państwa sygnatariuszy obowiązek monitorowania i raportowania dotyczącego stanu warstwy ozonowej oraz natężenia promieniowania nadfioletowego w celu ochrony warstwy ozonowej.

W prezentowanym Raporcie przedstawiono analizę stanu warstwy ozonowej i poziomu promieniowania UV-B na podstawie pomiarów wykonanych w IMGW-PIB w 2022 roku.

## **2.2. Ocena stanu warstwy ozonowej w 2022 roku na podstawie wyników monitoringu**

Sondy ozonowe ECC są powszechnie stosowane na ponad 100 stacjach na całym świecie od ponad 50 lat. Pomiar za pomocą czujnika ECC opiera się na szybkiej reakcji chemicznej między cząsteczkami ozonu ( $O_3$ ) a roztworami jodku potasu o różnych stężeniach. Sondy są unoszone balonem i umożliwiają pomiar profilu ozonu od powierzchni Ziemi do 35km, z pionową rozdzielczością odczytu wynoszącą 100-150m.

Dane z sond ozonowych mają kluczowe znaczenie w kalibracji satelitarnych algorytmów i analizie trendów ozonowych, ponieważ oferują lepszą rozdzielczość pionową niż większość instrumentów teledetekcyjnych na satelitach. Każda sonda jest unikalna i musi być starannie przygotowana przed startem, co wprowadza niepewności do szeregów czasowych stacji.

W celu zapewnienia dokładności danych, prowadzone są regularne oceny i testy sond ozonowych. Od 2004 roku zespół ekspertów ASOPOS sponsorowany przez WMO/GAW (Światowa Organizacja Meteorologiczna/Globalna Sieć Atmosferyczna) przeprowadza ocenę danych i eksperymenty porównawcze. Dzięki tym wysiłkom doszło do znaczącej poprawy jakości danych ozonowych na globalnej sieci GAW.

W latach 2014-2016 zauważono jednak nagły spadek ozonu w stratosferze w sondażach ozonowych na niektórych stacjach w porównaniu z danymi satelitarnymi. Przyczyną tego spadku mogły być zmiany sprzętowe w sondach ozonowych, ale trwają badania mające na celu zrozumienie tego zjawiska.

W sierpniu 2021 roku zespół ekspertów ASOPOS opracował zalecenia dotyczące najlepszych praktyk przygotowania sond ozonowych do wlotu. W związku z tym na Stacji Pomiarów Aerologicznych w Legionowie zaktualizowano procedurę przygotowania sond ECC.

Regularna ocena danych ozonowych oraz stałe doskonalenie procedur pomiarowych są kluczowe dla zapewnienia jakości danych i monitorowania stanu warstwy ozonowej.

### 2.3. Analiza rozkładu pionowego ozonu nad Legionowem w 2022 roku.

W roku 2022 kontynuowano systematyczne sondaże ozonowe rozpoczęte w 1979 roku. Sondaże odbywały się rutynowo w każdą środę o godzinie 12 UTC. Do pomiarów ozonu używano elektrochemicznej sondy ozonowej ECC6AB, która była unoszona balonem meteorologicznym do maksymalnej wysokości 35km. W styczniu i lutym przeprowadzono 5 sondaży alertowych w ramach kampanii Match.

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 oszacowano pozostałą zawartość ozonu 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 1m<sup>2</sup>, na którą działa prostopadle siła 1 niutona (N). Zawartość ozonu wyrażona jest w jednostkach Dobsona (1D = 2,69x10<sup>20</sup> molekuł O<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>). W Tabeli 5 przedstawiono zawartości ozonu dla miesiąca 2022 roku i okresu 1994-2021, 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.

Obserwuje się przejście od niskich stężeń ozonu w troposferze do wysokich stężeń w stratosferze, w warstwie atmosferycznej między 300/150hPa (~9-13,5km). Dolna stratosfera charakteryzuje się wzrostem koncentracji ozonu wraz z wysokością, osiągając maksimum w warstwie 50/30hPa (~21-24km). Jednak najwyższe stężenia ozonu występują w średniej stratosferze. Transport ozonu następuje z obszarów źródłowych nad równikiem w kierunku biegunów, gdzie gromadzi się w dolnej stratosferze, głównie w wysokich i umiarkowanych szerokościach geograficznych. Zawartość ozonu osiąga maksimum w okresie przejścia od zimy do wiosny. Maksymalne roczne zawartości ozonu w warstwie granicznej (100/700hPa) wskazują na transport ozonu do troposfery. Natomiast wysokie stężenia ozonu latem wskazują na fotochemiczne źródło ozonu blisko powierzchni Ziemi. Opis ten pokazuje złożone procesy wymiany i transportu ozonu w różnych warstwach atmosferycznych oraz zależność tych procesów od szerokości geograficznej i pór roku.

W średnich miesięcznych zawartościach ozonu nad Legionowem w roku 2022 odnotowano anomalie. W styczniu i w maju miał miejsce silny wzrost ozonu w średniej stratosferze, a w kwietniu i maju spadek w troposferze swobodnej.

**Tabela 5.** Zawartość ozonu w warstwach atmosfery nad Legionowem w 2022 r.

WYSZCZEGÓLNIENIE		Warstwy atmosfery między standardowymi powierzchniami izobarycznymi (hPa)											
		<u>~1000</u> 700	<u>700</u> 500	<u>500</u> 300	<u>300</u> 200	<u>200</u> 150	<u>150</u> 100	<u>100</u> 70	<u>70</u> 50	<u>50</u> 30	<u>30</u> 20	<u>20</u> 10	<u>10</u> 00
Styczeń	a	10,2	8,0	7,8	8,8	13,5	28,5	37,9	47,4	71,6	43,7	48,5	42,4
	b	8,3	7,5	8,5	11,1	15,9	28,7	35,1	40,1	62,7	39,3	40,7	40,4
	c	2,0	1,2	-0,8	-0,8	-0,7	-0,0	0,5	1,9	2,1	1,5	1,9	0,7
Luty	a	9,1	8,0	12,6	16,6	15,6	24,2	37,5	42,5	68,0	40,4	44,1	46,0
	b	9,4	8,0	9,5	14,8	19,5	31,8	37,6	43,3	64,1	40,5	43,6	45,3
	c	-0,2	-0,0	2,1	0,3	-0,8	-0,9	-0,0	-0,2	0,7	-0,0	0,1	0,3
Marzec	a	12,4	9,2	9,7	10,4	14,9	28,2	36,8	39,9	61,7	38,7	48,2	50,0
	b	11,2	8,8	10,7	17,1	22,2	34,2	37,2	42,2	63,1	39,4	45,2	48,8
	c	1,1	0,9	-0,4	-0,9	-1,7	-0,9	-0,1	-0,7	-0,3	-0,2	0,7	0,5
Kwiecień	a	10,7	8,4	10,0	13,9	16,8	27,4	38,0	44,0	62,2	41,0	50,8	51,9
	b	12,8	10,0	12,8	18,5	22,0	31,5	34,6	39,9	60,7	38,6	47,2	50,7
	c	-2,0	-2,0	-1,1	-0,7	-1,1	-0,6	0,6	0,9	0,4	0,8	0,8	0,6
Maj	a	13,5	8,9	10,1	10,8	16,2	22,0	32,8	41,5	62,2	42,2	56,9	49,4
	b	13,7	10,7	12,2	17,0	21,0	28,2	30,0	36,4	56,8	38,4	50,2	50,4
	c	-0,2	-2,0	-1,6	-1,1	-1,5	-1,4	0,8	2,0	2,0	1,9	2,2	-0,6
Czerwiec	a	12,2	9,9	13,5	15,1	14,4	24,2	24,0	32,8	52,5	40,1	54,9	51,2
	b	13,4	10,9	12,8	13,3	16,9	24,5	25,7	31,9	53,6	40,1	53,2	51,0
	c	-0,8	-0,9	0,4	0,4	-0,7	-0,1	-0,5	0,5	-0,5	0,0	0,6	0,1
Lipiec	a	12,5	9,8	12,1	9,3	10,0	18,3	24,9	31,4	54,2	41,4	55,9	50,1
	b	13,0	10,7	13,1	15,1	14,6	20,9	23,5	30,2	52,0	39,3	52,7	49,8
	c	-0,3	-1,1	-0,7	-1,0	-1,6	-1,1	0,7	0,6	0,7	1,1	1,0	0,2
Sierpień	a	13,0	11,2	12,7	7,8	9,1	16,9	21,1	27,9	45,9	36,0	53,9	52,3
	b	12,6	10,3	12,3	10,8	11,6	19,1	24,0	29,2	48,2	37,2	50,3	49,8
	c	0,3	1,1	0,2	-0,8	-1,0	-0,8	-1,1	-0,7	-0,7	-0,4	1,0	1,4
Wrzesień	a	9,2	9,0	11,4	10,8	11,3	22,5	28,1	32,2	48,1	39,5	53,4	51,4
	b	11,3	9,3	10,5	9,0	9,0	17,4	23,9	29,5	47,6	34,9	45,1	48,1
	c	-1,4	-0,3	0,9	0,8	1,0	1,4	1,1	1,2	0,2	1,7	2,5	2,3
Październik	a	9,4	7,8	8,3	7,0	8,6	17,0	24,9	29,7	47,2	36,9	46,4	46,2
	b	9,6	8,3	9,5	8,5	8,7	16,6	23,3	29,2	47,7	34,5	40,9	45,4
	c	-0,2	-1,0	-0,9	-0,6	-0,0	0,1	0,5	0,2	-0,2	0,8	1,2	0,5
Listopad	a	7,8	8,0	8,6	6,2	10,7	21,6	26,5	34,6	51,6	39,4	45,2	44,5
	b	8,4	7,8	8,9	8,6	9,5	19,3	25,8	30,6	50,7	36,6	39,4	40,6
	c	-0,6	0,3	-0,2	-0,7	0,5	0,6	0,2	1,4	0,3	1,1	1,3	1,6
Grudzień	a	8,5	7,2	8,3	9,3	13,4	17,0	21,6	31,6	53,9	38,9	38,7	37,0
	b	8,1	7,6	8,7	8,9	11,1	23,2	29,0	33,7	55,2	38,2	39,0	38,1
	c	0,4	-0,9	-0,4	0,1	0,9	-1,4	-1,6	-0,6	-0,3	0,2	-0,1	-0,3

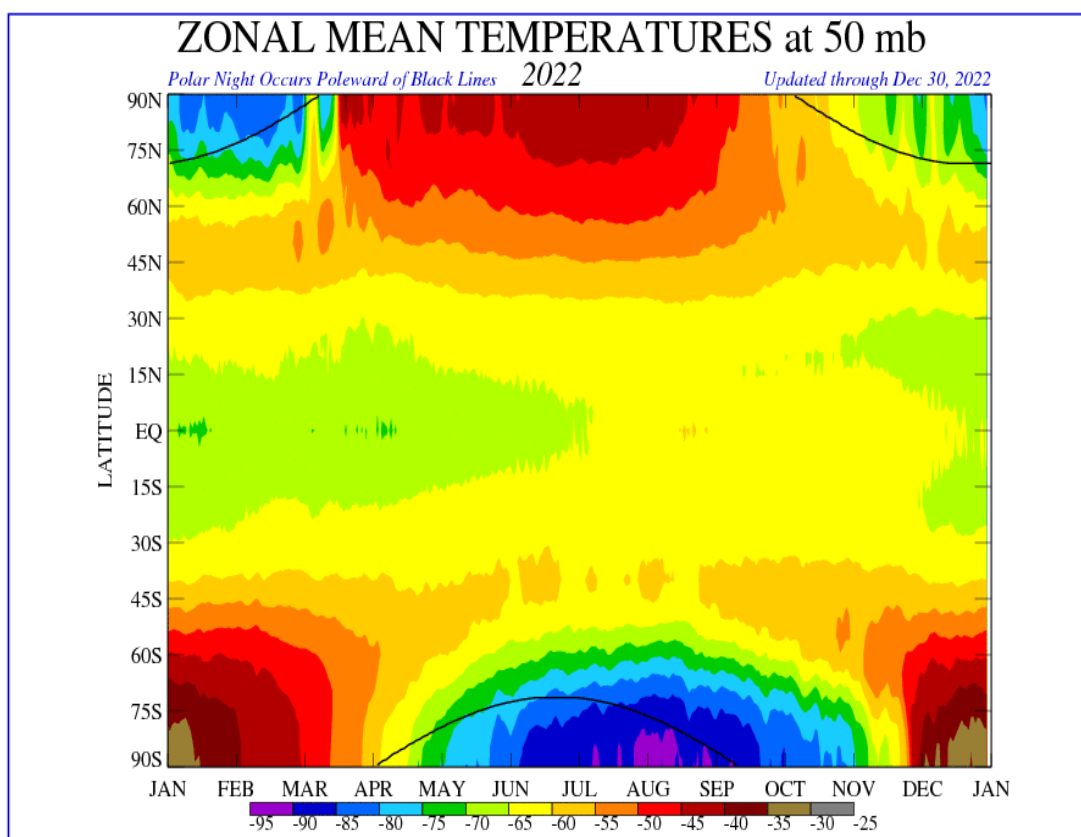
a – średnie miesięczne (D) w 2022 roku

b – średnie miesięczne wieloletnie (D) z lat 1994-2021

c – standaryzowane odchylenie:  $(a-b) / \sigma$ , gdzie  $\sigma$  jest odchyleniem standardowym średnich miesięcznych z lat 1994-2021

### Zimowo-wiosenne ubytki ozonu stratosferycznego

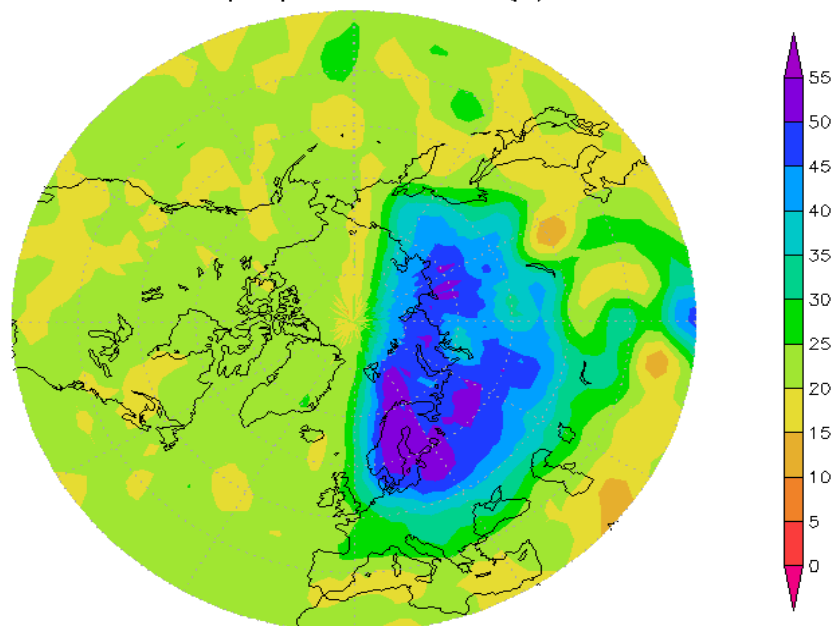
Zimą 2021/2022 obserwowano niski potencjał niszczenia ozonu w stratosferze na półkuli północnej. Brak warunków do tworzenia lodowych polarnych chmur stratosferycznych (PSC2) na większych obszarach uniemożliwił powstanie wiosennej dziury ozonowej. Występowały ciepłe polarne chmury stratosferyczne (PSC1), ale analiza kampanii Match wykazała, że niszczenie ozonu szybko ustaje po ich zaniku. Analiza temperatur strefowych NCEP dla całego globu na wysokości 50hPa (21km) w 2022 roku (Rysunek 1) wskazuje, że występowanie PSC1 podczas zimy 2021/2022 na półkuli północnej było ograniczone w czasie i obszarowo: od stycznia do marca, głównie powyżej szerokości >75N (noc polarna). Stabilne położenie wiru polarnego w Arktyce spowodowało, że Polska znalazła się na skraju tego wiru pod koniec marca. Analizy map wirowości potencjalnej i temperatury powietrza na powierzchni izentropowej 475K (~19km) opracowane przez Japoński Instytut Badań Środowiska (Rysunek 2) pokazują, zakończony sezonowy proces niszczenia ozonu w arktycznym wirze polarnym. Procentowe odchylenia zawartości ozonu (CZO<sub>3</sub>) wykazane przez instrument GOME-2 oraz dane naziemne nad półkulą północną (Rysunek 3) ukazują relatywnie niewielki skumulowany efekt niszczenia ozonu w ciągu zimy: -20% we wnętrzu wiru nad Syberią i -13% na skraju wiru polarnego nad Europą Środkową. W sondażu ozonowym w Legionowie przeprowadzonym w ramach kampanii Match 30 marca 2022 roku, zaobserwowano duże wahania koncentracji ozonu w stratosferze na skraju wiru polarnego (Rysunek 4).



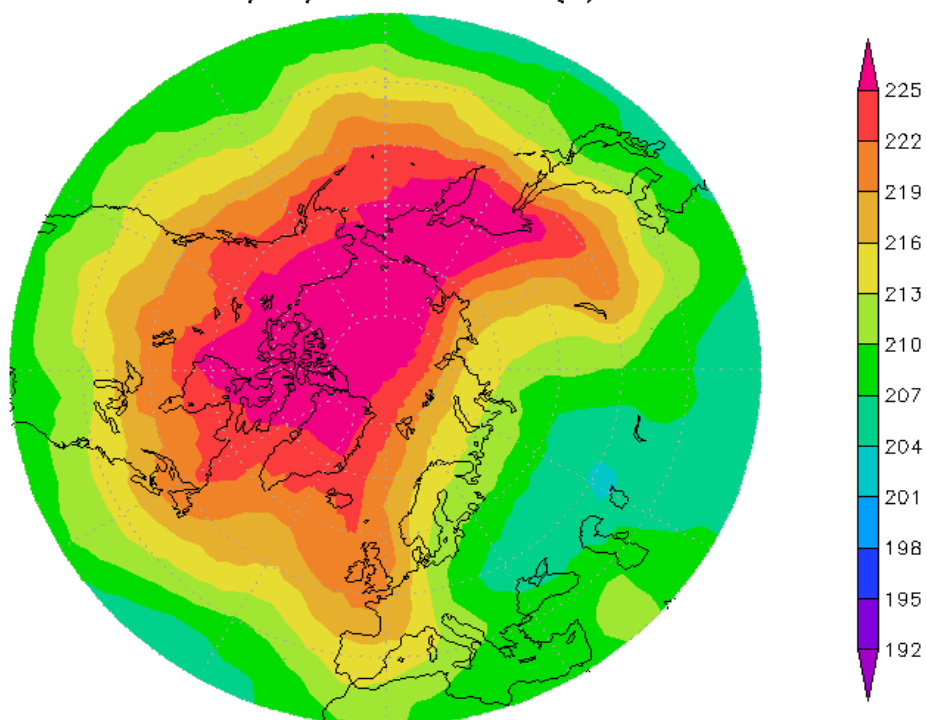
**Rysunek 1.** Analiza NCEP średniej temperatury strefowej na powierzchni izobarycznej 50hPa dla 2022 r. Czarną linią zaznaczono obszar nocy polarnej wokół biegunów.



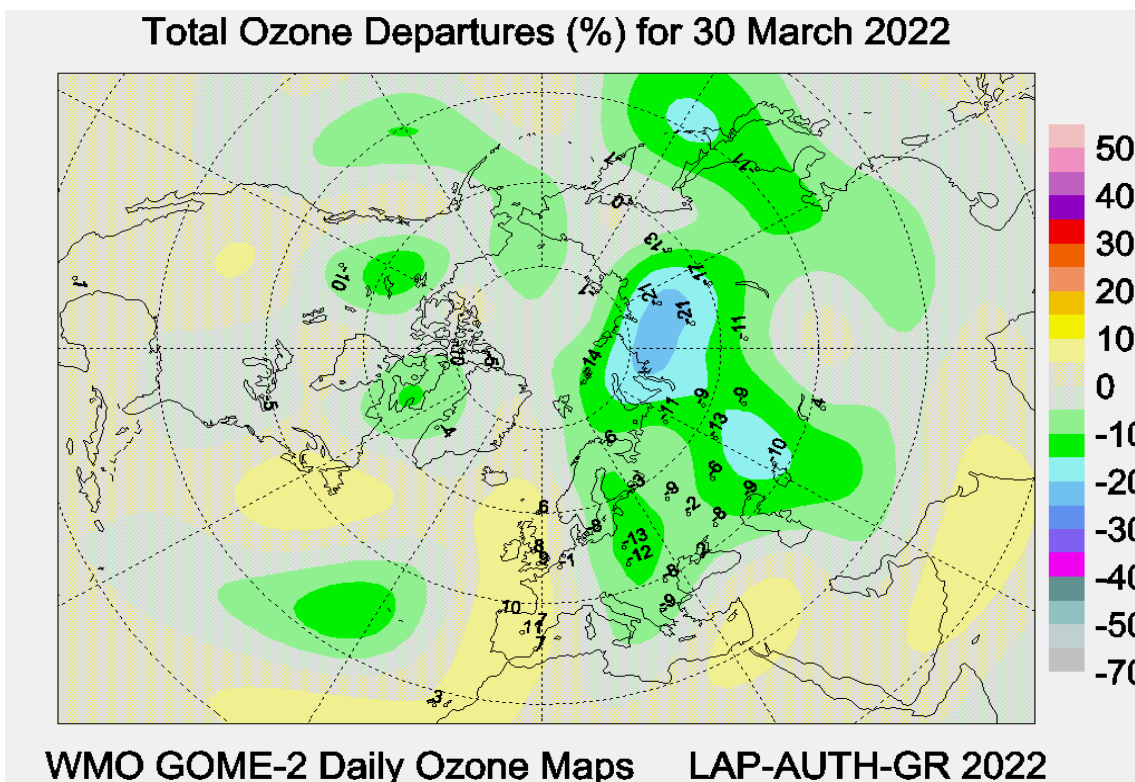
NIES STRAS potential vorticity ( $10^{-4} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{kg}^{-1} \text{K}$ ) NCEP Reanalysis  
2022/03/30 06Z  $\theta=475(\text{K})$



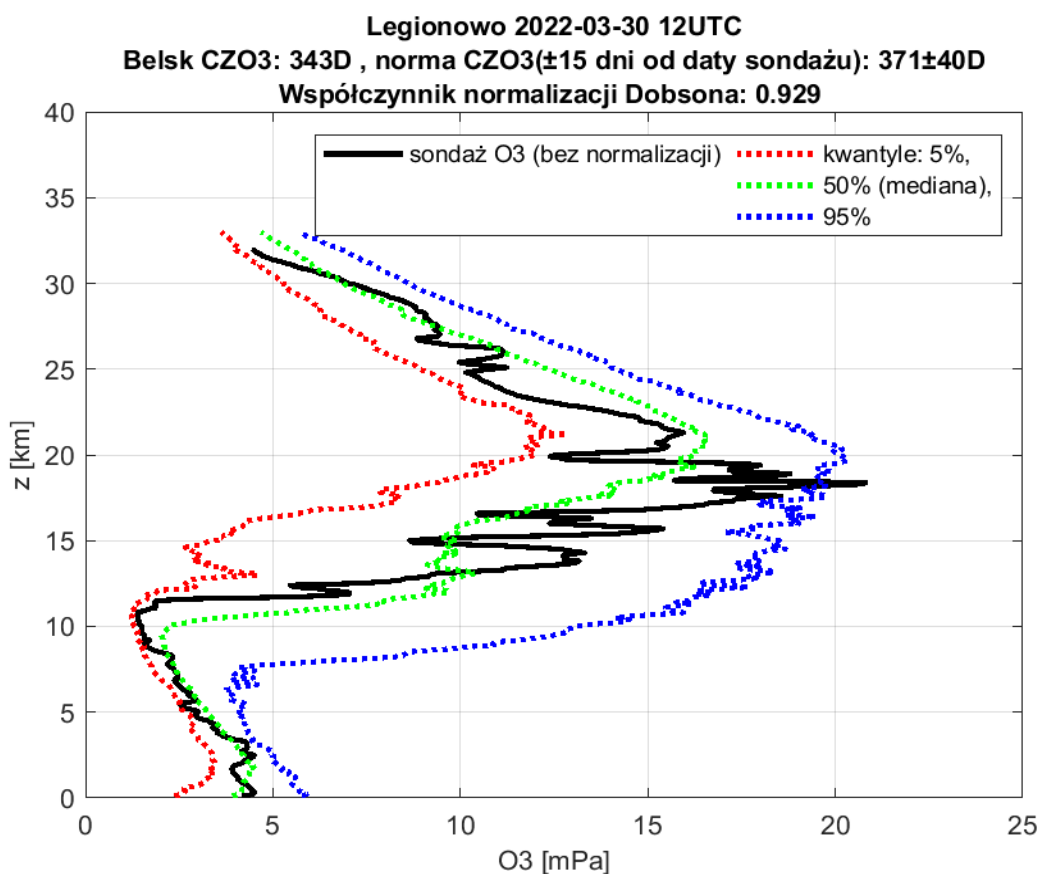
NIES STRAS temperature (K) NCEP Reanalysis  
2022/03/30 18Z  $\theta=475(\text{K})$



**Rysunek 2.** Analiza wirowości potencjalnej i temperatury powietrza na powierzchni izentropowej 475K, na podstawie danych re-analiz NIES



**Rysunek 3.** Mapa WMO procentowych odchyleń CZO<sub>3</sub> nad półkulą północną 30 marca 2022 r. na podstawie pomiarów satelitarnych GOME-2 i pomiarów naziemnych

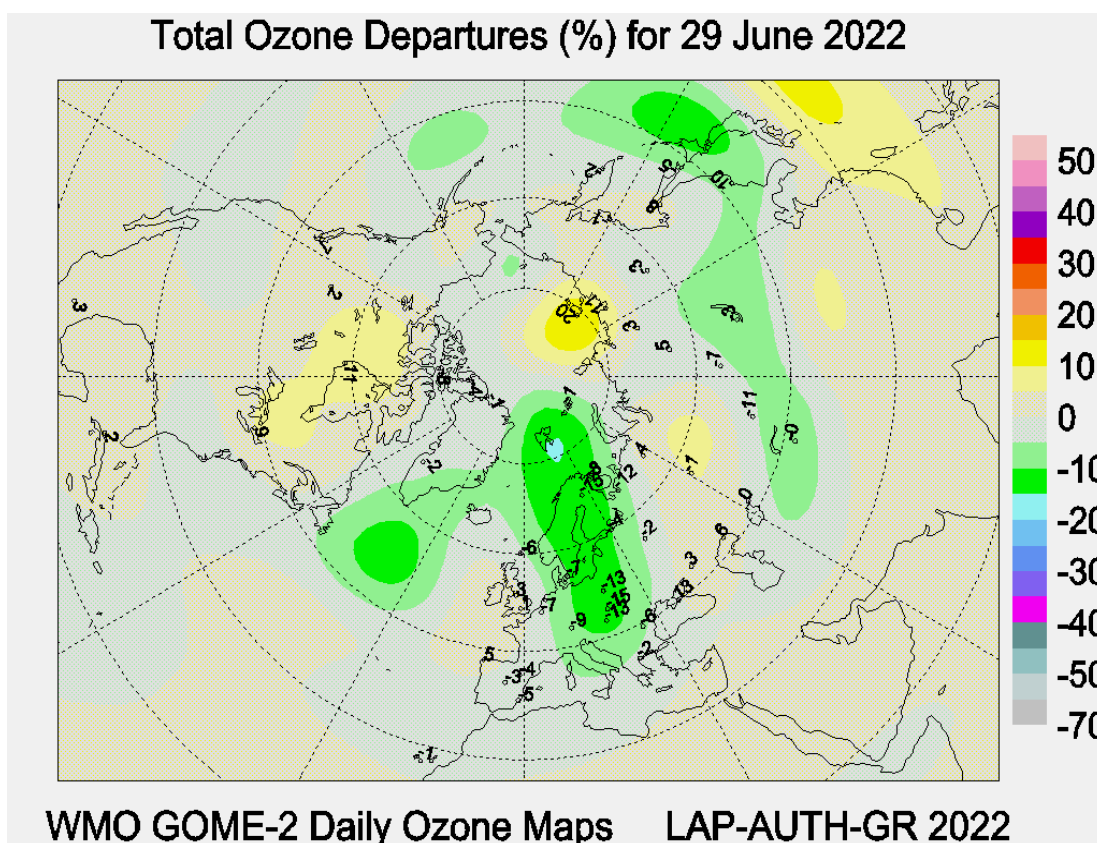


**Rysunek 4.** Profil ozonu na brzegu arktycznego wiru polarnego nad Legionowem, wykonany w ramach kampanii Match 30 marca 2022 12 UTC

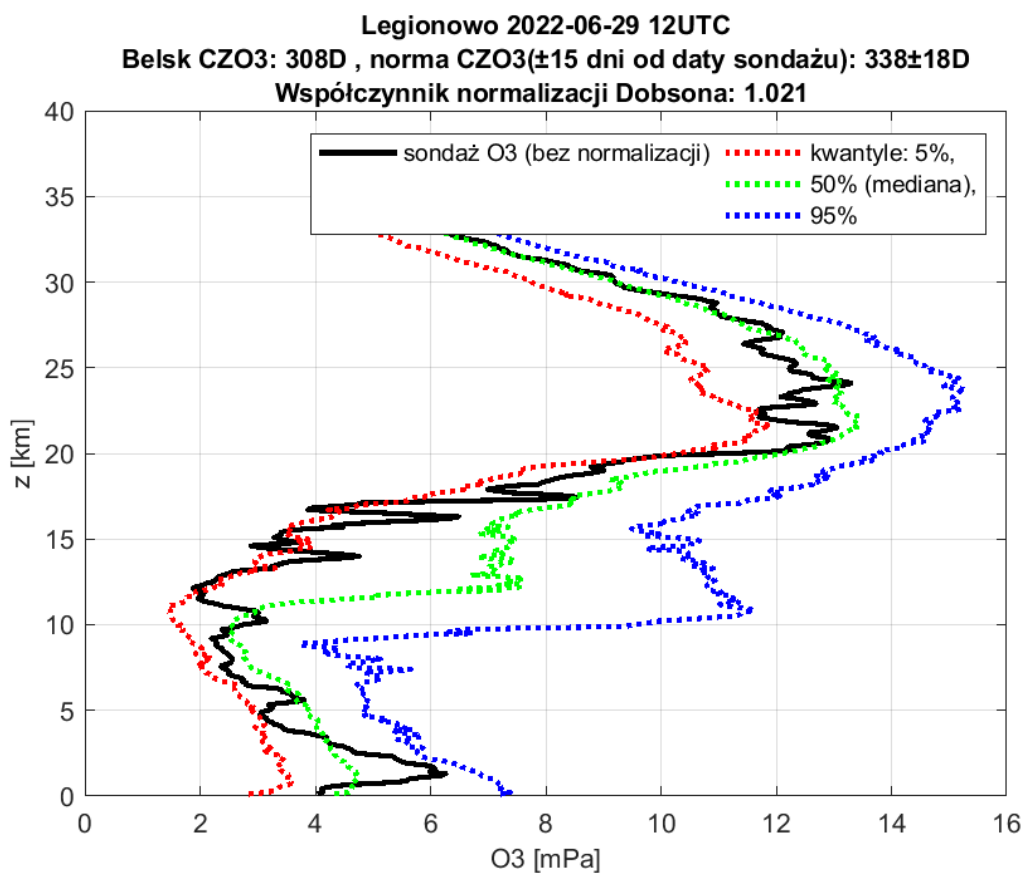
### Letnia anomalia CZO<sub>3</sub> 29 czerwca 2022 roku

W ostatnich latach, w okresie letnim na półkuli północnej obserwuje się epizody ujemnych anomalii CZO<sub>3</sub>. Mapa WMO procentowych odchyień CZO<sub>3</sub>, na podstawie połączonych danych satelitarnych GOME-2 i pomiarów naziemnych, dla 29 czerwca 2022 roku ukazuje ujemną anomalię w rejonie Europy Środkowej, z największym niedoborem CZO<sub>3</sub> wynoszącym około 15% poniżej wieloletniej normy nad Polską.

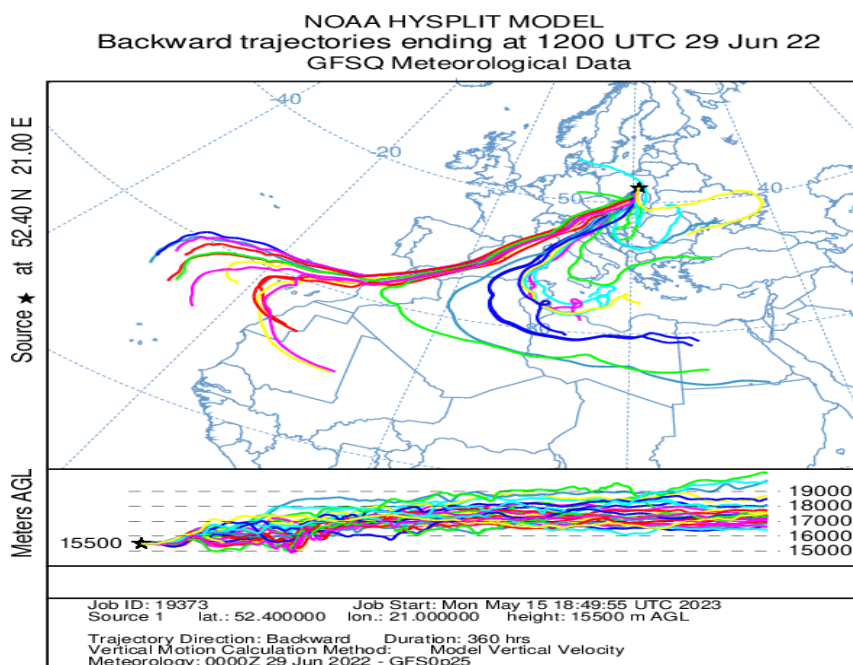
W profilu ozonu nad Legionowem tego dnia zaobserwowano ujemne anomalie w warstwie UTLS do 20km oraz w warstwie maksymalnej koncentracji ozonu.



**Rysunek 5.** Mapa WMO procentowych odchyień całkowitej zawartości ozonu (CZO<sub>3</sub>) z pomiarów satelitarnych GOME-2 i pomiarów naziemnych nad półkulą północną dla 29 czerwca 2022 roku



**Rysunek 6.** Profil ozonu nad Legionowem 29 czerwca 2022 12UTC



**Rysunek 7.** Model NOAA HYSPLIT trajektorii wstecznych 15 dniowych dla zespołu cząstek kończących się nad Legionowem 29 czerwca 2022 12UTC na wysokości 15,5km

Przy użyciu modelu NOAA HYSPLIT przeprowadzono analizę źródła masy powietrza w dniu 29 czerwca. Większość trajektorii z zespołu cząstek powietrza, które dotarły do Legionowa

29 czerwca 2022 roku o godzinie 12:00 UTC na wysokości 15,5km, pokazują powolne opadanie masy powietrza w górnej troposferze, w rozległym antycyklonie zlokalizowanym w rejonie Wysp Azorskich (Rysunek 7).

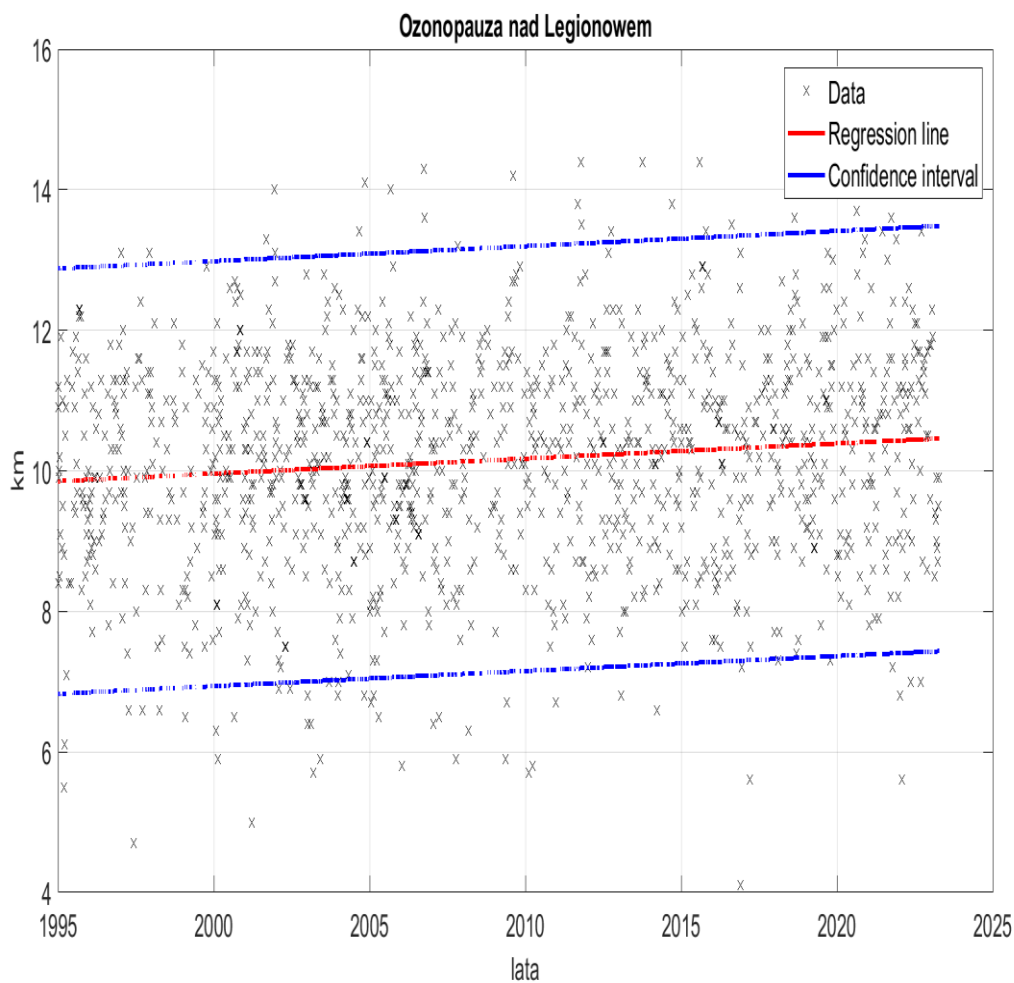
Niskie koncentracje ozonu w warstwie maksymalnej koncentracji nad Legionowem prawdopodobnie mają swoje źródło w wyższych szerokościach geograficznych, w powietrzu ubogim w ozon w wyniku procesów zachodzących w arktycznym wirze polarnym podczas zimy. Takie uwarstwienie mas powietrza, podobne do tych obserwowanych w przypadku mini-dziur ozonowych, jest szczególnie niekorzystne. Ujemna anomalia zawartości ozonu, która pojawia się w okresie najwyższego nasłonecznienia na początku lata, może prowadzić do rekordowego 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<sub>3</sub> w strefie zwrotnikowej jest wynikiem wzrostu ozonu troposferycznego, który rekompensuje spadek ozonu w dolnej stratosferze w tej strefie (WMO, 2022). Ten spadek jest spowodowany przyspieszeniem cyrkulacji atmosferycznej związanej ze zmianami klimatycznymi i jest zgodny z wynikami modelowania. 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%).

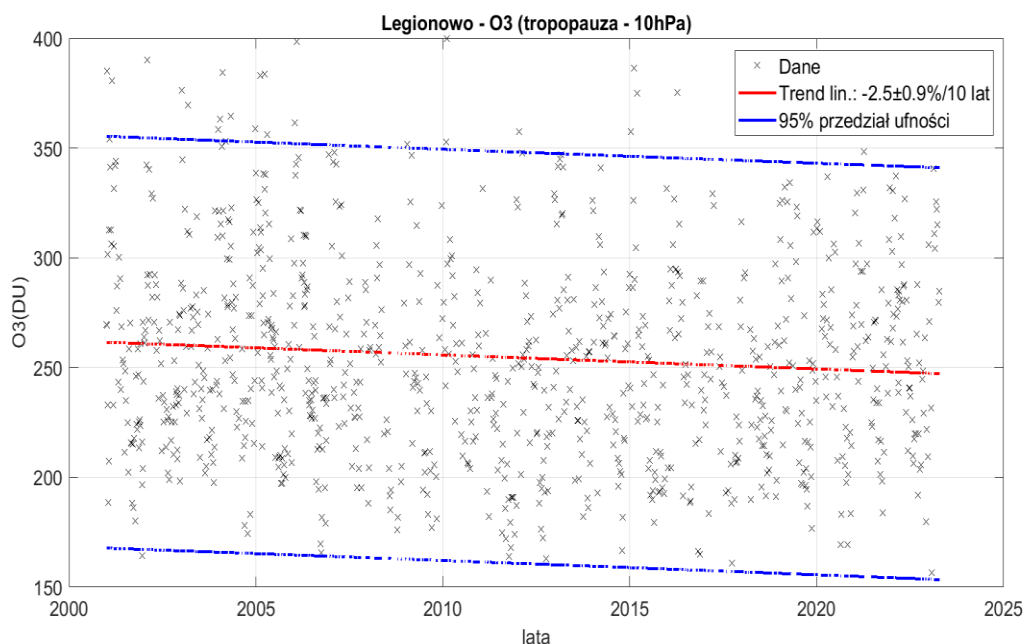
W ramach analizy stanu warstwy ozonowej nad Polską w XXI wieku skupiamy się na sprecyzowaniu pojęcia tropopauzy. Tropopauza, która znajduje się w obszarze górnej troposfery i dolnej stratosfery (UTLS), odgrywa istotną rolę w wymianie masy powietrza między tymi dwiema warstwami atmosferycznymi. W analizie sondaży ozonowych każdy profil zawiera informacje dotyczące tropopauzy chemicznej, znanej również jako ozonopauza. W tej analizie przyjmujemy definicję ozonopauzy jako dolnej granicy bogatego w ozon powietrza stratosferycznego. Pierwszym krokiem jest zlokalizowanie najwyższej leżącej warstwy, w której stężenie ozonu spada poniżej 100ppbv, a na jej górnej granicy ponownie wzrasta powyżej 110ppbv. Na dolnej granicy tej warstwy znajdujemy ozonopauzę - poziom, na którym występuje zmiana gradientu ozonu, przechodząc w ten sposób od niskich stężeń ozonu w troposferze do wysokich stężeń w stratosferze.

Badania nad tropopauzą pozwalają na lepsze zrozumienie wpływu zmian w tej warstwie na system klimatyczny. W związku z trwającym globalnym ocieplaniem klimatu wysokość tropopauzy nad Legionowem rośnie w tempie 200±50m/dekadę. Wydaje się, że po 2010 roku rzadziej pojawiają się epizody adwekcji powietrza polarnego (Rysunek 8).

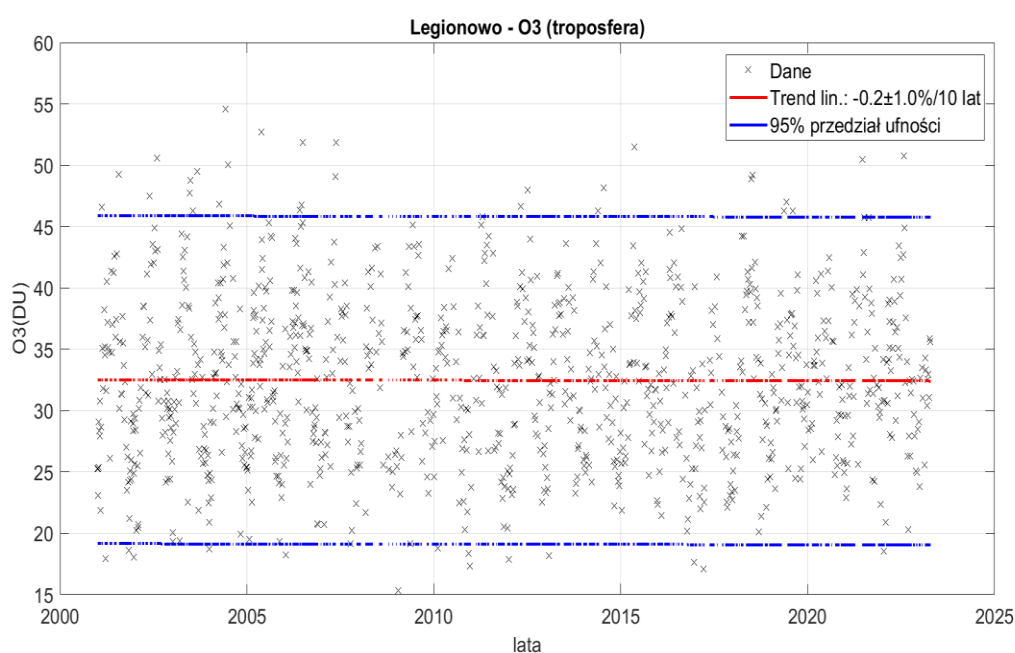


**Rysunek 8.** Wysokość tropopauzy chemicznej (ozonopauzy) nad Legionowem latach 1995-2022, na podstawie pomiarów sondą ECC

Do przeprowadzenia analizy zmian ozonu w okresie spadku ilości substancji niszczących warstwę ozonową wykorzystano homogeniczną serię sondaży ozonowych z Legionowa z lat 2001-2022. Do homogenizacji danych zastosowano procedury dostępne na stronie <https://github.com/denizpoyraz/o3s-dqa-homogenization>. Wybrano podzbiór sondaży, które miały współczynniki normalizacji Dobsona w zakresie od 0,9 do 1,1 oraz dotarły do wysokości 10hPa. Obliczono zawartości ozonu w warstwach troposfery (suma ozonu do tropopauzy) i stratosfery (suma ozonu od tropopauzy do 10hPa) i obliczono dla nich trendy całoroczne. Wyniki przedstawiono na Rysunkach 9-10.



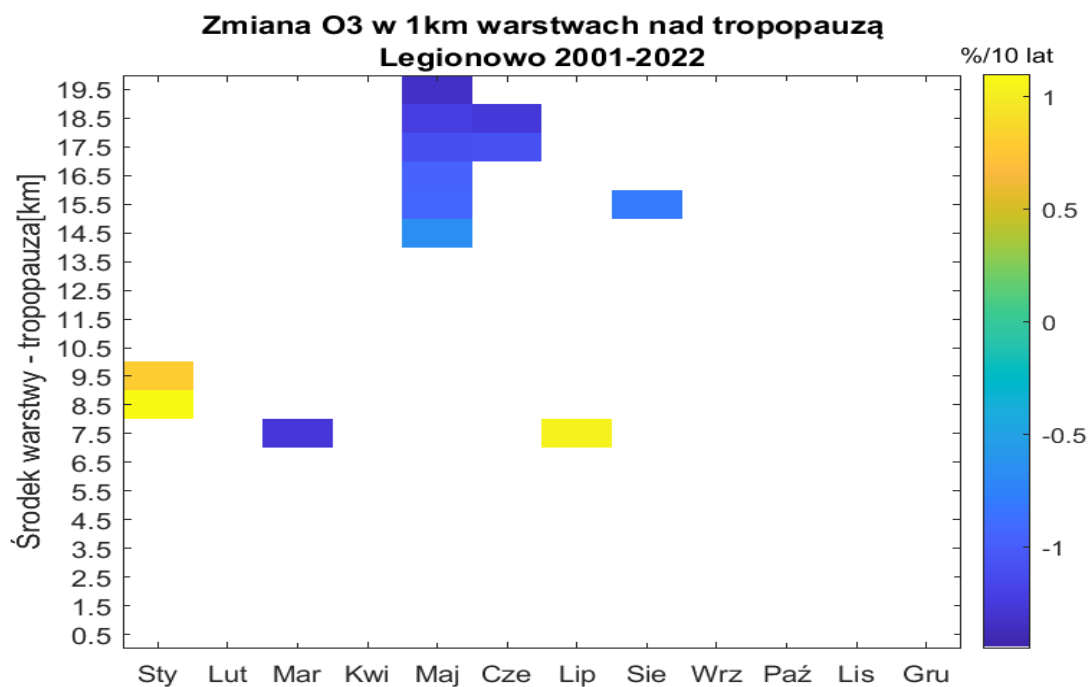
**Rysunek 9.** Zmiany zawartości ozonu w stratosferze nad Legionowem w latach 2001-2022



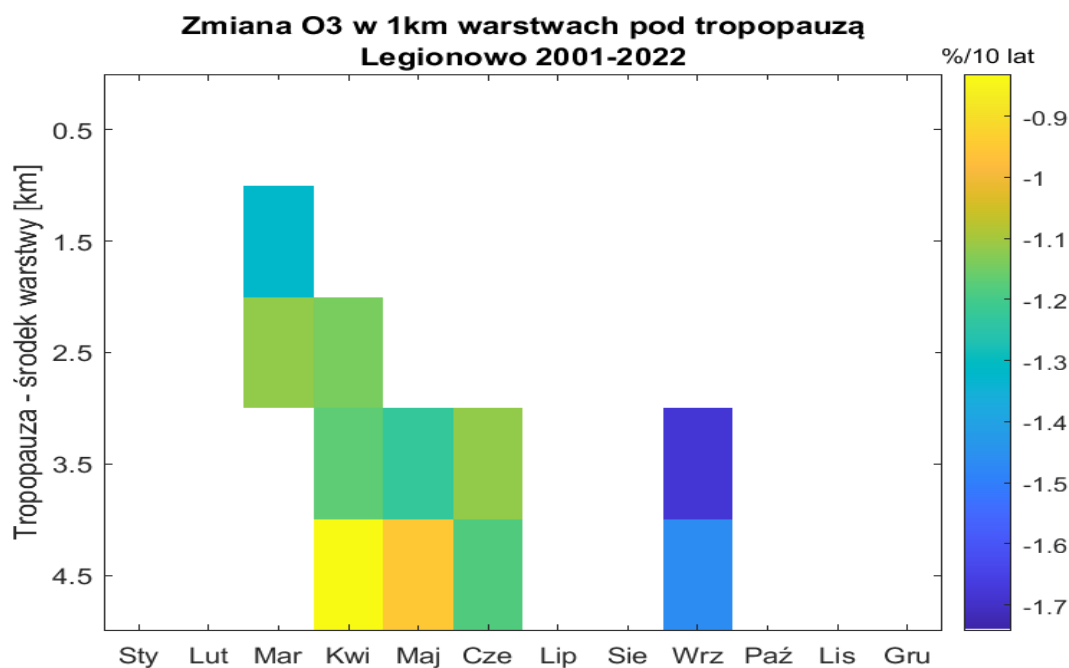
**Rysunek 10.** Zmiany zawartości ozonu w troposferze nad Legionowem w latach 2001-2022

W XXI wieku w stratosferze nad Legionowem stwierdzono istotny statystycznie 2,5% spadek zawartości ozonu. W tym samym czasie zmiany zawartości ozonu w troposferze nie wykazały istotnych zmian.

Dla każdego profilu obliczono (nienormalizowane) zawartości ozonu w 1-kilometrowych warstwach nad ozonopauzą (20 warstw) oraz poniżej ozonopauzy (5 warstw). Następnie dla każdej warstwy i miesiąca w roku obliczono liniową zmianę w latach 2001-2022. Trendy o istotnym statystycznym znaczeniu interpretowane są przy poziomie ufności 95%.



**Rysunek 11.** Trendy ozonu (w %/10lat) w stratosferze nad Legionowem w XXI wieku



**Rysunek 12.** Trendy ozonu (w %/10lat) w górnej troposferze nad Legionowem w XXI wieku

W górnej stratosferze panuje równowaga fotochemiczna. Dlatego uważa się, że tam regeneracja warstwy ozonowej powinna nastąpić najwcześniej. Pomiar satelitarne przeprowadzone w latach 2000-2020 wskazują na wyraźny wzrost stężenia ozonu w górnej stratosferze (WMO, 2022). Obserwuje się dodatnie trendy wynoszące około 1,5-2,2% na dekadę w umiarkowanych szerokościach geograficznych na obu półkulach, oraz około 1-1,5% na dekadę w rejonach zwrotnikowych (WMO,



2022). Wzrost stężenia ozonu w górnej stratosferze wraz ze zmniejszeniem ilości substancji niszczących ozon (ODS) jest pozytywnym efektem działań podejmowanych w ramach Protokołu Montrealskiego. Po części ten wzrost jest wynikiem obniżania temperatury stratosferycznej spowodowanej wzrostem stężenia dwutlenku węgla.

W średniej stratosferze nad Legionowem zaobserwowano istotny statystycznie spadek stężenia ozonu wiosną i latem. Niedawno przeprowadzone badania sugerują, że źródłem tych ubytków są masy powietrza pochodzące z polarnej średniej stratosfery.

Analiza serii sondaży ozonowych w Legionowie sondą typu BM, wykonanych latach 1979-1993, to jest w okresie szczytowego okresu nasycenia atmosfery substancjami niszczącymi warstwę ozonową, wykazała silny spadek stężenia ozonu w warstwie UTLS, największy w sezonach zimy i wiosny (Lityńska in., 1997). W rejonie UTLS nad Legionowem obserwuje się w XXI w. zahamowanie spadkowego trendu ozonu. Badania przeprowadzone przez Diallo i in. (2018) wskazują na istnienie strukturalnych zmian cyrkulacji, które prowadzą do osiadania ozonu w dolnej stratosferze w sezonie zimowym.

W dolnej stratosferze na wysokości około 18 km w marcu, zaobserwowano słabszy niż w XX wieku spadek stężenia ozonu. Oznacza to, że po rozpadzie wiru polarnego nad Polską nadal pojawiają się masy powietrza zubożone w ozon, pochodzące z chłodnych obszarów wiru polarnego.

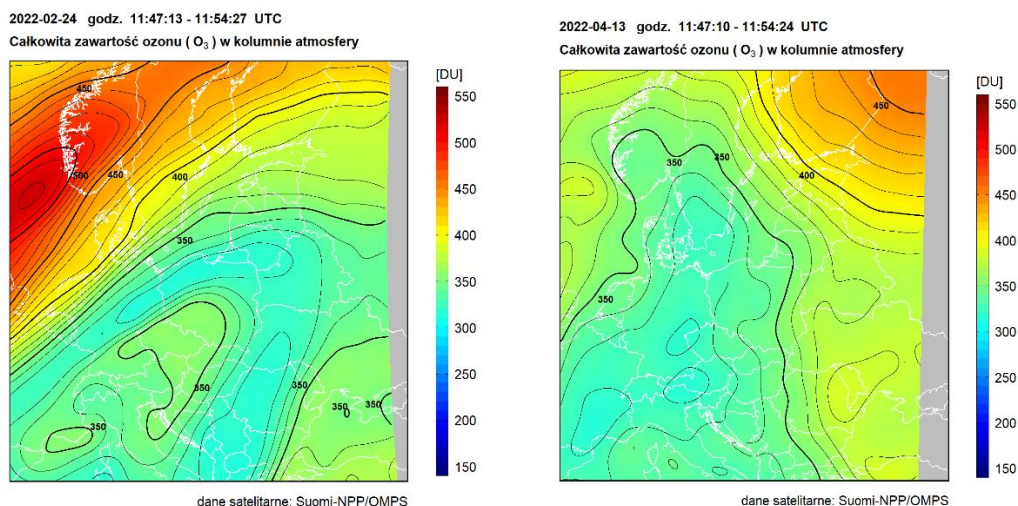
Wiosną, w wyniku silniejszego przenikania powietrza przez tropopauzę do górnej troposfery, obserwuje się przenikanie ozonu z dolnej stratosfery (Rysunek 12). Nie jest jednak jasne, jak duża część spadkowego trendu stężenia ozonu w górnej troposferze jest generowana przez procesy chemiczne, a jak dużą rolę odgrywa dynamika atmosferyczna.

We wrześniu obserwuje się zmniejszanie zawartości ozonu w górnej troposferze. Jeśli do górnej troposfery trafia zwrotnikowe powietrze o niskiej zawartości ozonu, może to przyczynić się do obniżenia ogólnej koncentracji ozonu w tej warstwie.

#### **2.4. Ozon całkowity z danych satelitarnych nad Europą Środkową w 2022 roku**

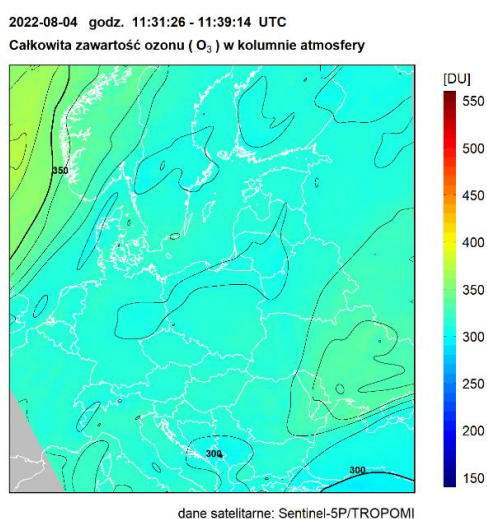
Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2022 roku, podobnie jak w latach ubiegłych, był prowadzony z wykorzystaniem danych satelitarnych z czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS), znajdującego się na pokładzie satelitów meteorologicznych Suomi-NPP (S-NPP) i NOAA-20. Satelity te 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. Na Rysunku 13 przedstawiono przykładowe rozkłady całkowitej zawartości ozonu nad Europą Środkową w odwzorowaniu Merkatora (EPSG:3395).



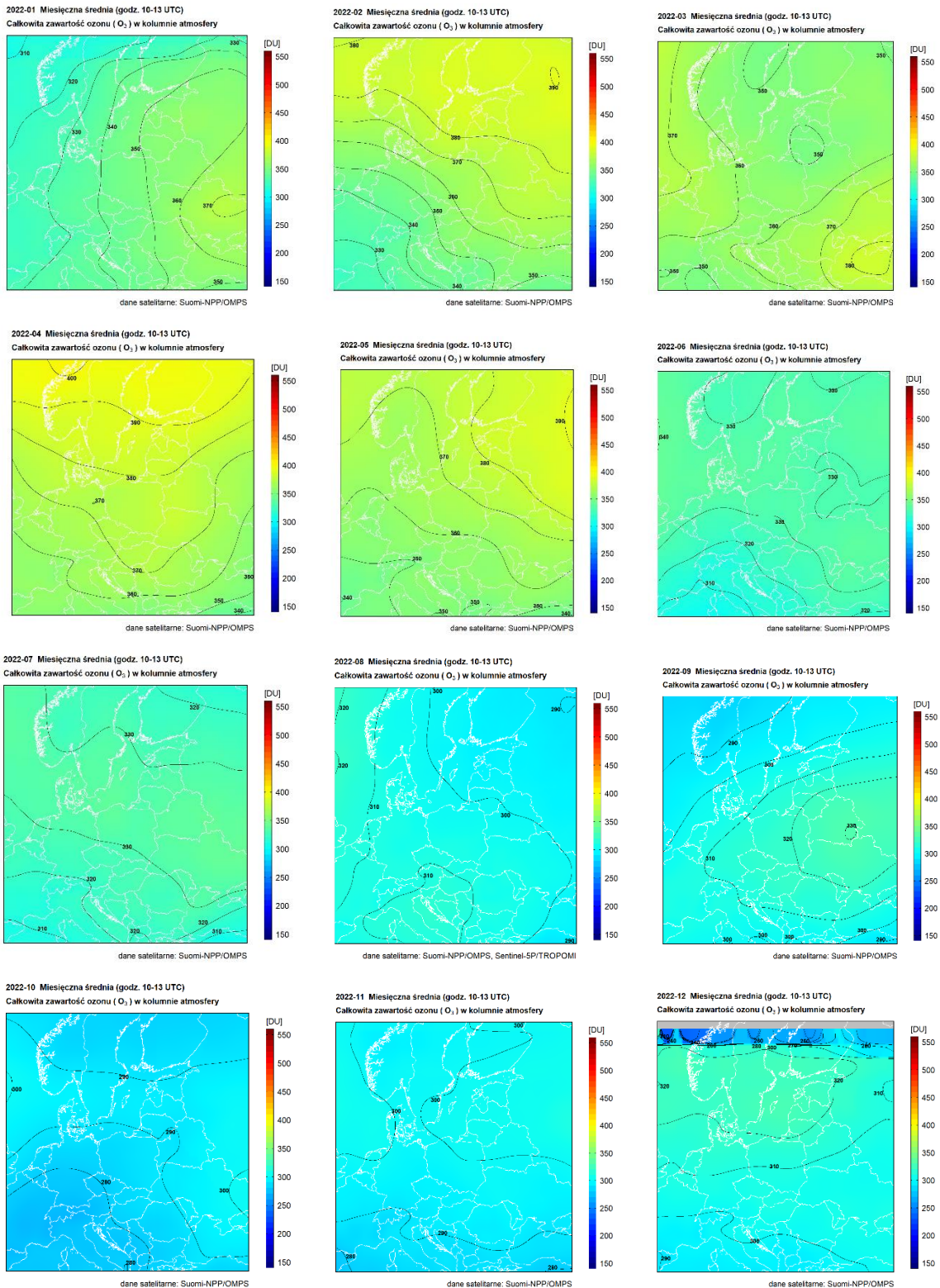
**Rysunek 13.** Całkowita zawartość ozonu w kolumnie atmosfery (DU) w dniach 24 lutego i 13 kwietnia 2022 r., wyznaczona z danych S-NPP/OMPS

W 2022 roku miała miejsce awaria czujnika na satelicie S-NPP i całkowita zawartość ozonu nie mogła być wyznaczana z danych OMPS w okresie 27.07-10.08.2022. Satelitarny monitoring ozonu był w tym czasie prowadzony z wykorzystaniem danych z czujnika TROPOMI znajdującego się na pokładzie satelity Sentinel-5P (Rysunek 14).



**Rysunek 14.** Całkowita zawartość ozonu w kolumnie atmosfery (DU) w dniu 4 sierpnia 2022 r., wyznaczona z danych Sentinel-5P/TROPOMI

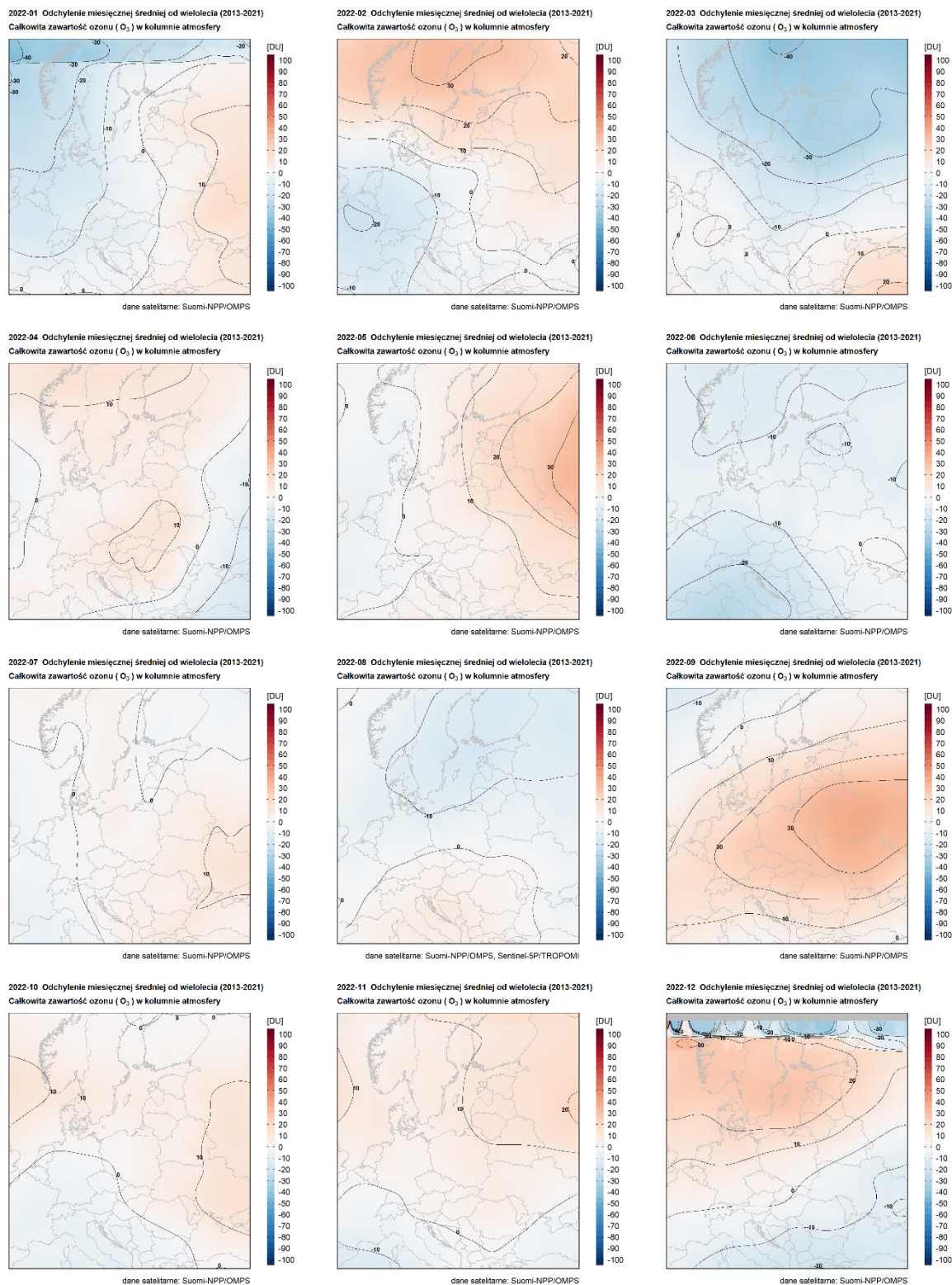
Dane o rozkładzie CZO<sub>3</sub> zostały wykorzystane do wyznaczenia średnich miesięcznych rozkładów całkowitej zawartości ozonu (Rysunek 15) oraz odchylenia ich od średnich wieloletnich (Rysunek 16). Średnie wieloletnie CZO<sub>3</sub> zostały obliczone na podstawie danych OMPS dla lat 2013-2021. Ze względu na brak danych OMPS przez 10 dni sierpnia, do wyznaczenia średniego miesięcznego rozkładu ozonu dla tego miesiąca 2022 r., dla dni z brakującymi danymi OMPS, wykorzystano dane TROPOMI.



**Rysunek 15.** Średnie miesięczne rozkłady całkowitej zawartości ozonu w kolumnie atmosfery, wyznaczone z satelitarnych danych OMPS w 2022 r. z wyjątkiem sierpnia, w którym rozkład średnich miesięcznych wartości CZO<sub>3</sub> został obliczony z danych TROPOMI

Otrzymana zmienność średnich miesięcznych rozkładów CZO<sub>3</sub> jest zgodna z cyklem rocznym tego parametru, który charakteryzuje się najwyższymi wartościami wiosną i najniższymi jesienią.

Na Rysunku 16 przedstawiono rozkłady odchylen średnich miesięcznych wartości CZO<sub>3</sub> w 2022 roku od średnich miesięcznych wieloletnich z lat 2013-2021.

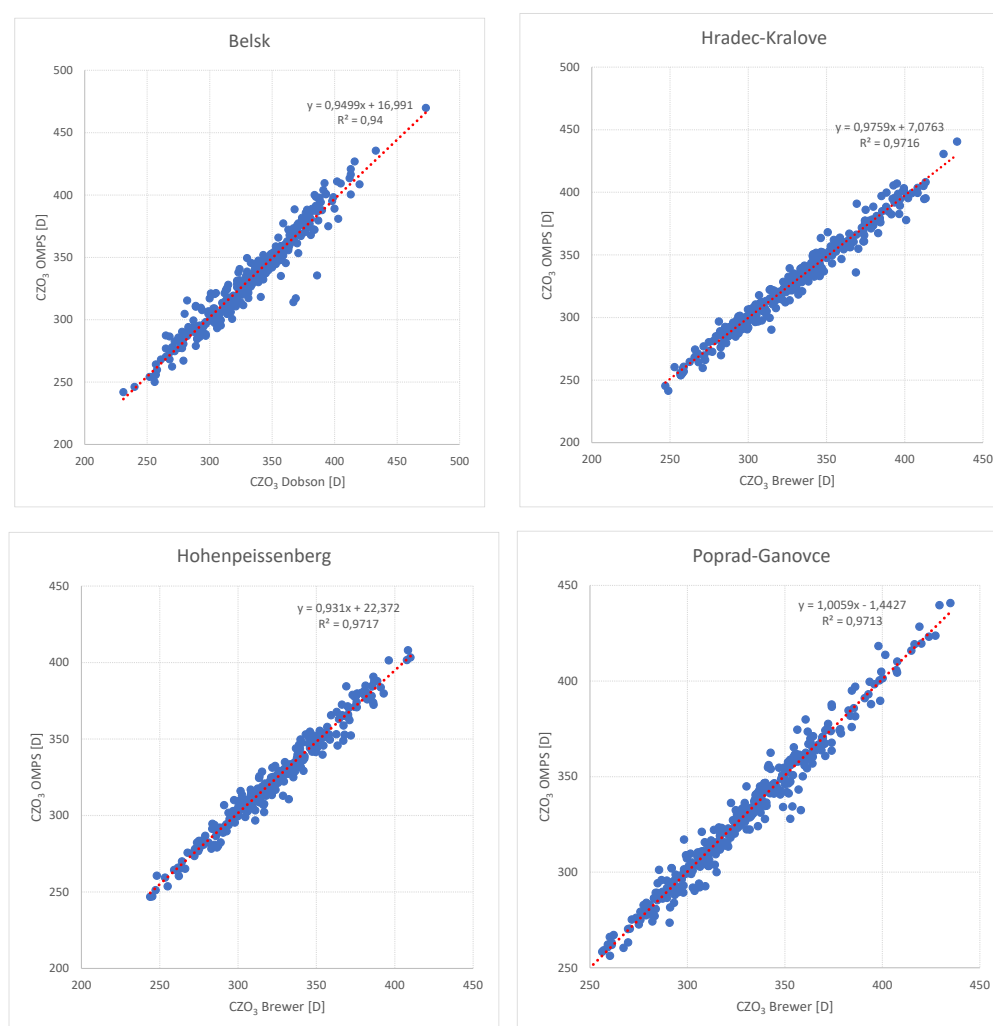


**Rysunek 16.** Rozkłady odchylen średnich miesięcznych zawartości ozonu wyznaczonych z danych OMPS w 2022 r. od średnich miesięcznych wieloletnich z okresu 2013-2021, z wyjątkiem sierpnia 2022, w którym brak danych OMPS wystąpił 10 razy

Widoczne są podwyższone wartości CZO<sub>3</sub> względem okresu wieloletniego we wrześniu w środkowym pasie analizowanego obszaru oraz w maju w części wschodniej. Podwyższone wartości wystąpiły również w północnej Europie w lutym i grudniu. Natomiast marzec 2022 r. charakteryzował się niższymi wartościami CZO<sub>3</sub> w Polsce i północnej części Europy (Rysunek 16).

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-Ganovce (20,3°E, 49°N). Pomiary na tych stacjach wykonywane są spektrofotometrem Brewera (Poprad-Ganovce, 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](http://www.woudc.org)).

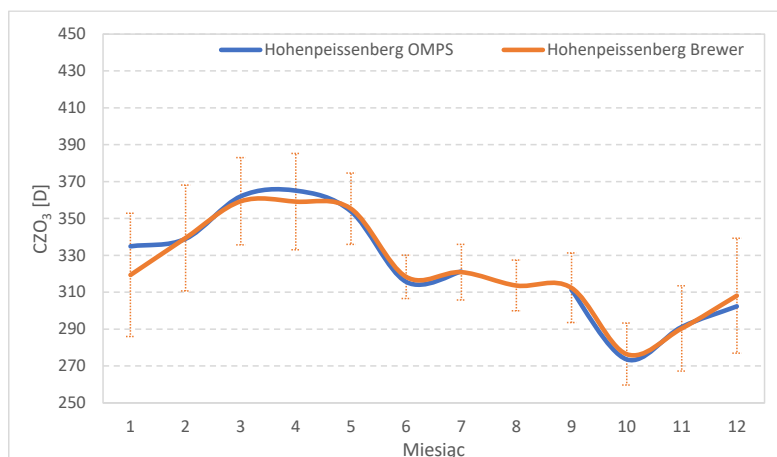
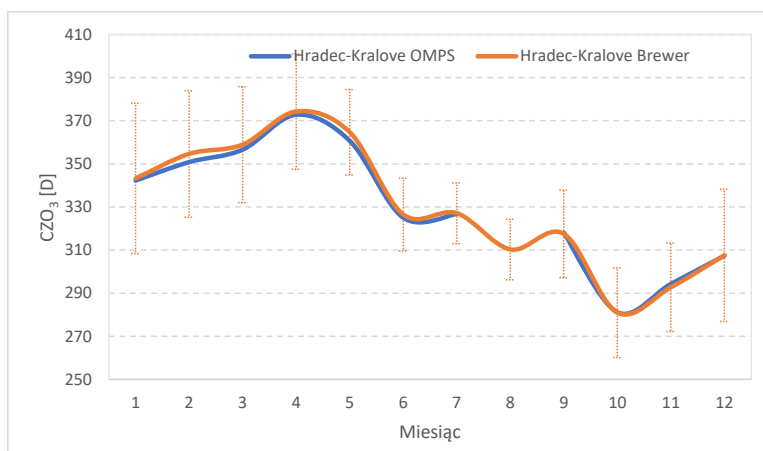
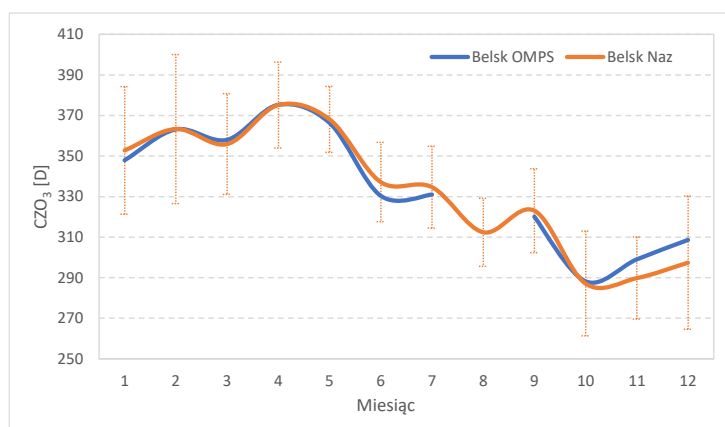
Porównanie wartości całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych i z danych pochodzących ze stacji pomiarów naziemnych pokazano na Rysunku 17.

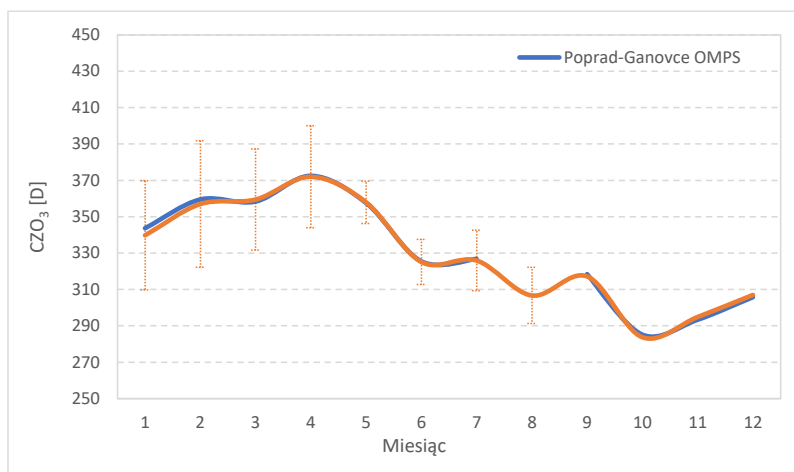


**Rysunek 17.** Porównanie całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych czujnika OMPS oraz zmierzonej spektrofotometrem dla stacji w Belsku, Hradec-Kralove, Hohenpeissenbergu oraz Popradzie-Ganovcu w 2022 roku. Linią kropkowaną zaznaczono krzywą regresji liniowej

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 0,94 do 0,9717 (Rysunek 17).

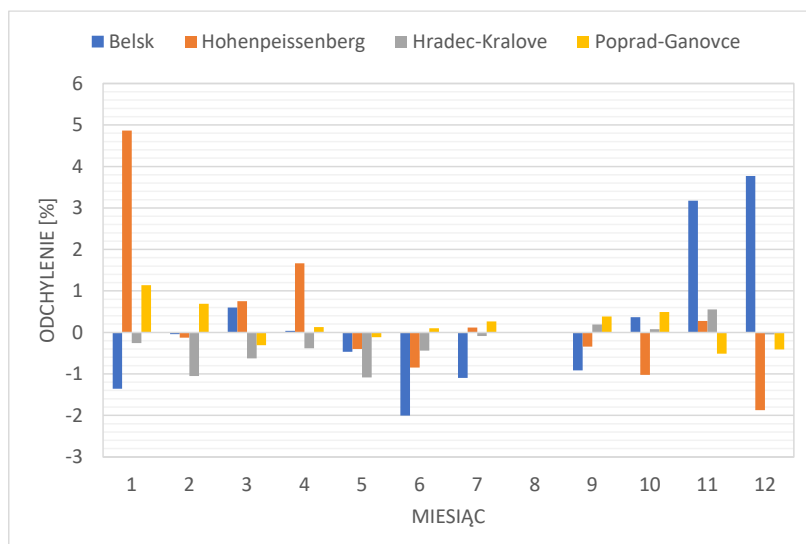
Bardzo dobrą zgodność pomiędzy danymi satelitarnymi a pomiarem naziemnym widać również w zmienności rocznej średnich miesięcznych wartości  $\text{CZO}_3$  dla analizowanych stacji (Rysunek 18). Dla wszystkich przebiegów średnich miesięcznych zauważyć można wzrost wartości  $\text{CZO}_3$  w kwietniu. Widoczny jest również wzrost wartości  $\text{CZO}_3$  na wszystkich stacjach we wrześniu.





**Rysunek 18.** Całkowita zawartość ozonu wyznaczona z danych OMPS oraz zmierzona spektrofotometrem na wybranych stacjach w 2022 roku. Słupki odpowiadają przedziałowi  $\pm\sigma$  średnich z pomiarów naziemnych

Rozkład średnich miesięcznych różnic procentowych uzyskany dla wybranych stacji wskazuje na brak błędów systematycznych metody wyznaczania CZO<sub>3</sub>, 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. Zdecydowanie mniejsze wartości średnich miesięcznych różnic (od -1,1% do 0,7%) otrzymano dla stacji Hradec-Kralove i Poprad-Ganovce, a większe dla Belska i Hohenpeissenbergu: od -2,0% do 4,7% (Rysunek 19). Wyjaśnienie tych różnic nie jest łatwe, ale mogą one mieć związek z kompletnością serii danych naziemnych oraz z rodzajem instrumentu wykorzystywanego w pomiarach naziemnych. W przypadku Belska i Hohenpeissenbergu, serie danych naziemnych mają wyraźne braki zimą (grudzień-luty) oraz w kwietniu, październiku i listopadzie, co mogłoby tłumaczyć większe różnice otrzymane dla obu stacji w tych miesiącach. Ponadto, w Belsku pomiary prowadzone są spektrofotometrem Dobsona, a na pozostałych stacjach – spektrofotometrem Brewera, co może tłumaczyć zróżnicowanie otrzymanych wyników dla Belska i pozostałych stacji w miesiącach letnich (czerwiec-lipiec) (Rysunek 19).



**Rysunek 19.** Rozkład odchylenia średnich miesięcznych wartości całkowitej zawartości ozonu dla Belska, Hohenpeissenbergu, Hradec-Kralove i Popradu wyznaczonych z danych satelitarnych OMPS od pomiarów naziemnych w roku 2022

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 2022 r. dla stacji Belsk, Hohenpeissenberg, Hradec-Kralove oraz Poprad-Ganovce

	Korelacja	Średnia różnica [D]	Średnia różnica bezwzględna [D]	RMSE %
Belsk	0,97	0,27	6,64	2,85
Hohenpeissenberg	0,986	0,002	4,48	1,86
Hradec-Kralove	0,986	-0,86	4,652	1,93
Poprad-Ganovce	0,986	0,49	4,61	1,92

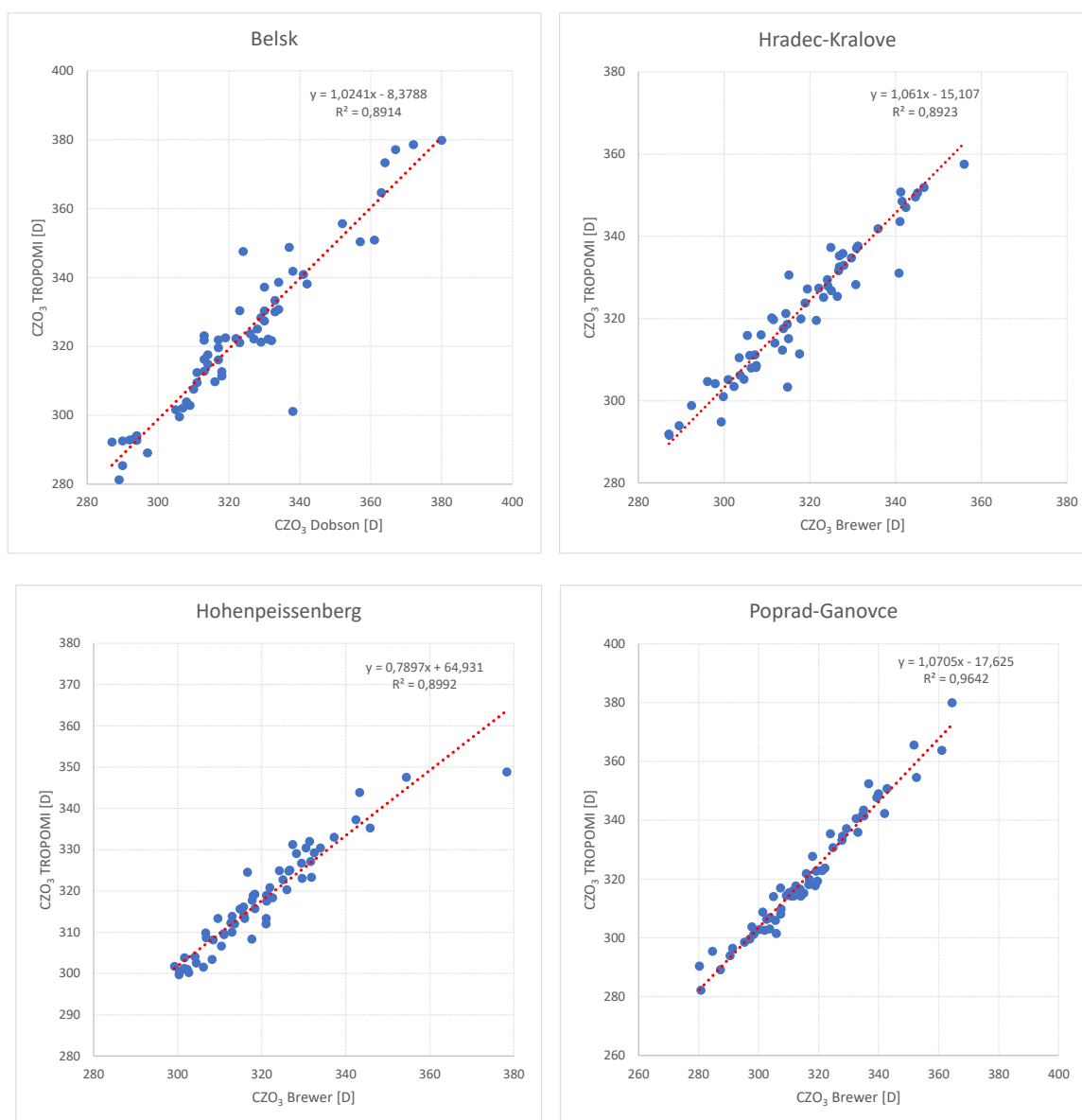
Dla wszystkich czterech stacji zgodność całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych OMPS z pomiarami naziemnymi jest bardzo dobra – średni błąd procentowy waha się w granicach od 1,86% do 1,92% przy porównaniu z pomiarami naziemnymi wykonanymi spektrofotometrem Brewera i 2,85% - w przypadku spektrofotometru Dobsona. Na uwagę zasługuje również bardzo wysoka korelacja, która dla wszystkich stacji jest większa lub równa 0,97.

W dniach 27 lipca - 10 sierpnia 2022 roku satelitarny monitoring warstwy ozonowej nad Europą Środkową był prowadzony z wykorzystaniem danych satelitarnych Sentinel-5P/TROPOMI. Wykorzystano do tego celu produkt O<sub>3</sub> „offline” poziomu 2 (Ozone Total Column) w wersji 2.4.1 udostępniony przez Copernicus Open Data Hub \*<https://scihub.copernicus.eu>).

W celu określenia dokładności satelitarnego monitoringu ozonu w tym okresie, porównano CZO<sub>3</sub> wyznaczoną z danych TROPOMI z pomiarami naziemnymi wykorzystując taką samą metodyką,



jak w przypadku danych OMPS. Analizę przeprowadzono dla lipca i sierpnia 2022 r., a wyniki dla wybranych stacji przedstawiono na Rysunku 20.



**Rysunek 20.** Porównanie całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych czujnika TROPOMI oraz zmierzonej spektrofotometrem dla stacji w Belsku, Hradec-Kralove, Hohenpeissenbergu oraz Popradzie-Ganovcu w okresie lipiec-sierpień 2022 roku. Linia kropkowaną zaznaczono krzywą regresji liniowej

Dla wszystkich stacji otrzymano dobrą zgodność CZO<sub>3</sub> wyznaczonej z danych TROPOMI z pomiarami naziemnymi, przy czym jest ona największa dla stacji Poprad-Ganovce,  $R^2 = 0,9642$ , a najmniejsza dla Belska:  $R^2 = 0,8914$  (Rysunek 20).

Zestawienie parametrów statystycznych obliczonych dla okresu lipiec – sierpień 2022 zamieszczono w Tabeli 7. Dla porównania umieszczono tam również wartości parametrów uzyskane dla danych OMPS, dla tego samego okresu.

**Tabela 7.** Wyniki porównania pomiędzy zawartością ozonu wyznaczoną z danych Sentinel-5P/TROPOMI i S-NPP/OMPS a zmierzoną spektrofotometrem w okresie lipiec-sierpień 2022 r. dla stacji Belsk, Hohenpeissenberg, Hradec-Kralove oraz Poprad-Ganovce

	Średnia różnica [D]		Średnia różnica bezwzględna [D]		RMSE %	
	<i>TROPOMI</i>	<i>OMPS</i>	<i>TROPOMI</i>	<i>OMPS</i>	<i>TROPOMI</i>	<i>OMPS</i>
Belsk	0,599	-4,67	5,12	6,57	2,38	2,5
Hohenpeissenberg	2,31	-1,72	3,37	4,27	1,70	1,81
Hradec-Kralove	4,35	-1,04	5,59	4,58	2,31	2,10
Poprad-Ganovce	4,67	-0,02	4,89	3,46	1,92	1,48

W przypadku stacji Hradec-Kralove i Poprad-Ganovce, wartości błędu średniego RMSE są większe dla TROPOMI niż dla OMPS. Natomiast dla Belska i Hohenpeissenbergu otrzymano lepszą dokładność CZO<sub>3</sub> dla danych TROPOMI. Należy tu jednak podkreślić, że różnice w dokładności metod wyznaczania CZO<sub>3</sub> z danych TROPOMI i OMPS są niewielkie i w pewnym stopniu mogą wynikać z innej liczebności danych TROPOMI i OMPS w analizowanym okresie.

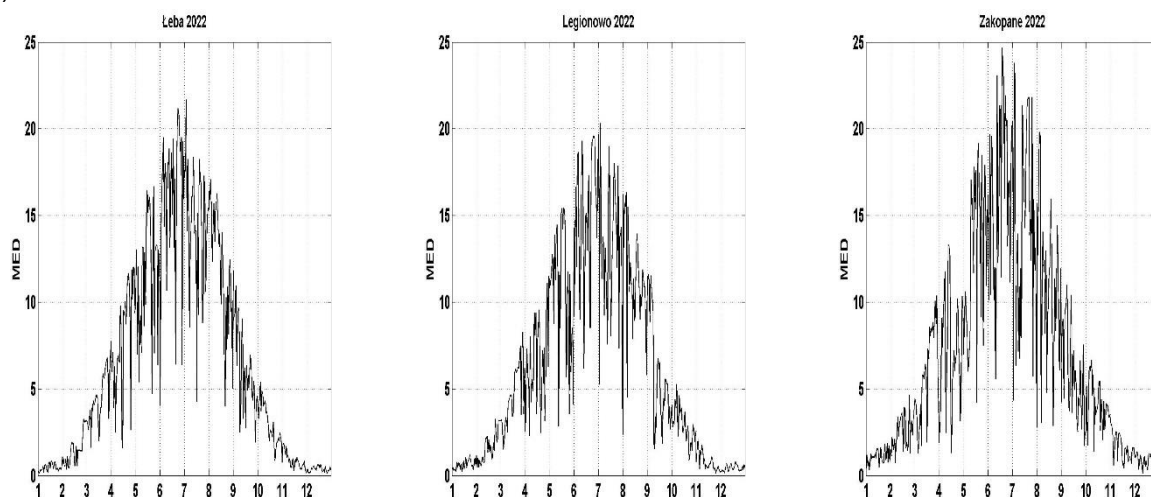
Uzyskane wyniki potwierdzają, że wykorzystanie danych TROPOMI do szacowania CZO<sub>3</sub> podczas awarii czujnika OMPS było zasadne. Jednak dopiero analiza przeprowadzona dla dłuższego okresu może pokazać przydatność danych TROPOMI w satelitarnym monitoringu warstwy ozonowej.

## 2.5. Promieniowanie UV-B zmierzone na sieci monitoringu w 2022 roku

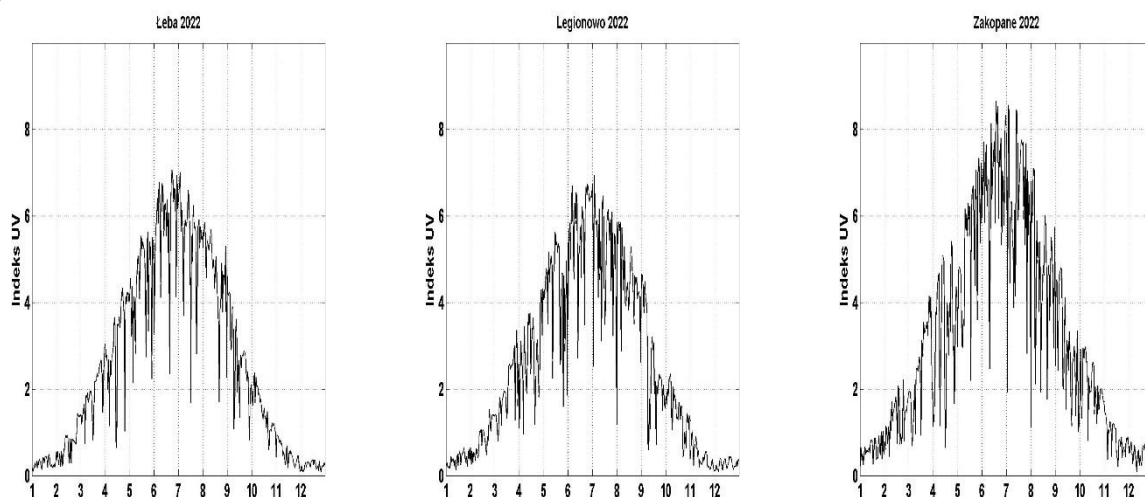
Pomiary promieniowania czynnego promieniowania UV-B wykonywane są w sieci monitoringu IMGW-PIB od połowy 1993 r. z wykorzystaniem przyrządów UV Biometer Model 501 (SL501) firmy Solar Light, zainstalowanych na stacjach w Łebie, Legionowie i Zakopanem.

Poniżej przedstawiono wartości dawek dziennych UV-B [MED] i Indeksu UV zmierzone na stacjach IMGW-PIB w 2022 roku (Rysunek 21).

a)



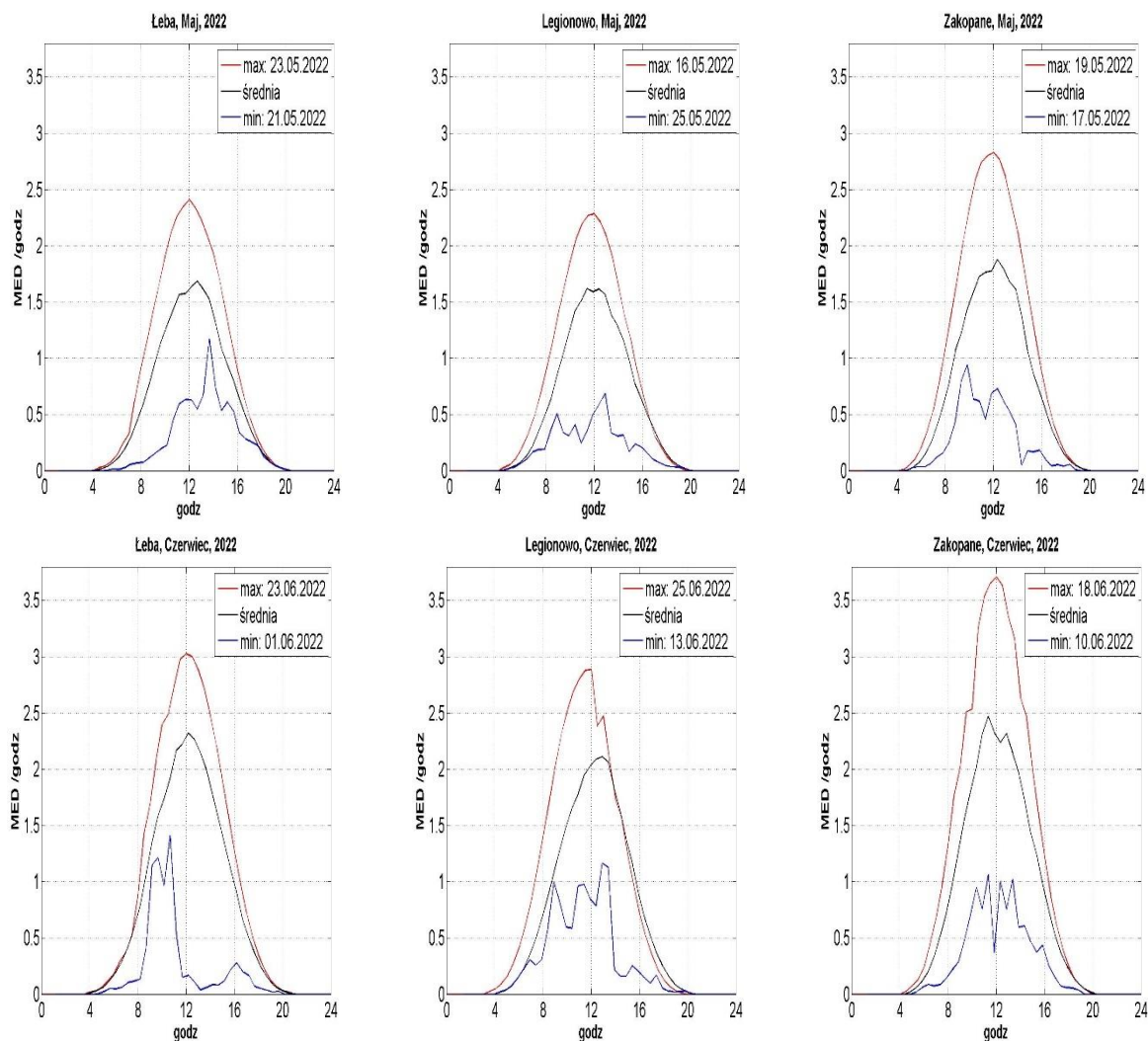
b)

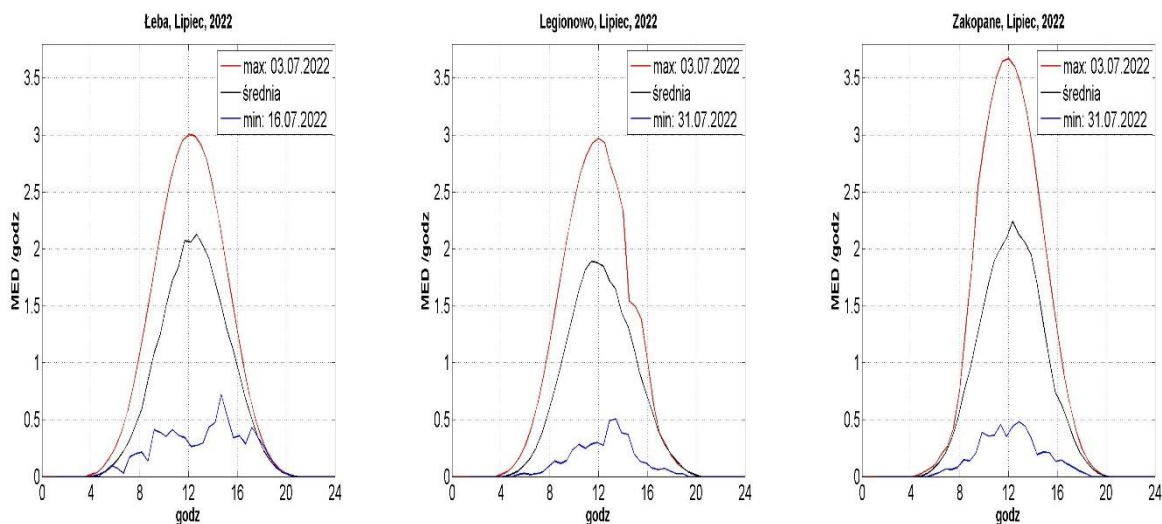


**Rysunek 21.** Wartości dawek dziennych UV-B [MED] (a) i Indeksu UV (b) z czujników SL501 w Łebie, Legionowie i Zakopanem w 2022 r.

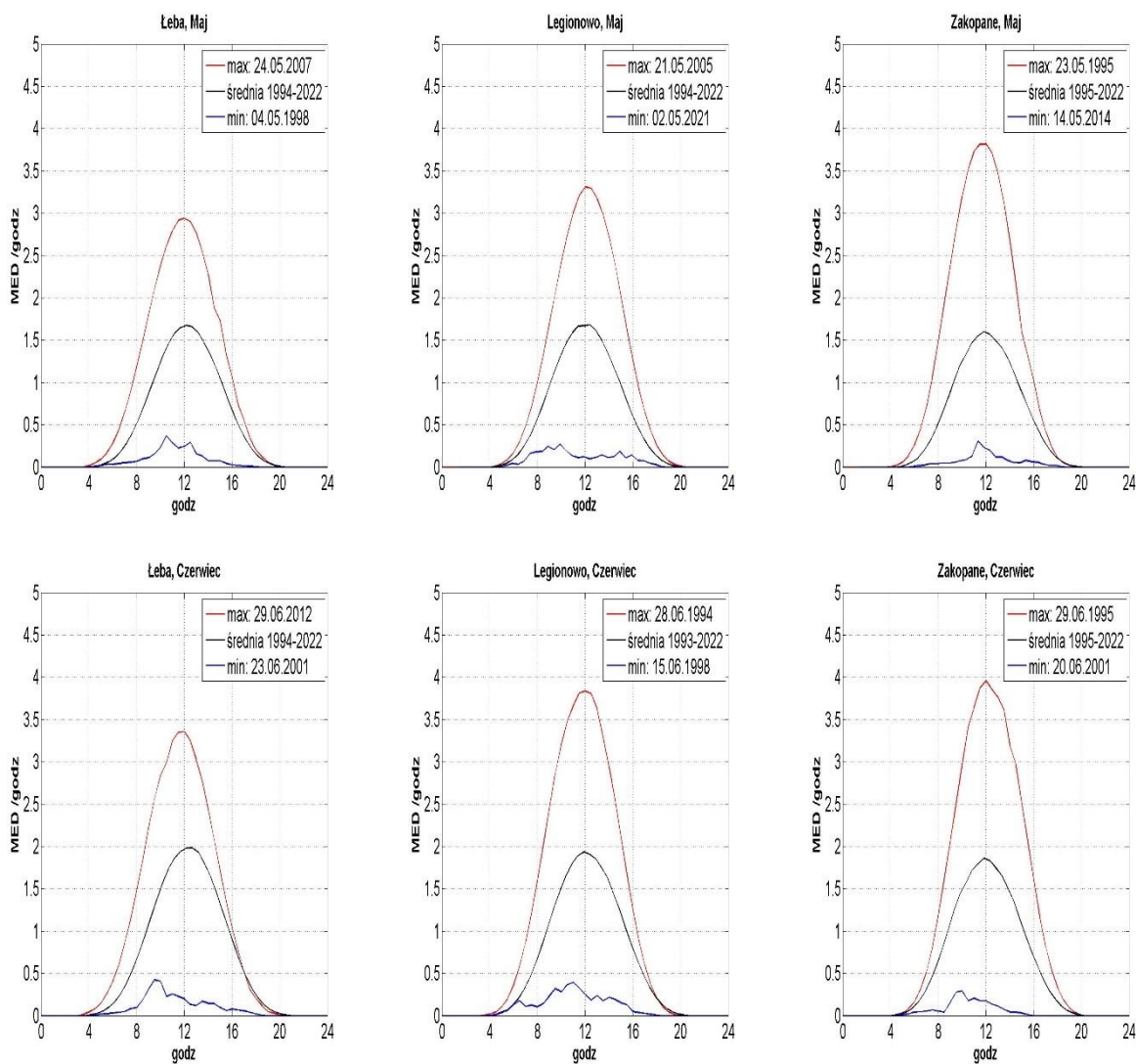
Stacje monitoringu UV-B w IMGW-PIB ułożone są południkowo. Gdyby nie zróżnicowanie ilości chmur, ozonu i aerozoli, ilość promieniowania UV-B docierającego do powierzchni Ziemi powinna być największa dla stacji Zakopane a najmniejsza dla Łeby. Górskie położenie stacji w Zakopanem powoduje, że wraz z nadejściem 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 Zakopanem. W 2022 południkowy rozkład wielkości promieniowania UV można się zauważyć porównując dawki miesięczne (Tabela 8) oraz średnie miesięczne przebiegów dziennych (Rysunek 22) od stycznia do marca. Odwrócony rozkład występuje dla sierpnia. W pozostałych miesiącach rozkład jest zróżnicowany, przy czym bardzo często najmniejsze promieniowanie występuje w Legionowie.

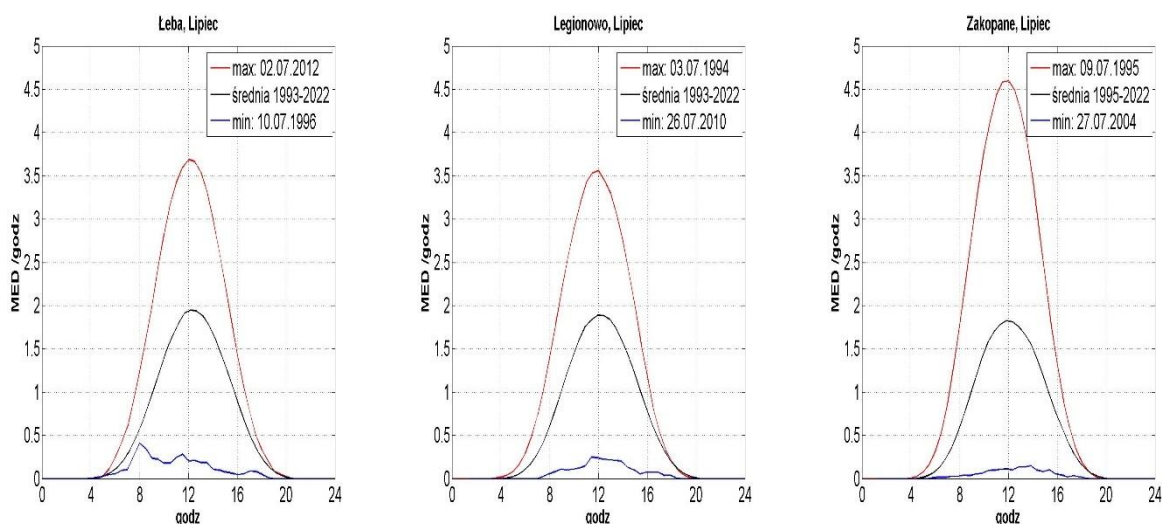
Maksymalne promieniowanie obserwuje się przy bezchmurnym niebie. Dlatego rozkład geograficzny maksimów dobowych promieniowania jest na ogół południkowy. Dobrze to widać analizując dane z serii pomiarowych (Rysunek 23). W 2022 rozkład południkowy dla dawek dobowych (Tabela 8) oraz przebiegów dziennych (Rysunek 22) występuje dla miesięcy od stycznia do marca oraz dla listopada i grudnia. O odstępstwie od tej reguły decydują inne czynniki, ilości ozonu całkowitego i aerozoli.





**Rysunek 22.** Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B (w MED/h) zmierzonego przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu 2022 r.





**Rysunek 23.** Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B (w MED/h) zmierzonego przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu dla całej serii pomiarowej od 1993 (Zakopane od 1995) do 2022 r.

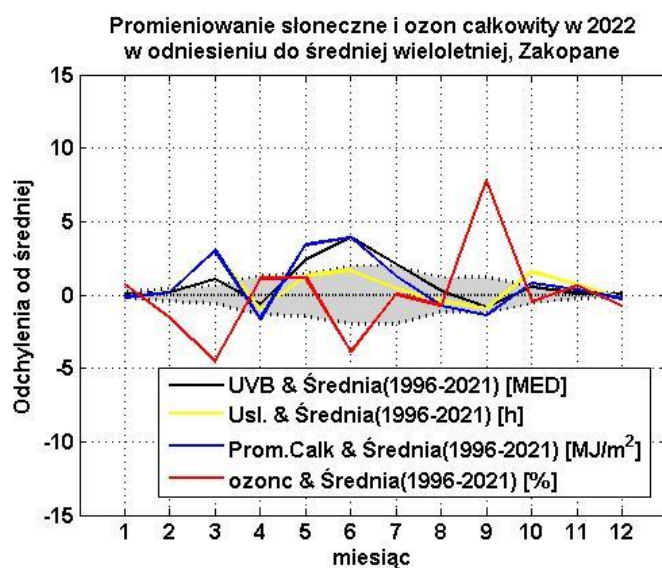
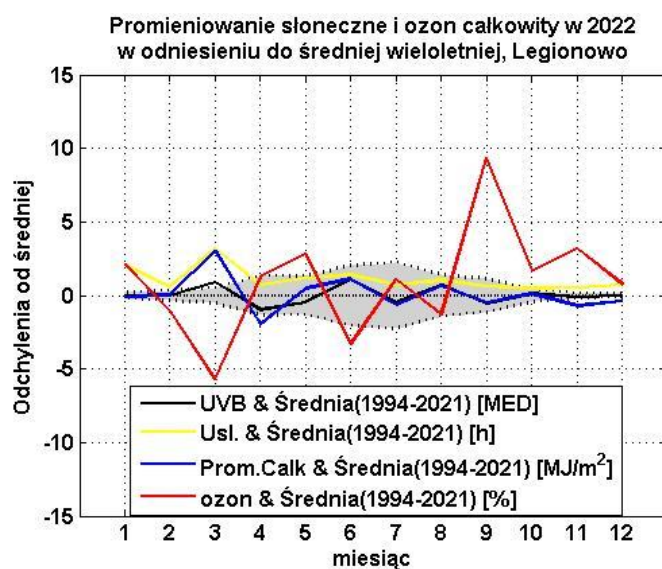
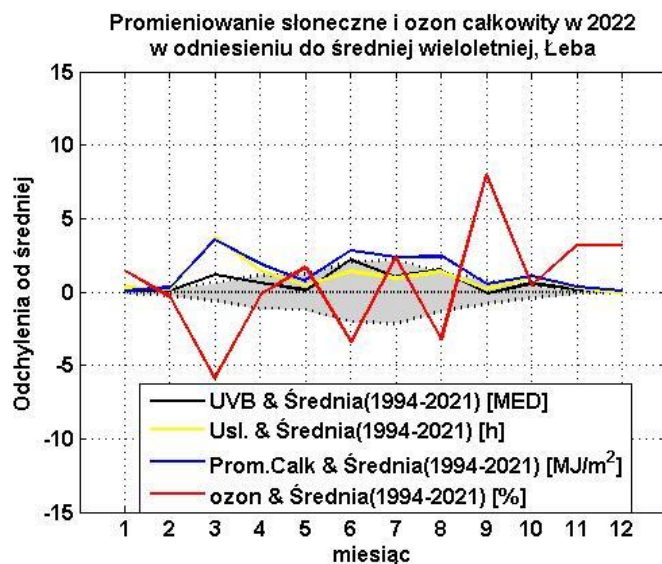
**Tabela 8.** Dienne – średnie, maksymalne i minimalne dawki UV-B oraz miesięczne dawki promieniowania UV-B (w MED) zmierzonego przyrządami SL501 w 2022 r.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>Łeba</b>												
Śr. Dobowe	0,5	1,2	4,5	7,8	11,4	16,1	14,4	12,0	6,1	2,9	0,8	0,4
Max. Dob.	1,1	3,2	7,8	12,0	16,7	21,2	21,7	17,1	10,9	5,4	1,8	0,6
Min. Dob.	0,2	0,4	1,6	1,6	4,7	4,0	4,3	4,0	1,9	0,8	0,2	0,1
Dawka mies.	14,6	29,8	139,7	233,0	354,9	481,6	446,9	372,6	183,1	90,0	25,0	11,0
<b>Legionowo</b>												
Śr. Dobowe	0,6	1,5	4,6	6,4	10,8	14,7	12,8	11,4	5,8	2,9	0,8	0,4
Max. Dob.	1,2	3,3	8,3	11,5	15,4	19,6	20,3	16,3	11,6	5,3	2,1	0,8
Min. Dob.	0,2	0,5	1,5	2,3	2,8	6,2	2,4	4,5	1,5	0,9	0,1	0,1
Dawka mies.	19,0	41,3	142,9	191,0	334,2	441,7	395,9	353,5	174,4	89,1	22,9	13,1
<b>Zakopane</b>												
Śr. Dobowe	1,1	2,4	5,7	7,2	12,6	16,5	14,2	10,8	5,9	4,0	1,6	0,9
Max. Dob.	1,8	4,7	10,4	13,3	19,2	24,7	23,8	19,8	11,0	6,6	3,3	1,4
Min. Dob.	0,2	0,7	1,3	1,3	4,2	5,6	2,8	2,9	1,7	1,4	0,4	0,1
Dawka mies.	32,6	66,3	178,1	216,7	391,8	493,9	439,2	334,1	175,7	124,9	49,1	27,3

W 2022 roku maksymalną dawkę miesięczną, 493,9 MED (Tabela 8) zmierzono w czerwcu dla Zakopanego. Maksymalną dawkę dobową, 24,7 MED zaobserwowano dla 18 czerwca w Zakopanem. Maksymalne dawki 21,7 dla Łeby oraz 20,3 dla Legionowa wystąpiły 3 lipca.

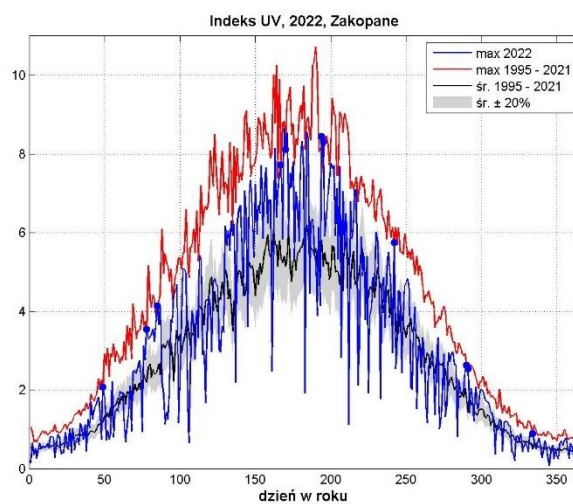
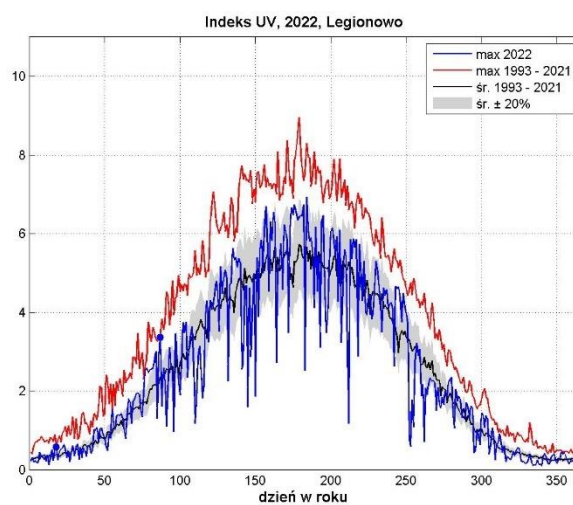
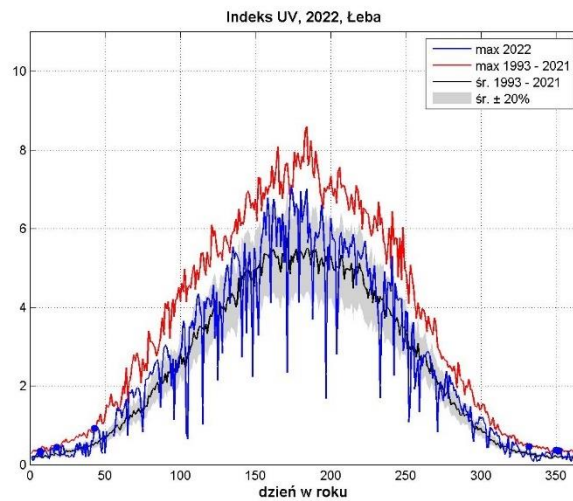
Ilość promieniowania UV docierającego do powierzchni Ziemi zależy od wielu czynników. Dlatego do oceny przyczyn jego zmiany wykorzystano prowadzone równoległe do monitoringu UV pomiary promieniowania całkowitego i usłonecznienia. Wielkości te pozwalają pośrednio wnioskować o zmianach promieniowania UV. Promieniowanie całkowite jest w zakresie od UV, poprzez zakres

promieniowania widzialnego aż do bliskiej podczerwieni. Ze względu na duży zakres widma słonecznego jaki ono obejmuje oraz fakt, że w tym zakresie długości fal ozon głównie oddziałuje w niewielkim zakresie (UV-B), można promieniowanie całkowite traktować jako niezależne od ilości ozonu. Na ilość promieniowania całkowitego, podobnie jak na UV mają wpływ aerozole. Im aerozoli jest więcej tym promieniowania słonecznego dociera mniej. Natomiast usłonecznienie dobrze identyfikuje dni z bezchmurną pogodą. Na Rysunku 24 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 2022 roku wyróżniają się pomiary od maja do czerwca dla Zakopanego, gdzie promieniowanie UV-B było większe od typowych wartości, identyfikowanych przez odchylenie standardowe (szary obszar). Jest to skorelowane z większym od średniego promieniowaniem całkowitym i usłonecznieniem, co można wiązać z dużą liczbą dni bezchmurnych oraz zmniejszoną ilością aerozoli. Dodatkowo w czerwcu występowała w Polsce obniżona ilość ozonu całkowitego. W czerwcu, podwyższone promieniowanie wystąpiło także w Łebie. Jednak efekt ten jest widoczny w mniejszym stopniu. Większe od średniego promieniowanie UV-B wystąpiło także w marcu, gdzie dla trzech stacji pomiary UV-B, promieniowania całkowitego, usłonecznienia i ozonu całkowitego układają się podobnie. W pozostałych miesiącach promieniowanie UV-B zwykle oscylowało w pobliżu wartości średnich.



**Rysunek 24.** Odchylenie od średniej wieloletniej promieniowania UV-B, promieniowania całkowitego, ozonu całkowitego i usłonecznienia w 2022 r. Szary obszar reprezentuje zmienność promieniowania UV-B w granicach  $\pm 1\sigma$ . Średnie wieloletnie ozonu całkowitego obliczone na podstawie danych satelitarnych





**Rysunek 25.** Przebiegi roczne Indeksu UV z 2022 roku dla stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem na tle średniego oraz maksymalnego Indeksu UV od początku pomiarów do 2021 roku dla każdej stacji. Niebieskie punkty oznaczają ekstremalne wartości w serii dla danego dnia roku zmierzone w 2022 r.

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.

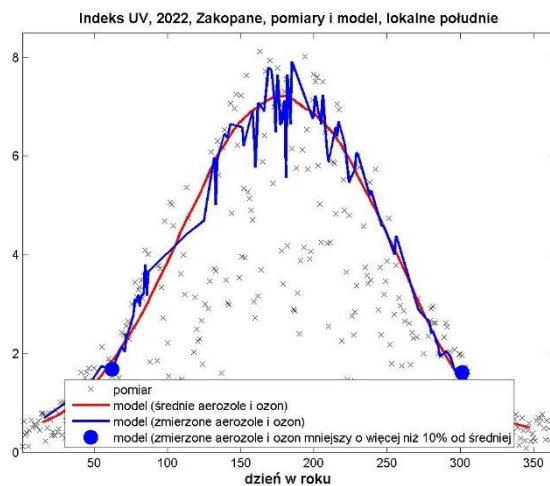
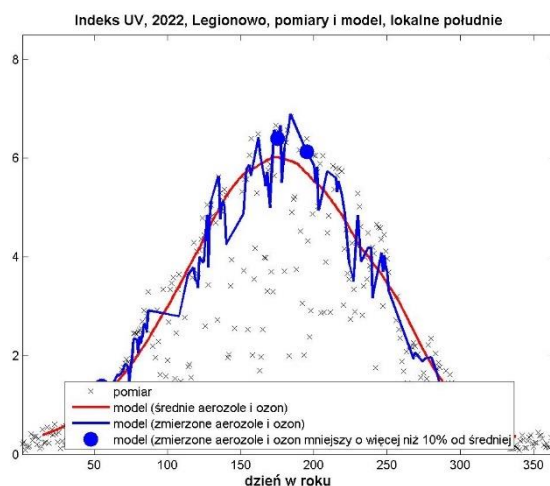
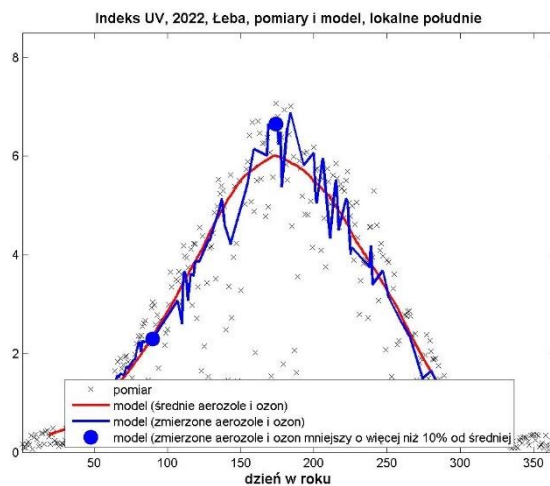
Na Rysunku 25 przedstawiono przebieg roczny Indeksu UV z 2022 roku na tle średniego oraz maksymalnego Indeksu UV z okresu od 1993 (Zakopane od 1995) do 2021 roku dla każdej ze stacji.

W roku 2022 podwyższone wartości Indeksu UV obserwowano głównie na stacji w Zakopanem, w okresie letnim. W pojedynczych dniach Indeks UV osiągnął ekstremalne wartości w serii. Wyróżniają się też pomiary Indeksu UV z marca dla Legionowa i Zakopanego, gdzie w kilku dniach obserwowano ekstremalne promieniowanie. Ekstremalne wartości Indeksu UV zmierzono także w styczniu i lutym, dla trzech stacji. W pozostałych miesiącach zmierzono zbliżone do typowych wartości Indeksu UV. Największe wartości Indeksu UV na stacjach IMGW-PIB w 2022 roku zmierzono odpowiednio: 18 czerwca w Zakopanem (UVI 8,7), 23 czerwca w Łebie (UVI 7,1), 3 lipca w Legionowie (UVI 6,9).

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 wyznaczania aerozoli są zwykle mało dokładne. W efekcie niewiele jest danych, gdy mamy dobrej jakości równoczesny pomiar ozonu, aerozoli oraz potrafimy w miarę dobrze ocenić efekt jaki dają chmury. Poniżej umieszczone wykresy zostały tak przygotowane, aby wyjaśnić przyczyny dużego wzrostu promieniowania UV w poszczególnych dniach. Korzystając z pomiarów satelitarnych ozonu całkowitego i aerozoli z 2022 roku obliczono, używając modelu transferu promieniowania słonecznego FastRT wartości Indeksu UV dla bezchmurnego nieba dla lokalnego południa (Rysunek 26). Podobne obliczenie wykonano dla danych uśrednionych ozonu całkowitego i aerozoli 30-dniową średnią biegnącą z okresu 2005-2021. Na Rysunku 26 umieszczono również pomiary Indeksu UV z 2022 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 2022 roku zwracają uwagę pomiary w okresie lata, w Łebie i Zakopanem. Podwyższone promieniowanie, w szczególności dla Zakopanego można przypisać mniejszą od typowej ilości aerozoli. Zwiększenie promieniowanie w czerwcu w Łebie i Legionowie związane było z mniejszą ilością ozonu całkowitego (niebieskie kropki) oraz aerozoli.

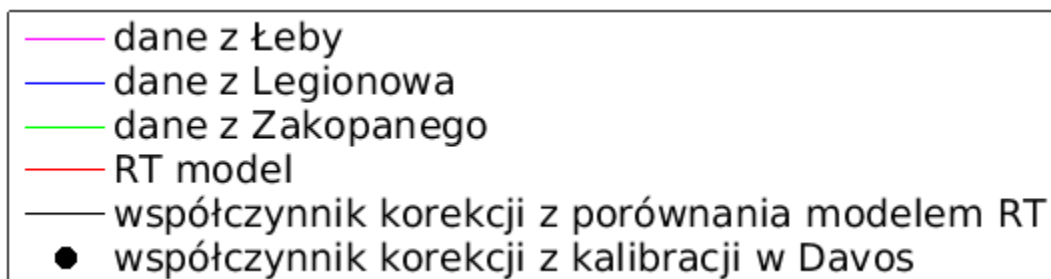


**Rysunek 26.** Przebiegi roczne Indeksu UV z 2022 roku obliczonego z wykorzystaniem modelu transferu promieniowania słonecznego FastRT dla stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem z wykorzystaniem pomiarów satelitarnych ozonu całkowitego i aerozoli 2005-2022

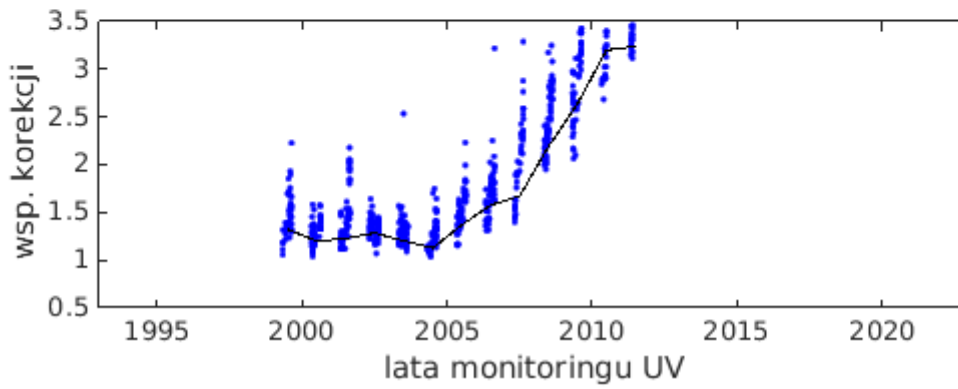
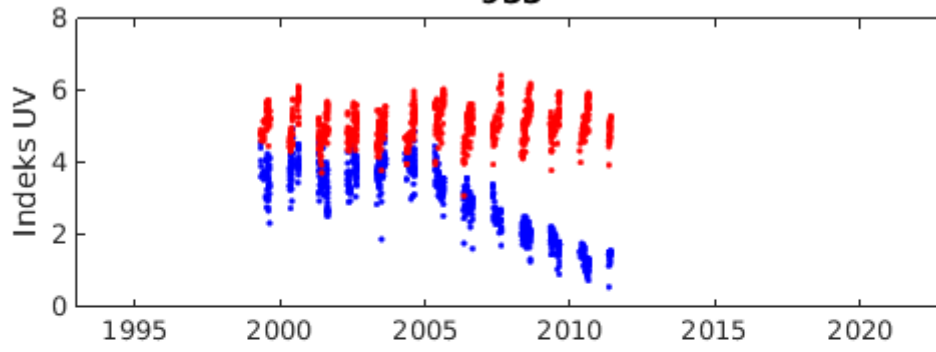
### **Współczynniki korekcji czujników UV-B używanych w pomiarach na stacjach IMGW-PIB**

Monitoring UV został uruchomiony w Łebie i Legionowie w połowie 1993, a w Zakopanem 1995 roku. Do pomiarów używane są czujniki Solar Light 501 z cyfrowym kodowaniem sygnału między czujnikiem i rekorderem. Wysyłanie czujników do Światowym Centrum Promieniowania (PMOD/WRC) w Davos zostało wprowadzone kilkanaście lat temu. Wcześniej stosowano inne rozwiązanie, z tzw. wzorcem lokalnym, gdzie wybrany czujnik używany był do porównań na stacjach i do niego skalowano dane. Nie było w tym czasie szczególnych zaleceń WMO. Dopiero później, gdy w IMGW-PIB porównania odbywały się już regularnie, pojawiły się zalecenia WMO. Dla obliczeń długoterminowych zmian promieniowania UV jest ważne śledzenie jak stabilnie działają czujniki. Do oceny wybrano podzbiory danych nieskorygowanych dla kąta zenitalnego Słońca (SZA)  $40 \pm 1^\circ$ , z miesięcy od maja do października, przy pełnym usłonecznieniu, uzyskanych z równoległe prowadzonych pomiarów aktynometrycznych. Wybór takiego SZA wynika z tego, że przy takim kącie jest duża ilość pomiarów w okresie całego lata. Ponadto, przy korekcji zgodnie z kalibracjami z Davos, macierze spektralnej korekcji danych są normowane do jedności dla kąta  $40^\circ$  i ozonu całkowitego 300D. Skorygowanie danych można w przybliżeniu sprowadzić, do mnożenia przez iloczyn współczynnika korekcji z porównania ze spektrometrem wzorcowym i współczynnika korekcji dla kąta  $40^\circ$  z zależności kątowej uzyskanej w laboratorium i nie korzystać z danych o ozonie całkowitym.

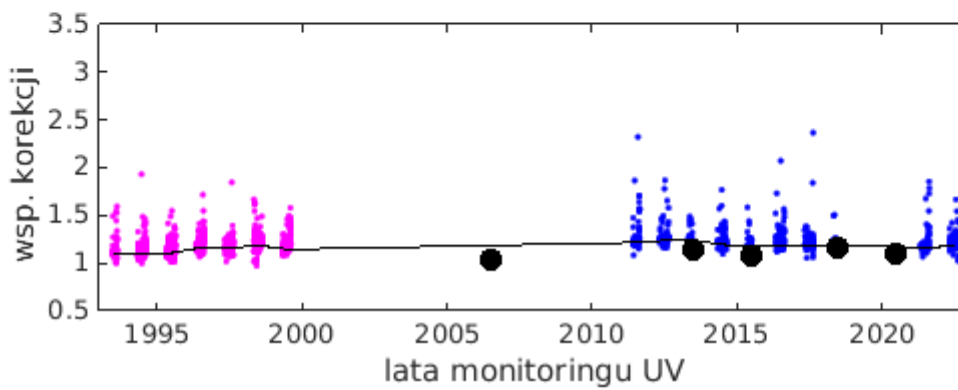
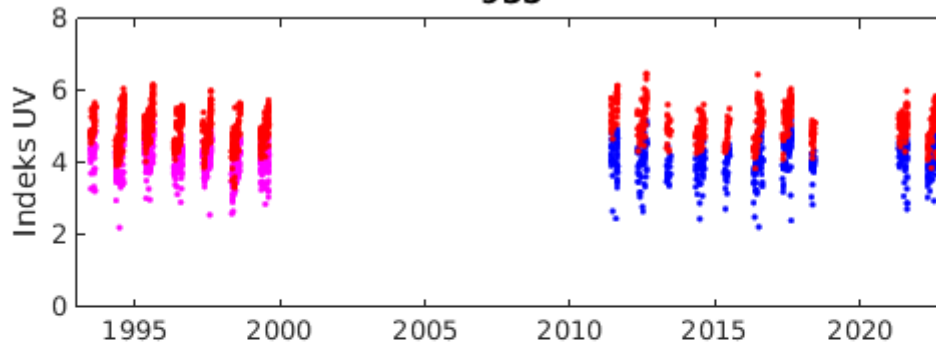
Dane pomiarowe zestawiono z obliczonymi modelem transferu promieniowania (RT) uvspec. W obliczeniach modelowych wykorzystano dane o ozonie całkowitym i aerozolah z NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Centre (GES DISC). Parametry aerozoli zostały przeliczone do długości fali 305nm, w pobliżu maksimum czułości krzywej erytemalnej. Na Rysunku 27 wykreślono dla każdego z czujników dane nieskorygowane przeliczone jako Indeks UV i zestawione z modelowanymi wartościami oraz ilorazami wielkości modelowanych do pomiarowych. Dla każdego roku, z tak obliczonych ilorazów, wybrano 25 percentyl. Taki wybór ma na celu usunięcie z analizy pomiarów gdzie występowały chmury, mimo że zarejestrowano pełne usłonecznienie. W ten sposób wybrane ciągi współczynników zestawiono ze współczynnikami korekcyjnymi zmierzonymi podczas kalibracji w Davos.



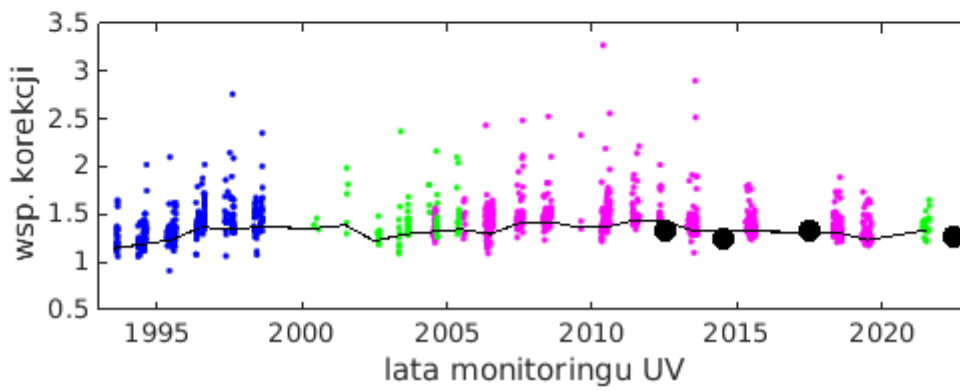
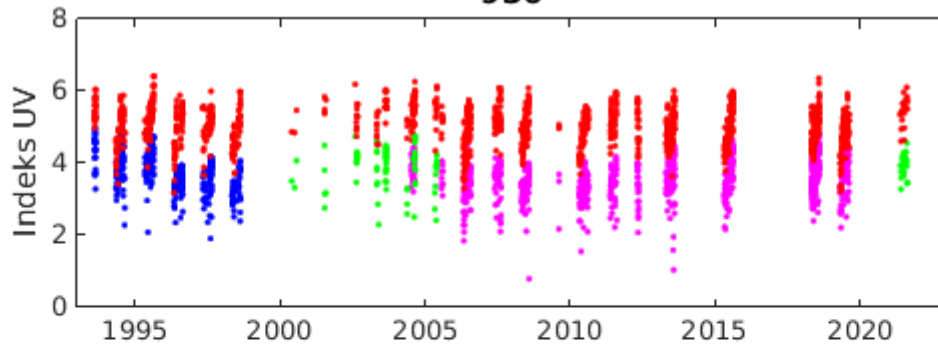
933



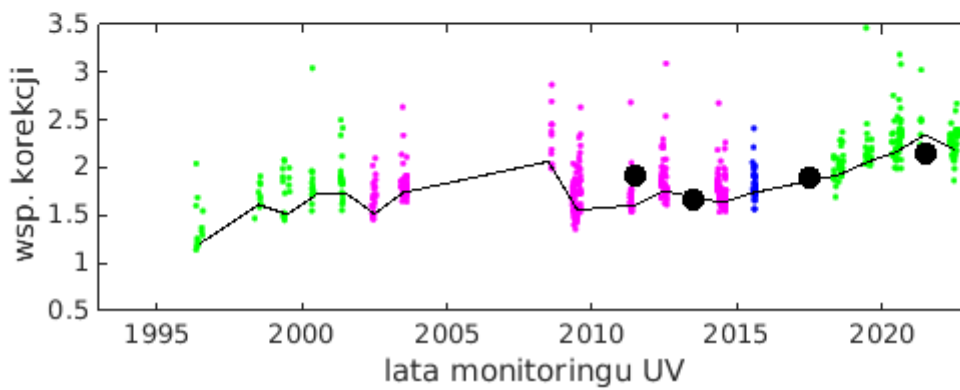
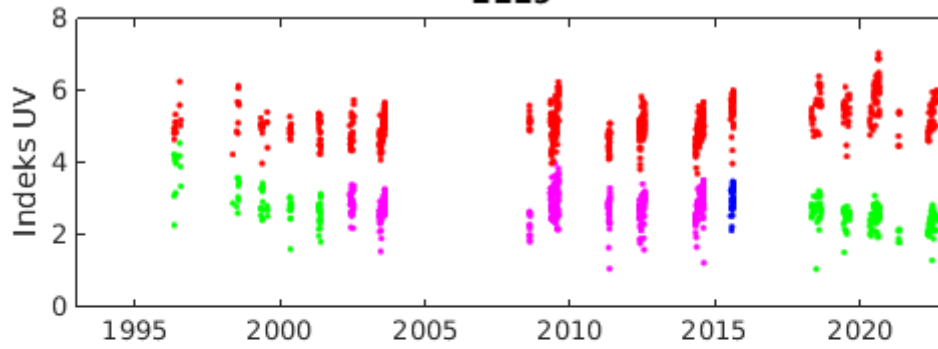
935

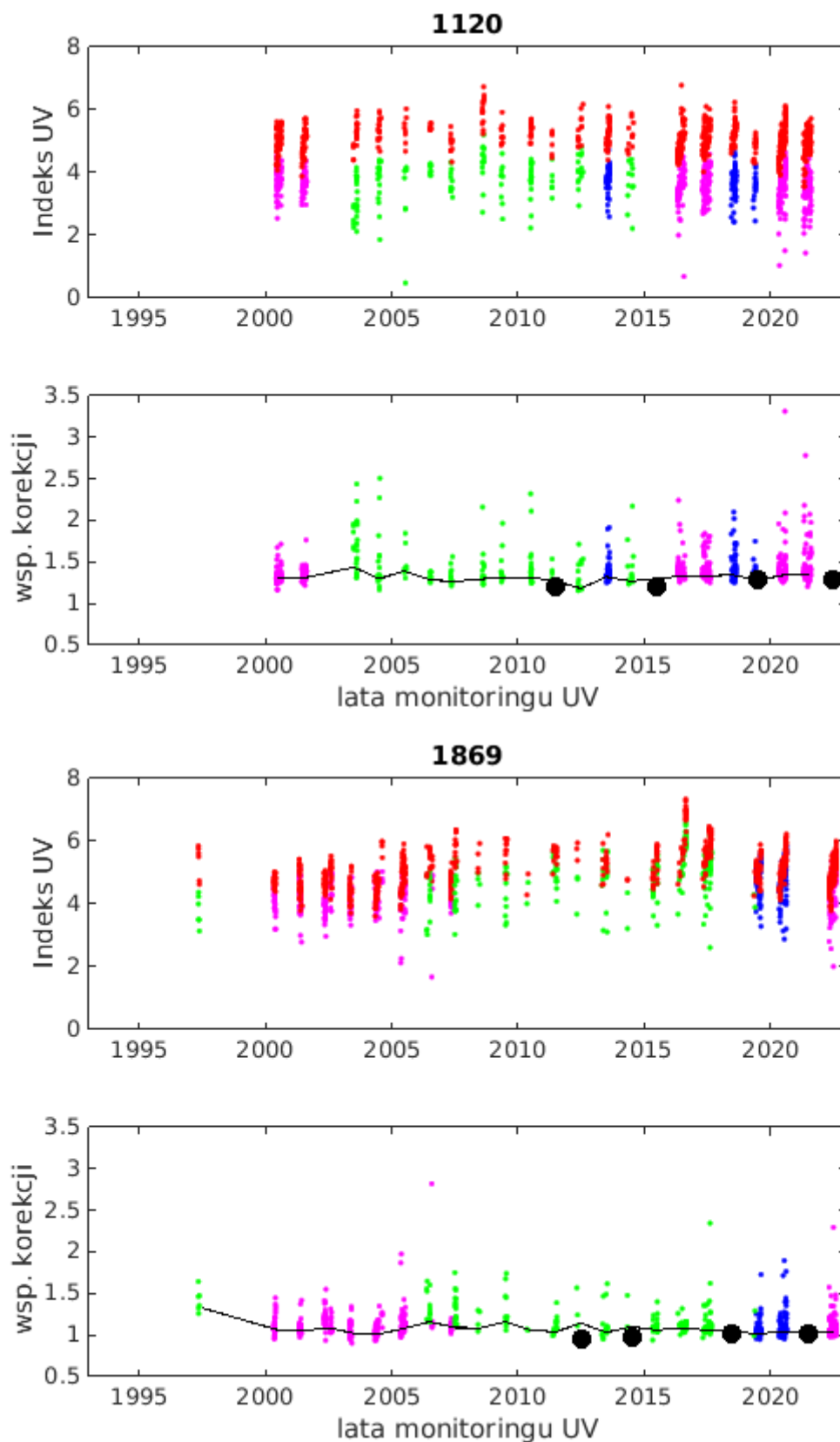


**936**



**1119**





**Rysunek 27.** Współczynniki korekcji dla czujników 0933, 0935, 0936, 1119, 1120 i 1869 wyznaczone poprzez porównanie z modelem RT oraz uzyskane z kalibracji w PMOD/WRC w Davos

Obserwując górne wykresy, dla każdego czujnika widać, że współczynniki nie wykazują zauważalnej różnicy, skoków przy zmianie pomiarów między stacjami. Dzięki temu można prześledzić historię każdego czujnika w trakcie jego pracy w sieci pomiarowej. Obserwując dolne wykresy, widać, że najmniej stabilnymi czujnikami są #0933 i #1119. Czujnik #0933 został wycofany z pomiarów.

## 2.6. Wnioski

Polska jest stroną Konwencji Wiedeńskiej o ochronie warstwy ozonowej oraz Protokołu Montrealskiego, które mają na celu ochronę warstwy ozonowej poprzez kontrolę i eliminację substancji zubożających warstwę ozonową (ODS). Od momentu przystąpienia do tych porozumień, Polska wywiązuje się z przyjętych zobowiązań.

Konwencja Wiedeńska zobowiązuje Polskę do zapewnienia środków niezbędnych do pomiarów ozonu atmosferycznego i natężenia promieniowania UV-B zgodnie z programem Państwowego Monitoringu Środowiska. Protokół Montrealski natomiast nakłada zobowiązania dotyczące redukcji i eliminacji substancji kontrolowanych, co ma kluczowe znaczenie dla ochrony warstwy ozonowej. Niewypełnienie postanowień Protokołu Montrealskiego może spowolnić lub uniemożliwić regenerację warstwy ozonowej.

Działania podjęte w ramach Protokołu Montrealskiego przyczyniają się do zmniejszenia ilości substancji zubożających warstwę ozonową w atmosferze oraz przyspieszają regenerację ozonu w stratosferze. Długoterminowe konsekwencje tych działań są znaczące - redukcja emisji substancji zubożających warstwę ozonową, zgodnie z ocenami, przyczynia się do uniknięcia globalnego ocieplenia o około 0,5-1°C do połowy wieku w porównaniu do scenariusza bez kontroli emisji ODS.

Proces regeneracji warstwy ozonowej przebiega powoli, ponieważ substancje zubożające warstwę ozonową są usuwane z atmosfery w naturalnych procesach w bardzo długim czasie. Dlatego też ważne jest zapewnienie wysokiej jakości pomiarów satelitarnych i naziemnych zawartości ozonu oraz profili ozonu. Pomiarów naziemnych dokonywanych na stacjach, takich jak Belsk i Legionowo, mających duże znaczenie dla monitorowania ozonu, walidacji pomiarów satelitarnych oraz analizy trendów. Bez wysokiej jakości danych pomiarowych trudno będzie śledzić regenerację warstwy ozonowej i zrozumieć zmiany klimatyczne związane z ozonem.

Warstwa ozonowa pełni kluczową rolę w ochronie życia na Ziemi przed szkodliwym promieniowaniem UV. Jej zubożenie w rejonach polarnych, takie jak powtarzająca się wiosenna dziura ozonowa nad Antarktydą, prowadzi do zwiększonego docierania promieniowania UV-B na powierzchnię Ziemi. Interakcje między ozonem a klimatem mają również wpływ na stan warstwy ozonowej w obszarach polarnych i poza nimi, z uwzględnieniem zmian w cyrkulacji atmosferycznej i wzrostu stężeń gazów cieplarnianych.

Analiza trendów ozonu na podstawie danych sond ozonowych w Legionowie w latach 2001-2022 wykazała niewielki spadkowy trend ozonu w stratosferze. Szczegółowa analiza zmian ozonu w warstwach stratosfery pokazała wyhamowanie zimowo-wiosennych spadków w dolnej stratosferze oraz nową tendencję - spadku ozonu w średniej stratosferze, który można powiązać z emisją podtlenku azotu. Emisje podtlenku azotu, nieregulowane przez Protokół Montrealski, będą w przyszłości głównym czynnikiem zubożającym warstwę ozonową.



Dane satelitarne pokazują, podwyższone wartości  $\text{CZO}_3$  w 2022 r. względem okresu wieloletniego we wrześniu w Europie środkowej oraz w maju w części wschodniej Europy. Podwyższone wartości wystąpiły również w północnej Europie w lutym i grudniu. Natomiast marzec 2022 r. charakteryzował się niższymi wartościami  $\text{CZO}_3$  w Polsce i północnej części Europy.

W 2022 roku zwracają uwagę pomiary promieniowania UV-B w okresie lata, w Łebie i Zakopanem. Podwyższone promieniowanie, w szczególności dla Zakopanego można przypisać mniejszą od typowej ilością aerozoli. Większe od średniego promieniowanie UV-B wystąpiło także w marcu, gdzie dla trzech stacji pomiary UV-B, promieniowania całkowitego, usłonecznienia i ozonu całkowitego układają się podobnie. W pozostałych miesiącach promieniowanie UV-B oscylowało w pobliżu wartości średnich.

W 2022 roku maksymalną dawkę miesięczną, 493,9 MED zmierzono w czerwcu dla Zakopanego. Maksymalną dawkę dobową, 24,7 MED zaobserwowano dla 18 czerwca w Zakopanem. Maksymalne dawki 21,7 dla Łeby oraz 20,3 dla Legionowa wystąpiły 3 lipca.

Największe wartości Indeksu UV na stacjach IMGW-PIB w 2022 roku zmierzono odpowiednio: 18 czerwca w Zakopanem (UVI 8,7), 23 czerwca w Łebie (UVI 7,1) oraz 3 lipca w Legionowie (UVI 6,9).

### **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.

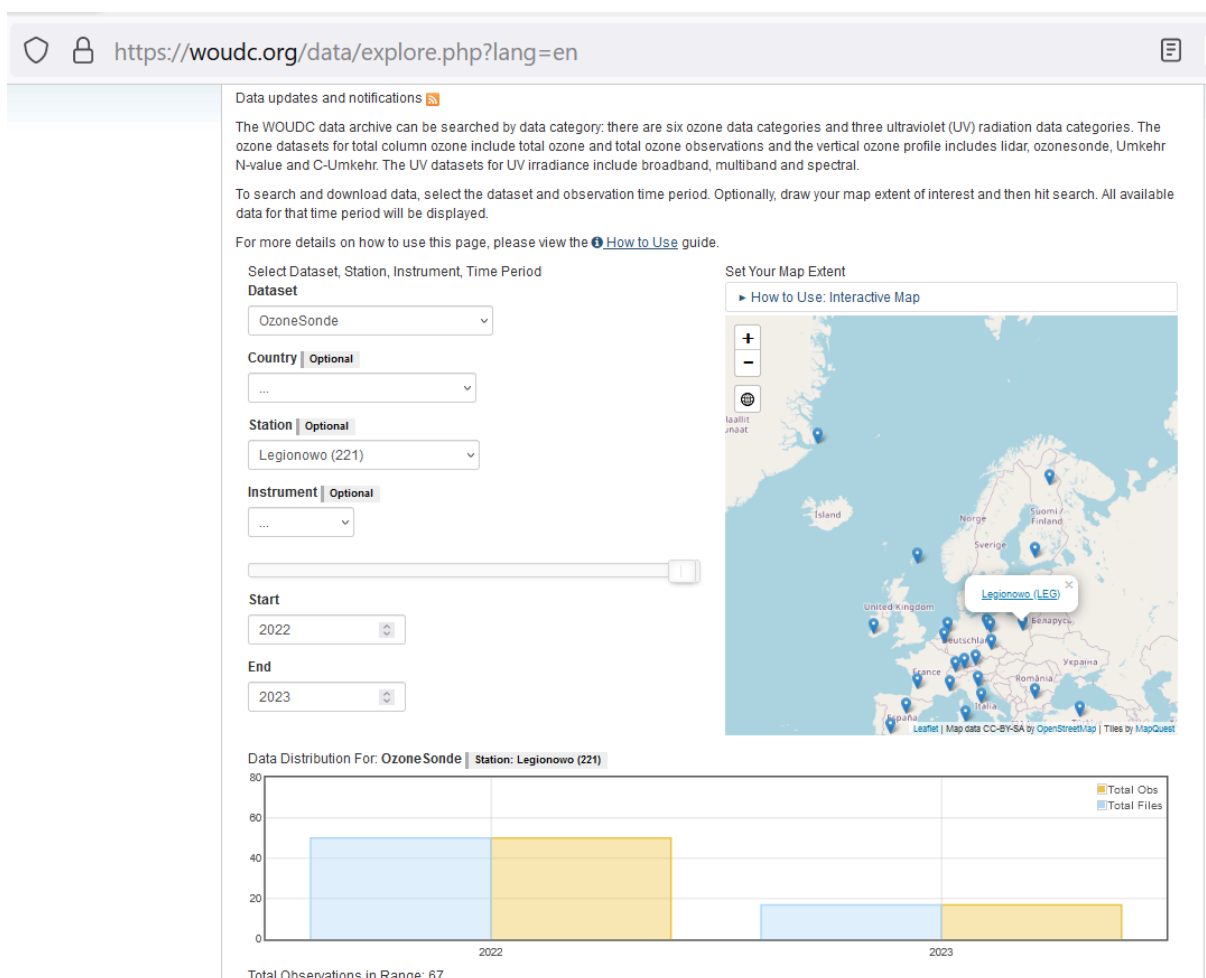
Od 1979 roku, sondaże ozonowe w Legionowie wykonuje się w systemie Światowego Monitoringu Ozonu WMO z podstawową częstotliwością 1 raz w tygodniu. Wykonuje się również dodatkowe sondaże związane z udziałem w projekcie MATCH badania chemicznego niszczenia ozonu w stratosferze w wirze polarnym. Wyniki sondaży ozonowych są systematycznie przekazywane do bazy Globalnej Sieci Detekcji Zmian Składu Atmosfery (NDACC) w Maryland, USA i do Światowej Bazy Danych Ozonu i UV (WOUDC) w Toronto, w Kanadzie. Od 2021 roku, po migracji bazy danych NDACC do nowego centrum obliczeniowego NASA LaRC, wyniki sondaży ozonowych są dostępne publicznie po upływie 1 roku od pomiaru (<https://www-air.larc.nasa.gov/missions/ndacc/data.html>):

NDACC - NASA LaRC

https://www-air.larc.nasa.gov/missions/ndacc/data.html#

Station	File Name	Size (KB)	Date
legionowo	o3sonde/lg950128.b11	31.33	20051103
legionowo	o3sonde/lg220601.b11	306.17	20230520
legionowo	o3sonde/lg220525.b11	336.84	20230520
legionowo	o3sonde/lg220518.b11	304.45	20230520
legionowo	o3sonde/lg220511.b11	340.91	20230520
legionowo	o3sonde/lg220504.b11	312.52	20230520
legionowo	o3sonde/lg220427.b11	329.53	20230520
legionowo	o3sonde/lg220420.b11	329.23	20230520
legionowo	o3sonde/lg220413.b11	333.55	20230520
legionowo	o3sonde/lg220406.b11	315.87	20230520
legionowo	o3sonde/lg220331.b11	329.43	20230520
legionowo	o3sonde/lg220330.b11	312.82	20230520
legionowo	o3sonde/lg220328.b11	321.00	20230520
legionowo	o3sonde/lg220323.b11	323.54	20230520
legionowo	o3sonde/lg220316.b11	323.29	20230520

Rysunek 28. Raport o danych sondaży ozonowych z Legionowa w bazie NDACC



Rysunek 29. Raport o danych sondaży ozonowych z Legionowa w bazie Woudc

Od 1994 roku wyniki sondaży 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 O<sub>3</sub>. Depesza ta w postaci pliku tekstowego LN jest po wstępnej kontroli danych przesyłana na serwer ftp w NILU. Na Rysunku 30 przedstawiono fragment listingu zawartości serwera.

Nazwa	Rozmiar	Zmodyfikowany	Prawa	Właściciel
nilu_20230531_1115.txt	209 KB	31.05.2023 14:34:21	rw-r--r--	kois
nilu_20230524_1122.txt	177 KB	24.05.2023 14:29:20	rw-r--r--	kois
nilu_20230517_1122.txt	343 KB	17.05.2023 15:32:36	rw-r--r--	kois
nilu_20230510_1119.txt	274 KB	10.05.2023 15:17:14	rw-r--r--	kois
nilu_20230503_1117.txt	279 KB	03.05.2023 15:02:50	rw-r--r--	kois
nilu_20230426_1117.txt	310 KB	26.04.2023 15:07:01	rw-r--r--	kois
nilu_20230419_1117.txt	324 KB	19.04.2023 15:11:54	rw-r--r--	kois
nilu_20230412_1116.txt	313 KB	12.04.2023 15:06:43	rw-r--r--	kois
nilu_20230405_1115.txt	276 KB	05.04.2023 15:00:42	rw-r--r--	kois
nilu_20230329_1132.txt	313 KB	29.03.2023 15:31:29	rw-r--r--	kois
nilu_20230322_1116.txt	292 KB	22.03.2023 13:58:55	rw-r--r--	kois
nilu_20230315_1116.txt	320 KB	15.03.2023 14:15:46	rw-r--r--	kois
nilu_20230308_1116.txt	310 KB	08.03.2023 14:11:17	rw-r--r--	kois
nilu_20230301_1123.txt	232 KB	01.03.2023 13:45:56	rw-r--r--	kois
nilu_20230222_1117.txt	323 KB	22.02.2023 14:13:10	rw-r--r--	kois
nilu_20230215_1116.txt	318 KB	15.02.2023 14:05:01	rw-r--r--	kois
nilu_20230208_1115.txt	323 KB	08.02.2023 14:18:15	rw-r--r--	kois
nilu_20230201_1117.txt	238 KB	01.02.2023 13:48:19	rw-r--r--	kois
nilu_20230125_1130.txt	288 KB	25.01.2023 14:10:50	rw-r--r--	kois
nilu_20230118_1115.txt	316 KB	18.01.2023 14:14:29	rw-r--r--	kois
nilu_20230111_1116.txt	283 KB	11.01.2023 14:01:47	rw-r--r--	kois

**Rysunek 30.** 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 O<sub>3</sub>, oraz do corocznego raportowania pracy stacji. Na początku września

2022 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 2022 roku.

### ***Współpraca międzynarodowa***

- W roku 2022 współpracowano z zespołem naukowców z Instytutu Alfreda Wegnera w Poczdamie w ramach kampanii Match - badania fotochemicznych ubytków ozonu stratosferycznego w arktycznym wirze polarnym. W lutym i marcu 2022 r. wykonywano 5 sondaży ozonowych w ramach kampanii.
- 12 maja 2022 roku opublikowano w czasopiśmie Atmospheric Measurement Techniques artykuł zatytułowany „Combined UV and IR ozone profile retrieval from TROPOMI and CrIS measurements”, <https://amt.copernicus.org/articles/15/2955/2022/>. Artykuł dotyczący walidacji danych satelitarnych ozonu troposferycznego z użyciem danych sondaży ozonowych w Legionowie. Błędy systematyczne i odchylenia standardowe satelitarnych technik pomiaru ozonu troposferycznego są często 2-3 razy większe niż w przypadku pomiarów sondą ECC. Korekcja danych satelitarnych za pomocą sondaży jest niezbędna w badaniach długoterminowych trendów ozonu.
- W dniach 10-13 października 2022 r. uczestniczono online w organizowanej przez WMO Konferencji technicznej nt. przyrządów meteorologicznych i środowiskowych oraz metod obserwacji (TECO-2022). Podczas konferencji zostały zaprezentowane wyniki publikacji ASOPOS z 2021 r.: Ocena Standardowych Procedur Operacyjnych (SOP) dla Ozone Sondes 2.0, WMO/GAW Raport 268: najlepsze praktyki globalnej sieci sondaży sond ozonowych. Sponsorowana przez WMO działalność ASOPOS stworzyła nowe wytyczne dotyczące operacji i najlepszych praktyk związanych z przygotowaniem sond ozonowych do wlotu. Celem raportu „ASOPOS 2.0” jest większa jednolitość operacji i przetwarzania danych, tak aby pomiar ozonu w całym profilu mógł osiągnąć dokładność 5% stężenia ozonu. Ważnymi zasadami w nowych wytycznych są: więcej metadanych, poprawki na błędy wydajności pomp w środkowej stratosferze, odniesienie ostatecznego zapisu ozonu do jednego globalnego standardu, ciągłe porównania całkowitego ozonu w sondażach z danymi satelitarnymi i naziemnymi w celu wykrycia problemów z instrumentami. W sesji posterowej TECO-2022 dr Roeland Van Malderen wraz ze współautorami zaprezentował plakat „Homogenizacja długoterminowych globalnych serii danych sond ozonowych”.

#### 4. Podsumowanie

W 2022 roku realizowano program monitorowania rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą oraz promieniowania UV-B w Polsce.

W 2022 roku na Stacji Pomiarów Aerologicznych w Legionowie wykonano łącznie 53 sondáže ozonowych, w tym 5 w ramach kampanii Match. Na przełomie VII-VIII 2022 r. wykonywany był remont pomieszczenia do pompowania balonów meteorologicznych, w związku z czym konieczne było wyłączenie tego pomieszczenia z użytkowania na okres ok. 2 tygodni. W tym okresie nie było możliwości wykonywania sondáže ozonowych, w wyniku czego sondaż nie został wykonany w tygodniu 1-7 sierpnia 2022 r. Program pomiarowy został wykonany w 98,1%.

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 2022 program pomiarowy został wykonany w 99,59%.

W 2022 roku w Obserwatorium Fizyczno – Meteorologicznym / Światowym Centrum Promieniowania (PMOD/WRC) w Davos (Szwajcaria) przeprowadzono kalibrację czujników SL501 #0936 i #1120 z sieci IMGW-PIB. W ramach kalibracji wykonano laboratoryjne pomiary charakterystyk spektralnej i kątowej czujników oraz porównanie ze spektrofotometrem wzorcowym. Dla czujników zostały wydane certyfikaty kalibracji.

Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2022 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.

Na przełomie lipca i sierpnia 2022 roku miała miejsce awaria czujnika na satelicie S-NPP i całkowita zawartość ozonu nie mogła być wyznaczana z danych OMPS w okresie 27.07-10.08.2023. Satelitarny monitoring ozonu był w tym czasie prowadzony z wykorzystaniem danych z czujnika TROPOMI znajdującego się na pokładzie satelity Sentinel-5P. Jest to czujnik dedykowany do monitorowania składu atmosfery, w tym całkowitej zawartości ozonu w kolumnie atmosfery. W pozostałych dniach roku 2022 monitoring ozonu prowadzony był bez problemów. Jedynie w dniu 25 października całkowita zawartość ozonu nie została wyznaczona z powodu błędów w transmisji danych satelitarnych. Program pomiarowy został wykonany w 99,73%.

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

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

Dane pomiarowe powstałe w wyniku realizacji umowy monitoringu są gromadzone, przechowywane i archiwizowane na serwerach IMGW-PIB.

Dane pomiarowe, powstałe w wyniku realizacji umów monitoringu w roku 2022, 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. Brewer, A. W. and Milford, J. R.: The Oxford-Kew ozondesonde, *P. R. Soc. Lond. A.*, 256, 470–495, <https://doi.org/10.1098/rspa.1960.0120>, 1960
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. Chen, Z., Liu, J., Qie, X., Cheng, X., Shen, Y., Yang, M., and Liu, X.: Transport of large stratospheric ozone to the surface by a dying typhoon and shallow convection, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/acp-2022-60>, in review, 2022.
5. Chapman, S., „*A Theory of Upper-Atmospheric Ozone*,“ *Memoirs of the Royal Meteorological Society* 3(26), 103-25 (1930).
6. Chidinma O.E., Yi-hua Yan, Zhang Yin, Okoro Ugochukwu Kingsley, Okeke Francisca Nneka, Impact of solar and geomagnetic activities on total column ozone in China, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 223, 2021,105738, ISSN 1364-6826, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105738>.
7. Cooper, O. R., Parrish, D. D., Ziemke, J., Balashov, N. V., Cupeiro, M., Galbally, I. E., Gilge, S., Horowitz, L., Jensen, N. R., Lamarque, J.-F., Naik, V., Oltmans, S. J., Schwab, J., Shindell, D. T., Thompson, A. M., Thouret, V., Wang, Y., and Zbinden, R. M.: Global distribution and trends of tropospheric ozone: An observation-based review, *Elem. Sci. Anth.*, 2, 000029, doi:10.12952/journal.elementa.000029, 2014
8. Cuevas, C.A., Fernandez R.P., Kinnison and Saiz-Lopez A. Earth, Atmospheric and Planetary Sciences The influence of iodine on the Antarctic stratospheric ozone hole February 7,2022 <https://doi.org/10.1073/pnas.2110864119>
9. Degórska M., Rajewska-Więch B., Krzyścin J., 1996, Seria obserwacji ozonu przyziemnego wykonana w Krakowie w latach 1854-1878 i próba oceny jej współczesnej wartości, *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, M-18(273), 55-60.

10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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
14. GES DISC. <http://disc.gsfc.nasa.gov>
15. Godin-Beekmann, S., Azouz, N., Sofieva, V., Hubert, D., Petropavlovskikh, I., Effertz, P., Ancellet, G., Degenstein, D., Zawada, D., Froidevaux, L., Frith, S., Wild, J., Davis, S., Steinbrecht, W., Leblanc, T., Querel, R., Tourpali, K., Damadeo, R., Maillard-Barras, E., Stübi, R., Vigouroux, C., Arosio, C., Nedoluha, G., Boyd, I., and van Malderen, R.: Updated trends of the stratospheric ozone vertical distribution in the 60° S–60° N latitude range based on the LOTUS regression model, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/acp-2022-137>, in review, 2022.
16. Huang, G., Liu, X., Chance, K., Yang, K., Bhartia, P. K., Cai, Z., Allaart, M., Ancellet, G., Calpini, B., Coetzee, G. J. R., Cuevas-Agulló, E., Cupeiro, M., De Backer, H., Dubey, M. K., Fuelberg, H. E., Fujiwara, M., Godin-Beekmann, S., Hall, T. J., Johnson, B., Joseph, E., Kivi, R., Kois, B., Komala, N., König-Langlo, G., Laneve, G., Leblanc, T., Marchand, M., Minschwaner, K. R., Morris, G., Newchurch, M. J., Ogino, S.-Y., Ohkawara, N., Piders, A. J. M., Posny, F., Querel, R., Scheele, R., Schmidlin, F. J., Schnell, R. C., Schrems, O., Selkirk, H., Shiotani, M., Skrivánková, P., Stübi, R., Taha, G., Tarasick, D. W., Thompson, A. M., Thouret, V., Tully, M. B., Van Malderen, R., Vömel, H., von der Gathen, P., Witte, J. C., and Yela, M.: Validation of 10-year SAO OMI Ozone Profile (PROFOZ) product using ozonesonde observations, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 2455-2475, <https://doi.org/10.5194/amt-10-2455-2017>, 2017.
17. Komhyr, W. D.: Electrochemical concentration cells for gas analysis, *Ann. Geophys.*, 25, 203–210, 1969.

18. Kuttippurath Jayanarayanan Feng, Wuhu, Müller Rolf, Kumar Pankaj, Raj Sarath, Pillai Gopalakrishna Gopikrishnan, Raina Roy Arctic on the verge of an ozone hole? *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion* started: 24 February 2021 <https://doi.org/10.5194/acp-2021-1313>
19. Li Y., M.P. Chipperfield, W. Feng, S.S. Dhomse, R.J. Pope, F. Li, D. Guo Decrease in winter total column ozone over the Tibetan Plateau during 1979-2017 *Atmos. Chem. Phys.* (2019), p. 28, [10.5194/acp-2019-710](https://doi.org/10.5194/acp-2019-710)
20. 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, Cassandra, Halkidiki, Greece, European Commission, Science Research Development, pp. 213-224.
21. Logan, J. A., Staehelin, J., Megretskaia, I. A., Cammas, J.-P., Thouret, V., Claude, H., De Backer, H., Steinbacher, M., Scheel, H.-E., Stübi, R., Fröhlich, M., and Derwent, R.: Changes in ozone over Europe: Analysis of ozone measurements from sondes, regular aircraft (MOZAIC) and alpine surface sites, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 117, D09301, doi:10.1029/2011JD016952, 2012.
22. Mayer B, Kylling A (2005). The libRadtran software package for radiative transfer calculations - description and examples of use *Atmos. Chem. Phys.* 5 1855-1877.
23. McPeters, R. D, Labow G. J., *Climatology 2011: An MLS and sonde derived ozone climatology for satellite retrieval algorithms JGR*, 23 May 201 <https://doi.org/10.1029/2011JD017006>
24. Oltmans, S. J.: Surface ozone measurements in clean air, *J. Geophys. Res.-Oceans*, 86, 1174–1180, <https://doi.org/10.1029/JC086iC02p01174>, 1981.
25. Rex, M., Wohltmann, I., Ridder, T., Lehmann, R., Rosenlof, K., Wennberg, P., Weisenstein, D., Notholt, J., Krüger, K., Mohr, V., and Tegtmeier, S.: A tropical West Pacific OH minimum and implications for stratospheric composition, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 4827–4841, <https://doi.org/10.5194/acp-14-4827-2014>, 2014.
26. Smit, H. G. J., and O3S-DQA, 2012: Guidelines for Homogenization of Ozonesonde Data, SI2N/O3S-DQA Activity as part of “Past Changes in the Vertical Distribution of Ozone Assessment”, available at <https://www.wccos-josie.org/o3s-dqa>
27. Sagi K, Pérot K, Murtagh D, and Orsolini Y Two mechanisms of stratospheric ozone loss in the Northern Hemisphere, studied using data assimilation of Odin/SMR atmospheric observations *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 1791–1803, 2017 [www.atmos-chem-phys.net/17/1791/2017/](http://www.atmos-chem-phys.net/17/1791/2017/) doi:10.5194/acp-17-1791-2017.



28. 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.
29. 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 Ozonesonde 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>
30. 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>
31. Trickl, T., Vogelmann, H., Ries, L., and Sprenger, M.: Very high stratospheric influence observed in the free troposphere over the northern Alps – just a local phenomenon? *Atmos. Chem. Phys.*, 20, 243–266, <https://doi.org/10.5194/acp-20-243-2020> , 2020.
32. Webb, A. R. and O. Engelsen (2006) Calculated Ultraviolet Exposure Levels for a Healthy Vitamin D Status. *Photochemistry and Photobiology*. 82(6), 1697-1703.
33. WMO: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 55, Geneva, Switzerland, 416 pp., available at: [http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone\\_2014/ozone\\_asst\\_report.html](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_2014/ozone_asst_report.html), 2014.
34. 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 31.12.2022 r. i odpowiadające im satelitarne mapy całkowitej zawartości ozonu w atmosferze

**Załącznik 2:** Dobowe przebiegi promieniowania UV-B z miesięcy styczeń – grudzień 2022 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 2022 r. zmierzone za pomocą przyrządu Solar Light (Łeba, Legionowo, Zakopane)

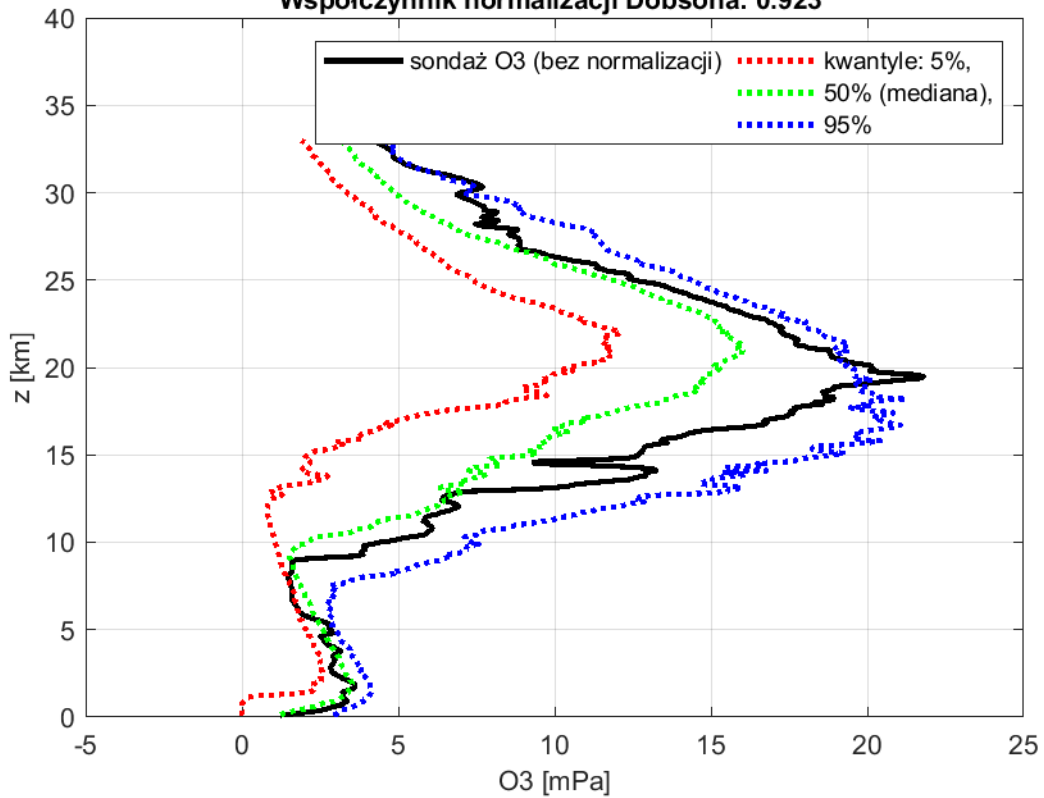
*Dziękujemy zespołowi Zakładu Fizyki Atmosfery IGF PAN za udostępnienie serii pomiarów całkowitej zawartości ozonu mierzonej spektrofotometrem Dobsona w Centralnym Obserwatorium Geofizycznym w Belsku.*

*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.*

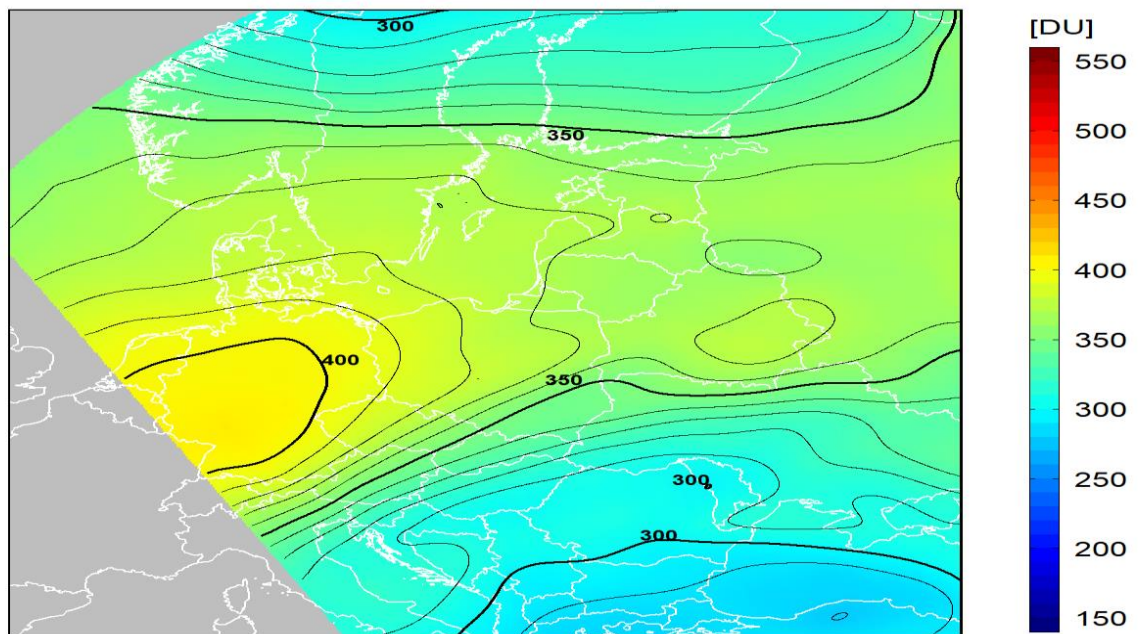
## **ZAŁĄCZNIK 1**

**PROFILE OZONU Z SONDAŻY OZONOWYCH WYKONANYCH  
W OKRESIE 1.01 DO 31.12.2022 R. I ODPOWIADAJĄCE  
IM SATELITARNE MAPY CAŁKOWITEJ ZAWARTOŚCI OZONU  
W ATMOSFERZE**

Legionowo 2022-01-05 12UTC  
 Belsk CZO3: 364D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 320±47D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.923

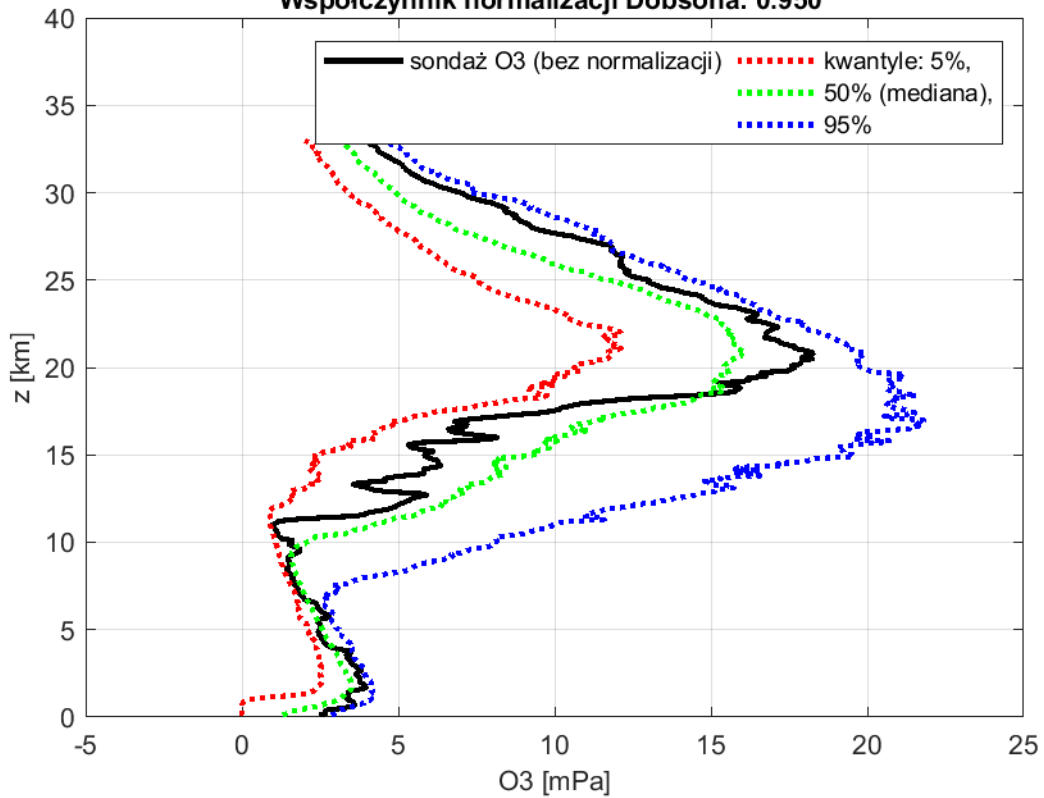


2022-01-05 godz. 10:44:25 - 10:52:02 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

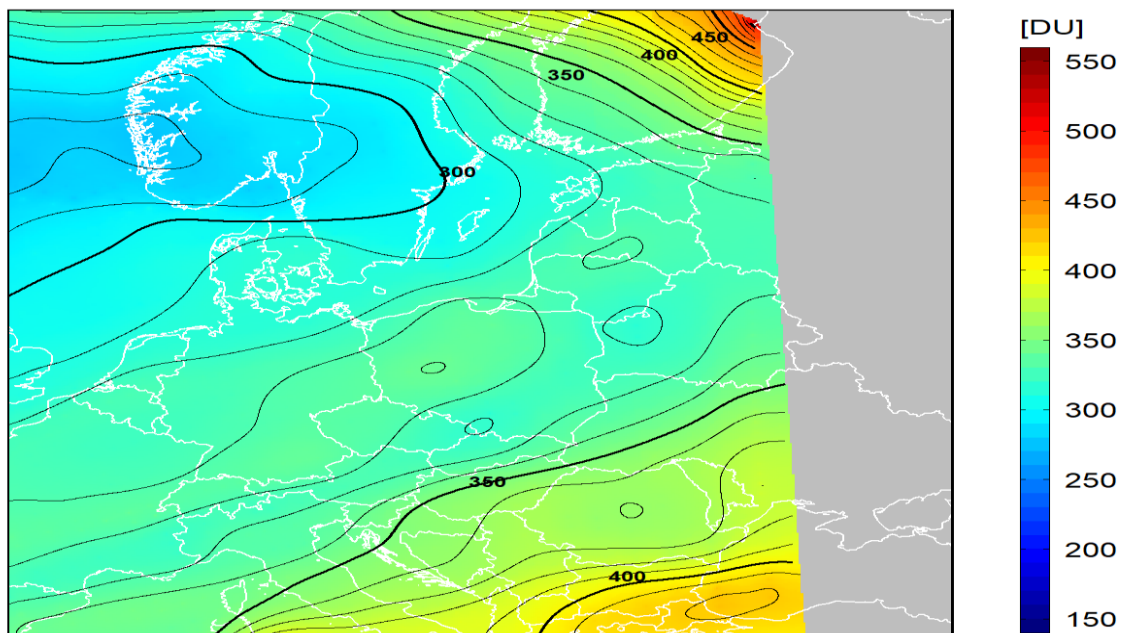


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-01-12 12UTC  
 Belsk CZO3: 315D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 325±49D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.950

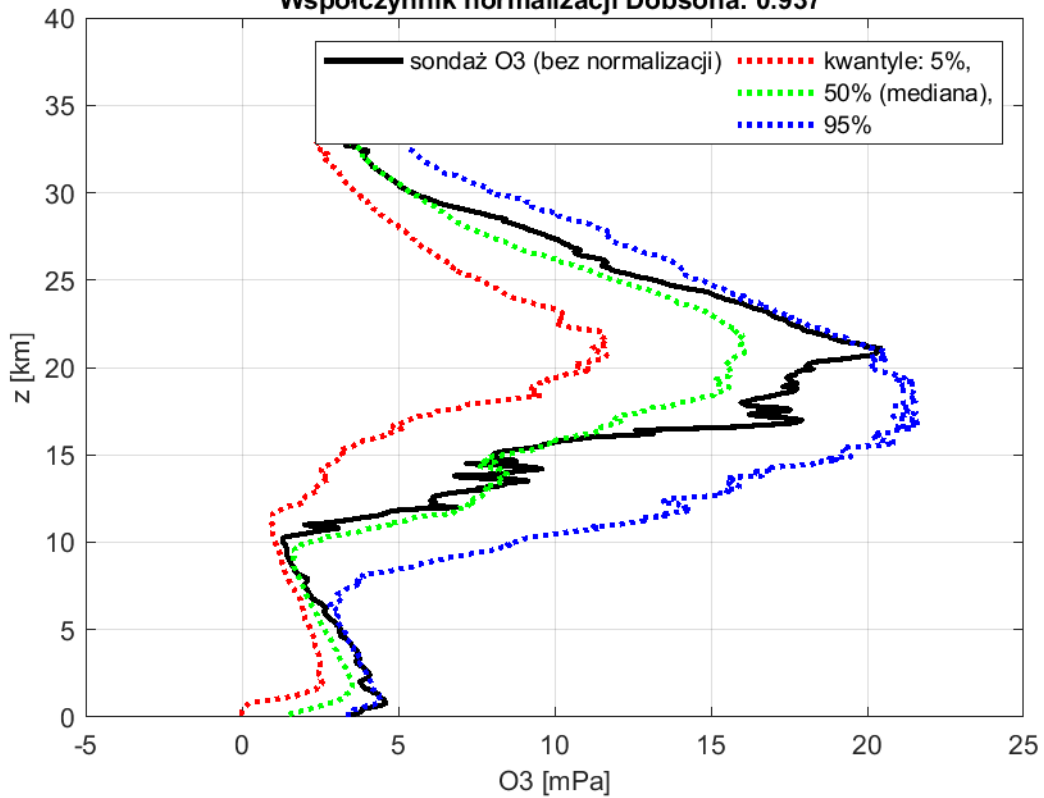


2022-01-12 godz. 11:53:58 - 12:01:05 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

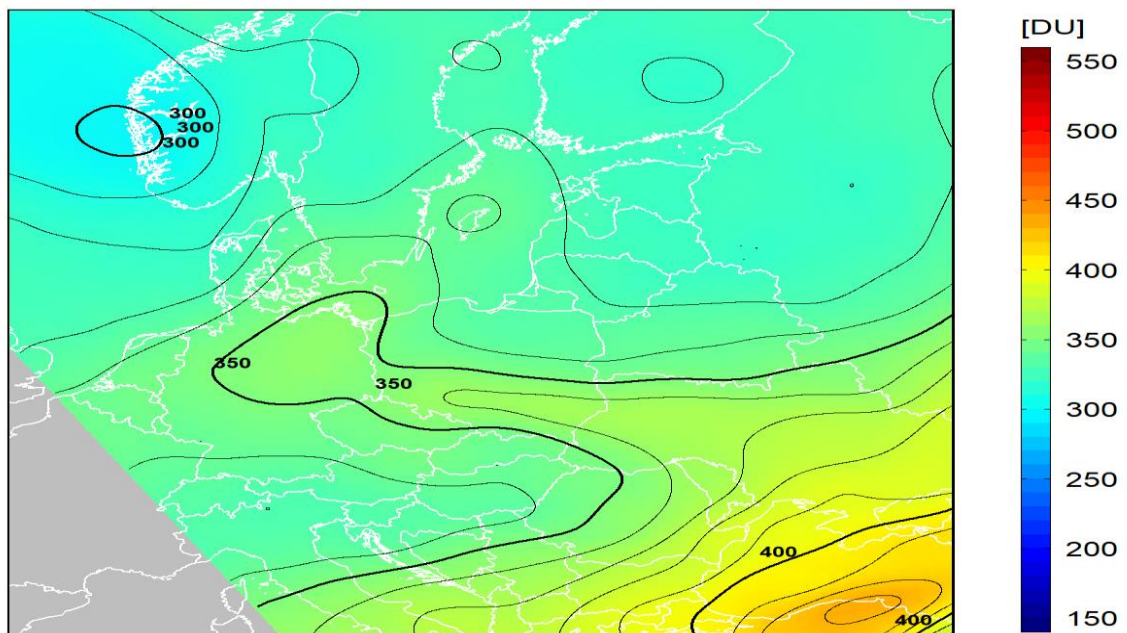


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-01-26 12UTC  
 Belsk CZO3: 355D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 340±52D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.937

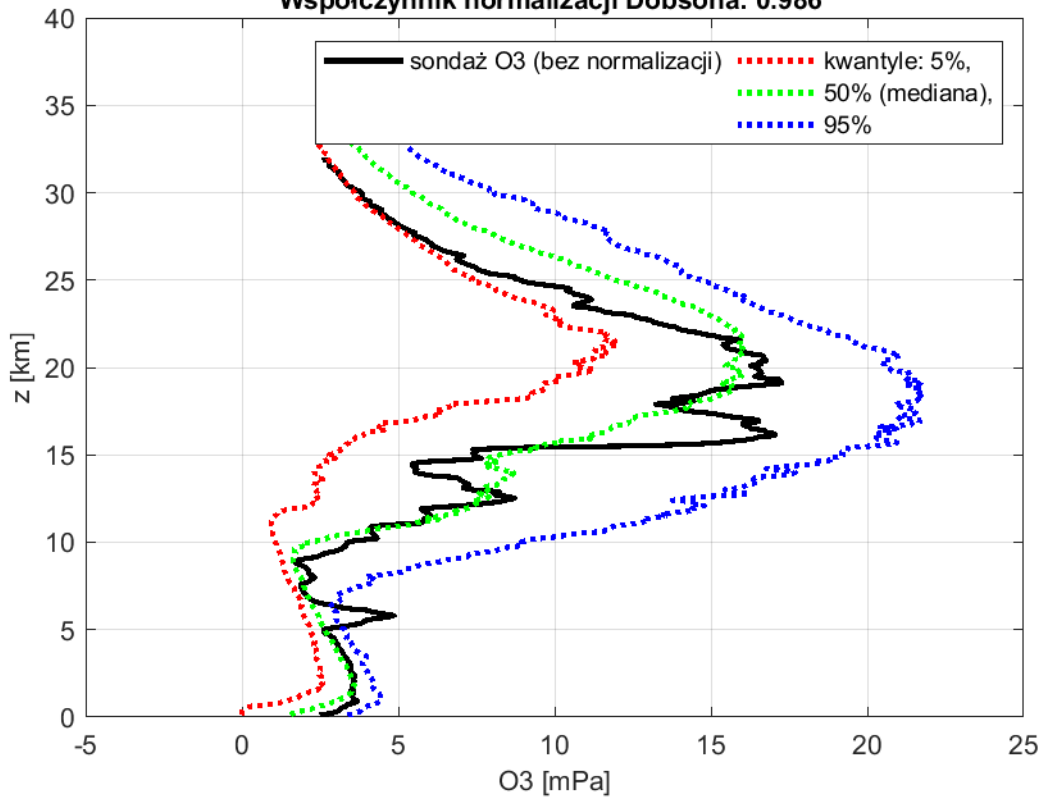


2022-01-26 godz. 10:50:11 - 10:58:32 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

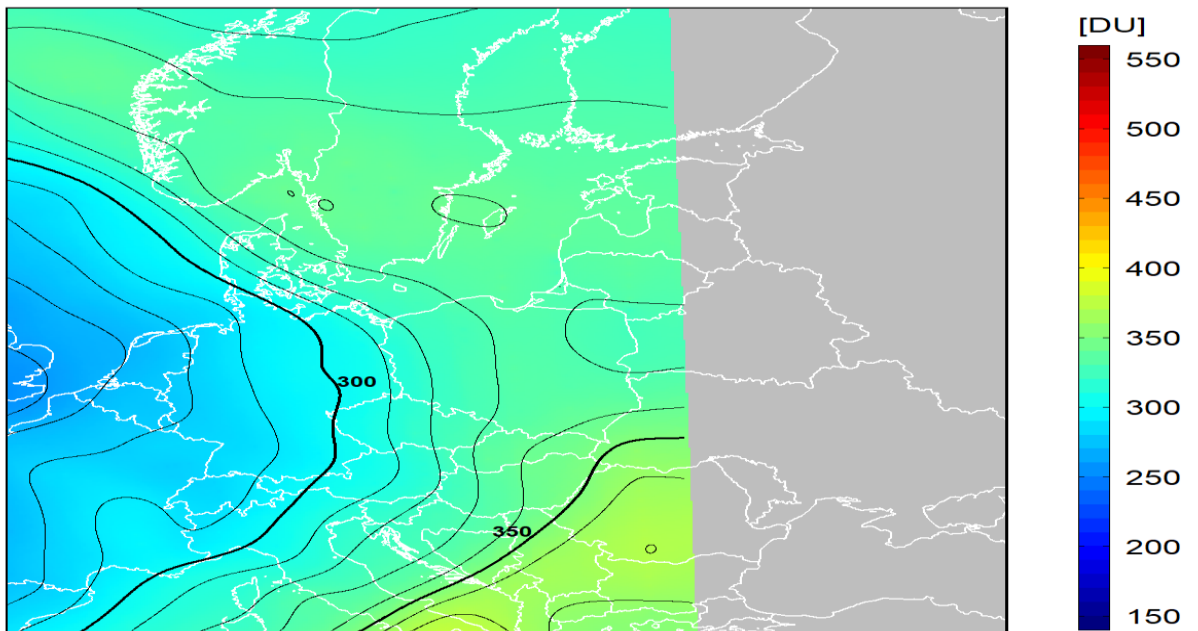


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-02-01 12UTC  
 Belsk CZO3: 335D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 342±52D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.986

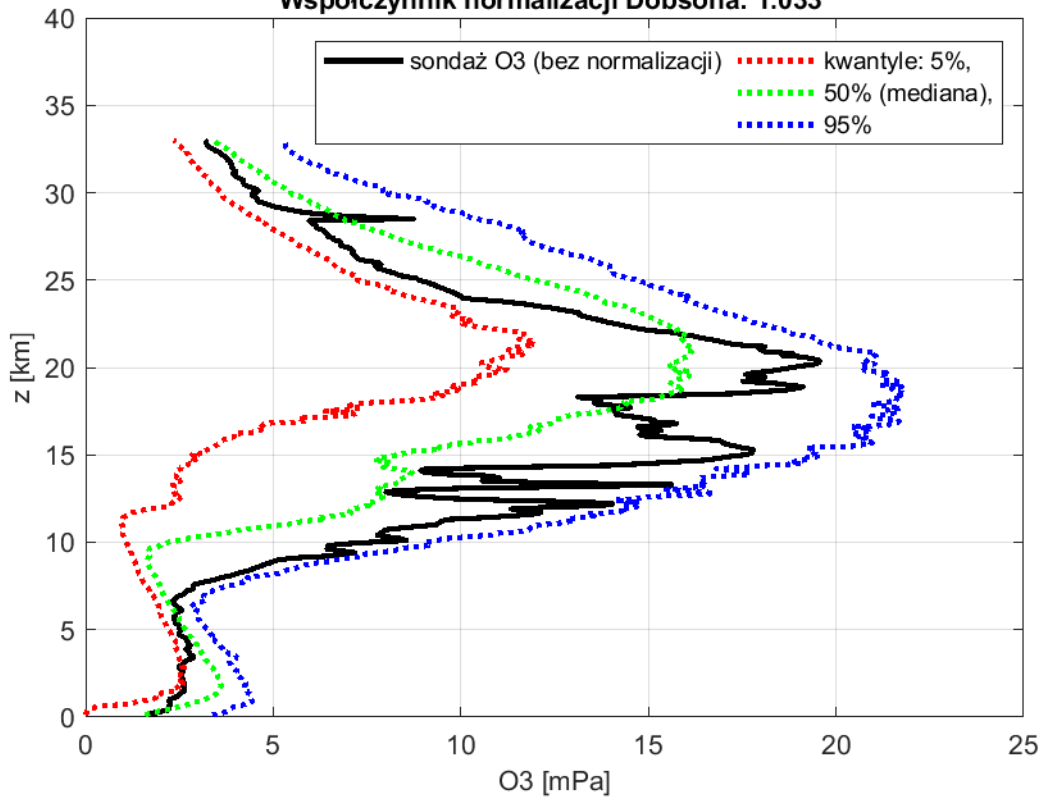


2022-02-01 godz. 12:18:50 - 12:25:56 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

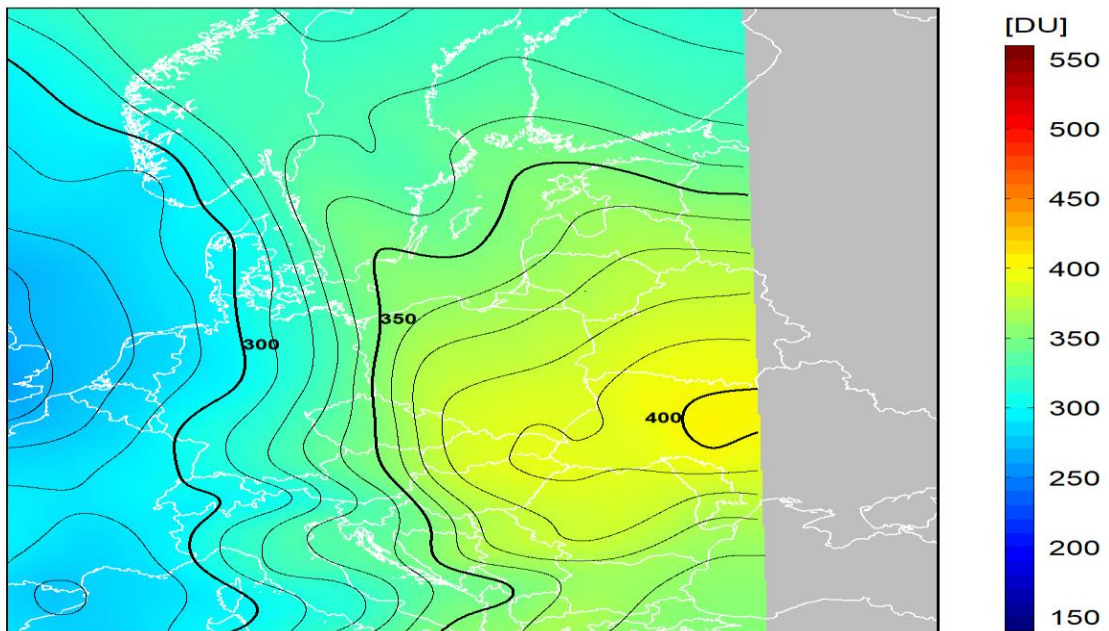


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-02-02 12UTC  
 Belsk CZO3: 403D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 344±54D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.033



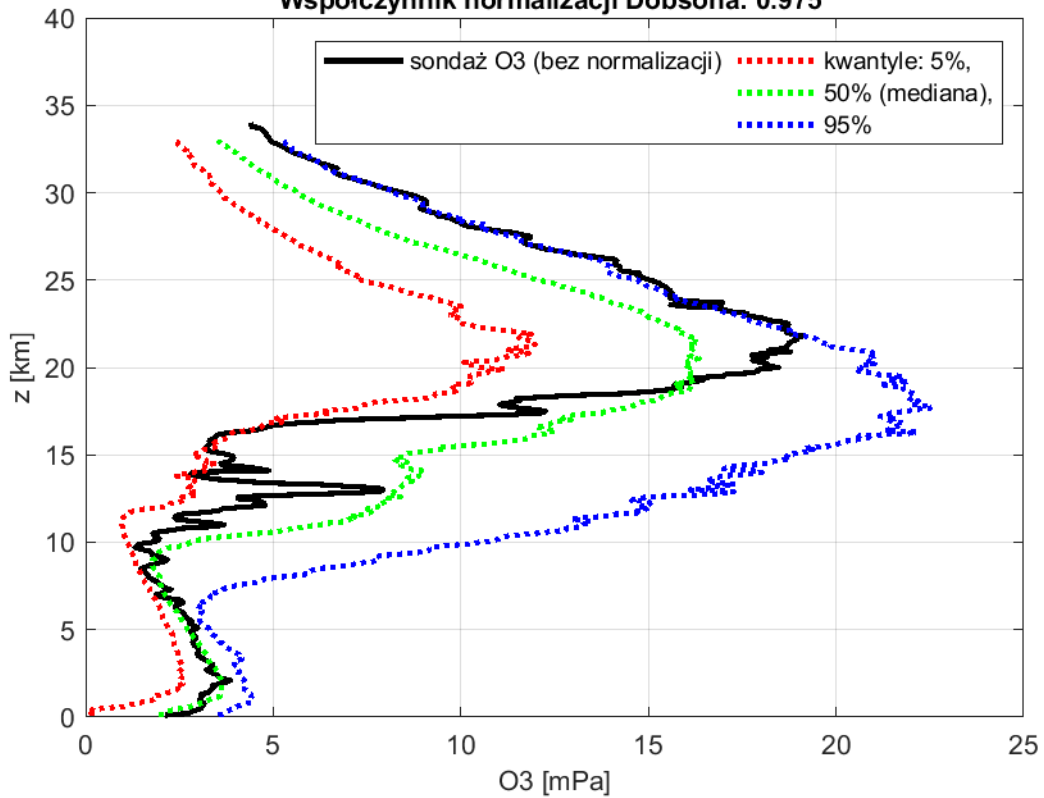
2022-02-02 godz. 11:59:51 - 12:06:57 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



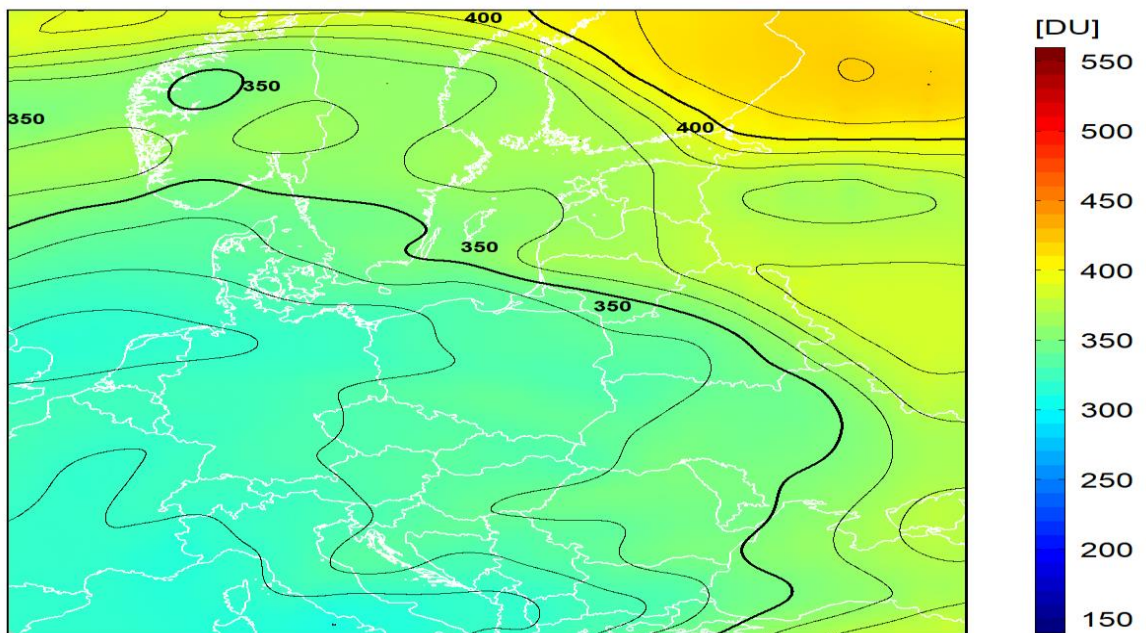
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS



Legionowo 2022-02-09 12UTC  
 Belsk CZO3: 338D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 353±54D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.975

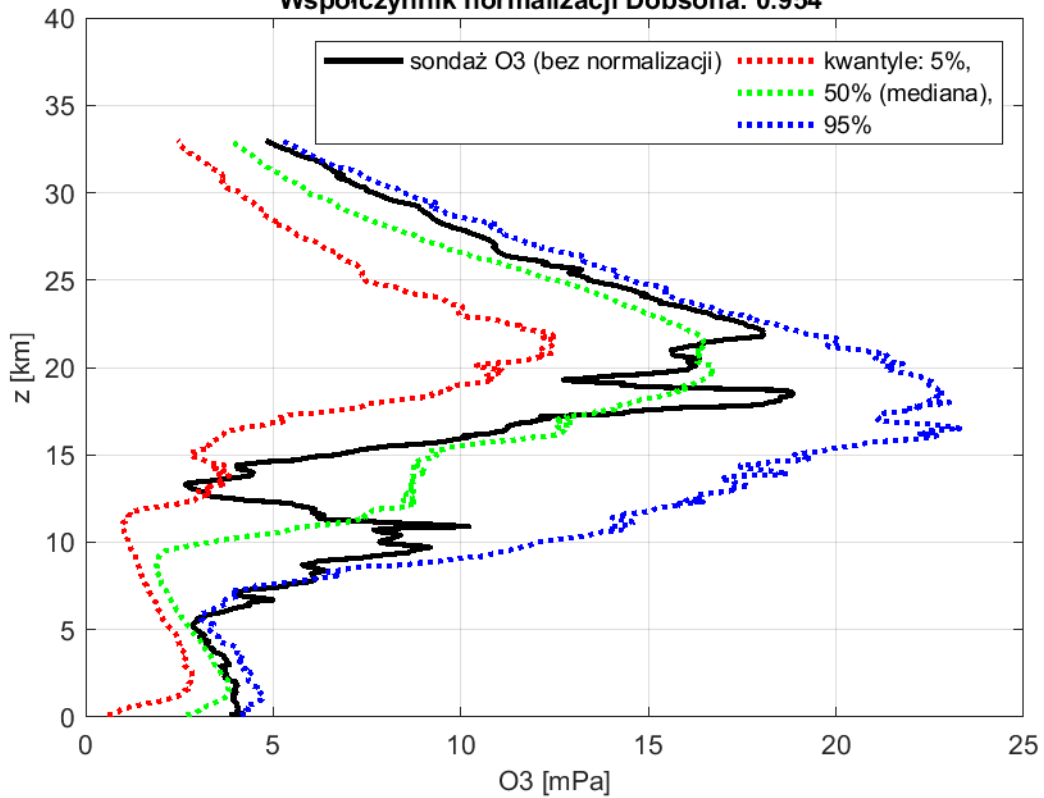


2022-02-09 godz. 11:28:11 - 11:35:33 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

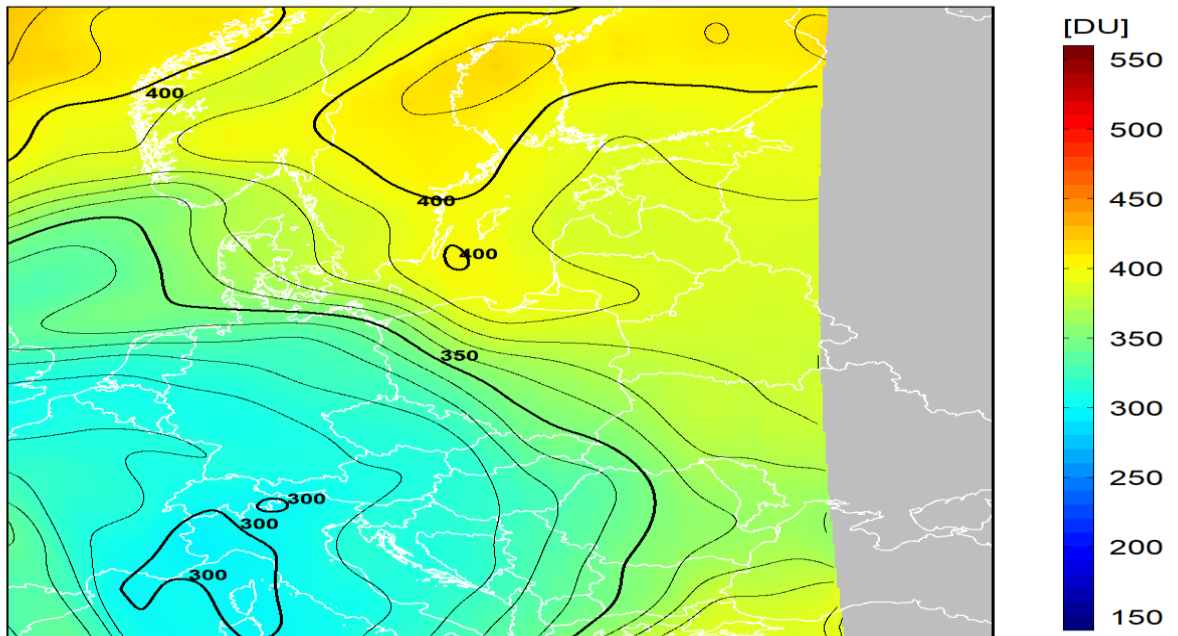


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-02-23 12UTC  
 Belsk CZO3: 364D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 367±52D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.954

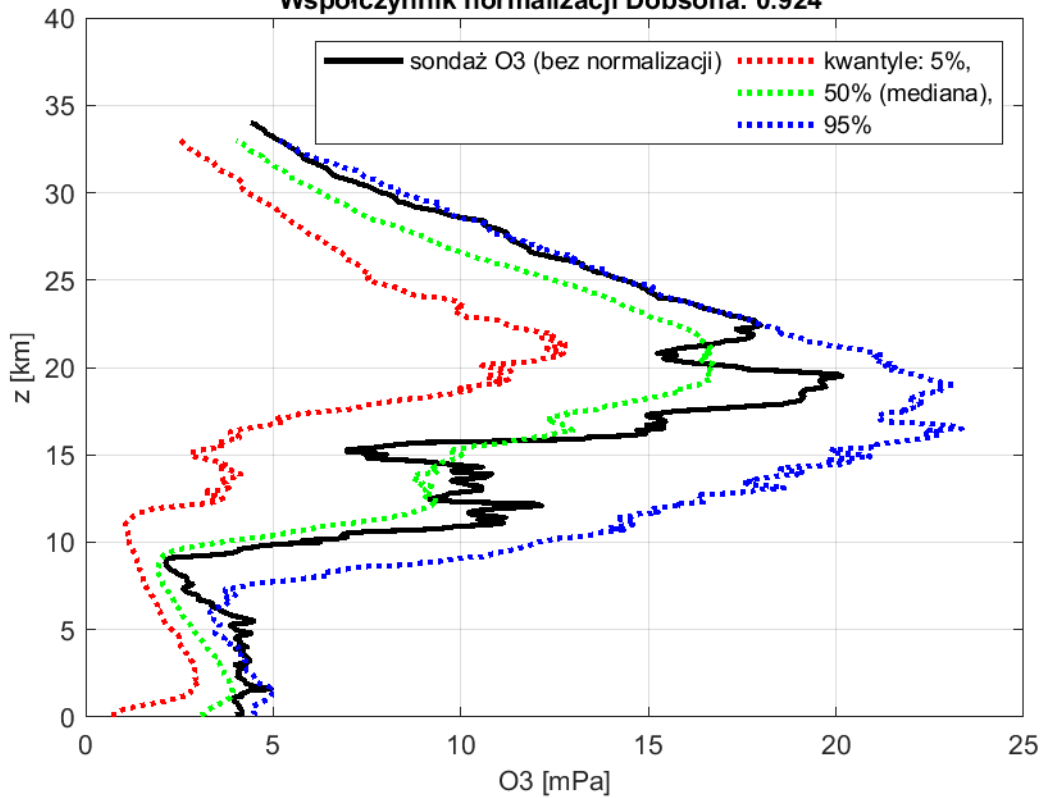


2022-02-23 godz. 12:06:15 - 12:13:22 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

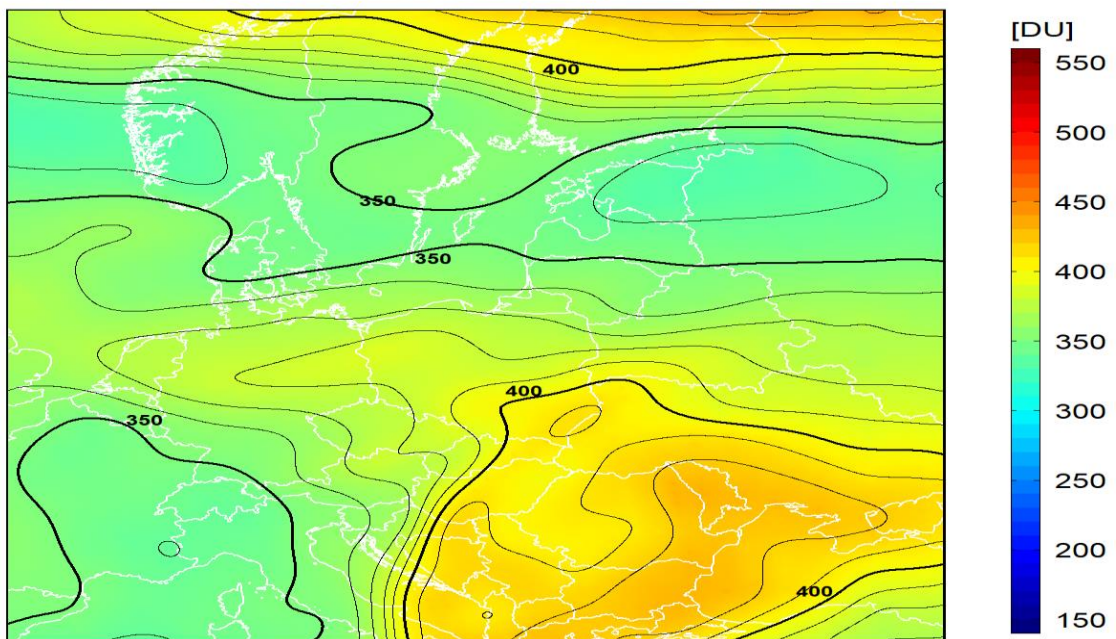


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-03-02 12UTC  
Belsk CZO3: 390D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 374±51D  
Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.924

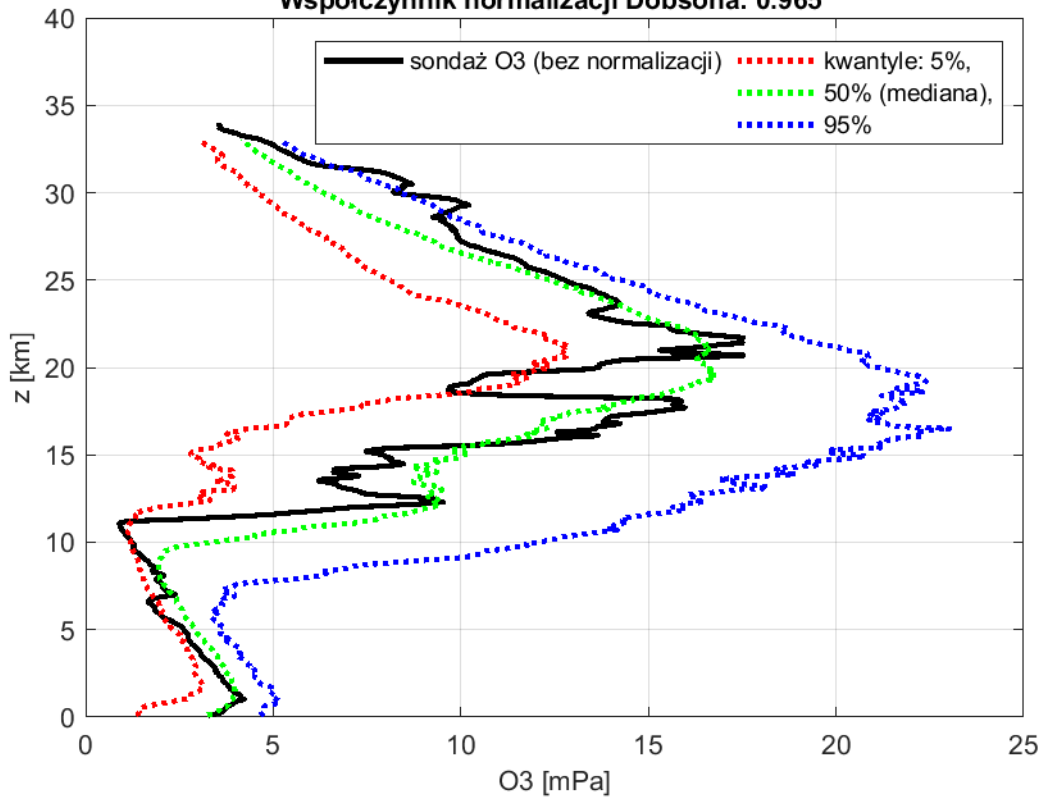


2022-03-02 godz. 11:34:36 - 11:41:58 UTC  
Całkowita zawartość ozonu ( $O_3$ ) w kolumnie atmosfery

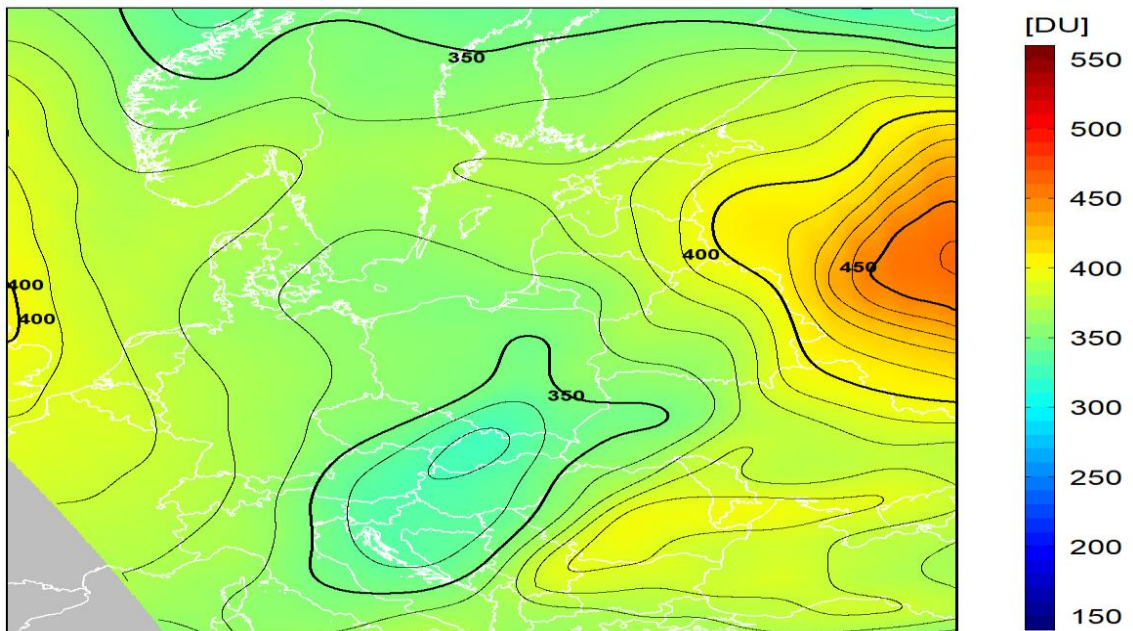


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-03-09 12UTC  
 Belsk CZO3: 339D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 372±49D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.965

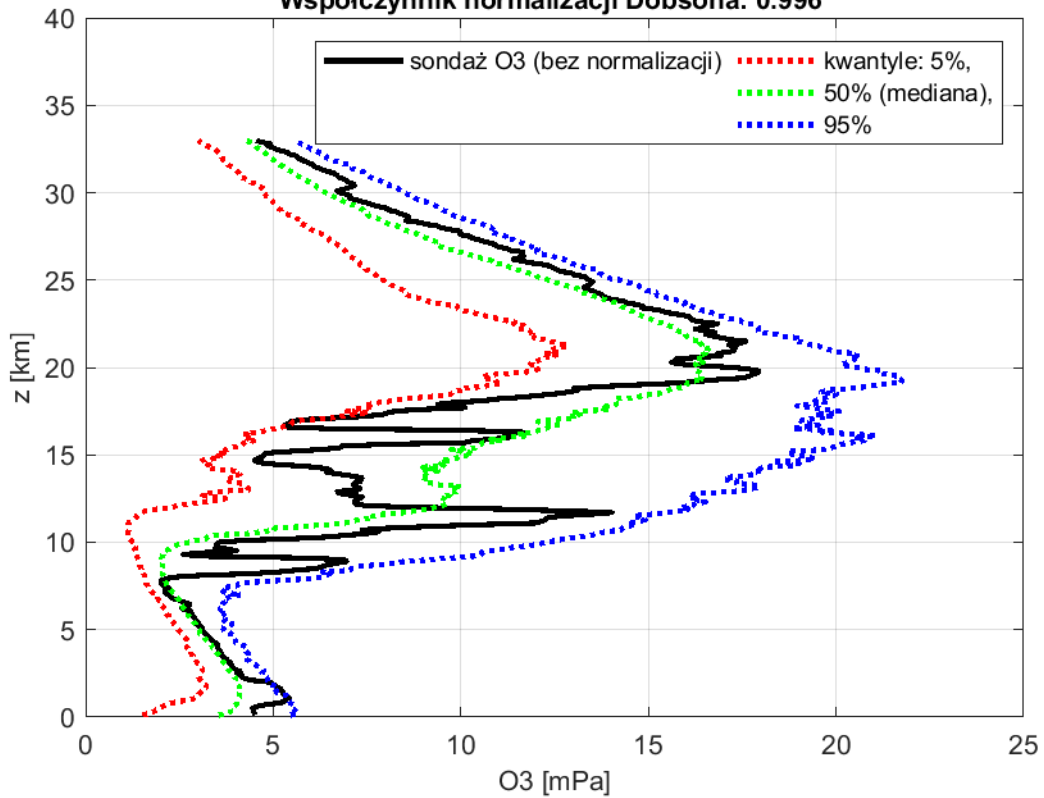


2022-03-09 godz. 11:02:50 - 11:10:49 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



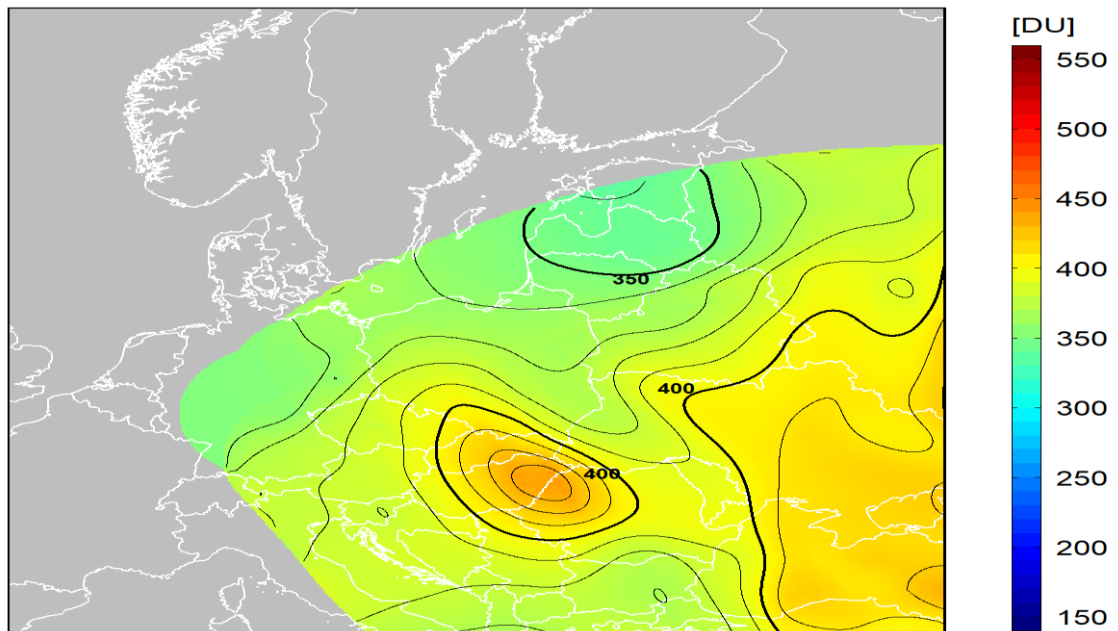
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-03-16 12UTC  
 Belsk CZO3: 370D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 372±45D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.996



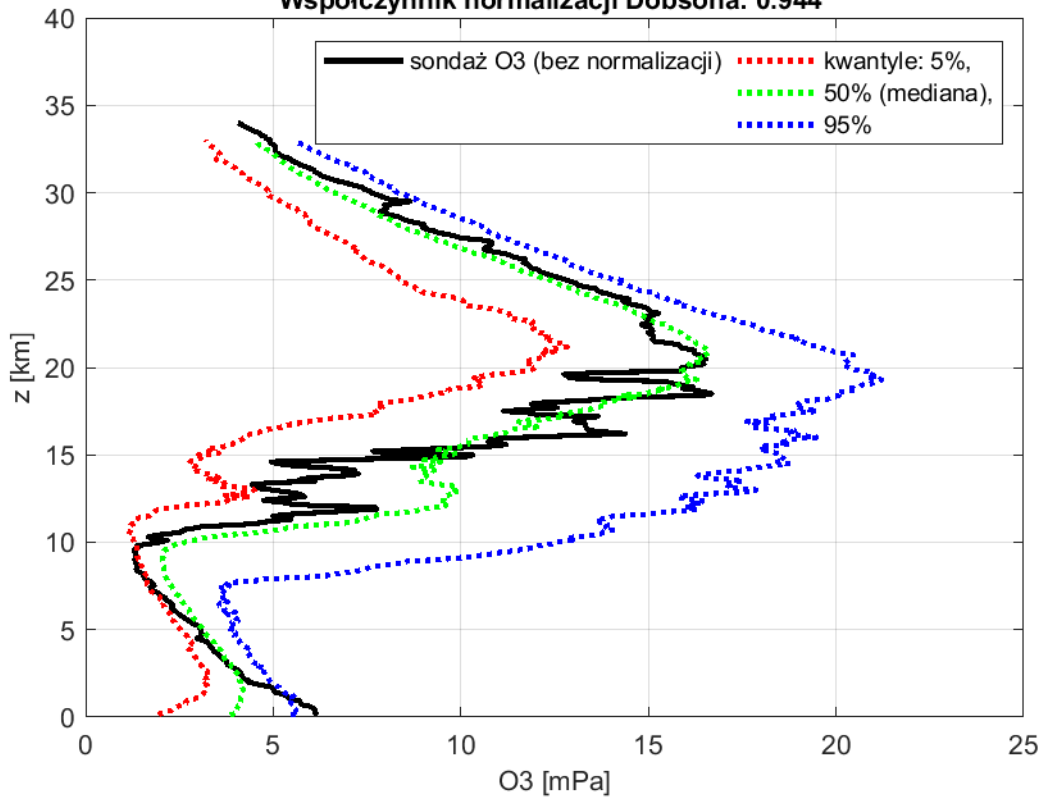
2022-03-16 godz. 10:31:13 - 10:38:27 UTC

Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

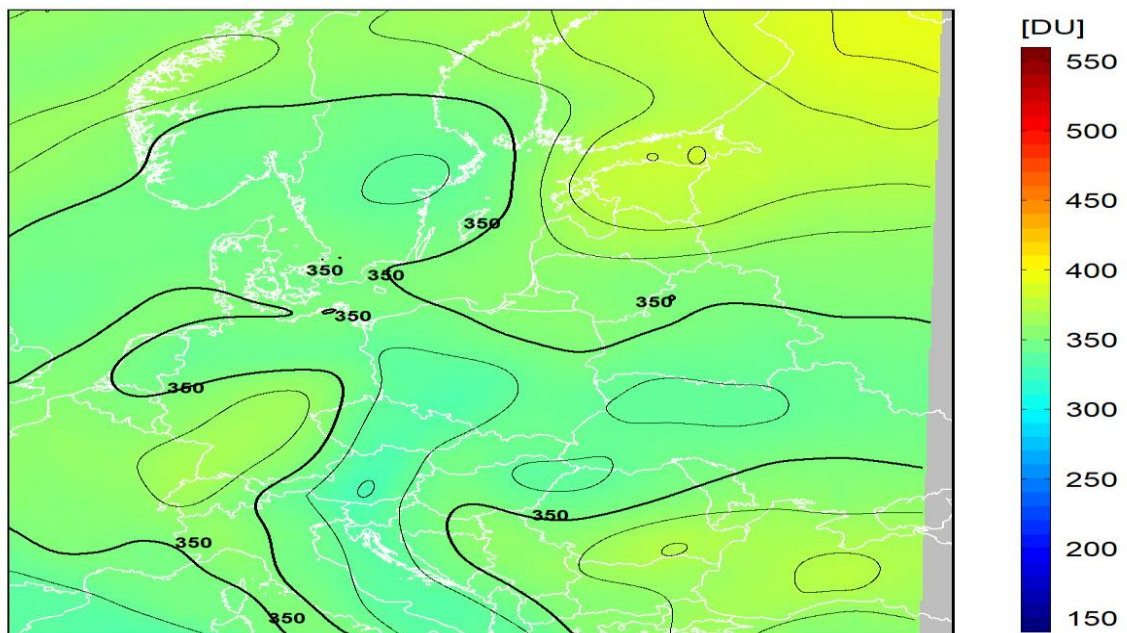


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-03-23 12UTC  
 Belsk CZO3: 339D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 370±41D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.944

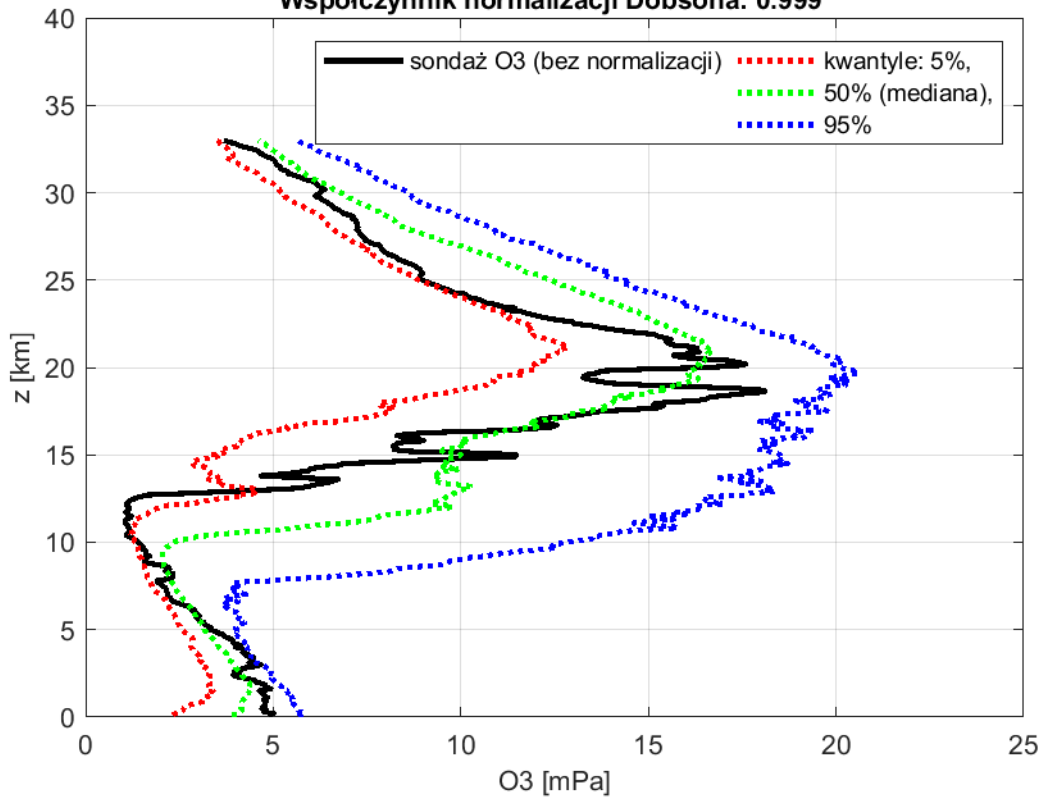


2022-03-23 godz. 11:40:58 - 11:48:12 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

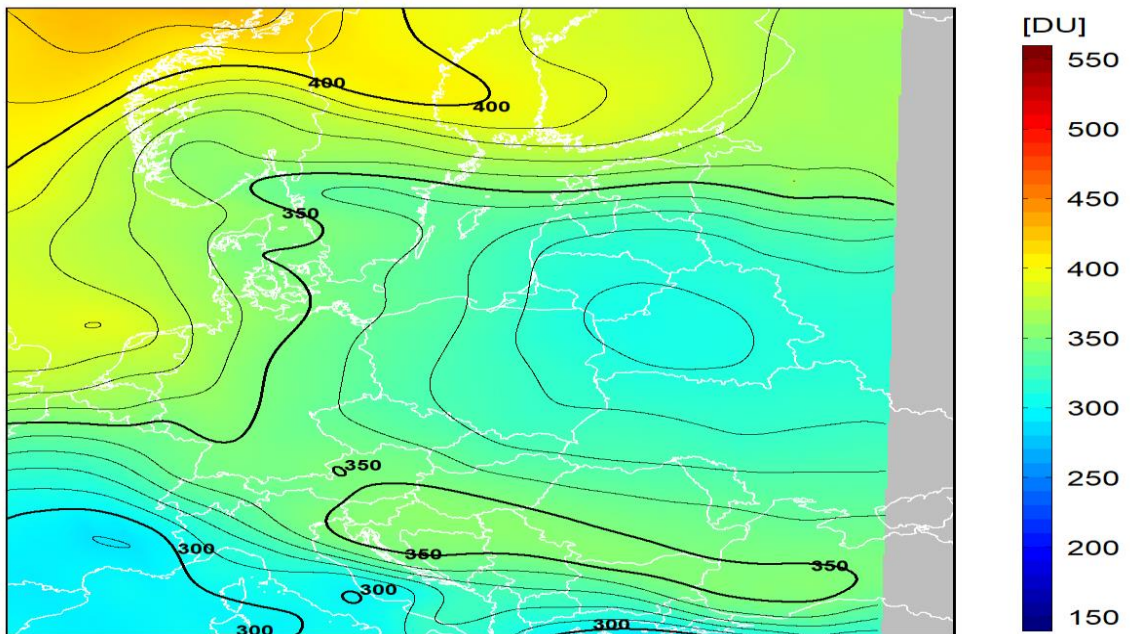


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-03-28 12UTC  
 Belsk CZO3: 324D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 371±40D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.999

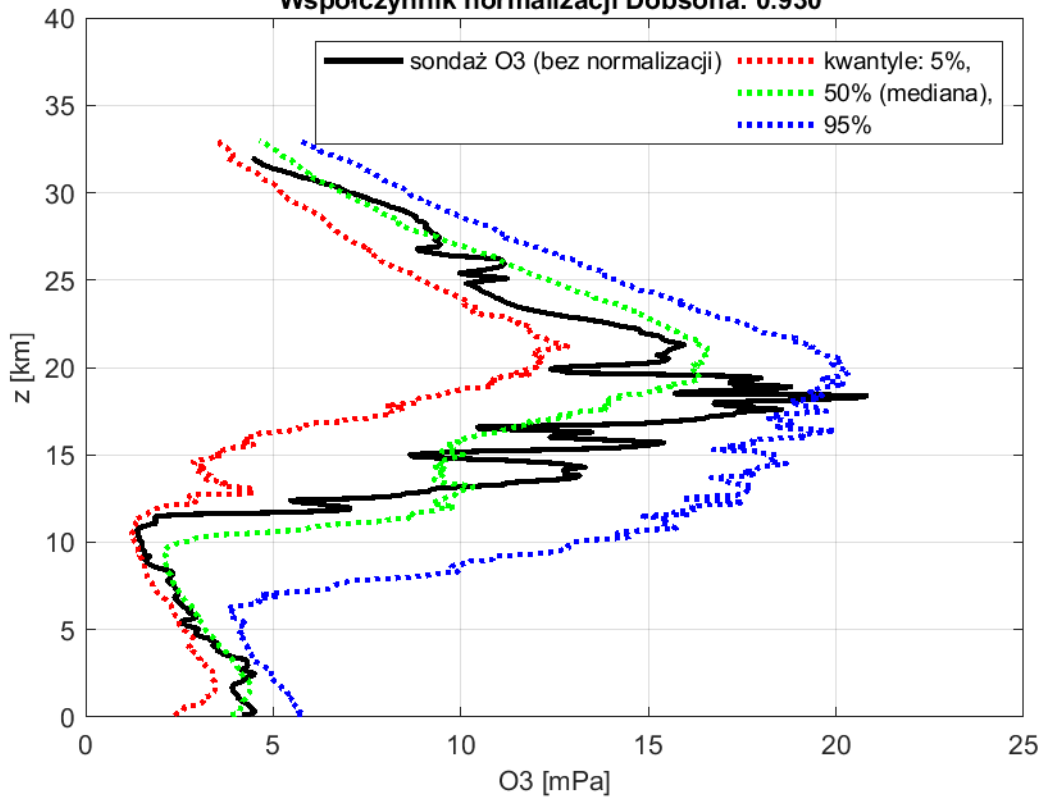


2022-03-28 godz. 11:47:16 - 11:54:30 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

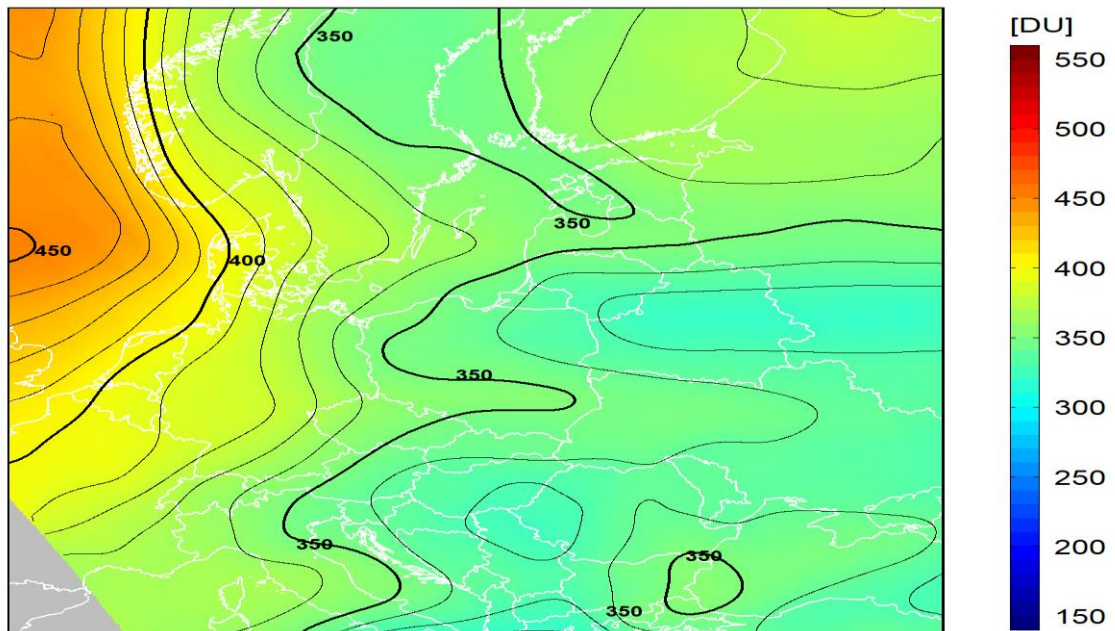


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-03-30 12UTC  
 Belsk CZO3: 343D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 371±40D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.930



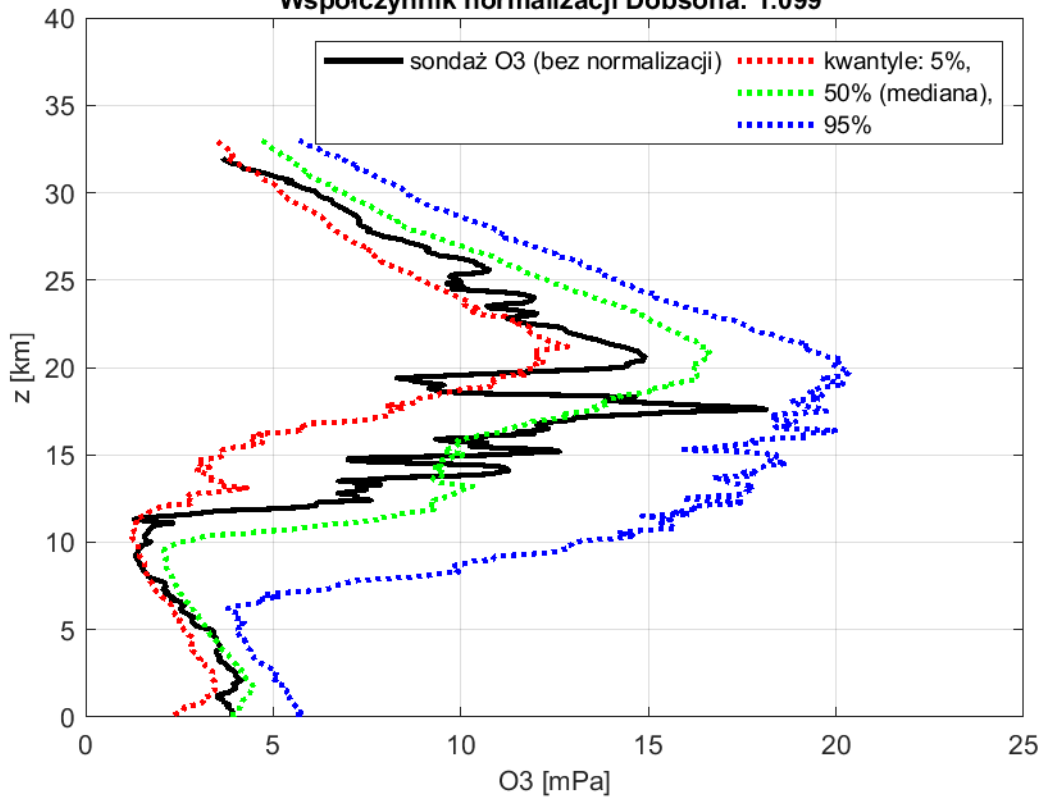
2022-03-30 godz. 11:09:11 - 11:16:55 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

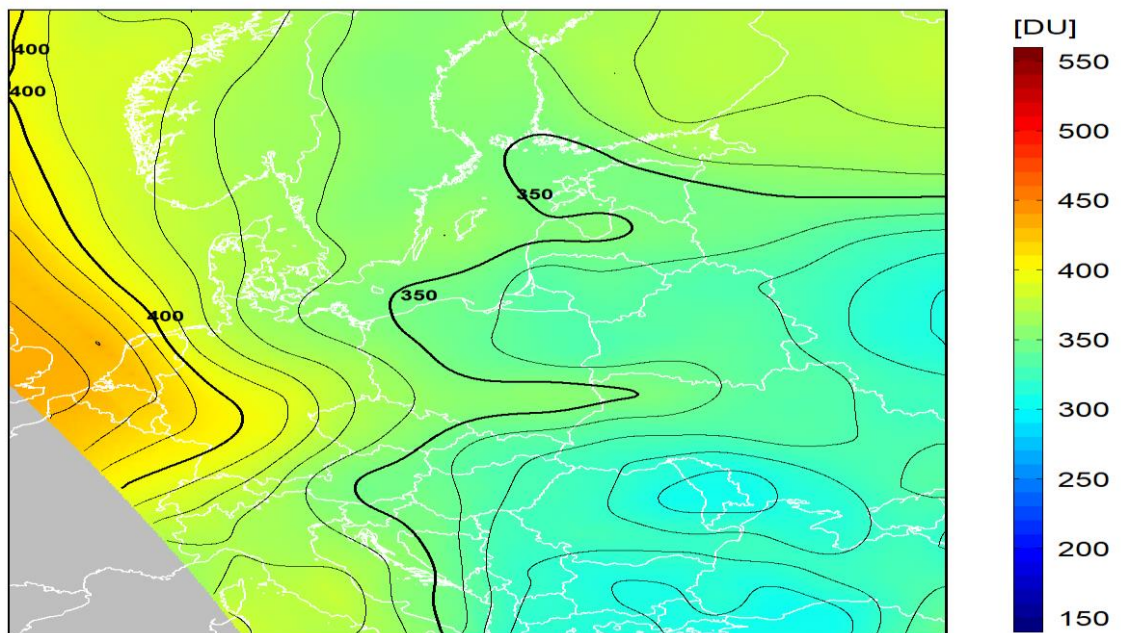


Legionowo 2022-03-31 12UTC  
 Belsk CZO3: 357D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 371±40D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.099



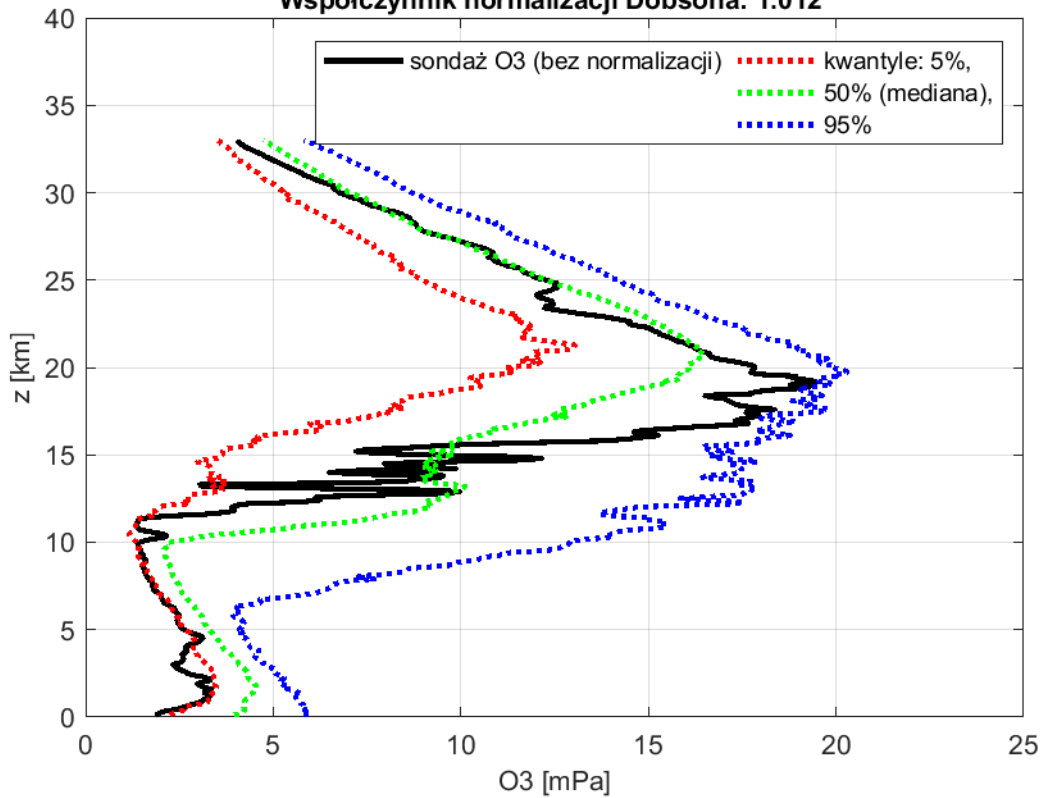
2022-03-31 godz. 10:50:09 - 10:58:23 UTC

Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

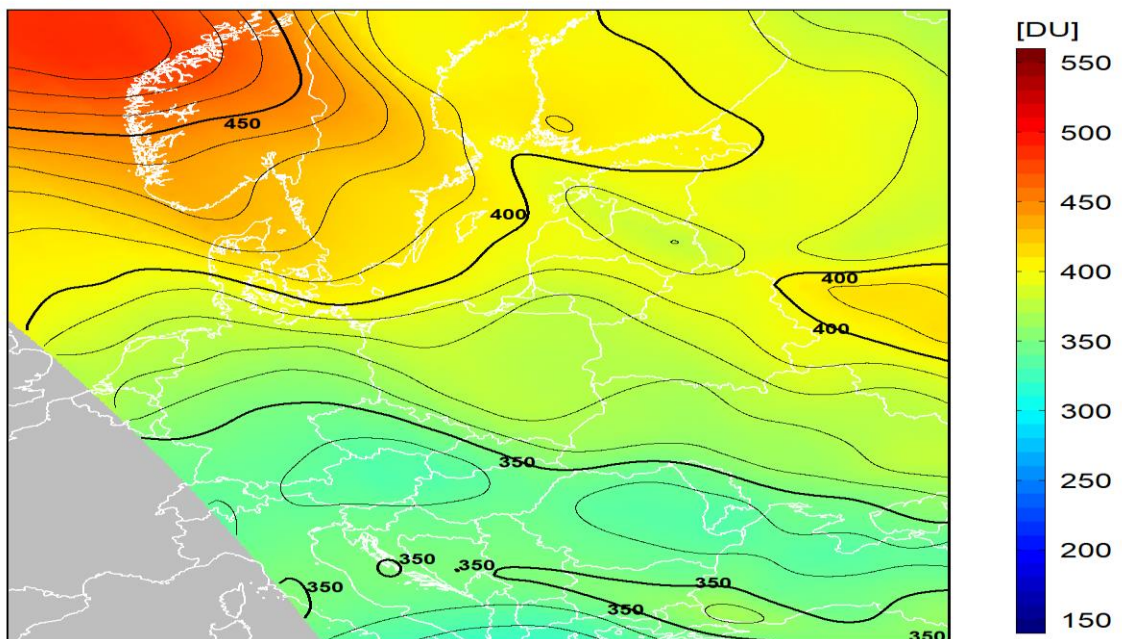


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-04-06 12UTC  
 Belsk CZO3: 367D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 368±36D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.012

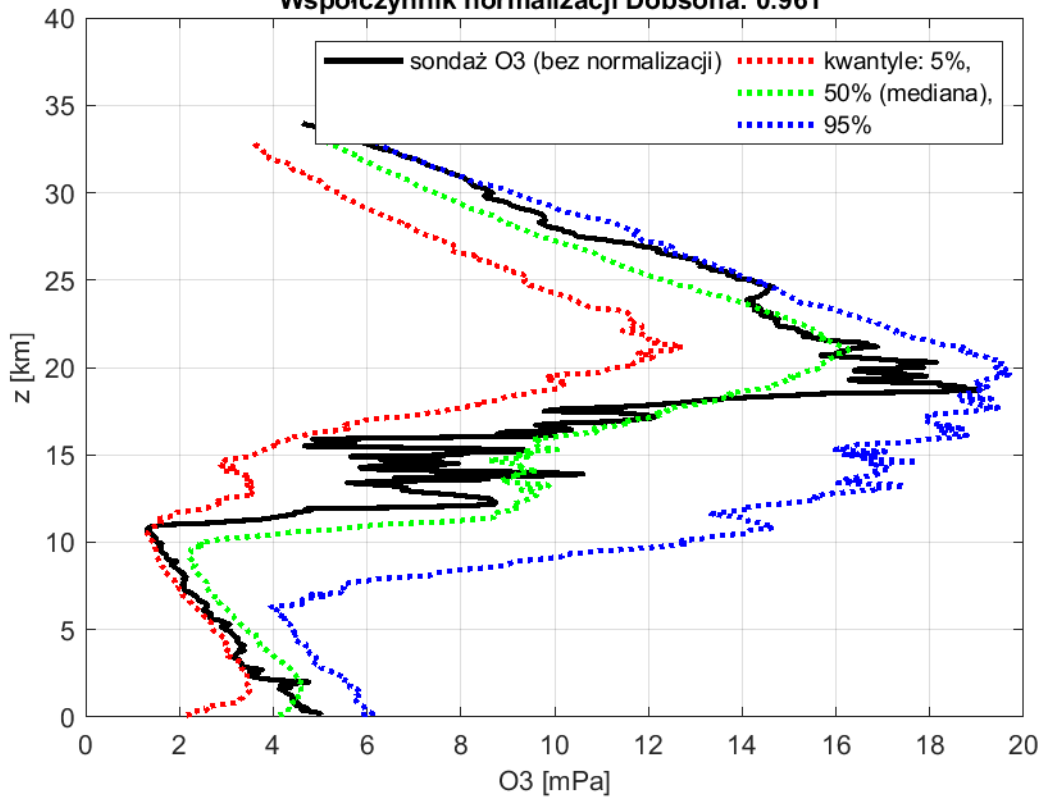


2022-04-06 godz. 10:37:30 - 10:45:59 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

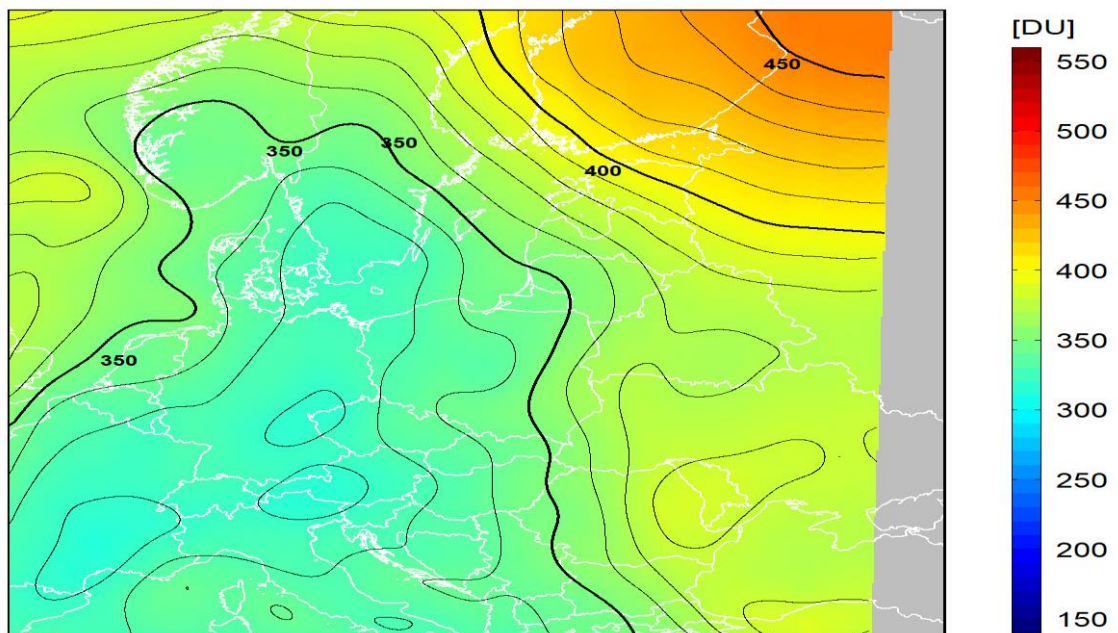


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-04-13 12UTC  
 Belsk CZO3: 350D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 369±35D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.961

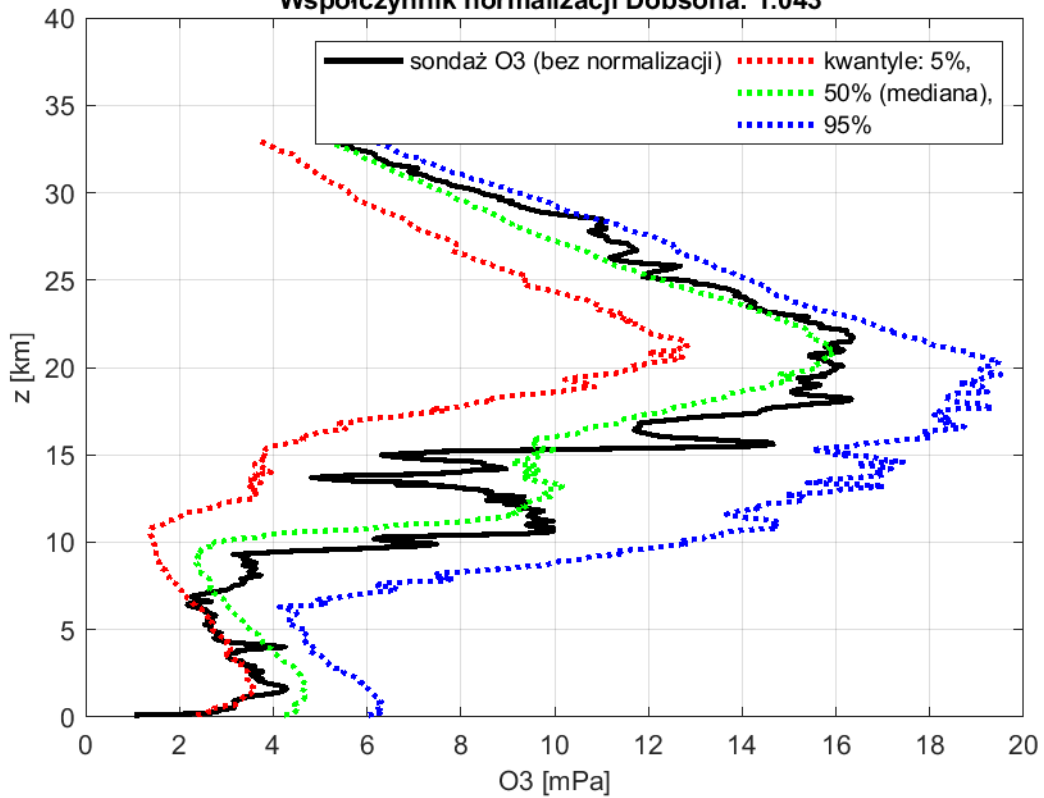


2022-04-13 godz. 11:47:10 - 11:54:24 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



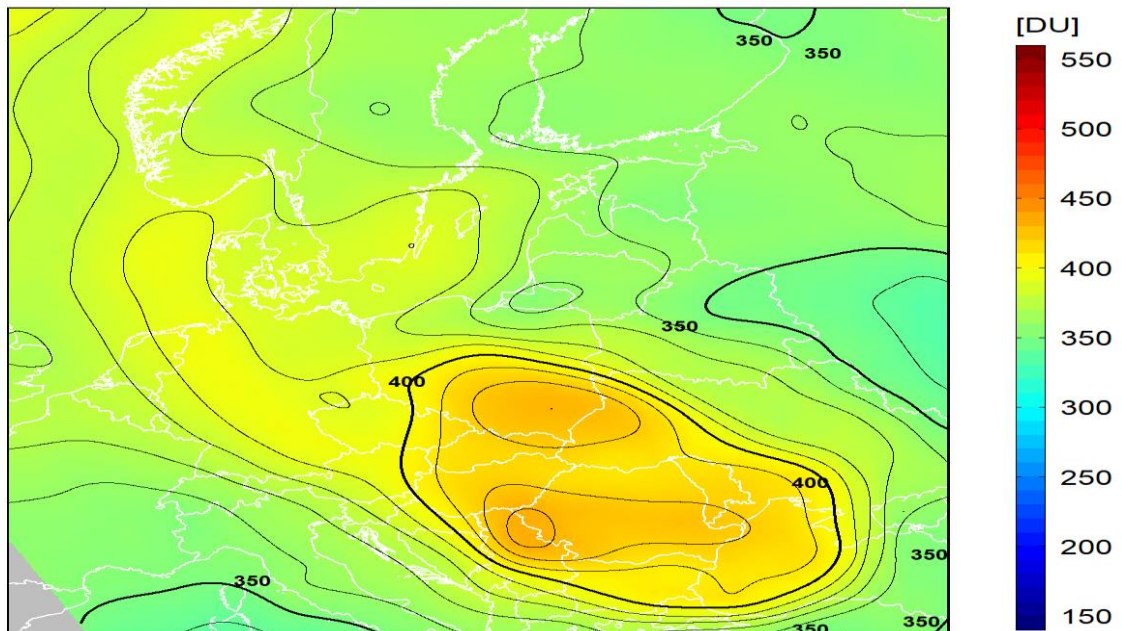
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-04-20 12UTC  
 Belsk CZO3: 413D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 370±32D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.043



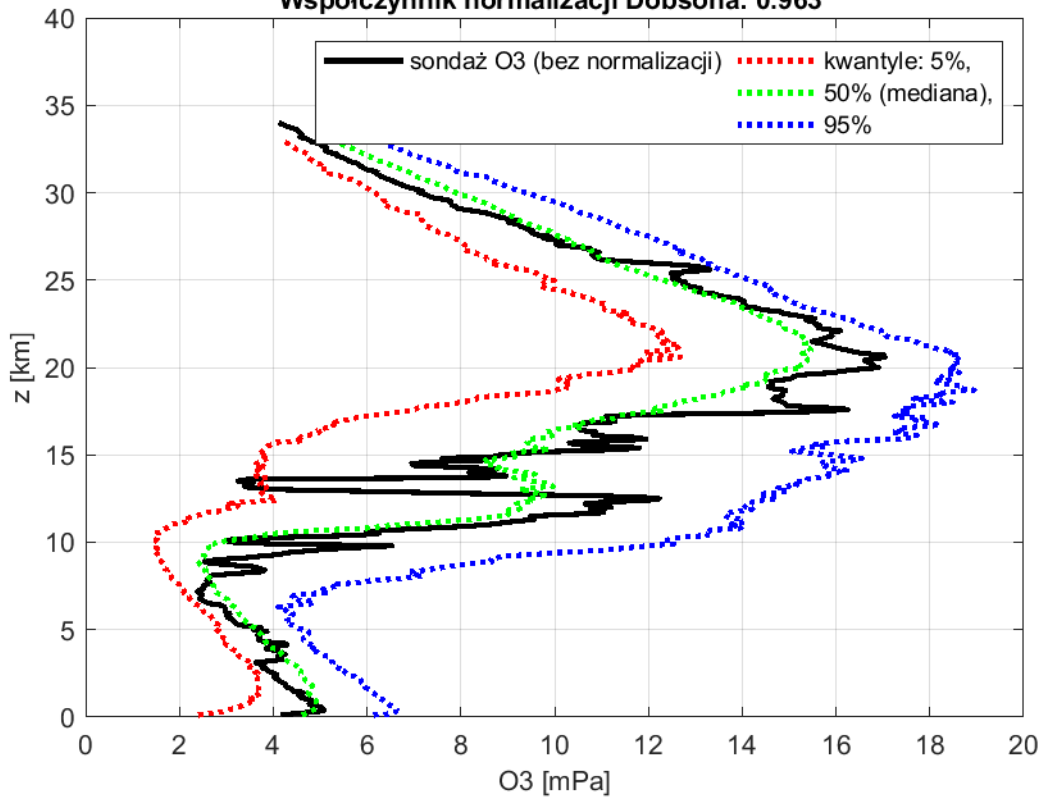
2022-04-20 godz. 11:15:23 - 11:23:07 UTC

Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

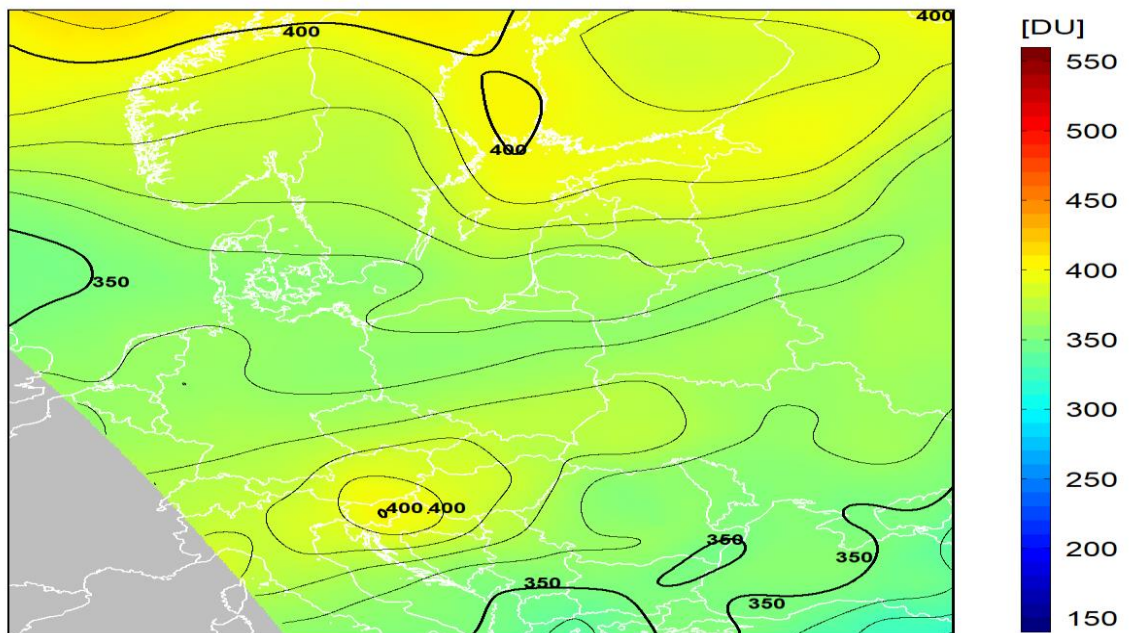


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-04-27 12UTC  
 Belsk CZO3: 364D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 367±30D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.963

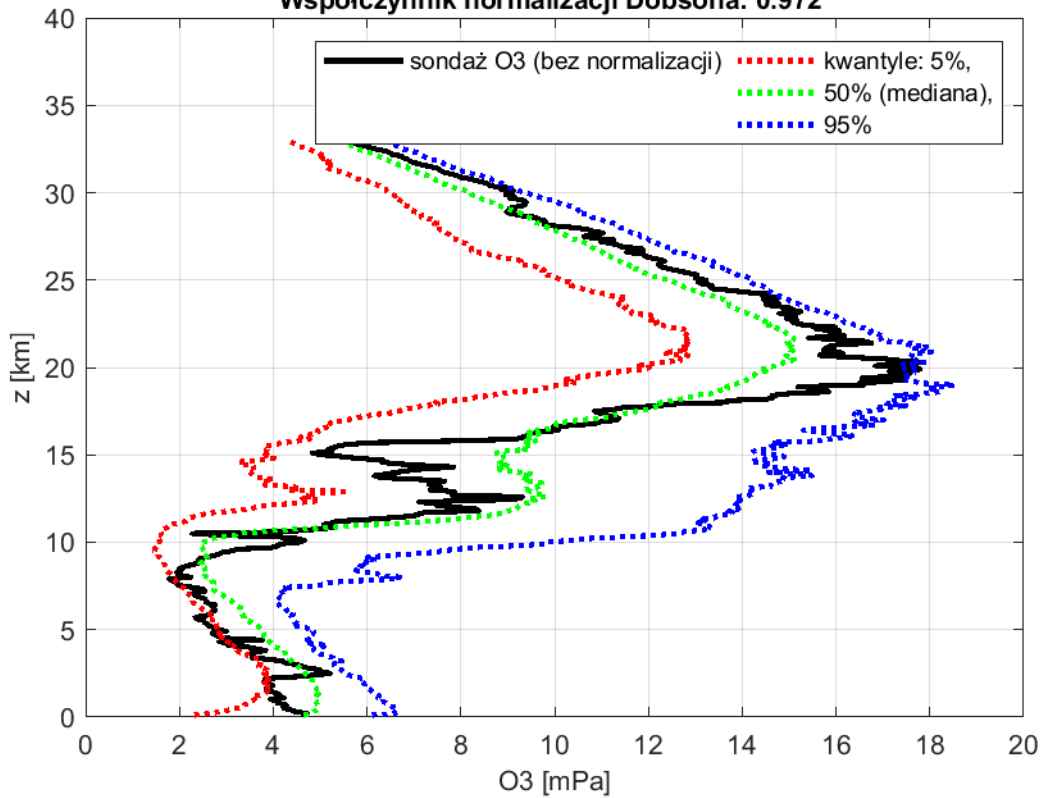


2022-04-27 godz. 10:43:39 - 10:51:54 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

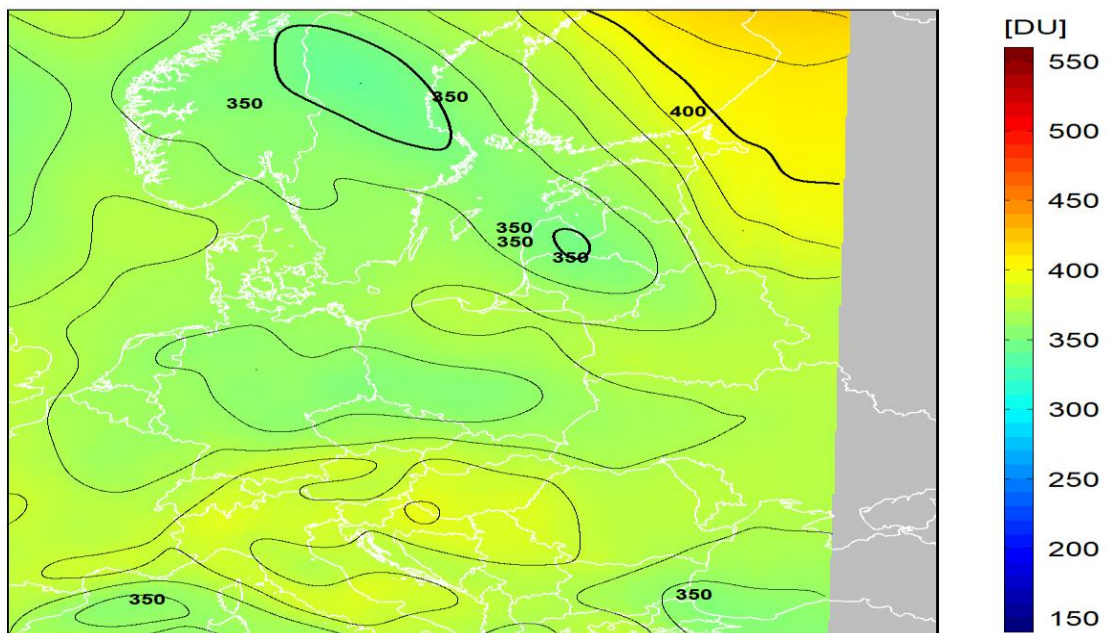


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-05-04 12UTC  
 Belsk CZO3: 357D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 366±26D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.972

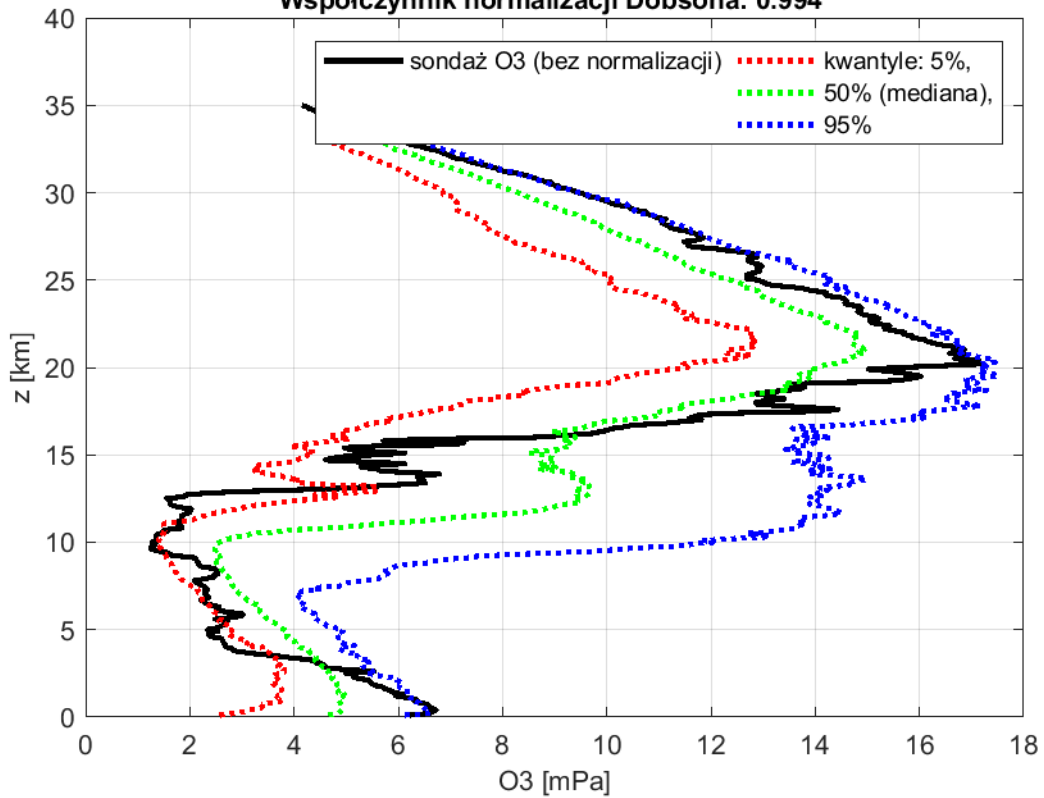


2022-05-04 godz. 11:53:22 - 12:00:29 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



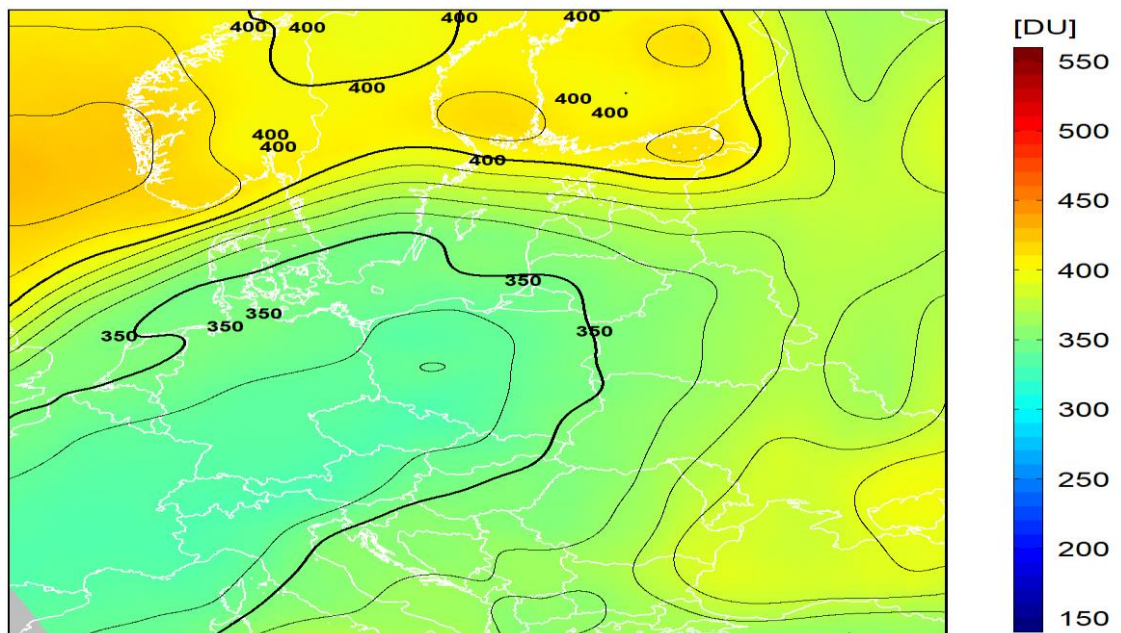
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-05-11 12UTC  
 Belsk CZO3: 350D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 363±25D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.994



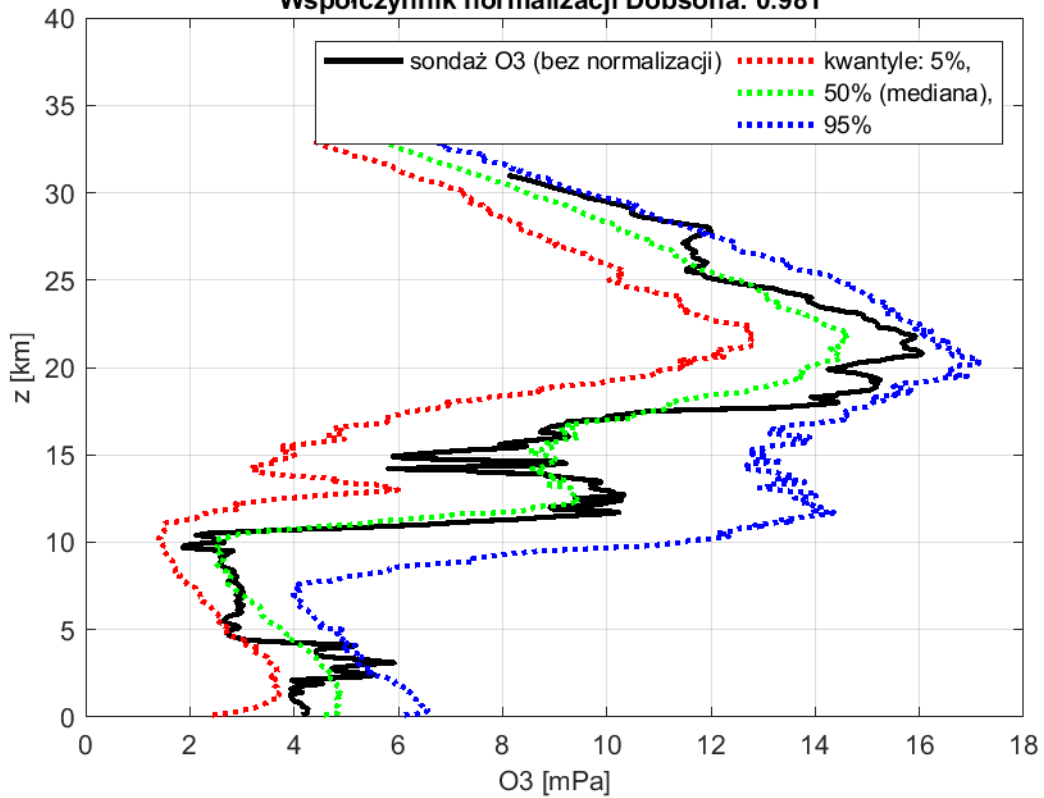
2022-05-11 godz. 11:21:29 - 11:29:05 UTC

Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

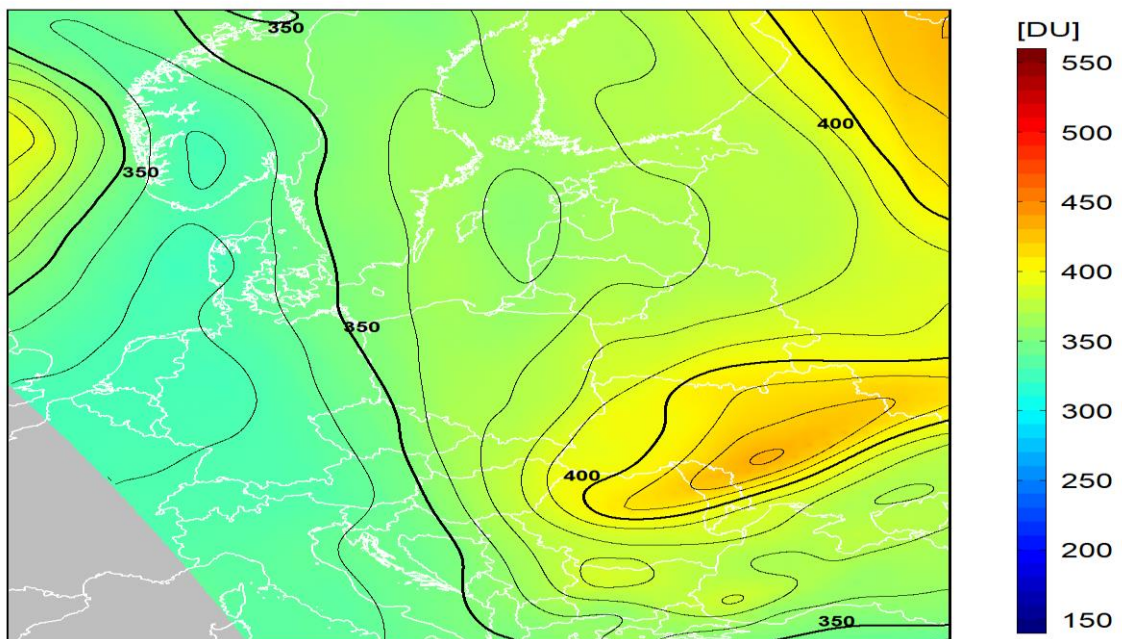


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-05-18 12UTC  
 Belsk CZO3: 368D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 361±23D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.981



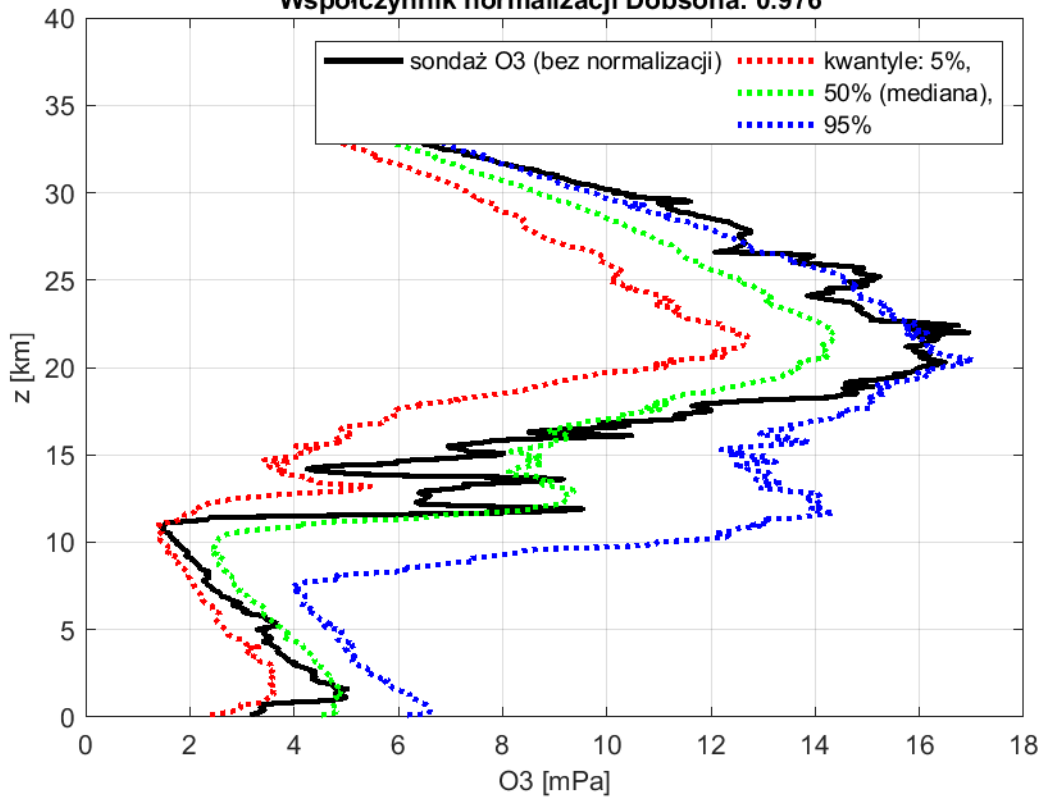
2022-05-18 godz. 10:49:42 - 10:57:56 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



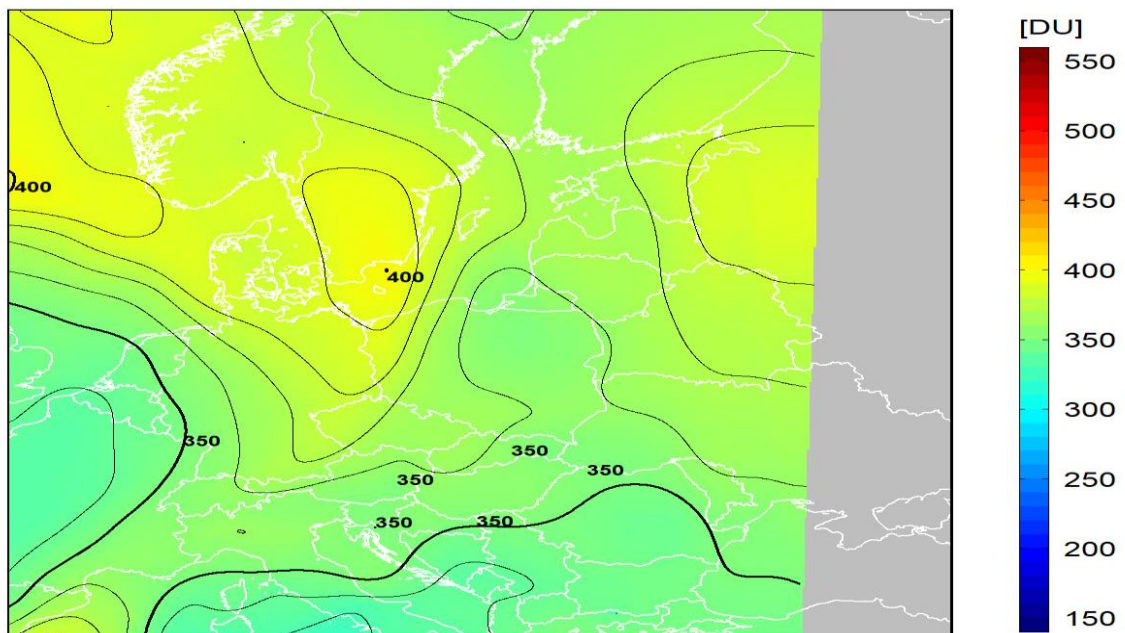
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS



Legionowo 2022-05-25 12UTC  
 Belsk CZO3: 363D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 358±21D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.976

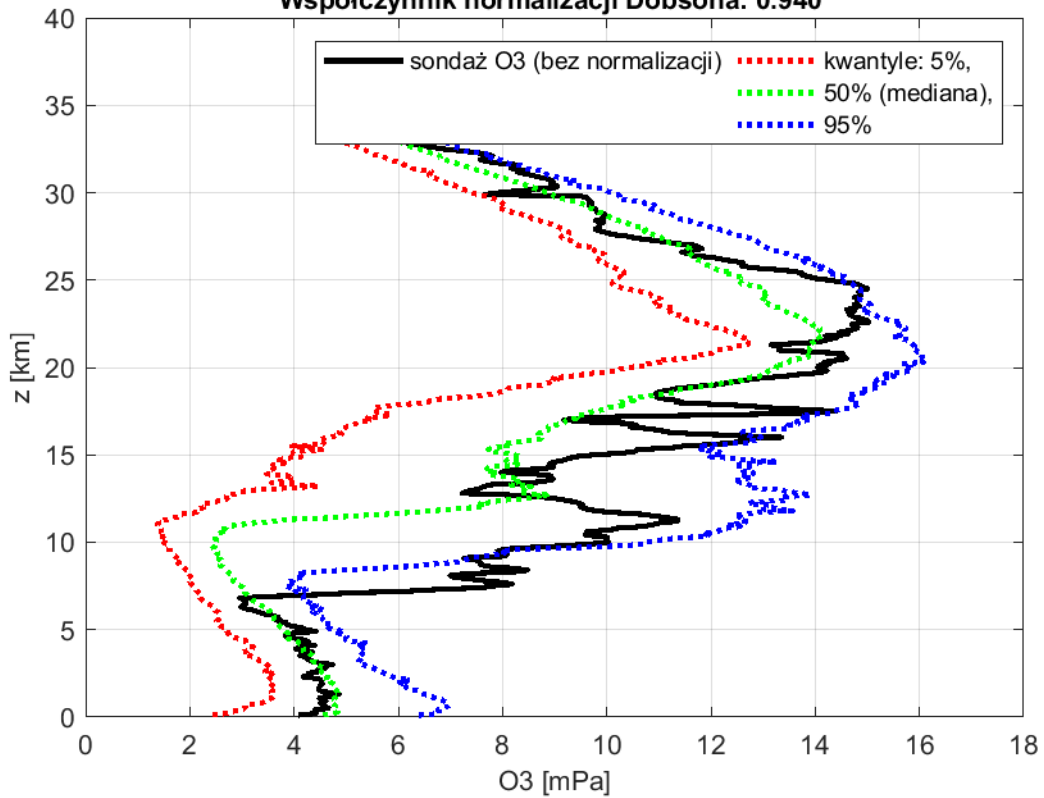


2022-05-25 godz. 11:59:19 - 12:06:26 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

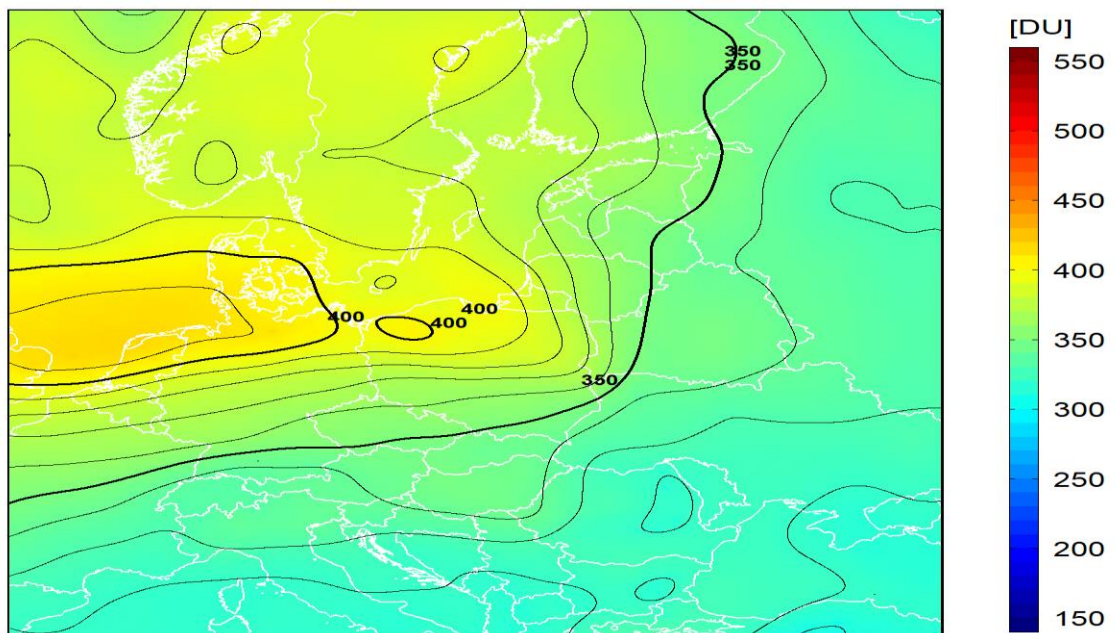


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-06-01 12UTC  
 Belsk CZO3: 376D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 351±20D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.940

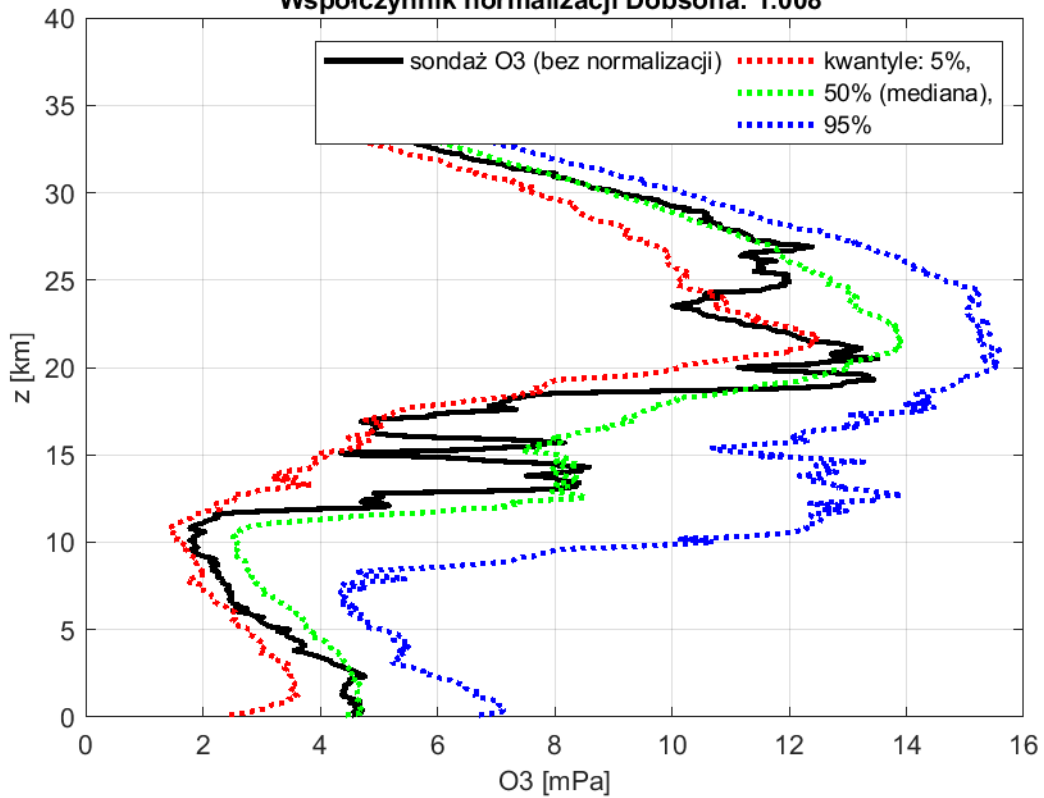


2022-06-01 godz. 11:27:30 - 11:34:59 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



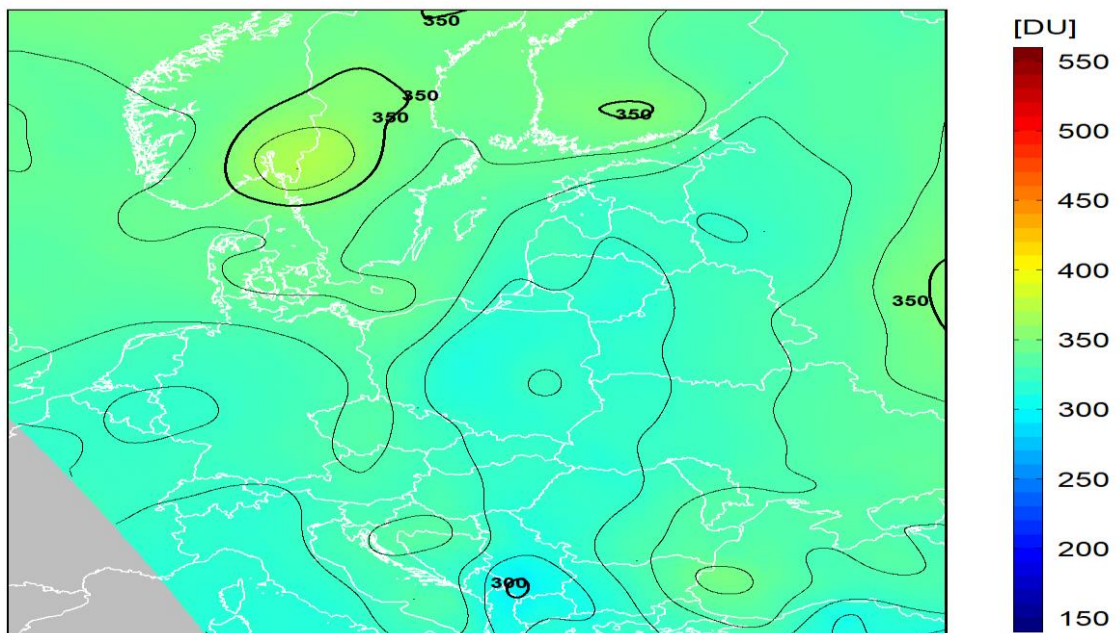
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-06-08 12UTC  
 Belsk CZO3: 322D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 348±20D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.008



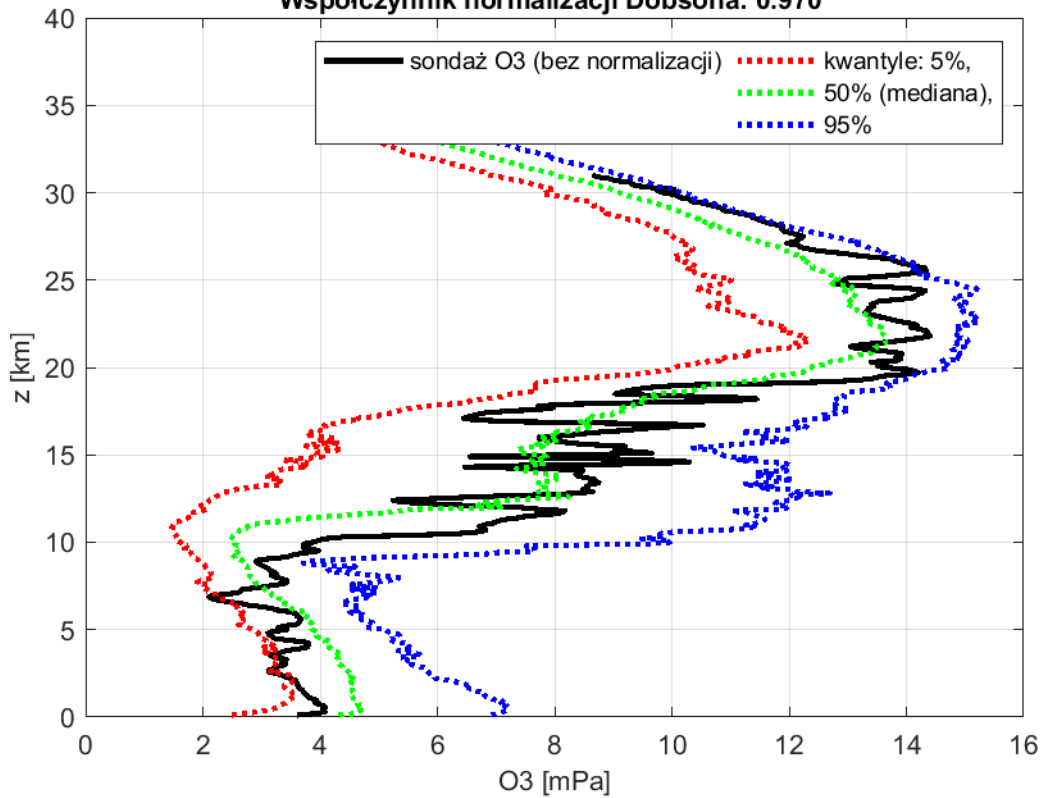
2022-06-08 godz. 10:55:51 - 11:03:58 UTC

Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

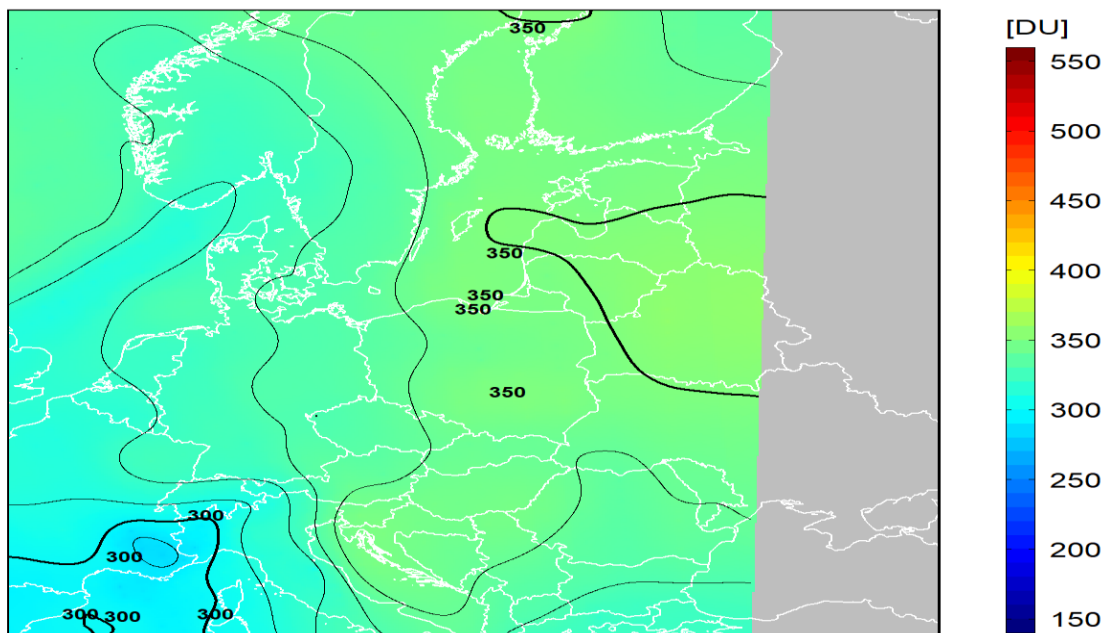


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-06-15 12UTC  
 Belsk CZO3: 347D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 343±18D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.970

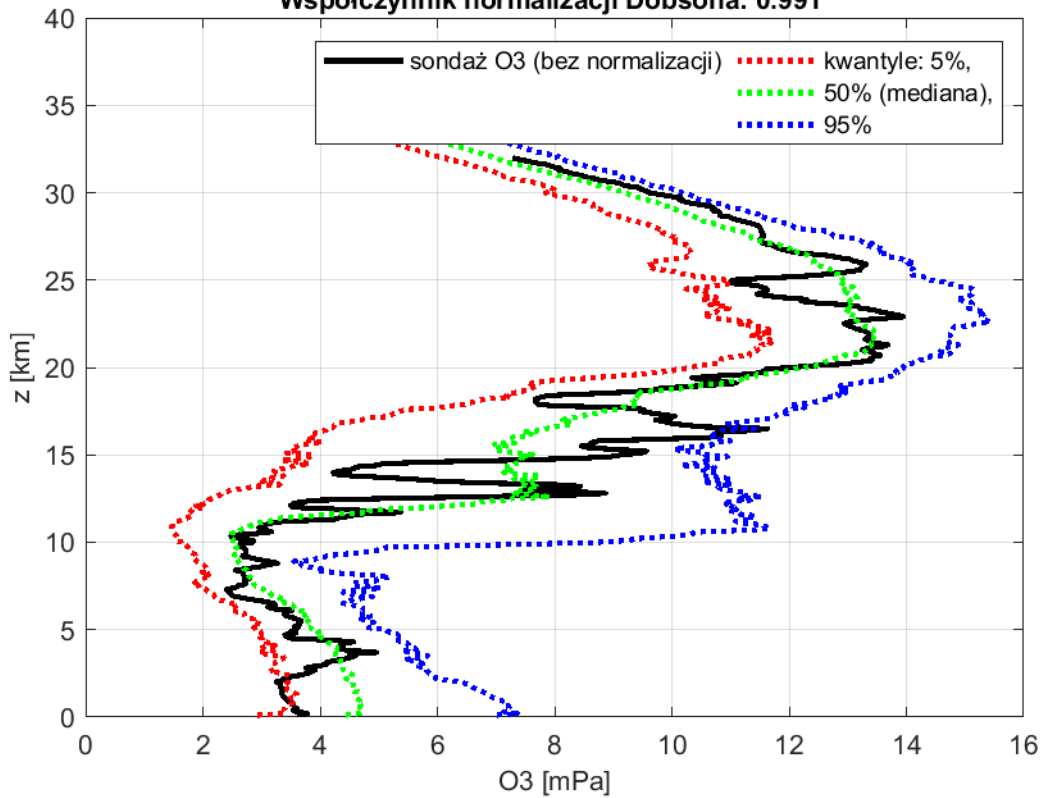


2022-06-15 godz. 12:05:50 - 12:12:57 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

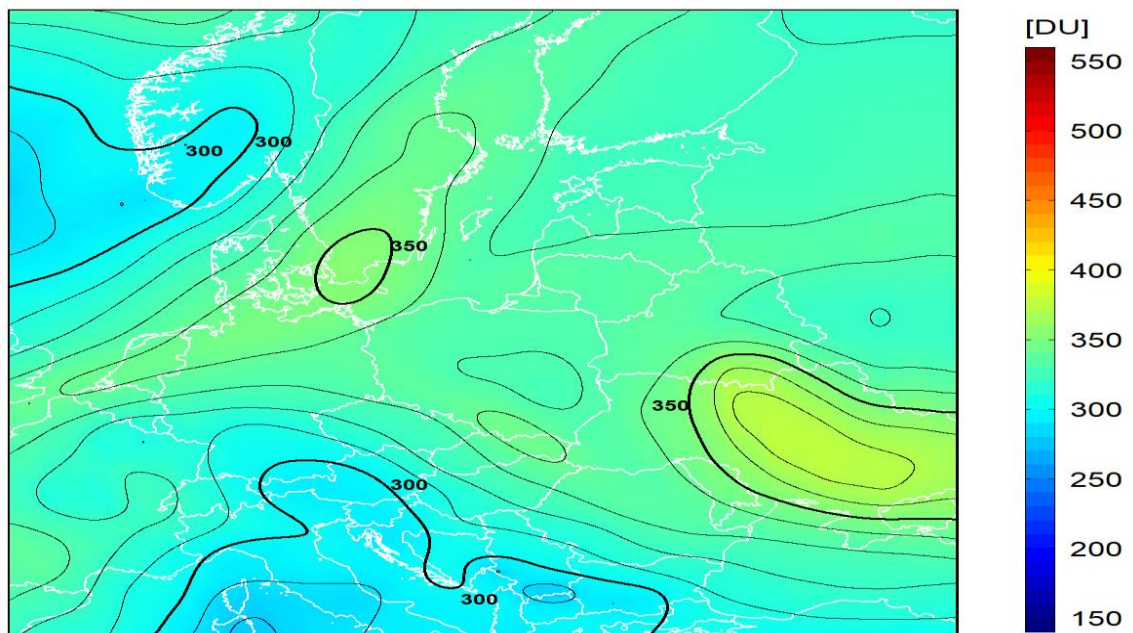


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-06-22 12UTC  
Belsk CZO3: 332D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 339±17D  
Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.991

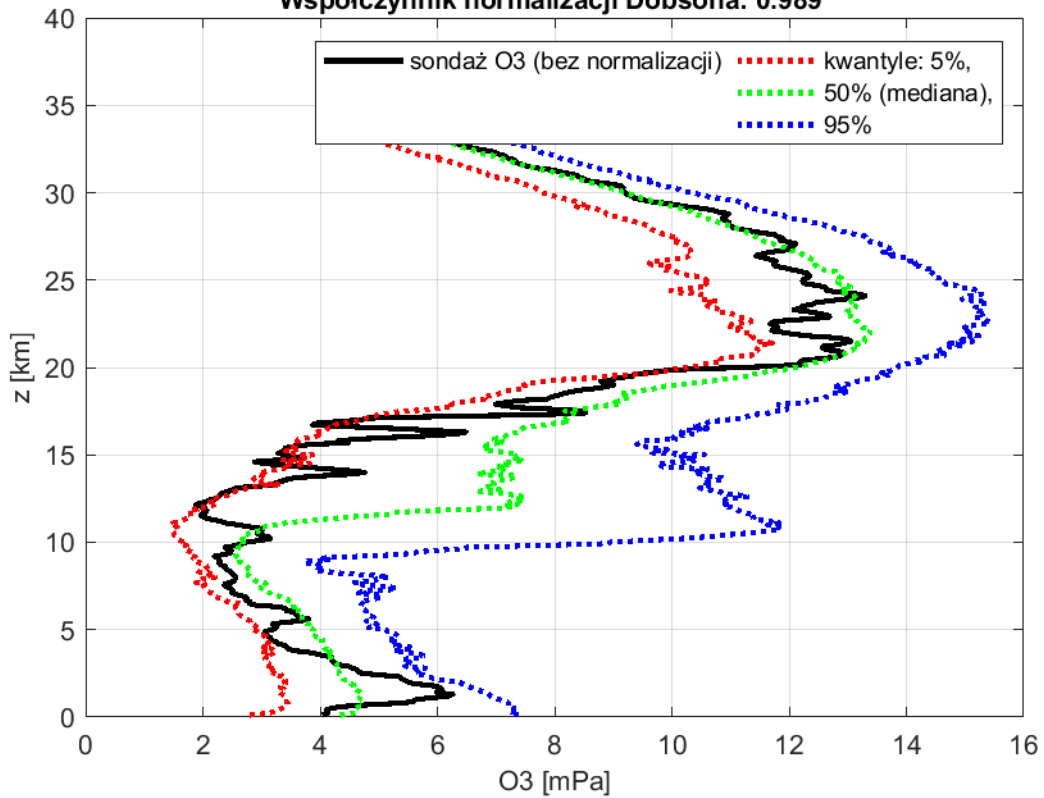


2022-06-22 godz. 11:34:13 - 11:41:42 UTC  
Całkowita zawartość ozonu ( $O_3$ ) w kolumnie atmosfery

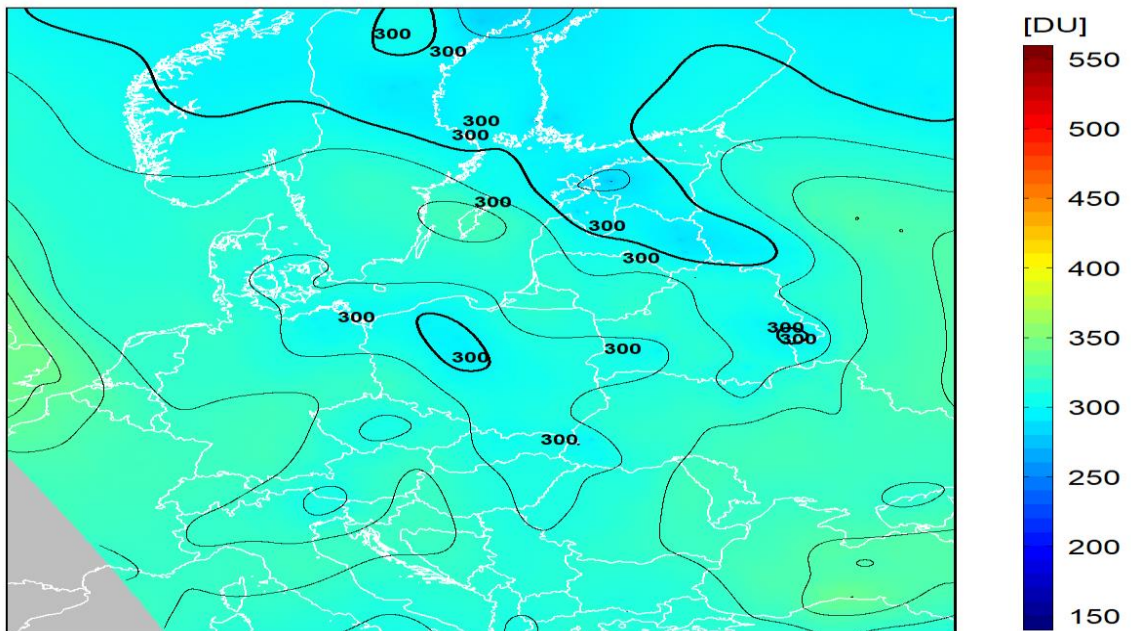


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-06-29 12UTC  
Belsk CZO3: 308D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 338±18D  
Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.989

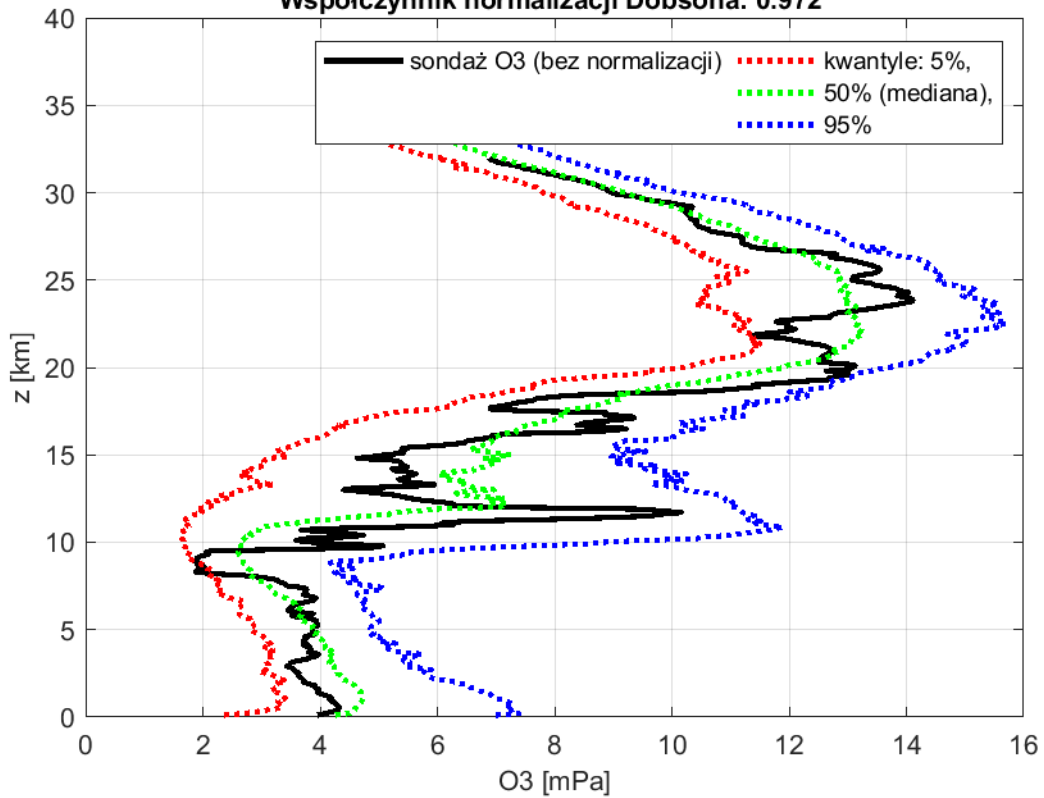


2022-06-29 godz. 11:02:39 - 11:10:38 UTC  
Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

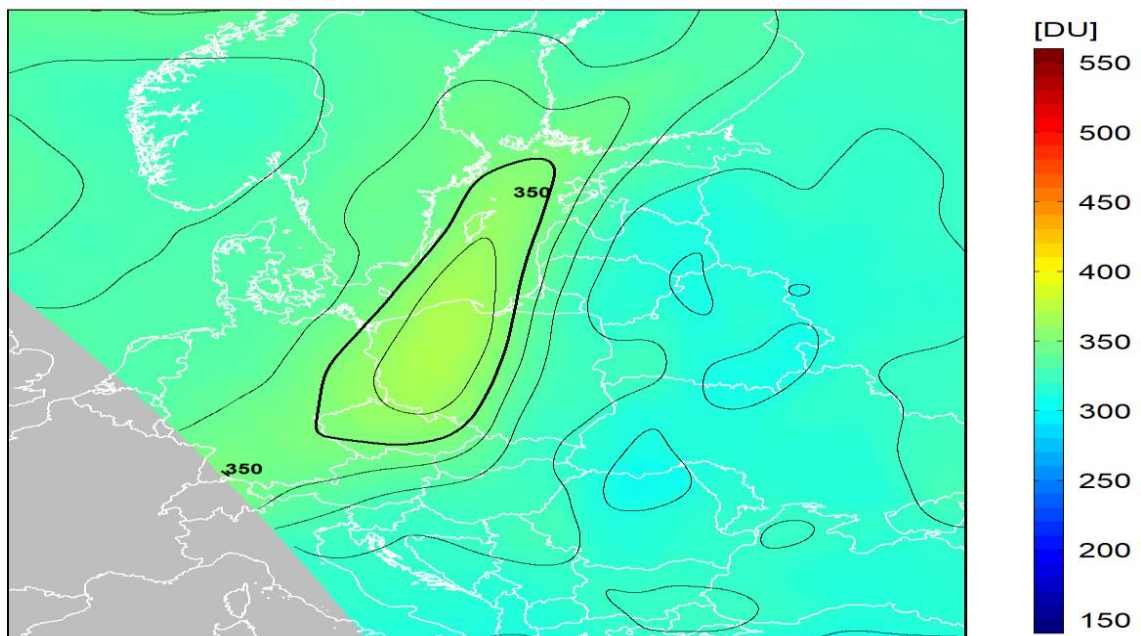


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-07-06 12UTC  
Belsk CZO3: 324D , norma CZO3( $\pm 15$  dni od daty sondażu): 335 $\pm$ 20D  
Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.972

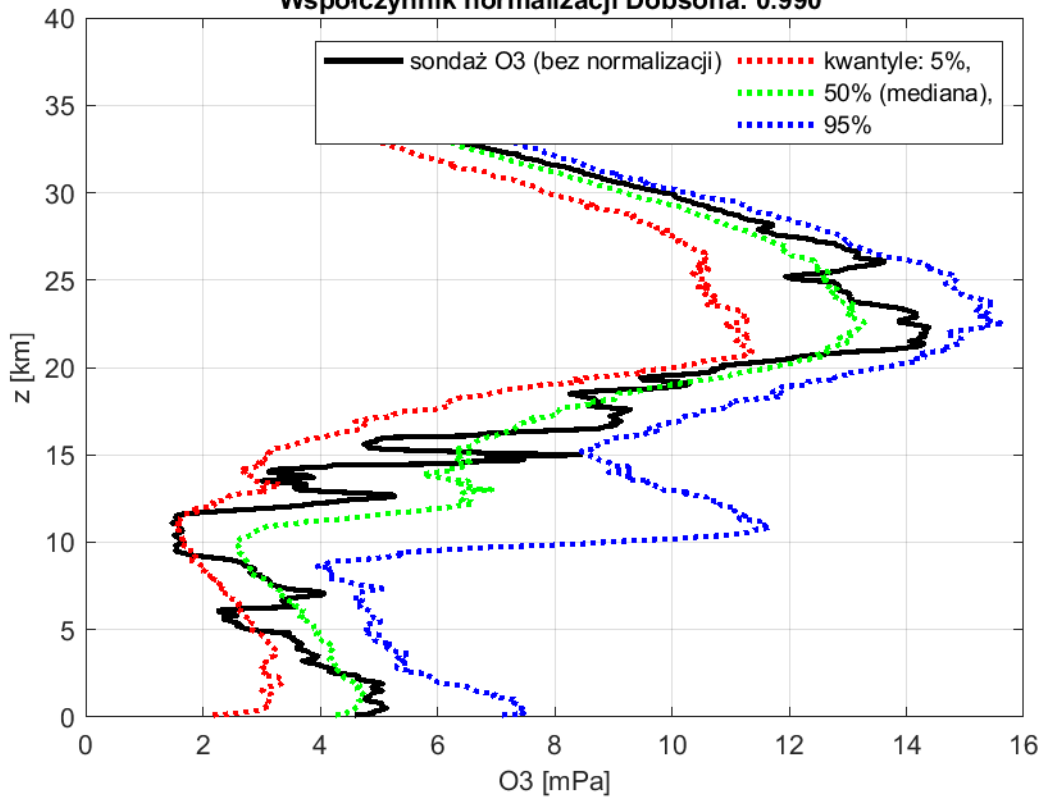


2022-07-06 godz. 10:31:07 - 10:39:44 UTC  
Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



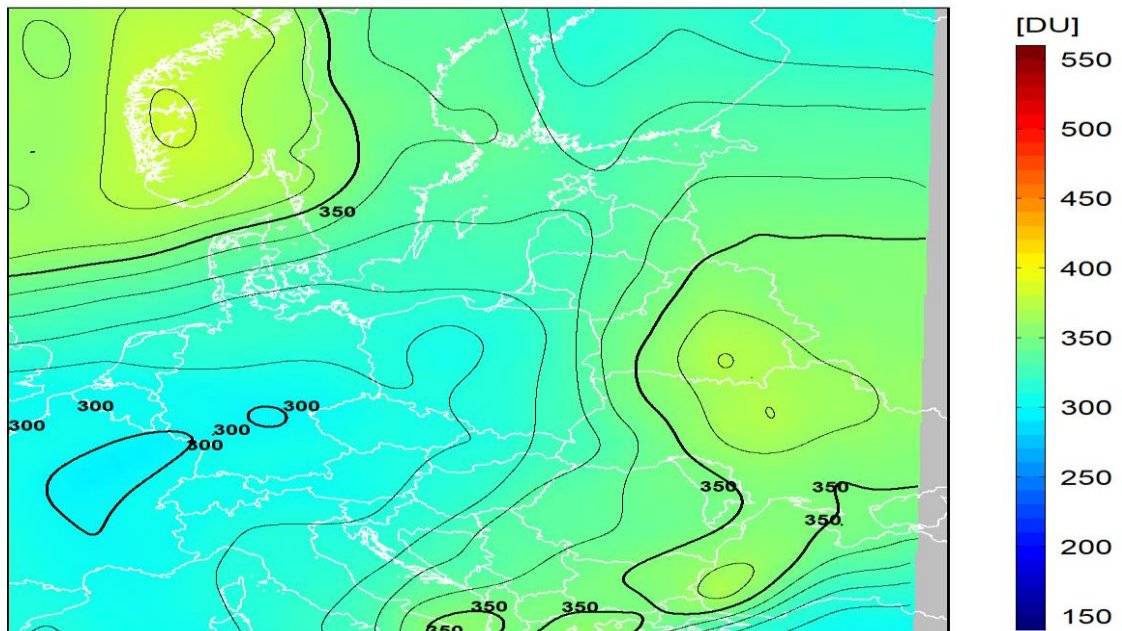
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-07-13 12UTC  
 Belsk CZO3: 331D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 333±19D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.990



2022-07-13 godz. 11:41:00 - 11:48:14 UTC

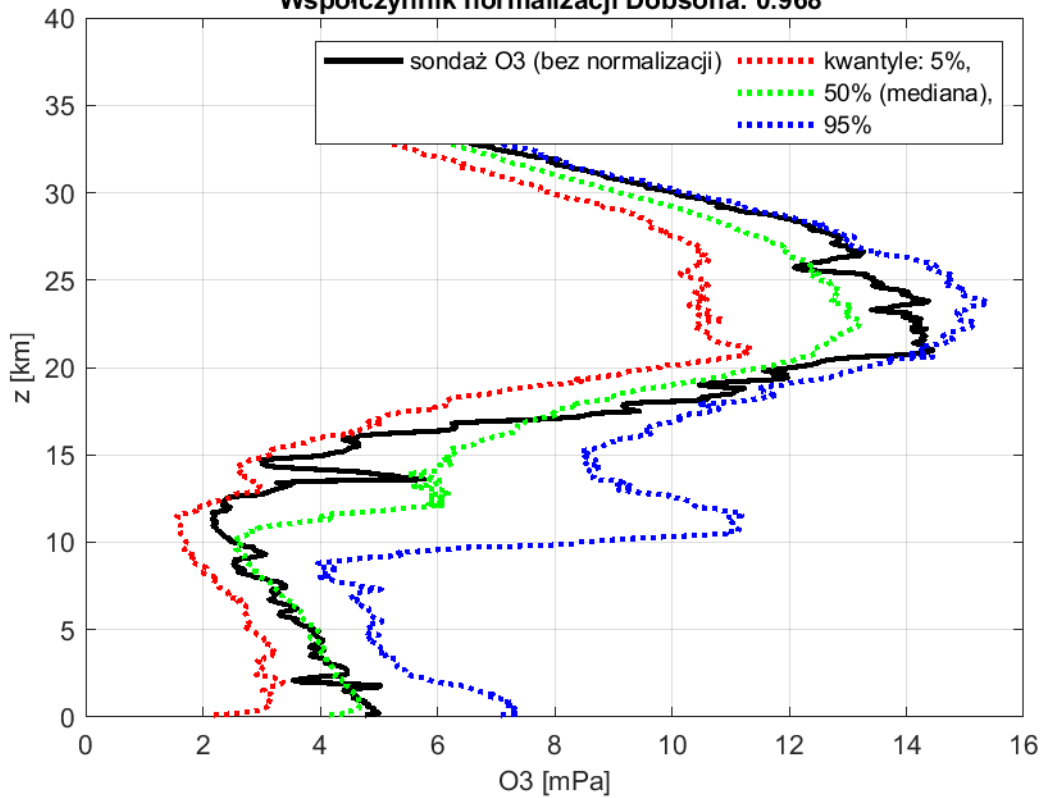
Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



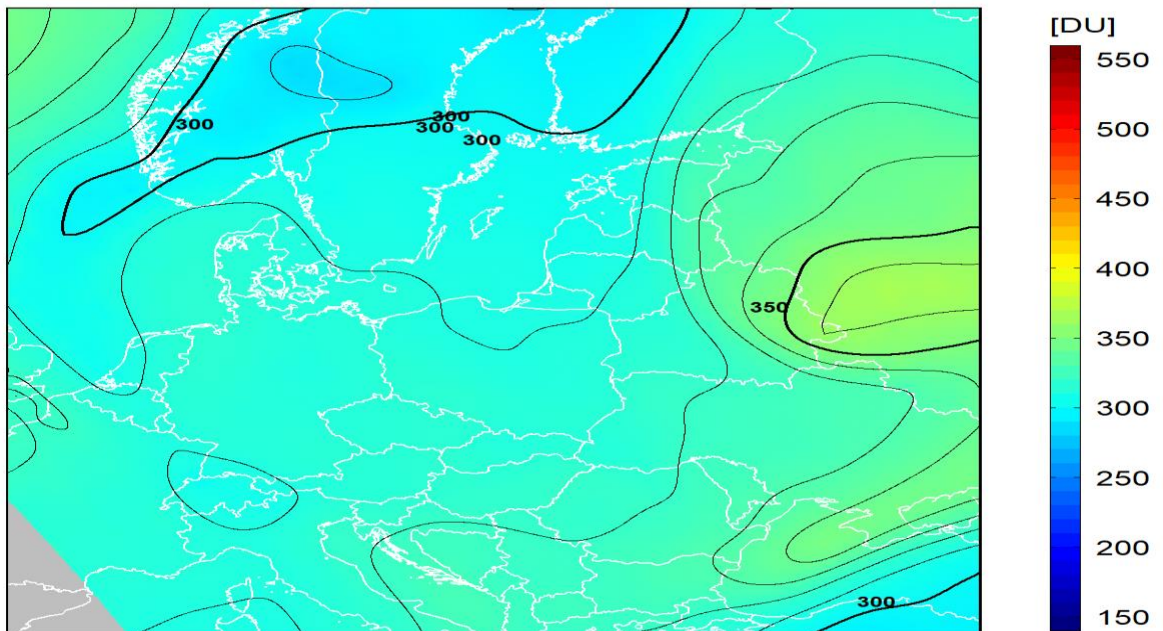
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS



Legionowo 2022-07-20 12UTC  
 Belsk CZO3: 318D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 330±20D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.968

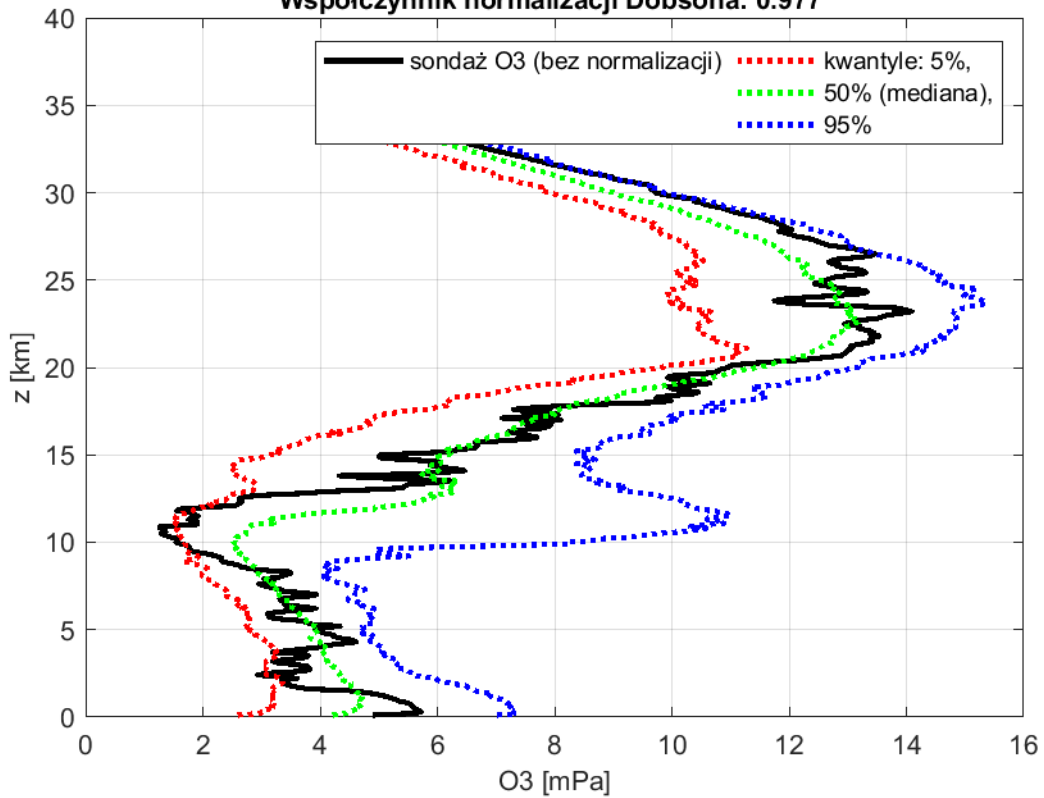


2022-07-20 godz. 11:09:19 - 11:17:11 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

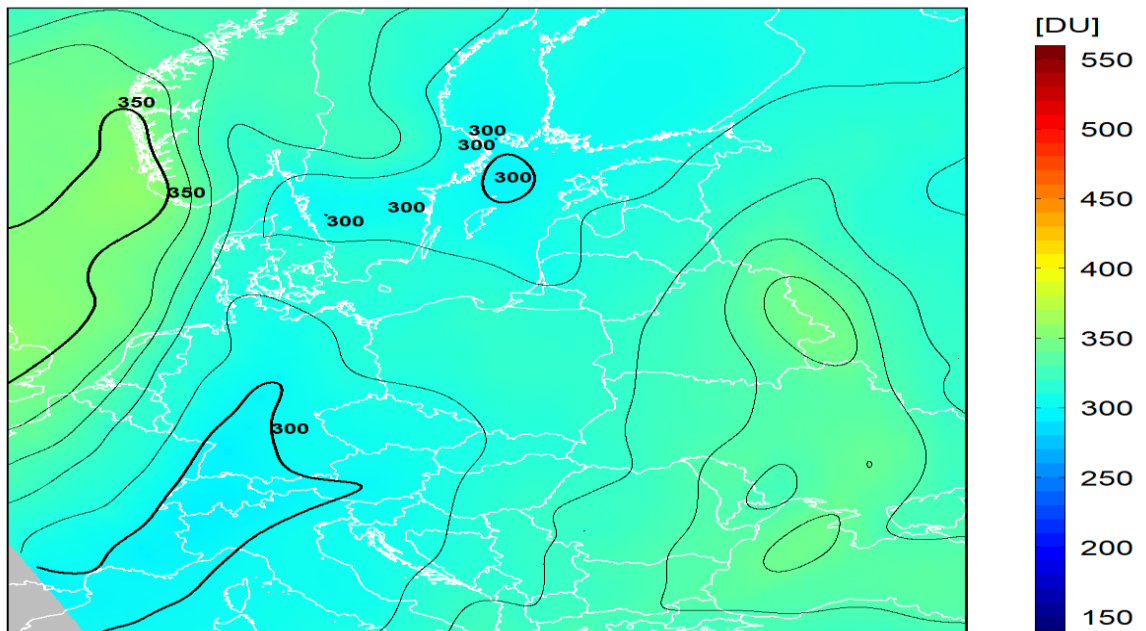


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-07-25 12UTC  
 Belsk CZO3: 317D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 328±19D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.977

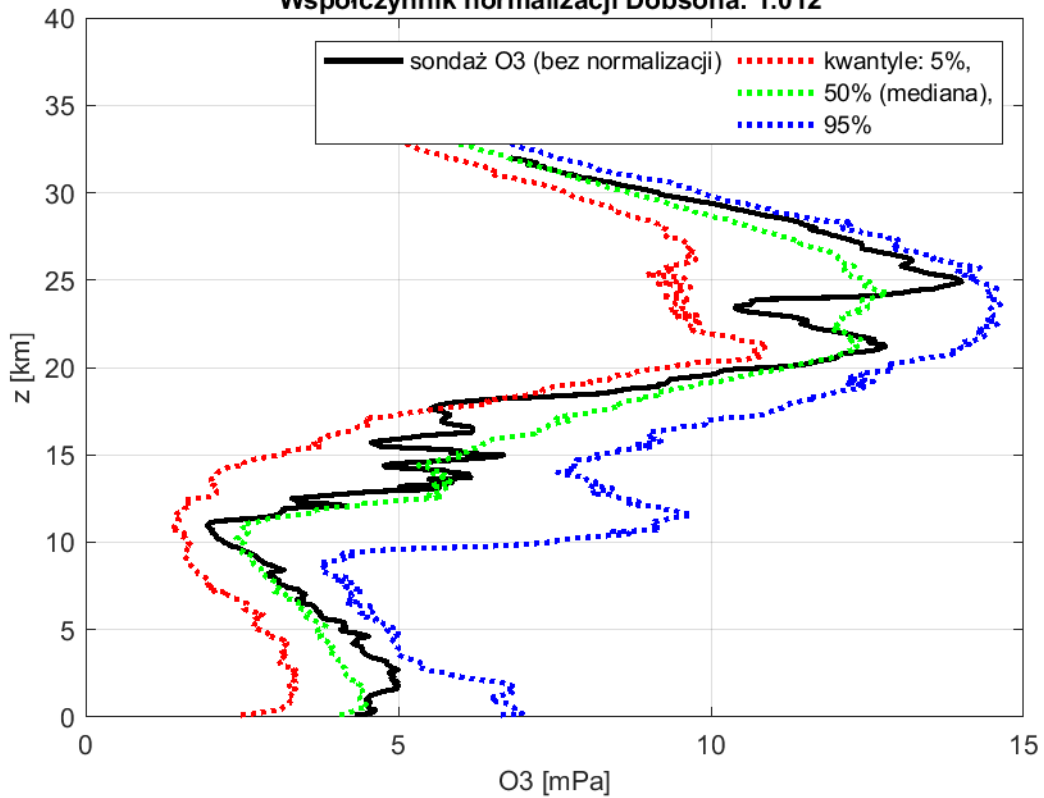


2022-07-25 godz. 11:15:50 - 11:23:26 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

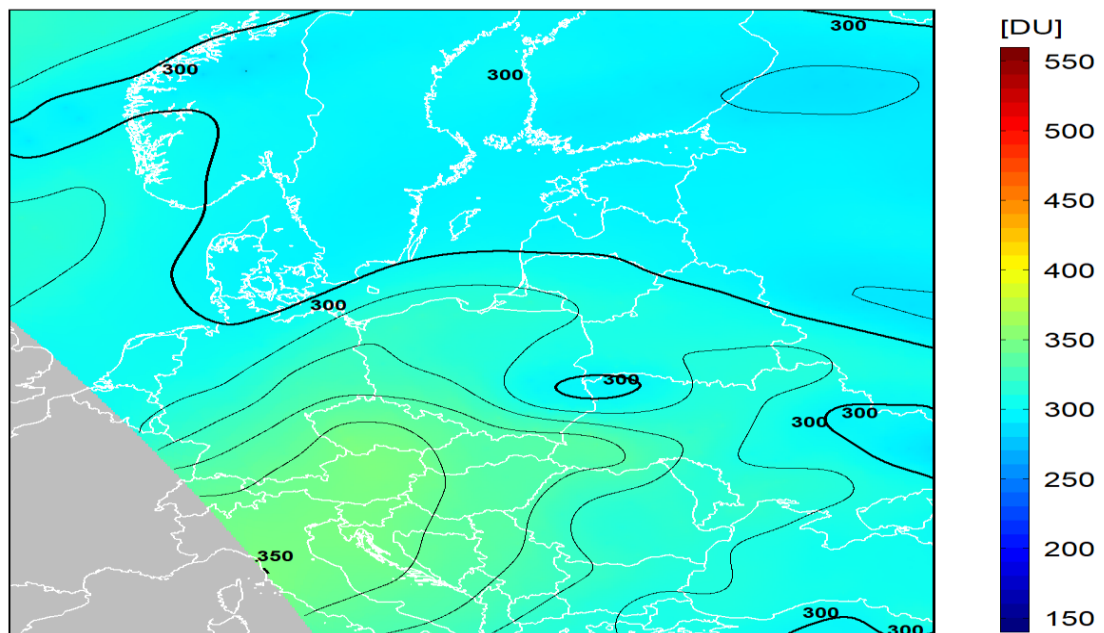


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-08-12 12UTC  
 Belsk CZO3: 317D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 317±16D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.012

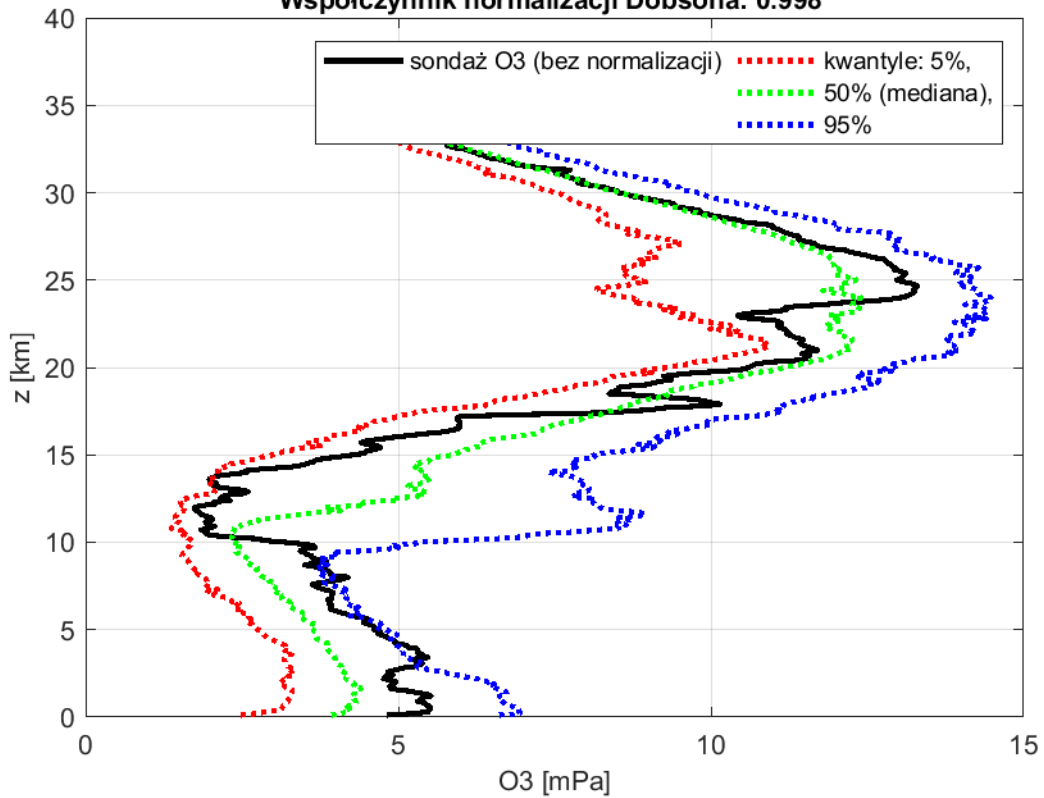


2022-08-12 godz. 10:38:00 - 10:46:29 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

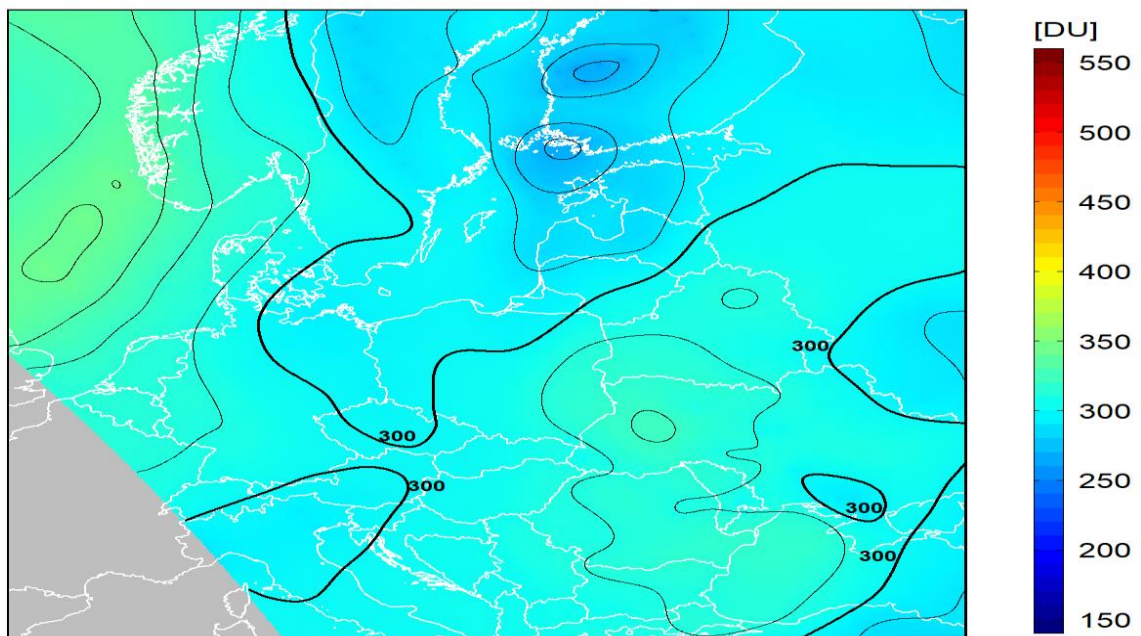


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-08-17 12UTC  
Belsk CZO3: 311D , norma CZO3( $\pm 15$  dni od daty sondażu): 313 $\pm$ 16D  
Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.998

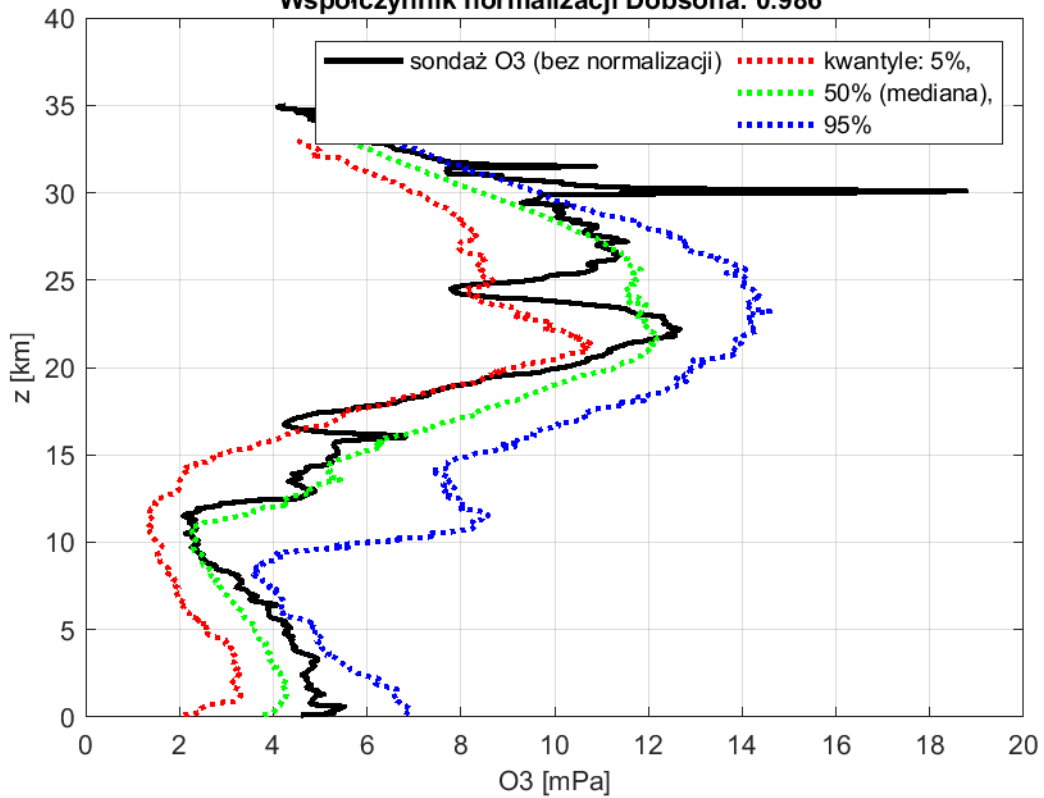


2022-08-17 godz. 10:44:23 - 10:52:38 UTC  
Całkowita zawartość ozonu ( $O_3$ ) w kolumnie atmosfery

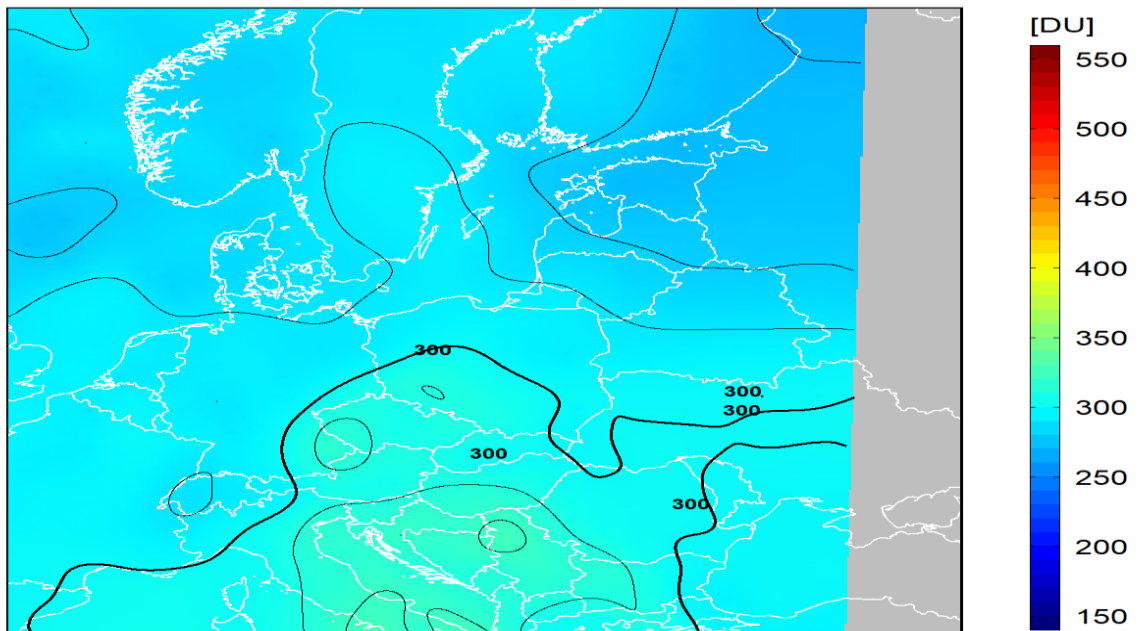


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-08-24 12UTC  
 Belsk CZO3: 307D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 310±19D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.986

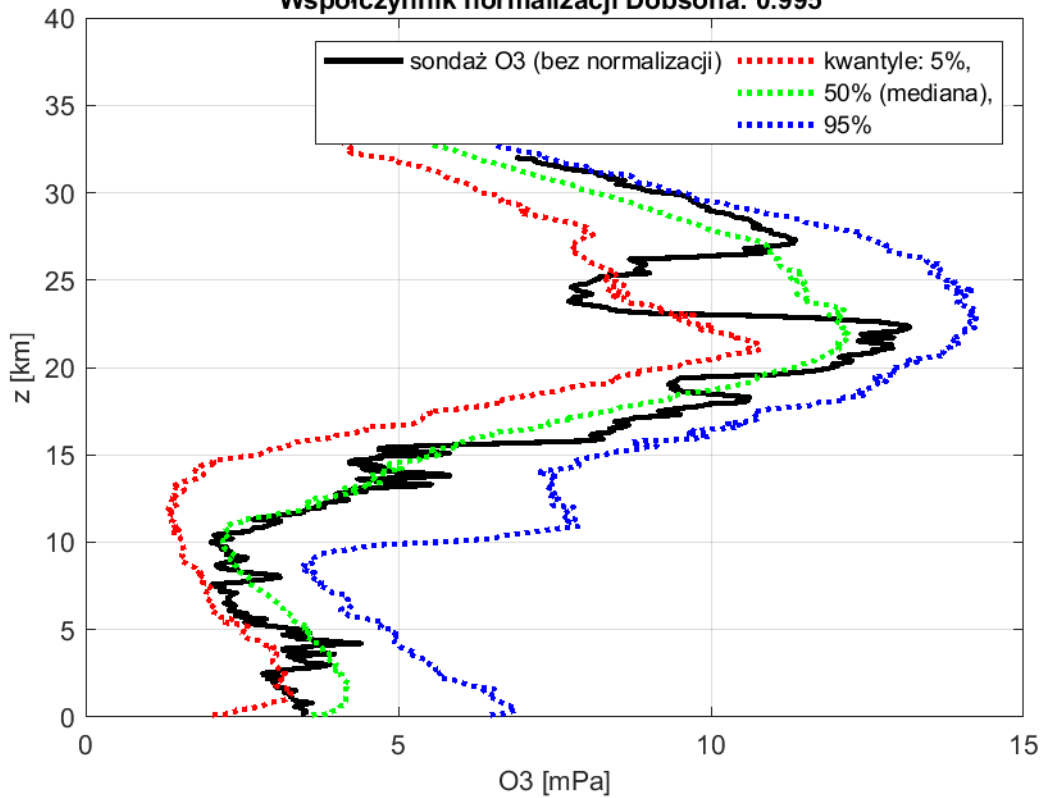


2022-08-24 godz. 11:54:14 - 12:01:21 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

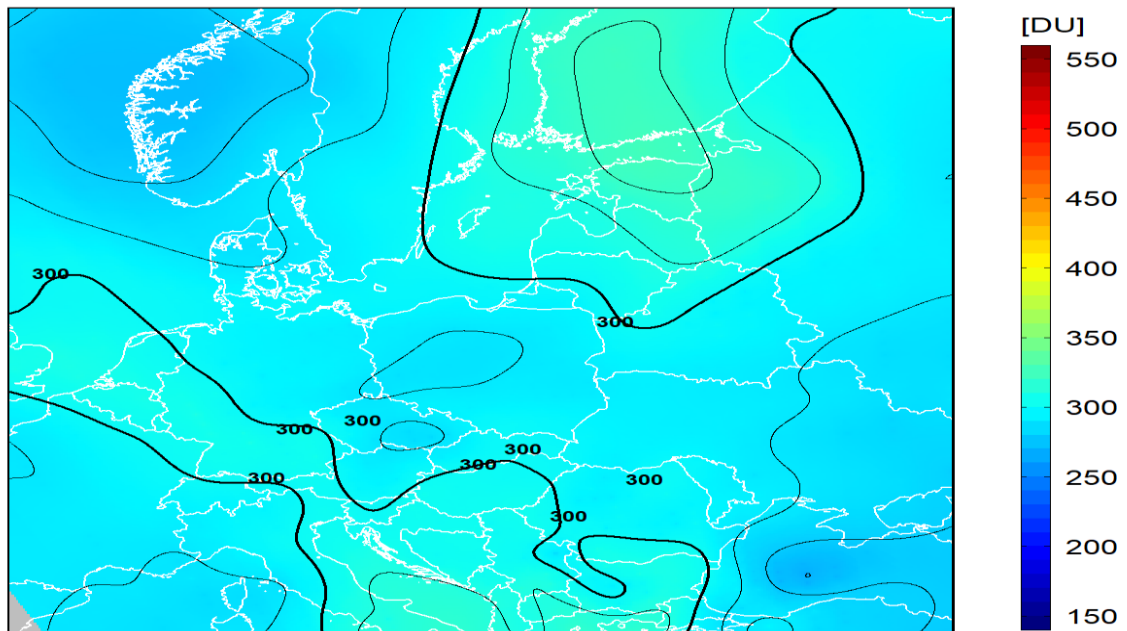


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-08-31 12UTC  
 Belsk CZO3: 294D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 304±20D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.995

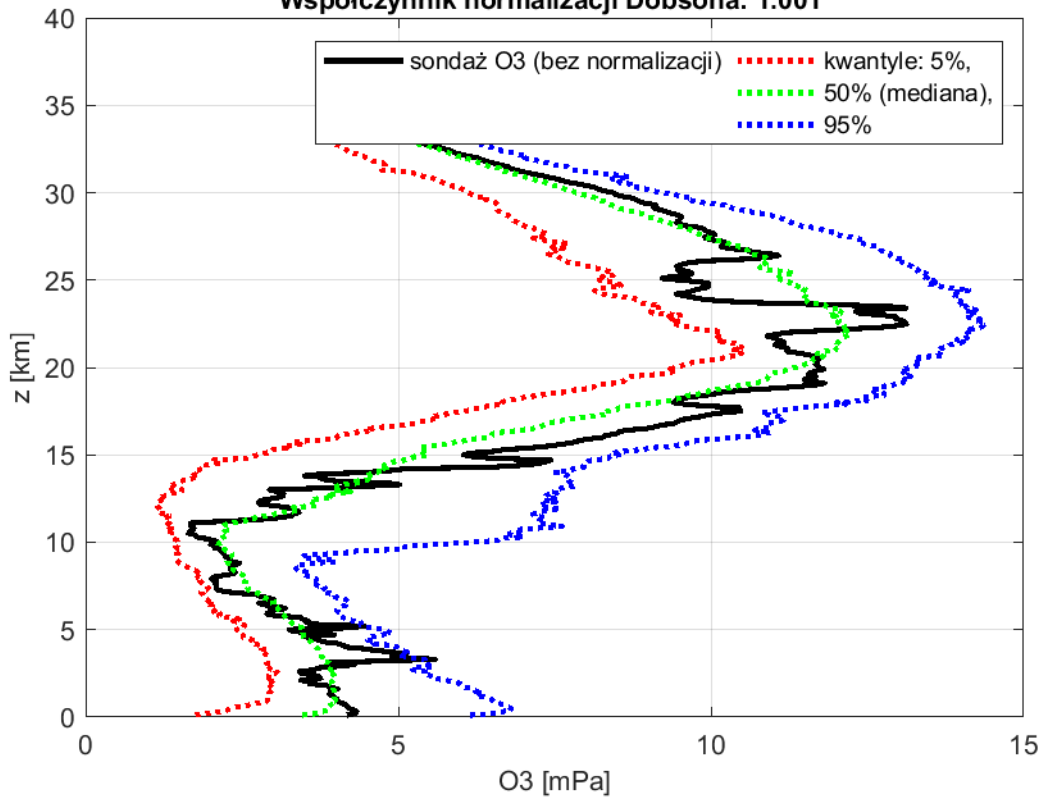


2022-08-31 godz. 11:22:30 - 11:30:07 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

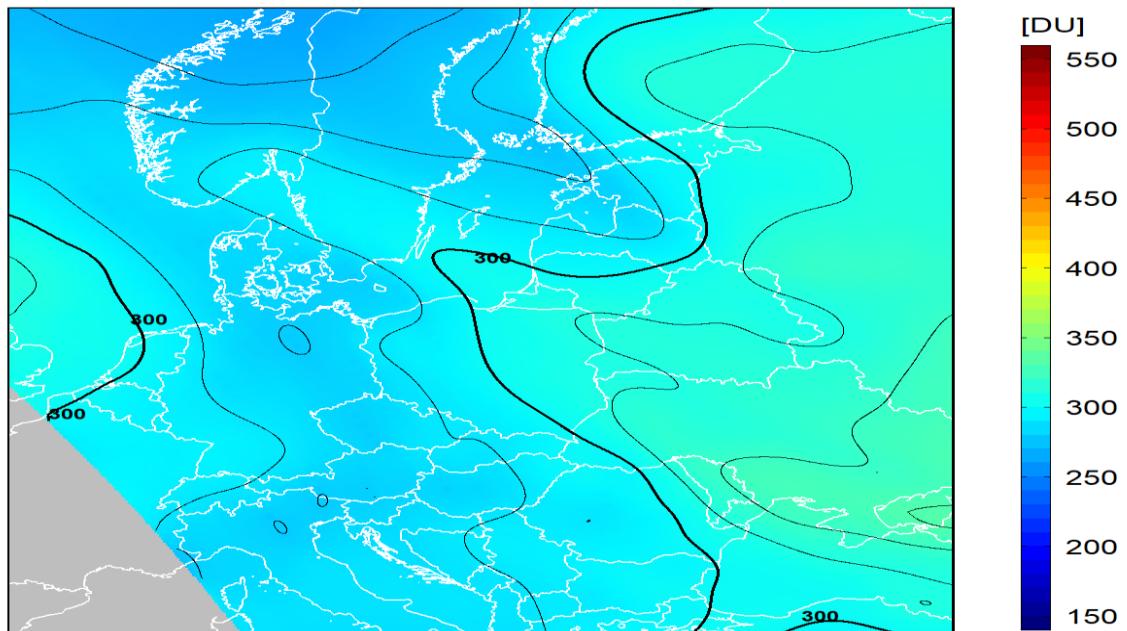


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-09-07 12UTC  
 Belsk CZO3: 308D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 301±21D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.001

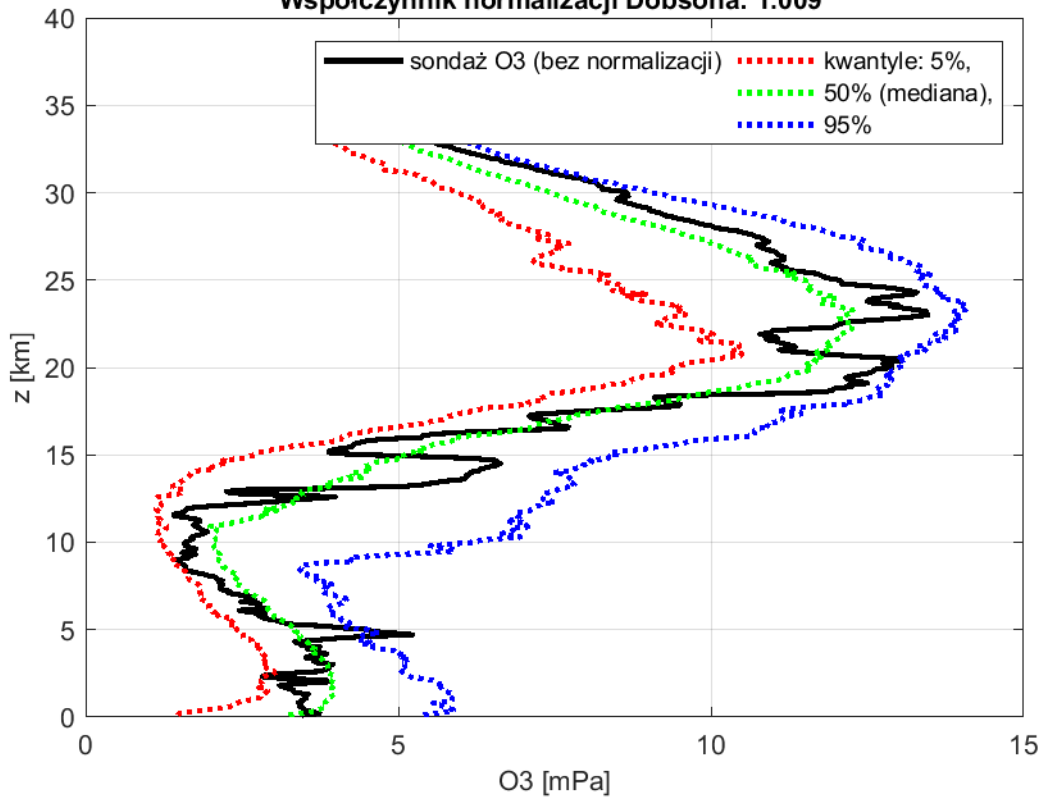


2022-09-07 godz. 10:50:52 - 10:59:06 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

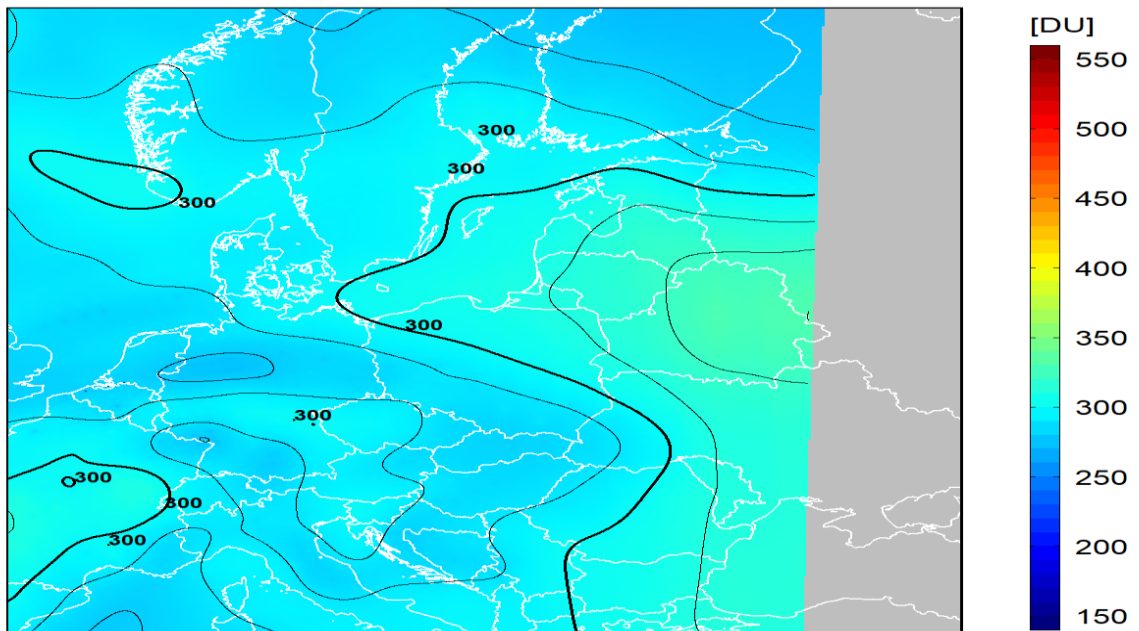


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-09-14 12UTC  
 Belsk CZO3: 304D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 298±21D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.009



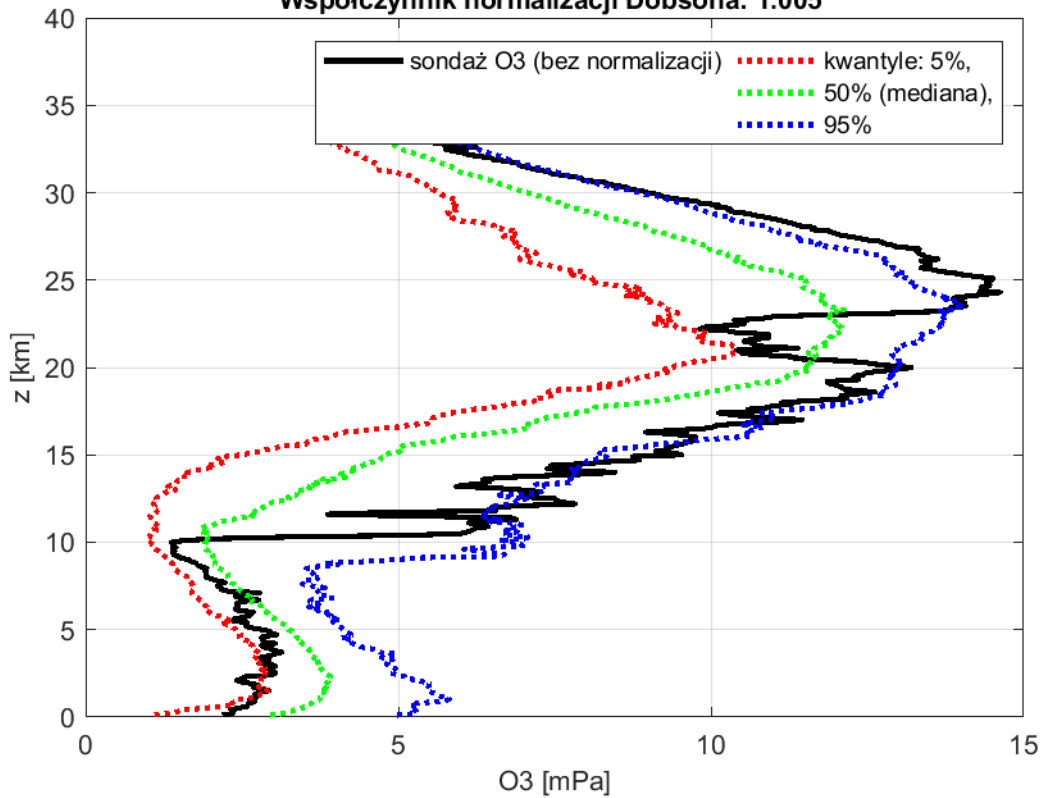
2022-09-14 godz. 12:00:42 - 12:07:49 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



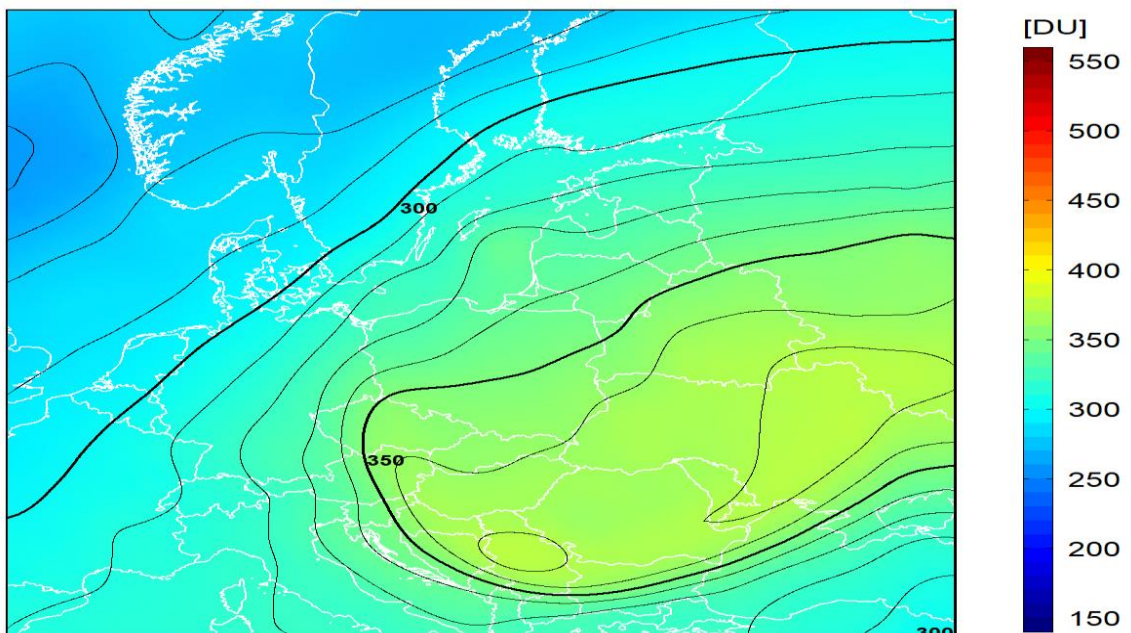
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS



Legionowo 2022-09-21 12UTC  
 Belsk CZO3: 348D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 294±22D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.005

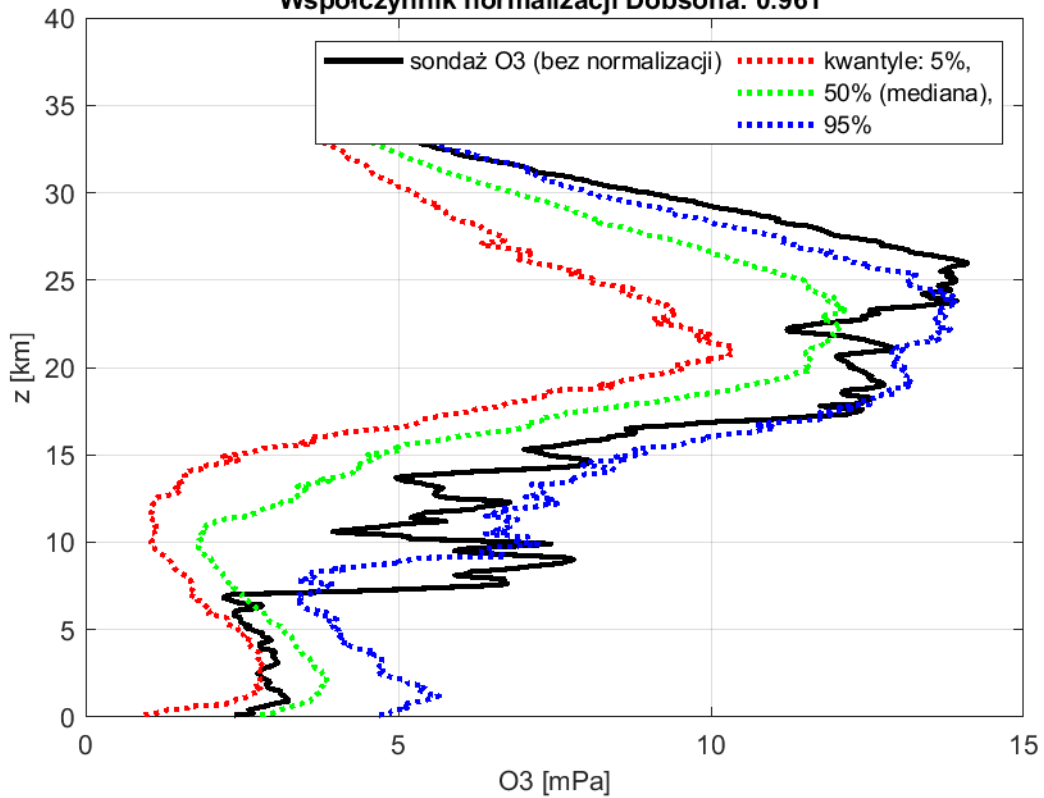


2022-09-21 godz. 11:28:59 - 11:36:28 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu (O<sub>3</sub>) w kolumnie atmosfery

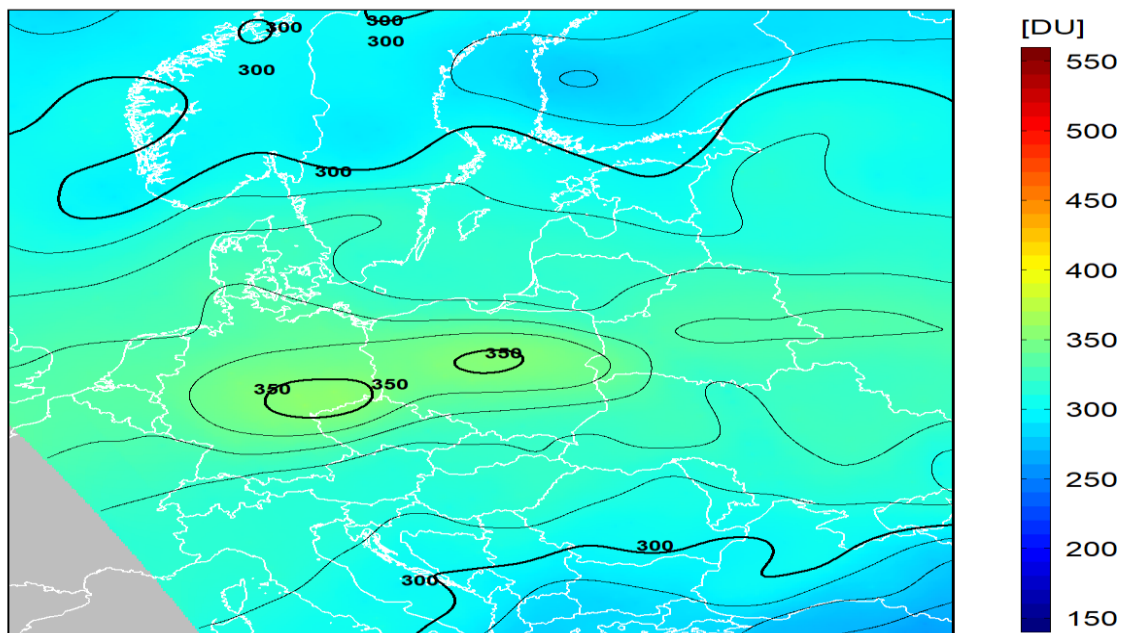


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-09-28 12UTC  
 Belsk CZO3: 339D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 290±22D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.961

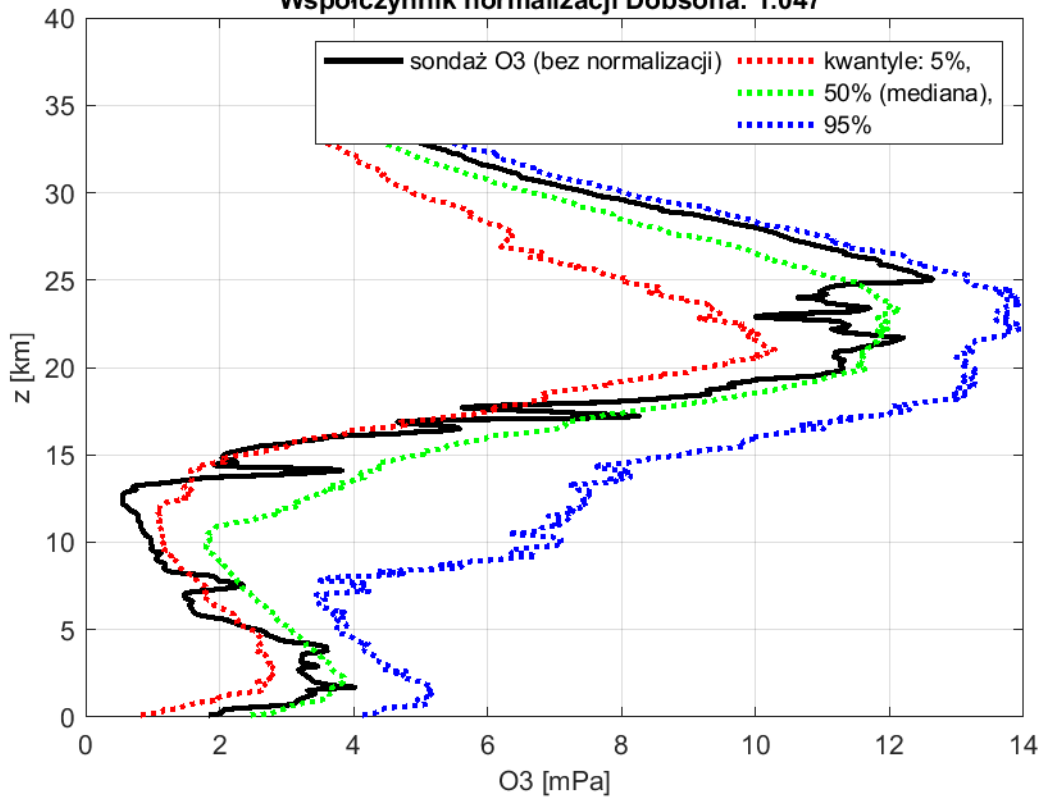


2022-09-28 godz. 10:57:22 - 11:05:28 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

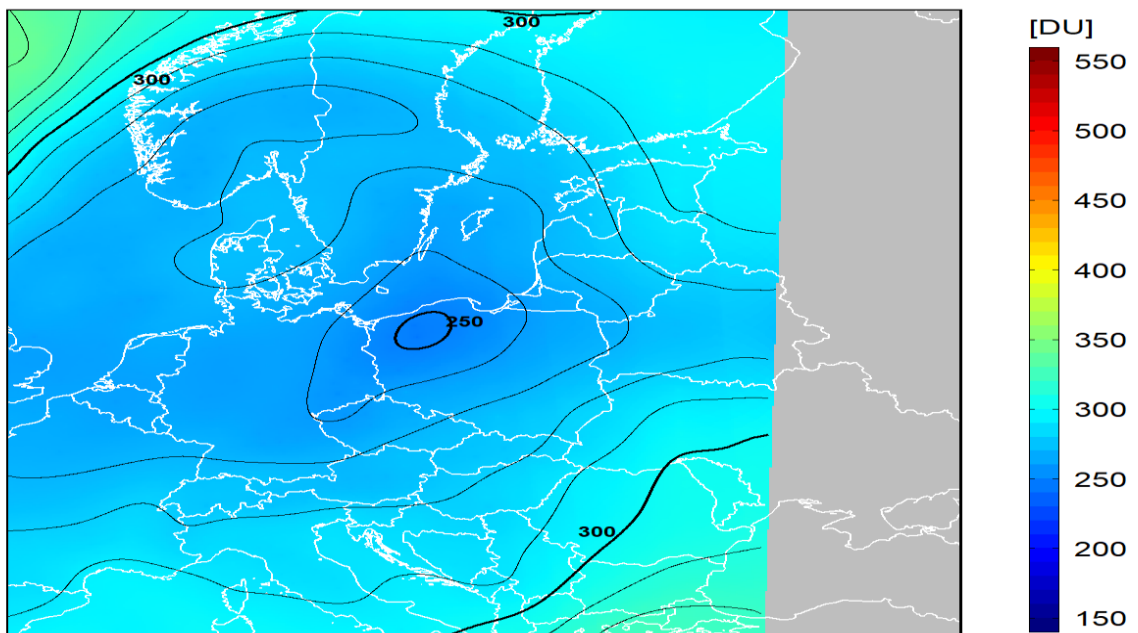


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-10-05 12UTC  
 Belsk CZO3: 279D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 288±23D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.047

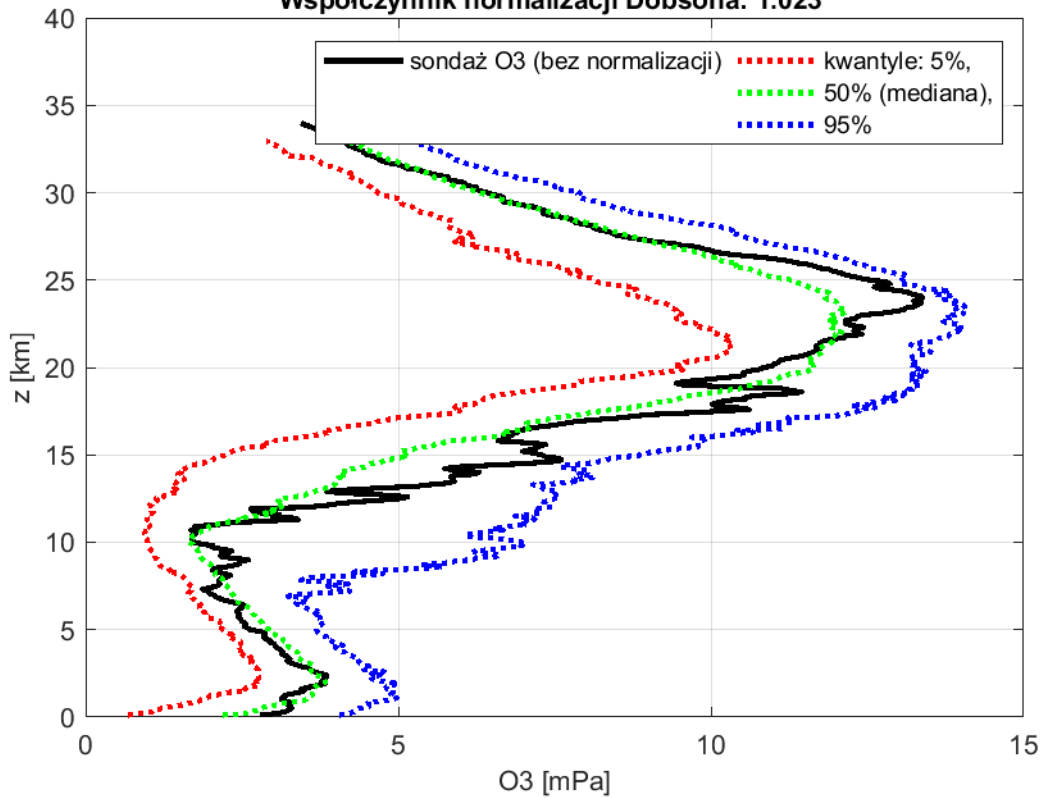


2022-10-05 godz. 12:07:05 - 12:14:12 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

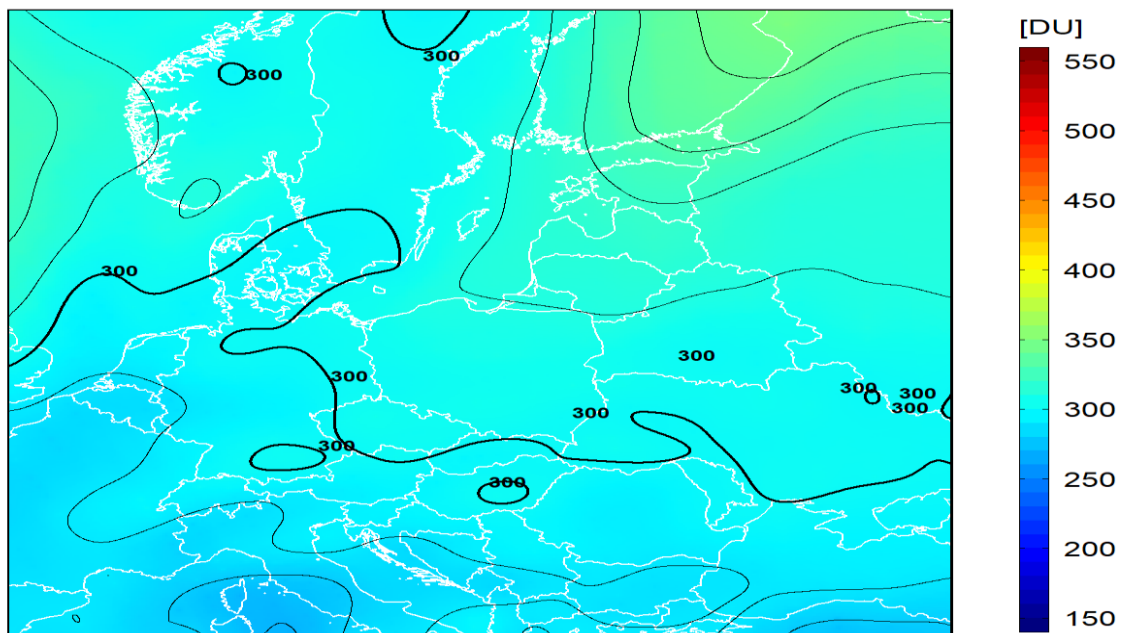


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-10-12 12UTC  
 Belsk CZO3: 304D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 285±23D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.023

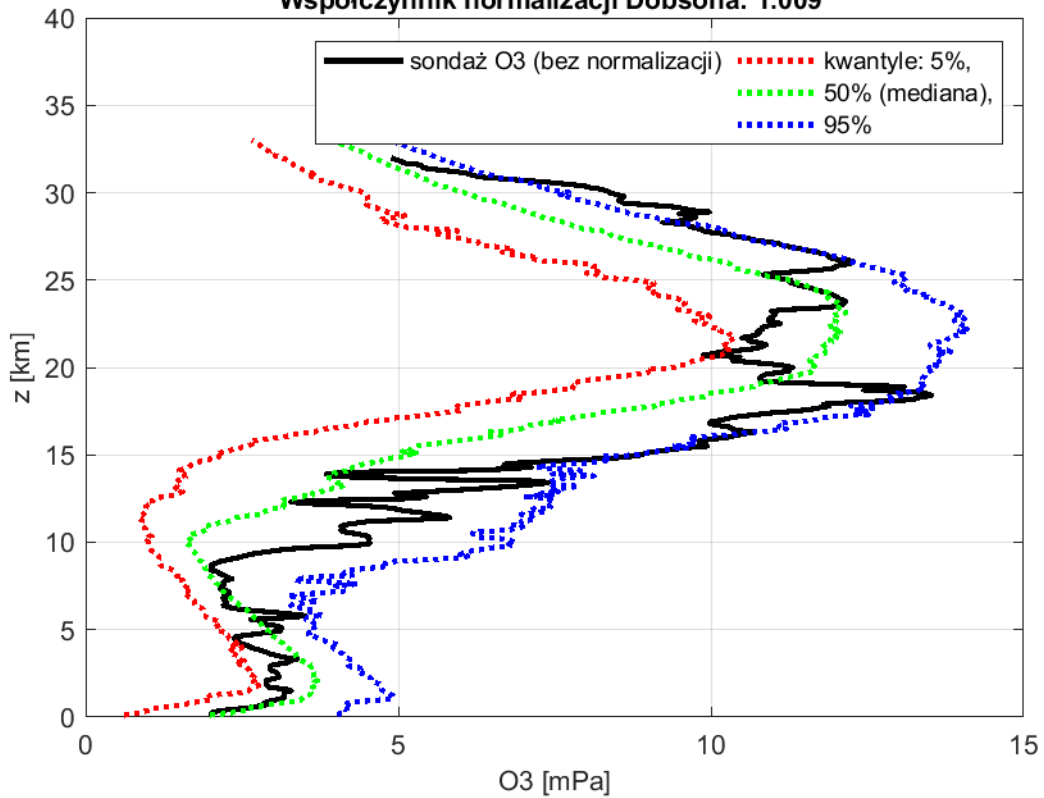


2022-10-12 godz. 11:35:27 - 11:42:49 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

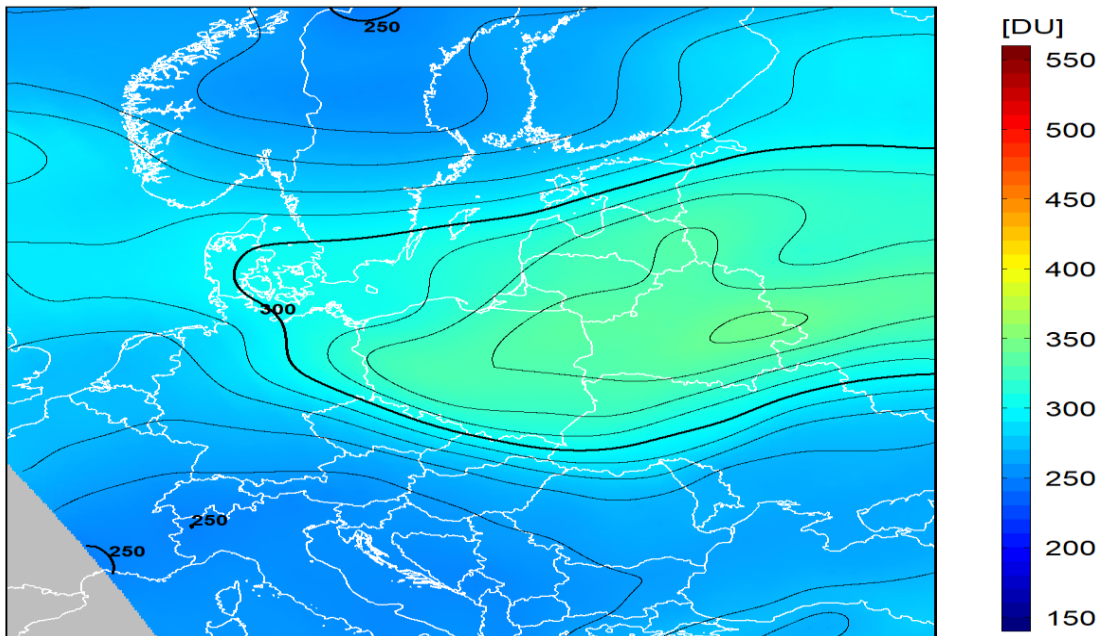


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-10-19 12UTC  
 Belsk CZO3: 322D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 283±24D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.009

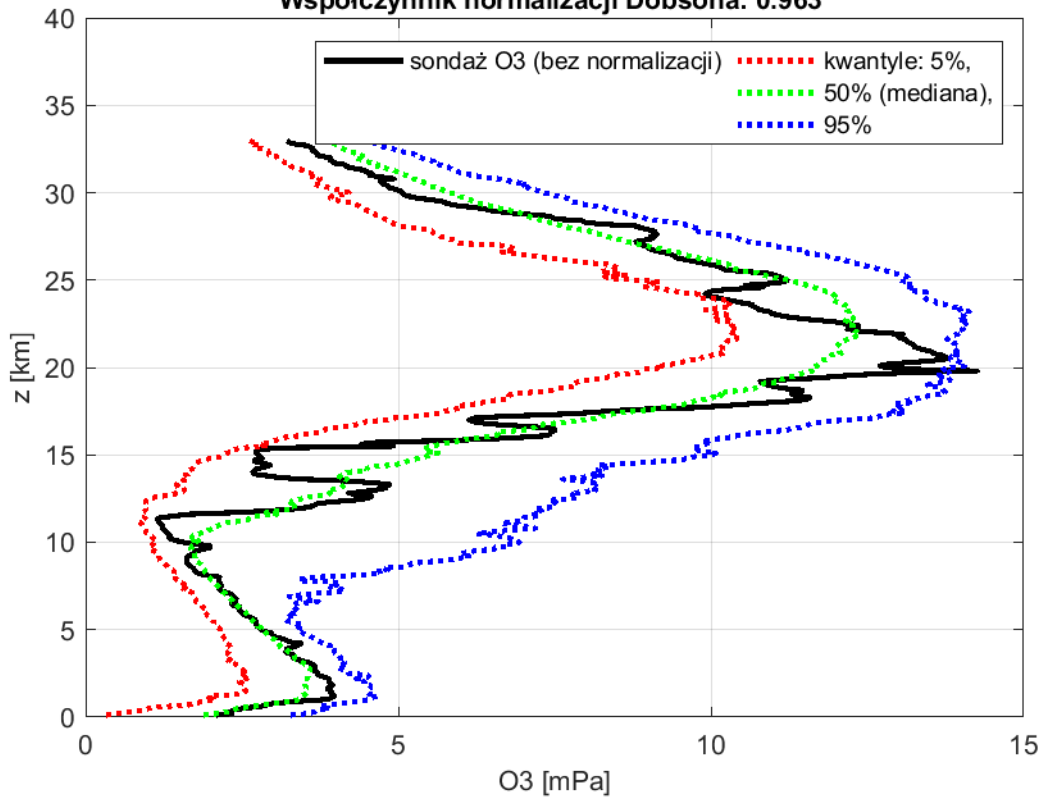


2022-10-19 godz. 11:03:40 - 11:11:39 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

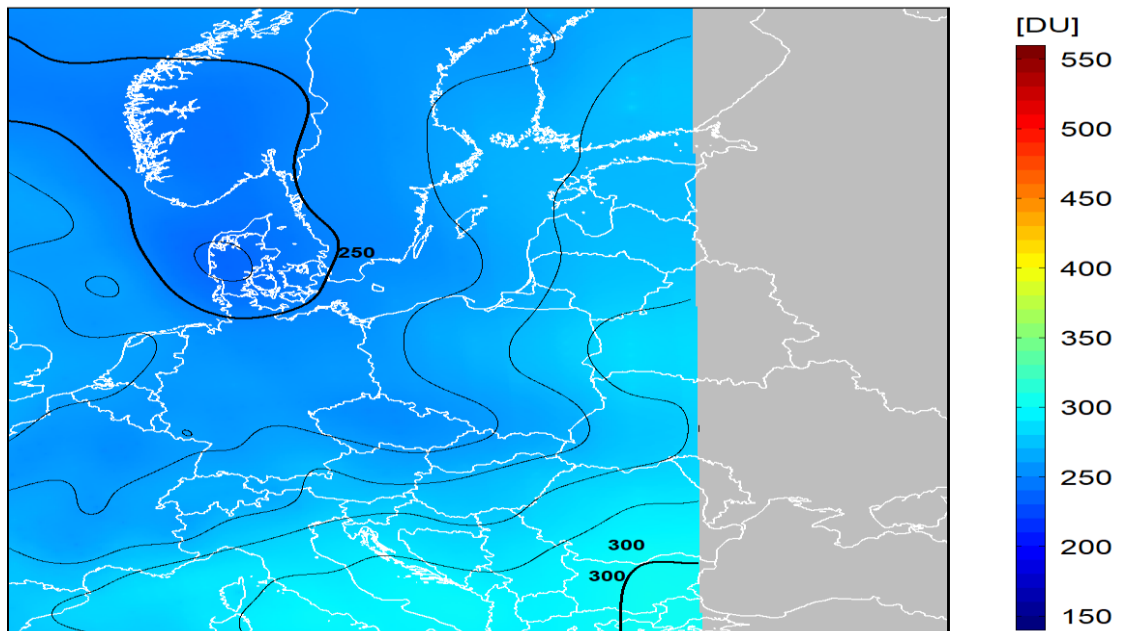


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-10-26 12UTC  
 Belsk CZO3: 265D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 283±24D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.963

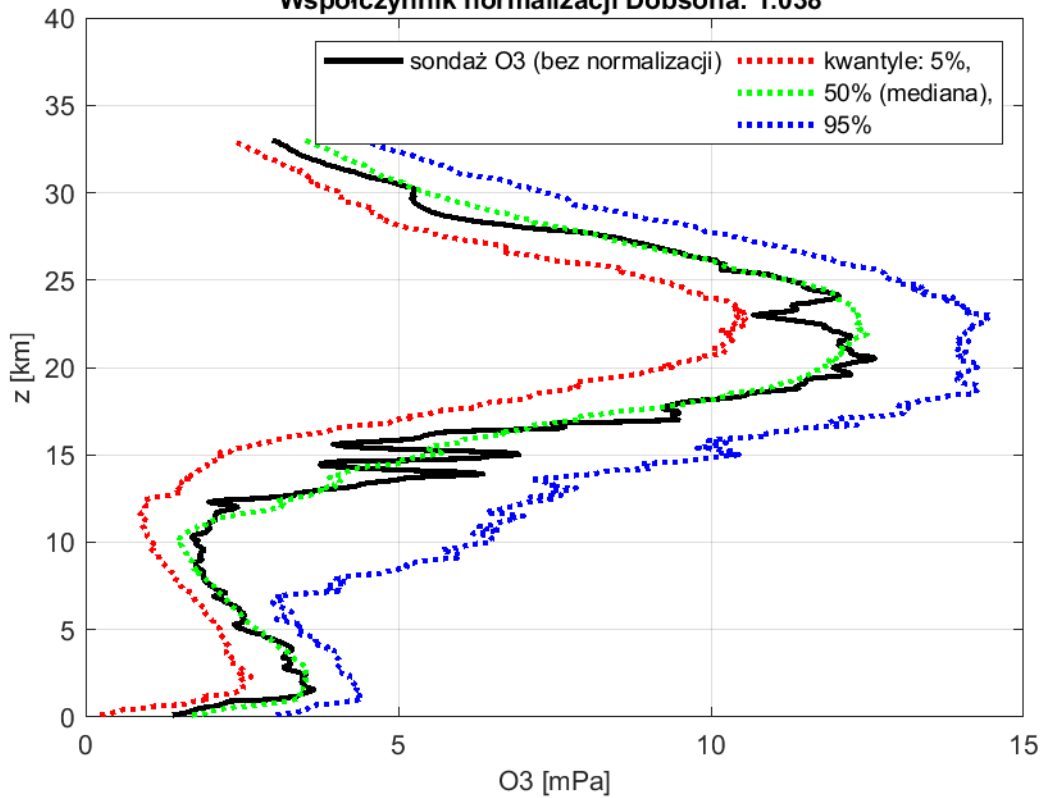


2022-10-26 godz. 12:13:23 - 12:20:30 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

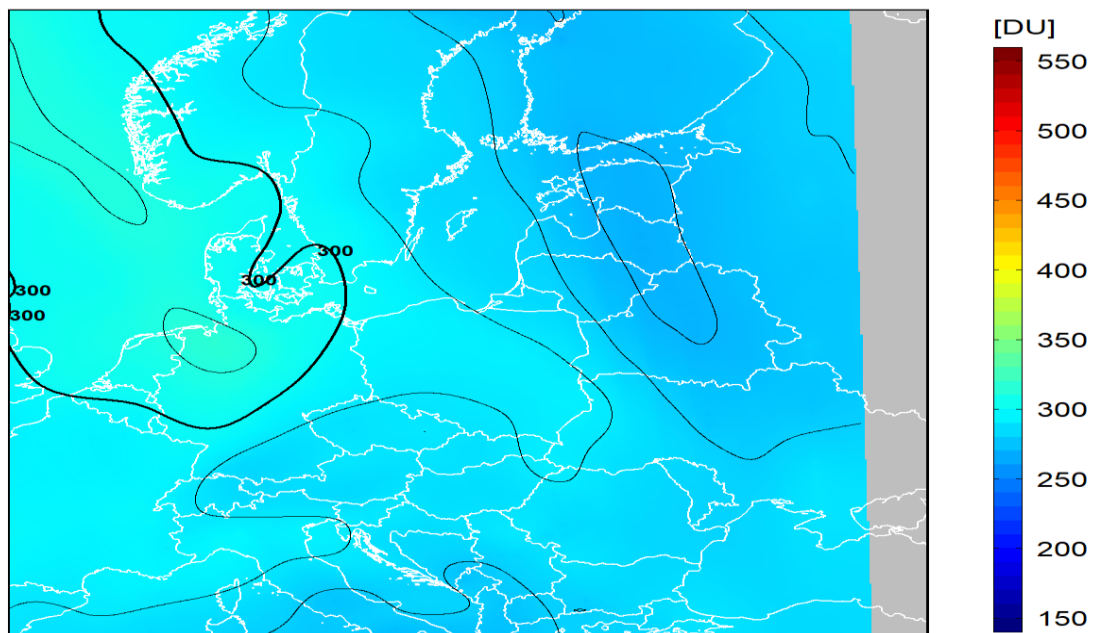


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-11-02 12UTC  
 Belsk CZO3: 287D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 279±24D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 1.038

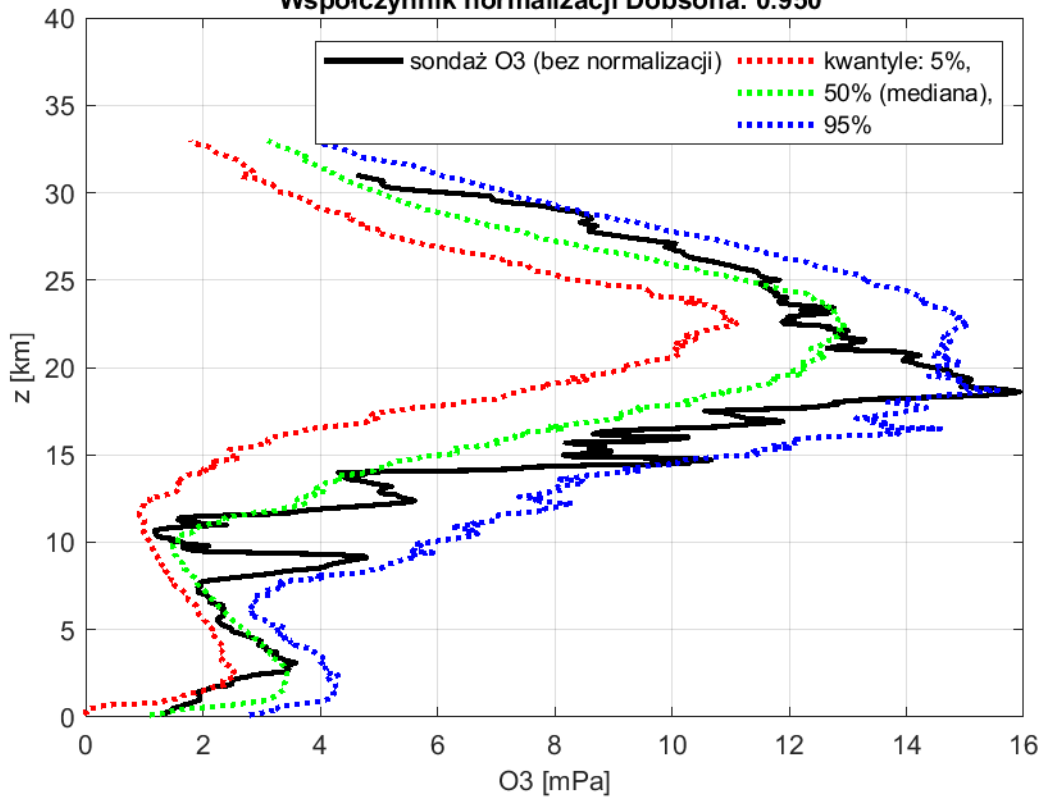


2022-11-02 godz. 11:41:37 - 11:48:58 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



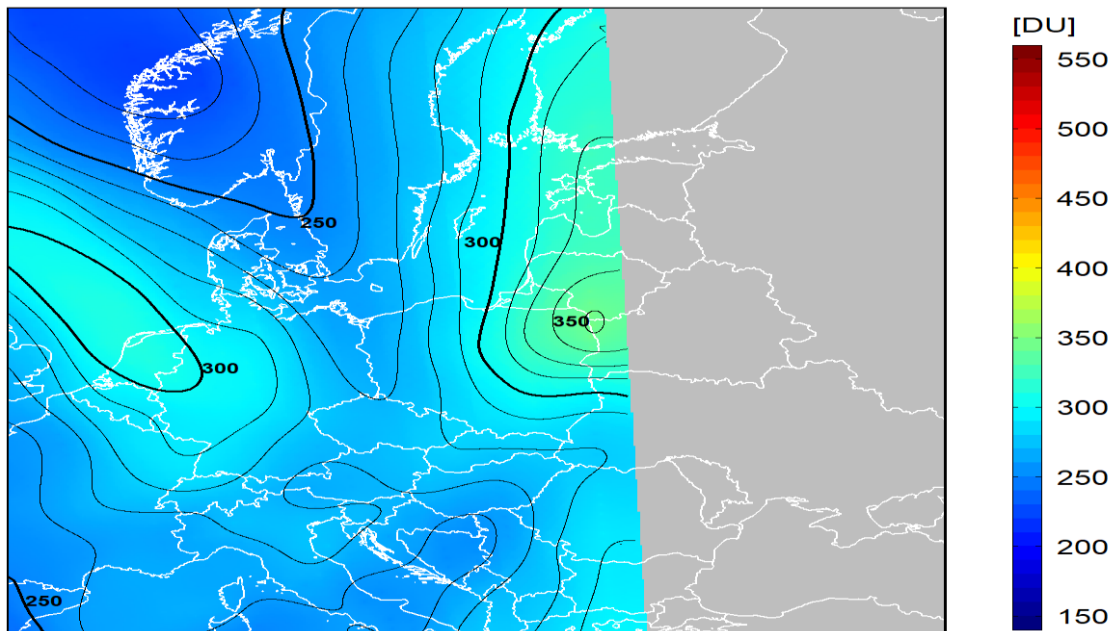
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-11-16 12UTC  
 Belsk CZO3: 304D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 281±26D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.950



2022-11-16 godz. 12:19:36 - 12:26:43 UTC

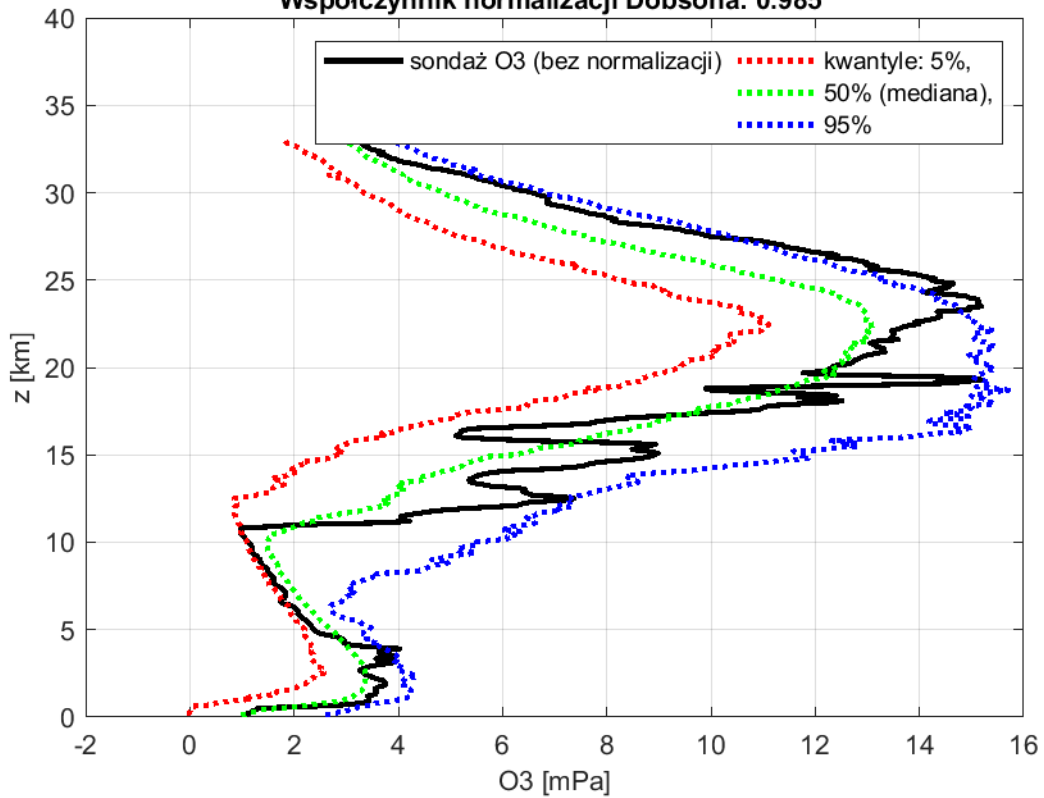
Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



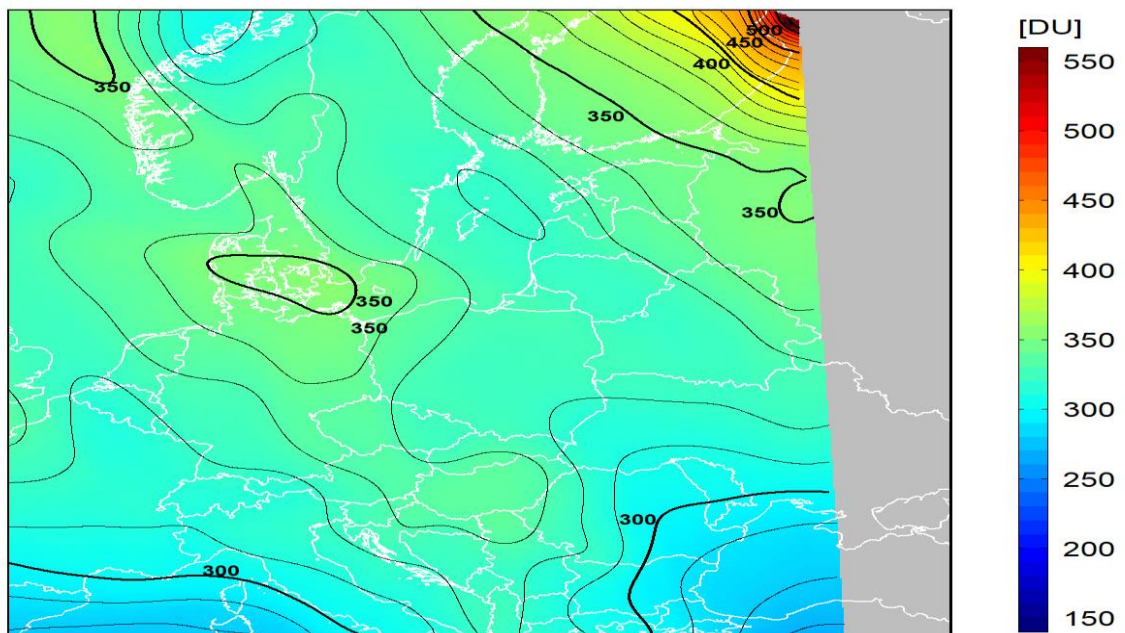
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS



Legionowo 2022-11-23 12UTC  
 Belsk CZO3: 313D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 280±28D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.985

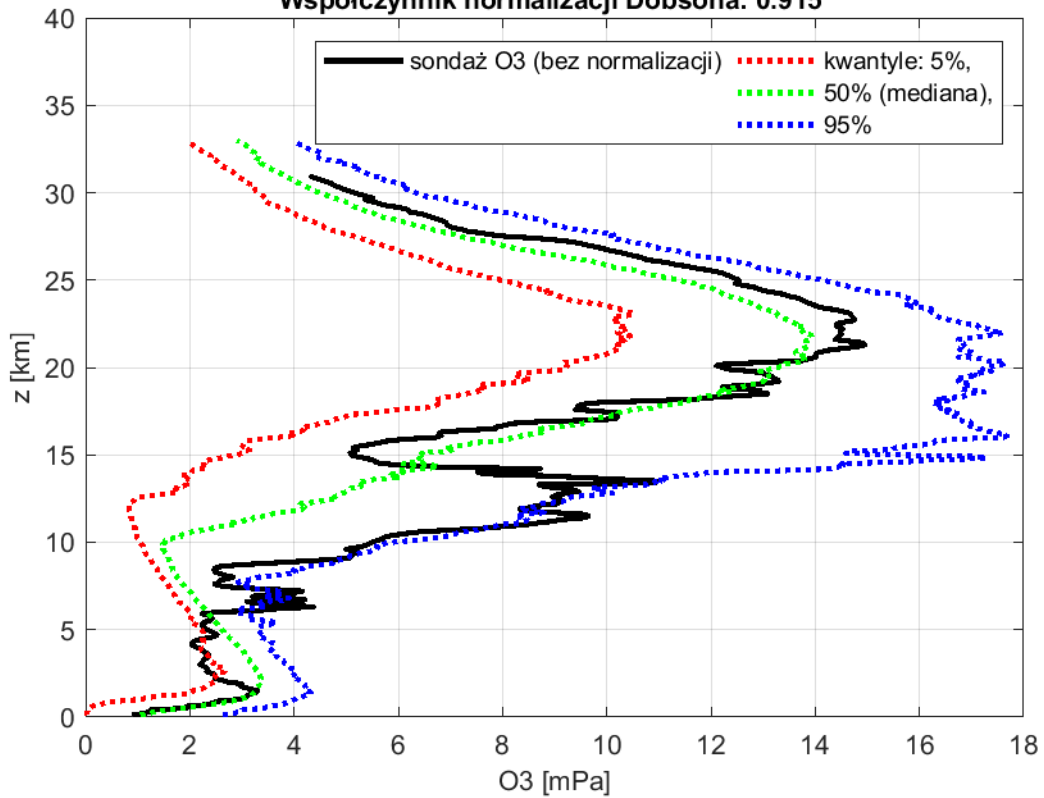


2022-11-23 godz. 11:47:44 - 11:54:58 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

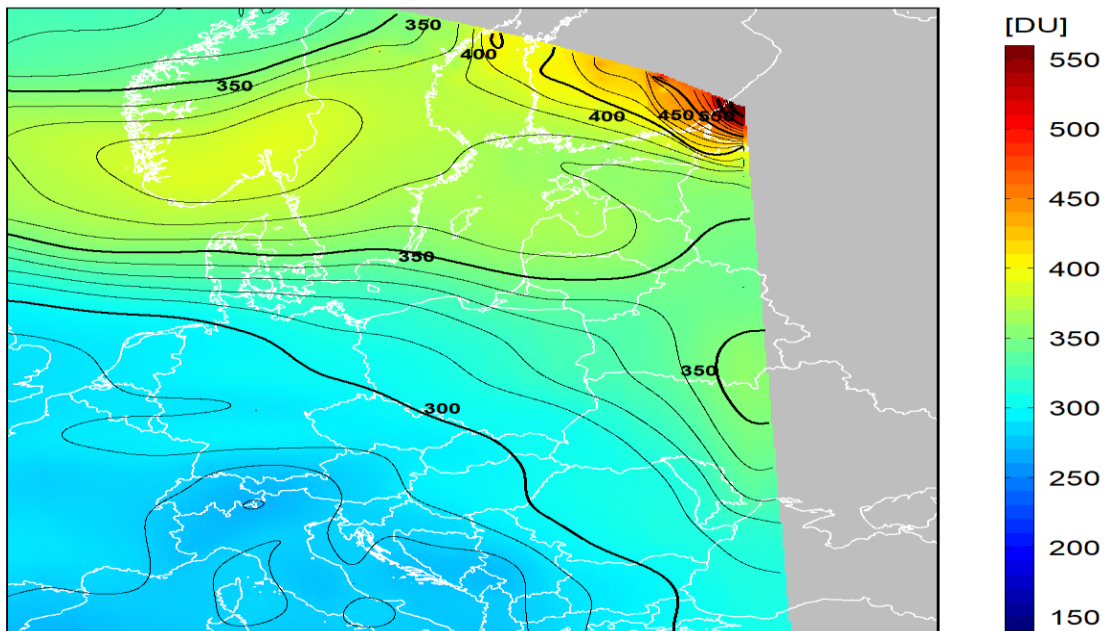


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-12-14 12UTC  
 Belsk CZO3: 300D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 290±37D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.915

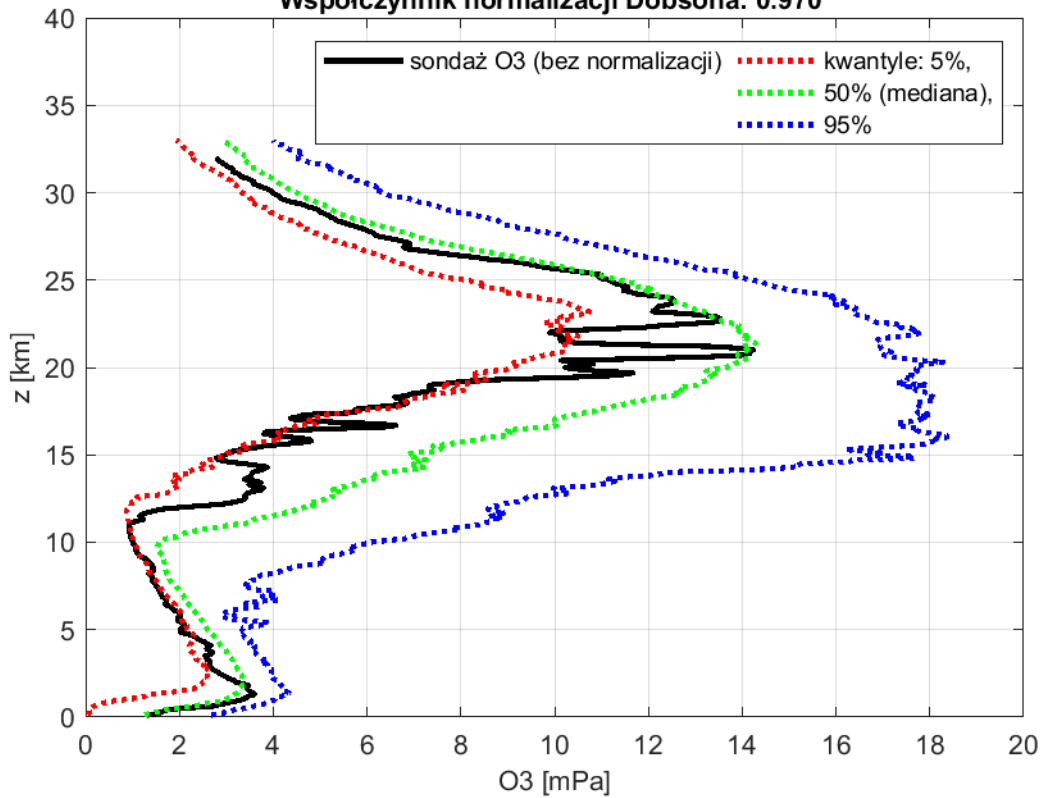


2022-12-14 godz. 11:54:13 - 12:01:20 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery

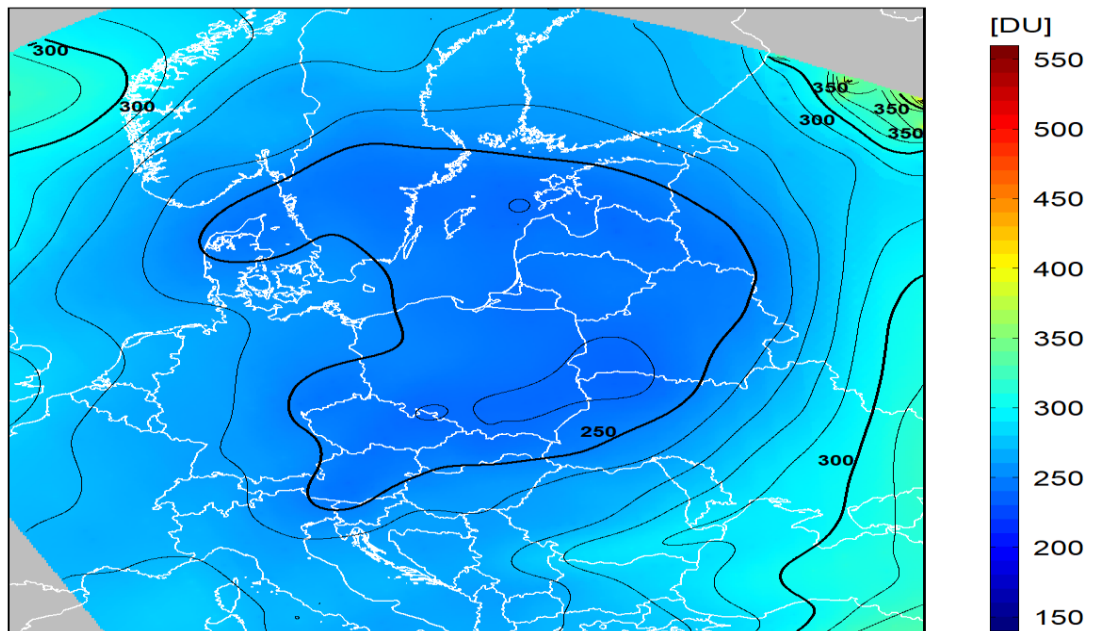


dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-12-21 12UTC  
 Belsk CZO3: 231D , norma CZO3(±15 dni od daty sondażu): 295±37D  
 Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.970

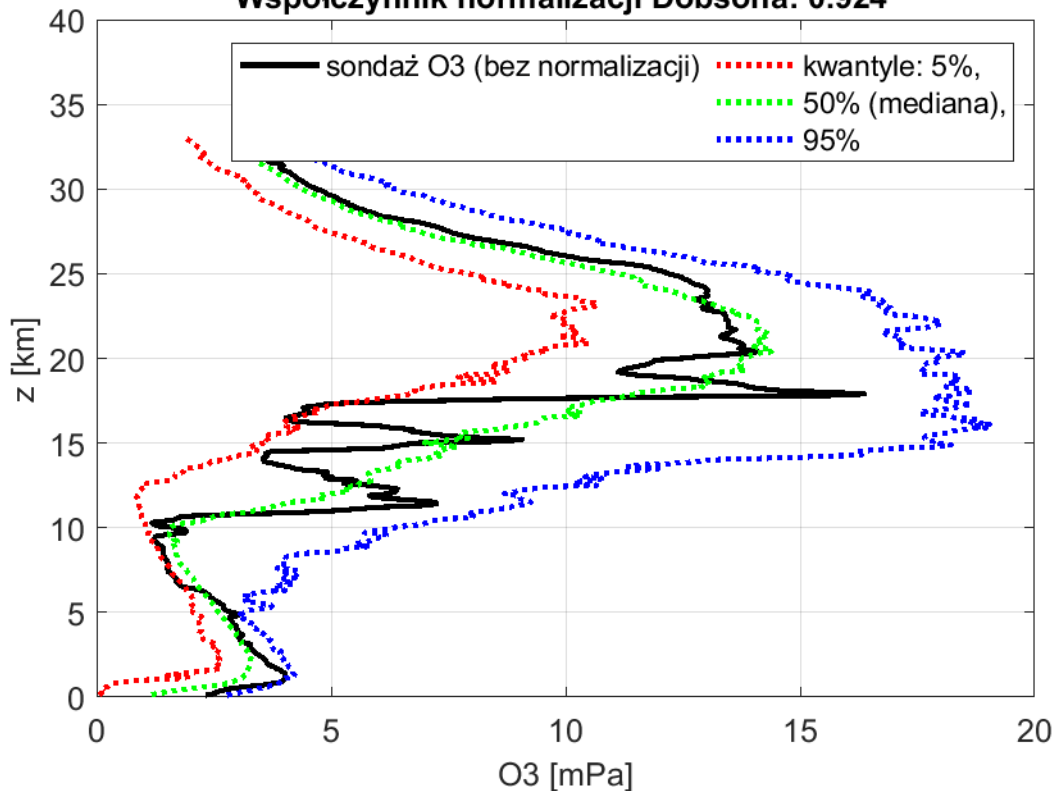


2022-12-21 godz. 11:22:43 - 11:30:05 UTC  
 Całkowita zawartość ozonu ( O<sub>3</sub> ) w kolumnie atmosfery



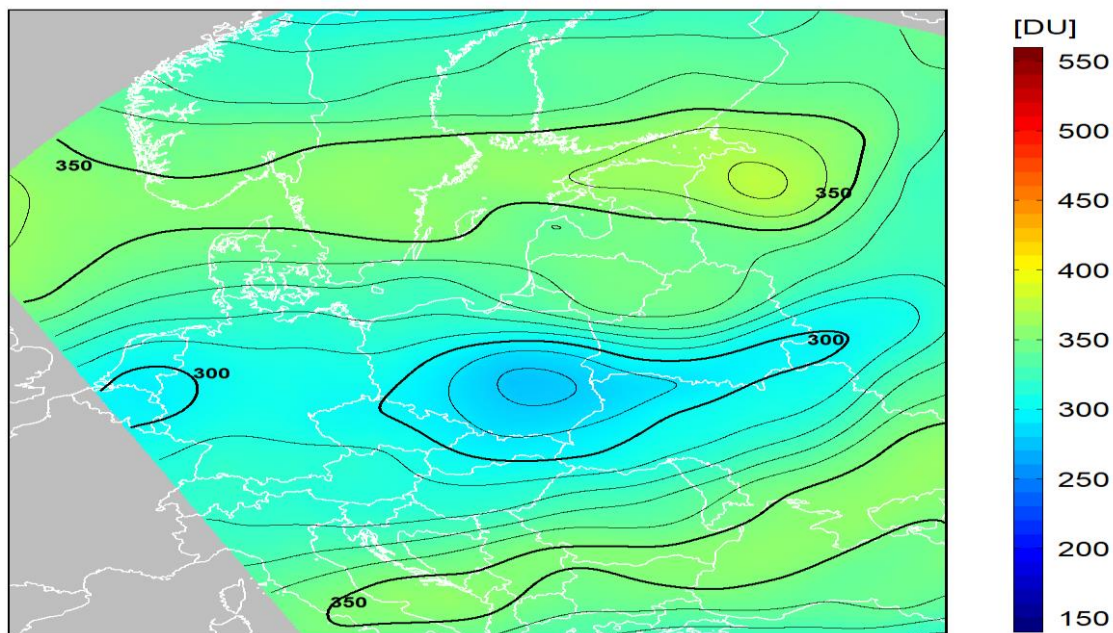
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

Legionowo 2022-12-28 12UTC  
Belsk CZO3: 265D , norma CZO3( $\pm 15$  dni od daty sondażu): 298 $\pm$ 40D  
Współczynnik normalizacji Dobsona: 0.924



2022-12-28 godz. 10:51:05 - 10:58:34 UTC

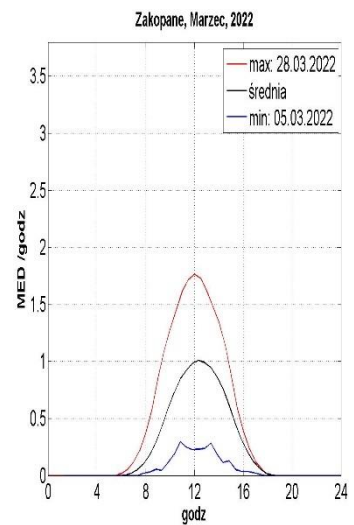
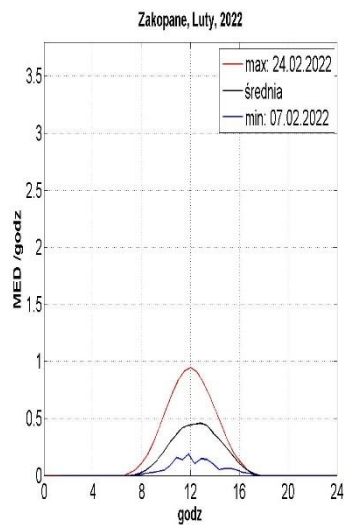
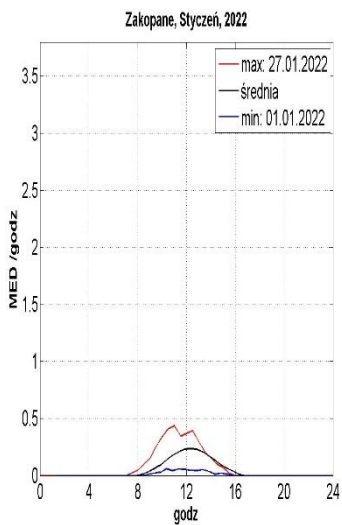
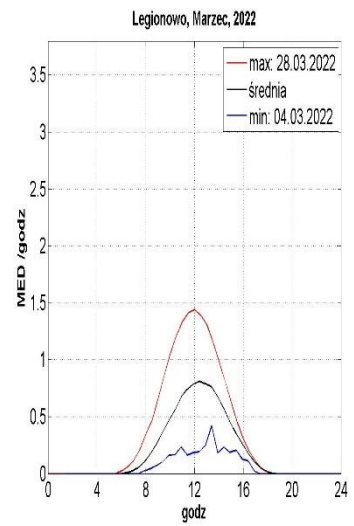
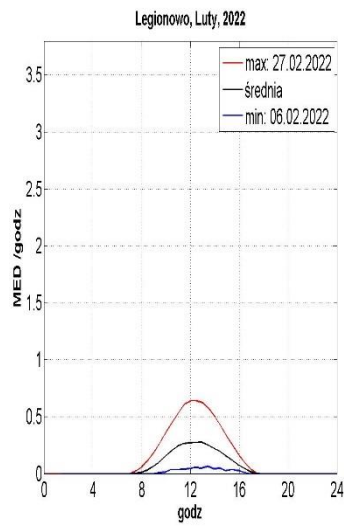
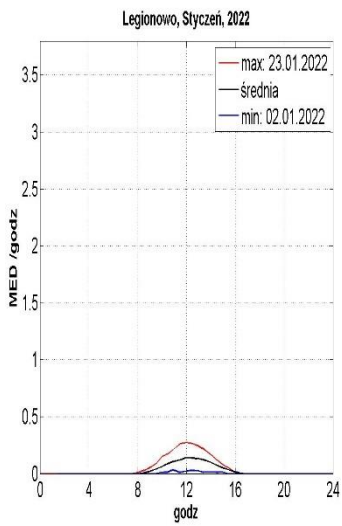
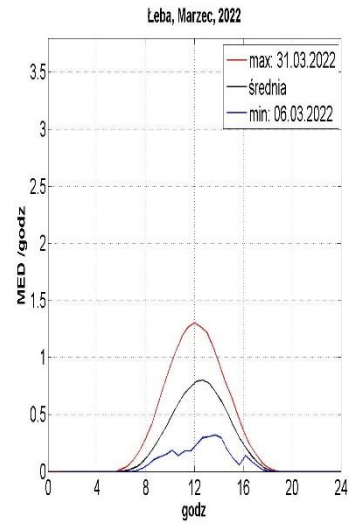
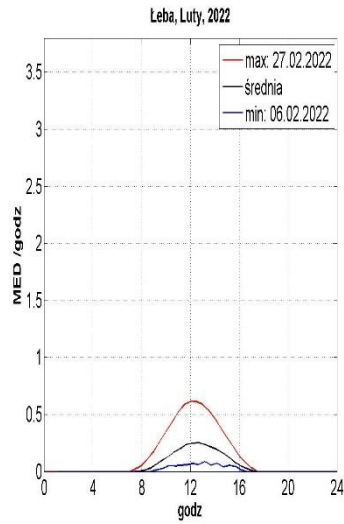
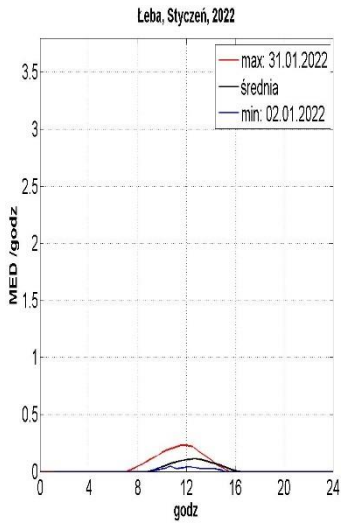
Całkowita zawartość ozonu ( $O_3$ ) w kolumnie atmosfery

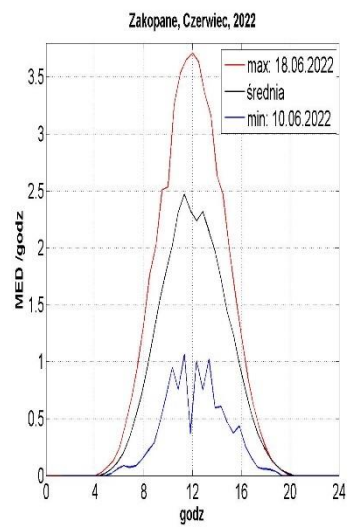
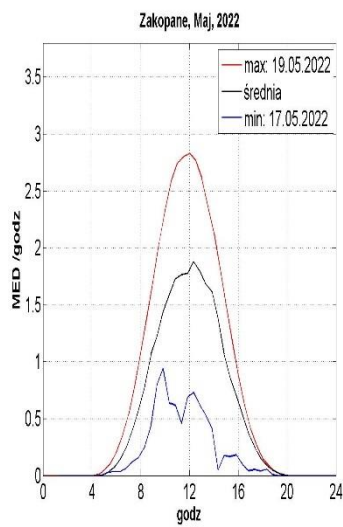
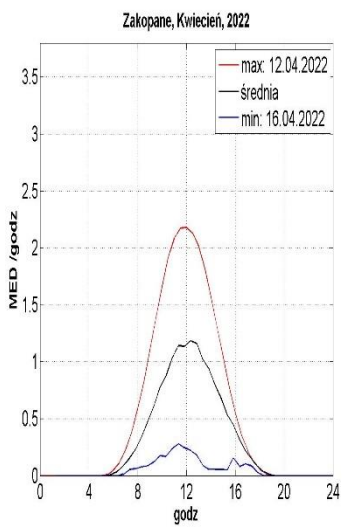
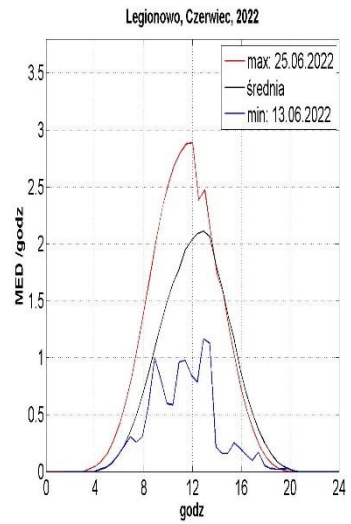
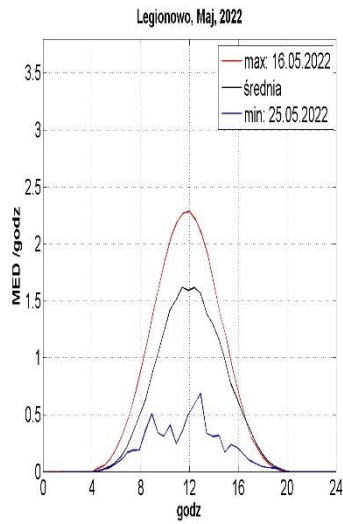
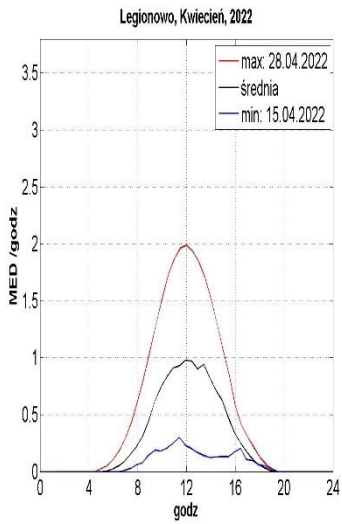
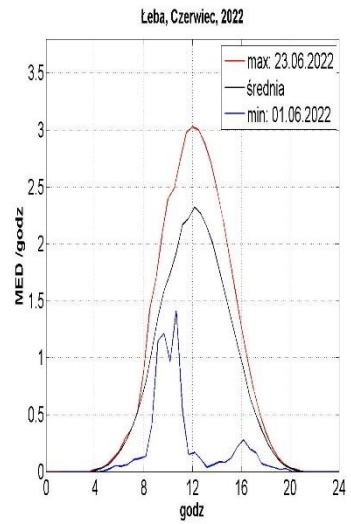
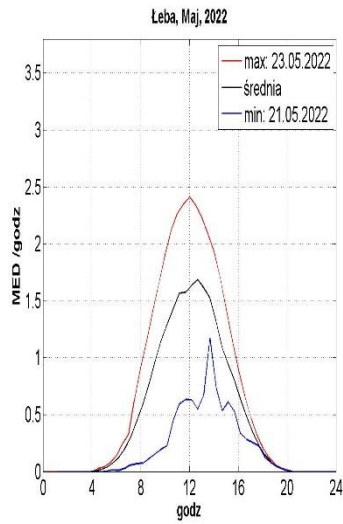
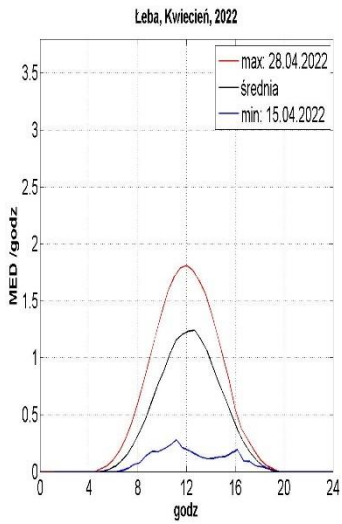


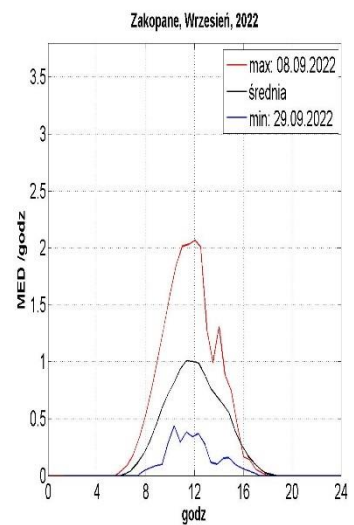
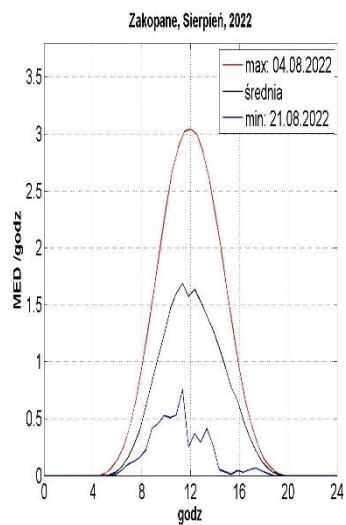
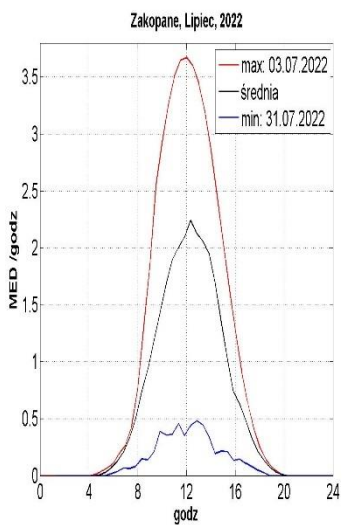
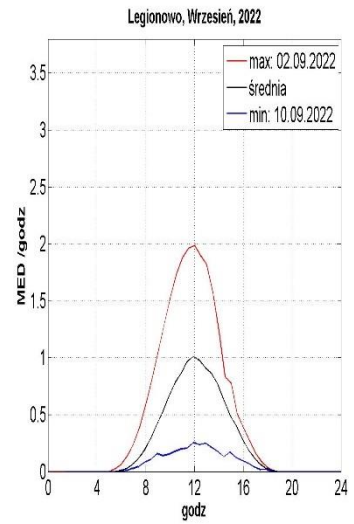
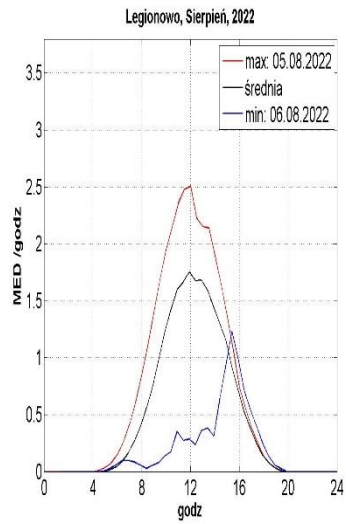
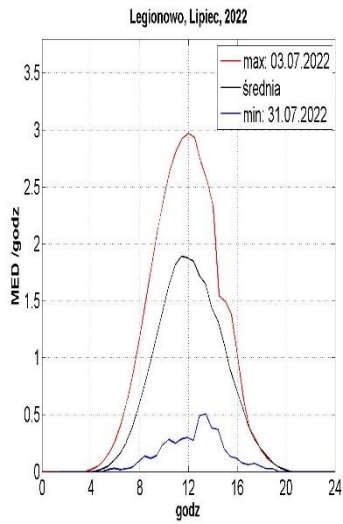
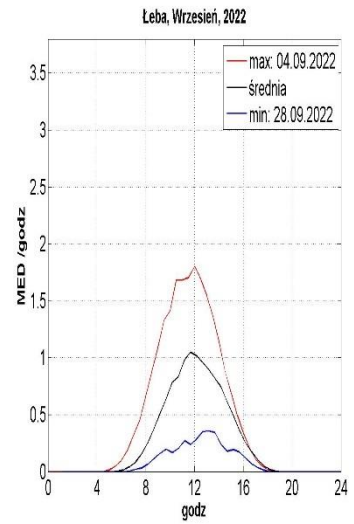
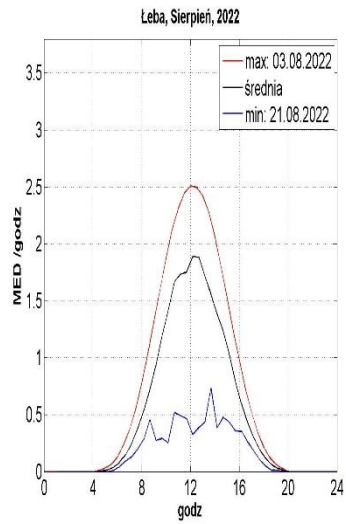
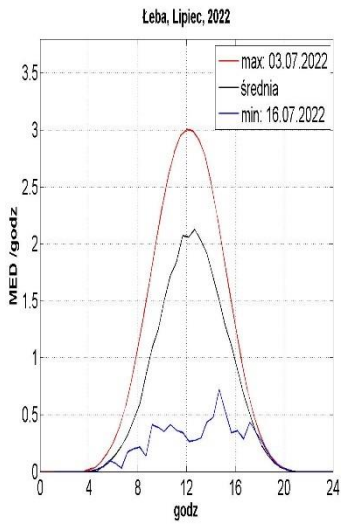
dane satelitarne: Suomi-NPP/OMPS

## **ZAŁĄCZNIK 2**

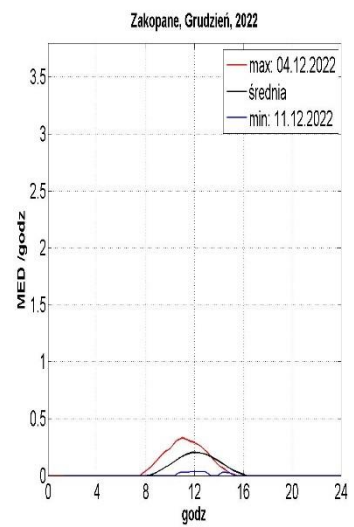
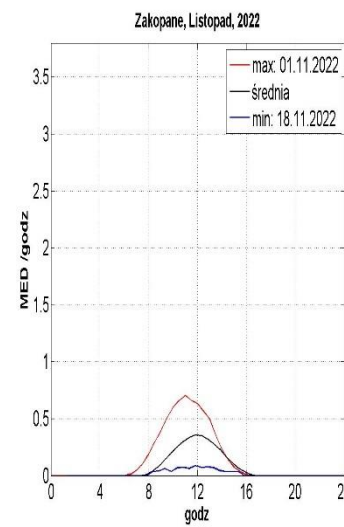
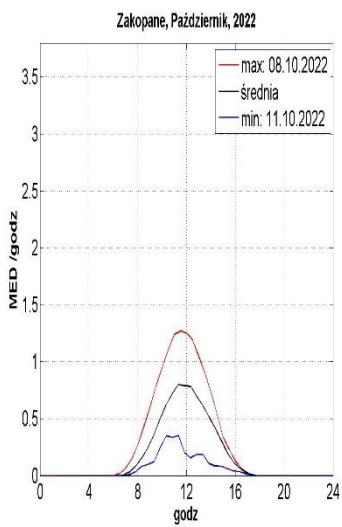
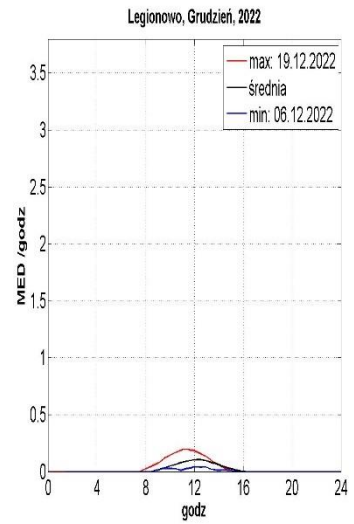
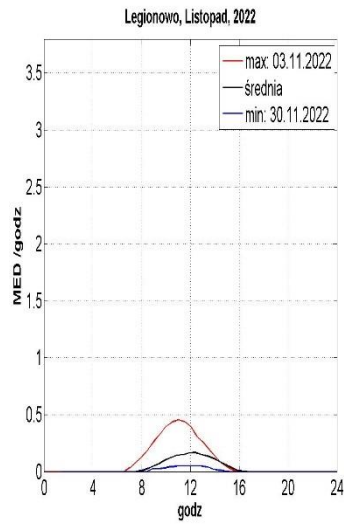
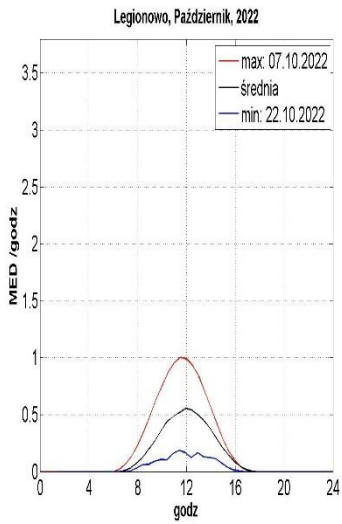
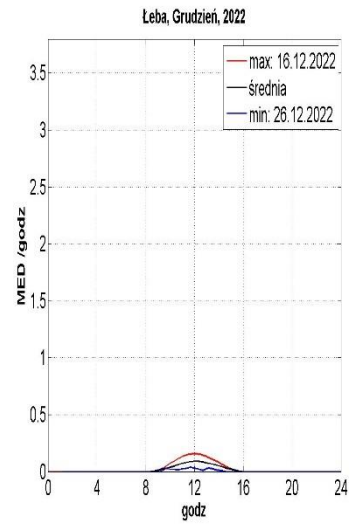
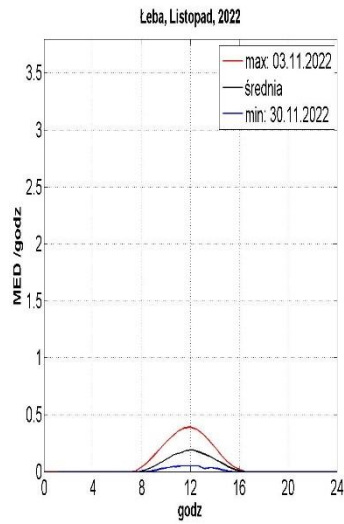
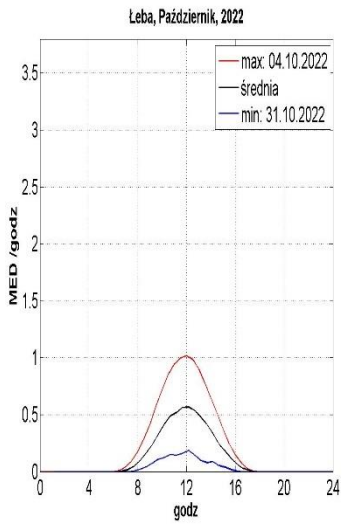
**DOBOWE PRZEBIEGI PROMIENIOWANIA UV-B Z MIESIĘCY  
STYCZEŃ - GRUDZIEŃ 2022 R. (ŚREDNIE, MAKSYMALNE  
I MINIMALNE) ZMIERZONE ZA POMOCĄ PRZYRZĄDU SOLAR LIGHT  
(ŁEBA, LEGIONOWO, ZAKOPANE)**











### **ZAŁĄCZNIK 3**

DAWKI DOBOWE PROMIENIOWANIA UV-B Z MIESIĘCY  
STYCZEŃ - GRUDZIEŃ 2022 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	0,28	0,68	3,16	6,79	10,09	4,04	17,58	16,40	8,93	4,06	0,93	0,14
02	0,15	0,98	2,91	5,96	13,02	13,98	17,58	15,94	9,21	3,29	1,82	0,43
03	0,19	0,63	2,63	7,10	7,00	16,36	21,67	17,08	9,38	4,10	1,83	0,13
04	0,31	0,54	3,15	3,89	12,04	17,80	14,13	15,38	10,94	5,40	1,48	0,16
05	0,29	0,95	3,76	6,29	5,40	19,51	18,23	12,35	6,36	3,74	1,20	0,16
06	0,34	0,37	1,62	2,50	8,21	14,34	14,28	14,25	8,52	4,88	1,67	0,23
07	0,54	1,10	3,90	4,64	9,22	17,99	8,58	15,69	9,70	4,69	1,05	0,45
08	0,20	0,49	3,74	6,12	7,09	17,03	13,24	13,52	9,48	4,01	1,16	0,34
09	0,57	0,46	4,30	6,88	13,13	10,68	14,29	15,18	2,51	4,18	0,76	0,51
10	0,63	0,63	4,06	6,59	13,15	16,30	16,06	15,65	3,40	4,29	0,96	0,55
11	0,51	1,24	4,25	6,53	8,64	17,94	16,20	16,25	7,60	3,61	0,51	0,40
12	0,25	1,90	4,56	9,79	12,84	18,86	18,36	14,38	9,04	3,67	0,49	0,38
13	0,22	1,83	4,68	8,49	9,85	13,17	13,99	13,35	3,27	3,28	0,64	0,31
14	0,73	1,86	4,42	2,11	13,98	16,65	14,43	13,96	5,48	2,81	0,98	0,59
15	0,77	1,24	2,93	1,60	16,43	18,61	13,35	10,91	6,20	1,98	0,27	0,59
16	0,42	0,55	2,01	9,50	15,17	15,06	4,28	9,88	2,74	2,62	0,53	0,60
17	0,77	0,58	3,51	9,25	15,83	19,43	15,15	14,01	6,35	2,54	0,91	0,44
18	0,85	1,67	3,91	10,03	16,05	13,18	9,30	11,49	4,93	2,36	0,77	0,60
19	0,57	0,56	3,96	8,73	14,58	17,10	18,23	10,17	5,78	2,23	1,05	0,50
20	0,41	1,46	5,44	9,58	11,49	6,42	17,24	5,93	5,05	3,09	0,88	0,21
21	0,75	-	5,86	11,40	4,72	16,00	16,83	3,99	5,99	1,72	0,78	0,23
22	0,75	-	5,62	11,67	13,20	19,98	13,93	10,28	6,95	0,86	0,52	0,33
23	0,39	-	5,81	10,91	16,69	21,17	8,81	7,28	5,90	1,40	0,41	0,19
24	0,37	-	6,38	8,56	7,07	20,77	9,12	10,88	4,50	1,87	0,38	0,52
25	0,41	1,43	6,60	2,64	12,92	19,37	17,29	8,15	4,35	1,94	0,39	0,26
26	0,27	2,36	6,79	11,88	13,27	18,73	15,39	11,84	5,45	2,11	0,61	0,11
27	0,38	3,23	5,71	10,18	13,27	19,49	10,60	12,44	4,52	1,99	0,64	0,27
28	0,45	3,10	3,27	12,00	6,38	6,39	13,15	9,44	1,91	2,48	0,82	0,26
29	0,33	-	5,93	11,94	13,02	19,27	14,81	9,64	4,04	2,20	0,35	0,32
30	0,49	-	7,11	9,38	11,91	15,95	15,41	5,02	4,58	1,86	0,21	0,52
31	1,06	-	7,75	-	9,27	-	15,36	11,81	-	0,76	-	0,27

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

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