



**INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
Oddział Morski w Gdyni**

TEMAT: **Monitoring rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2017 – 2020.**



Praca zrealizowana na podstawie umowy z GIOŚ nr 7/2017/F z dnia 05.04.2017 r., finansowana wyłącznie ze środków NFOŚiGW na podstawie umowy nr 235/2016/Wn-50/MN-PO/D z dnia 14.12.2016 r. o dofinansowanie pracy pt. „Monitoring całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą, rozkładu pionowego ozonu oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2017-2020” – zadanie nr 2.



Sprawozdanie z Etapu I, 2017 rok

- 1. Pomiary rozkładu pionowego ozonu sondą ozonową ECC 6A za 11-12.2016 oraz 01-05.2017**
- 2. Pomiary promieniowania UV-B za 11-12.2016 oraz 01-05.2017**
- 3. Wyznaczanie całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową w okresie 11-12.2015 oraz 01-05.2016**
- 4. Kalibracja mierników i współpraca międzynarodowa**
- 5. Analiza danych oraz opracowywanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych; roczny raport za rok 2016**

JEDNOSTKA PROWADZĄCA: **IMGW-PIB Oddział Morski w Gdyni – Ośrodek Oceanografii i Monitoringu Hydrosfery i Atmosfery**

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

WYKONAWCY:

Ośrodek Oceanografii i Monitoringu Hydrosfery i Atmosfery:
mgr Julita Biszczuk-Jakubowska
mgr Aleksander Curyło
mgr Bogumił Kois

Dział Teledetekcji Satelitarnej w Krakowie:
dr Bożena Łapeta
techn. Barbara Kopeć
techn. Mateusz Struzik
techn. Magdalena Raniecka-Wells
mgr Leokadia Zagajewska

Dział Numerycznych Prognoz Meteorologicznych ALADIN w Krakowie:
mgr Marek Jerczyński

Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna Łeba: **techn. Teresa Kosińska**

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

Sprawdził

Zatwierdził

Wstęp

Prezentowane Sprawozdanie zawiera 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. Pierwsze 4 zadania ujęte w Sprawozdaniu były realizowane na podstawie umowy nr 7/2017/F z dnia 05.04.2017 r. na „Monitoring rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2017 – 2020”. Zadanie 5: Analiza danych oraz opracowywanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych; roczny raport za rok 2016 obejmuje swoim zakresem wyniki pomiarów od stycznia do października 2016 r., uzyskane w ramach realizacji umowy nr 2/2014/F z dnia 31.03.2014 r. na „Monitoring rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2013 – 2016” oraz od listopada do grudnia 2016 r., uzyskane w ramach umowy z nr 7/2017/F z dnia 05.04.2017 r. na „Monitoring rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2017 – 2020”.

W sprawozdawanym okresie pomiary rozkładu pionowego ozonu oraz promieniowania UV-B były prowadzone z wykorzystaniem takich samych przyrządów i technik pomiarowych jak w latach ubiegłych. W przypadku pomiaru całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową, od listopada 2016 r. dane są pozyskiwane z wykorzystaniem nowego czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) znajdującego się na pokładzie satelity meteorologicznego Suomi NPP (S-NPP).

1. Pomiary rozkładu pionowego ozonu sondą ozonową ECC 6A za 11-12.2016 oraz 01-05.2017

W okresie od listopada 2016 do maja 2017 roku na Stacji Aerologicznej w Legionowie wykonywano systematycznie, co najmniej raz w tygodniu sondáže ozonowe, elektrochemiczną sondą ozonową ECC6A produkcji Science Pump Corporation, USA, w systemie sondażowym DigiCORA MW41/RS41-SG i w systemie nawigacyjnym GPS. W przypadku dużej różnicy całkowitej zawartości ozonu zmierzonej spektrofotometrem Dobsona i całkowitej zawartości ozonu obliczonej z sondażu oraz nieudanego sondażu, pomiar był powtarzany innego dnia w tym samym tygodniu. Wyniki pomiarów były gromadzone na bieżąco na serwerach IMGW-PIB i po zakończeniu etapu pracy przekazane do GIOŚ na płycie CD.

Wykaz sondaży ozonowych wykonanych w okresie od 1.11.2016 do 31.05.2017 r. zawarty jest w **Załączniku 1**.

Tabela 1. Średnia wysokość osiągniętych pułapów sondaży ozonowych.

Liczba sondaży		Pułap (km)	Średnia wysokość (km)
Razem	Standard		
33	33	≥30	33,8
		26 ÷ <30	
5	5	<26	11,9
Razem 38	38		31,0

Całkowita zawartość ozonu w atmosferze obliczona z sondażu (O_3S) była porównywana ze zmierzoną spektrofotometrem Dobsona w Belsku (O_3D) i obliczany był współczynnik korekcji. W 3 przypadkach dużego gradientu w polu ozonu do korekcji użyto całkowitej zawartości ozonu z pomiarów satelitarnych OMI. Wykonano 38 standardowych sondaży ozonowych.

Tabela 2. Współczynniki korekcji.

Liczba sondaży	O_3D/O_3S Współczynnik korekcji	Średni współczynnik	
4	0,90±1,00	0,98	$O_3D \leq O_3S$
23	1,01±1,15	1,08	$O_3D > O_3S$
Razem 27	0,90±1,15	1,07	
6	–	–	$ O_3D - O_3S > 1,15$
5			nieudany sondaż

Średni wskaźnik 1,07 wskazuje dobrą zgodność obu systemów pomiarowych.

Po każdym sondażu ozonu opracowane wyniki przekazywano pocztą elektroniczną do Departamentu Monitoringu i Informacji o Środowisku GIOŚ oraz przez Internet do bazy danych ozonowych w Norweskim Instytucie Ochrony Powietrza w Oslo (NILU). Zweryfikowane, pomiarem całkowitego ozonu spektrofotometrem Dobsona w Belsku, dane sondaży ozonowych 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.

Opracowane graficznie profile ozonu są zawarte w **Załączniku 2** – Profile ciśnienia cząstkowego ozonu prezentowane są na tle profili odniesienia: 5, 50 (mediana) i 95 centyla rozkładu statystycznego z pomiarów ± 15 dni od daty sondażu sondą ECC w okresie I.1994-XII.2015.

Program pomiarowy został zrealizowany w 100%.

2. Pomiary promieniowania UV-B za 11-12.2016 oraz 01-05.2017

Na stacjach IMGW-PIB, jak w latach ubiegłych, pomiary promieniowania nadfioletowego były wykonywane przyrządem typu Robertson-Berger, model UV Biometer SL501, który mierzy rumieniowo czynne promieniowanie UV-B w zakresie 280-320nm. Po zakończeniu każdego miesiąca wszystkie dane z każdej stacji były przekazywane do Ośrodka Oceanografii i Monitoringu Hydrosfery i Atmosfery IMGW-PIB, gdzie były opracowywane, archiwizowane na dysku twardym serwera i wykorzystywane do monitoringu i opracowań o charakterze klimatycznym. Pomiary na stacjach były wykonywane sprawnie, przerwa w pomiarach z powodu awarii rekordera wystąpiła jedynie na stacji w Zakopanem w dniach 22 listopada – 6 grudnia 2016 roku.

Uzyskane dane zostały przekazane do GIOŚ na płycie CD.

Program pomiarowy został zrealizowany w 97,6%.

*W **Załączniku 3** przedstawione są przebiegi dobowe (średnie, maksymalne i minimalne) promieniowania UV-B na stacjach w Łebie, Legionowie i w Zakopanem w miesiącach od listopada 2016 do maja 2017 r.*

3. Wyznaczanie całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową w okresie 11-12.2016 oraz 01-05.2017

Z powodu z pogarszającą się jakością pomiarów uzyskiwanych z czujnika NOAA/ATOVS w okresie od listopada 2016 do maja 2017, całkowita zawartość ozonu wyznaczana była z wykorzystaniem danych z czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) znajdującego się na pokładzie satelity meteorologicznego Suomi NPP (S-NPP). Monitoring ozonu przebiegał bez przeszkód. Całkowita zawartość ozonu z danych satelitarnych była obliczona dla wszystkich dni raportowanego okresu (Tabela 3).

Uzyskane dane zapisano w formie archiwum surowych danych satelitarnych (RAW) na nośnikach DVD w Dziale Teledetekcji Satelitarnej oraz na serwerach IMGW-PIB w postaci map bitowych. Po zakończeniu etapu pracy mapy przekazano do GIOŚ na płycie CD.

Tabela 3. Wykaz map ozonu całkowitego opracowanych w Dziale Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB na podstawie danych z czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) w okresie od 01.11.2016 do 31.05.2017.

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

Literą "x" zaznaczone są dni z mapami ozonu całkowitego

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

Satelitarne mapy ozonu z dni sondażowych są zawarte w **Załączniku 2**.

Program pomiarowy został zrealizowany w 100%

4. Kalibracji mierników i współpraca międzynarodowa

4.1 Sprawozdanie z przeprowadzonych kalibracji za okres 1.11.2016 do 31.05.2017

W sprawozdawanych okresie nie była przeprowadzana kalibracja czujników promieniowania UV. Kalibracja jest planowana na etap następny. W dniach 19.06 – 18.08.2017 roku w Obserwatorium Fizyczno – Meteorologicznym / Światowym Centrum Promieniowania (PMOD/WRC) w Davos (Szwajcaria) odbędzie się międzynarodowa kampania porównawcza International UVFilter Radiometer Comparison. W kwietniu 2017 zostały zgłoszone dwa czujniki SL501 z sieci IMGW-PIB do udziału w tej kampanii i na początku maja zostały wysłane do Davos. W tym etapie zostały poniesione koszty związane z odprawą celną i transportem czujników do Szwajcarii, koszty kalibracji zostaną rozliczone w kolejnym etapie.

4.2 Sprawozdanie ze współpracy międzynarodowej za okres 1.11.2016 do 31.05.2017

W sprawozdawanym okresie przekazywano regularnie przez Internet do Bazy Danych Ozonowych w Instytucie Ochrony Powietrza (NILU) w Oslo, Norwegia, oraz do bazy Globalnej Sieci Detekcji Zmian Składu Atmosfery (NDACC) w USA i Światowej Bazy Danych Ozonu i UV (WOUDC) w Toronto w Kanadzie wyniki pomiarów sondażu ozonowego. Współpracowano z zespołem naukowców z Instytutu Alfreda Wegnera w Poczdamie w ramach kampanii Match - badania fotochemicznych ubytków ozonu stratosferycznego w arktycznym wirze polarnym. Podczas zimy 2016/17 nie prognozowano dużych ubytków ozonu w związku z tym nie wykonano dodatkowych sondaży. W okresie listopad 2016 – maj 2017 współpracowano również z zespołem naukowców nad publikacją „UV Index monitoring in Europe” pod redakcją Alois W. Schmalwieser z Unit of Physiology and Biophysics, University of Veterinary Medicine w Wiedniu. Publikacja artykułu planowana jest na 2017 rok, w Photochemical & Photobiological Sciences. Ponadto, współpraca nad wykorzystaniem sondaży ozonowych z Legionowa do walidacji satelitarnych profili ozonu zaowocowała manuskryptem zaakceptowanym do publikacji w specjalnym wydaniu: Ten years of Ozone Monitoring Instrument (OMI) observations (ACP/AMT inter-journal SI). Tytuł: Validation of 10-year SAO OMI Ozone Profile (PROFOZ) Product Using Ozonesonde Observations; autorzy: Guanyu Huang i inni. MS No.: amt-2017-15, MS Type: Research article, Iteration: Minor Revision.

5 Analiza danych oraz opracowywanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych. Roczny raport za rok 2016.

5.1 Sprawozdanie z realizacji zadań 1-3 za rok 2016.

5.1.1 Profile ozonu

5.1.2 Pomiary promieniowania UV-B

5.1.3 Ozon całkowity z danych satelitarnych

5.2 Raport za rok 2016.

5.2.1 Wstęp

5.2.2 Stan warstwy ozonowej w skali globu.

5.2.2.1 Stan zanieczyszczenia atmosfery Substancjami Zubażającymi Warstwę Ozonową.

5.2.2.2 Przyszłe zadania dotyczące SZWO.

5.2.2.3 Ewolucja warstwy ozonowej w skali globalnej.

5.2.2.4 Ewolucja warstwy ozonowej w rejonach polarnych.

5.2.2.5 Zmiany w przeszłości stratosferycznego ozonu i klimatu.

5.2.2.6 Przyszłość warstwy ozonowej.

5.2.2.7 Niszczenie ozonu w stratosferze na półkuli północnej podczas zimy 2015/16

5.2.3 Ocena stanu warstwy ozonowej w 2016 roku na podstawie wyników monitoringu.

5.2.3.1 Analiza rozkładu pionowego ozonu nad Legionowem w 2016 roku.

5.2.3.2 Ozon całkowity z danych satelitarnych nad Europą Środkową w 2016 roku.

5.2.3.3 Promieniowanie UV-B zmierzone na sieci monitoringu w 2016 roku.

5.2.4 Podsumowanie i wnioski

5.3 Opracowanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych

5.4 Podsumowanie

5.5 Literatura

5.1 Sprawozdanie z realizacji zadań 1-3 za rok 2016.

5.1.1 Profile ozonu

W okresie od stycznia do grudnia 2016 roku na Stacji Aerologicznej w Legionowie wykonywano systematycznie, co najmniej raz w tygodniu sondáže ozonowe, elektrochemiczną sondą ozonową ECC6A produkcji Science Pump Corporation, USA, w systemie sondażowym DigiCORA MW41/RS41-SG i w systemie nawigacyjnym GPS. W przypadku dużej różnicy całkowitej zawartości ozonu zmierzonej spektrofotometrem Dobsona i całkowitej zawartości ozonu obliczonej z sondażu oraz nieudanego sondażu, pomiar był powtarzany innego dnia w tym samym tygodniu. Wyniki pomiarów były gromadzone na bieżąco na serwerach IMGW-PIB i zostały również przekazane do GIOŚ na płycie CD.

Program pomiarowy został zrealizowany w 100%.

Tabela 4. Charakterystyka sondaży ozonowych w Legionowie.

Liczba sondaży		Pułap (km)	Średnia wysokość (km)
Razem	Standard		
56	53	≥30	33,8
1	1	26 ÷ <30	26
Razem 57	54	≥26	32,9
4		<26	

Wykonano dodatkowo 3 alertowe sondáže w ramach uczestnictwa w kampanii Match 2015/2016 - badania ubytków ozonu w arktycznym wirze polarnym.

Tabela 5. Wyniki porównania całkowitej zawartości ozonu obliczonej z sondażu (O₃S) ze zmierzoną spektrofotometrem: naziemnym (Dobsona) lub satelitarnym (OMI) (O₃D).

Liczba sondaży	O ₃ D/O ₃ S Współczynnik korekcji	Średni współczynnik	Uwagi
24	0,90±1,00	0,98	O ₃ D ≤ O ₃ S
26	1,01±1,15	1,07	O ₃ D > O ₃ S
Razem 50	0,90±1,15	1,03	
7	–	–	O ₃ D- O ₃ S >1,15
4	–	–	nieudany sondaż

Wyniki porównania wskazują na bardzo dobrą zgodność obu systemów pomiarowych. W 50 przypadkach współczynnik korekcji mieści się w granicach 0,90 ÷ 1,15, średnio 1,03.

Po każdym sondażu ozonu opracowane wyniki przekazywano pocztą elektroniczną do Departamentu Monitoringu i Informacji o Środowisku 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 sondażu ozonowych przedstawia Tabela 6.

Tabela 6. Wykaz sondażu ozonowych wykonanych w Legionowie od 01.01.2016 r. do 31.12.2016 r.

L.P.	Data	H [km]	1 O ₃ [D]	2 O ₃ [D]	1+2 O ₃ [D]	3 Dobson/OMI O ₃ [D]	Wsp. korekcji	Uwagi
1	05.01	33,7	301,4	23,7	325,0	285	0,91	
2	13.01	32,3	332,2	40,2	372,3	410	1,10	Duży gradient w polu CZO ₃
3	20.01	33,6	370,0	32,3	402,2	409	1,02	
4	27.01	33,4	252,9	25,2	278,1	298	1,07	
5	05.02	32,3	231,7	29,0	260,7	291	1,12	Match,
6	08.02	33,9	215,4	24,7	240,1	297	---	Match, O ₃ D - O ₃ S >1,15
7	09.02	34,1	326,6	24,0	350,6	362	1,03	
8	17.02	32,2	307,2	35,8	342,7	369	1,08	
9	24.02	32,3	330,5	30,9	361,4	364	1,01	
10	01.03	33,2	247,8	31,2	279,0	278	1,00	
11	04.03	32,7	292,7	30,5	323,2	309	0,96	Match
12	07.03	33,9	333,6	17,4	350,9	345	0,98	
13	15.03	33,0	313,2	39,9	353,1	445	---	O ₃ D - O ₃ S >1,15
14	21.03	33,6	354,8	33,3	388,1	385	0,99	
15	29.03	35,6	379,1	20,8	399,9	385	0,96	
16	06.04	34,5	261,0	34,7	295,7	362	---	O ₃ D - O ₃ S >1,15
17	08.04	35,7	317,8	30,1	347,9	376	1,08	
18	13.04	33,9	342,9	35,7	378,6	390	1,03	
19	20.04	---	---	---	---	---	---	Nieudany, zanik sygnału
20	21.04	35,1	358,2	31,9	390,0	377	0,97	
21	27.04	---	---	---	---	---	---	Nieudany
22	28.04	34,9	428,3	27,1	455,4	446	0,98	
23	04.05	33,0	345,5	42,3	387,8	381	0,98	
24	11.05	35,5	275,6	33,0	308,6	384	---	O ₃ D - O ₃ S >1,15
25	13.05	34,4	330,5	34,2	364,6	364	1,00	
26	18.05	33,5	295,9	42,1	338,0	367	1,09	Duży gradient w polu CZO ₃
27	19.05	34,2	374,9	35,4	410,4	397	0,97	
28	25.05	34,4	348,5	33,5	382,0	380	1,00	
29	01.06	35,7	253,2	32,7	286,0	317	1,11	
30	07.06	33,9	325,8	38,5	364,3	362	1,00	
31	16.06	33,1	322,6	41,9	364,5	365	1,00	
32	22.06	34,2	245,7	41,0	286,7	299	1,04	
33	29.06	34,6	300,2	36,1	336,3	317	0,94	
34	13.07	33,7	287,0	40,4	327,4	327	1,00	
35	20.07	34,5	297,1	37,0	334,2	329	0,98	
36	27.07	5,4	24,8	---	---	---	---	Nieudany, uszkodzony czujnik PTU
37	28.07	34,1	264,9	41,3	306,2	316	1,03	
38	03.08	33,2	294,5	43,8	338,4	324	0,96	
39	11.08	33,9	289,6	40,5	330,1	334	1,01	
40	17.08	35,5	251,3	33,4	284,6	322	1,13	
41	24.08	26,0	241,8	35,5	277,3	281	1,00	
42	31.08	34,2	245,0	37,7	282,7	287	1,02	
43	07.09	---	---	---	---	---	---	Nieudany
44	09.09	33,9	251,3	35,6	286,9	283	0,99	
45	14.09	34,3	249,0	33,8	282,9	281	1,00	
46	21.09	33,7	270,7	35,3	306,0	307	1,00	
47	28.09	34,6	210,9	31,2	242,1	277	1,14	
48	30.09	34,1	110,4	32,4	---	241	---	O ₃ D - O ₃ S >1,15
49	07.10	34,8	243,5	27,6	271,1	309	1,14	
50	13.10	31,3	220,2	39,2	259,4	290	1,12	
51	17.10	33,2	85,1	31,3	---	263	---	O ₃ D - O ₃ S >1,15
52	26.10	33,2	255,0	29,3	284,3	291	1,02	
53	02.11	32,9	216,3	29,3	---	329	---	O ₃ D - O ₃ S >1,15
54	09.11	32,8	316,3	22,5	338,8	335	0,99	Duży gradient w polu CZO ₃
55	16.11	34,7	208,0	20,0	228,1	238	1,04	
56	23.11	33,7	191,0	23,7	214,7	242	1,13	Duży gradient w polu CZO ₃
57	30.11	34,5	258,9	22,5	281,4	283	1,01	
58	07.12	32,8	210,9	25,1	236,0	250	1,06	
59	14.12	31,1	304,4	36,4	340,9	348	1,02	
60	21.12	34,4	284,1	18,5	302,6	295	0,97	
61	28.12	32,4	308,1	28,9	337	367	1,09	Duży gradient w polu CZO ₃

- | | |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 O ₃ S | - Zawartość ozonu w jednostkach Dobsona [D], scałkowana do maksymalnej wysokości 35km. |
| 2 O ₃ S | - Zawartość ozonu obliczona z krzywej stałego stosunku zmieszania powyżej pułapu obliczeń O ₃ . |
| 1+2 - O ₃ S | - Całkowita zawartość ozonu w sondażu (CZO ₃). |
| 3 - O ₃ D | - CZO ₃ zmierzona spektrofotometrem naziemnym Dobsona w Belsku lub spektrofotometrem OMI |

*Opracowane graficznie profile ozonu są zawarte w **Załączniku 4**.*

5.1.2 Pomiary promieniowania UV-B

Na stacjach IMGW-PIB w Łebie, Legionowie i Zakopanem, pomiary promieniowania nadfioletowego były wykonywane przyrządem typu Robertson-Berger, model UV Biometer SL501, który mierzy rumieniowo czynne promieniowanie UV-B w zakresie 280-320nm. Po zakończeniu każdego miesiąca wszystkie dane z każdej stacji były przekazywane do Ośrodka Oceanografii i Monitoringu Hydrosfery i Atmosfery IMGW-PIB, gdzie były opracowywane, archiwizowane na dysku twardym serwera i wykorzystywane do monitoringu i opracowań o charakterze klimatycznym. W roku 2016 pomiary były wykonywane sprawnie, przerwa w pomiarach z powodu awarii rekordera wystąpiła jedynie na stacji w Zakopanem w dniach 22 listopada – 6 grudnia 2016 roku.

Uzyskane w roku 2016 dane zostały przekazane do GIOŚ na płycie CD.

Program pomiarowy został zrealizowany w 98,6%.

*Wyniki promieniowania UV-B uzyskane z czujników SL501 z Łeby, Legionowa i Zakopanego znajdują się w **Załączniku 5**.*

5.1.3 Ozon całkowity z danych satelitarnych

Podobnie jak w latach ubiegłych, całkowita zawartość ozonu w 2016 roku była operacyjnie obliczana z danych NOAA/ATOVS, z kanału 9,8μm. Czujnik ATOVS jest urządzeniem skanującym, mierzącym promieniowanie podczerwone i mikrofalowe emitowane przez Ziemię i atmosferę, i jest unowocześnioną i rozszerzoną wersją czujnika TOVS. W jego skład wchodzi następujące radiometry:

- HIRS/3 (High Infra Red Sounder) mierzący promieniowanie w 19 kanałach spektralnych w części podczerwonej widma oraz w pasmach absorpcyjnych pary wodnej i ozonu. Zdolność rozdzielcza tego instrumentu wynosi 17,4km w punkcie pod-satelitarnym oraz 58,5km na brzegu skanu;
- AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit), który zastąpił czujnik mikrofalowy (MSU) oraz radiometr do badania stratosfery (SSU). AMSU-A mierzy promieniowanie w 15 kanałach mikrofalowych zlokalizowanych wokół częstotliwości 23, 30, 50 i 90GHz i odpowiadających kanałom absorpcyjnym tlenu. Zdolność rozdzielcza zmienia się od 79,4km w punkcie pod-satelitarnym do 149,1km na brzegu skanu.
- AMSU-B (jedynie na satelicie NOAA-16) mierzy promieniowanie w 5 kanałach zlokalizowanych wokół częstotliwości 90, 150 i 190GHz będących pasmami absorpcyjnymi pary wodnej. Zdolność rozdzielcza zmienia się od 26,9km w punkcie pod-satelitarnym do 51,6km na brzegu skanu.

- MHS (Microwave Humidity Sounder) – czujnik mierzący promieniowanie mikrofalowe w 5 kanałach w paśmie absorpcyjnym pary wodnej od 89GHz do 190GHz. Czujnik MHS zastąpił AMSU-B na satelitach NOAA-18 i NOAA-19.

Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2016 roku był prowadzony z wykorzystaniem danych satelitarnych z kanału 9,8 μ m czujnika NOAA/ATOVS. Całkowita zawartość ozonu wyznaczana była za pomocą oprogramowania IAPP z przelotów satelitów NOAA-18, NOAA-19 oraz Metop w punktach odpowiadających 3x3 pikselom HIRS. Tak otrzymywane pola całkowitej zawartości ozonu 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 kriginu zwykłego.

W 2016 roku nie było problemów z odbiorem danych satelitarnych i mapy rozkładu całkowitej zawartości ozonu nad Europą Środkową nie były generowane jedynie w ciągu 3 dni, co stanowi 0,8% badanego okresu.

Otrzymane w 2016 r. mapy zostały przekazane do GIOŚ na płycie CD.

Tabela 7. Wykaz map ozonu całkowitego opracowanych w Dziale Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB na podstawie danych satelitarnych ATOVS/NOAA w okresie od 01.01.2016 r. do 31.12.2016 r.

Dzień	Miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x	x	x	x
02	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x
03	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x
04	x	x	x o	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
05	x o	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
06	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x	x
07	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x o	x o	x	x o
08	x	x o	x	x o	x	x	x	x	x	x	x	x
09	x	x o	x	x	x	x	x	x	x o	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 o	x	x	x	x
12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
13	x o	x	x	x o	x o	x	x o	x	x	x o	x	x
14	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x	x o
15	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x	x	-
16	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x o	x
17	x	x o	x	x	x	x	x	x o	x	x o	x	x
18	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
19	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
20	x o	x	-	x o	x	x	x o	x	x	x	x	x
21	x	x	x o	x o	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	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x
24	x	x o	x	x	x	x	x	x o	x	x	x	x
25	x	x	x	x	x o	x	x	x	x	x	x	x
26	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x o	x	x
27	x o	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x	x	x
28	x	x	x	x o	x	x	x o	x	x o	x	x	x o
29	x	x	x o	x	x	x o	x	x	x	x	-	x
30	x	■	x	x	x	x	x	x	x o	x	x o	x
31	x	■	x	■	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 zrealizowano w 99,2%

Satelitarne mapy ozonowe z dni sondażowych są zawarte w **Załączniku 4**.

5.2 RAPORT ZA ROK 2016

5.2.1 Wstęp

Powstawanie ozonu (O_3) w atmosferze jest inicjowane oddziaływaniem intensywnego promieniowania słonecznego na cząsteczki tlenu (O_2), którym oddychamy. Ozon powstaje na wysokościach powyżej 25km w zderzeniach potrójnych tlenu atomowego z tlenem cząsteczkowym i dowolną inną cząsteczką, która unosi nadmiar energii. Średnio 90% ozonu atmosferycznego znajduje się w stratosferze (10-50km). Warstwa stratosferycznego ozonu całkowicie pochłania najbardziej energetyczne promieniowanie UV ze Słońca, tak że do powierzchni Ziemi dociera kilka procent biologicznie czynnego promieniowania UV-B. Promieniowanie UV-B w niewielkiej dawce jest potrzebne człowiekowi do syntezy witaminy D_3 , jednak jego nadmiar wywołuje oparzenia słoneczne, osłabienie odporności immunologicznej, a nawet raka skóry. Zagrożenie dla warstwy ozonowej odkryto w roku 1974, gdy okazało się, że wytworzone przez człowieka substancje zawierające chlor i brom niszczą ozon wysoko w stratosferze. Świadomość zagrożenia wzrosła na początku lat 1980, gdy odkryto zjawisko dramatycznego wiosennego spadku całkowitej zawartości ozonu nad Antarktydą, poniżej umownej granicy 220 D („dziura ozonowa”). Od tego czasu dziura ozonowa pojawia się wiosną każdego roku. W celu ochrony warstwy ozonowej wspólnota międzynarodowa podjęła natychmiast bezprecedensowe działania. W 1987 roku podpisano Protokół Montrealski (PM), a po jego rewizji wytwarzanie freonów zostało zakazane w 1992 r. Pomiary atmosferyczne potwierdziły skuteczność PM w redukcji emisji tych molekuł.

Poznano dość dobrze mechanizmy niszczenia ozonu w rejonach polarnych. Gdy temperatura w stratosferze spada poniżej wartości progowej, $-78^{\circ}C$, wtedy para wodna może kondensować na aerozolu siarkowych, rosną krople tworzące tzw. polarne chmury stratosferyczne (PSC typu I). Gdy temperatura spada poniżej $-85^{\circ}C$ mogą powstawać PSC typu II złożone z kryształków lodu. Na powierzchniach PSC zachodzą reakcje heterogeniczne - na granicy faz (gazowej i ciekłej lub stałej) - między rezerwarowymi postaciami chloru (HCl , $ClONO_2$). Wynikiem tych reakcji jest wzrost koncentracji aktywnych rodników chloru (ClO , Cl_2O_2). Podstawowe znaczenie w procesie niszczenia ozonu ma grawitacyjne osiadanie dużych cząstek PSC zawierających kwas azotowy (HNO_3). To osiadanie powoduje usuwanie NO_2 ze stratosfery, tzw. proces denitryfikacji. Proces ten zapobiega odtwarzaniu rezerwuaru $ClONO_2$, co znacznie zwiększa ilość aktywnych rodników chloru. Nagromadzony chlor rozpoczyna katalityczny rozpad ozonu natychmiast po pojawieniu się Słońca nad horyzontem. Dopóki temperatury pozostają poniżej progę formowania PSC wraz ze wzrostem wysokości Słońca wzrasta tempo niszczenia ozonu. Proces niszczenia jest przerywany po wzroście temperatury powyżej wartości progowej PSC; wtedy reaktywny chlor ponownie przechodzi do związków rezerwarowych, które nie niszczą ozonu. Jedna cząsteczka ClO przed ponownym połączeniem z cząsteczką NO_2 jest w stanie zniszczyć tysiąc cząsteczek ozonu.

Powrót warstwy ozonowej do stanu niezaburzonego będzie zachodził wolno przez pozostałą część tego stulecia z powodu długiego okresu półtrwania prekursorów niszczenia ozonu. W rejonie tropopauzy ozon jest silnym gazem cieplarnianym. Dziura ozonowa spowodowała już zmiany klimatu

na półkuli południowej i to nie tylko w rejonie polarnym, ale i w umiarkowanych szerokościach geograficznych. Uważa się, że w przyszłości coraz większą rolę odgrywać będą interakcje ozonu z klimatem.

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

W raporcie przedstawiono analizę stanu warstwy ozonowej i poziomu promieniowania UV-B na podstawie pomiarów wykonanych w IMGW-PIB w 2016 roku.

5.2.2 Stan warstwy ozonowej w skali globalnej

5.2.2.1 Stan zanieczyszczenia atmosfery Substancjami Zubażającymi Warstwę Ozonową

Podjęte w ramach Protokołu Montrealskiego działania doprowadziły do zmniejszenia zawartości w atmosferze Substancji Zubażających Warstwę Ozonową (SZWO) i ograniczania skutków zmian klimatu.

Działania PM umożliwią w przyszłości powrót warstwy ozonowej do poziomu z lat 1980. Mierzone zawartości głównych SZWO zasadniczo zmniejszają się zgodnie z prognozą, chociaż są substancje np. CCl₄, których poziom nie zmniejsza się tak szybko jak prognozowano. Większość kontrolowanych SZWO zmniejsza się, ale ilość związków, HCFC i halonu 1301 ulega zwiększeniu.

Do roku 2012, Efektywny Ekwiwalent Stratosferycznego Chloru (EESC) zmniejszył się o około 10% w Antarktydzie i około 15% w umiarkowanych szerokościach geograficznych, w stosunku do szczytowych wartości obserwowanych 15 lat temu.

Ulegają zmniejszeniu mierzone zawartości stratosferycznego chloru i bromu pochodzące z degradacji SZWO w stratosferze, zgodnie z kontrolą PM.

W ramach inicjatywy SPARC w 2013 roku poprawiono oszacowania czasu połowicznego rozpadu długo-życiowych SZWO. Aktualne, najlepsze oszacowania czasu powrotu EESC do poziomu z lat 1980. wskazują że dla umiarkowanych szerokości geograficznych będzie to rok 2050, dla Antarktydy rok 2075

Przy założeniu kontynuacji działań PM całkowita zawartość ozonu nad większą częścią globu będzie powracać do poziomu z lat 1980.

Wymuszenie radiacyjne pochodzące z kontrolowanych SZWO ustabilizowało się w ciągu ostatnich 20 lat, co zawdzięczamy uzupełnieniom PM. Można oczekiwać, że wymuszenie pochodzące od kontrolowanych SZWO będzie się zmniejszało przy ścisłym wypełnianiu zaleceń PM.

Ujemne wymuszenie radiacyjne, będące wynikiem działania SZWO na ozon w stratosferze i troposferze niweluje znaczną część dodatniego wymuszenia powodowanego przez same SZWO (to silnie działające gazy cieplarniane).

5.2.2.2 Przyszłe zadania dotyczące SZWO

Czterochlorek węgla (CCl_4) nie spada w takim tempie jak oczekiwano. Z obliczeń wynika, że otrzymano zbyt wysokie emisje czterochloru węgla niż z raportowanej produkcji i zużyciu. Oszacowania dokonano na podstawie znanego obecnie czasu połowicznego rozpadu CCl_4 i aktualnie mierzonych zawartości CCl_4 w atmosferze.

SZWO przeznaczone do utylizacji, produkcja HCFC oraz bromek metylu (CH_3Br) w przyszłości będą głównymi źródłami emisji substancji niszczących warstwę ozonową. Zawartość bromku metylu ulega zmniejszeniu z powodu zaniechania antropogenicznej produkcji i konsumpcji, zgodnie z planami PM. W roku 2009 kontrolowane zużycie bromku metylu spadło poniżej raportowanego zużycia do celów specjalnych. Bromek metylu stosowany dla potrzeb specjalnych jest zwolniony z ograniczeń PM.

Pozytywne działanie PM może być znacznie zmniejszone przez prognozowane emisje HFC w nadchodzących dekadach.

Zmiany w antropogenicznej i naturalnej emisji krótko-życiowych związków zawierających chlor i brom (VSLs) spowodują w bliskiej przyszłości prawdopodobnie tylko niewielkie zmiany ozonu. Prognozy dotyczące emisji tych substancji w przyszłości są niepewne.

Większość substancji HFC to zamienniki SZWO. Obecnie wymuszenie radiacyjne od HFC jest niewielkie w porównaniu do tego pochodzącego od SZWO. Jednak, emisja HCF wyrażona potencjałem tworzenia efektu cieplarnianego (GWP) rośnie obecnie w tempie 7%/rok. Kontynuacja wzrostu emisji HCF o wysokim GWP, zgodnie z pewnymi projekcjami, doprowadzić by mogła do wymuszenia radiacyjnego porównywalnego do tego od SZWO w szczytowych wartościach.

5.2.2.3 Ewolucja warstwy ozonowej w skali globalnej

Warstwa ozonowa zaczyna się regenerować pod wpływem mniejszych zawartości SZWO. Ozon występujący w pasie tropikalnym nie jest silnie zaburzony przez SZWO, w przyszłości jego zmiany będą zdominowane przez wzrost zawartości gazów cieplarnianych.

Całkowita zawartość ozonu uległa zmniejszeniu o około 2,5% nad większą częścią planety w latach 1980. i wczesnych 1990., i pozostawała stabilna od roku 2000. Istnieją, zgodnie z przewidywaniami, oznaki wzrostu globalnej kolumny ozonu w latach 2000-2012. Jednak, nie zaobserwowano jeszcze wzrostu całkowitej zawartości ozonu, który można by przypisać spadkowi SZWO.

Zawartość ozonu w górnej stratosferze zmniejszała się od lat 1980. do wczesnych 1990. i wyraźnie wzrosła o 5% od 2000, potwierdzając trend sugerowany wcześniej w opracowaniu Ozone Assessment 2010. W latach 2000-2013 spadek zawartości SZWO i powodowane przez wzrost

zawartości CO₂ wychłodzenie przyczyniły się w równym stopniu do zwiększenia ozonu w górnej stratosferze.

W umiarkowanych szerokościach geograficznych w dolnej stratosferze (wysokości 15-25km) ozon wykazywał długoterminowy spadek w latach 1980. i wczesnych 1990. Od roku 2000, zgodnie z przewidywaniami, pozostawał stabilny.

Obserwacje zmian temperatury i ozonu w ostatnich 30-50 latach sugerują zwiększone unoszenie powietrza w tropikalnej dolnej stratosferze. Jest to zgodne z symulacjami w modelach, które pokazują długoterminowy wzrost unoszenia tropikalnego powietrza wywołany przeszłym wzrostem zawartości gazów cieplarnianych.

Przyszła ewolucja zawartości ozonu w rejonie pasa tropikalnego będzie w dużym stopniu zależać od przyszłych zawartości CO₂, N₂O i CH₄ i od zmian zawartości ozonu w troposferze. Za wyjątkiem jednego modelu, prognozującego duży wzrost metanu, istotne spadki ozonu w tropikach są przewidywane w XXI wieku.

5.2.2.4 Ewolucja warstwy ozonowej w rejonach polarnych

Powstająca nad Antarktydą dziura ozonowa będzie się pojawiać co najmniej do roku 2050. Pojawiające się czasami duże ubytki ozonu w Arktyce, takie jak na wiosnę 2011, są również możliwe w najbliższych dziesięcioleciach. Regeneracja ozonu w rejonach polarnych mogłaby się pojawić wcześniej, gdyby nie dalsza emisja kontrolowanych SZWO. Powodem opóźnienia regeneracji może być również wzrost stratosferycznego aerozolu, np. przez wprowadzenie do stratosfery siarki poprzez duże erupcje wulkaniczne lub zastosowanie geo-inżynierii.

Niszczenie ozonu w okresie wiosennym będzie pojawiać się na obydwu półkulach, dopóki zawartość SZWO będzie wysoka. W ostatniej dekadzie obserwowano większą zmienność wiosennej dziury ozonowej nad Antarktydą niż w latach 1990. Ta zmienność jest wynikiem naturalnych zmian warunków meteorologicznych z roku na rok i nie może być przypisana regeneracji pod wpływem zmniejszenia SZWO.

Duże zniszczenie ozonu w Arktyce było obserwowane wiosną 2011 r. Spowodowane ono było szczególnymi warunkami meteorologicznymi w stratosferze podczas zimy 2010/2011 i wczesną wiosną na półkuli północnej. Wpływ tych warunków meteorologicznych na procesy niszczenia ozonu jest dobrze opisywany w modelach. Zawartości ozonu w Arktyce, nawet przy tak znaczącej destrukcji ozonu jak na wiosnę 2011 r., są i tak dużo wyższe niż na wiosnę nad Antarktydą. Dopóki zawartość chloru i bromu w stratosferze będzie wysoka, czyli w ciągu najbliższych 10-20 lat, mogą się pojawić duże spadki ozonu w Arktyce. Można oczekiwać, że taki ubytek, jeśli wystąpi, będzie podobnej wielkości jak ten z wiosny 2011 r.

5.2.2.5 Zmiany w przeszłości stratosferycznego ozonu i klimatu

Dziura ozonowa nad Antarktydą spowodowała istotne zmiany klimatu przy powierzchni Ziemi w okresie letnim na półkuli południowej. Główną przyczyną obserwowanego przesunięcia na południe

na półkuli południowej troposferycznej cyrkulacji podczas lata w ostatnich kilkudziesięciu latach jest prawdopodobnie wychłodzenie dolnej stratosfery wywołane niszczeniem ozonu nad Antarktydą. Te zmiany cyrkulacji mają wpływ na temperaturę na powierzchni Ziemi, na opady i stan oceanu. Na półkuli północnej nie stwierdzono na razie podobnego wpływu ozonu na zmianę cyrkulacji w troposferze i na klimat na powierzchni Ziemi. Istnieją również dowody na to, że proces regeneracji ozonu nad Antarktydą i wzrost zawartości gazów cieplarnianych podczas australijskiego lata będą miały przeciwstawny wpływ na cyrkulację w troposferze na półkuli południowej, i na związane z tym zmiany temperatury na powierzchni, ilości opadów i stan oceanu.

Powodem zmian klimatu w Polsce są coraz częściej pojawiające się silne burze. Intensywna konwekcja może powodować unoszenie wilgotnych mas powietrza do wysokości gdzie panują najniższe temperatury (otoczenie tropopauzy). Wzrost ilości pary wodnej pod tropopauzą zmniejsza ilość energii wypromieniowanej w przestrzeń, a to prowadzi do powiększenia efektu cieplarnianego. Ostatnie pomiary pokazały występowanie ujemnych anomalii w rozkładzie ozonu troposferycznego w rejonie najsilniejszej konwekcji na półkuli południowej (<http://ecowatch.com/2014/04/07/new-atmospheric-hole-reinforcing-ozone-depletion/>). Ozon troposferyczny niezbędny jest do produkcji rodników wodoru (OH), pełniących rolę detergentu usuwającego z atmosfery zanieczyszczenia, które nie są usuwane w inny sposób, na przykład przez opady. Symulacje pokazują możliwość powstawania "dziury OH". W obszarze jej występowania do stratosfery mogłyby się szybko przedostawać substancje niszczące warstwę ozonową.

5.2.2.6 Przyszłość warstwy ozonowej

Substancje Zubażające Warstwę Ozonową były dominującym czynnikiem odpowiedzialnym za globalny proces zubożenia warstwy ozonowej w końcu XX wieku. W dolnej stratosferze, niszczenie ozonu było najważniejszą przyczyną obserwowanego globalnie uśrednionego długoterminowego wychłodzenia od lat 1980.

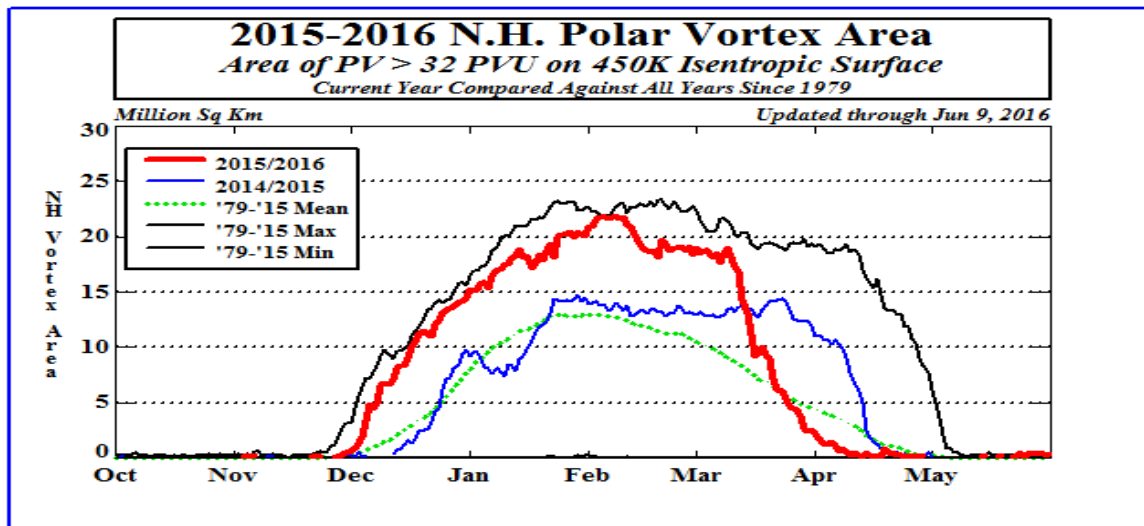
W górnej stratosferze modele wskazują, że wzrost ilości gazów cieplarnianych oraz zmiany ozonu w jednakowym stopniu przyczyniają się do obserwowanego wychłodzenia. Dlatego że kontrolowane koncentracje SZWO zmniejszają się, to gazy cieplarniane takie jak dwutlenek węgla (CO₂), podtlenek azotu (N₂O) i metan (CH₄) będą silnie wpływać na ewolucję warstwy ozonowej w pozostałej części tego stulecia, poprzez procesy chemiczne i zmiany klimatu. Wzrost N₂O będzie zmniejszać zawartość ozonu, podczas gdy wzrosty CH₄ i CO₂ będą powodować wzrost ozonu.

Niepewności co do przyszłych emisji tych gazów prowadzą do dużych rozbieżności w przewidywanej zawartości ozonu na koniec tego stulecia. Istnieje również znaczna niepewność w rozumieniu bieżącego bilansu N₂O i CH₄.

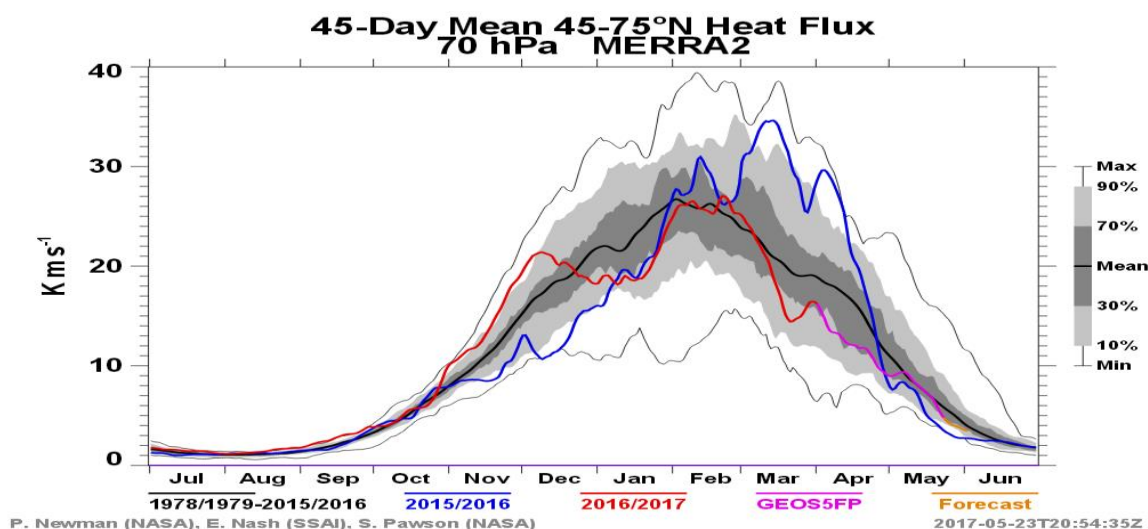
5.2.2.7 Niszczenie ozonu w stratosferze na półkuli północnej podczas zimy 2015/16

Podczas zimy 2015/16 warunki meteorologiczne w stratosferze na półkuli północnej sprzyjały procesom niszczenia ozonu. Wir polarny powstał w końcu listopada, jego powierzchnia systematycznie

rosła w grudniu i w styczniu, do maksimum (~22 mln km²) na początku lutego. (Rys. 1). Przez cały ten czas wir pozostawał praktycznie niezaburzony. Mały strumień ciepła makro-turbulencyjnego w stratosferze transportowanego w strefie 45-75°N (Rys. 2) i radiacyjna utrata ciepła podczas nocy polarnej powodowały, że chłodne powietrze wewnątrz wiru stawało się jeszcze chłodniejsze.



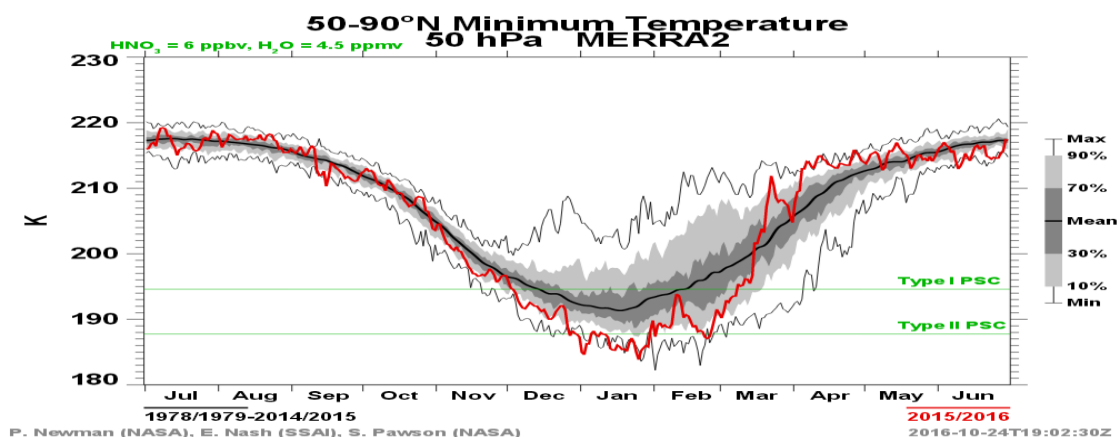
Rys. 1: Powierzchnia arktycznego wiru polarnego na poziomie 450K (18km) w sezonie zimy/wiosny 2015/2016. https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/metdata/annual/merra2/temp/tminn_50_2015_merra2.pdf.



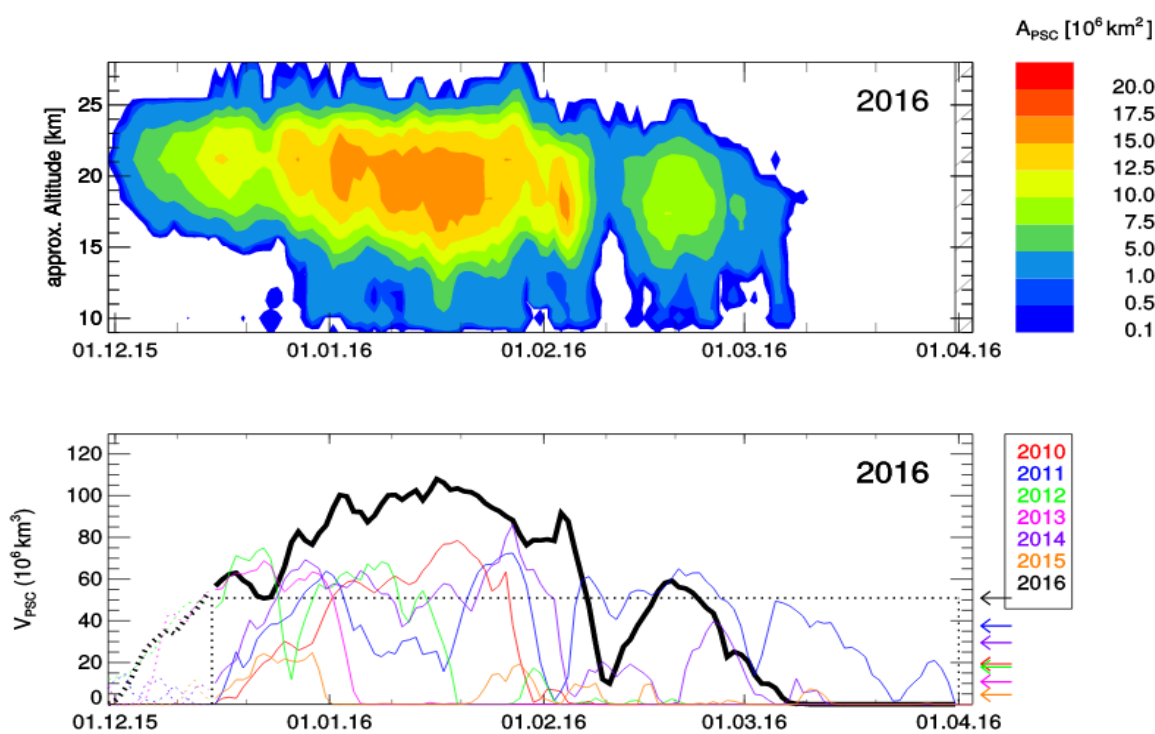
Rys. 2: Średni 45-dniowy strumień ciepła makro-turbulencyjnego na poziomie 70 hPa (~18km) dla strefy szerokości 45-75°N w sezonie zimowo-wiosennym 2015/16. https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/figures/merra2/heat_flux/vt45_7545n_70_2016_merra2.pdf

Podczas zimy 2015/16 najniższe temperatury w stratosferze na powierzchni 50hPa na północ od 50°N w kilku dniach były niższe niż kiedykolwiek, od początku pomiarów satelitarnych od 1979 roku (Rys. 3). Sezon PSC rozpoczął się w grudniu i trwał do I dekady marca. Rozległe PSC tworzyły się w wyjątkowo grubej warstwie stratosfery, do wysokości ~25km i do początku lutego powierzchnia i objętość PSC była większa niż w poprzednich latach (Rys. 4). Powierzchnia i objętość PSC przejściowo się zmniejszyła po wzroście temperatury w stratosferze w pierwszej dekadzie lutego

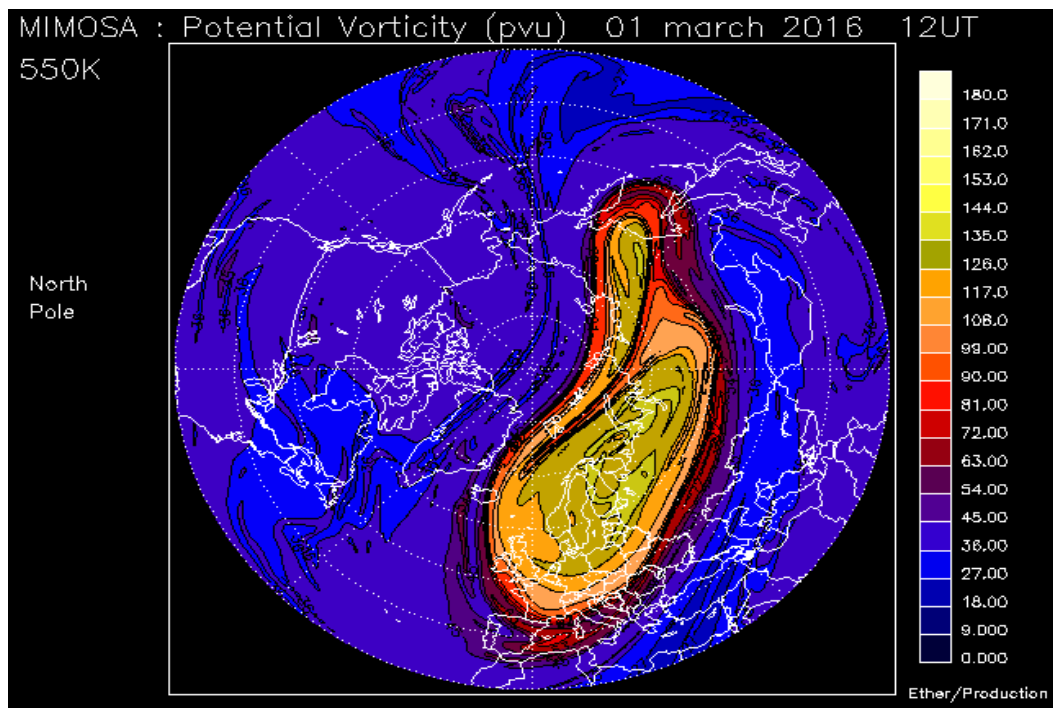
(Rys. 3, 4). Po tym wir pozostawał stabilny do początku marca, jednak stopniowe zmniejszanie powierzchni wiru, powierzchni i objętości PSC ograniczyło skalę ubytku ozonu na wiosnę (Rys. 1,4).



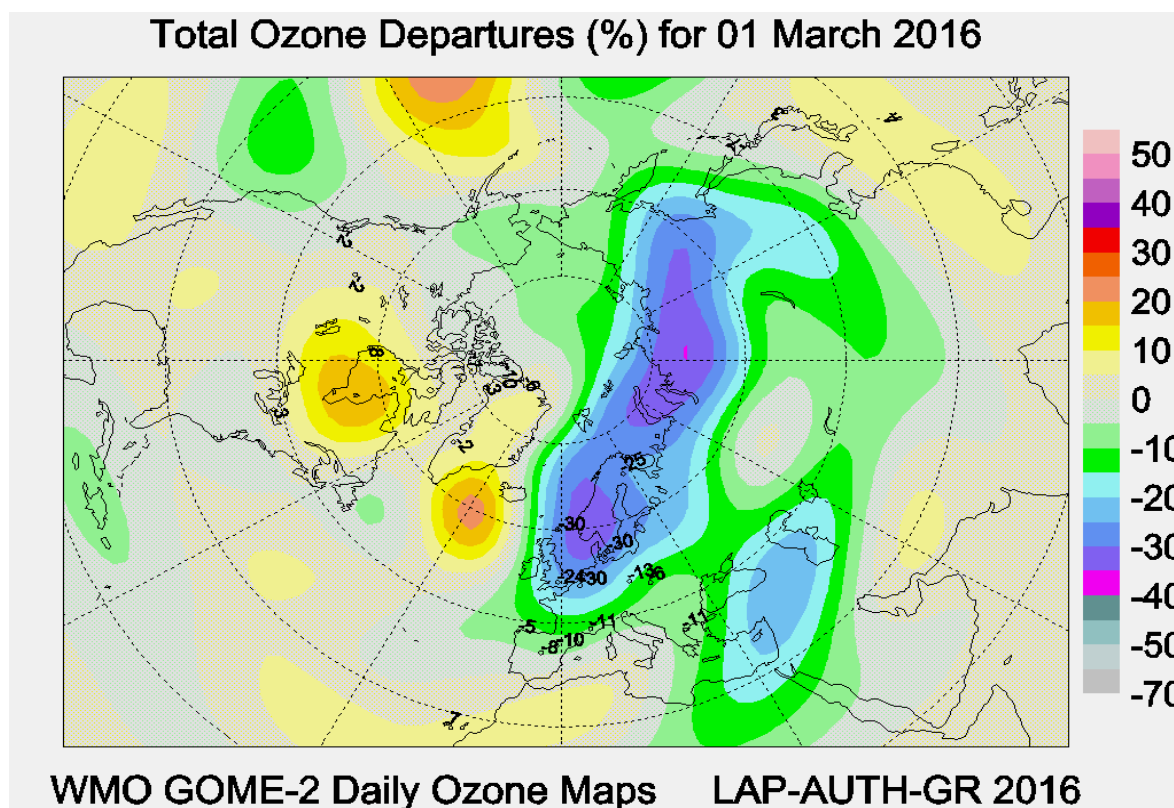
Rys. 3: Najniższa temperatura na powierzchni izobarycznej 50hPa na północ od 50°N w sezonie zimy/wiosny 2015/2016. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar/gif_files/vtx_nh_2015-2016.png



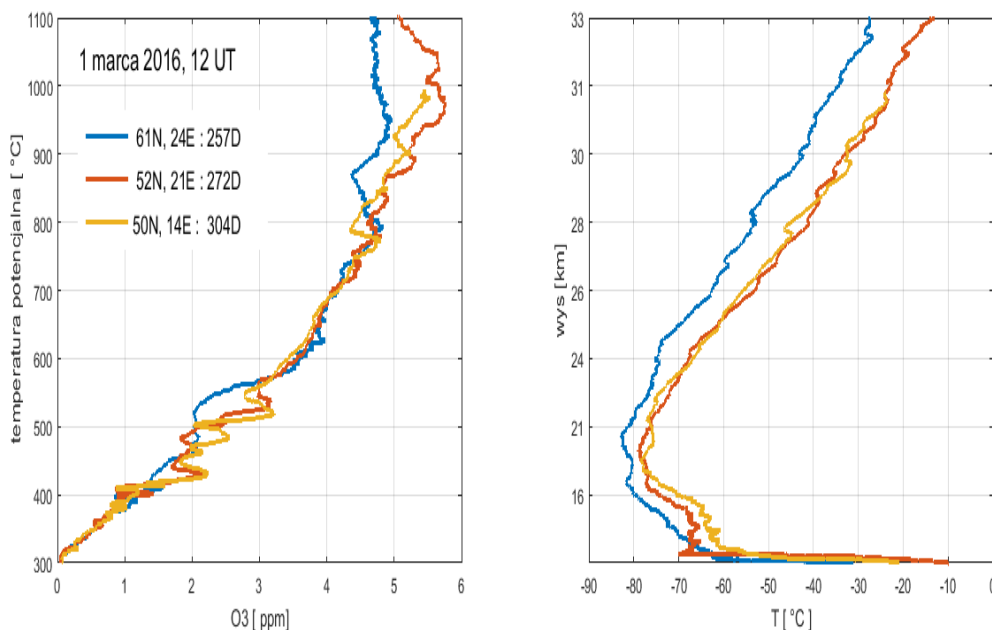
Rys. 4: Powierzchnia i objętość PSC nad półkulą północną w sezonie zimy/wiosny 2015/16. <http://iek-7.eskp.fz-juelich.de/ozoneloss/vpsc/2016>



Rys. 5: Mapa wirowości potencjalnej nad półkulą północną na powierzchni izentropowej 550K (~23km) dla 1 marca 2016 12UT.



Rys. 6: Mapa procentowych odchyleń całkowitej zawartości ozonu nad półkulą północną dla 1 marca 2016.



Rys. 7: Profile ozonu i temperatury z dnia 1 marca 2016 roku na stacjach Jokioinen, Finlandia (61°N, 24°E), Legionowo, Polska (52°N, 21°E) i Praga, Czechy (50°N, 14°E).

Skumulowany efekt fotochemicznego procesu niszczenia ozonu w chłodnych polarnych masach można zaobserwować wczesną wiosną, gdy arktyczny wir polarny staje się niestabilny i przemieszcza do umiarkowanych szerokości geograficznych. Na początku marca 2016 r. arktyczny wir polarny przemieszczał się nad Syberią i Europą, z największymi ubytkami całkowitej zawartości ozonu w chłodnej części wiru ~30% (Rys. 5, 6). Ubytki ozonu w rejonie Europy Środkowej były relatywnie mniejsze.

1 marca 2016 r. temperatura w dolnej stratosferze nad Jokioinen, Finlandia (61°N, 24°E) wynosiła poniżej -80°C (Rys. 7). Proces niszczenia ozonu w chłodnym wirze nad Skandynawią jeszcze się nie zakończył, w przeciwieństwie do rejonu nad Europą Środkową (Legionowo, Praga). Świadczą o tym dane temperatur na wstecznych trajektoriach cząstek przechodzących nad Legionowem. Sondaż ozonowy w Legionowie w dniu 1 marca 2016 12UT wykonano w ramach kampanii Match 2015/16 – statystyczna analiza ubytków ozonu w arktycznym wirze polarnym. Polecenie wykonania sondażu na stacji w Legionowie otrzymano z wyprzedzeniem 24h przed planowanym wzlotem z centrum koordynacyjnego w Poczdamie kierowanego przez zespół naukowców AWI, z dodatkową informacją, że sonda ozonowa wypuszczona w Legionowie na poziomie izentropowym 465K (~17,3km) utworzy parę (match) z inną sondą, wypuszczoną wcześniej (23 lutego) w Summit, Grenlandia. Na podstawie zmierzonej różnicy stężeń ozonu obliczano tempo niszczenia ozonu w wirze polarnym na ustalonych wysokościach między stacjami biorącymi udział w kampanii. Stacja w Legionowie wykonała w ramach kampanii 3 dodatkowe sondaże. Wyniki kampanii Match 2015/16 zostały zaprezentowane na konferencji Quadrennial Ozone Symposium (QOS) we wrześniu 2016 roku.

W profilu ozonu nad Jokioinen (Rys. 7), na uwagę zasługuje jeszcze ubytek ozonu w średniej stratosferze, powyżej powierzchni 850K (29km). Ostatnie badania Sagi i in. [2017], modelowanie z

użyciem wieloletnich (2002-2013) obserwacji Odin/SMR potwierdziło, że ubytki ozonu w średniej stratosferze są związane z cyklem niszczenia ozonu przez tlenki azotu. Niszczenie ozonu powodowane przez NO_x rozpoczynać się może w czasie zimy i/lub na wiosnę, kiedy słabnie wir polarny i bogate w ozon powietrze z niższych szerokości wchodzi do rejonu polarnego. Głównym źródłem NO_x w stratosferze jest produkcja NO przez reakcję N₂O ze wzbudzonym atomem tlenu O(1D), która pojawia się w niskich i umiarkowanych szerokościach geograficznych na wysokości około 30km (Brasseur i Solomon,2005).

5.2.3 Ocena stanu warstwy ozonowej w 2016 roku na podstawie wyników monitoringu.

W roku 2016 na Stacji Aerologicznej IMGW-PIB w Legionowie kontynuowano rutynowe sondaże ozonowe rozpoczęte w 1979 roku. Pomiar był wykonywany raz w tygodniu (przeważnie w środę) w terminie 12UTC z użyciem elektrochemicznej sondy ozonowej, unoszonej w powietrzu przez balon meteorologiczny do wysokości 35km. Do maja 1993 roku stosowano sondę OSE2 typu Brewer-Mast, od czerwca 1993 r. stosowane są znacznie dokładniejsze sondy ECC5/6A. Sonda umożliwia wykonanie absolutnego pomiaru ciśnienia cząstkowego ozonu, to jest części całkowitego ciśnienia mieszaniny gazów atmosferycznych wynikającej z obecności ozonu. Czujnik sondy wykrywa stężenia ozonu powyżej 3ppb, błąd pomiaru ozonu w dolnej stratosferze wynosi ~5%, i narasta z wysokością, do ~10% w średniej stratosferze. Aby wykluczyć błędne dane wykonywana była jakościowa ocena każdego sondażu ozonowego. Wyznaczany był współczynnik korekcji Dobsona (CF), który jest ilorazem wartości (średniej dziennej lub około południowej) obserwacji całkowitej zawartości ozonu zmierzonej spektrofotometrem (naziemnym lub satelitarnym) do całkowitej zawartości ozonu w sondażu (CZO₃). CZO₃ jest sumą zawartości ozonu scałkowaną w profilu i wartości pozostałej (Residual Ozone – RO₃) do granicy atmosfery. RO₃ obliczana była z ostatniej zmierzonej wartości ciśnienia cząstkowego ozonu, przy założeniu stałego stosunku zmieszania ozon/powietrze powyżej pułapu sondażu. Od 2016 roku do wyznaczania pozostałej zawartości ozonu wykorzystywane były także klimatyczne wartości średnich miesięcznych profili stosunku zmieszania dla strefy szerokości geograficznych obejmującej stację (50°–60°N) (ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/Labow_climatology/stats.novortex.table). W badaniach używane były sondaże z CF w zakresie 0,85 -1,15. W przypadkach dużego gradientu w polu CZO₃, całkowita zawartość ozonu w Belsku zastępowana była interpolowaną całkowitą zawartością ozonu z pomiarów satelitarnych OMI.

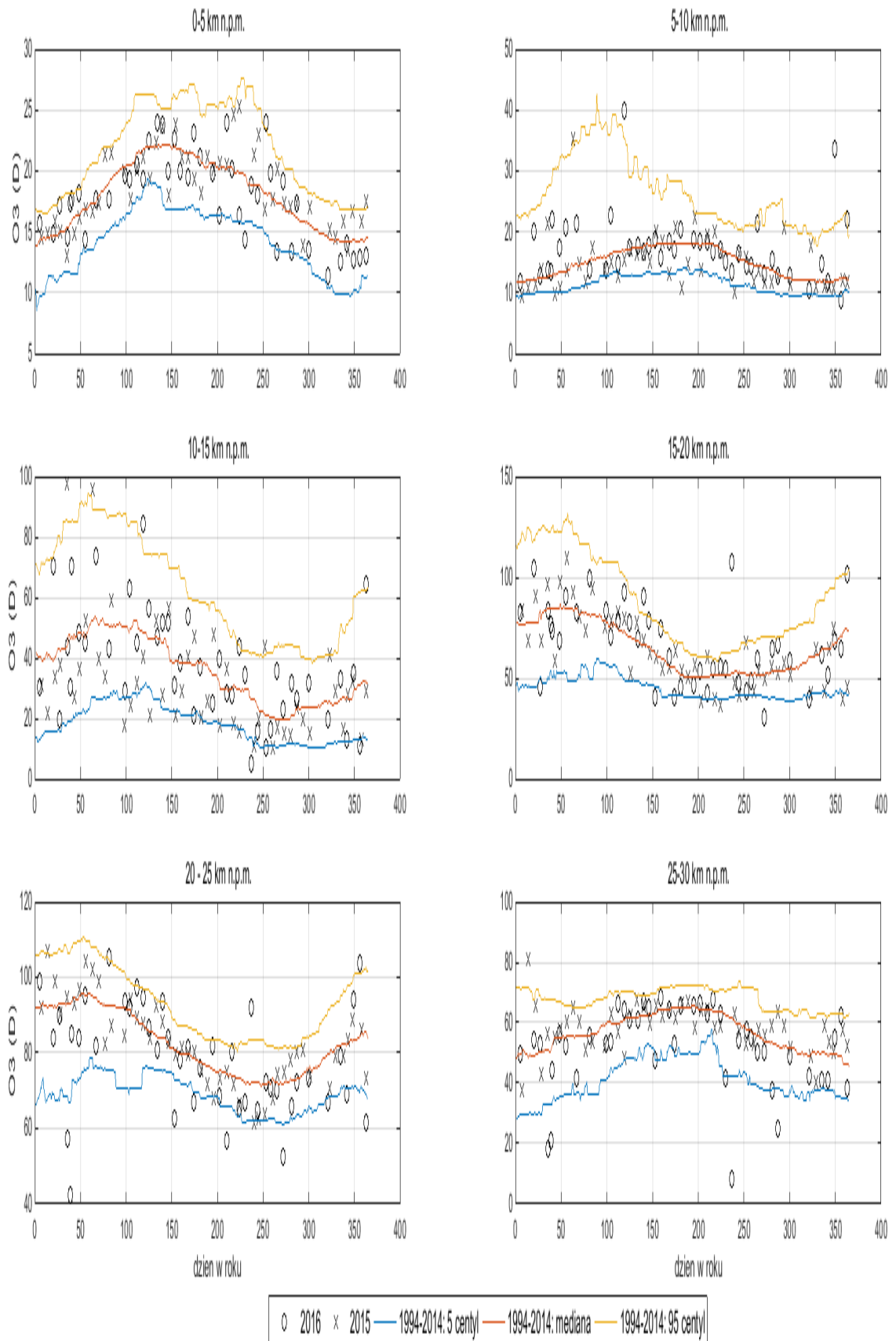
5.2.3.1 Analiza rozkładu pionowego ozonu nad Legionowem w 2016 roku.

Na podstawie homogenicznej serii pomiarów z lat 1994-2016 obliczono zawartości ozonu w warstwach atmosfery między standardowymi powierzchniami izobarycznymi, od powierzchni Ziemi (~1000hPa) do 10hPa (~31km) i powyżej do granicy atmosfery. Powierzchnia izobaryczna jest definiowana jako powierzchnia, na której wartość ciśnienia jest jednakowa we wszystkich jej punktach. W meteorologii ciśnienie atmosferyczne podaje się w hektopaskalach (hPa) przy czym 1hPa = 100Pa.

Paskal (Pa) jest to ciśnienie występujące na powierzchni płaskiej 1m^2 , na którą działa prostopadle siła 1N (niutona). Zawartość ozonu wyrażona jest w jednostkach Dobsona (D). W Tabeli 1 przedstawiono zawartości ozonu w miesiącach 2016 roku i w wieloleciu 1994-2015, a także standaryzowane odchylenia średnich miesięcznych roku względem średniego rozkładu z wielolecia. Standaryzowane odchylenie pozwala w łatwy sposób wykryć anomalne zawartości ozonu w atmosferze – wskazują na to wartości odchylenia przekraczające +2 lub -2. Uśrednianie zawartości ozonu w miesiącach może zacierać anomalie ozonu widoczne niekiedy w poszczególnych sondażach. W tym celu obliczono statystyki 5 i 95 centyla dla każdego dnia roku (t_0) z obserwacji $t_0 \pm 14$ dni w serii (1994-2014). Na Rys. 8 przedstawiono zawartości ozonu w warstwach atmosfery: 0-5km, 5-10km, 15-20km, 20-25km i 25-30km.

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

Wydaje się, że w ostatnich latach zmiany klimatu wpływają w coraz większym stopniu na stan warstwy ozonowej. W szczególności zmiany w wielkoskalowych procesach transportu (postulowane wzmocnienie cyrkulacji w komórce Dobsona-Brewera) mają duży wpływ na rozkład pionowy ozonu nad Polską. Analiza sondaży ozonowych w Legionowie z roku 2016, w stosunku do roku 2015, wskazuje, że osłabła wzmożona adwekcja (sub)tropikalna niosąca niskie koncentracje ozonu w górnej troposferze i dolnej stratosferze (Rys. 8). Na początku dwu ostatnich zim, w styczniu i w grudniu 2016 r., wystąpiły dodatnie anomalie zawartości ozonu w warstwie powyżej 10hPa (transport ozonu ze źródła nad równikiem). W tym samym czasie na niższych wysokościach w górnej troposferze obserwowano dodatnie anomalie ozonu związane z intruzjami ozonu stratosferycznego do troposfery. Zimowy transport ozonu ze źródła nad równikiem znalazł także odwzorowanie we wzroście ozonu w dolnej stratosferze na wiosnę (kumulacja ozonu nad polarną tropopauzą w maju). Podczas zimy i wczesną wiosną (od stycznia do marca) odnotowano spadek zawartości ozonu w dolnej stratosferze - wpływ procesów niszczenia ozonu przez antropogeniczne związki chloru w polarnych masach powietrza. Ponadto w marcu pojawiły się niewyjaśnione ujemne anomalie ozonu w średniej stratosferze i dolnej troposferze. Po okresie wzrostu ozonu na wiosnę (kwiecień, maj) latem od czerwca do września wystąpiły ponownie spadki zawartości ozonu w stratosferze, w tym niebezpieczne epizody jednoczesnego spadku zawartości ozonu w dolnej i średniej stratosferze. Podczas takich epizodów na sieci stacji IMGW-PIB zmierzono duże dawki promieniowania UV-B. Po przebudowie cyrkulacji stratosferycznej z letniej na zimową, w październiku wystąpiły anomalie wzrostu zawartości ozonu w dolnej stratosferze i spadku zawartości ozonu w średniej stratosferze.



Rys. 8 Zawartości ozonu w warstwach atmosfery nad Legionowem w latach 2015-16, na tle serii pomiarów z lat 1994-2014.

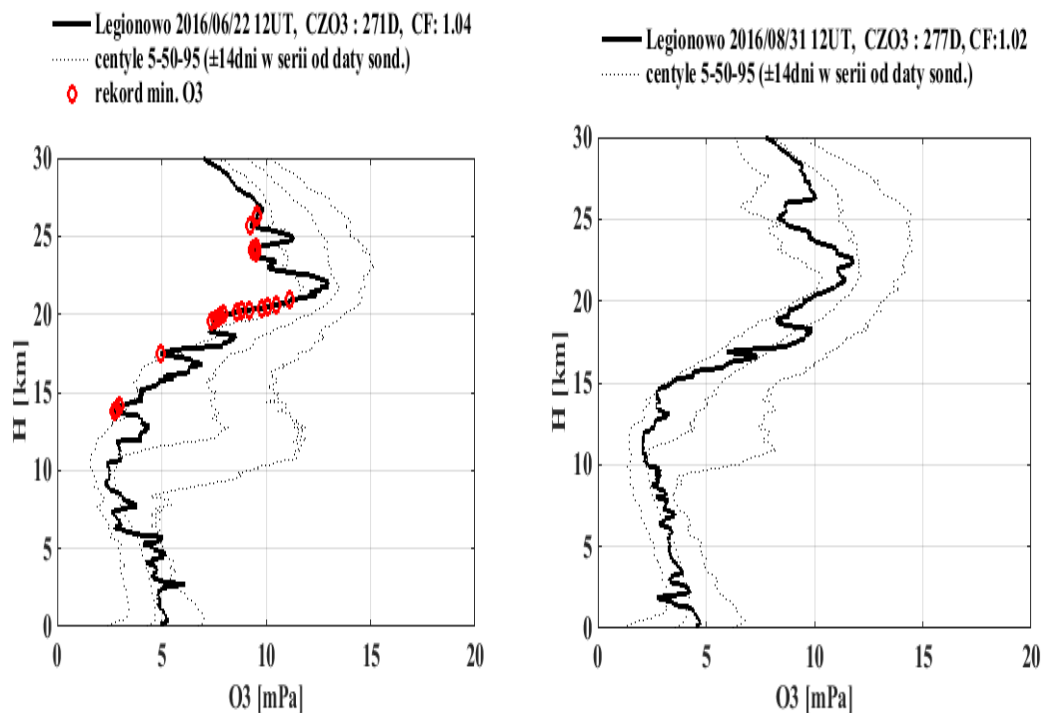
Tabela 1: Zawartość ozonu w warstwach atmosfery nad Legionowem w 2016 r.

WYSZCZEGÓLNIENIE	Warstwy atmosfery między standardowymi powierzchniami izobarycznymi (hPa) i przybliżone wysokości podstawy warstwy n.p.m (km)												
	$\frac{\sim 1000}{700}$	$\frac{700}{500}$	$\frac{500}{300}$	$\frac{300}{200}$	$\frac{200}{150}$	$\frac{150}{100}$	$\frac{100}{70}$	$\frac{70}{50}$	$\frac{50}{30}$	$\frac{30}{20}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{10}{00}$	
	0	3	5.5	9	11	13.5	15.5	18	21	24	28	31	
Styczeń	a	8,4	8,5	9,5	10,8	14,6	26,7	34,4	36,5	60,8	38,3	43,1	51,6
	b	8,3	7,4	8,2	10,0	15,6	30,5	34,3	38,0	59,1	37,1	39,1	41,5
	c	0,1	3,6	1,2	0,2	-0,2	-0,3	0,0	-0,2	0,3	0,2	0,6	2,6
Luty	a	10,0	8,8	12,5	20,4	22,3	31,9	35,6	37,3	60,4	38,8	41,7	47,0
	b	9,1	7,7	9,0	12,8	17,9	31,0	37,6	44,1	63,8	40,5	44,2	47,3
	c	0,7	1,7	2,5	0,9	0,6	0,1	-0,2	-1,0	-0,5	-0,4	-0,5	-0,1
Marzec	a	8,9	8,5	9,5	14,8	21,6	33,5	33,8	40,4	54,7	34,4	37,7	42,6
	b	11,1	8,7	10,6	15,8	20,6	32,8	35,2	40,6	61,1	37,7	43,7	49,0
	c	-2,1	-0,4	-0,7	-0,2	0,2	0,1	-0,2	-0,0	-1,4	-0,9	-1,8	-3,5
Kwiecień.....	a	12,0	9,8	13,8	21,2	22,4	33,4	36,9	43,5	65,4	39,3	46,9	53,9
	b	12,6	10,0	12,0	17,2	20,7	30,0	33,3	38,1	57,5	37,3	46,7	52,5
	c	-0,6	-0,3	0,9	0,6	0,3	0,5	0,7	1,4	1,8	0,6	0,1	0,5
Maj.....	a	13,7	10,9	12,4	13,2	22,0	34,9	36,1	37,0	57,3	39,3	50,9	55,5
	b	13,4	10,5	12,5	16,9	20,2	26,7	28,3	34,9	54,6	37,5	49,4	56,5
	c	0,3	0,5	-0,1	-0,6	0,5	2,0	1,9	1,1	1,3	1,2	0,7	-0,2
Czerwiec	a	13,7	11,1	12,9	14,9	15,4	20,8	24,0	30,4	50,3	35,7	49,1	57,0
	b	12,7	10,6	12,7	13,4	17,6	23,2	25,3	31,2	52,0	38,4	51,2	55,0
	c	0,6	0,4	0,1	0,3	-0,4	-0,7	-0,3	-0,3	-0,6	-0,9	-1,0	1,2
Lipiec.....	a	12,3	10,7	13,8	13,5	13,0	19,8	21,4	26,9	47,6	37,0	52,8	58,2
	b	13,2	10,6	13,0	13,9	14,4	20,3	22,7	29,1	50,3	38,3	51,6	55,0
	c	-0,7	0,1	0,4	-0,1	-0,4	-0,2	-0,7	-1,4	-1,5	-0,8	0,6	1,0
Sierpień.....	a	10,9	9,2	11,7	14,8	11,6	21,0	25,8	30,0	47,9	33,2	46,4	57,0
	b	12,7	10,5	12,5	10,7	11,5	18,9	23,1	28,2	47,4	36,5	49,5	53,0
	c	-0,9	-1,1	-0,5	1,2	0,0	0,8	1,2	1,4	0,2	-1,3	-1,5	1,9
Wrzesień.....	a	12,2	10,1	10,8	10,4	8,2	16,0	21,1	26,1	44,2	34,2	43,3	52,6
	b	11,4	9,5	10,8	8,9	8,8	17,6	24,1	29,3	48,1	34,0	44,9	50,6
	c	0,5	0,3	0,0	0,6	-0,2	-0,4	-0,7	-1,4	-1,1	0,0	-0,4	0,8
Październik	a	9,5	8,6	10,2	12,0	13,6	20,8	32,2	34,7	49,4	33,3	28,5	46,5
	b	9,8	8,5	9,6	8,6	8,8	16,6	22,9	29,0	46,9	33,8	41,1	46,5
	c	-0,2	0,3	0,4	0,9	2,3	1,2	2,9	2,2	0,9	-0,1	-3,0	-0,0
Listopad.....	a	6,8	6,8	8,7	10,6	11,5	21,1	25,1	28,2	46,3	32,3	32,1	42,4
	b	8,1	7,5	8,7	8,4	9,4	18,3	24,0	30,5	51,1	36,5	41,1	43,0
	c	-0,7	-1,1	0,0	0,7	0,6	0,7	0,2	-0,7	-1,3	-1,6	-1,8	-0,3
Grudzień.....	a	8,7	6,9	11,1	8,2	9,7	29,0	31,5	35,4	50,5	38,0	36,5	47,1
	b	8,0	7,5	7,8	7,3	8,7	19,7	27,9	33,8	54,4	37,6	39,6	39,0
	c	0,7	-0,9	3,5	0,2	0,3	1,4	0,6	0,4	-0,8	0,1	-0,6	2,1

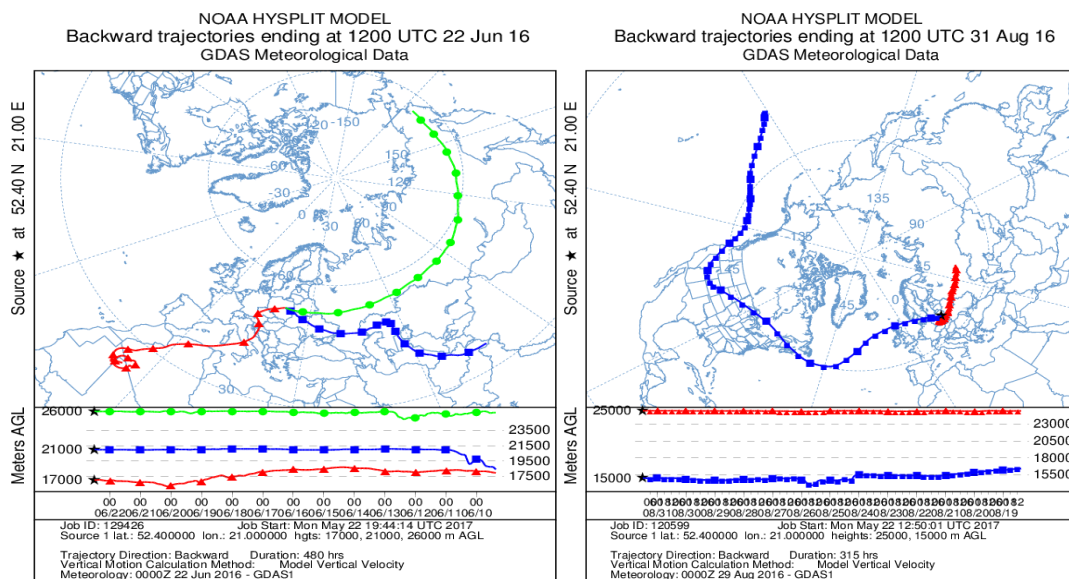
a – średnie miesięczne (D) w 2016 roku.

b – średnie miesięczne wieloletnie (D) z lat 1994-2015.

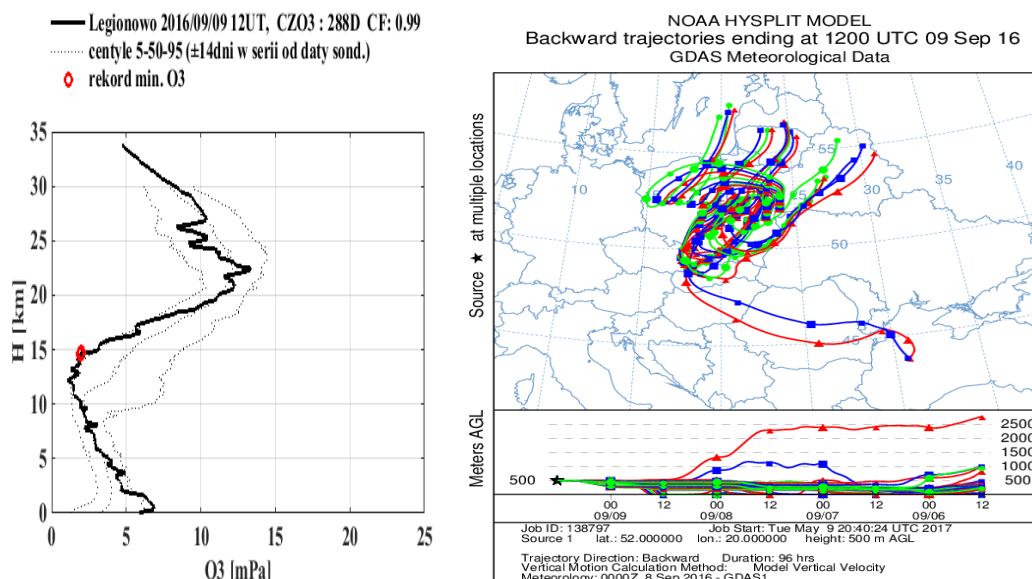
c – standaryzowane odchylenie: $(a-b)/\sigma$, gdzie σ jest odchyleniem standardowym średnich miesięcznych z lat 1994-2015.



Rys. 10: Sondáže ozonowe w Legionowie 22 czerwca i 31 sierpnia 2016 r. 12UT.



Rys. 11: Wsteczne trajektorie cząstek powietrza dla anomalii w profilach ozonu nad Legionowem.

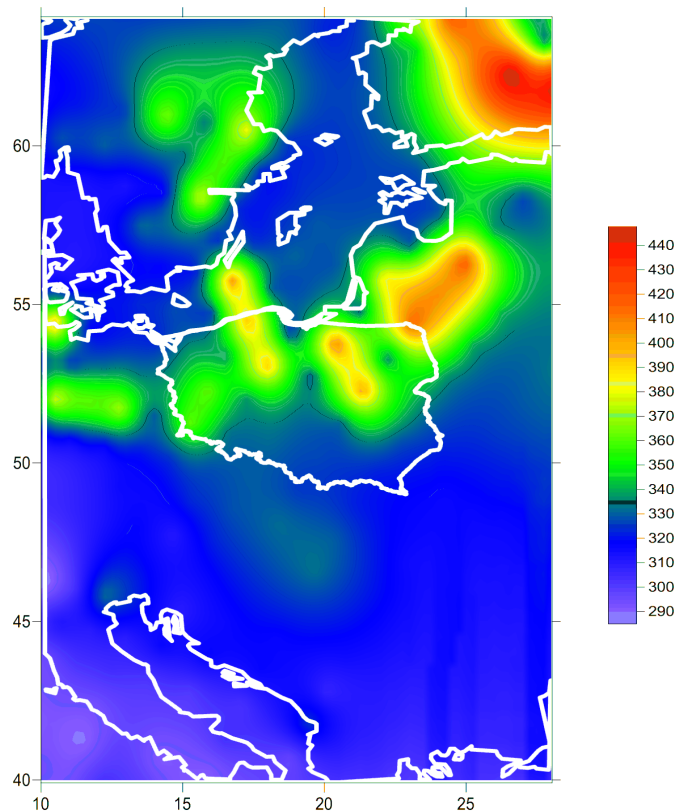


Rys.12 Sondaż ozonowy w Legionowie 9 września 2016 i trajektorie wsteczne dla epizodu wysokich stężeń ozonu w warstwie granicznej atmosfery.

Przeciętna zawartość ozonu w dolnej troposferze na wiosnę jest podobna jak latem (Rys. 9), co oznacza, że ozon transportowany ze stratosfery daje największy wkład do bilansu ozonu troposferycznego. W okresie letnim nad Legionowem nadal pojawiają się epizody wysokich stężeń ozonu troposferycznego, związane z fotochemiczną produkcją ozonu, w powietrzu o wysokiej temperaturze zawierającym prekursory ozonu (tlenki azotu, lotne węglowodory, CO). W ostatnich latach maksima roczne ozonu w dolnej troposferze przesuwają się na koniec lata. Analiza trajektorii wstecznych dla epizodu kumulacji wysokich stężeń ozonu w planetarnej warstwie granicznej w dniu 9 września 2016 (Rys. 12) ujawniła bardzo wolny ruch powietrza w wyżu nad Polską. Na stacji WIOŚ w Legionowie w ciągu kilku dni występowały przekroczenia normy dopuszczalnych stężeń ozonu przyziemnego.

5.2.3.2 Ozon całkowity z danych satelitarnych nad Europą Środkową w 2016 roku

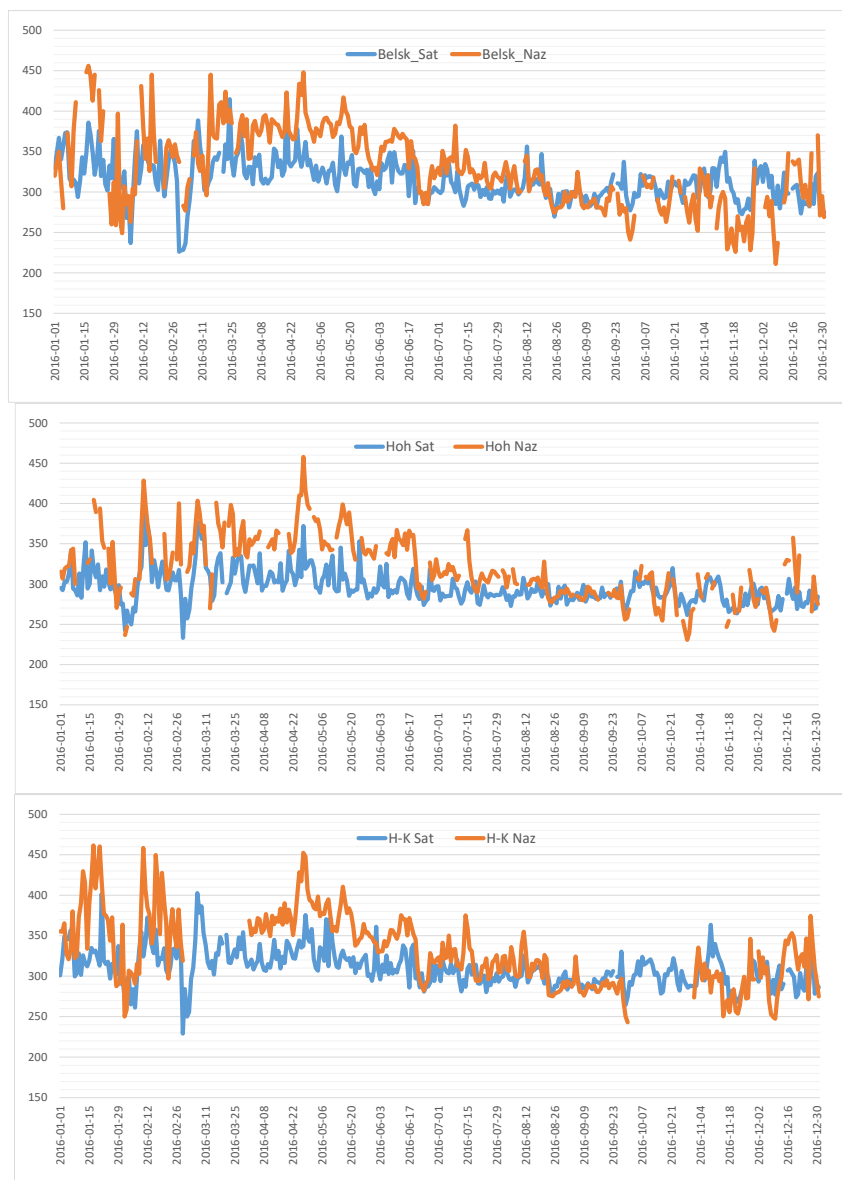
Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2016 roku był prowadzony z wykorzystaniem danych satelitarnych z kanału 9,8 μ m czujnika NOAA/ATOVS. Całkowita zawartość ozonu wyznaczana była za pomocą oprogramowania IAPP z przelotów satelitów NOAA-18, NOAA-19 oraz Metop w punktach odpowiadających 3x3 pikselom HIRS. Tak otrzymywane pola całkowitej zawartości ozonu 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 krugingu zwykłego. Na Rysunku 13 przedstawiono przykładowy rozkład całkowitej zawartości ozonu z dnia 14 kwietnia 2016.



Rys. 13: Całkowita zawartość ozonu (D) w dniu 14 kwietnia 2016, wyznaczona z danych Metop-A.

W 2016 roku nie było większych problemów z odbiorem danych satelitarnych i mapy rozkładu całkowitej zawartości ozonu nad Europą Środkową nie były generowane jedynie w ciągu 3 dni, co stanowi 0,8% badanego okresu.

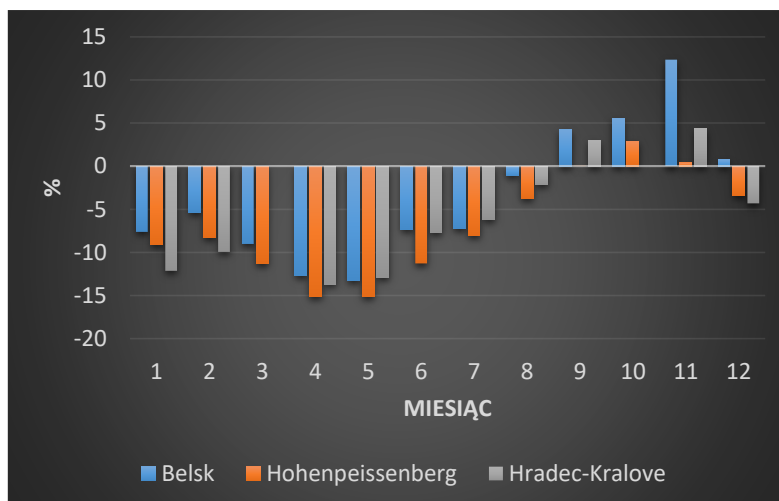
Weryfikacja dokładności całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych odbywa się poprzez porównanie z pomiarami naziemnymi. Porównanie takie przeprowadzone zostało dla trzech stacji z obszaru Europy Środkowej, które znajdują się w obrębie każdej transmisji NOAA odbieranej w Wydziale Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB w Krakowie. Stacje te to: Belsk (21°E, 52°N), Hohenpeissenberg (11°E, 47,8°N) oraz Hradec-Kralove (15,8°E, 50,2°N). Wszystkie dane naziemne wykorzystane do weryfikacji pobrane zostały ze Światowego Centrum Danych Ozonowych i UV znajdującego się w Toronto (Kanada) (www.woudc.org). Na Rysunku 14 przedstawiono przebiegi krzywych całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z satelitarnych danych i zmierzonej spektrofotometrem dla wymienionych wyżej stacji w roku 2016. Kolorem pomarańczowym oznaczono krzywą uzyskaną na podstawie pomiarów wykonanych spektrofotometrem, a niebieskim – satelitarnych.



Rys. 14: Całkowita zawartość ozonu wyznaczona dla Belska, Hohenpeissenberga oraz Hradec-Kralove z danych satelitarnych NOAA/ATOVS (linia niebieska) oraz zmierzona spektrofotometrem (linia pomarańczowa) w roku 2016.

Łatwo zauważyć dużą zmienność z dnia na dzień całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej zarówno z danych satelitarnych jak i zmierzonej spektrofotometrem. Krzywe charakteryzuje podobna zmienność roczna z widocznym spadkiem zawartości ozonu jesienią i jej wzrostem wiosną, przy czym wzrost ten jest mniej wyraźny w przypadku danych satelitarnych. Dla wszystkich analizowanych stacji w pierwszej połowie roku widoczne jest zaniżanie całkowitej zawartości ozonu przez dane satelitarne oraz zawyżanie w drugiej.

Analiza procentowych różnic pomiędzy średnimi miesięcznymi wartościami całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych oraz zmierzonej na stacji (Rys. 15) pokazuje, że różnice te są zbliżone dla wszystkich stacji i wahają się od -15,0 % (kwiecień-maj, Hohenpeissenberg) do 12,0 % (listopad, Belsk).



Rys. 15: Rozkład procentowych różnic pomiędzy średnimi miesięcznymi wartościami całkowitej zawartości ozonu wyznaczonych dla Belska, Hohenpeissenberga i Hradec-Kralove z danych satelitarnych NOAA/ATOVS oraz zmierzonych spektrofotometrami w roku 2016.

W celu określenia dokładności metody wyznaczania zawartości ozonu z danych satelitarnych NOAA/ATOVS, obliczono średnią różnicę pomiędzy całkowitą zawartością ozonu wyznaczoną z danych satelitarnych i naziemnych, średnią różnicę bezwzględną, korelację oraz błąd procentowy metody. Obliczenia wykonano na podstawie wartości dobowych dla 2016 roku. Wyniki przedstawione zostały w Tabeli 2.

Tabela 2: Wyniki porównania pomiędzy ozonem wyznaczonym z danych ATOVS i zmierzonych spektrofotometrem w 2016, dla stacji Belsk, Hohenpeissenberg oraz Hradec-Kralove

	Korelacja	Średnia różnica [D]	Średnia różnica bezwzględna [D]	RMSE %
Belsk	0,62	-12,5	31,4	12,7
Hohenpeissenberg	0,70	-23,5	29,2	12,8
Hradec-Kralove	0,65	-23,3	32,4	14,3

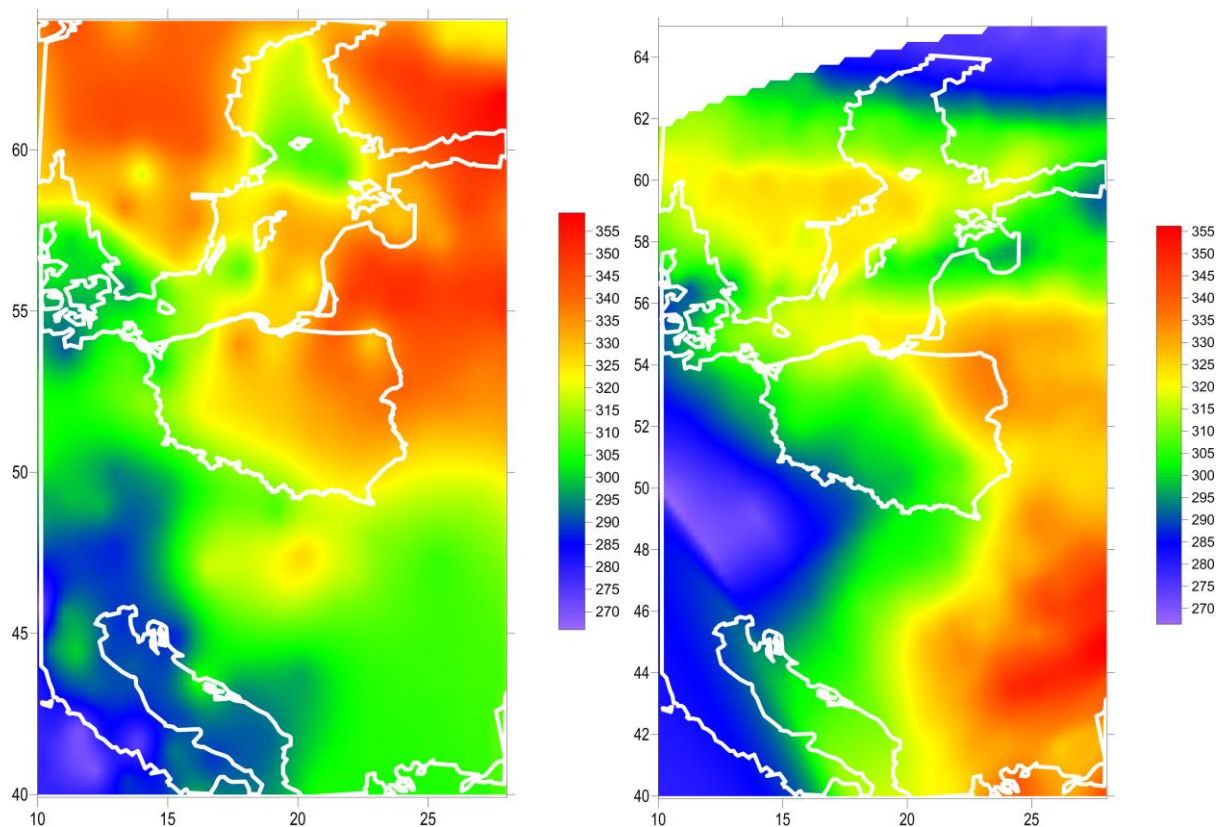
Dokładność satelitarnego monitoringu ozonu z wykorzystaniem danych z czujnika ATOVS obliczona na podstawie porównania z pomiarami naziemnymi jest rzędu 12-14%. Są to wartości stosunkowo duże, co może wynikać zarówno z samej metodyki wyznaczania całkowitej zawartości ozonu z danych ATOVS (dostępny jest jedynie pomiar w paśmie 9,8 μ m) jak i z pogarszającej się jakości samych pomiarów związanej ze starzeniem się czujnika.

Wobec coraz gorszej jakości danych z czujnika ATOVS, w listopadzie 2016 roku uruchomiono oprogramowanie do wyznaczania całkowitej zawartości ozonu nad Europą Centralną z wykorzystaniem danych z czujnika Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) znajdującego się na pokładzie satelity meteorologicznego Suomi NPP (S-NPP). W Dziale Teledetekcji Satelitarnej IMGW-

PIB w Krakowie prowadzony jest operacyjny odbiór danych z wszystkich czujników satelitarnych S-NPP, w tym również OMPS, co pozwala na pozyskiwanie i udostępnianie informacji o całkowitej zawartości ozonu nad Polską.

Instrument OMPS/S-NPP zawiera dwa zaawansowane technologicznie, hiperspektralne czujniki mierzące odbite promieniowanie słoneczne w pasmie UV, co pozwala na pozyskiwanie informacji o całkowitej zawartości ozonu, a także o pionowym profilu ozonu w warstwie od 15km do 60km. Całkowita zawartość ozonu może być wyznaczana w pasie skanowania czujnika o szerokości 2 800km i z rozdzielczością przestrzenną 50km w punkcie podsatelitarnym dzięki czemu możliwe jest codzienne tworzenie map rozkładu całkowitej zawartości ozonu dla obszaru Polski i Europy Środkowej. W przypadku pionowego profilu ozonu, pozyskiwanie danych dla całej Polski będzie zajmowało parę dni (c.a. 2-3).

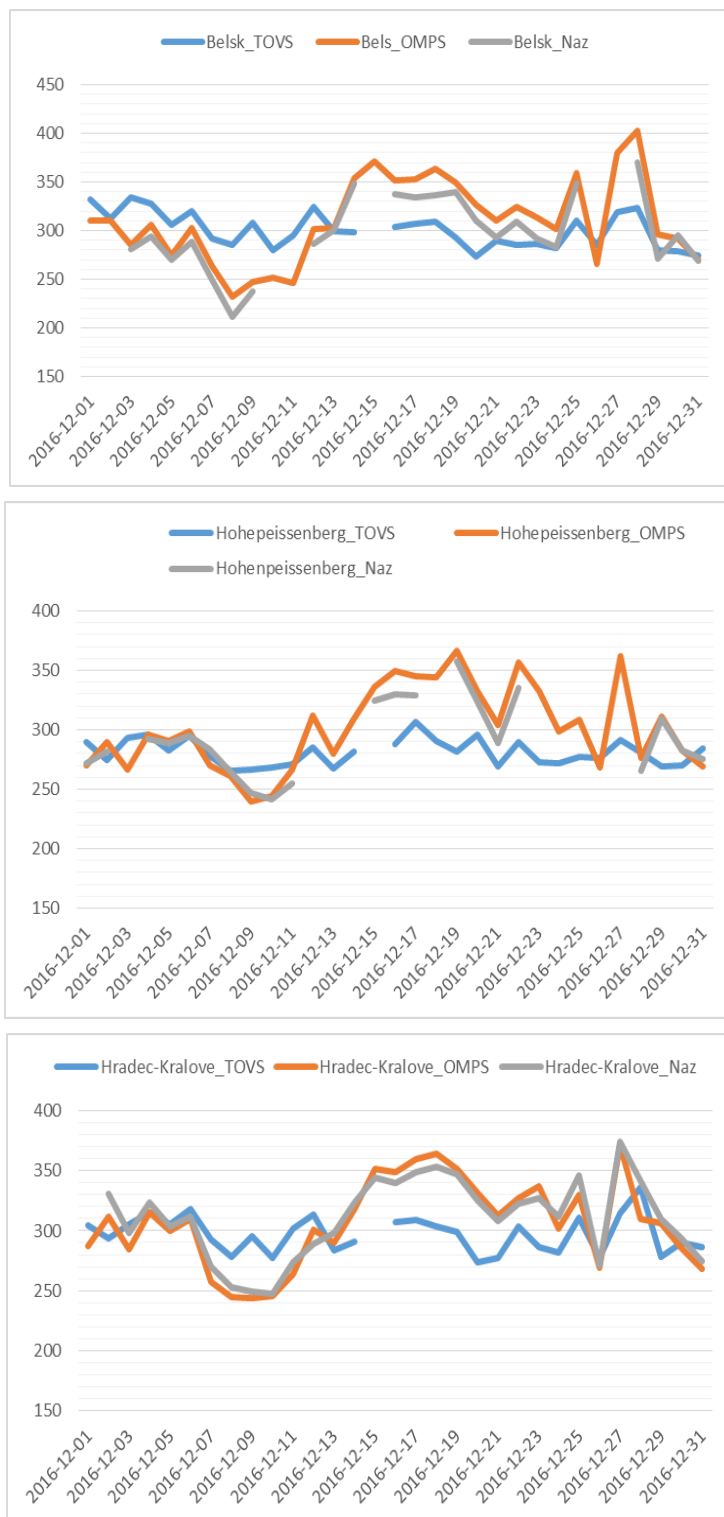
Do wyznaczania całkowitej zawartości ozonu z danych OMPS wykorzystano pakiet OMPSNADIR_SPA V.1.0.1 przygotowane przez NASA, Direct Readout Laboratory, GODDARD SPACE FLIGHT CENTER, (<https://directreadout.sci.gsfc.nasa.gov/>) Oprogramowanie to oblicza na podstawie danych OMPS: całkowitą zawartość ozonu, profil ozonu dla punktów podsatelitarnych (linia), promieniowanie UV 331nm, całkowitą zawartość SO₂ (tylko w niezachmurzonych punktach obrazu) oraz UV Aerosol Index. Pakiet generuje pliki wyjściowe w formacie HDF5 oraz tworzone również obrazy w formacie PNG pozwalające na szybki podgląd wyników. Jego testowanie odbywało się w okresie listopad-grudzień 2016 roku. Na Rysunku 16 przedstawiono mapy rozkładu ozonu wyznaczone z danych TOVS oraz OPMS.



Rys. 16: Całkowita zawartość ozonu (D) w dniu 1 grudnia 2016, wyznaczona z danych TOVS (panel lewy) oraz OMPS (panel prawy).

Chociaż zakresy wartości przyjmowanych przez całkowitą zawartość ozonu w tym dniu są dla obu map takie same to łatwo zauważyć różnice pomiędzy rozkładami tego parametru na obszarze Europy Środkowej. Brak danych dla północno-zachodniego krańca mapy uzyskanej na podstawie danych OMPS jest brakiem pomiarów satelitarnych. Czujnik OMPS mierzy promieniowanie w zakresie UV, a o tej porze roku na tym obszarze panuje noc polarna.

Podobnie jak to miało miejsce w przypadku monitoringu z wykorzystaniem danych ATOVS, całkowita zawartość ozonu wyznaczona z danych OMPS została porównana z danymi naziemnymi dla tych samych trzech stacji: Belsk, Hohenpeissenberg oraz Hradec-Kralove. Na Rysunku 17 przedstawiono przebiegi krzywych całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z satelitarnych danych OMPS (kolor pomarańczowy) i zmierzonej spektrofotometrem (kolor szary) dla wymienionych wyżej stacji w grudniu 2016 roku. Dla porównania, wykreślono również przebieg całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych ATOVS (kolor niebieski).



Rys. 17: Całkowita zawartość ozonu wyznaczona dla Belska, Hohenpeissenberga oraz Hradec-Kralove z danych satelitarnych OMPS (linia czerwona), NOAA/ATOVS (linia niebieska) oraz zmierzona spektrofotometrem (linia szara) w grudniu 2016 roku.

Dla wszystkich trzech stacji zgodność całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych OMPS z pomiarami naziemnymi jest bardzo dobra co pozwala sądzić, że jakość monitoringu ozonu z

wykorzystaniem tych danych będzie dużo lepsza niż ma to miejsce w przypadku danych ATOVS, co pokazują wartości błędu RMSE% obliczone dla grudnia 2016 (Tabela 3).

Tabela 3: RMSE % obliczony dla grudnia 2016 dla metod wyznaczania całkowitej zawartości ozonu z danych OMPS i ATOVS.

	OMPS	ATOVS
Belsk	5,2%	12,4%
Hohenpeissenberg	3,2%	9,4%
Hradec-Kralove	3,4%	10,5%

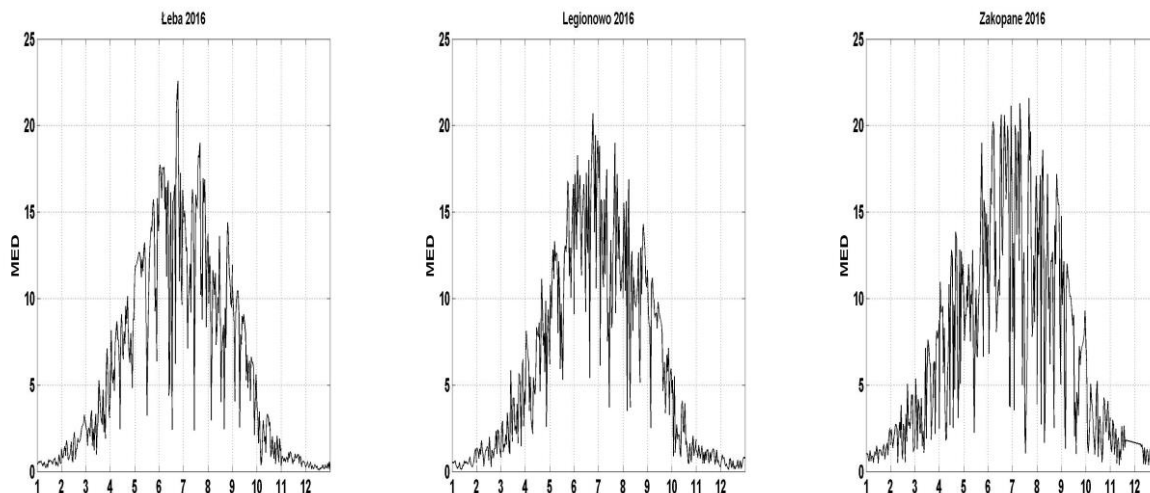
Ze względu na brak dostępności danych z czujnika OMPS dla całego roku 2016, analizę roczną całkowitej zawartości ozonu nad Europą Środkową przeprowadzono na podstawie danych z czujnika ATOVS. Analizując otrzymane wyniki porównań danych z czujnika ATOVS i OMPS, od 2017 roku satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu prowadzony będzie z wykorzystaniem danych OMPS/S-NPP.

5.2.3.3 Promieniowanie UV-B zmierzone na sieci monitoringu w 2016 roku

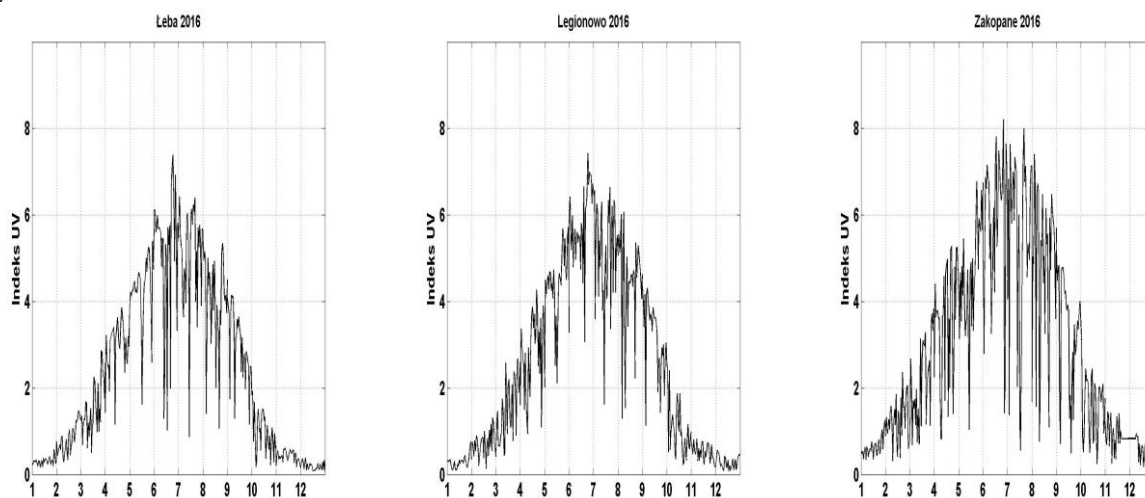
Pomiary promieniowania czynnego promieniowania UV-B wykonywane są w sieci monitoringu IMGW-PIB od połowy 1993 r. z wykorzystaniem przyrządów UV Biometer Model 501 (SL501) firmy Solar Light, zainstalowanych na stacjach w Łebie, Legionowie i Zakopanem.

Poniżej przedstawiono wartości dawek dziennych UV-B [MED] i Indeksu UV zmierzone na stacjach IMGW-PIB w 2016 roku (Rys. 18).

a)



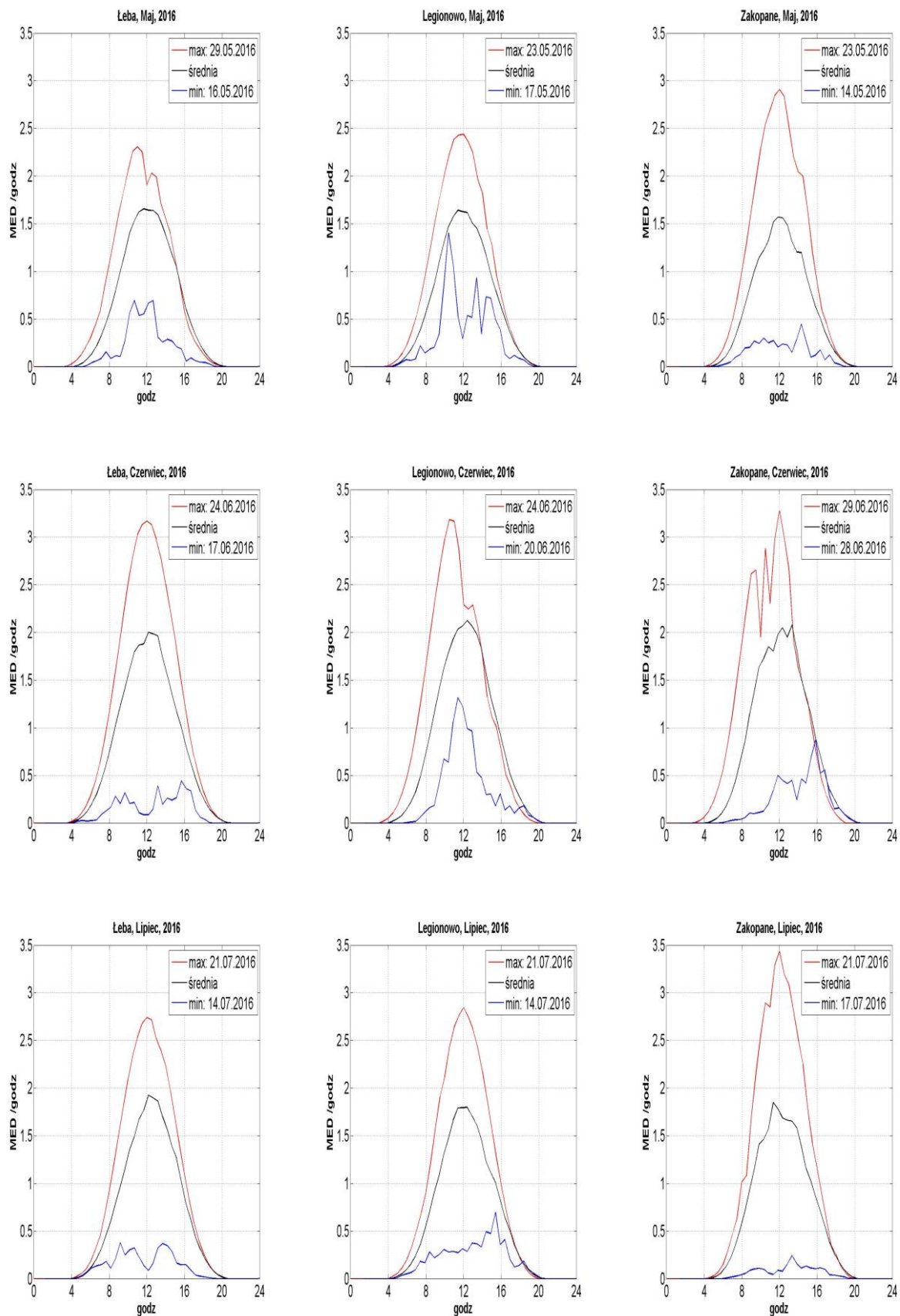
b)



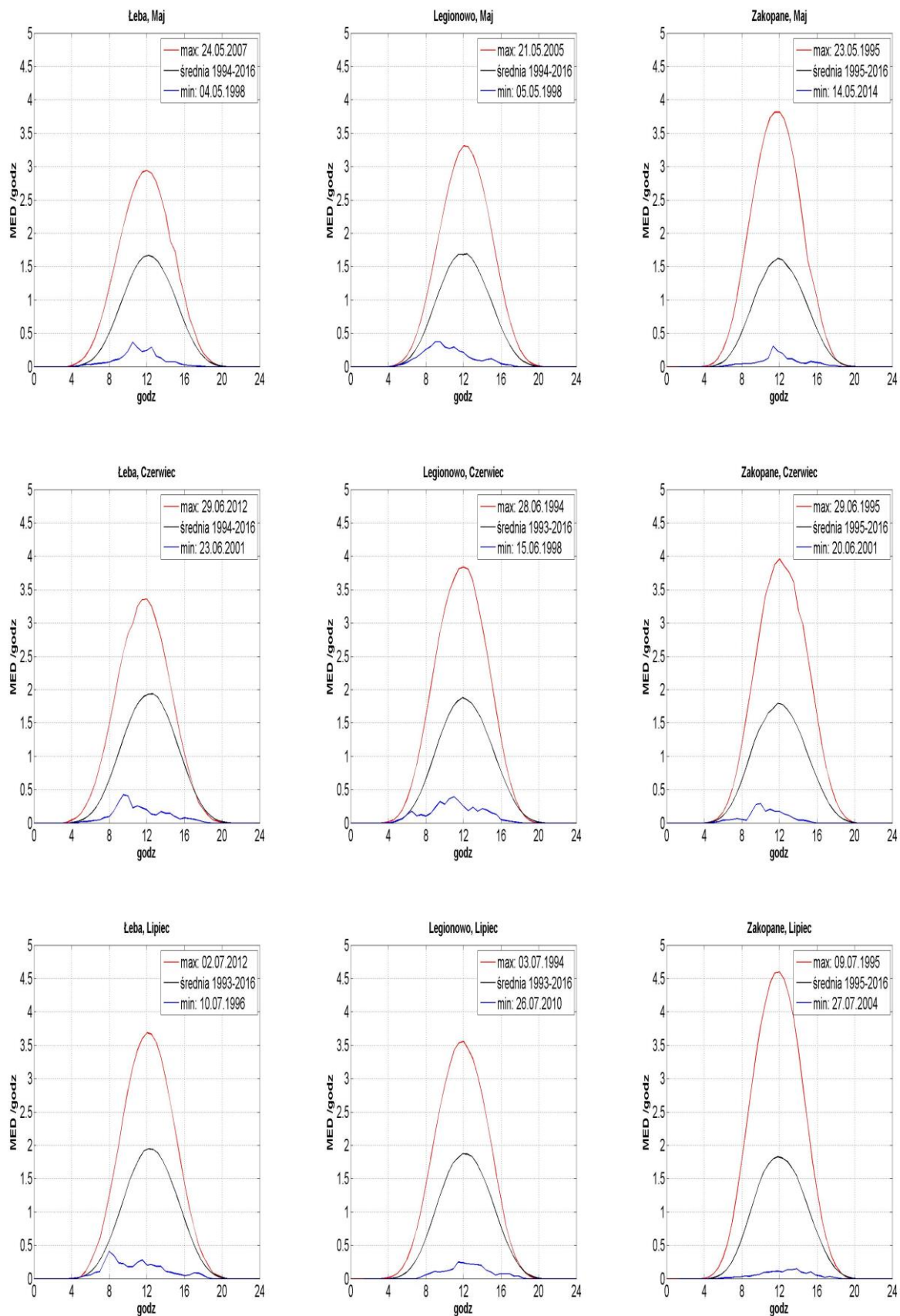
Rys. 18: Wartości dawek dziennych UV-B [MED] (a) i Indeksu UV (b) z czujników SL501 w Łebie, Legionowie i Zakopanem w 2016r.

Stacje monitoringu UV-B w IMGW-PIB ułożone są południkowo. Gdyby nie zróżnicowanie ilości chmur, ozonu i aerozoli, ilość promieniowania UV-B docierającego do powierzchni Ziemi powinna być największa dla stacji Zakopane a najmniejsza dla Łeby. Widać to porównując przebiegi z maksymalnymi dawkami dobowymi (Rys. 19), które odpowiadają sytuacjom bezchmurnego nieba z małą ilością ozonu i aerozoli. Południkowy rozkład wielkości promieniowania UV można zwykle zauważyć porównując średnie dzienne w poszczególnych miesiącach dla trzech stacji. W poprzednich latach efekt taki można zaobserwować dla miesięcy od jesieni do wiosny. Natomiast w okresie letnim

bardzo często sytuacja się odwracała. Wraz z nadejściem okresu ciepłego zaczynają rozwijać się procesy konwekcyjne sprzyjające powstawaniu chmur. Rozkład południkowy zostaje zaburzony i często obserwuje się znacznie większe promieniowanie dla stacji w Łebie niż w Legionowie i Zakopanem. Obserwując przebiegi średnie wieloletnie dla miesięcy letnich (Rys. 20) widać, że promieniowanie UV w tym okresie jest mniejsze dla Zakopanego niż dla Legionowa i Łeby. Dobrze to widać dla lipca. Dla lata 2016 roku wyznaczono średnie przebiegi promieniowania UV dla trzech stacji. Ze względu na mniejszą ilość uśrednianych danych w stosunku do średnich wieloletnich, otrzymane przebiegi są bardziej zmienne, dlatego do oceny zróżnicowania między stacjami najlepiej posłużyć się średnimi dobowymi (Tabela 4).



Rys. 19: Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B (w MED/h) zmierzonych przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu 2016 r.



Rys. 20: Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B (w MED/h) zmierzonego przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu dla całej serii pomiarowej od 1993 do 2016.

Tabela 4: Dienne – średnie, maksymalne i minimalne dawki UV-B oraz miesięczne dawki promieniowania UV-B (w MED) zmierzonych przyrzędami SL501 w 2016 r.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Łeba												
Śr. Dobowe	0,5	1,5	3,2	7,1	11,9	14,5	13,1	9,6	7,1	1,8	0,7	0,3
Max. Dob.	1,0	3,3	7,1	10,1	15,8	22,6	19,0	14,4	10,7	3,7	1,1	0,6
Min. Dob.	0,3	0,6	1,0	2,5	3,2	2,4	2,4	2,5	2,1	0,4	0,3	0,1
Dawka mies.	16,0	44,2	98,5	213,6	367,5	434,3	406,7	298,1	212,7	56,8	22,0	8,8
Legionowo												
Śr. Dobowe	0,5	1,3	3,1	6,4	11,4	15,1	12,5	10,9	7,7	2,1	0,9	0,5
Max. Dob.	1,3	2,4	6,5	11,1	16,8	20,7	19,0	16,9	11,6	5,5	1,5	1,0
Min. Dob.	0,1	0,3	0,8	2,2	5,3	5,4	3,7	3,5	2,5	0,5	0,3	0,1
Dawka mies.	15,3	36,4	94,8	191,8	353,6	453,0	387,0	338,0	229,9	63,7	27,2	14,6
Zakopane												
Śr. Dobowe	1,1	2,4	4,5	7,9	10,5	14,5	12,7	11,4	7,7	2,9	**	**
Max. Dob.	2,5	5,1	8,7	13,9	19,0	21,1	21,6	18,6	13,5	7,3	**	**
Min. Dob.	0,5	0,5	1,1	1,8	2,3	3,8	1,1	1,7	1,0	0,6	**	**
Dawka mies.	35,0	69,4	140,2	238,1	326,5	435,3	394,6	354,1	230,1	90,7	**	**

* przy braku danych w poszczególnych dniach, uzupełniono je przez średnią z pozostałych dni

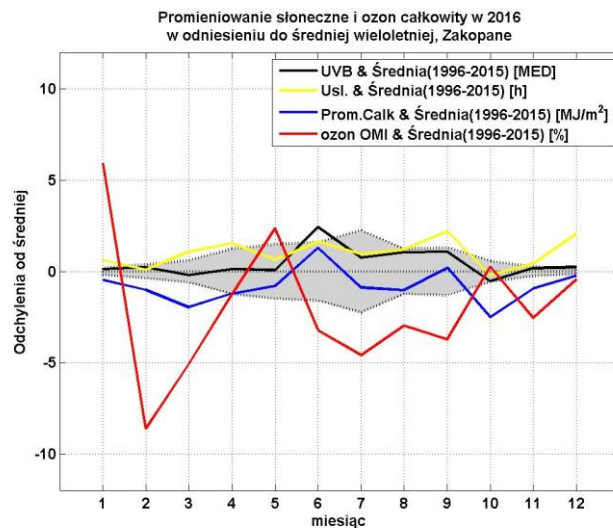
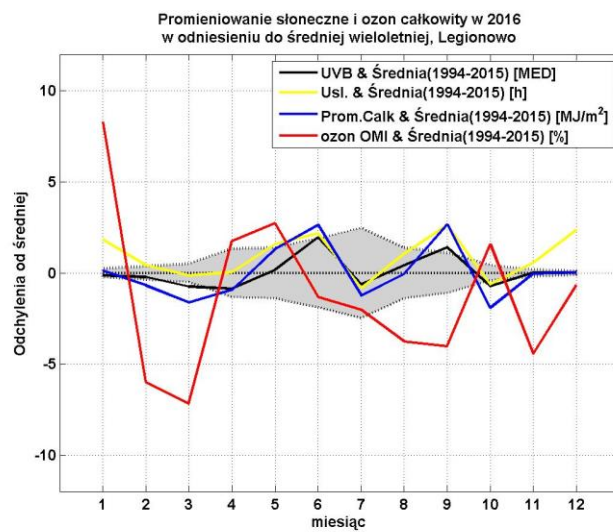
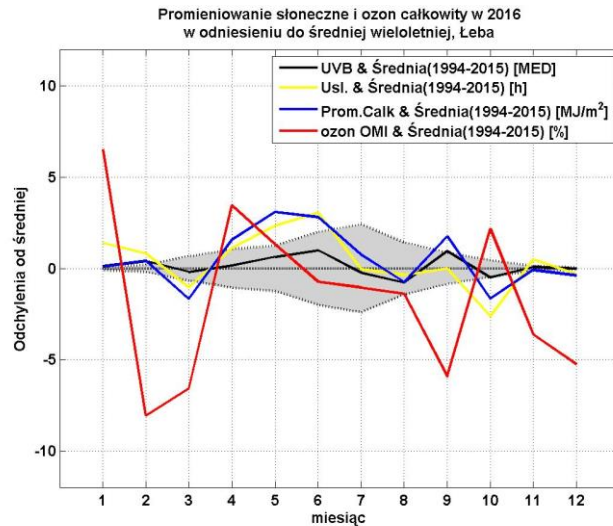
** zbyt mała liczba dni pomiarowych w miesiącu (brak 5 lub więcej dni pomiarowych)

Dla 2016 roku ilość promieniowania UV miała wyraźny południkowy wzrost jedynie dla sierpnia i października. Odwrócenie charakteru południkowego wystąpiło dla maja. Dla pozostałych miesięcy sytuacja była zróżnicowana. Największą dawkę miesięczną UV-B, 453 MED zmierzono w Legionowie w czerwcu. Największą dawkę dzienną 22,6 MED zmierzono w Łebie, również w czerwcu.

W okresie zimowym ze względu na niski poziom promieniowania UV-B występuje problem niedoboru witaminy D₃, na który narażeni są szczególnie mieszkańcy północnej części kraju. Zalecaną dla utrzymania zdrowia dzienną dawkę witaminy D₃ może uzyskać człowiek wystawiając na Słońce 25% powierzchni ciała (ręce, twarz, ramiona) do napromienienia dawką 0,25 MED. Dawki mniejsze niż 0,25 MED zanotowano w 2016 roku, w grudniu w Łebie (17 dni), w styczniu w Legionowie (5 dni) i w Zakopanem, w grudniu (7 dni). Jednak w pomiarach z Zakopanego takich dni mogło być więcej gdyż w okresie, kiedy można spodziewać się niedoborów promieniowania, wystąpiła dwutygodniowa przerwa w danych na przełomie listopada i grudnia spowodowana awarią rekordera.

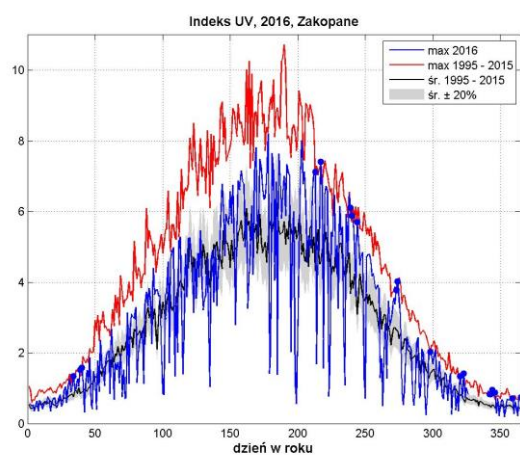
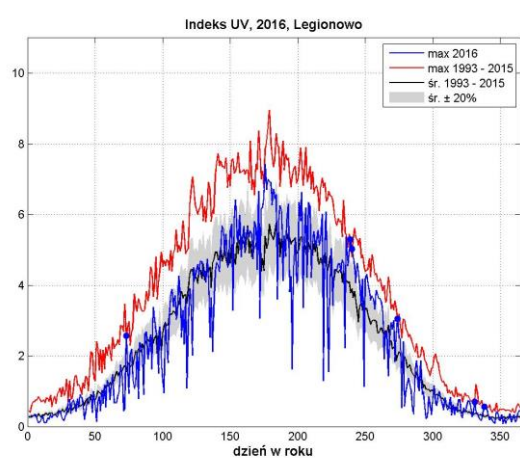
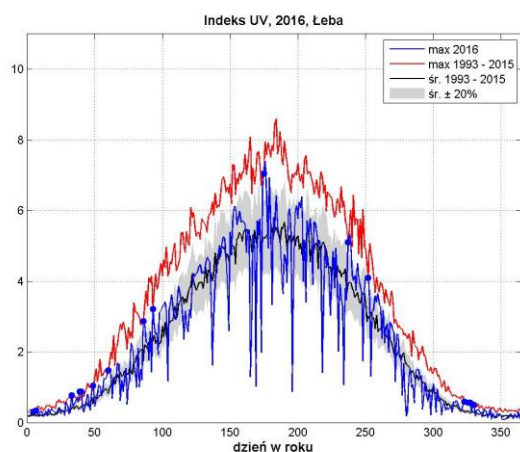
Ilość promieniowania UV docierające do powierzchni Ziemi zależy od wielu czynników. Dlatego do oceny przyczyn jego zmiany wykorzystano prowadzone równoległe do monitoringu UV pomiary promieniowania całkowitego i usłonecznienia. Wielkości te pozwalają pośrednio wnioskować o zmianach promieniowania UV. 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 jego niewielkim zakresie (UV-B), można promieniowanie całkowite traktować jako niezależne od ilości ozonu. Na ilość promieniowania całkowitego, podobnie jak na UV ma wpływ ilość aerozoli. Im aerozoli jest więcej tym promieniowania słonecznego dociera mniej. Natomiast usłonecznienie dobrze identyfikuje dni z bezchmurną pogodą. Na Rysunku 21 porównano średnie miesięczne

promieniowania UV, 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 2016 roku wystąpiły dwa takie okresy, jeden w trzeciej dekadzie czerwca dający szczególnie duże ilości promieniowania w Legionowie i Zakopanem oraz na przełomie sierpnia i września dla trzech stacji. Na przełomie sierpnia i września dla Legionowa wzrost promieniowania UV był największy i związane to było ze zmniejszeniem ilości ozonu oraz bezchmurną (duże usłonecznienie) pogodą. Natomiast w Zakopanem mimo dużego usłonecznienia, czyli długich okresów z bezchmurną pogodą, promieniowanie całkowite było zbliżone do średniej wieloletniej. Sugeruje to, że wzrost ilości aerozoli osłabił wpływ małej ilości ozonu na wielkość UV. Odwrotna sytuacja wystąpiła w Łebie, tam usłonecznienie było typowe natomiast promieniowanie całkowite znacząco przewyższało średnią wieloletnią. Oznacza to, że mimo pochmurnej pogody za wzrost promieniowania UV odpowiedzialna była mniejsza ilość aerozoli. Jeśli chodzi o wzrost UV w Legionowie i Zakopanem pod koniec czerwca, to był on związany z panującą w tym okresie wyżową bezchmurną pogodą.



Rys. 21: Odchylenie od średniej wieloletniej promieniowania UV-B, promieniowania całkowitego, ozonu całkowitego i usłonecznienia w 2016 roku. Szary obszar reprezentuje zmienność promieniowania UV-B w granicach $\pm 1\sigma$. Średnie wieloletnie ozonu całkowitego obliczone na podstawie danych satelitarnych.

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 wystąpiła opalenizna.



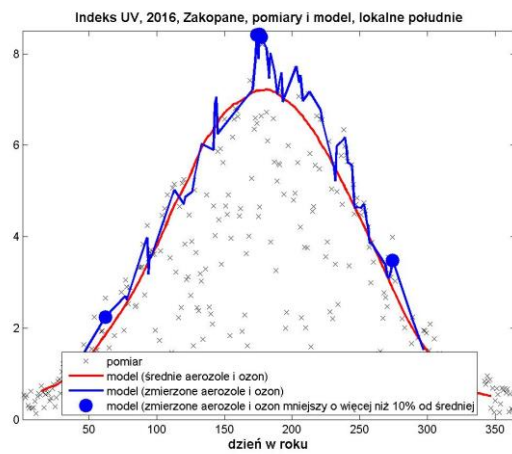
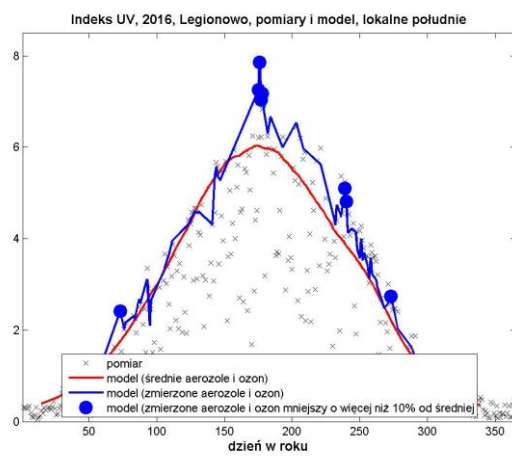
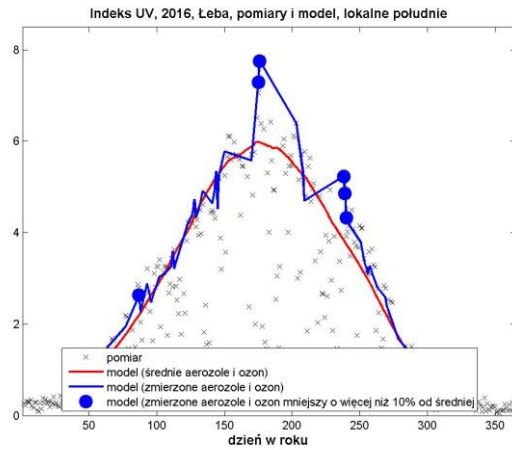
Rys. 22: Przebiegi roczne Indeksu UV z 2016 roku dla stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem na tle średniego oraz maksymalnego Indeksu UV od początku pomiarów do 2015 roku dla każdej stacji.

Na Rysunku 22 przedstawiono przebieg roczny Indeksu UV z 2016 roku na tle średniego oraz maksymalnego Indeksu UV z okresu od 1993 (Zakopane 1995) do 2015 roku dla każdej ze stacji. W roku 2016 na wszystkich stacjach obserwowano epizodycznie wartości Indeksu UV zbliżające się do ekstremów wieloletnich w seriach pomiarowych, a nawet je przekraczające. Szczególnie dużo przypadków ekstremalnych wartości Indeksu UV zaobserwowano na stacji w Zakopanem. Najwięcej

dni z rekordowymi wartościami zaobserwowano na przełomie sierpnia i września. Rekordowe wartości występowały w Zakopanem w lutym i kwietniu. Wyróżniają się też duże wartości Indeksu UV zmierzone w trzeciej dekadzie czerwca w Legionowie i Łebie.

Rozdzielenie wpływu chmur, ozonu i aerozoli na docierające do powierzchni Ziemi promieniowanie UV jest złożonym zagadnieniem, zwłaszcza gdy w danych lokalizacjach są dostępne jedynie pomiary za pomocą biernej teledetekcji. W tych sytuacjach, obecność chmur zmniejsza dokładność wyznaczenia ozonu a pomiar aerozoli czyni praktycznie niemożliwym. Nawet w przypadkach gdy jest bezchmurne niebo własności optyczne aerozoli są wyznaczane zwykle dla dłuższych długości fal niż UV. Nieliczne pomiary w zakresie UV używane do wyznaczania aerozoli są zwykle mało dokładne. W efekcie niewiele jest danych gdy mamy dobrej jakości równoczesny pomiar ozonu, aerozoli oraz potrafimy w miarę dobrze ocenić efekt jaki dają chmury. Poniżej umieszczone wykresy zostały tak przygotowane aby wyjaśnić przyczyny dużego wzrostu promieniowania UV w poszczególnych dniach. Korzystając z pomiarów satelitarnych OMI, ozonu całkowitego i aerozoli z 2016 roku obliczono, używając model transferu promieniowania słonecznego FastRT wartości Indeksu UV dla bezchmurnego nieba dla lokalnego południa (Rys. 23). Podobne obliczenie wykonano dla danych uśrednionych ozonu całkowitego i aerozoli 30-dniową średnią biegnącą z okresu 2005-2015. Umieszczono pomiary Indeksu UV z 2016 roku oraz zaznaczono wartości Indeksu UV gdy ozon całkowity był mniejszy o więcej niż 10% od średniej. Zestawienie wartości dla 2016 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.

Okazuje się, że podwyższone wartości promieniowania UV da się wytłumaczyć spadkami ozonu w trzeciej dekadzie czerwca, na przełomie sierpnia i września oraz w pojedynczych dniach wczesną wiosną i na jesieni. Analizując pozostałe dni z lata można wywnioskować, że podwyższone wartości promieniowania często były związane z mniejszą ilością aerozoli.



Rys. 23: Przebiegi roczne Indeksu UV z 2016 roku obliczonego z wykorzystaniem modelu transferu promieniowania słonecznego FastRT dla stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem z wykorzystaniem pomiarów satelitarnych ozonu całkowitego i aerozoli OMI 2005-2015.

5.2.4 Podsumowanie i wnioski

Polska jest stroną Konwencji Wiedeńskiej o ochronie warstwy ozonowej i Protokołu Montrealskiego (PM) w sprawie substancji zubożających warstwę ozonową od dnia 11 października 1990 r i wywiązuje się z przyjętych zobowiązań. W przypadku Konwencji zobowiązanie dotyczy zapewnienia środków niezbędnych do wykonywania pomiarów ozonu atmosferycznego i natężenia słonecznego promieniowania UV zgodnie z programem Państwowego Monitoringu Środowiska. Zasadniczym zaleceniem Protokołu Montrealskiego i jego poprawek jest redukcja substancji kontrolowanych aż do ich całkowitej eliminacji w odniesieniu do produkcji i zużycia (zgodnie z wprowadzonymi definicjami). Niewypełnianie postanowień Protokołu Montrealskiego może opóźnić, a nawet uniemożliwić regenerację warstwy ozonowej.

W ostatnich, ponad 30 latach obserwowane są wyraźne zmiany ilości i rozkładu przestrzennego ozonu w atmosferze. Warstwa ozonu w stratosferze będąca naturalnym filtrem słonecznego promieniowania UV ma podstawowe znaczenie dla życia na Ziemi, a jej rozrzedzenie jest przedmiotem wielkiego zainteresowania opinii publicznej i środowiska naukowego. Ubytki ozonu w rejonach polarnych, w tym regularnie, od 1985 r., pojawiająca się wiosenna dziura ozonowa nad Antarktydą, powodują znaczny wzrost promieniowania UV docierającego do powierzchni Ziemi. Dodatkowo duże zmiany w profilu ozonu powodują zmiany cyrkulacji atmosferycznej zarówno w skali regionalnej jak i globalnej poprzez modyfikację struktury termicznej atmosfery. Może to mieć istotny wpływ na zmiany klimatu. Przeprowadzone w ostatnich latach badania kluczowych dla procesu niszczenia ozonu reakcji chemicznych nie pozostawiają wątpliwości, iż niszczące ozon antropogeniczne substancje (chemiczne związki chloru i bromu) są główną przyczyną niedoborów ozonu w minionych kilku dekadach. W ostatnich latach na stan warstwy ozonowej w obszarach polarnych i poza nimi coraz bardziej wpływ mają zmiany cyrkulacji atmosfery i wzrost koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze. Nad Polską i Europą pojawiają się epizody jednoczesnej adwekcji na różnych wysokościach, polarnej masy z fotochemicznym ubytkiem ozonu i masy subtropikalnej o naturalnie niskiej zawartości ozonu. Podczas tych epizodów pojawiają się wysokie wartości Indeksu UV. Opóźniony na wiosnę rozpad wiru polarnego, nawet bez fotochemicznych ubytków w wirze polarnym, w połączeniu z silną adwekcją subtropikalną może znacznie zwiększać poziom promieniowania UV. W ostatnich latach, w sezonie letnim pojawiło się niespodziewane zmniejszenie grubości ochronnej warstwy ozonowej nad dużymi obszarami w strefie umiarkowanych szerokości geograficznych półkuli północnej, w tym również nad Polską. Analiza epizodów ubytków ozonu w warstwach górnej troposfery i dolnej stratosfery nad Legionowem sugeruje silne unoszenie powietrza i jego transport z niskich szerokości geograficznych. Jest to zgodne z symulacjami w modelach, które pokazują długoterminowy wzrost unoszenia tropikalnego powietrza wywołany przeszłym wzrostem zawartości gazów cieplarnianych. W ostatnim czasie zwrócono uwagę, że istnieją gazy takie jak N_2O , których emisja nie jest monitorowana przez PM. Koncentracja N_2O systematycznie rośnie i może wpływać na osłabienie warstwy ozonowej w średniej stratosferze w okresie letnim ze względu na długi okres połowicznego rozpadu (>100lat).

Mimo zmniejszającej się zawartości w atmosferze chlorowcopochodnych gazów zagrożenie dla warstwy ozonowej będzie występować w okresie najbliższych kilkadziesiąt lat. Dlatego należy

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

W 2016 roku dynamika atmosfery miała duży wpływ na rozkład pionowy ozonu nad Legionowem. Na początku zimy, w styczniu wystąpił silniejszy niż zwykle wzrost ozonu w górnej stratosferze. W lutym i marcu ujemne odchylenia ozonu w stratosferze miały związek z procesami niszczenia w rejonach polarnych. Transport ozonu ze źródła nad równikiem znalazł odwzorowanie we wzroście ozonu w dolnej stratosferze na wiosnę. Latem przeważały spadki ozonu w średniej stratosferze. Na początku kolejnej zimy (grudzień) zaobserwowano wzrost ozonu związany z przenikaniem ozonu stratosferycznego do troposfery i transport dużej ilości ozonu w średniej stratosferze. Transport ozonu ze źródła w polarnej średniej stratosferze i wzmożona adwekcja subtropikalna doprowadziły do znacznego spadku całkowitej zawartości ozonu i wzrostu promieniowania UV-B na stacjach IMGW podczas epizodu w czerwcu. Latem 2016 roku, podobnie jak w latach ubiegłych, obserwowano szereg epizodów niewyjaśnionych ubytków ozonu, w części Europy obejmującej Polskę.

W pomiarach promieniowania UV w 2016 wyróżniał się okres w trzeciej dekadzie czerwca oraz na przełomie sierpnia i września. W trzeciej dekadzie czerwca wzrost ilości promieniowania UV były szczególnie widoczny w Legionowie i Zakopanem a na przełomie sierpnia i września na wszystkich trzech stacjach. Największą dawkę miesięczną UV-B, 453 MED zmierzono w Legionowie w czerwcu. Największą dawkę dzienną 22,6 MED zmierzono w Łebie, również w czerwcu. W roku 2016 na wszystkich stacjach obserwowano epizodycznie wartości Indeksu UV zbliżające się do ekstremów wieloletnich w seriach pomiarowych, a nawet je przekraczające. Szczególnie dużo przypadków ekstremalnych wartości Indeksu UV zaobserwowano na stacji w Zakopanem, najwięcej na przełomie sierpnia i września.

Podziękowania

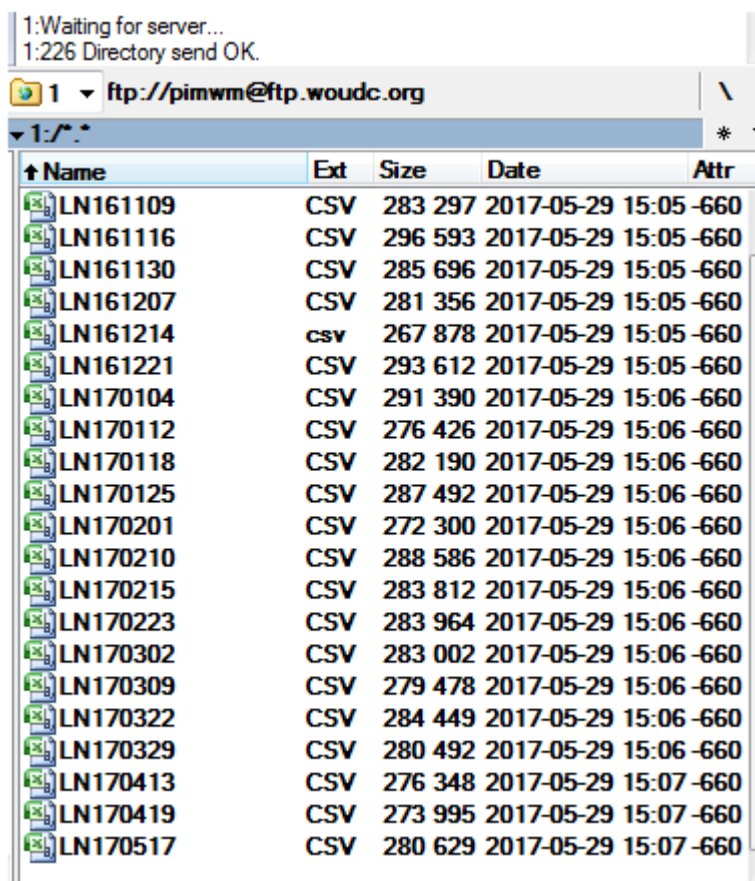
Dziękujemy zespołowi Zakładu Fizyki Atmosfery IGF PAN za udostępnienie serii pomiarów całkowitej zawartości ozonu mierzonej spektrofotometrem Dobsona w Centralnym Obserwatorium Geofizycznym w Belsku.

Dziękujemy również pani Barbarze Bogdańskiej z Centrum Zarządzania Siecią Pomiarowo-Obserwacyjną IMGW-PIB za udostępnienie do analizy danych promieniowania całkowitego i usłonecznienia ze stacji w Łebie i Zakopanem.

5.3 Opracowanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych

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

Od 1979 roku, sondáže ozonowe w Legionowie wykonuje się w systemie Światowego Monitoringu Ozonu WMO z podstawową częstotliwością 1 raz w tygodniu. Dodatkowe sondáže związane są z udziałem w projekcie MATCH badania chemicznego niszczenia ozonu w stratosferze w wirze polarnym. Wyniki w postaci plików CSV zawierających metadane oraz pionowe profile PTUW i O₃ z jednego sondážu są systematycznie przekazywane do bazy Globalnej Sieci Detekcji Zmian Składu Atmosfery (NDACC) w Maryland, USA, i do Światowej Bazy Danych Ozonu i UV (WOUDC) w Toronto, w Kanadzie. Na Rysunku 24 przedstawiono wykaz ostatnio przekazanych danych do bazy danych WOUDC.



Name	Ext	Size	Date	Attr
LN161109	CSV	283 297	2017-05-29 15:05	-660
LN161116	CSV	296 593	2017-05-29 15:05	-660
LN161130	CSV	285 696	2017-05-29 15:05	-660
LN161207	CSV	281 356	2017-05-29 15:05	-660
LN161214	csv	267 878	2017-05-29 15:05	-660
LN161221	CSV	293 612	2017-05-29 15:05	-660
LN170104	CSV	291 390	2017-05-29 15:06	-660
LN170112	CSV	276 426	2017-05-29 15:06	-660
LN170118	CSV	282 190	2017-05-29 15:06	-660
LN170125	CSV	287 492	2017-05-29 15:06	-660
LN170201	CSV	272 300	2017-05-29 15:06	-660
LN170210	CSV	288 586	2017-05-29 15:06	-660
LN170215	CSV	283 812	2017-05-29 15:06	-660
LN170223	CSV	283 964	2017-05-29 15:06	-660
LN170302	CSV	283 002	2017-05-29 15:06	-660
LN170309	CSV	279 478	2017-05-29 15:06	-660
LN170322	CSV	284 449	2017-05-29 15:06	-660
LN170329	CSV	280 492	2017-05-29 15:06	-660
LN170413	CSV	276 348	2017-05-29 15:07	-660
LN170419	CSV	273 995	2017-05-29 15:07	-660
LN170517	CSV	280 629	2017-05-29 15:07	-660

Rys. 24: Fragment listingu zawartości serwera WOUDC z danymi sondážu ozonowych z Legionowa

Od 1994 roku wyniki sondażu są przekazywane regularnie do Bazy Danych w Norweskim Instytucie Badania Powietrza (NILU) w Oslo, w Norwegii, w ramach współpracy w programach Unii Europejskiej, dotyczących badania ozonu w stratosferze. Wyniki sondażu ozonowych wysyłane są w trybie operacyjnym - po zakończeniu sondażu automatycznie generowana jest depesza w ustalonym formacie NILU zawierająca metadane oraz pionowe profile PTUW i O₃. Depesza ta w postaci pliku tekstowego LN jest po wstępnej kontroli danych przesyłana na serwer ftp w NILU. Na Rysunku 25 przedstawiono fragment listingu zawartości serwera.

Name	Ext	Size	Date	Attr
LN170201	P11	323 192	2017-02-01 15:21	-64
LN170208	P11	173 537	2017-02-08 14:39	-64
LN170210	P11	344 778	2017-02-10 15:20	-64
LN170215	P11	336 350	2017-02-15 15:11	-64
LN170223	P11	334 582	2017-02-23 15:15	-64
LN170301	P11	322 724	2017-03-01 15:06	-64
LN170302	P11	334 788	2017-03-02 15:11	-64
LN170308	P11	350 913	2017-03-08 15:23	-64
LN170315	P11	304 682	2017-03-15 15:05	-64
LN170322	P11	339 886	2017-03-22 15:10	-64
LN170329	P11	333 286	2017-03-29 15:08	-64
LN170405	P11	308 949	2017-04-05 15:01	-64
LN170406	P11	309 776	2017-04-06 15:14	-64
LN170412	P11	346 907	2017-04-12 15:13	-64
LN170413	P11	326 834	2017-04-13 15:05	-64
LN170419	P11	328 342	2017-04-19 15:11	-64
LN170427	P11	352 054	2017-04-27 15:24	-64
LN170505	P11	346 804	2017-05-05 15:15	-64
LN170510	P11	345 086	2017-05-10 15:15	-64
LN170517	P11	342 230	2017-05-17 15:17	-64
LN170525	P11	342 902	2017-05-25 15:17	-64
LN170601	P11	327 610	2017-06-01 15:36	-64

Rys. 25: Fragment listingu zawartości serwera ftp zardoz.nilu.no z pomiarami z Legionowa

Od 2005 roku stacja w Legionowie jest częścią sieci NDACC (ang. Network for the Detection of Atmospheric Composition Change – Globalna Sieć Detekcji Zmian Składu Atmosfery). Obliguje nas to do przesyłania na serwer NDACC plików w ustalonym formacie zawierających metadane oraz pionowe profile PTUW i O₃, oraz do corocznego raportowania pracy stacji. Ostatni raport zawierający m.in. harmonogram przekazywania danych został przesłany w sierpniu 2016 roku.

Dane dotyczące ciśnienia cząstkowego ozonu w atmosferze nad Legionowem z poprzedniego roku i w ujęciu retrospekcyjnym oraz dane o promieniowaniu nadfioletowym UV-B z poprzedniego roku z sieci IMGW-PIB są zamieszczane w rocznikach Głównego Urzędu Statystycznego. Ostatni zestaw danych przekazano do GIOŚ w czerwcu 2016 roku.

5.4 Podsumowanie

W 2016 roku realizowano program monitorowania rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą oraz promieniowania UV-B w Polsce.

W 2016 roku wykonano razem 61 sondaży ozonowych, z tego 52 w okresie od stycznia do października, w ramach umowy z GIOŚ nr 2/2014/ z dnia 31.03.2014r. i 9 w pozostałej części roku, w ramach umowy z GIOŚ nr 7/2017/F z dnia 05.04.2017r.

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 2016 program pomiarowy został wykonany w 98,6%.

Na przełomie sierpnia i września 2016 r. zostało wykonane w centrum kalibracyjnym CMS ING. DR. SCHREDER GMBH w Kirchbichl (Austria) laboratoryjne wzorcowanie dwóch czujników UV Biometer SL501 z sieci monitoringu IMGW-PIB.

W 2016 roku satelitarny monitoring ozonu był prowadzony w oparciu o dane z czujnika ATOVS satelitów NOAA-16, 18, 19 i Metop-A. Nie było większych problemów z odbiorem danych satelitarnych i mapy rozkładu całkowitej zawartości ozonu nad Europą Środkową nie były generowane jedynie w ciągu 3 dni, co stanowi 0,8% badanego okresu. Ze względu na pogarszającą się jakość pomiarów związaną ze starzeniem się czujnika ATOVS, w listopadzie 2016 roku uruchomiono satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu z wykorzystaniem czujnika OMPS/S-NPP. W okresie listopad-grudzień 2016 mapy były pozyskiwane z obu czujników. W roku 2017 satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu nad Europą Środkową będzie prowadzony wyłącznie z wykorzystaniem czujnika OMPS/S-NPP.

System operacyjny jednodniowej prognozy Indeksu UV działał bezawaryjnie w okresie od końca kwietnia do końca września 2016 r. Prognoza była dostępna na stronie internetowej IMGW-PIB (www.pogodynka.pl/indeksuv/prognozyuv) oraz na stronie GIOŚ.

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

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

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

Dane pomiarowe, powstałe w wyniku realizacji umów monitoringu w roku 2016, zostały dołączone do niniejszego sprawozdania na płycie CD.

5.5 Literatura

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.

Sagi K, Pérot K, Murtagh D, and Orsolini Y Two mechanisms of stratospheric ozone loss in the Northern Hemisphere, studied using data assimilation of Odin/SMR atmospheric observations Atmos. Chem. Phys., 17, 1791–1803, 2017 www.atmos-chem-phys.net/17/1791/2017/ doi:10.5194/acp-17-1791-2017 <http://www.atmos-chem-phys.net/17/1791/2017/acp-17-1791-2017.pdf>

World Meteorological Organization (WMO), 2015, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014, Global Ozone Research and Monitoring Project–Report No. 55, Geneva (http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_2014/ozone_asst_report.html)

ZAŁĄCZNIKI

1. WYKAZ SONDAŻY OZONOWYCH WYKONANYCH W OKRESIE OD 1.11.2016 DO 31.05.2017 R.
2. PROFILE OZONU Z SONDAŻY OZONOWYCH WYKONANYCH W OKRESIE 1.11.2016 DO 31.05.2017 R. I ODPOWIADAJĄCE IM SATELITARNE MAPY CAŁKOWITEJ ZAWARTOŚCI OZONU W ATMOSFERZE.
3. DOBOWE PRZEBIEGI PROMIENIOWANIA UV-B Z MIESIĘCY LISTOPAD 2016 – MAJ 2017 R. (ŚREDNIE, MAKSYMALNE I MINIMALNE).
4. PROFILE OZONU Z SONDAŻY OZONOWYCH WYKONANYCH W OKRESIE 1.01 DO 31.12.2016 R. I ODPOWIADAJĄCE IM SATELITARNE MAPY CAŁKOWITEJ ZAWARTOŚCI OZONU W ATMOSFERZE.
5. DOBOWE PRZEBIEGI PROMIENIOWANIA UV-B Z MIESIĘCY STYCZEŃ - GRUDZIEŃ 2017 R. (ŚREDNIE, MAKSYMALNE I MINIMALNE) ZMIERZONE ZA POMOCĄ PRZYRZĄDU SOLAR LIGHT (ŁEBA, LEGIONOWO, ZAKOPANE).
6. INFORMACJE O BIEŻĄCYM I PROGNOZOWANYM INDEKSIE UV Z DNIA 24.06.2016 OPUBLIKOWNE NA STRONIE INTERNETOWEJ www.pogodynka.pl/indeksuv

ZAŁĄCZNIK 1

WYKAZ SONDAŻY OZONOWYCH WYKONANYCH
W OKRESIE OD 1.11.2016 DO 31.05.2017 R.

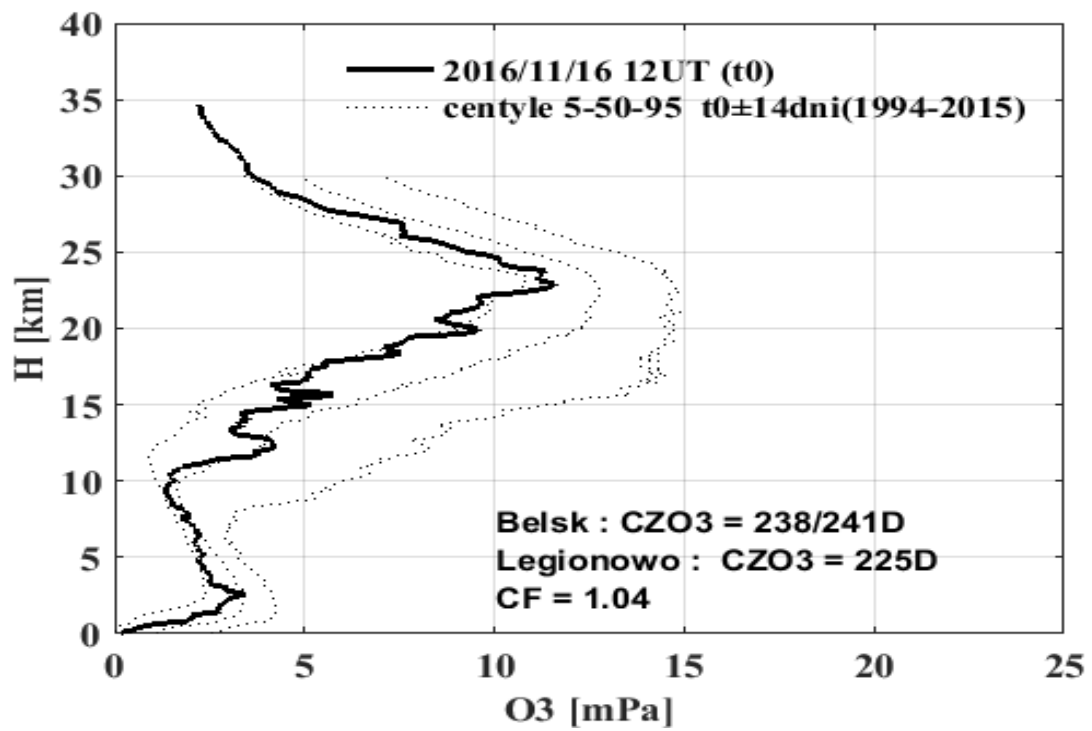
Wykaz sondaży ozonowych wykonanych w Legionowie od 01.11.2016 r. do 31.05.2017 r.

L.P.	Data	H [km]	1 O ₃ [D]	2 O ₃ [D]	1+2 O ₃ [D]	3 O ₃ [D]	Wsp. korekcji	Uwagi
1	02.11	32.9	216.3	29.3	245.6			O ₃ D - O ₃ S >1,15
2	09.11	32.8	316.3	22.5	338.8	335*	0.99	Duży gradient w polu CZO3
3	16.11	34.7	208.0	20.0	228.1	238	1.04	
4	23.11	33.7	191.0	23.7	214.7	242*	1.13	Duży gradient w polu CZO3
5	30.11	34.5	258.9	22.5	281.4	283	1.01	
6	07.12	32.8	210.9	25.1	236.0	250	1.06	
7	14.12	31.1	304.4	36.4	340.9	348	1.02	
8	21.12	34.4	284.1	18.5	302.6	295	0.97	
9	28.12	32.4	308.1	28.9	337	367*	1.09	Duży gradient w polu CZO3
10	04.01	32.9	320.4	25.6	345.9	355	1.03	
11	11.01	11.2	42.1					Niski pułap sondażu
12	12.01	34.4	286.6	23.1	309.7	341	1.10	
13	18.01	34.2	284.7	30.8	315.5	345	1.09	
14	25.01	33.0	278.2	25.7	303.8	315	1.04	
15	01.02	33.0	274.6	30.8	303.7	294	0.97	
16	08.02	15.4	69.2					Niski pułap sondażu
17	10.02	34.2	306.7	26.5	333.2	353	1.06	
18	15.02	34.3	227.6	25.4	253.0	281	1.11	
19	22.02	8.5	20.9					Niski pułap sondażu
20	23.02	33.6	317.6	27.4	345.1	345	1.01	
21	01.03	33.0	244.9	30.8	275.8	359		O ₃ D - O ₃ S >1,15
22	02.03	33.4	224.5	29.6	254.1	282	1.11	
23	08.03	35.2	279.3	25.3	304.6	372		O ₃ D - O ₃ S >1,15
24	09.03	33.8	314.2	30.3	344.5	373	1.08	
25	15.03	33.0	273.6	34.7	308.3	353	1.15	
26	22.03	34.4	293.2	29.2	322.4	344	1.07	
27	29.03	33.9	305.6	30.9	336.5	354	1.05	
28	05.04	24.4	182.1	85.5	267.6	357		Niski pułap sondażu
29	06.04	33.5	361.5	34.5	396.0	406	1.03	
30	12.04	33.3	236.7	36.8	273.5	367		O ₃ D - O ₃ S >1,15
31	13.04	33.0	294.6	37.9	332.5	381	1.15	
32	19.04	32.2	362.5	34.1	396.6	398	1.00	
33	27.04	34.6	118.5					O ₃ D - O ₃ S >1,15
34	05.05	35.8	243.4	31.1	274.5	371		O ₃ D - O ₃ S >1,15
35	10.05	35.5	305.9	32.6	338.5	386	1.13	
36	17.05	35.6	266.7	32.4	299.1	343	1.15	
37	25.05	36.5	295.9	29.6	325.5	367	1.13	
38	31.05	0.0						Nieudany start

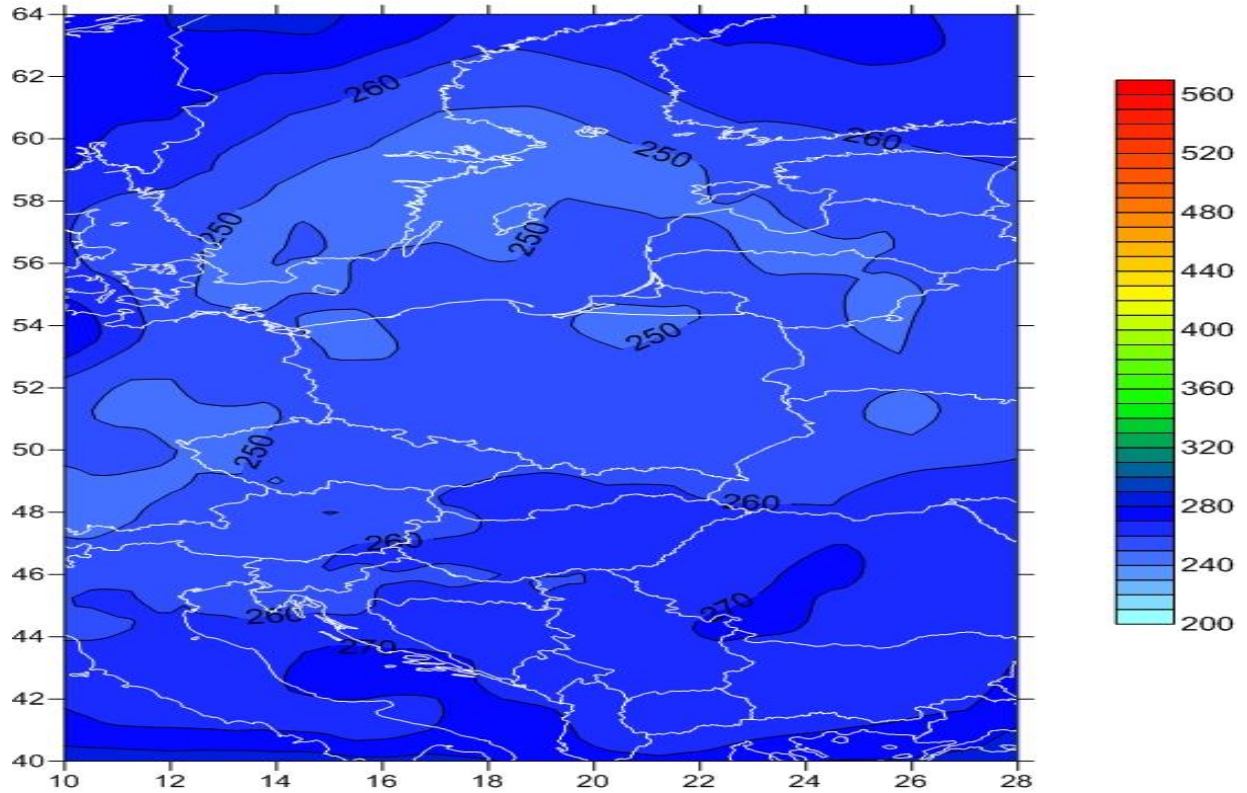
- 1 O₃S - Zawartość ozonu w jednostkach Dobsona [D], scałkowana do maksymalnej wysokości 35km.
 2 O₃S - Zawartość ozonu obliczona z krzywej stałego stosunku mieszania powyżej pułapu obliczeń O₃.
 1+2 - O₃S - Całkowita zawartość ozonu (CZO₃) w sondażu.
 3 - O₃D - Całkowita zawartość ozonu zmierzona spektrofotometrem Dobsona w Belsku lub z pomiarów spektrofotometrem OMI *

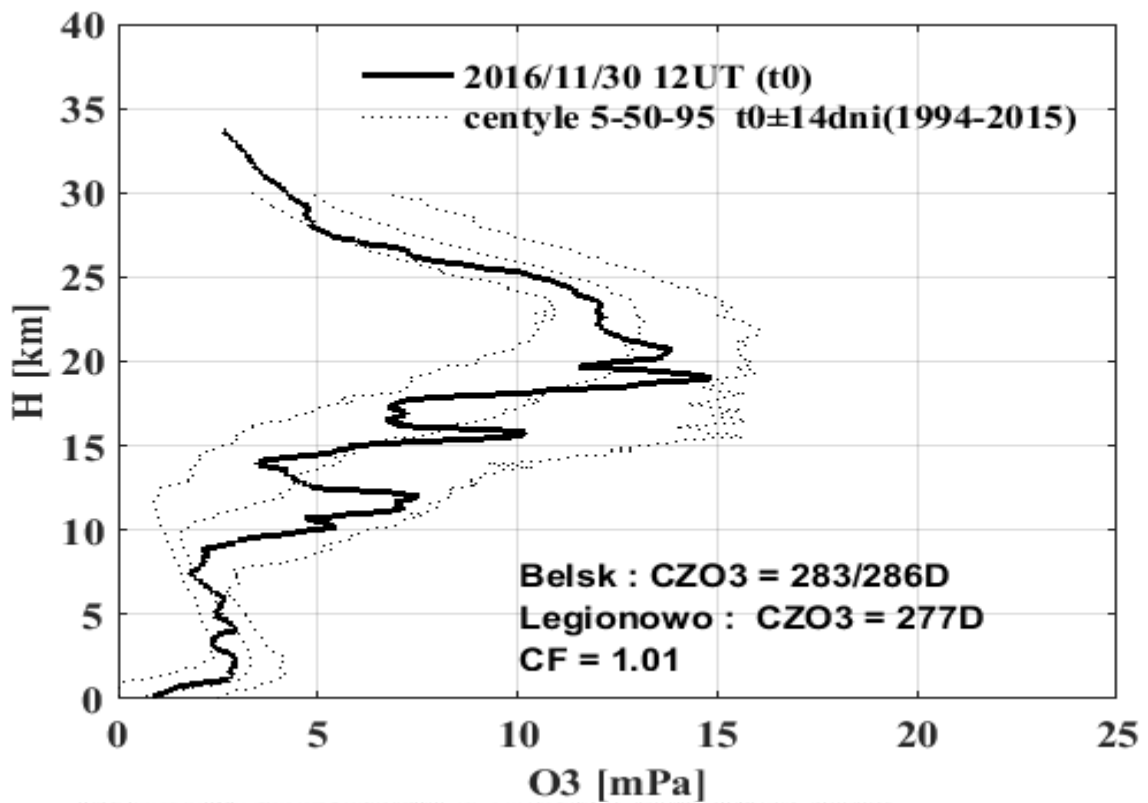
ZAŁĄCZNIK 2

PROFILE OZONU Z SONDAŻY OZONOWYCH WYKONANYCH
W OKRESIE 1.11.2016 DO 31.05.2017 R. I ODPOWIADAJĄCE IM
SATELITARNE MAPY CAŁKOWITEJ ZAWARTOŚCI OZONU
W ATMOSFERZE.

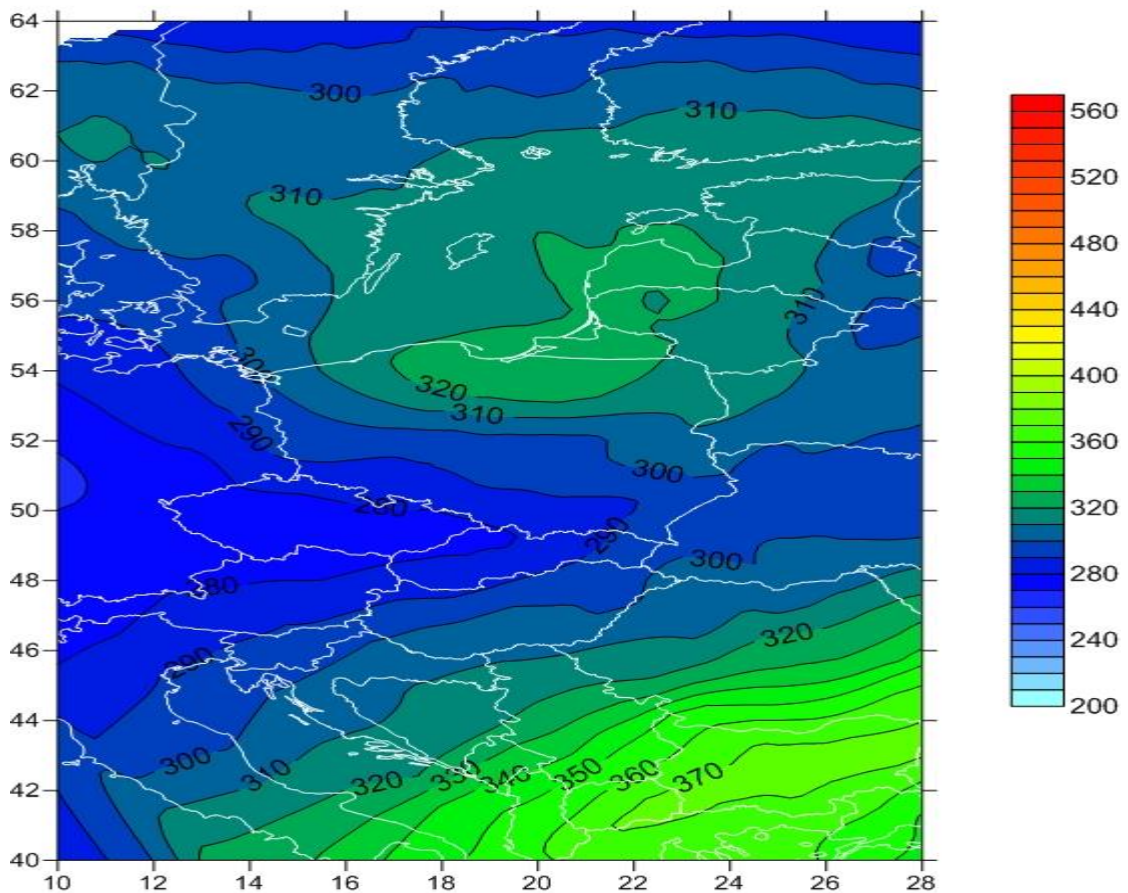


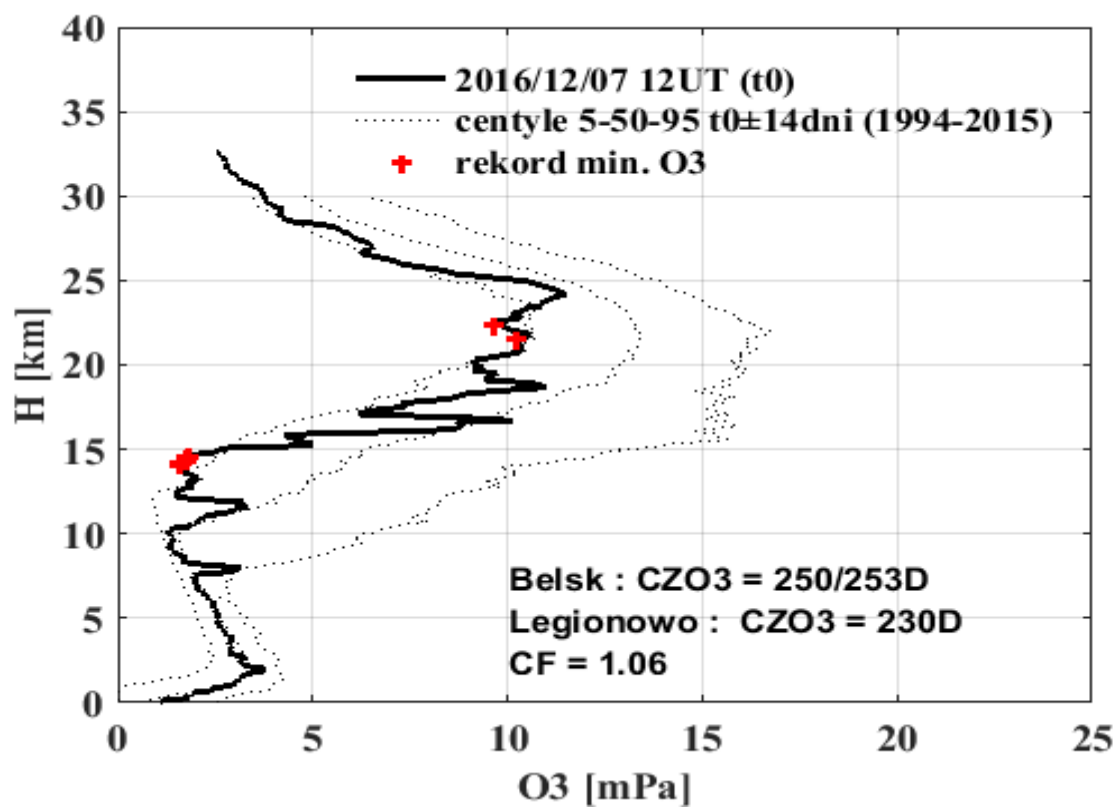
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
16.11.2016, 11:18 UTC



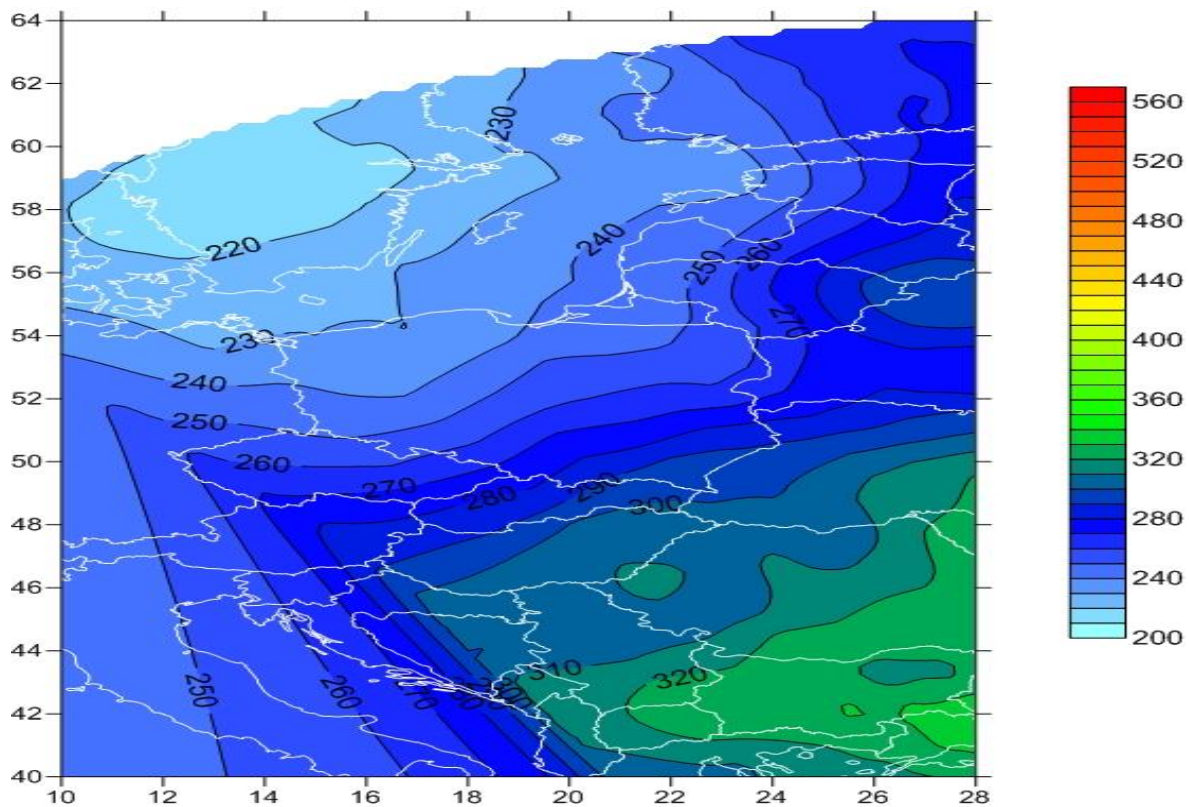


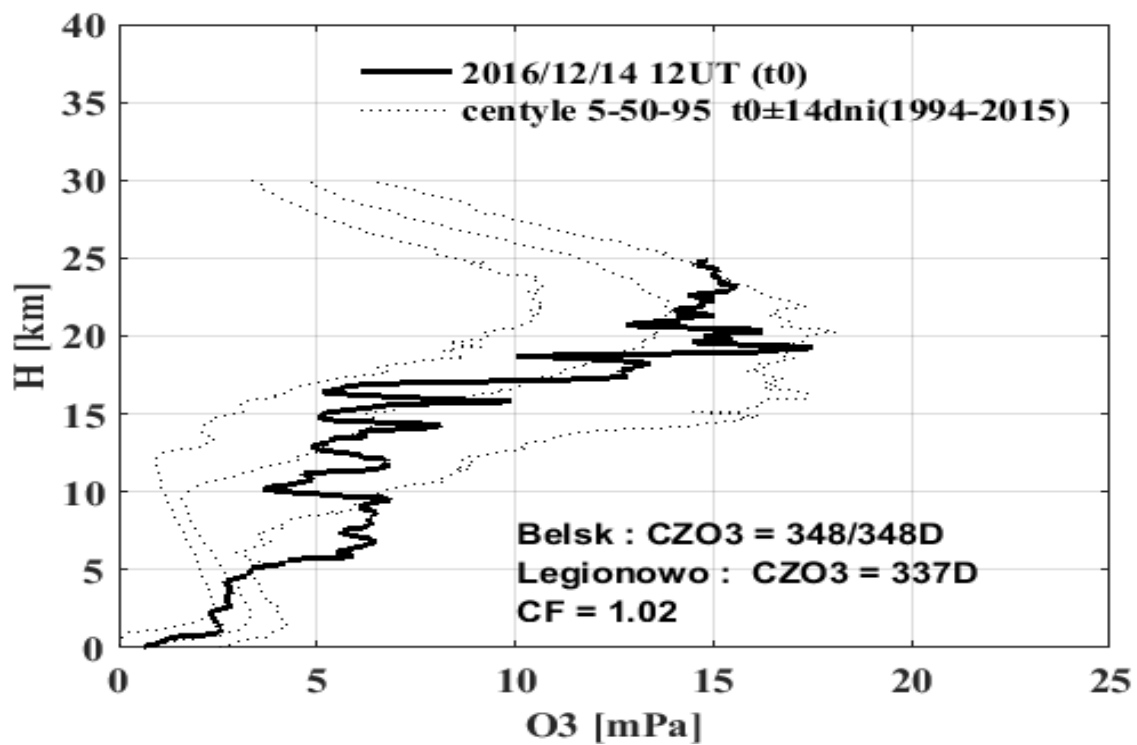
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
30.11.2016, 10:14 UTC



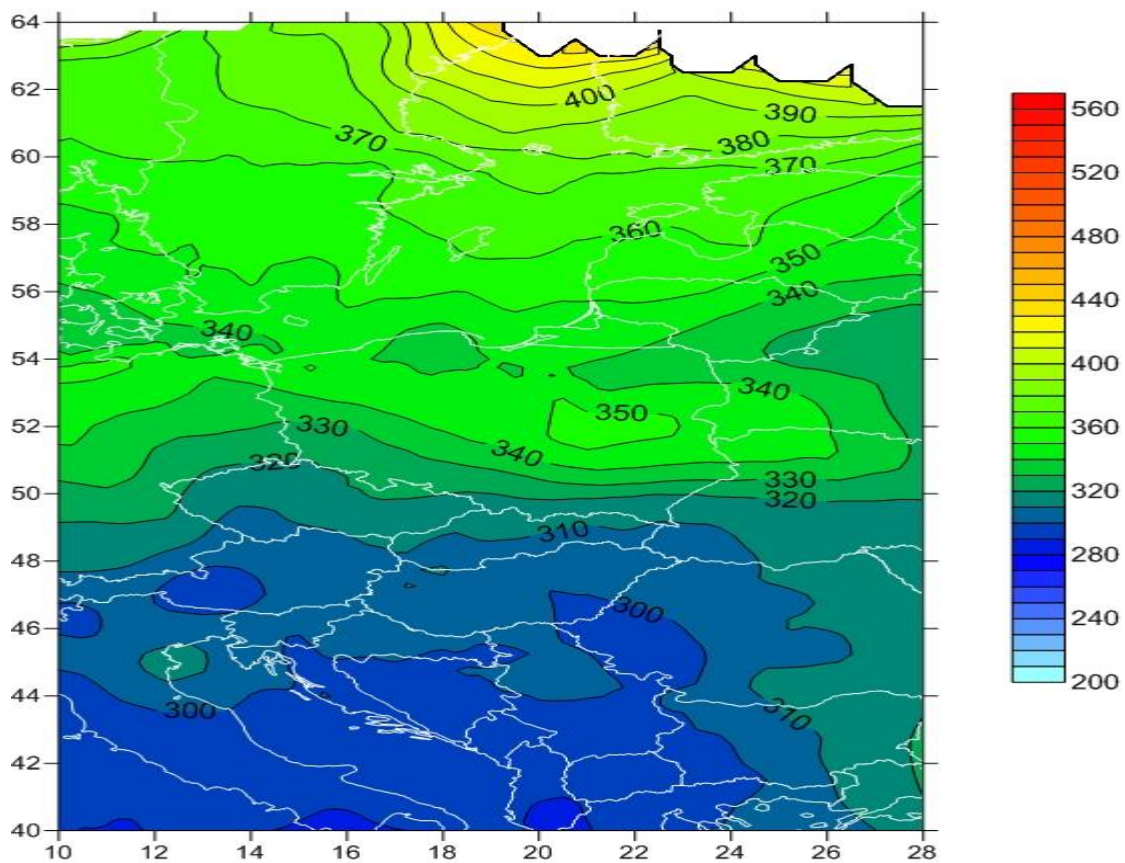


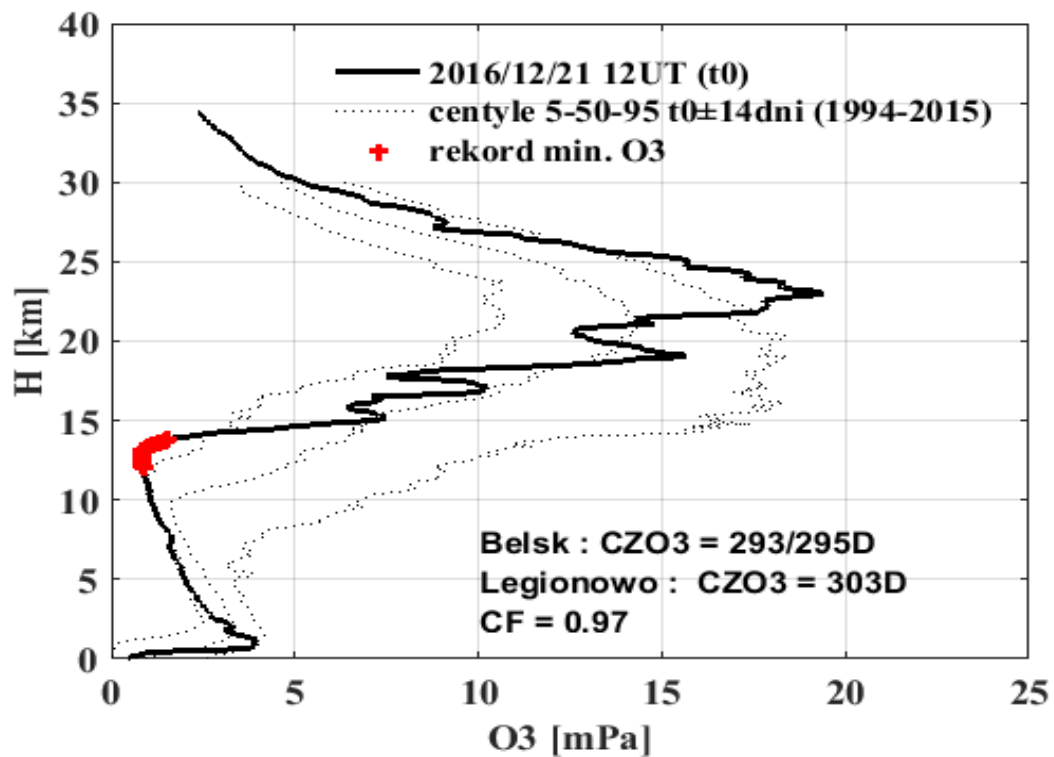
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
07.12.2016, 09:42 UTC



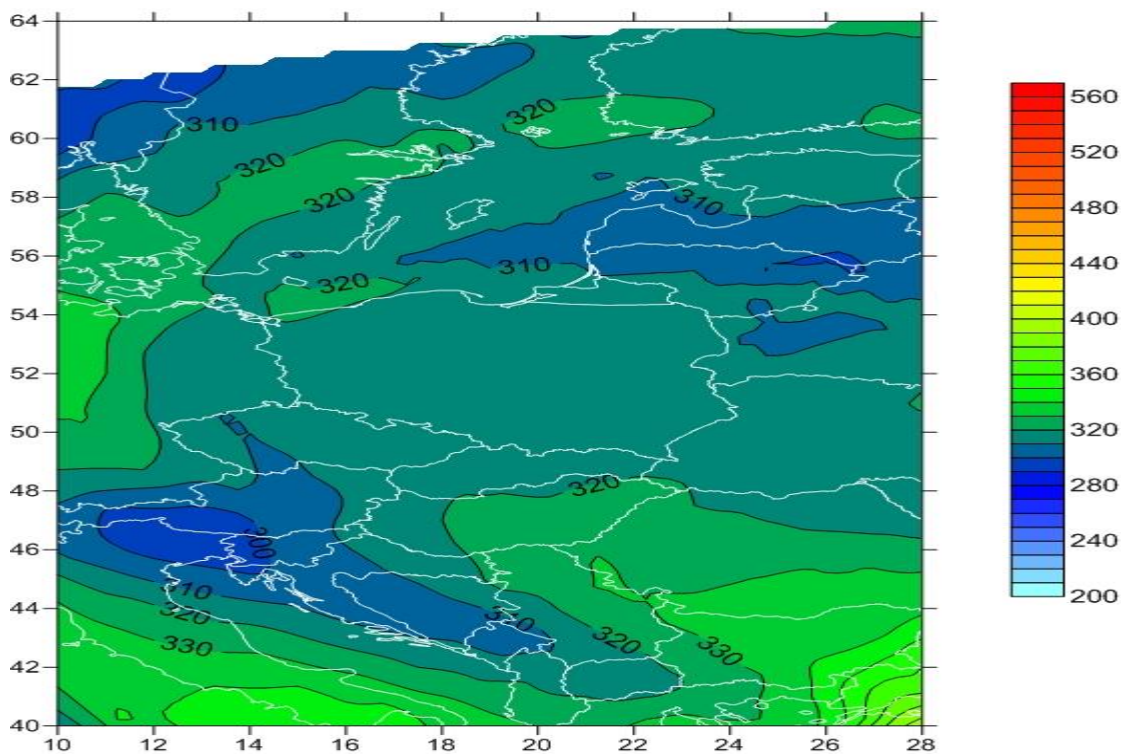


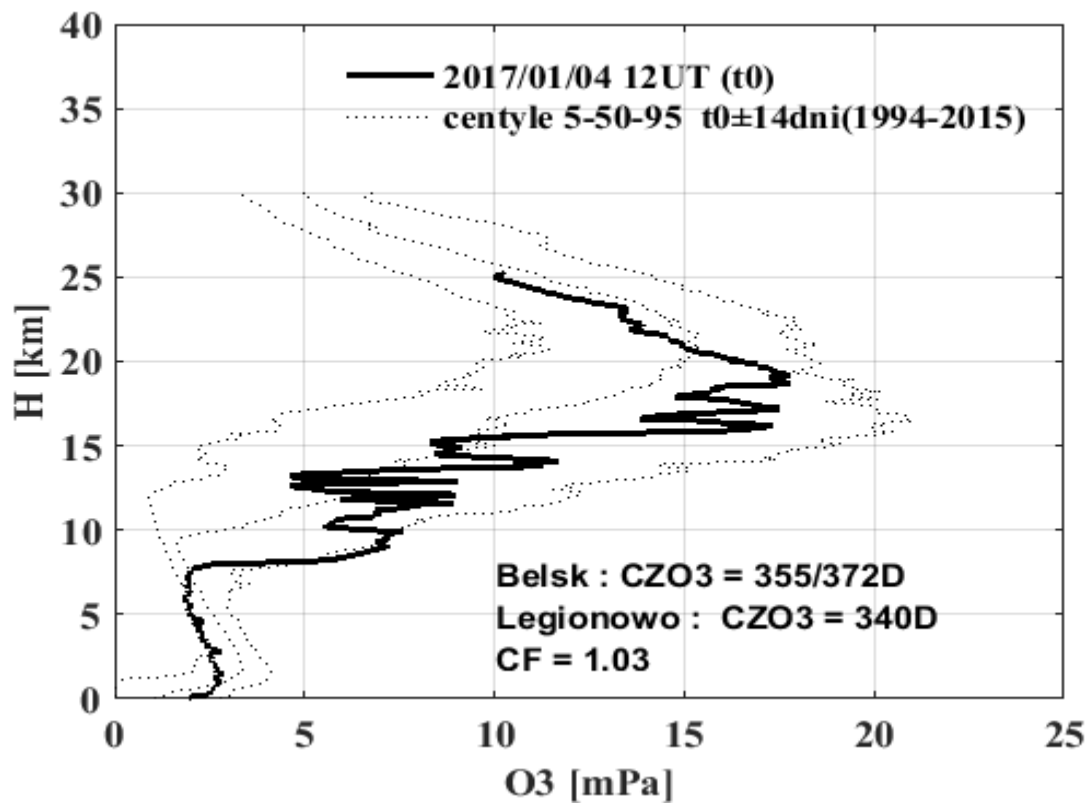
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
 14.12.2016, 10:51 UTC



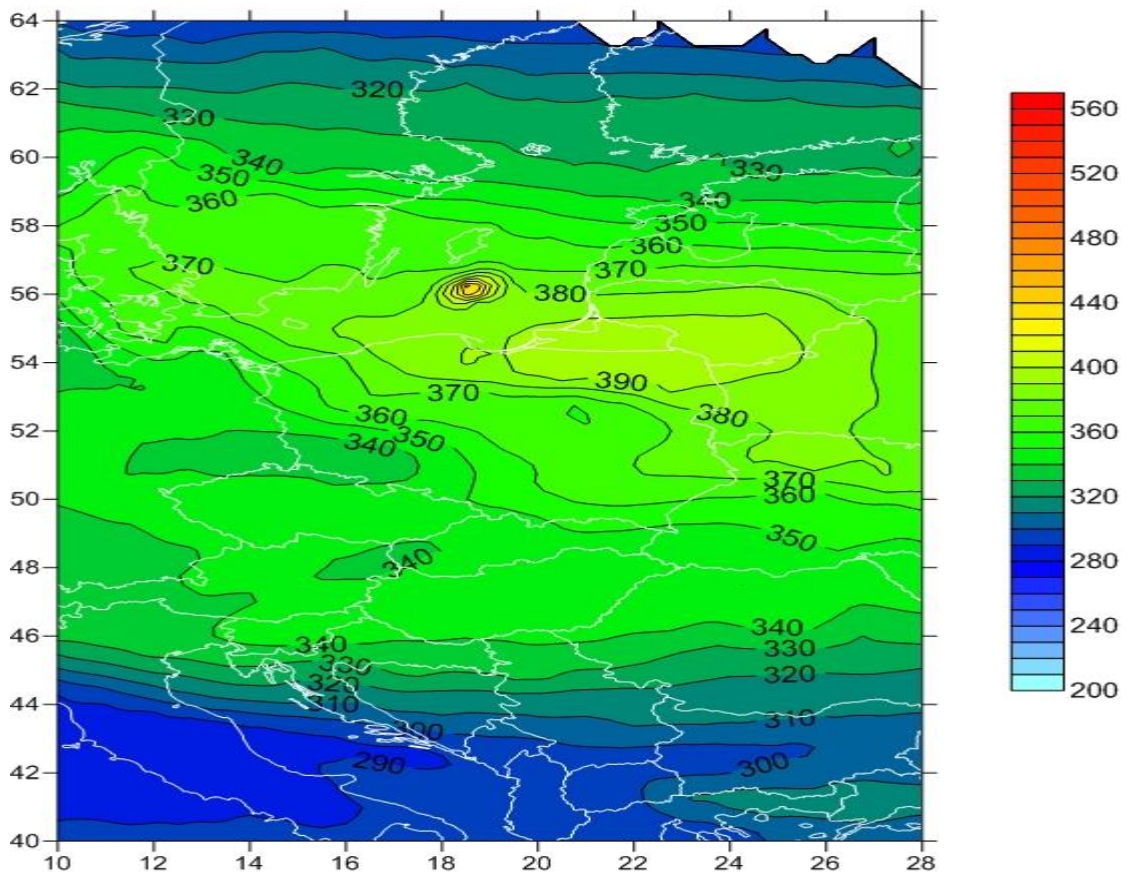


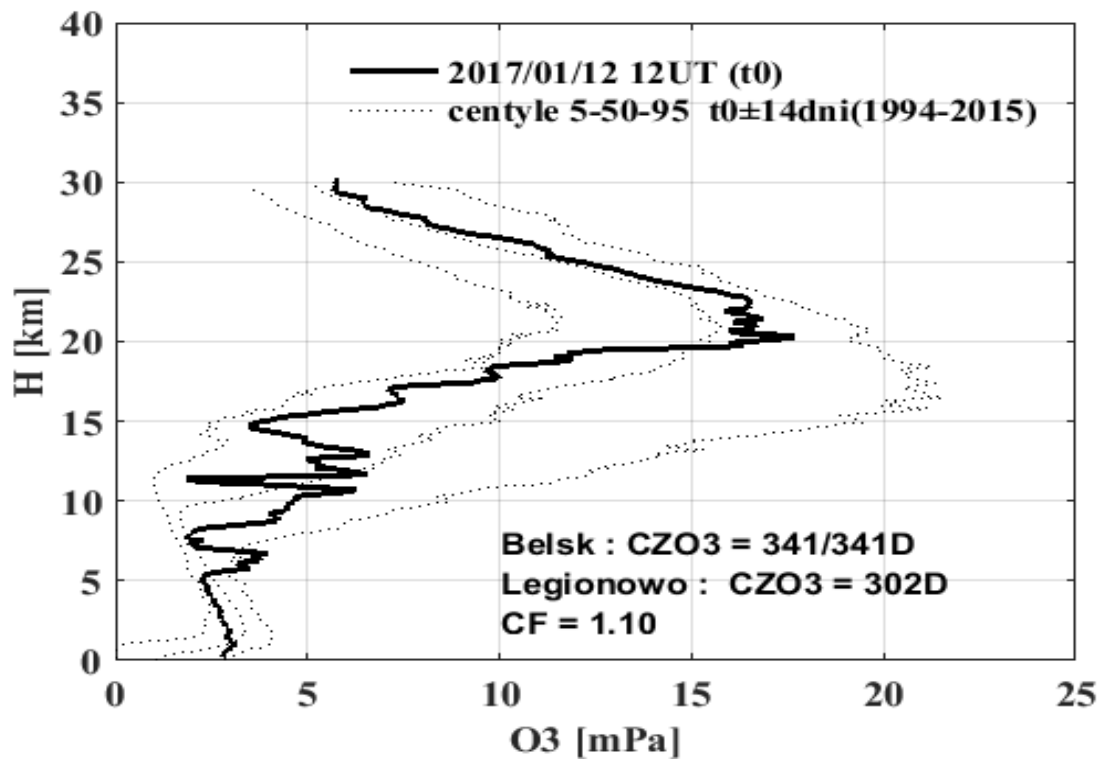
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
21.12.2016, 10:19 UTC



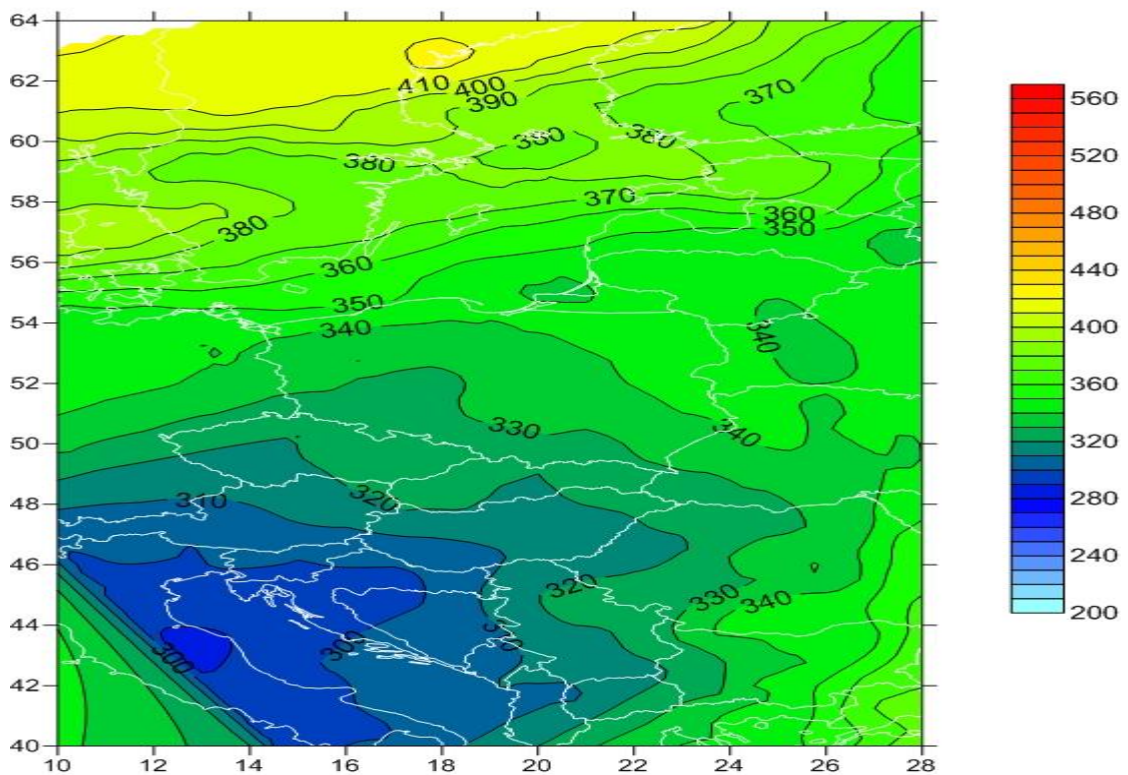


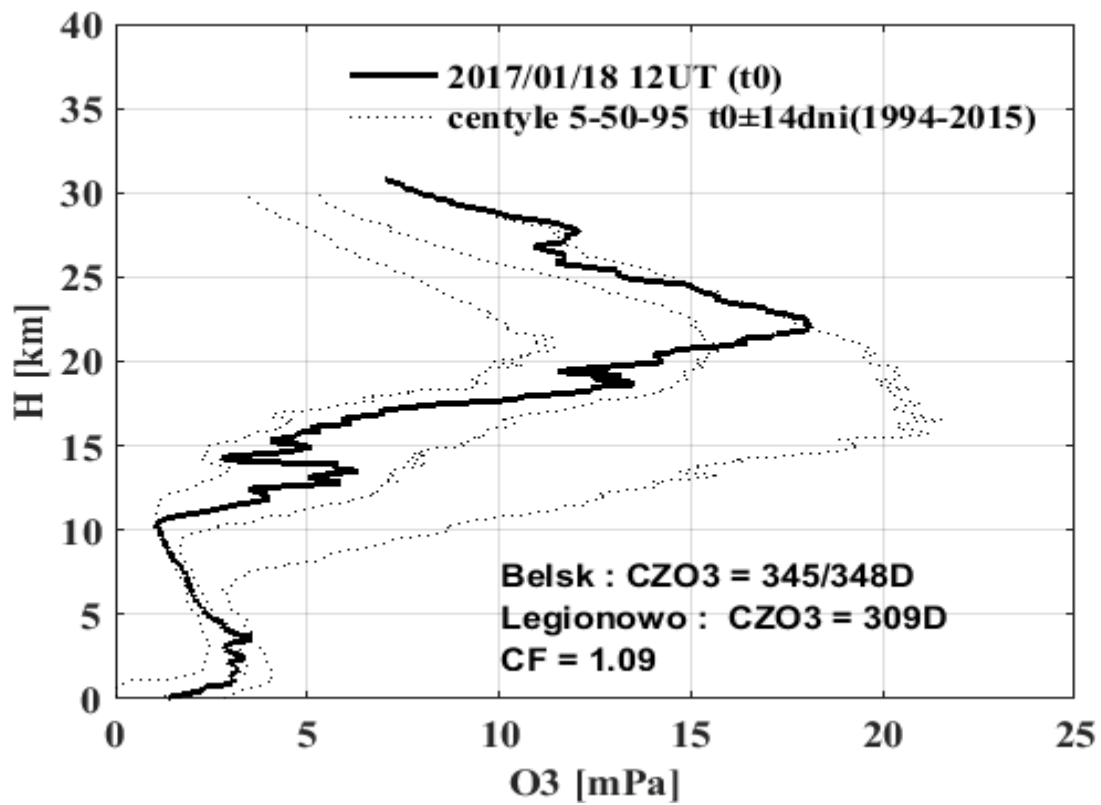
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
04.01.2017, 10:58 UTC



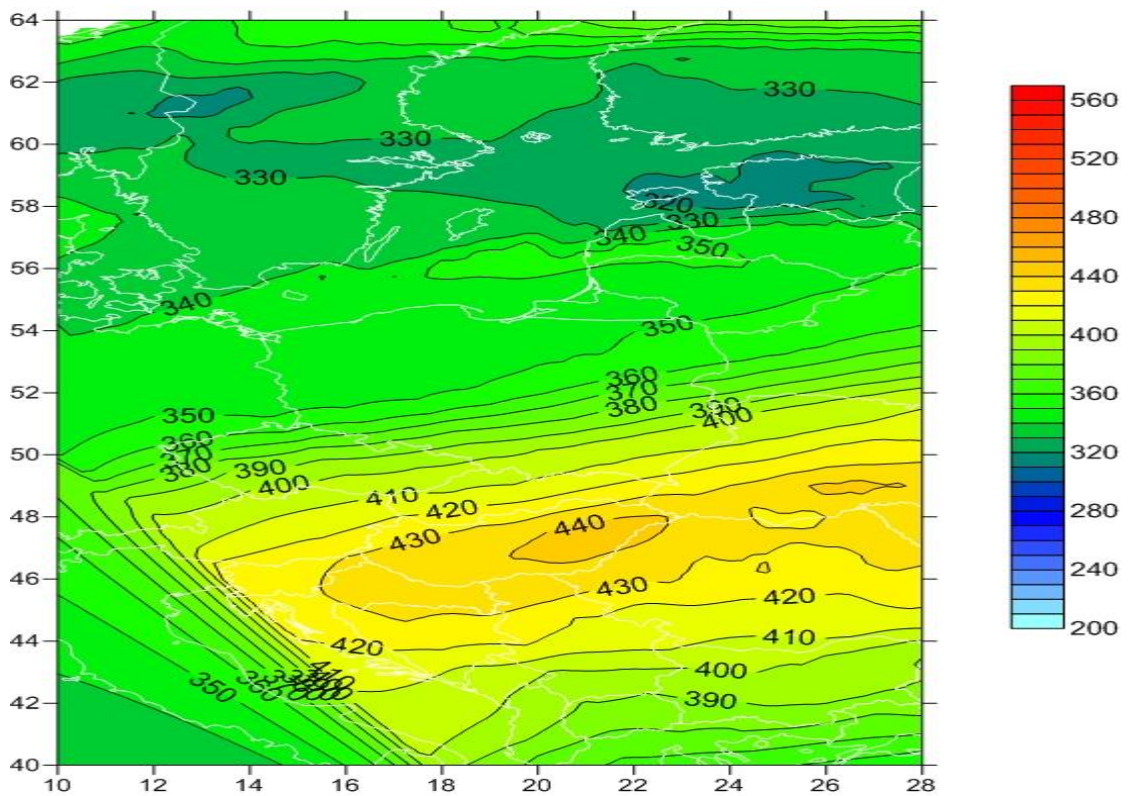


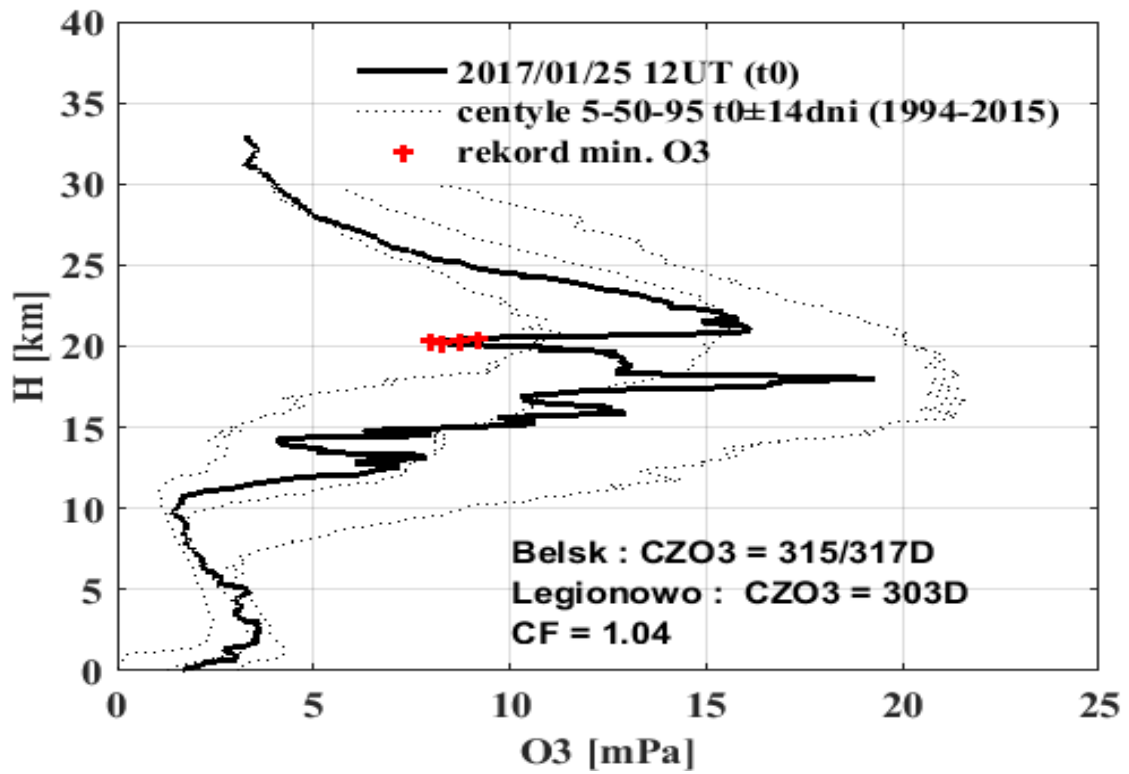
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
12.01.2017, 10:07 UTC



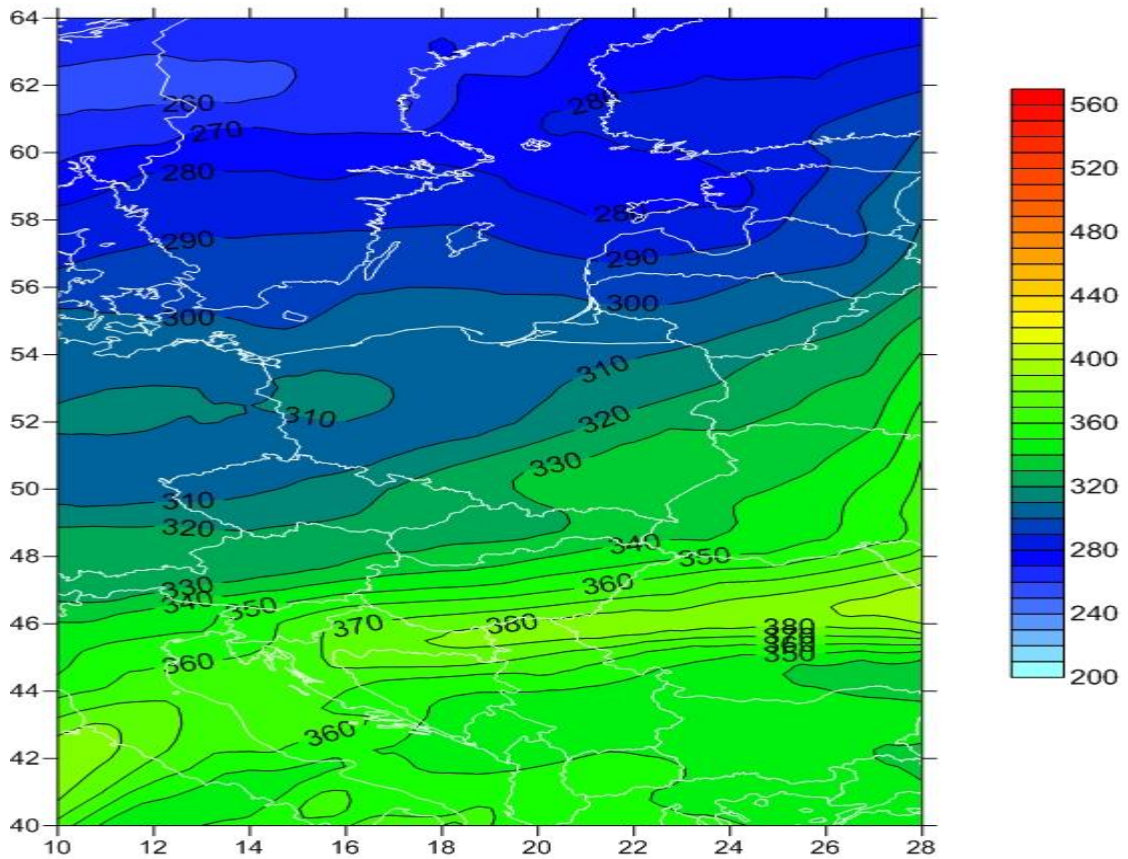


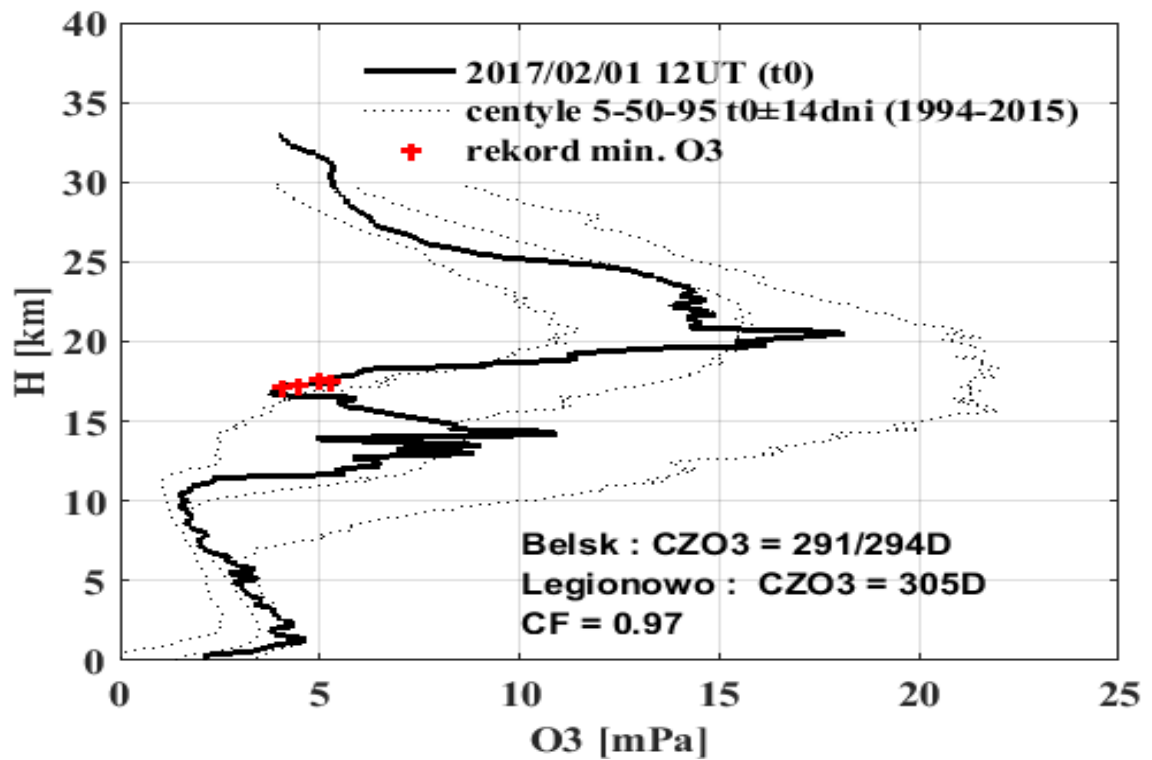
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
18.01.2017,09:55 UTC



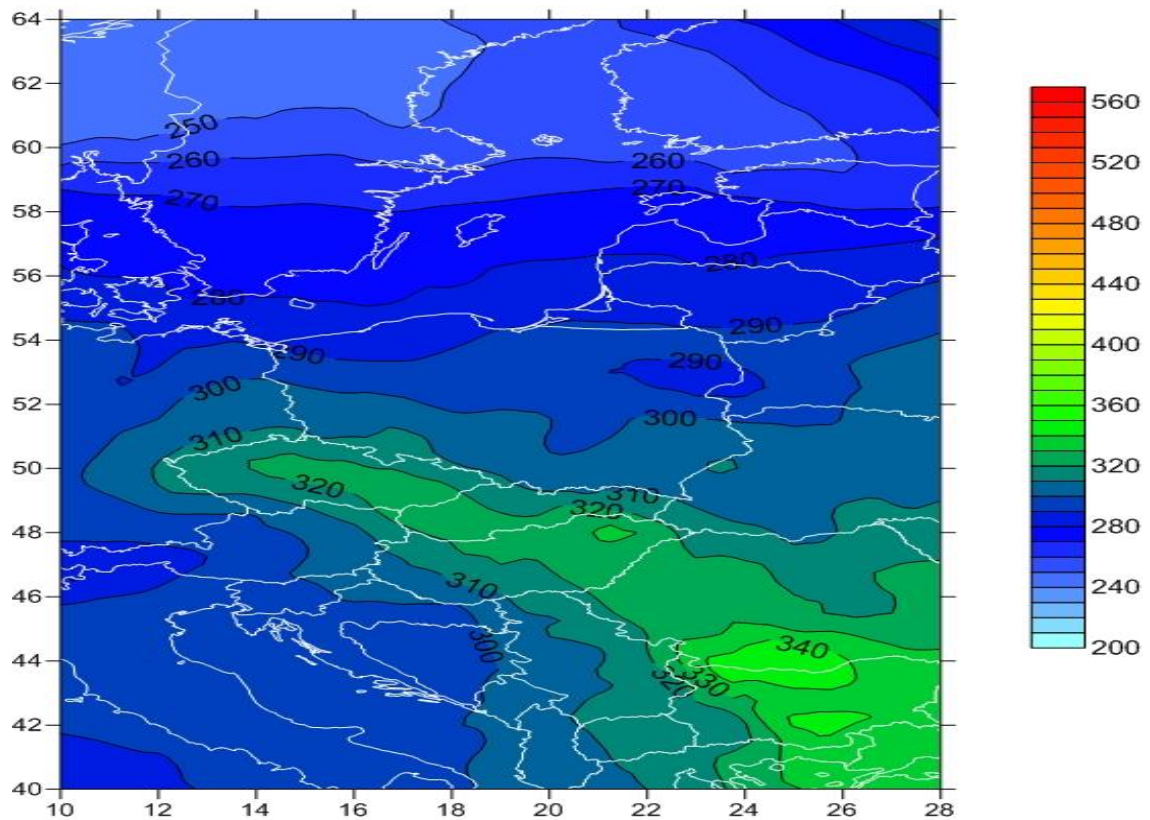


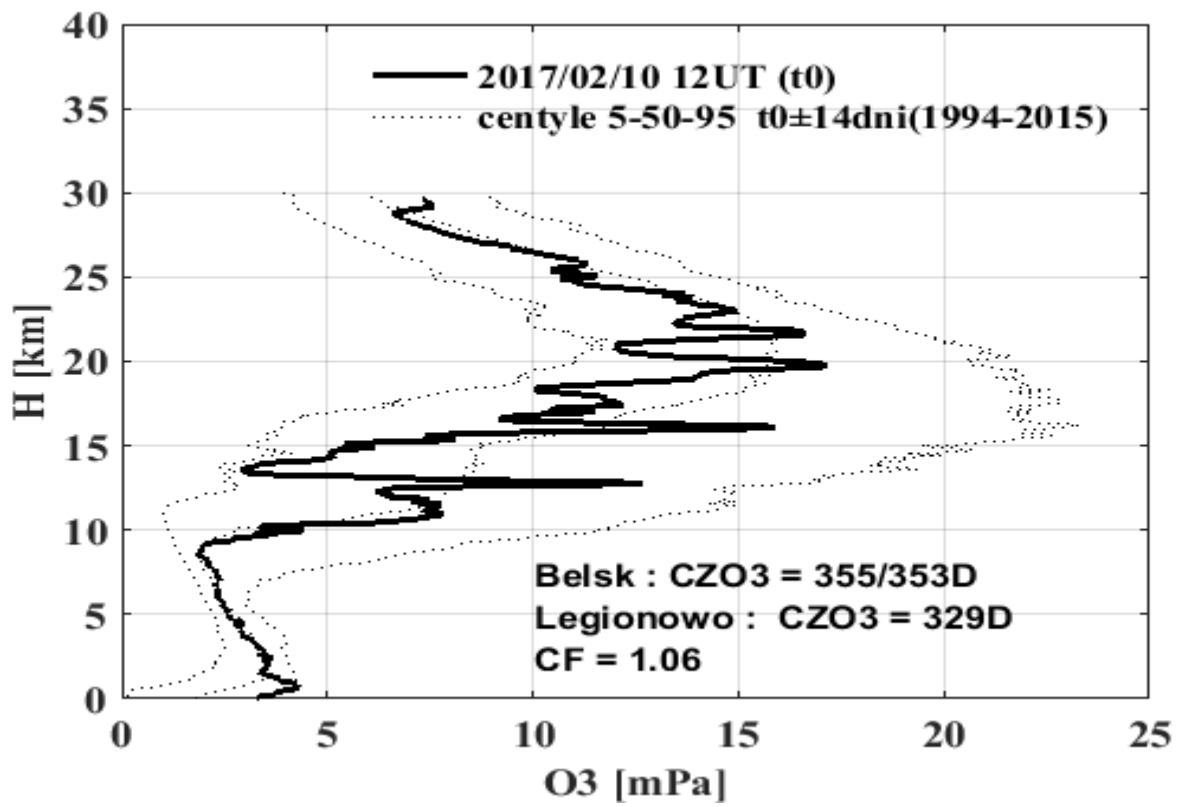
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
25.01.2017, 11:05 UTC



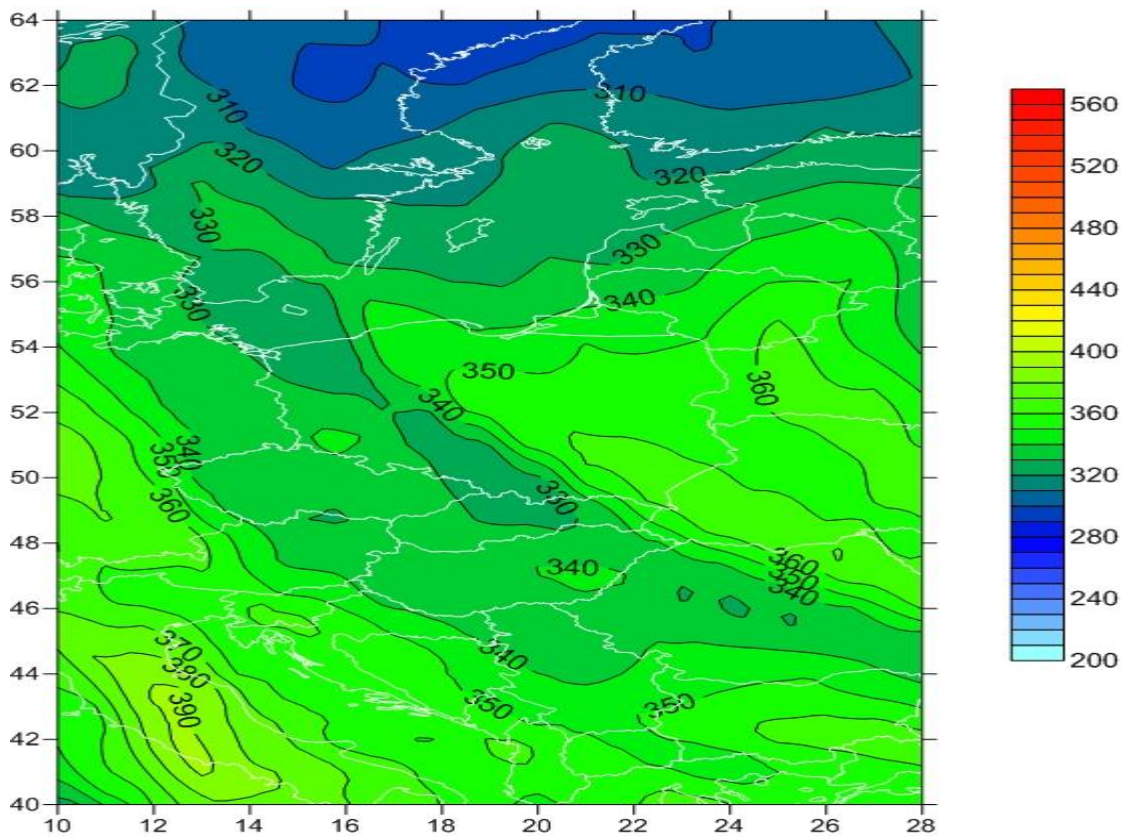


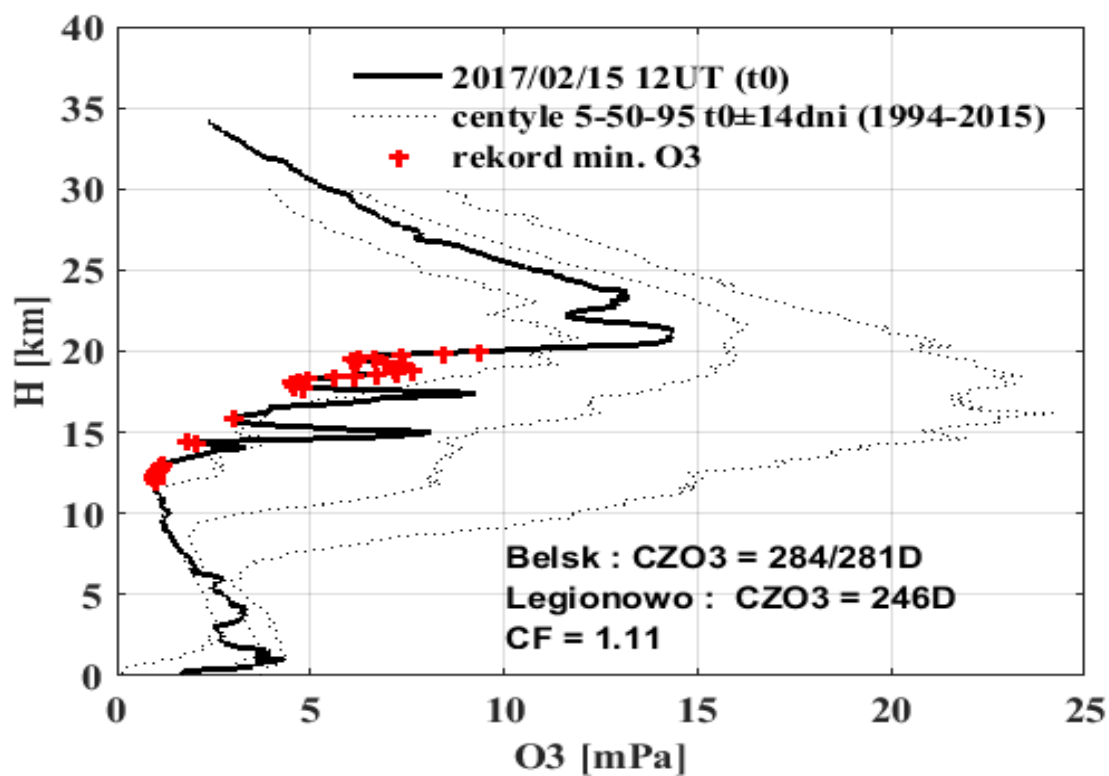
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
01.02.2017, 10:34 UTC



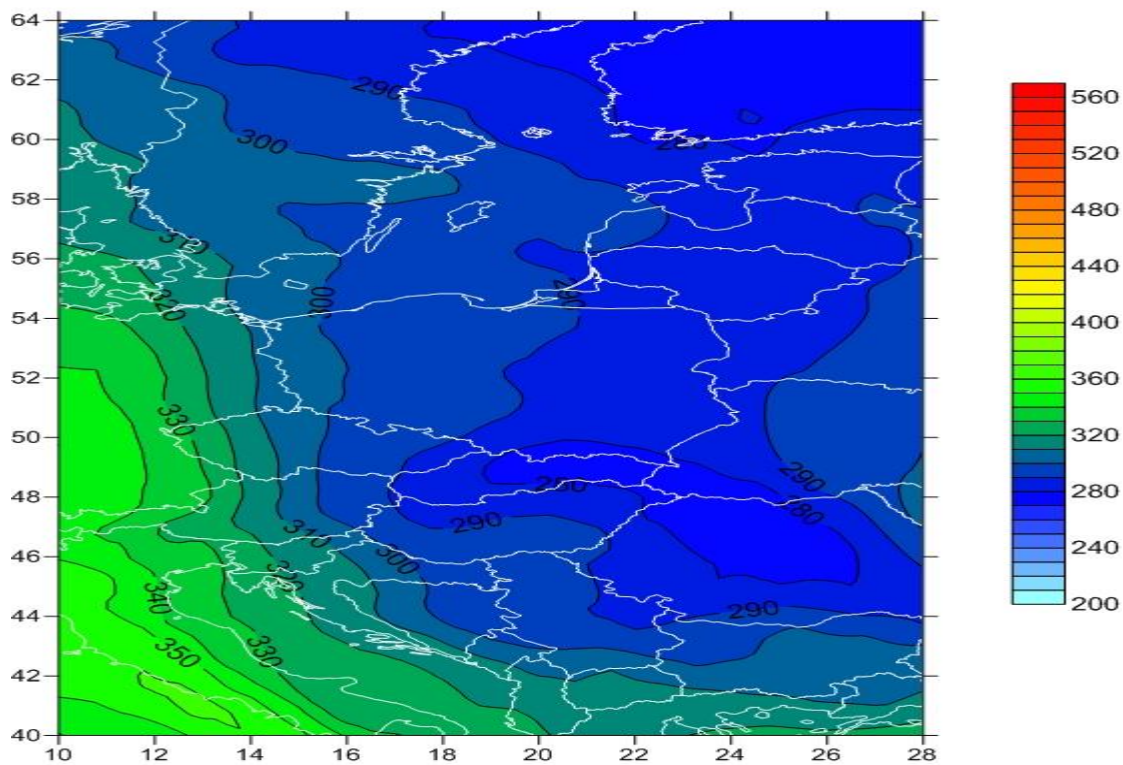


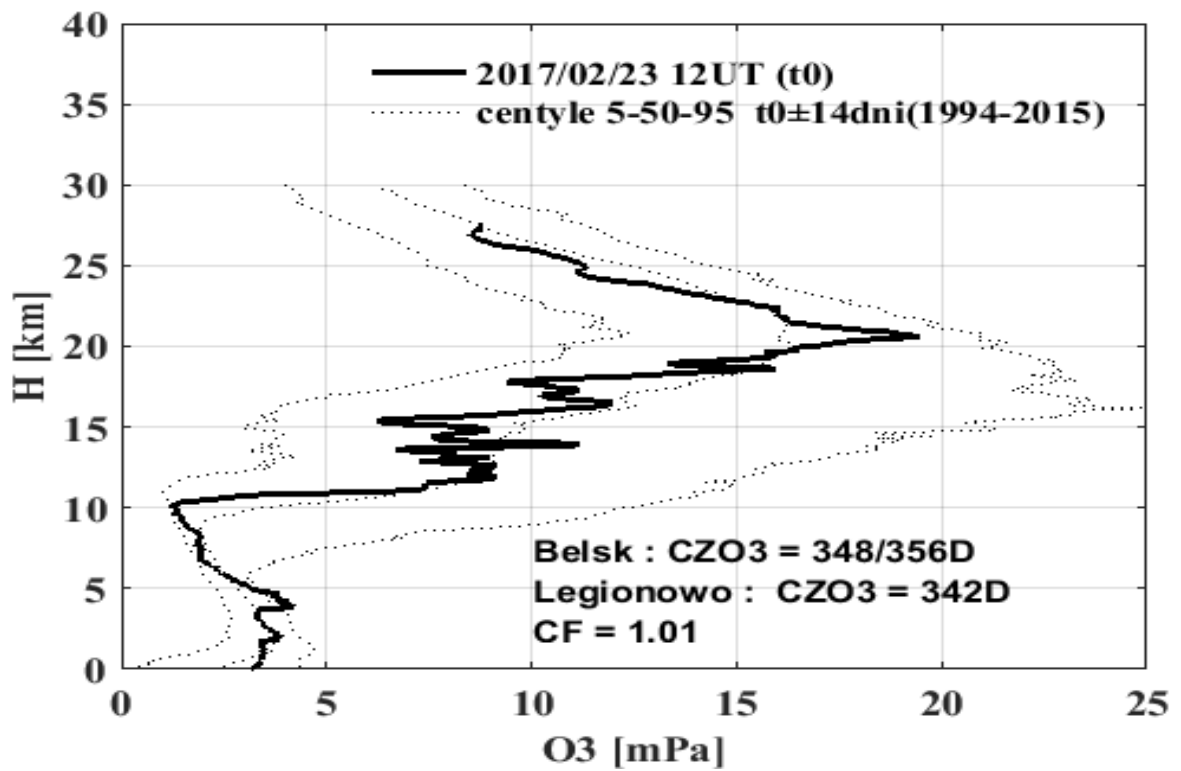
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
10.02.2017, 11:06 UTC



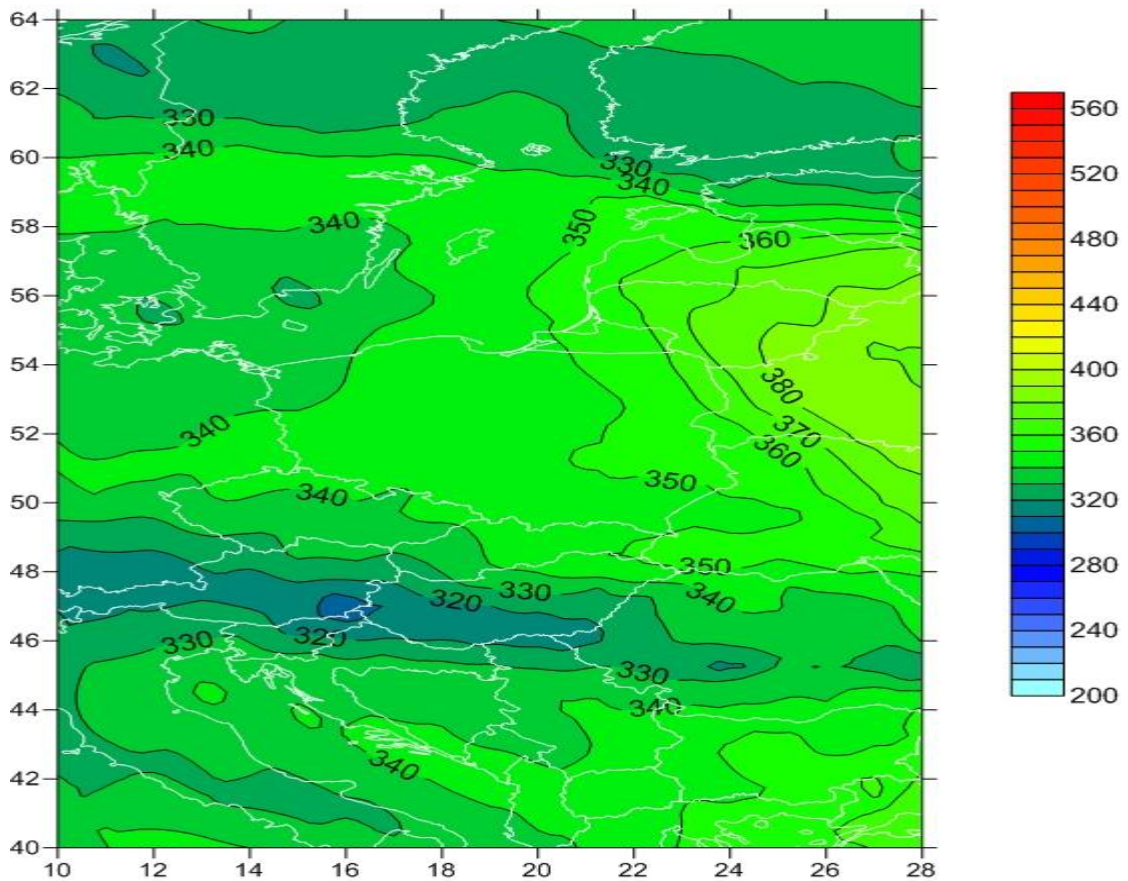


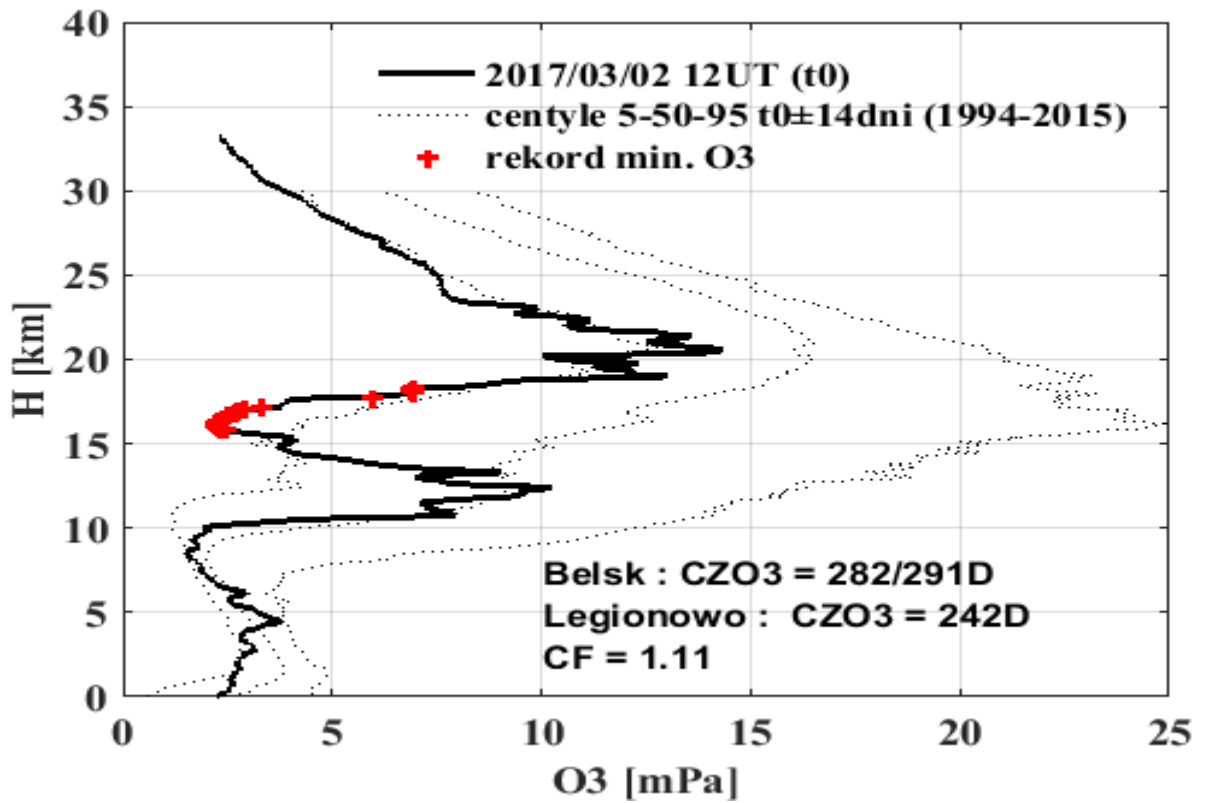
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
15.02.2017, 11:13 UTC



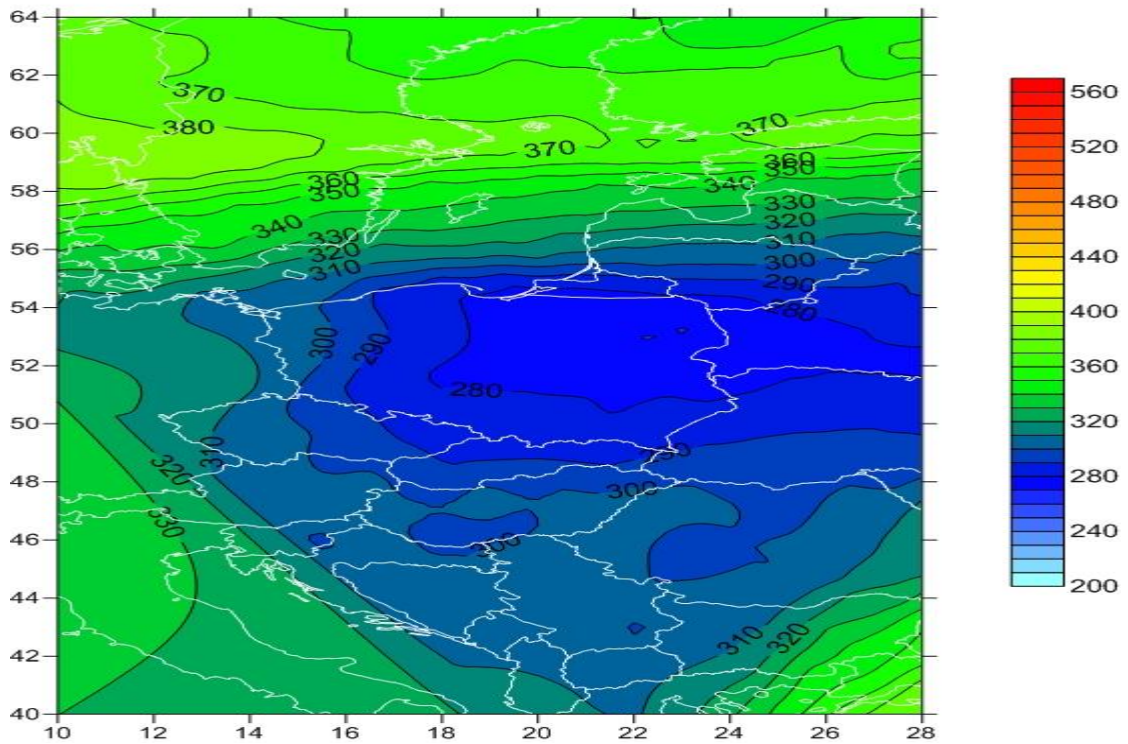


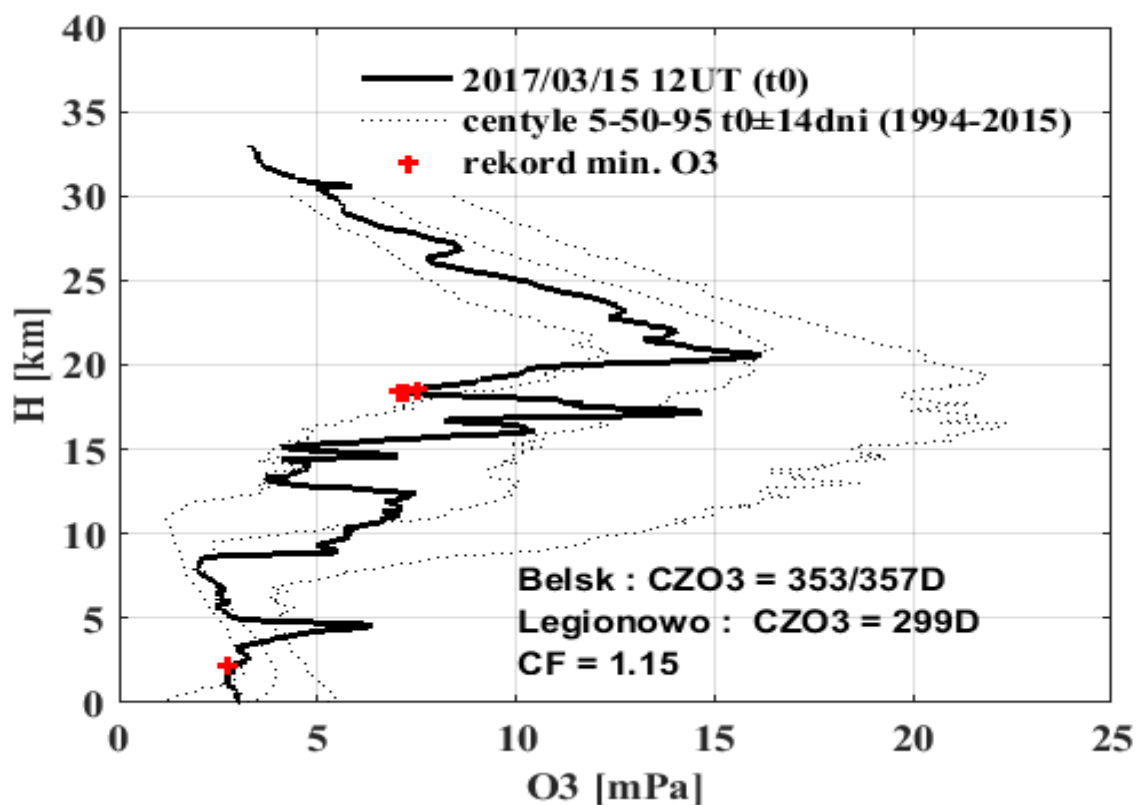
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
23.02.2017, 10:23 UTC



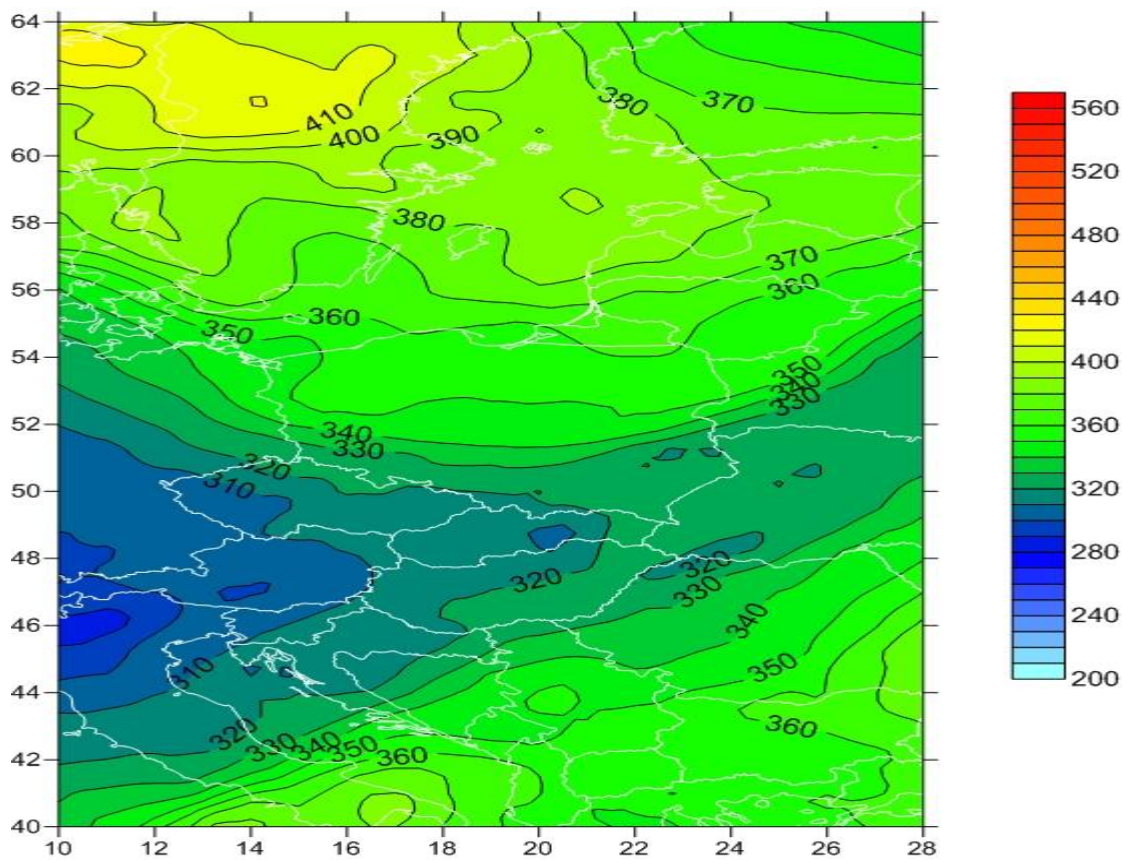


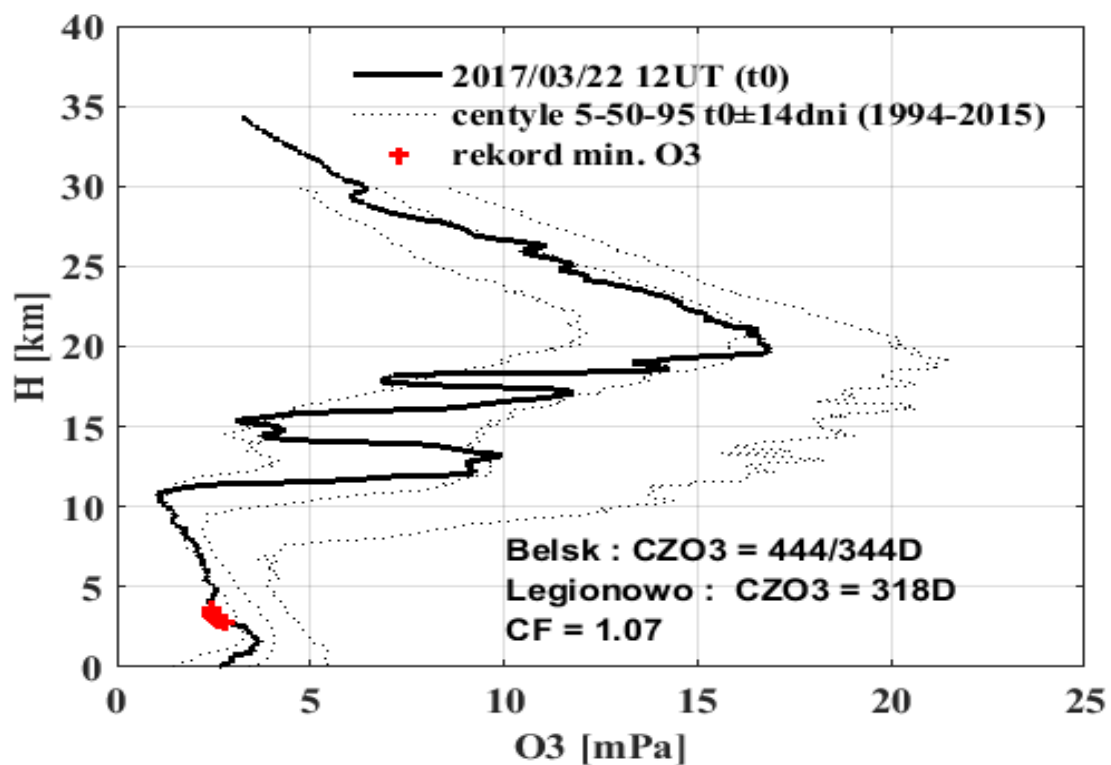
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
02.03.2017, 09:52 UTC



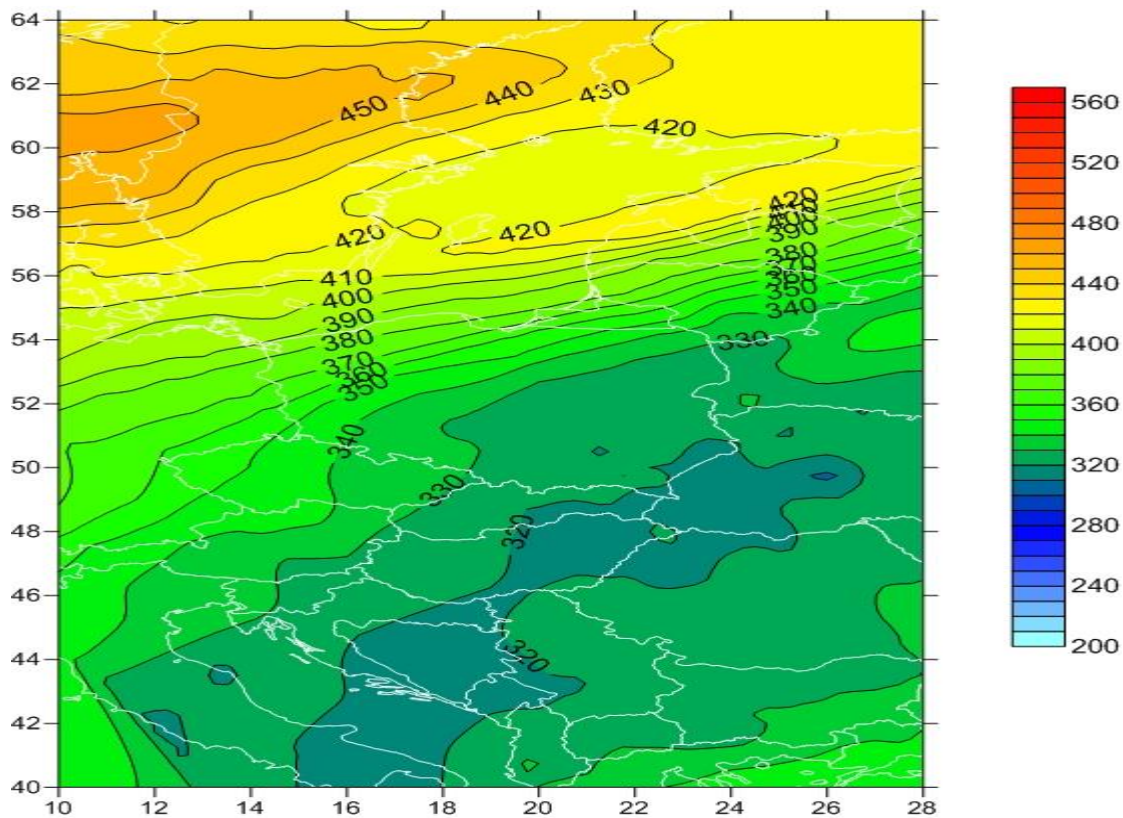


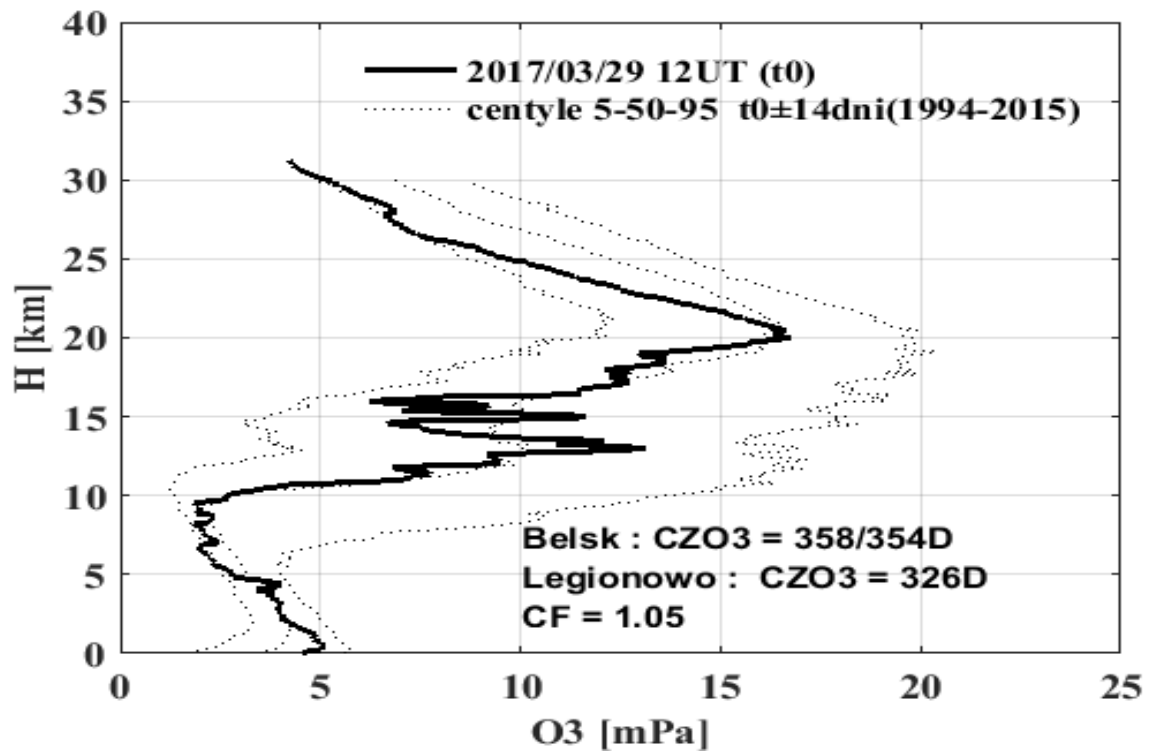
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
15.03.2017, 10:50 UTC



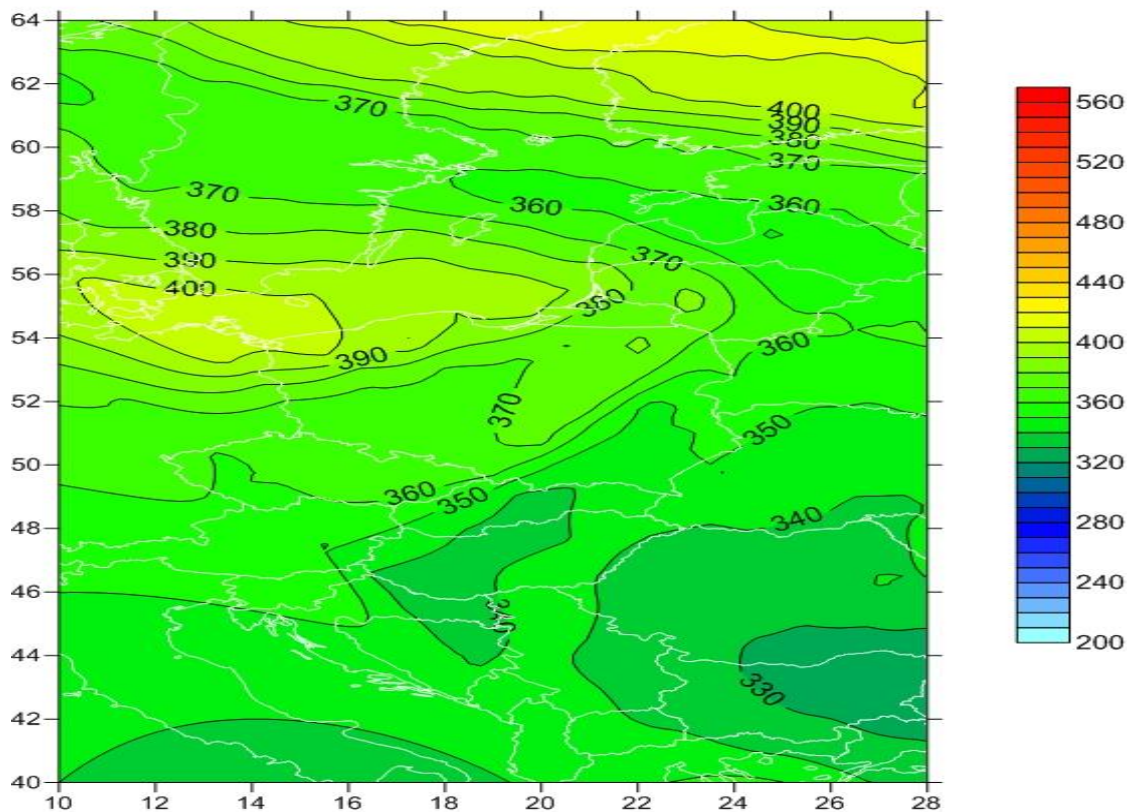


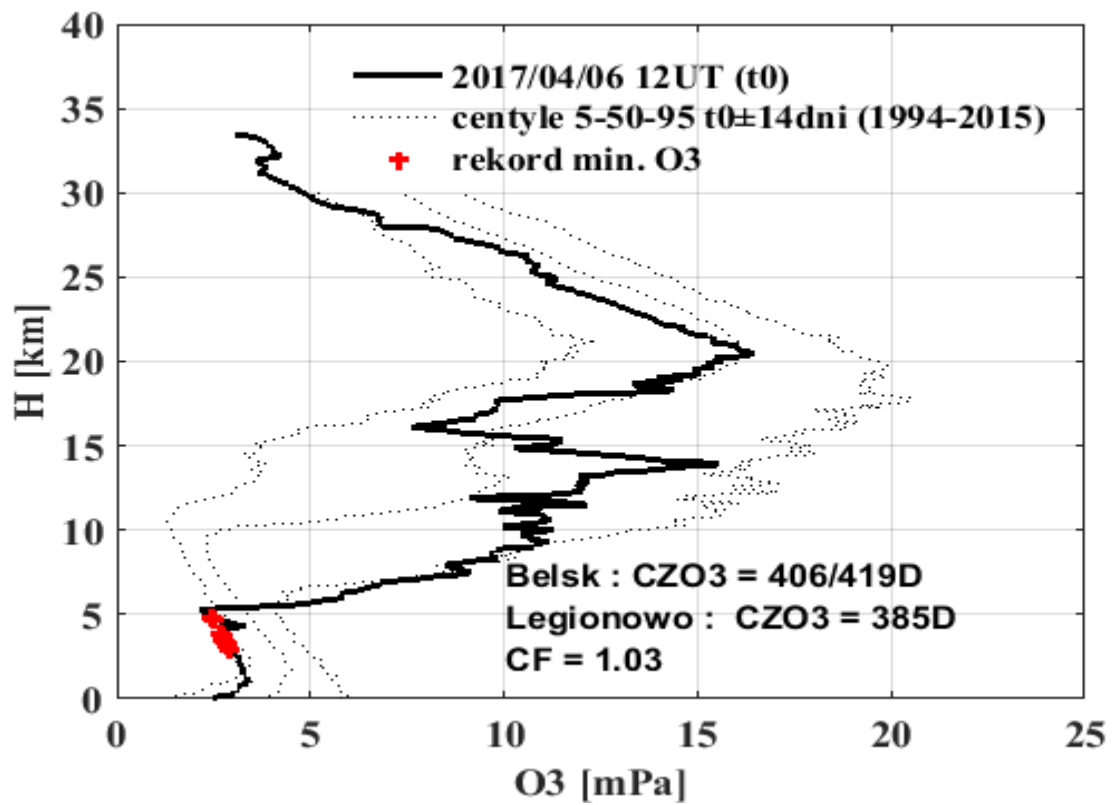
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
22.03.2017, 10:19 UTC



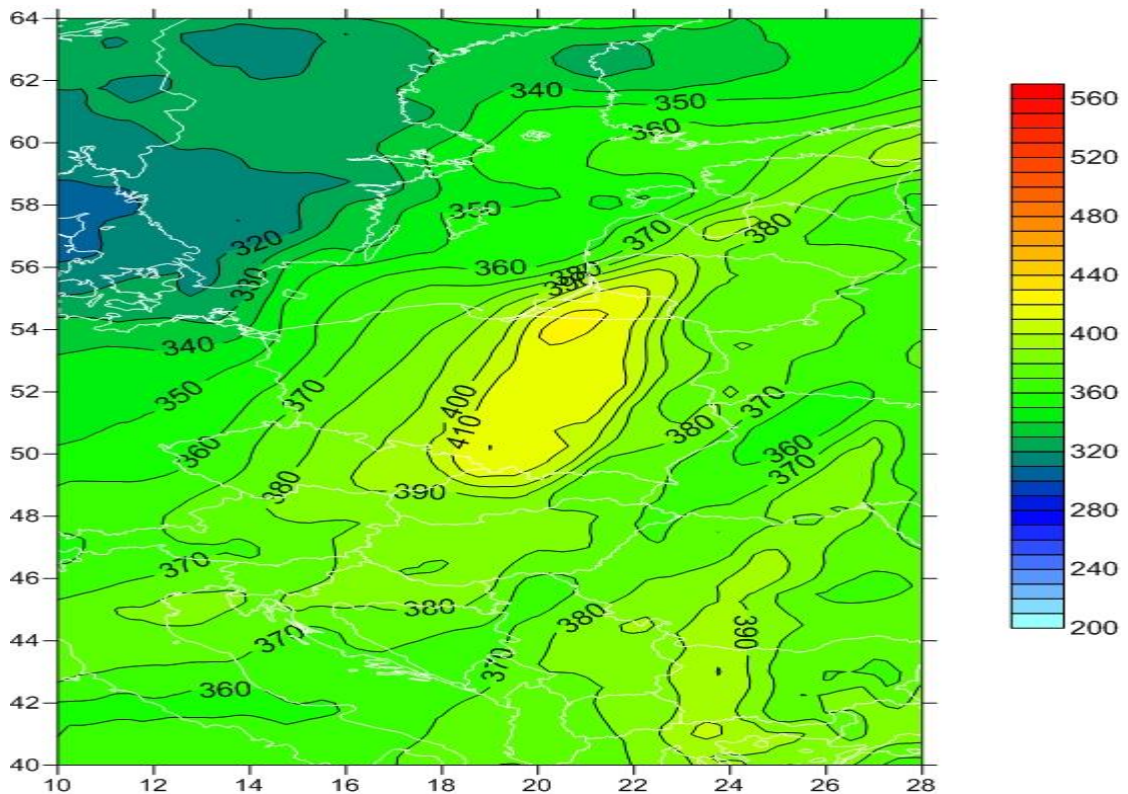


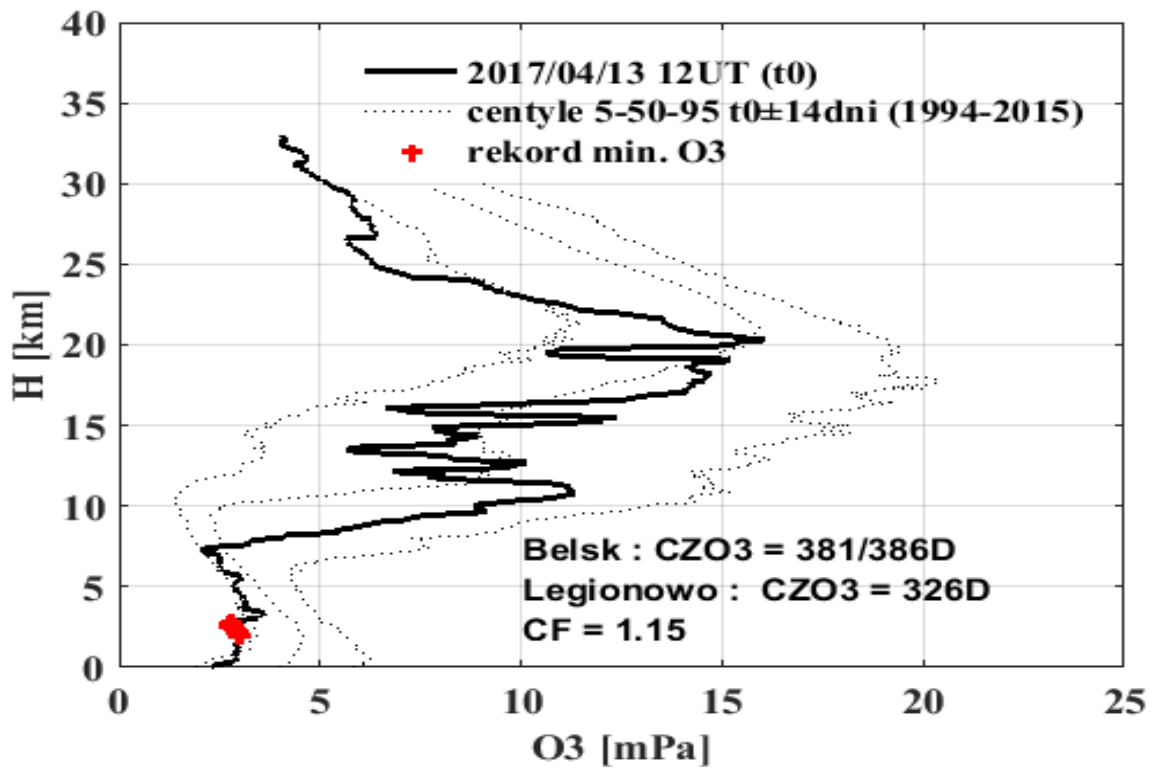
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
29.03.2017, 09:49 UTC



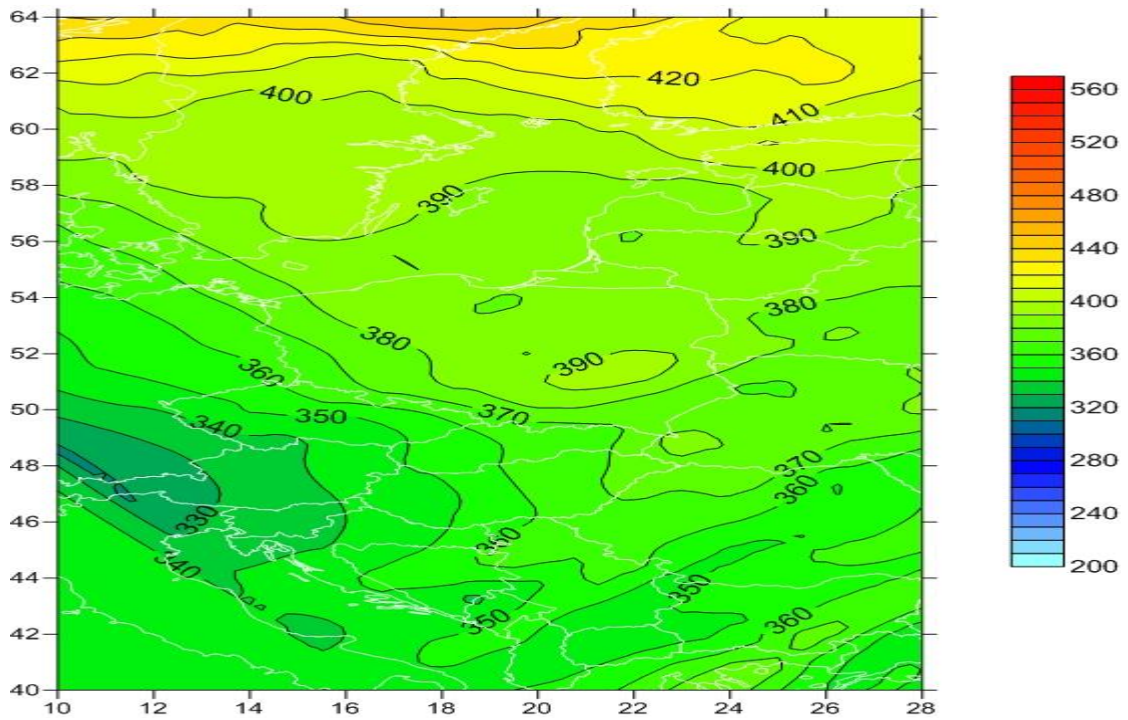


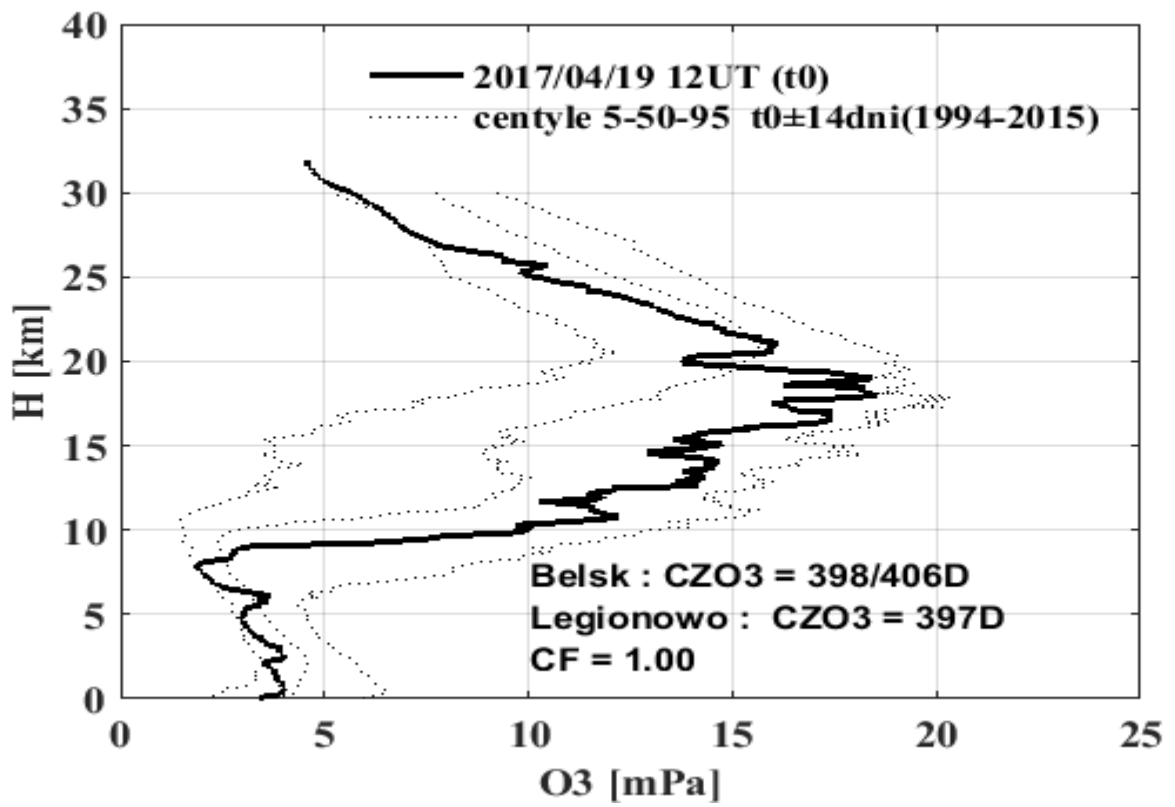
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
06.04.2017, 10:40 UTC



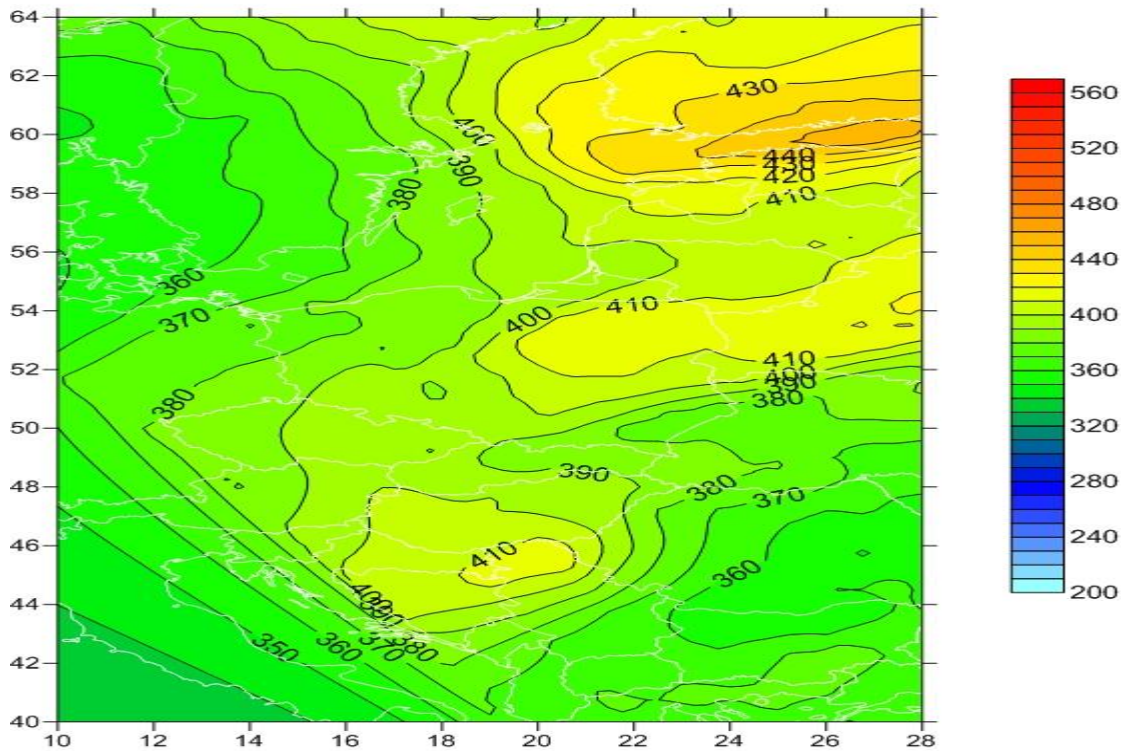


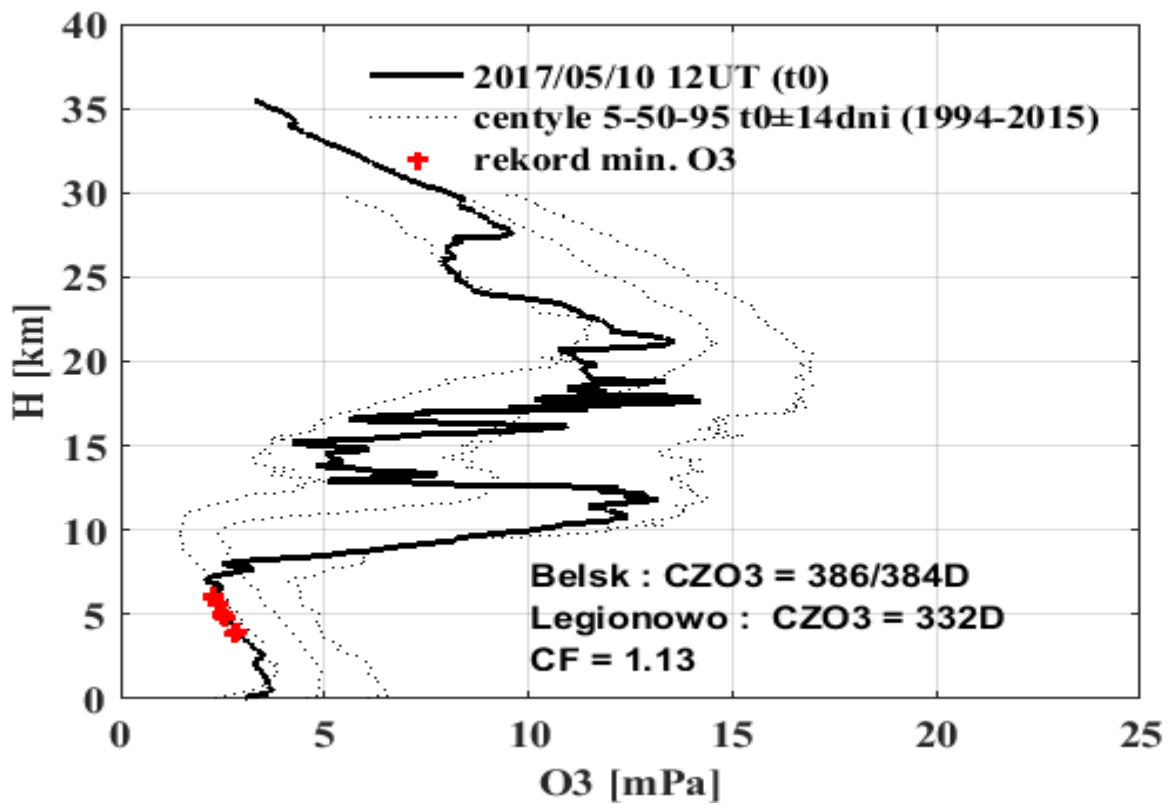
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
13.04.2017, 10:09 UTC



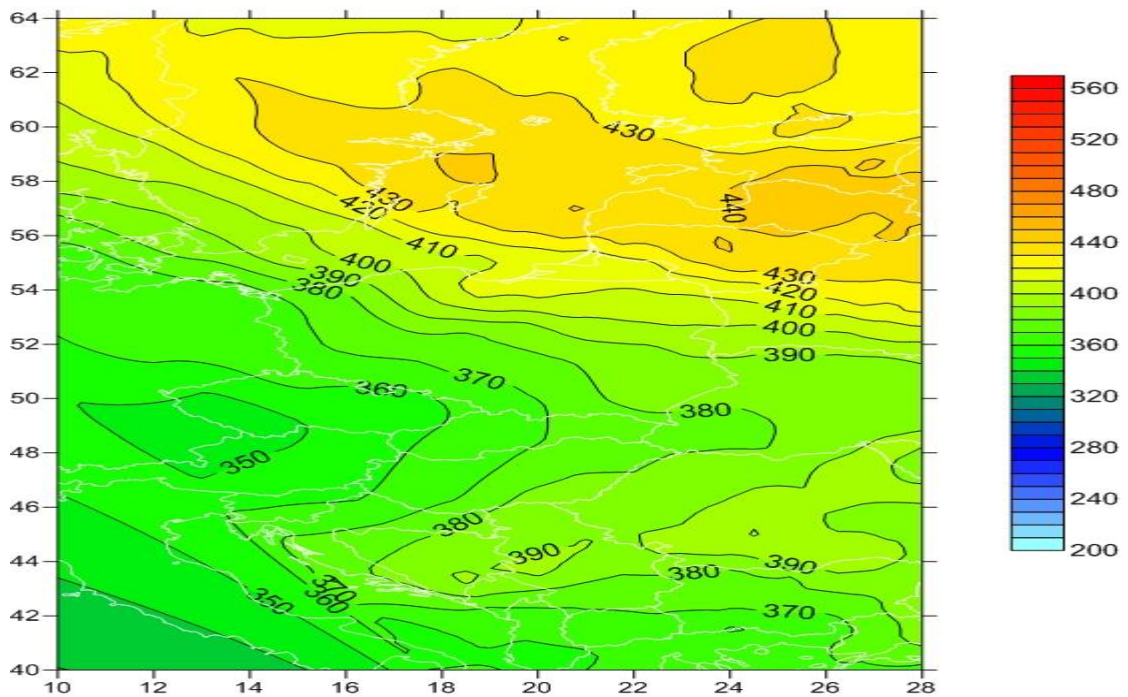


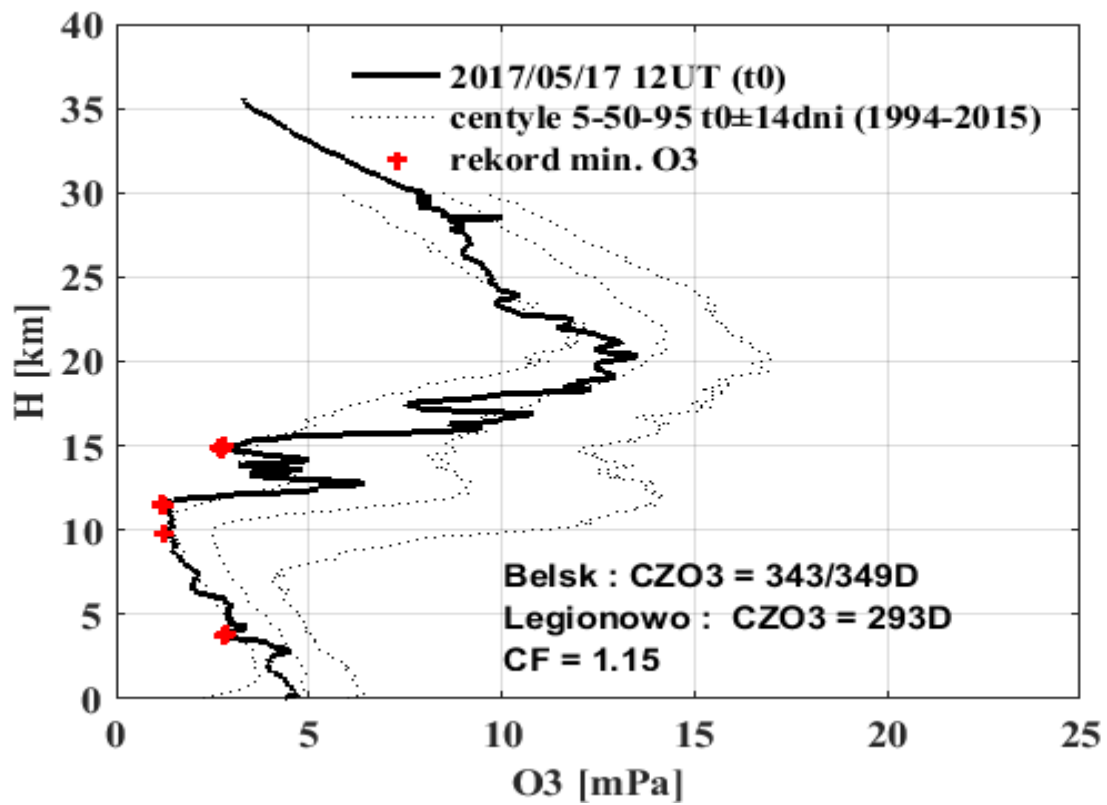
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
19.04.2017, 09:57 UTC



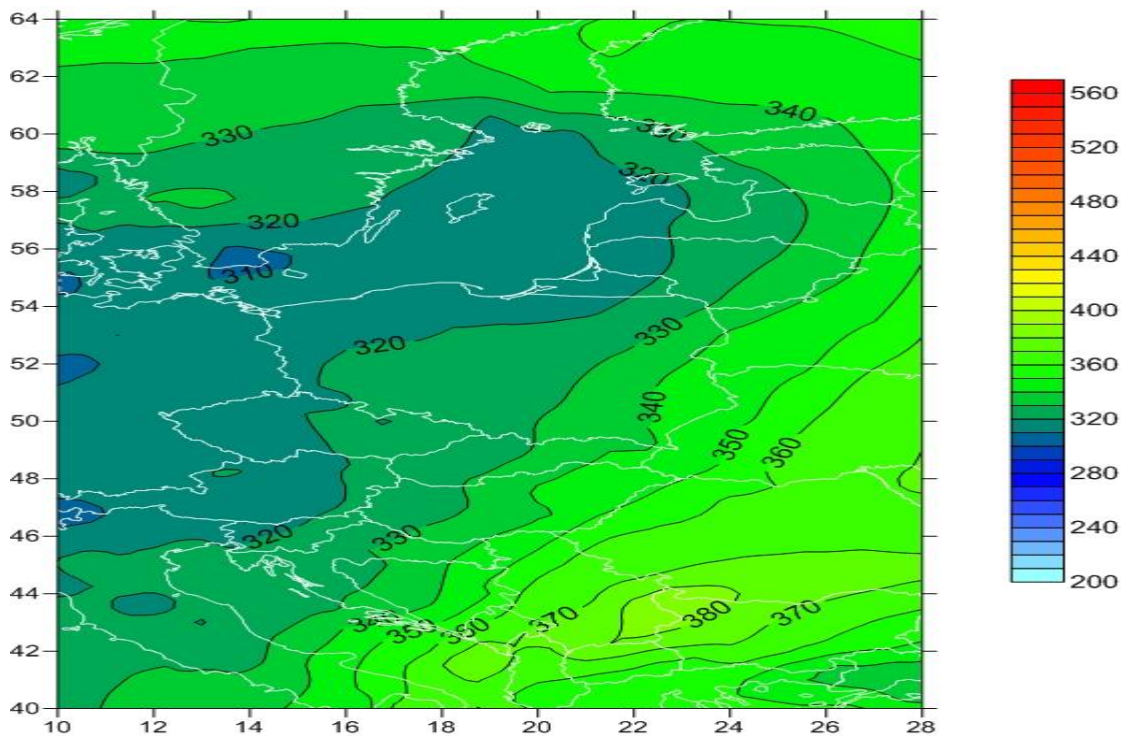


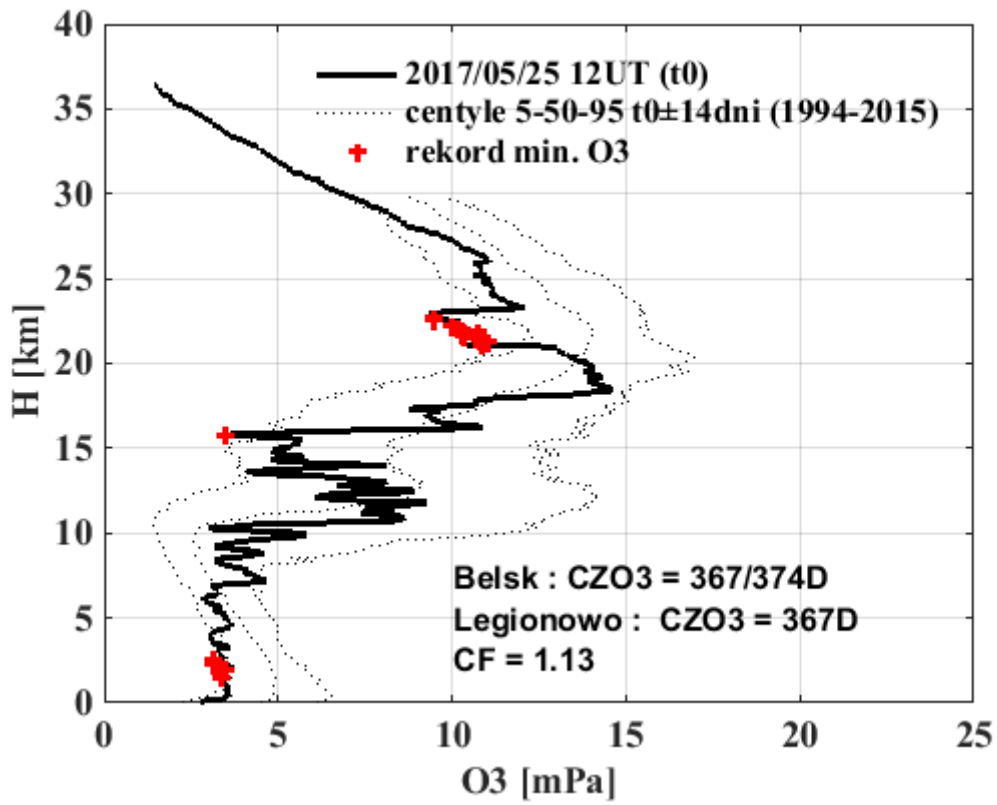
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
10.05.2017, 10:06 UTC



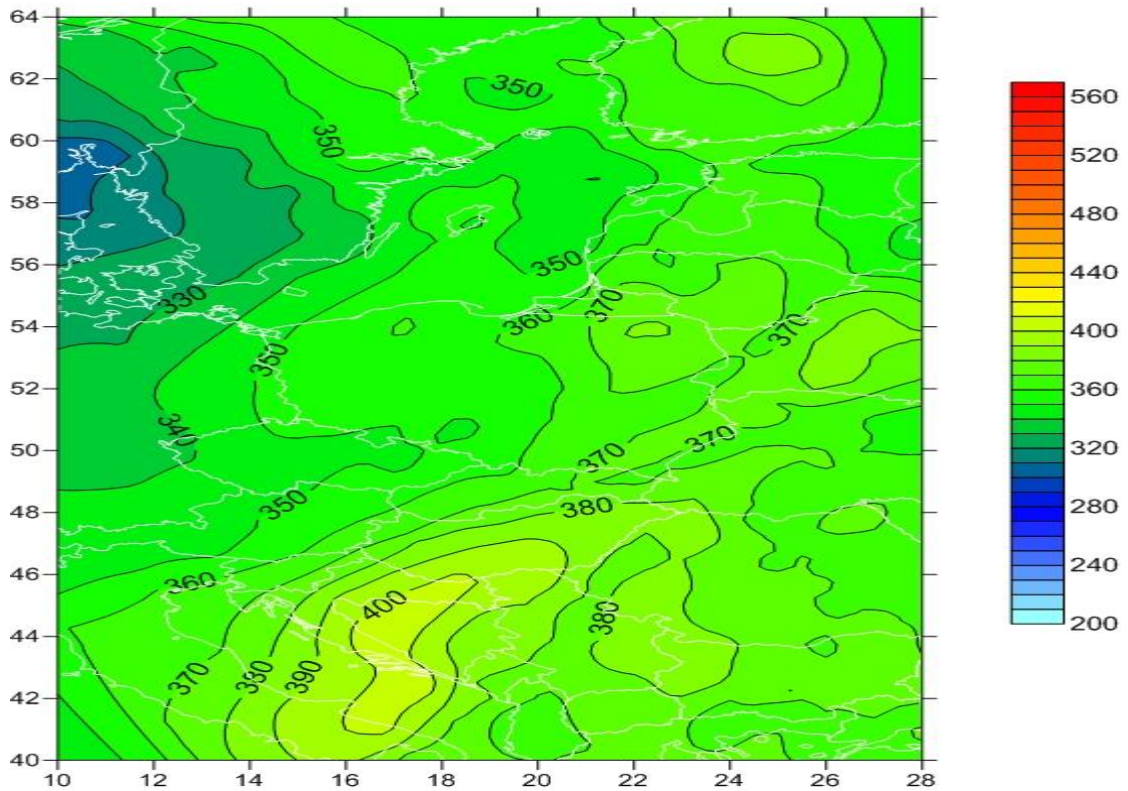


Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
17.05.2017, 11:16 UTC



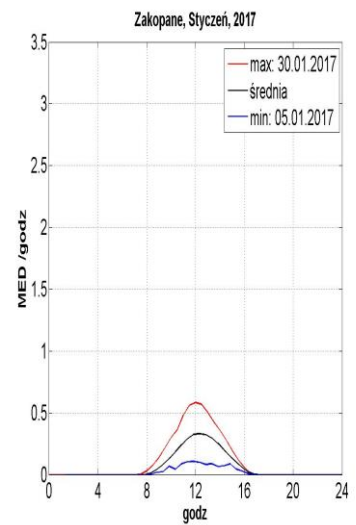
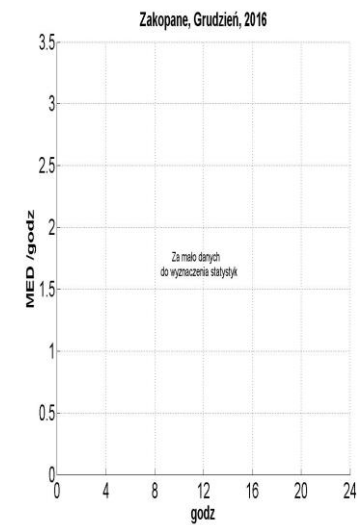
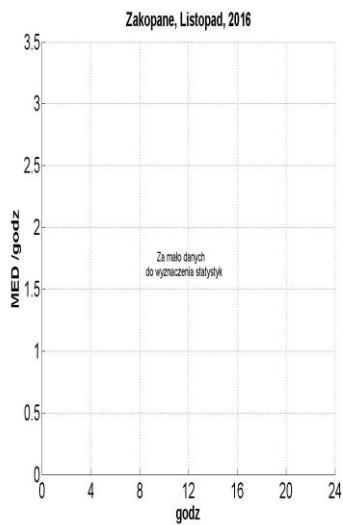
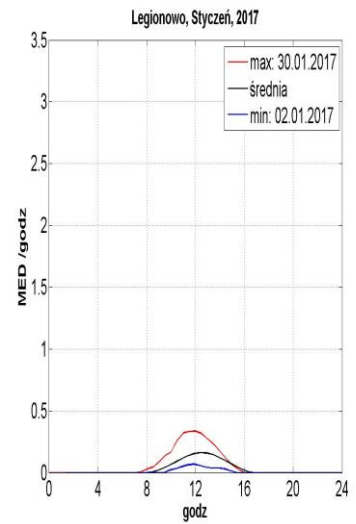
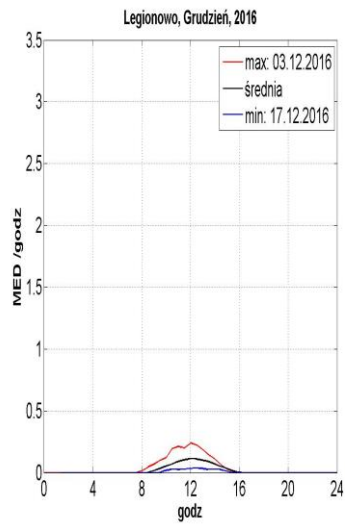
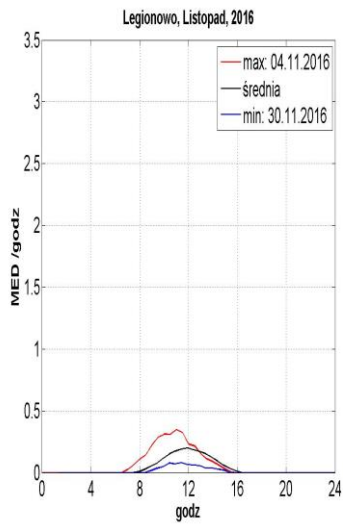
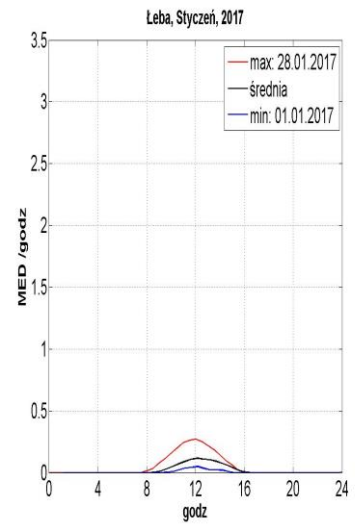
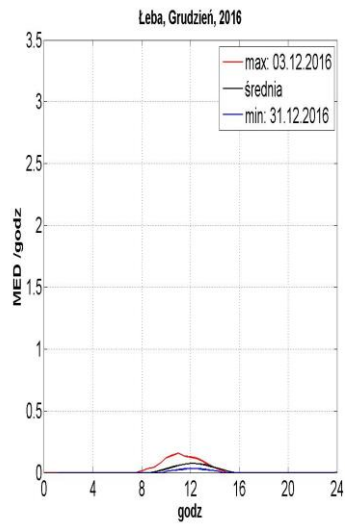
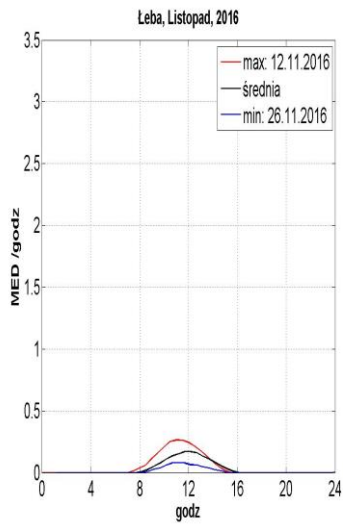


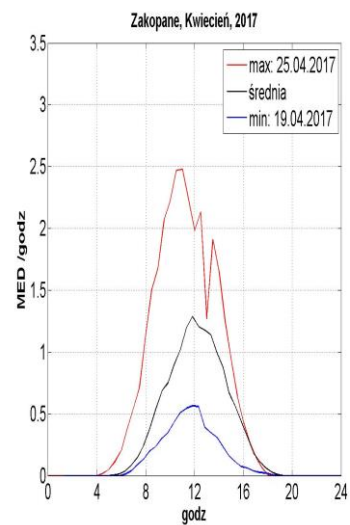
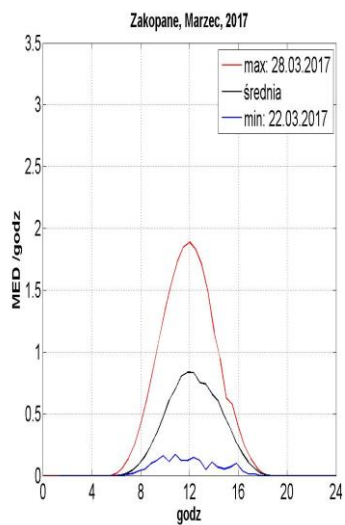
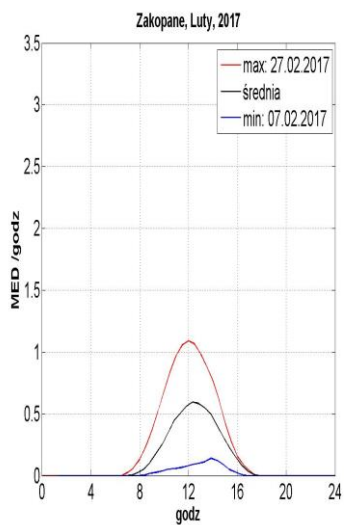
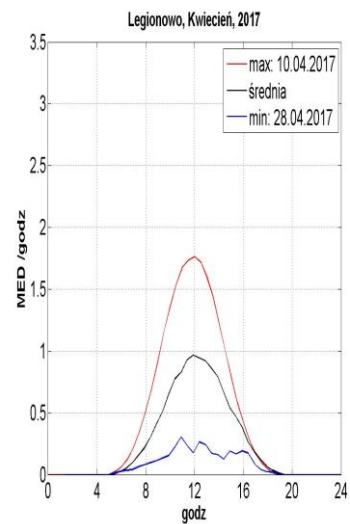
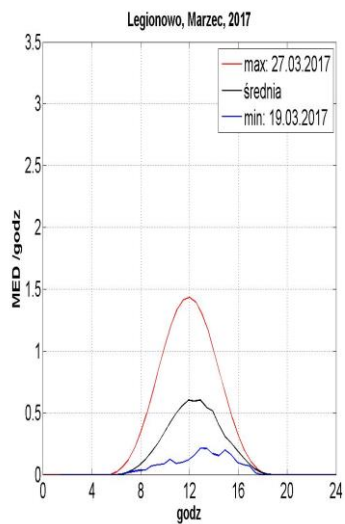
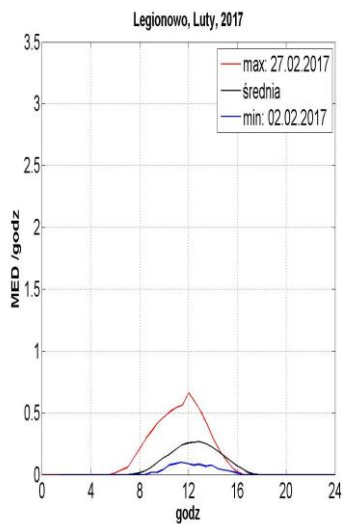
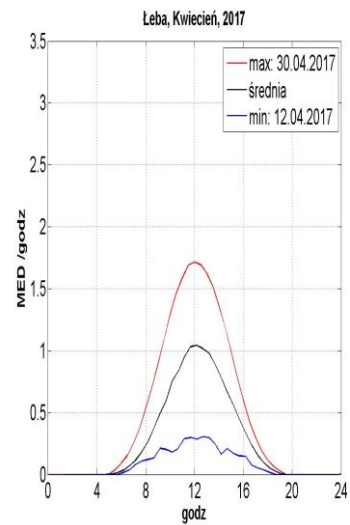
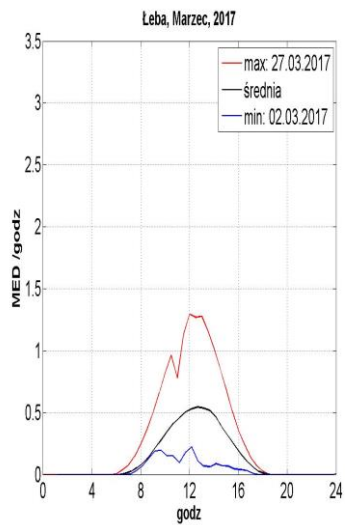
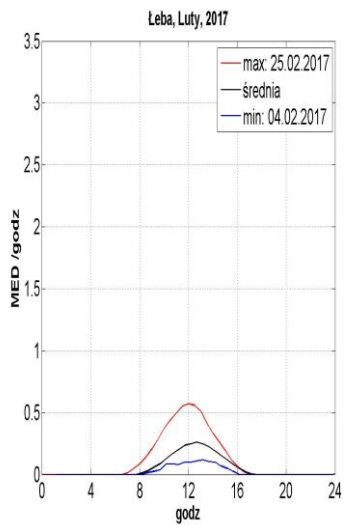
Całkowita zawartość ozonu [D], OMPS/S-NPP
25.05.2017, 10:26 UTC

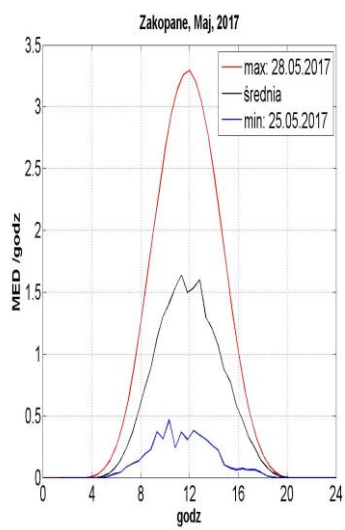
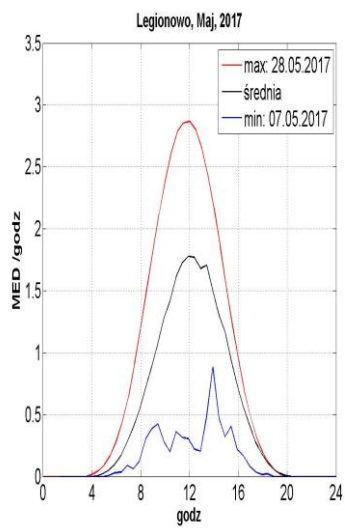
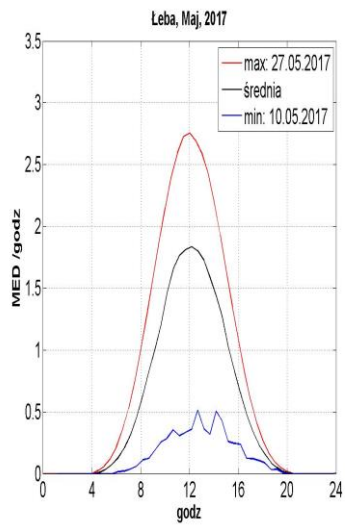


ZAŁĄCZNIK 3

DOBOWE PRZEBIEGI PROMIENIOWANIA UV-B Z MIESIĘCY
LISTOPAD 2016 R. – MAJ 2017 R.
(ŚREDNIE, MAKSYMALNE I MINIMALNE).

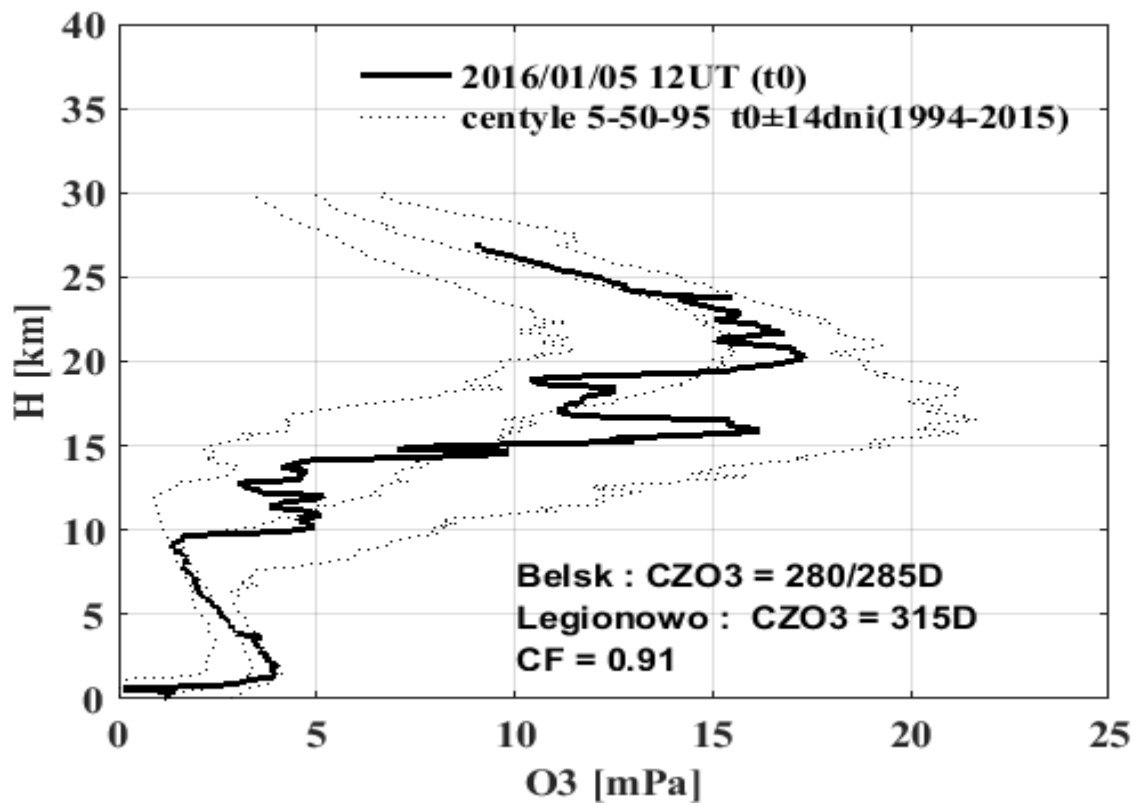






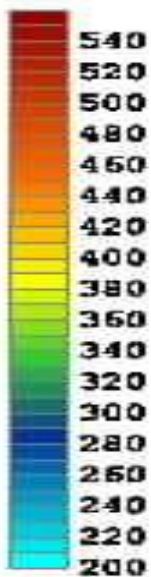
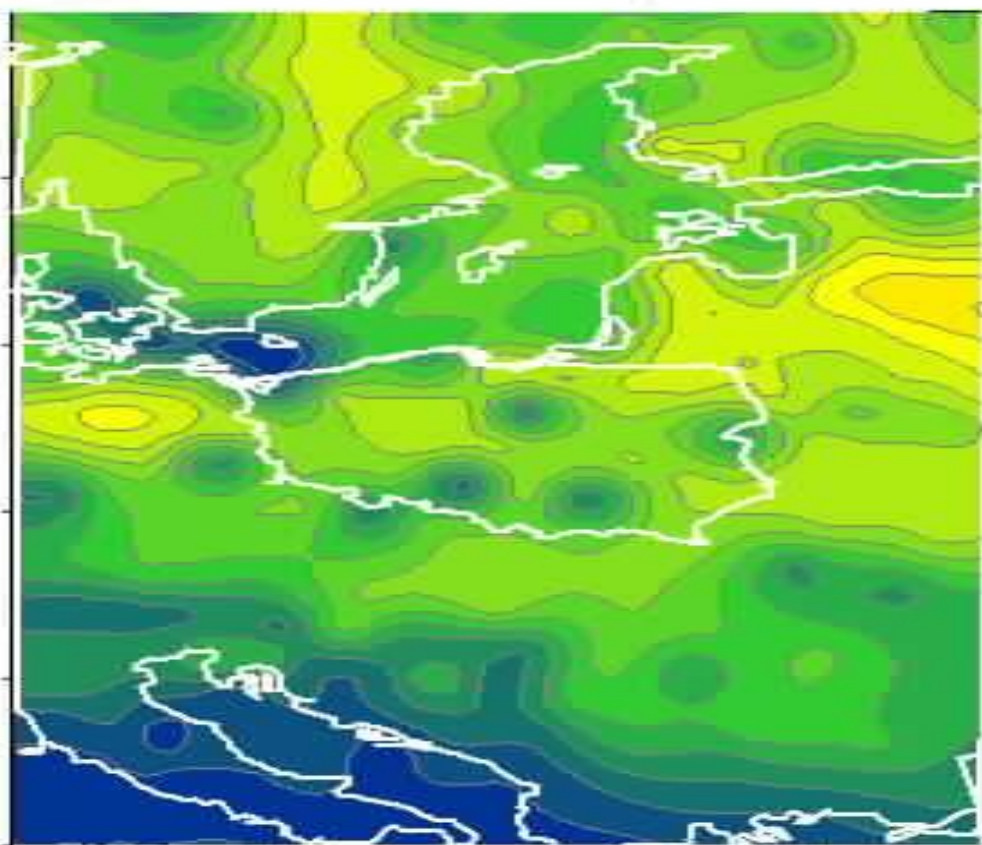
ZAŁĄCZNIK 4

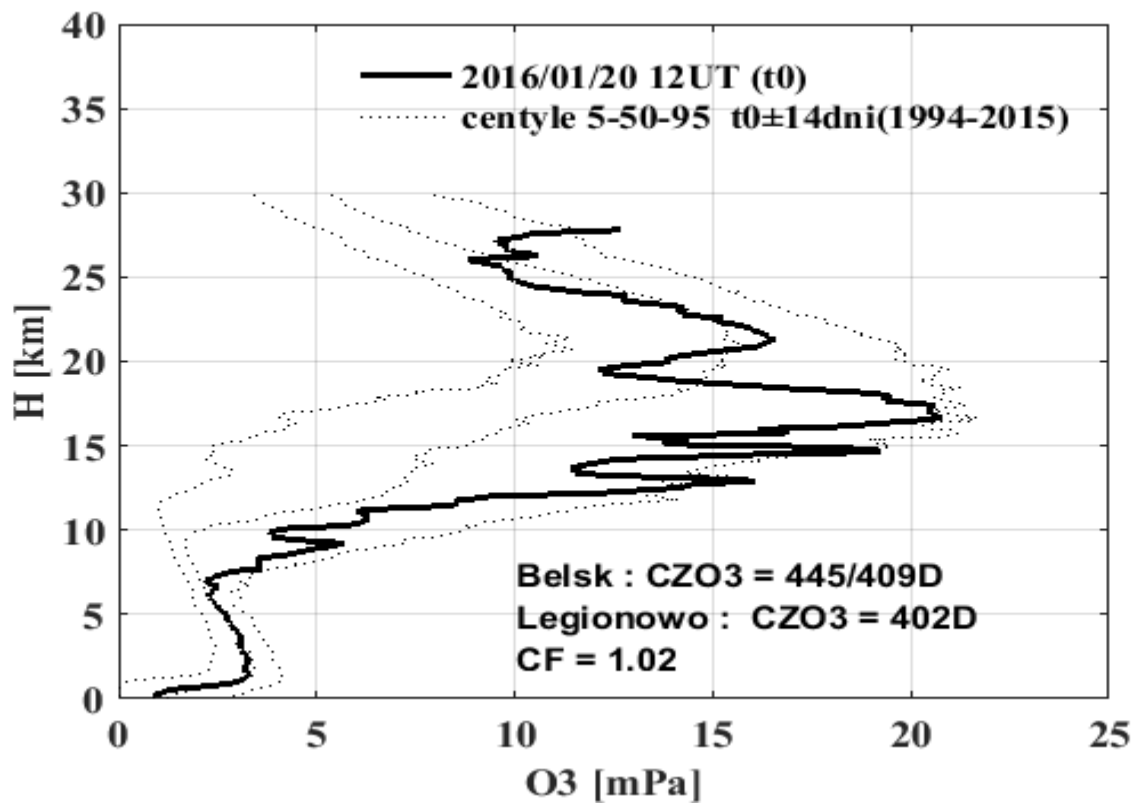
PROFILE OZONU Z SONDAŻY OZONOWYCH WYKONANYCH
W OKRESIE 1.01 DO 31.12.2016 R. I ODPOWIADAJĄCE IM
SATELITARNE MAPY CAŁKOWITEJ ZAWARTOŚCI OZONU
W ATMOSFERZE.



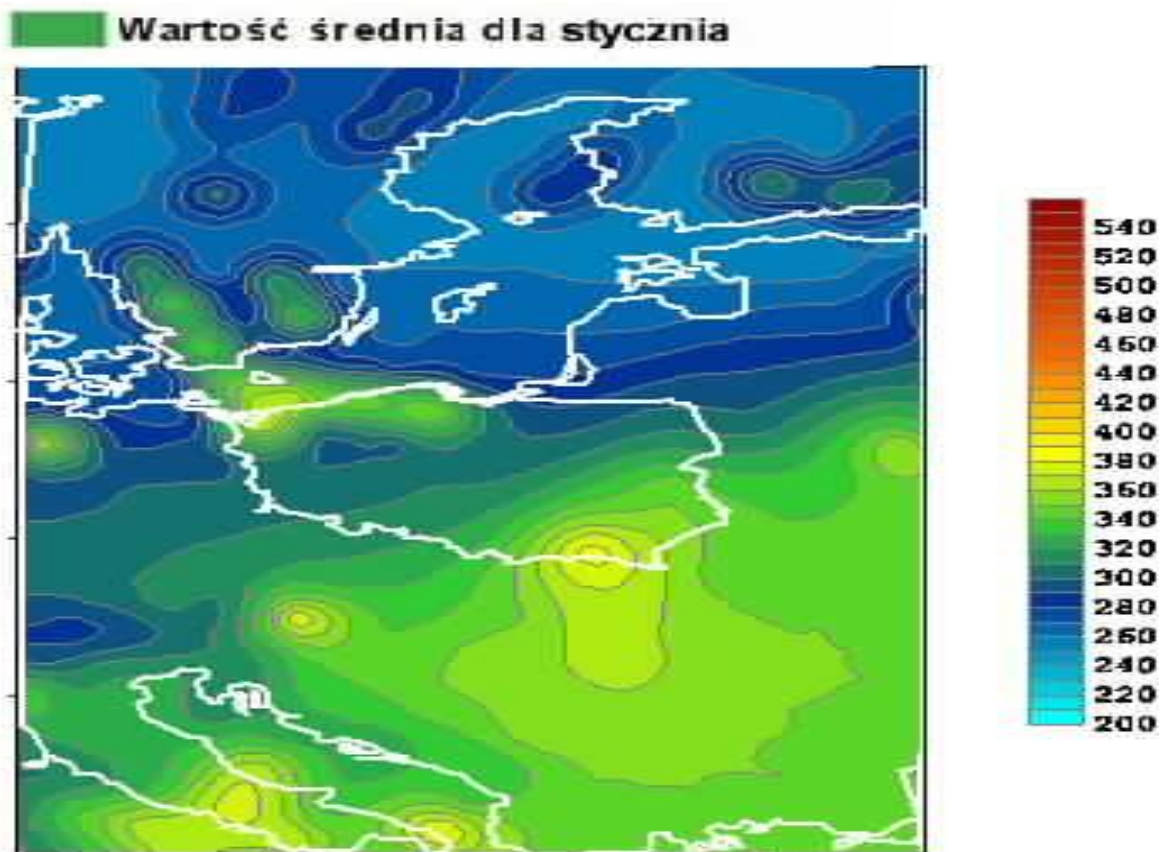
Całkowita zawartość ozonu, 05.01.2016 05:21 GMT

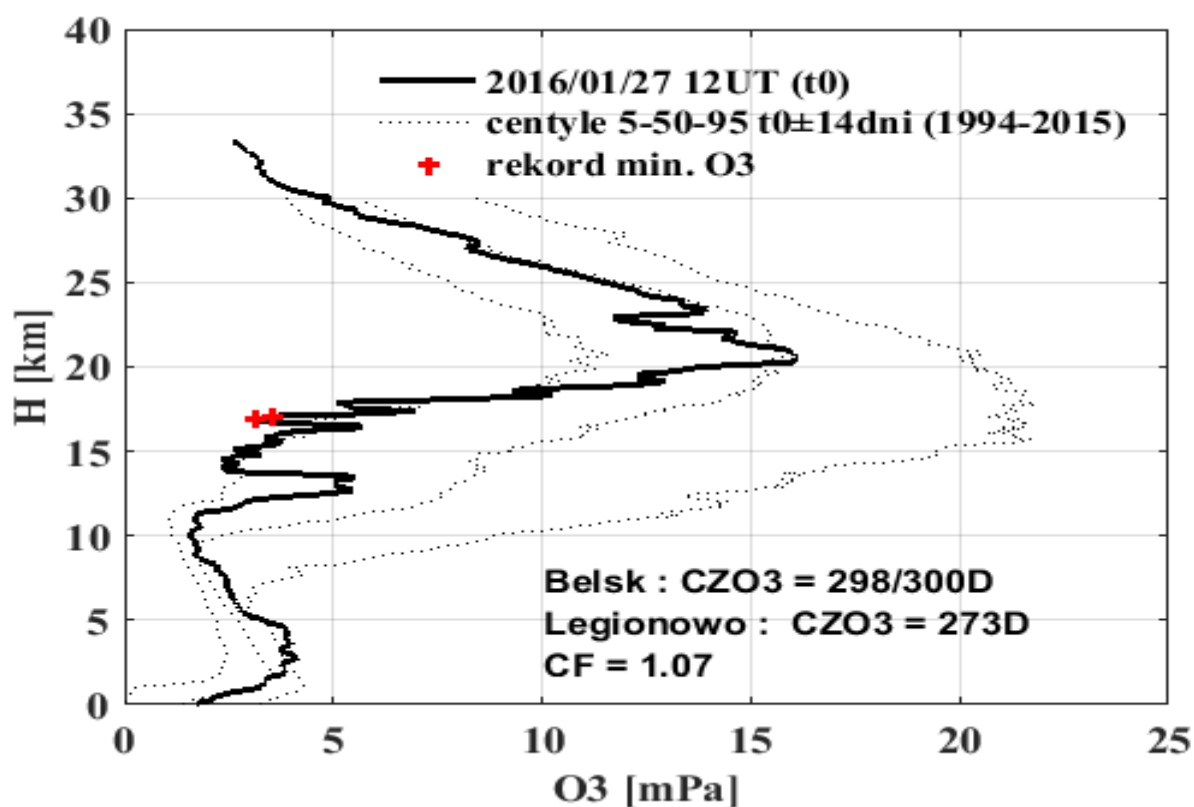
Wartość średnia dla stycznia



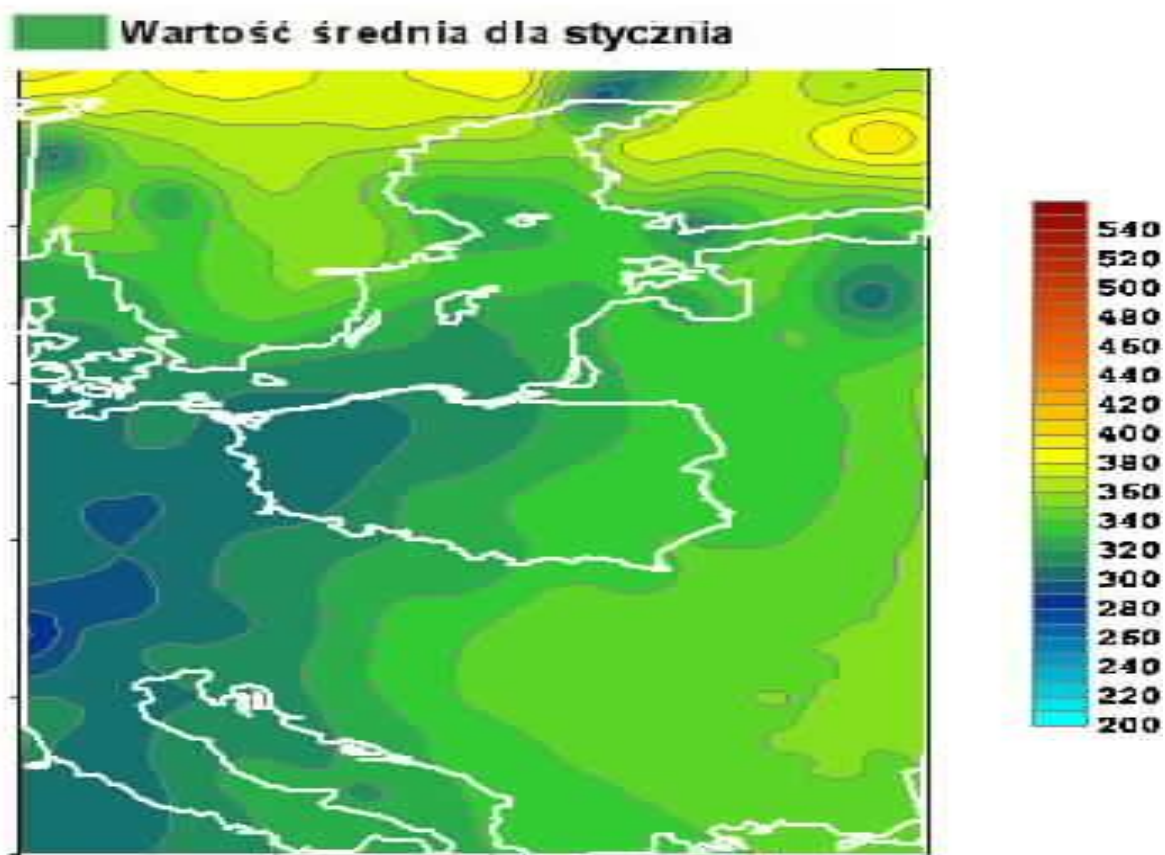


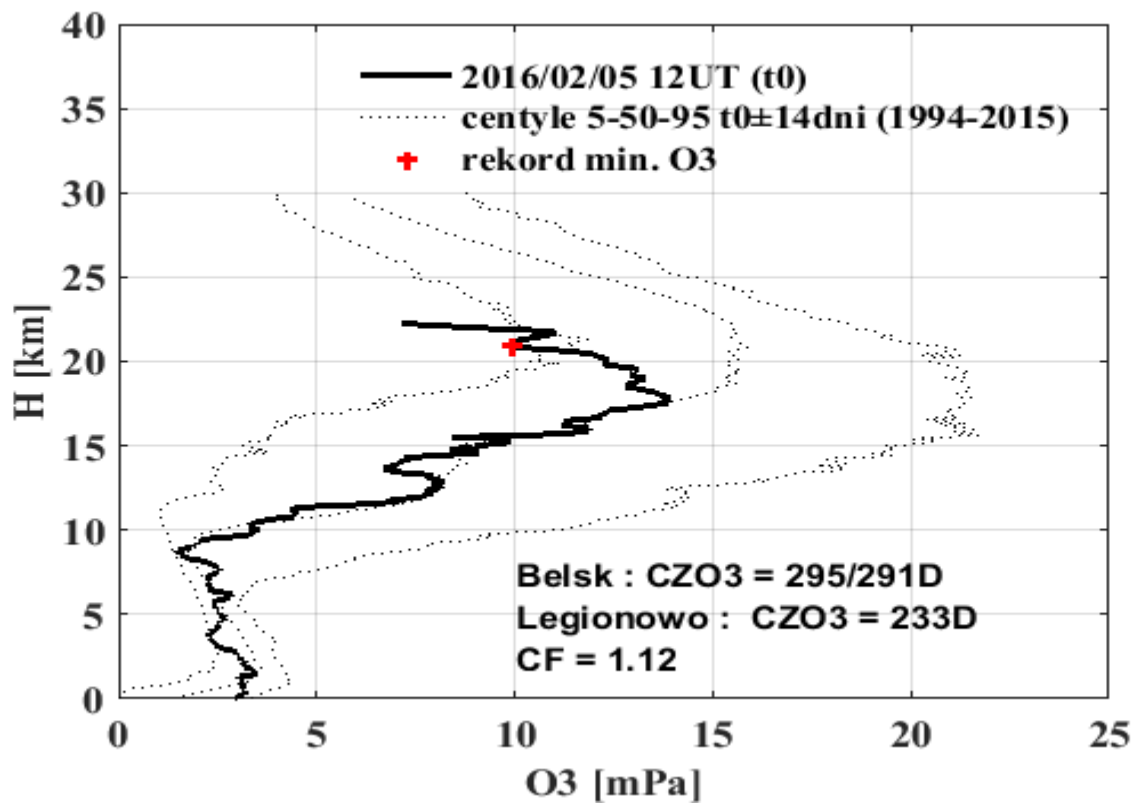
Całkowita zawartość ozonu, 20.01.2016 05:49 GMT





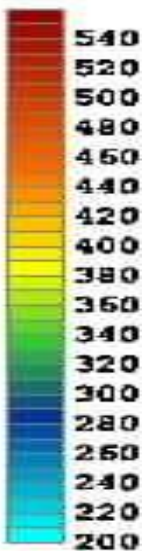
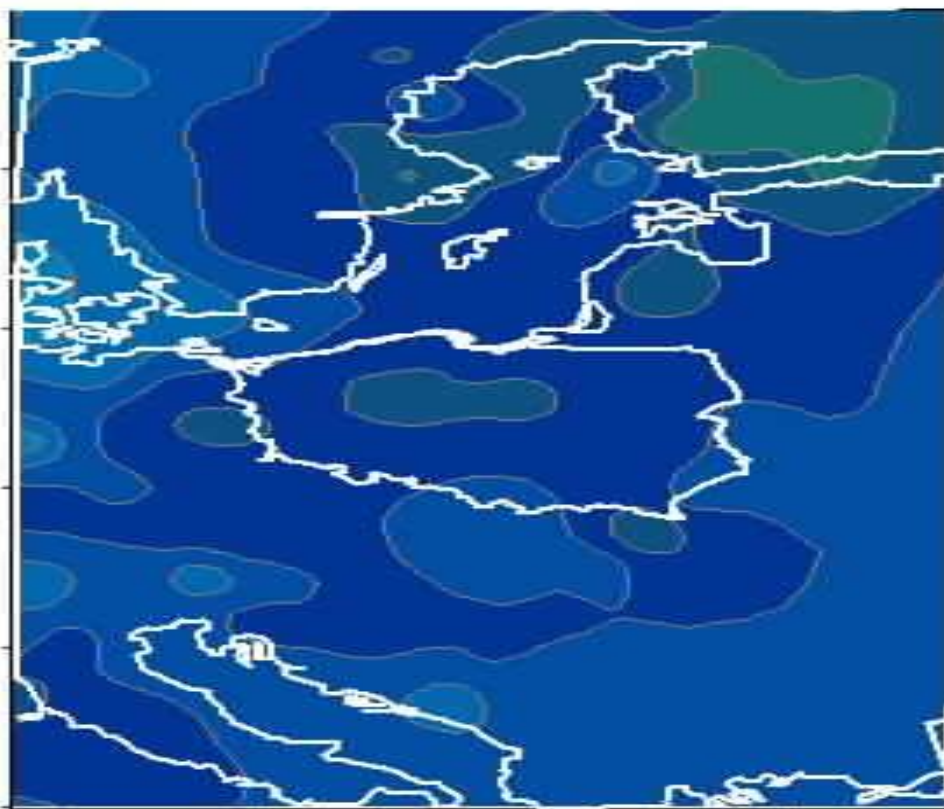
Całkowita zawartość ozonu, 27.01.2016 02:49 GMT

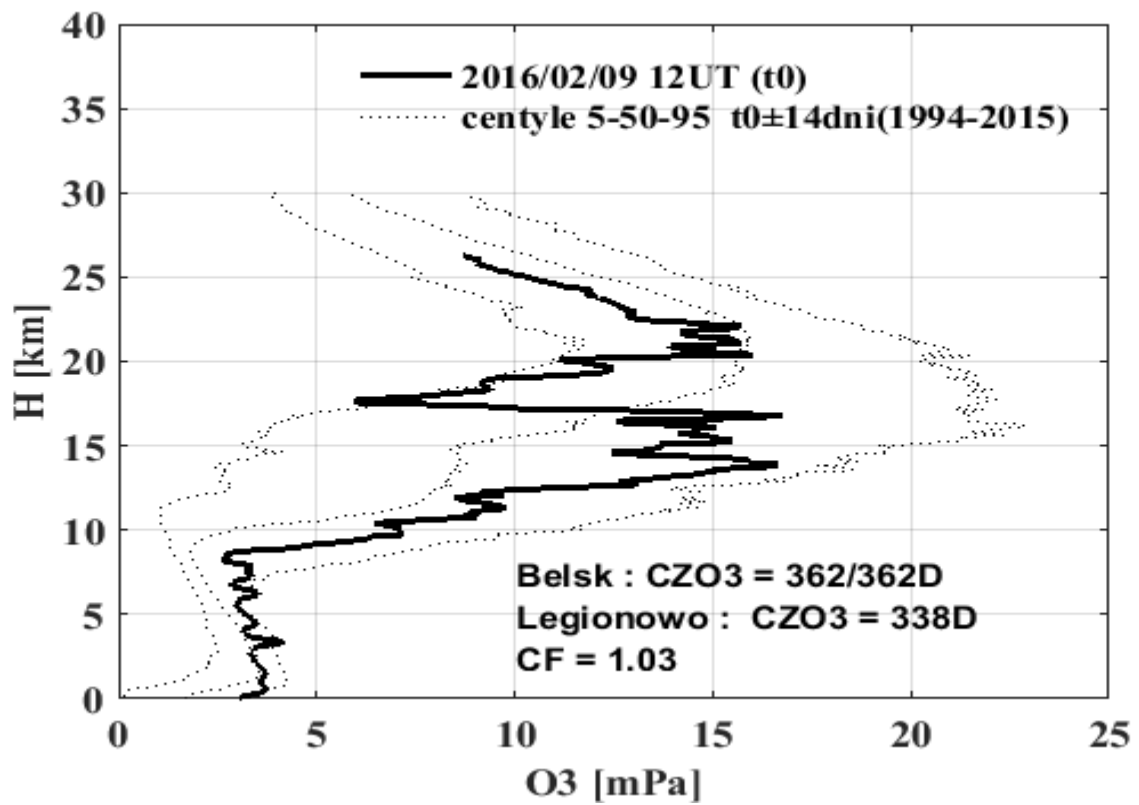




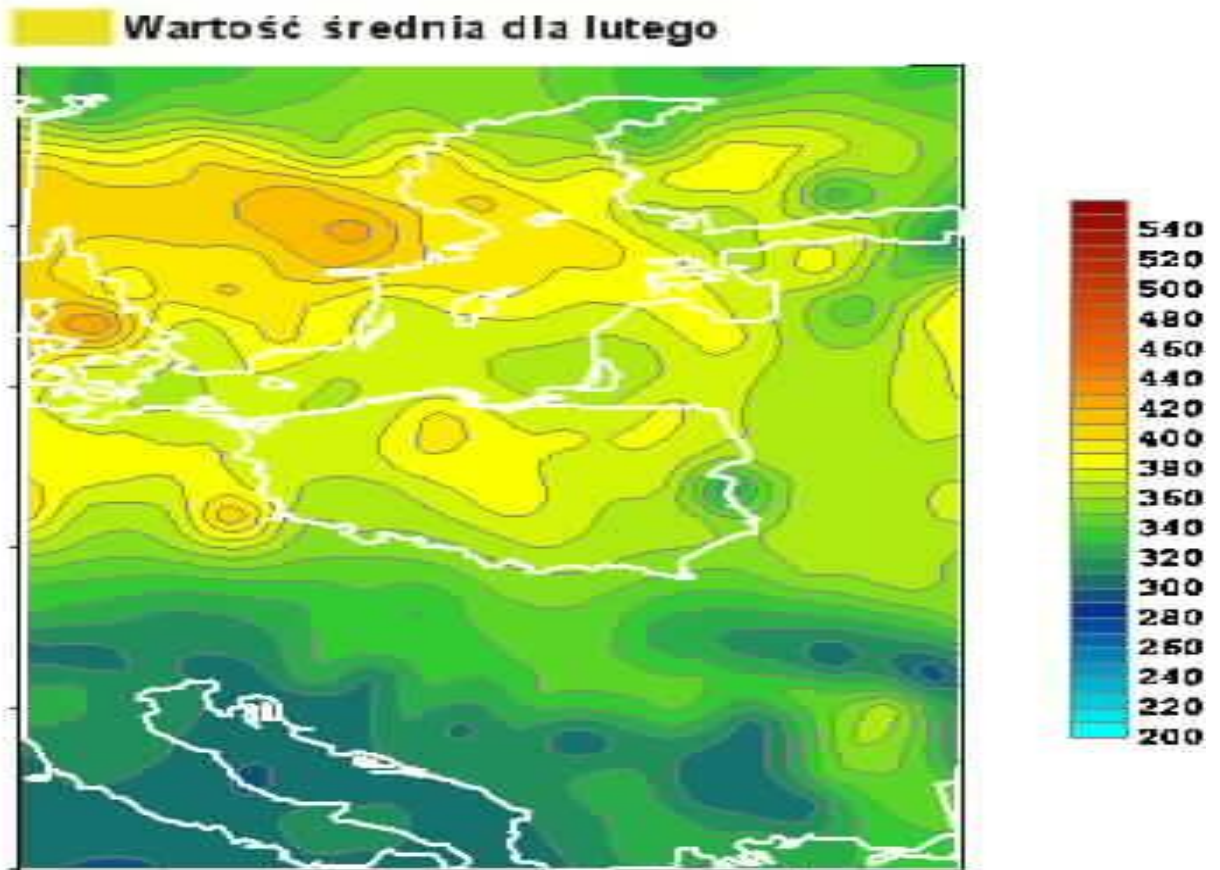
Całkowita zawartość ozonu, 05.02.2016 02:47 GMT

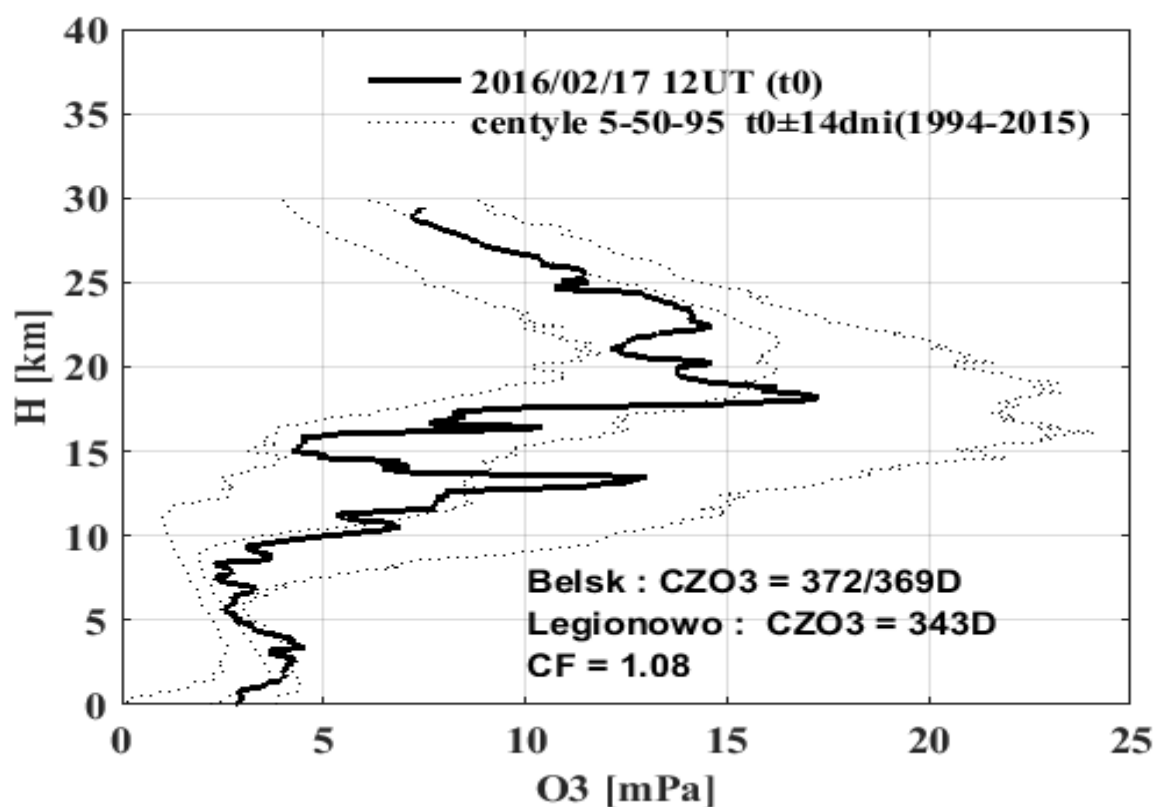
Wartość średnia dla lutego





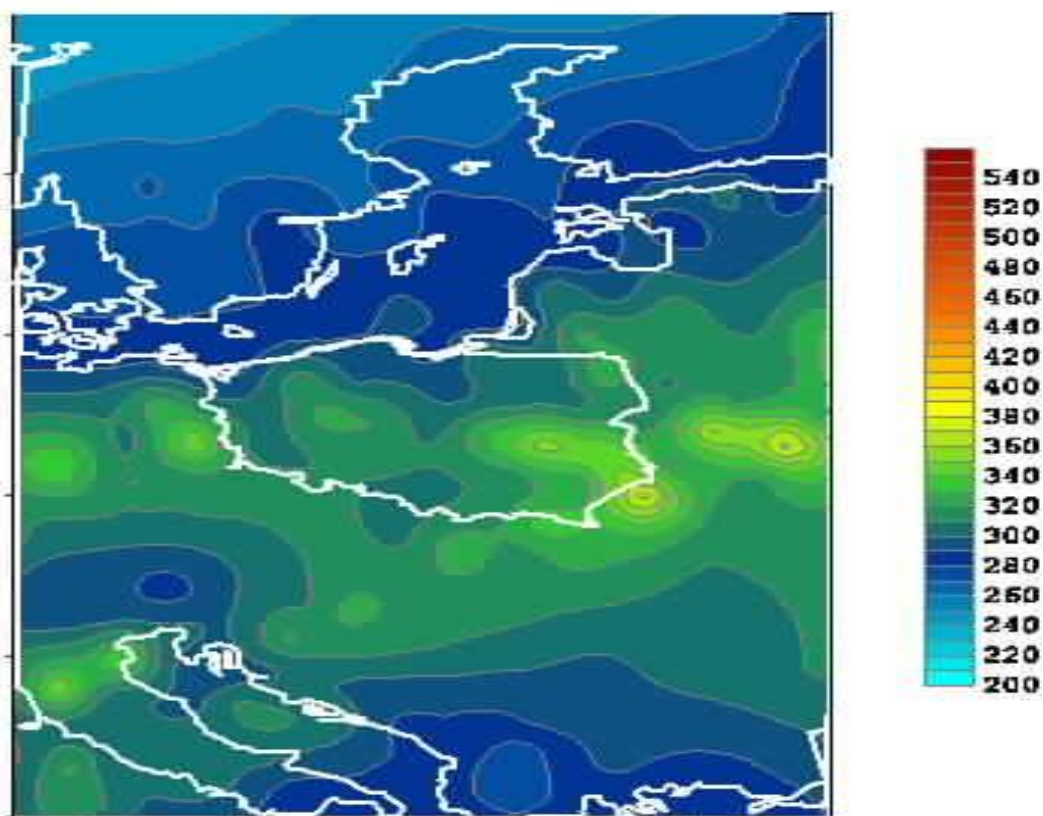
Całkowita zawartość ozonu, 09.02.2016 05:19 GMT

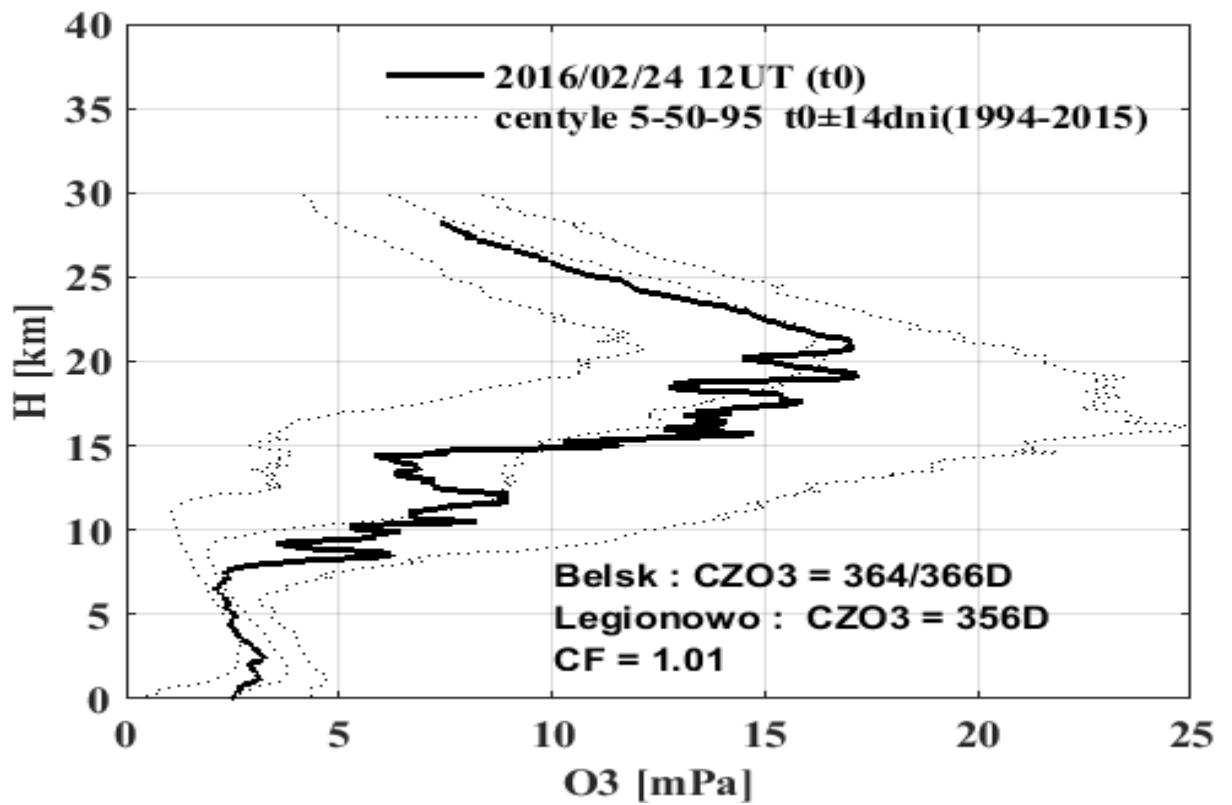




Całkowita zawartość ozonu, 17.02.2016 05:27 GMT

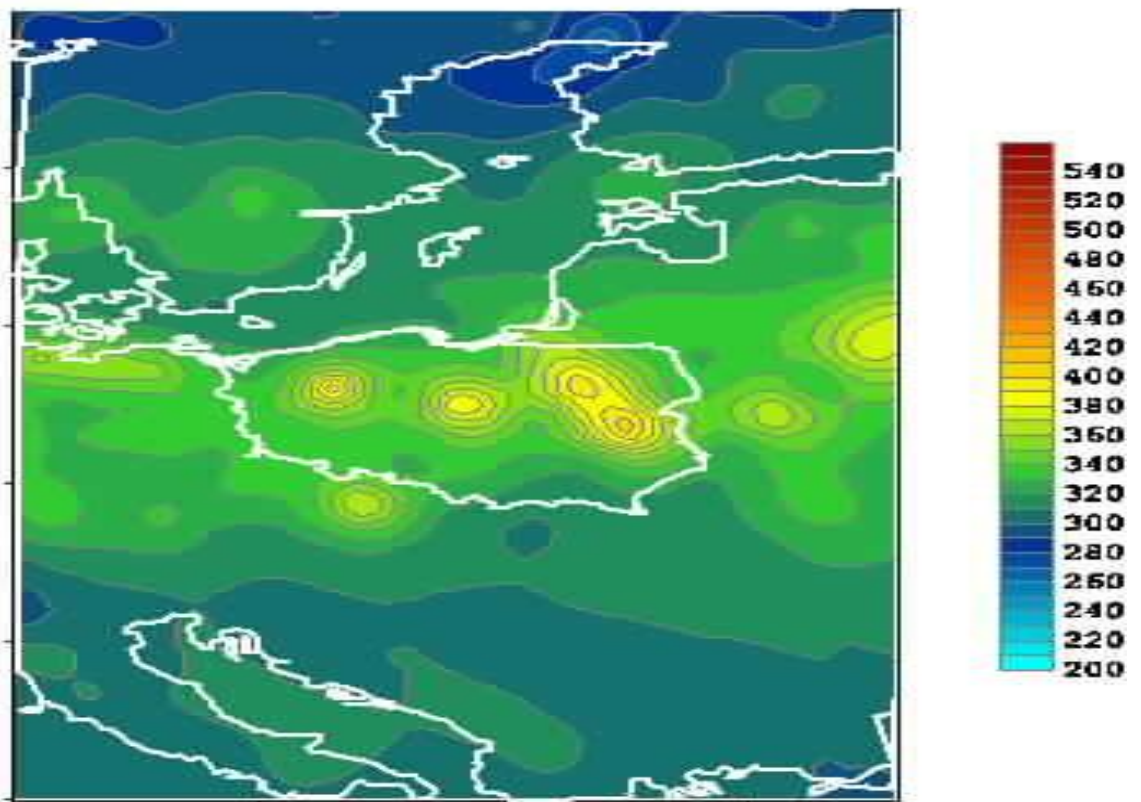
Wartość średnia dla lutego

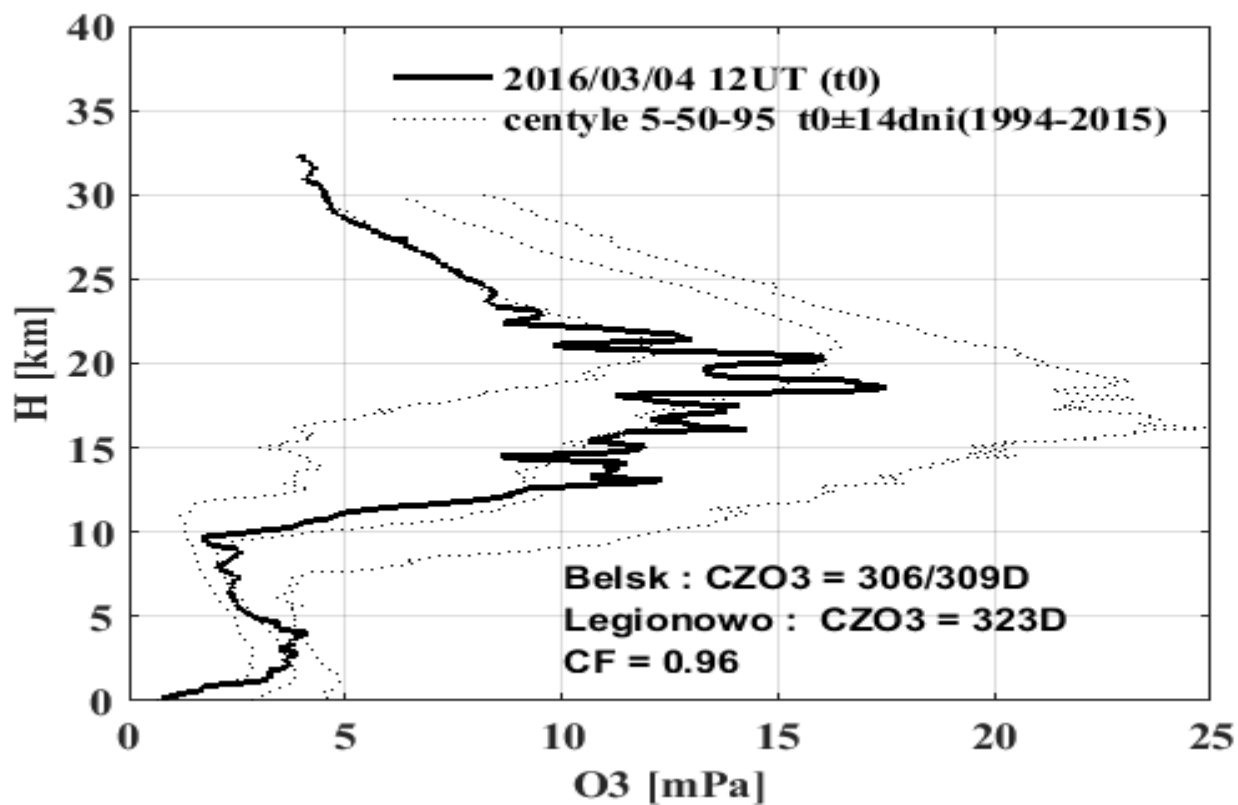




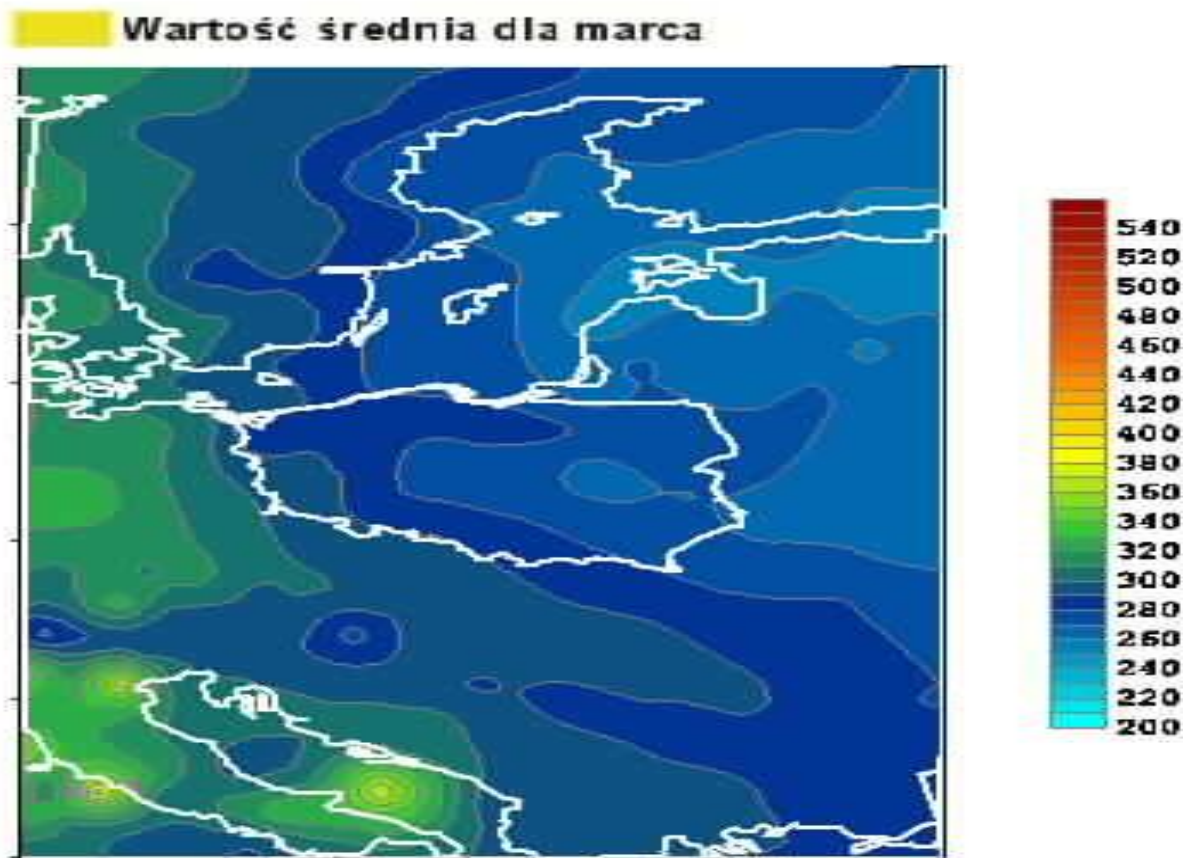
Całkowita zawartość ozonu, 24.02.2016 02:34 GMT

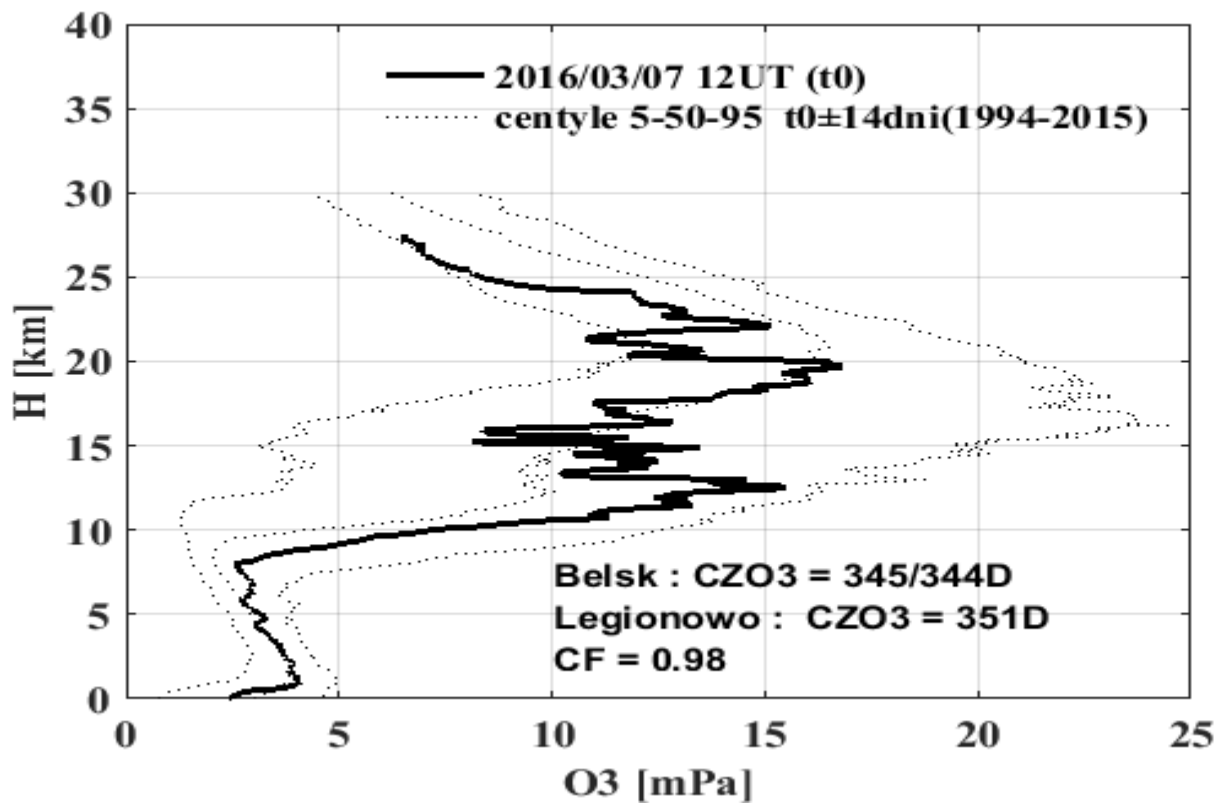
Wartość średnia dla lutego



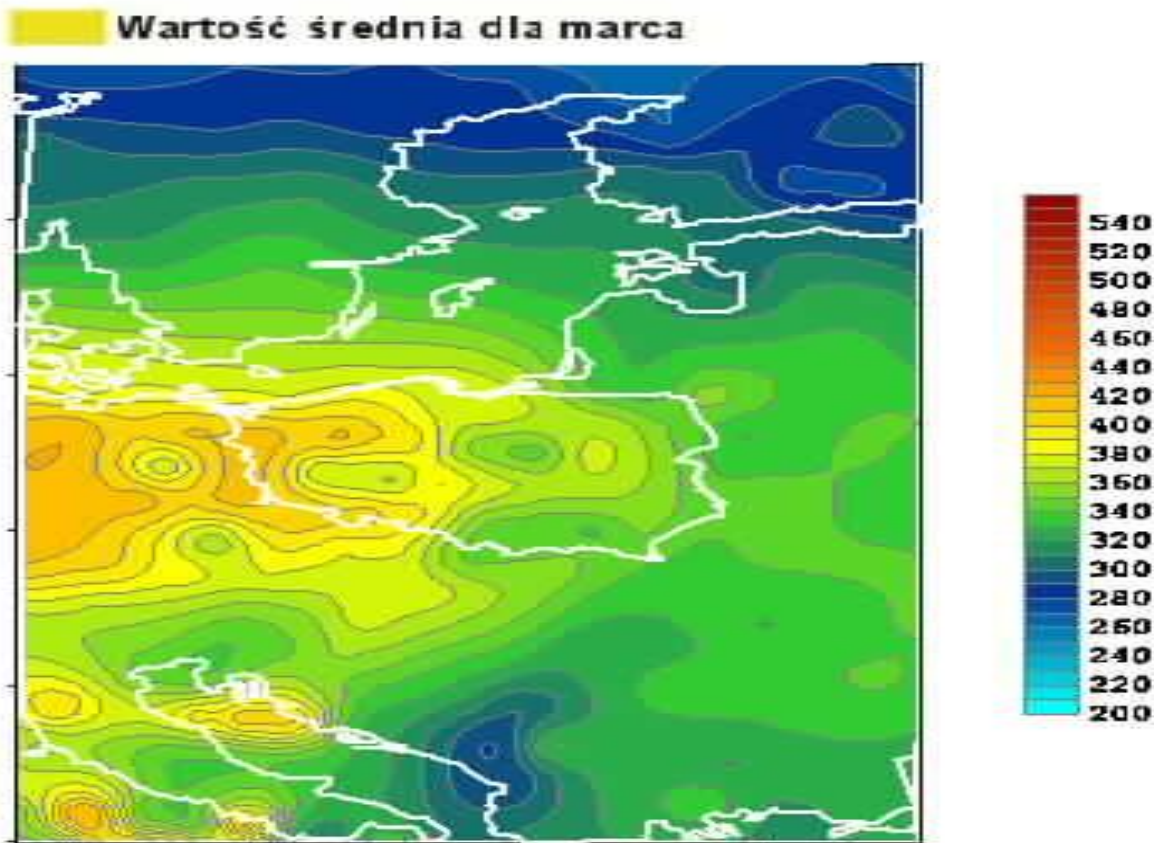


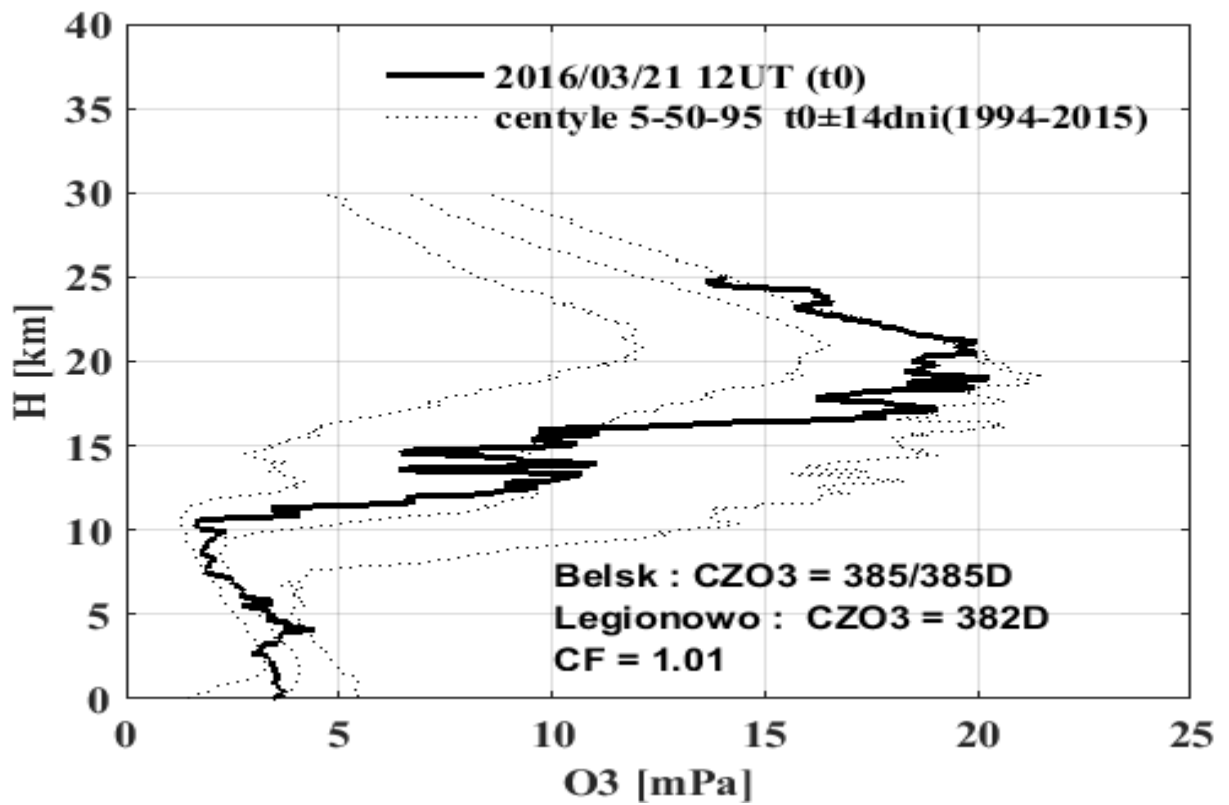
Całkowita zawartość ozonu, 04.03.2016 02:33 GMT



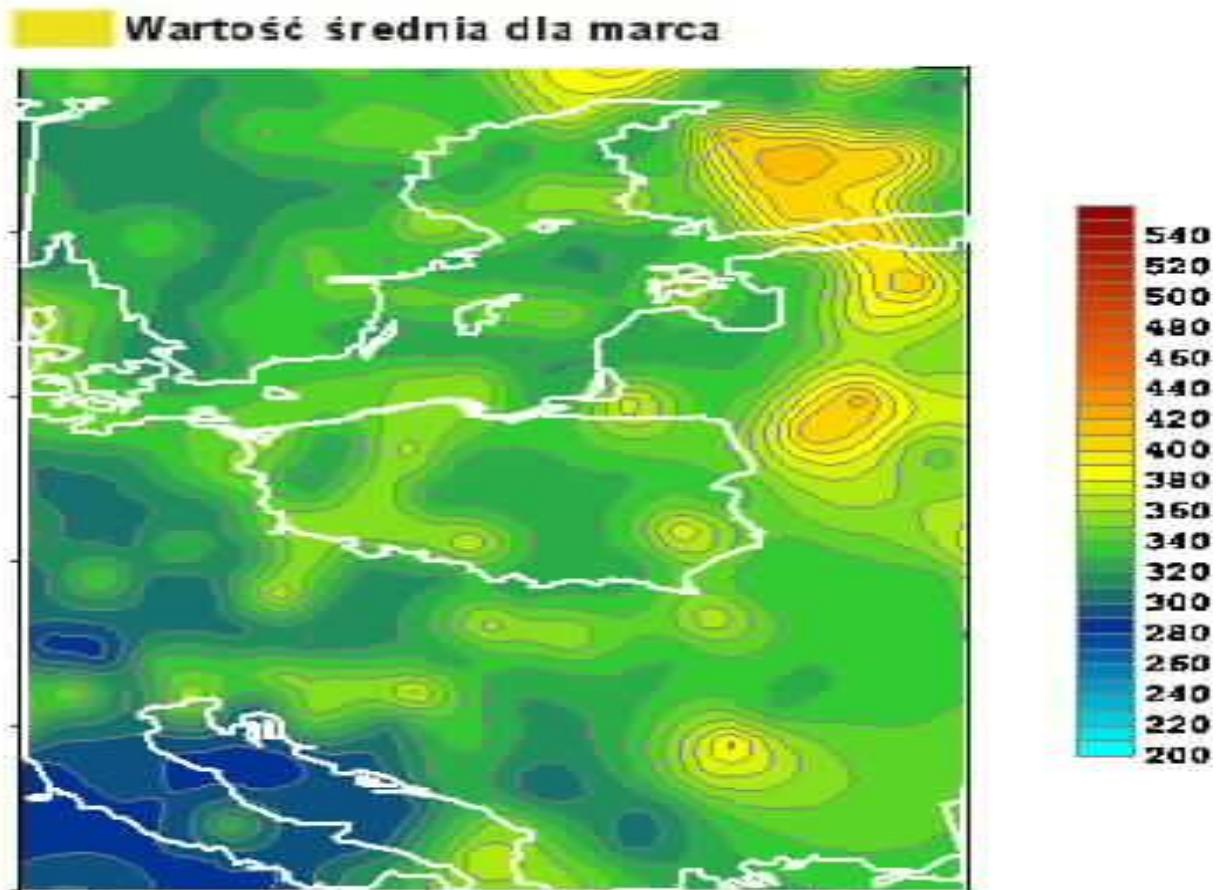


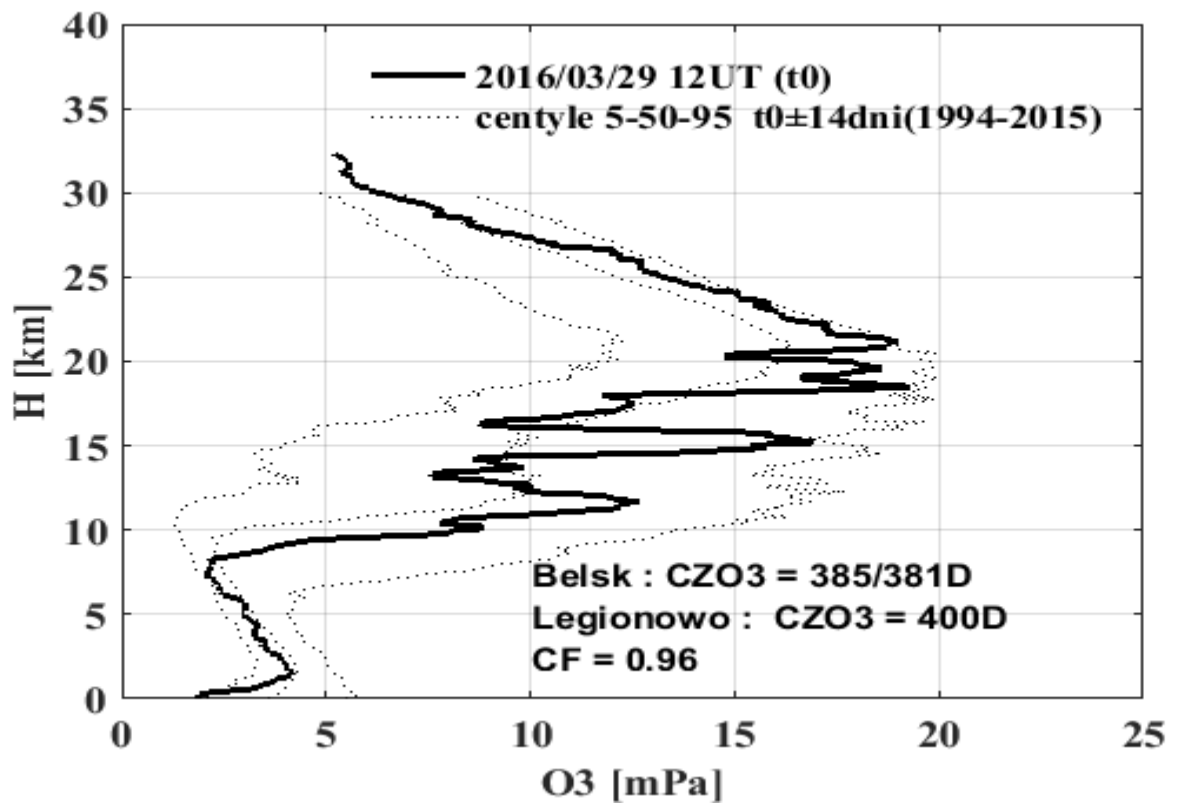
Całkowita zawartość ozonu, 07.03.2016 01:58 GMT





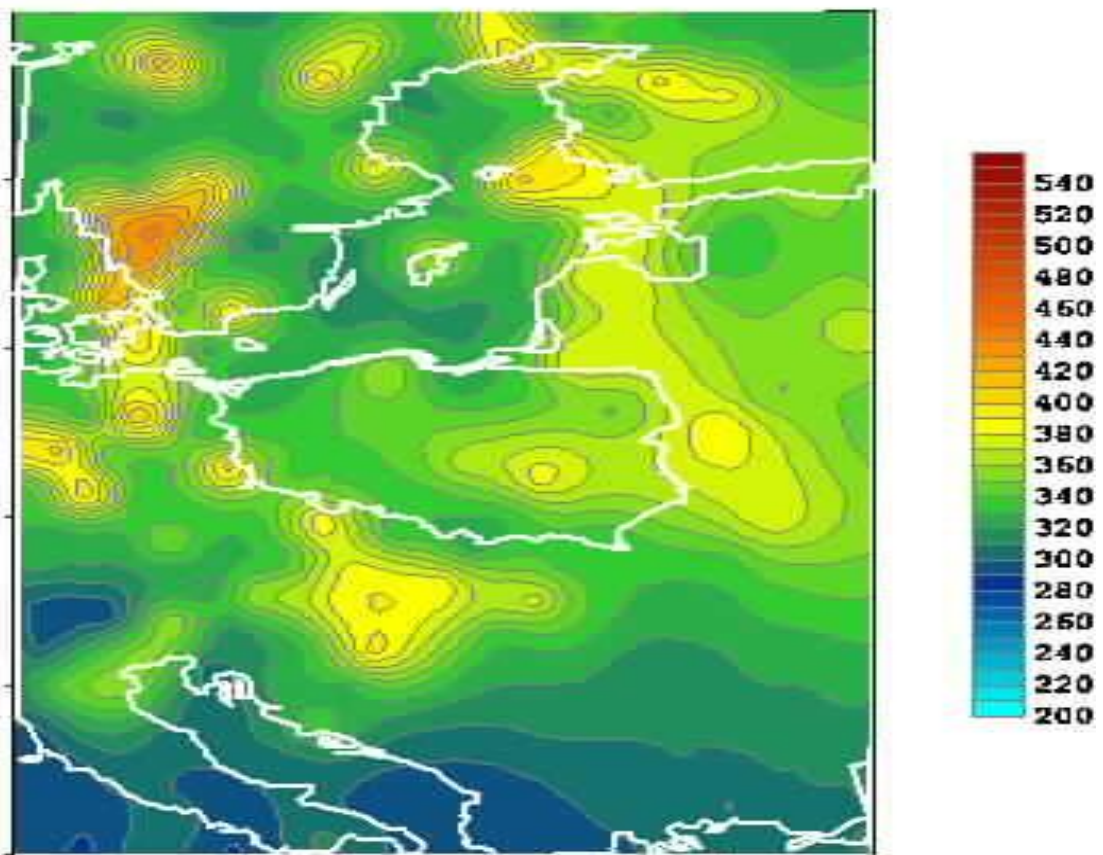
Całkowita zawartość ozonu, 21.03.2016 05:48 GMT

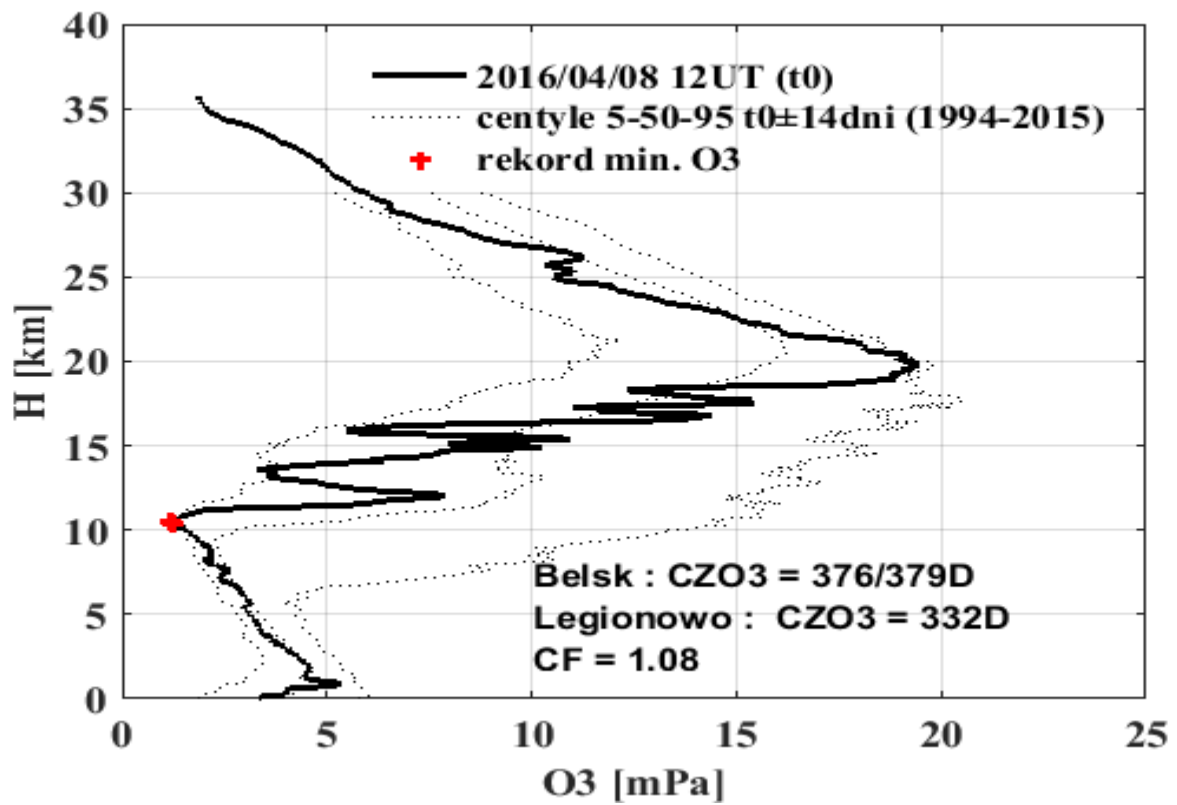




Całkowita zawartość ozonu, 29.03.2016 05:57 GMT

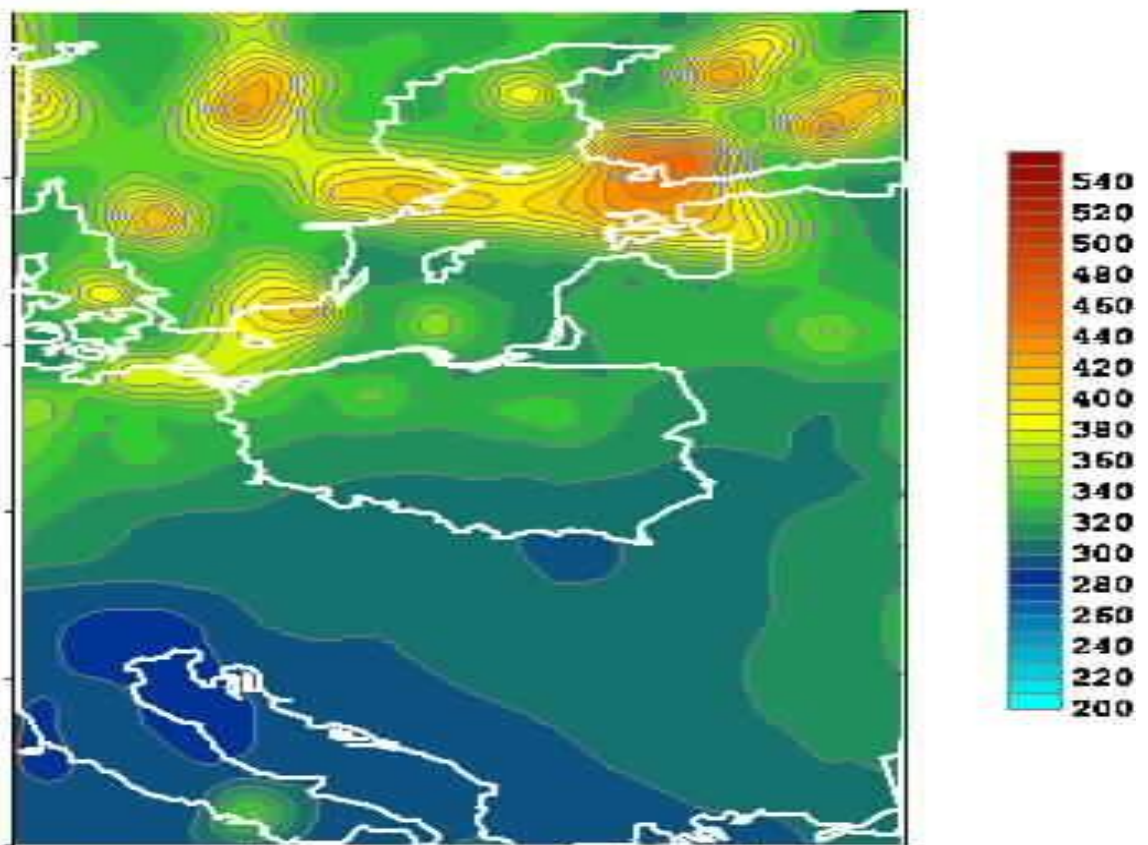
Wartość średnia dla marca

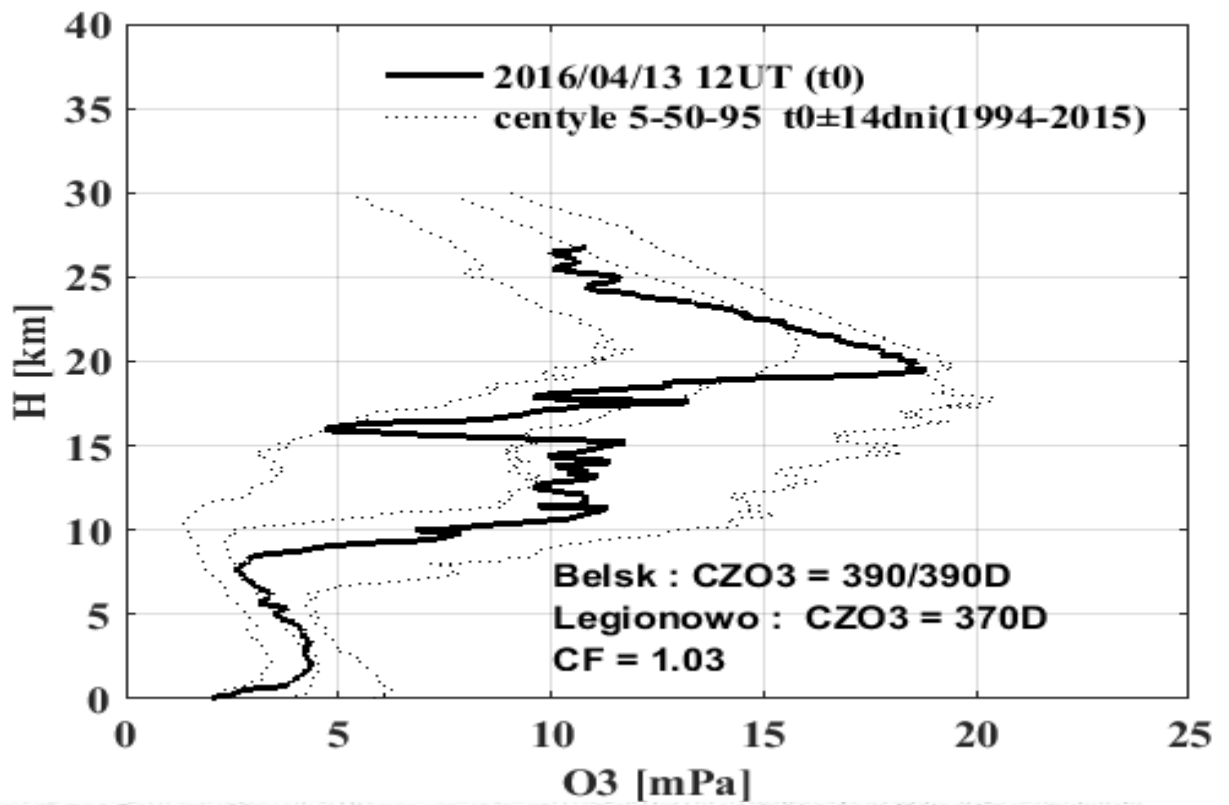




Całkowita zawartość ozonu, 08.04.2016 05:42 GMT

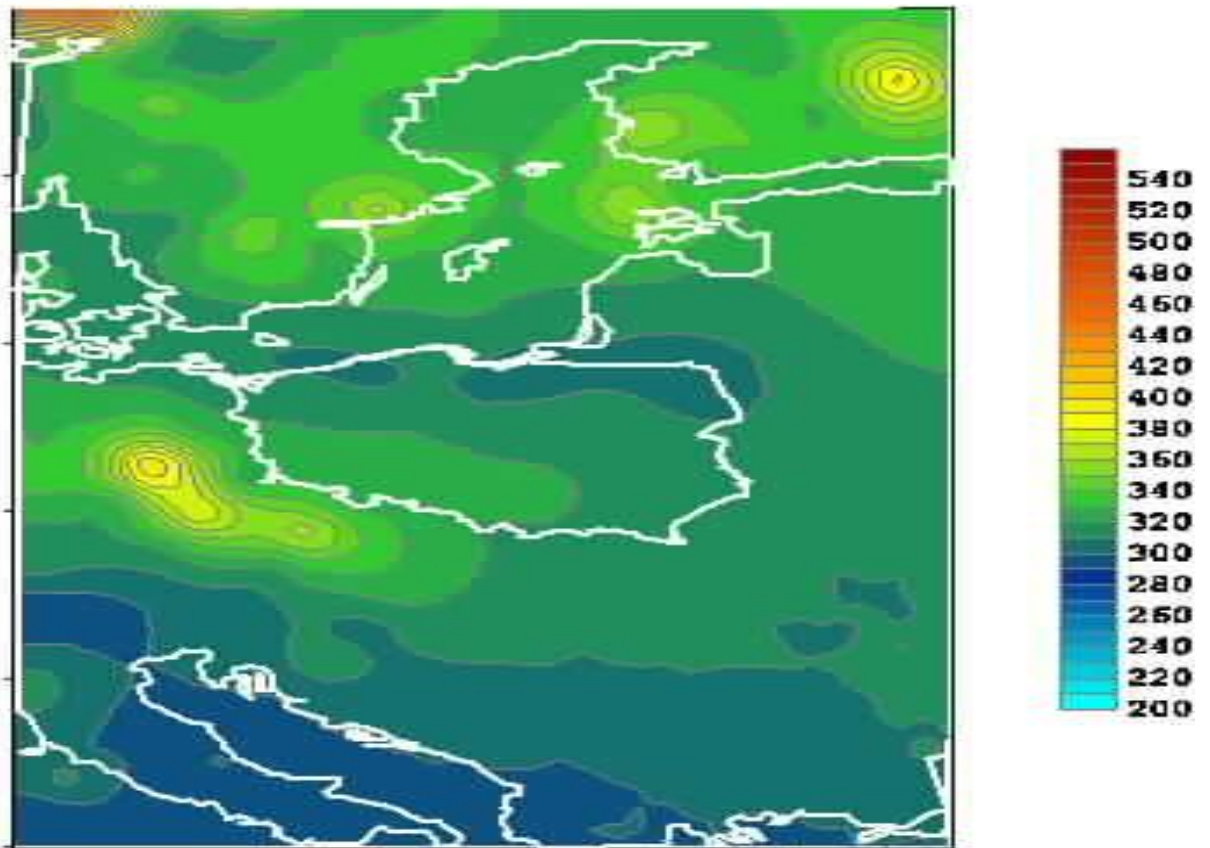
Wartość średnia dla kwietnia

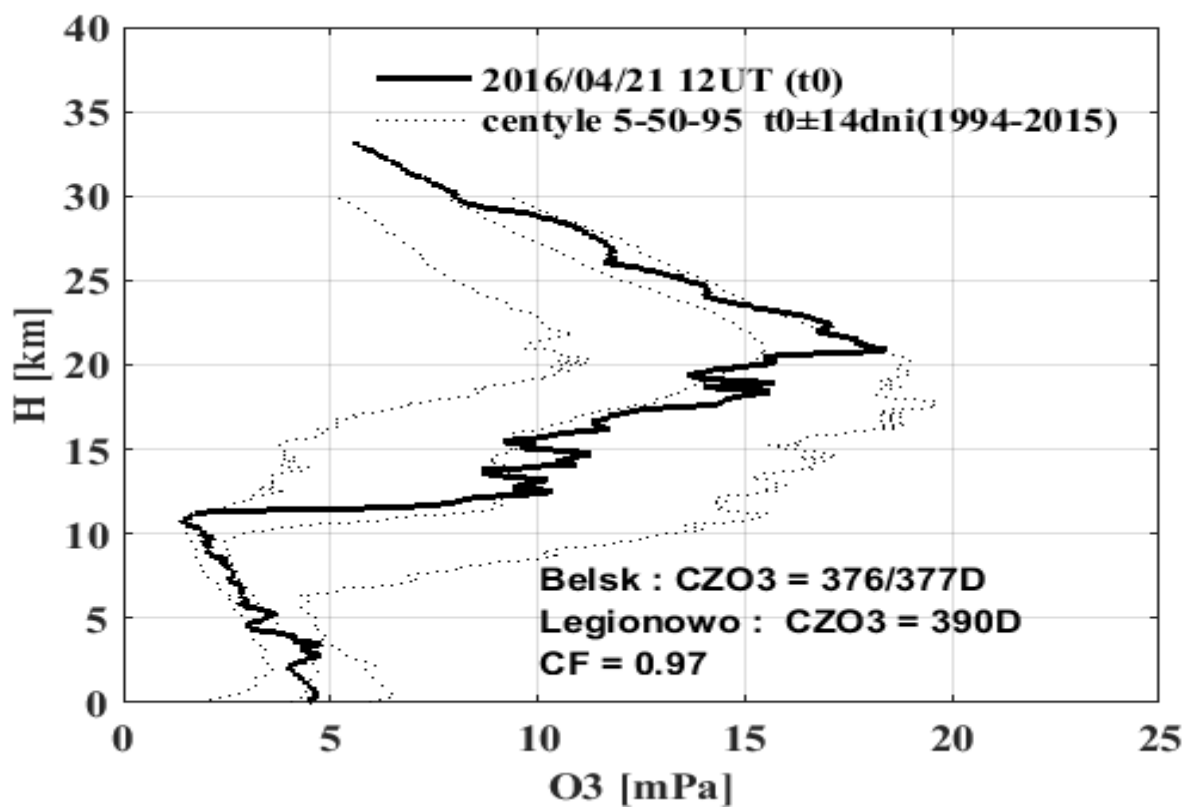




Całkowita zawartość ozonu, 13.04.2016 06:25 GMT

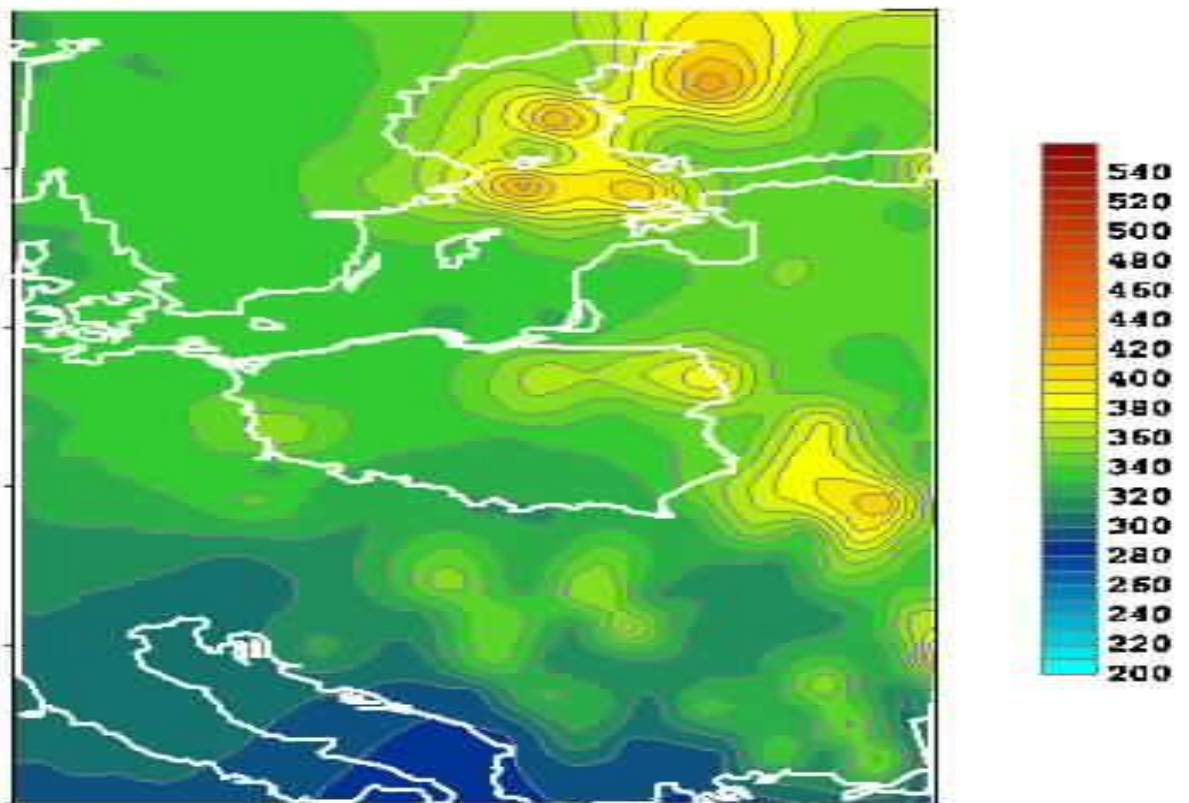
Wartość średnia dla kwietnia

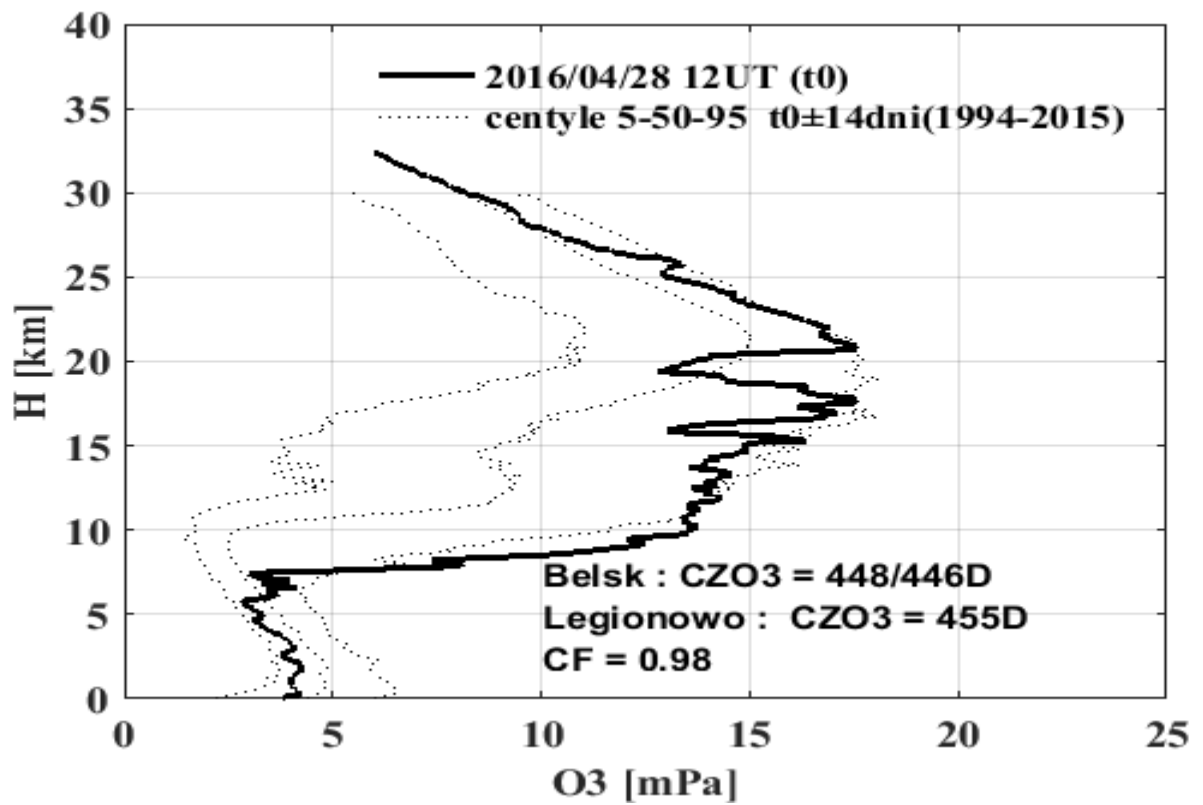




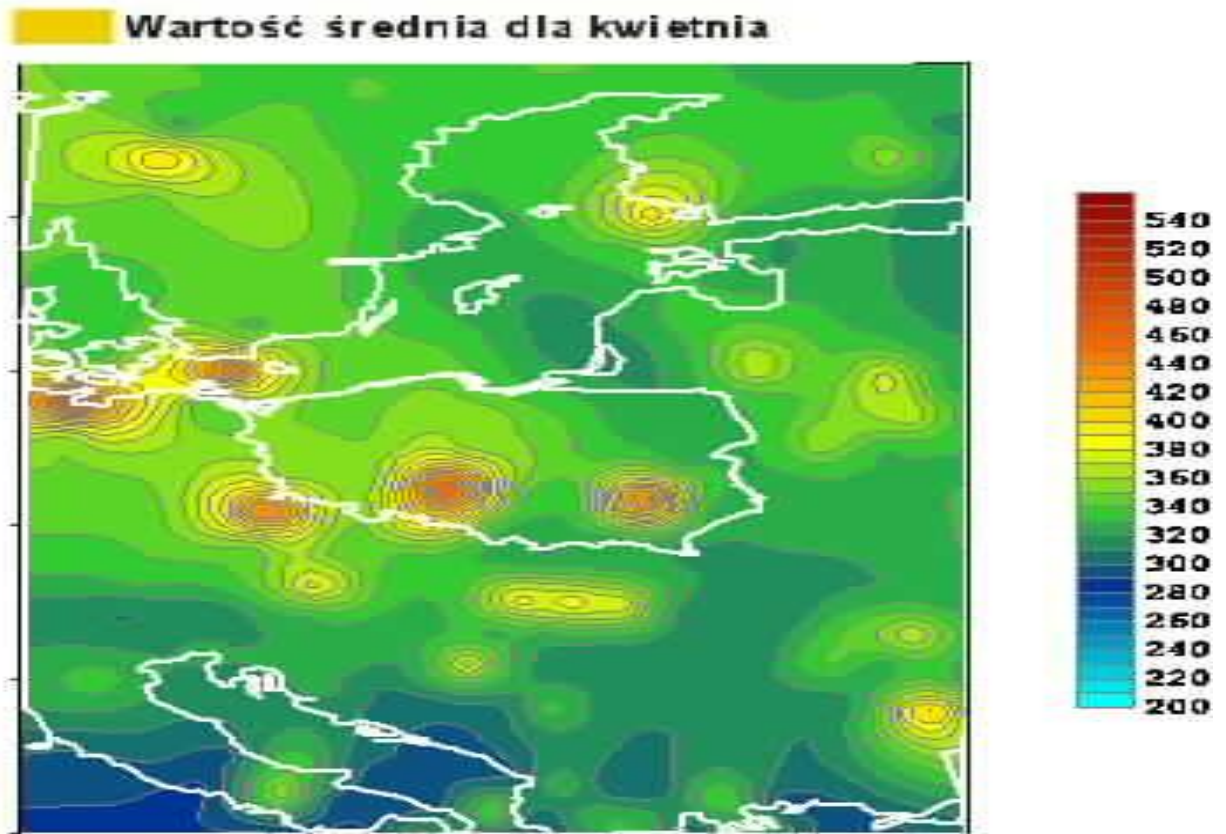
Całkowita zawartość ozonu, 21.04.2016 04:49 GMT

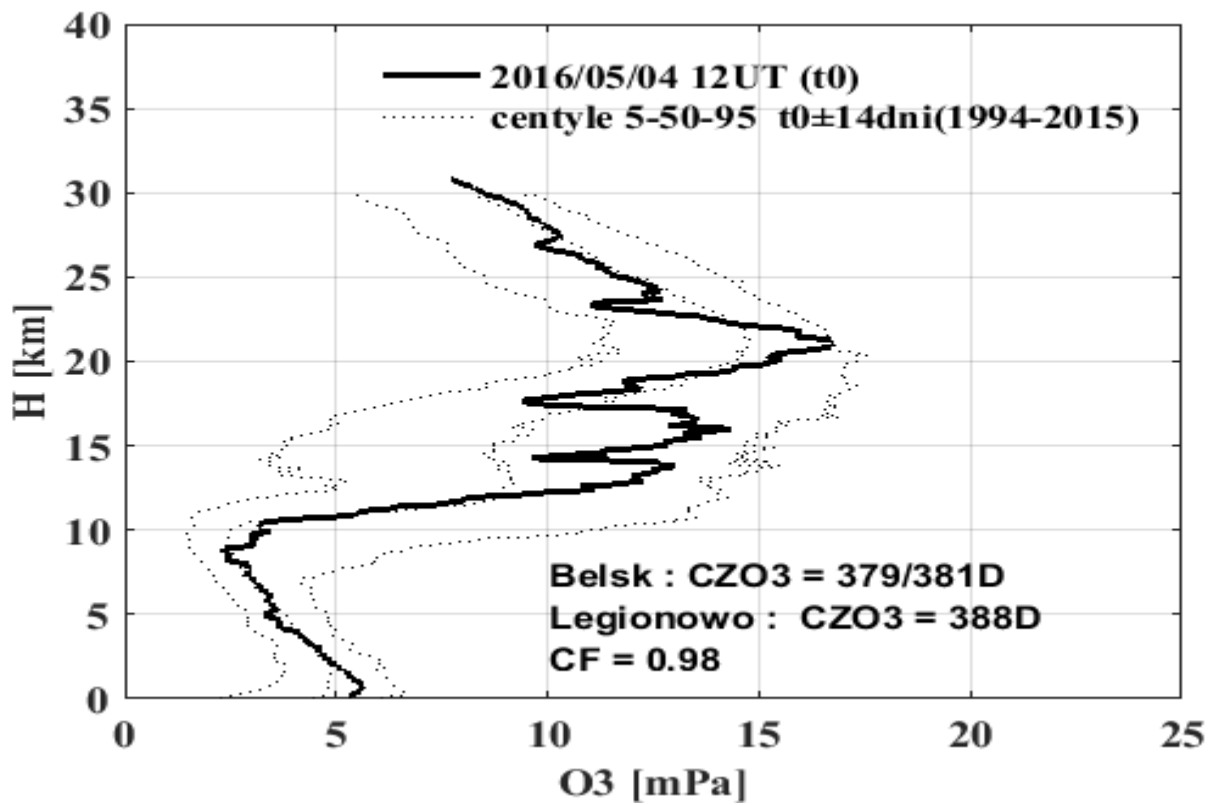
Wartość średnia dla kwietnia



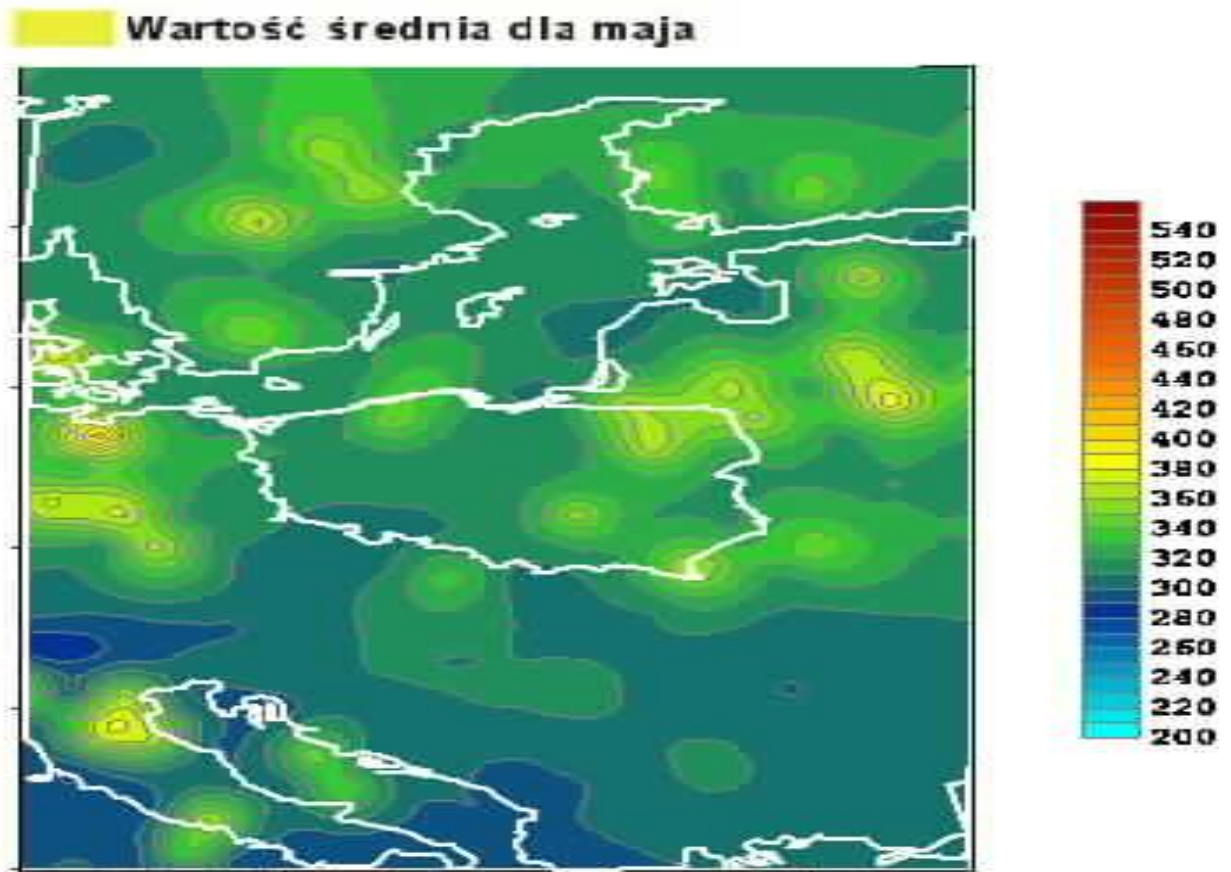


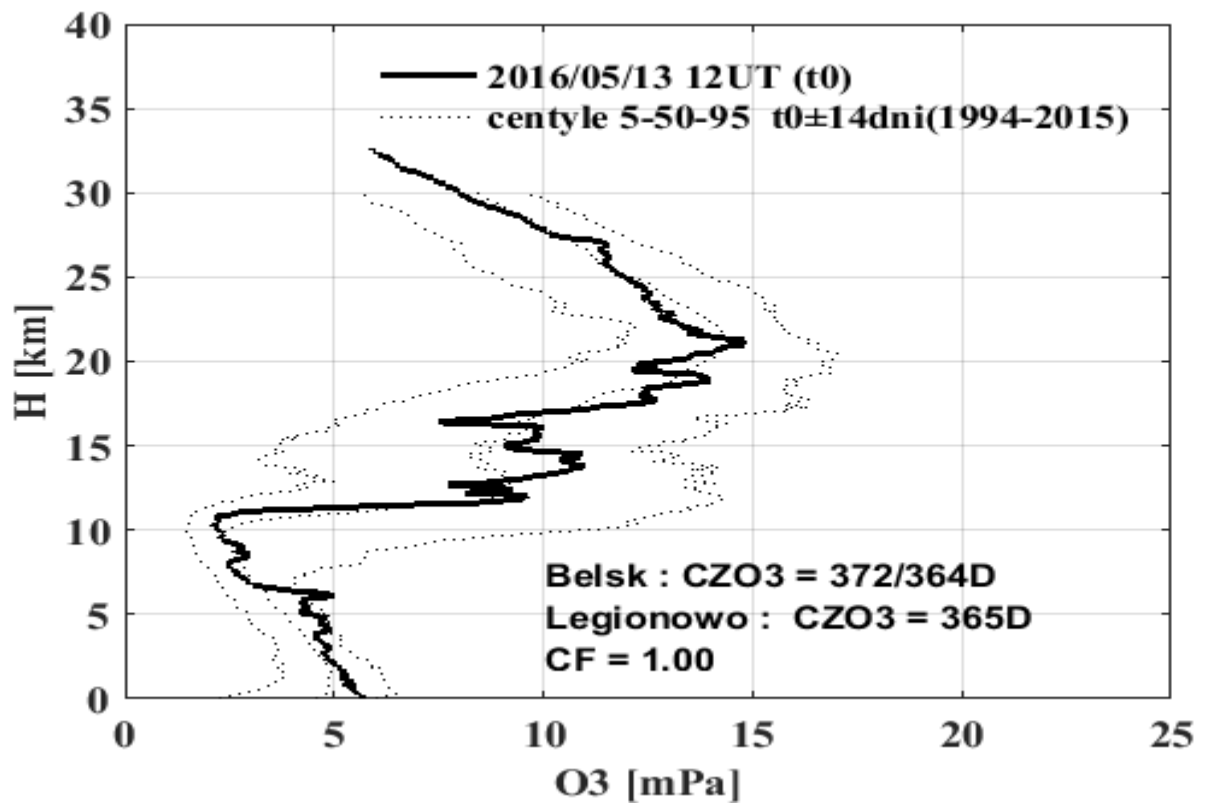
Całkowita zawartosc ozonu, 28.04.2016 05:10 GMT



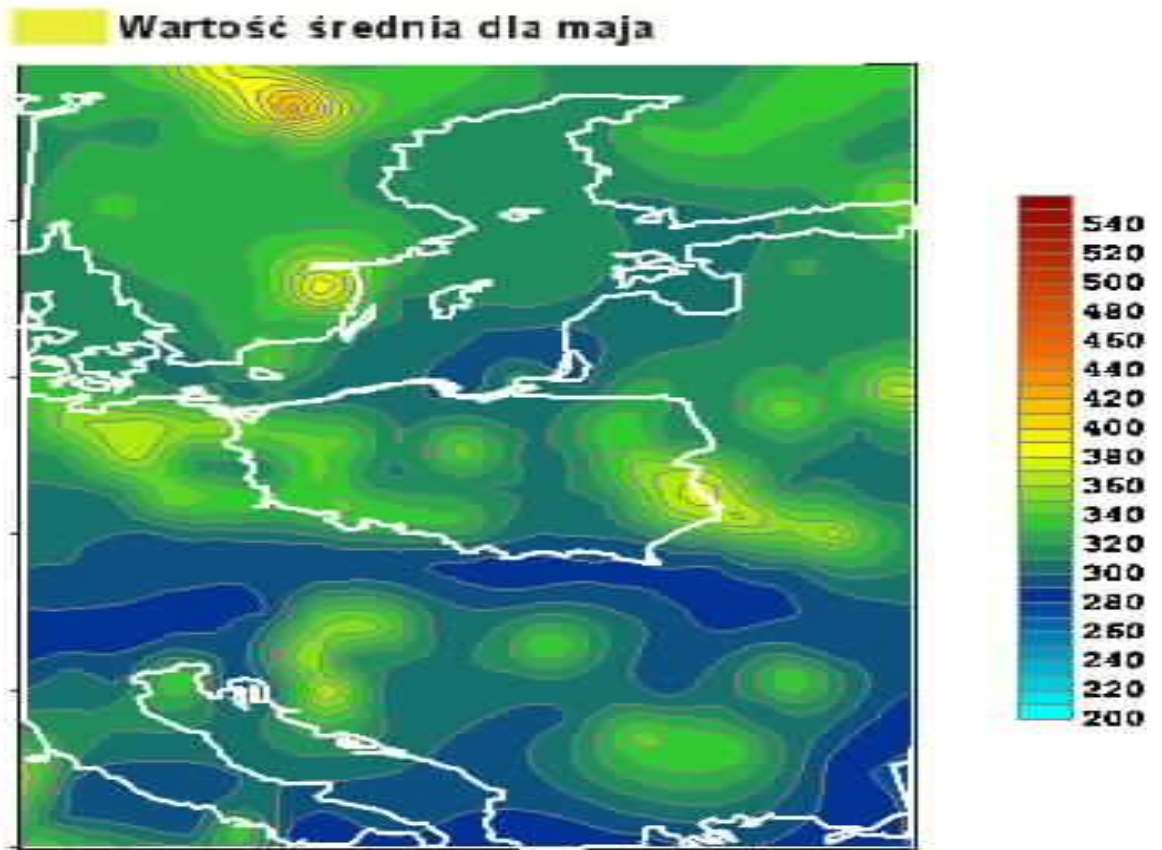


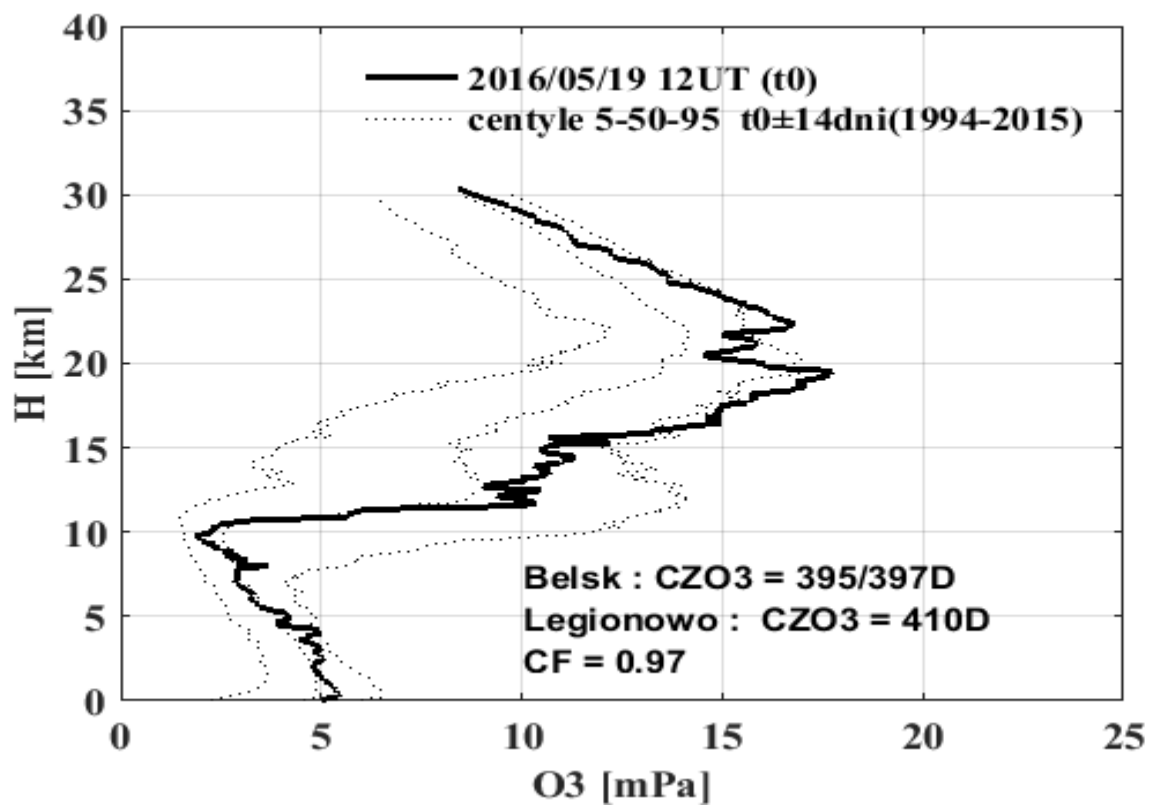
Całkowita zawartość ozonu, 04.05.2016 05:42 GMT





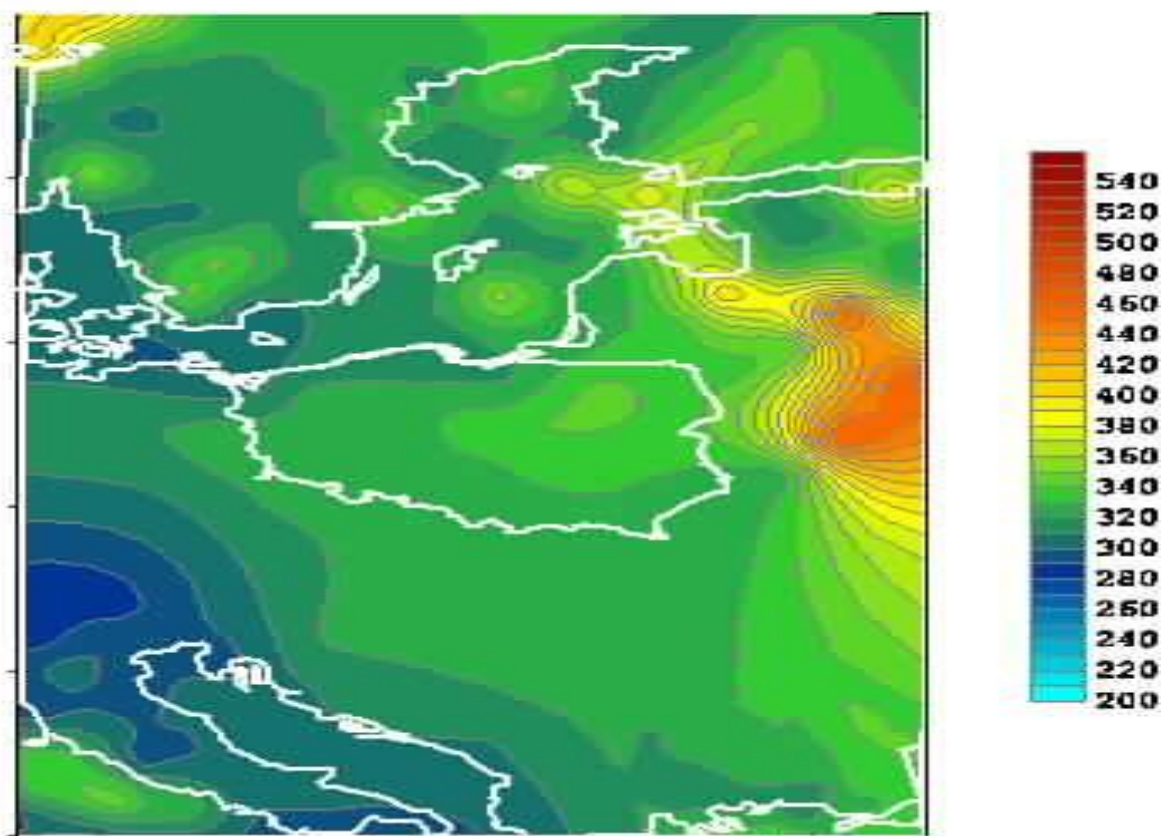
Całkowita zawartość ozonu, 13.05.2016 05:39 GMT

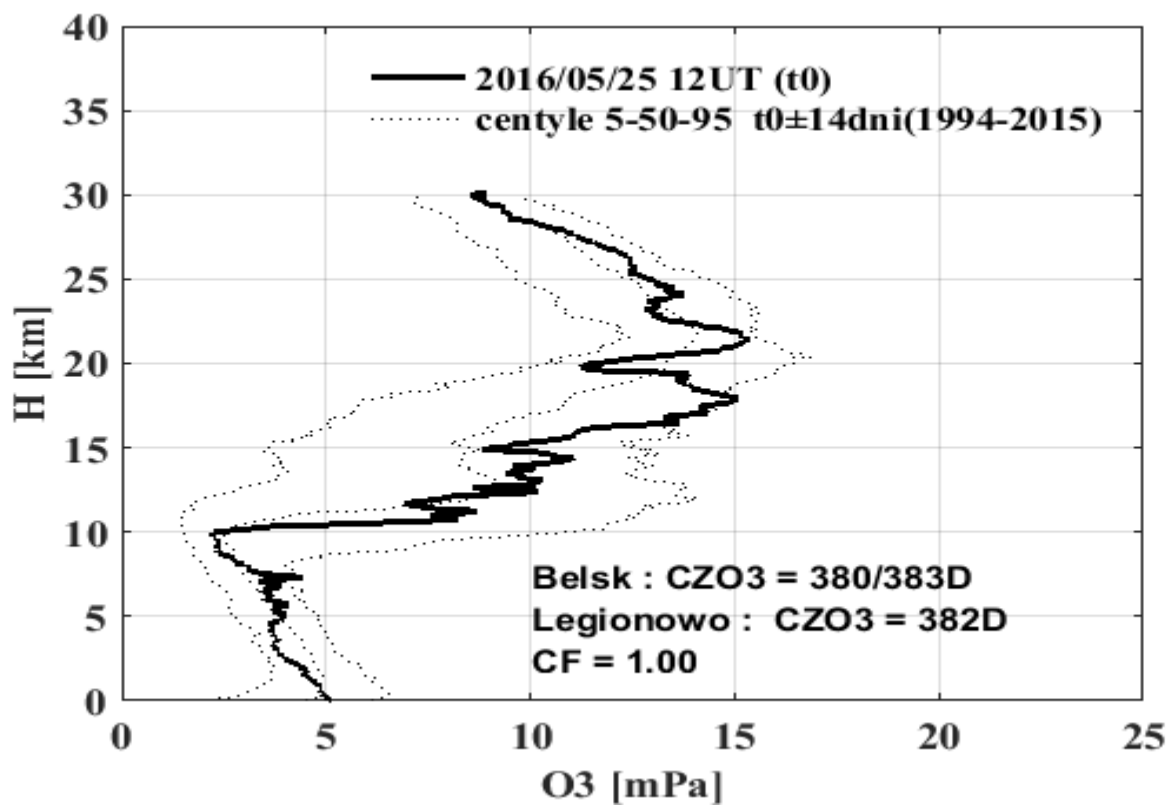




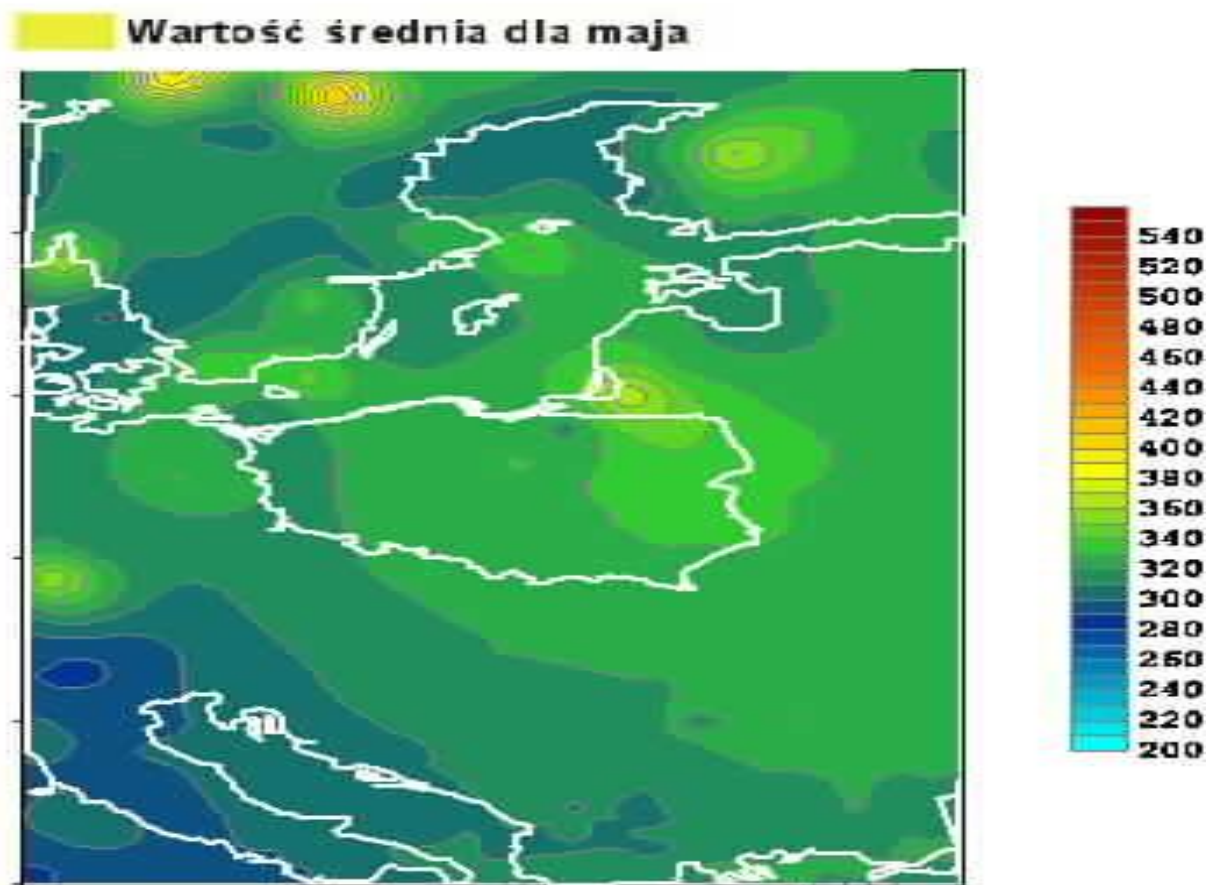
Całkowita zawartość ozonu, 19.05.2016 06:10 GMT

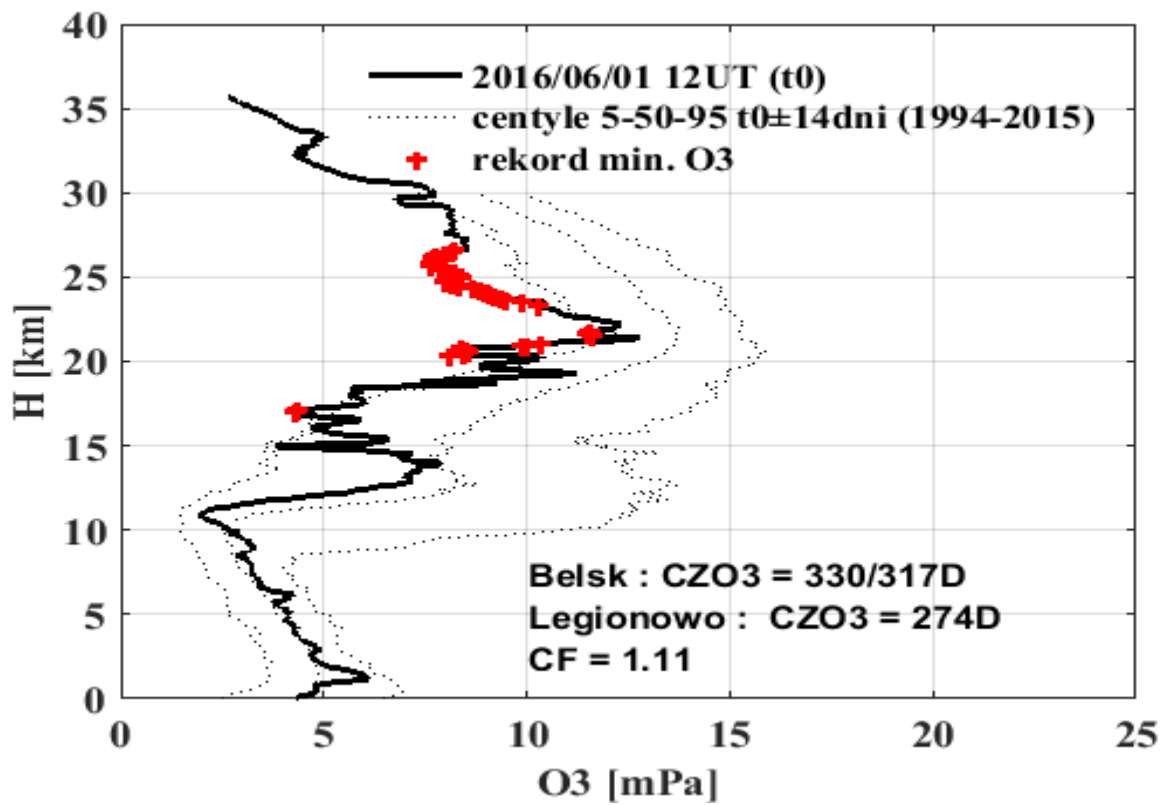
Wartość średnia dla maja



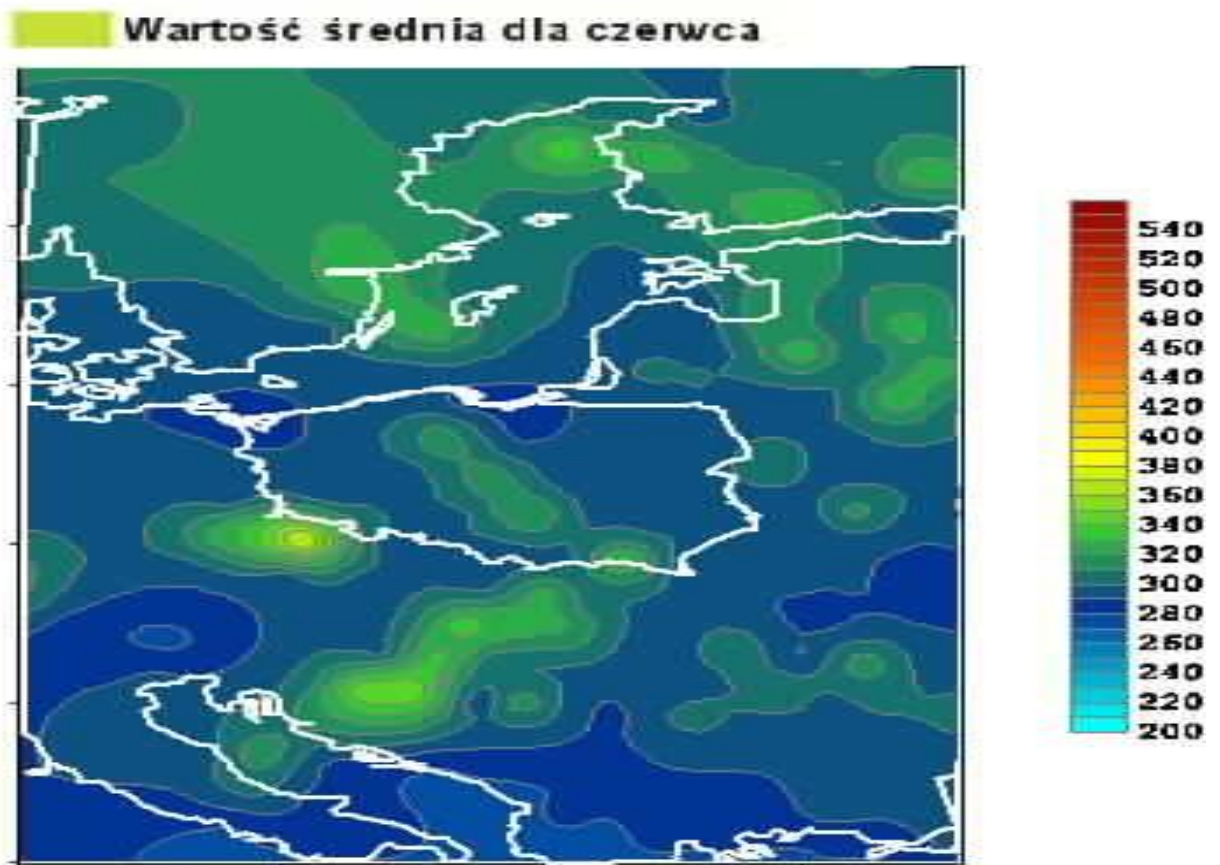


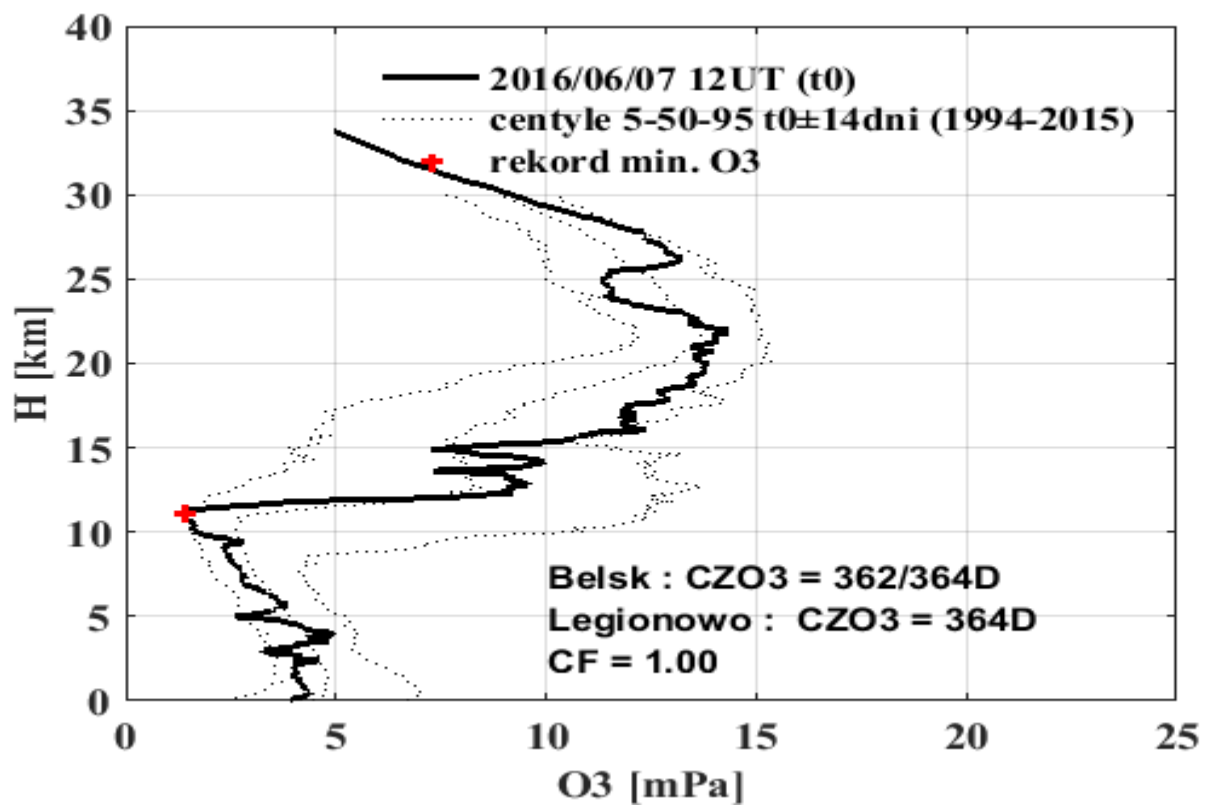
Całkowita zawartość ozonu, 25.05.2016 06:42 GMT



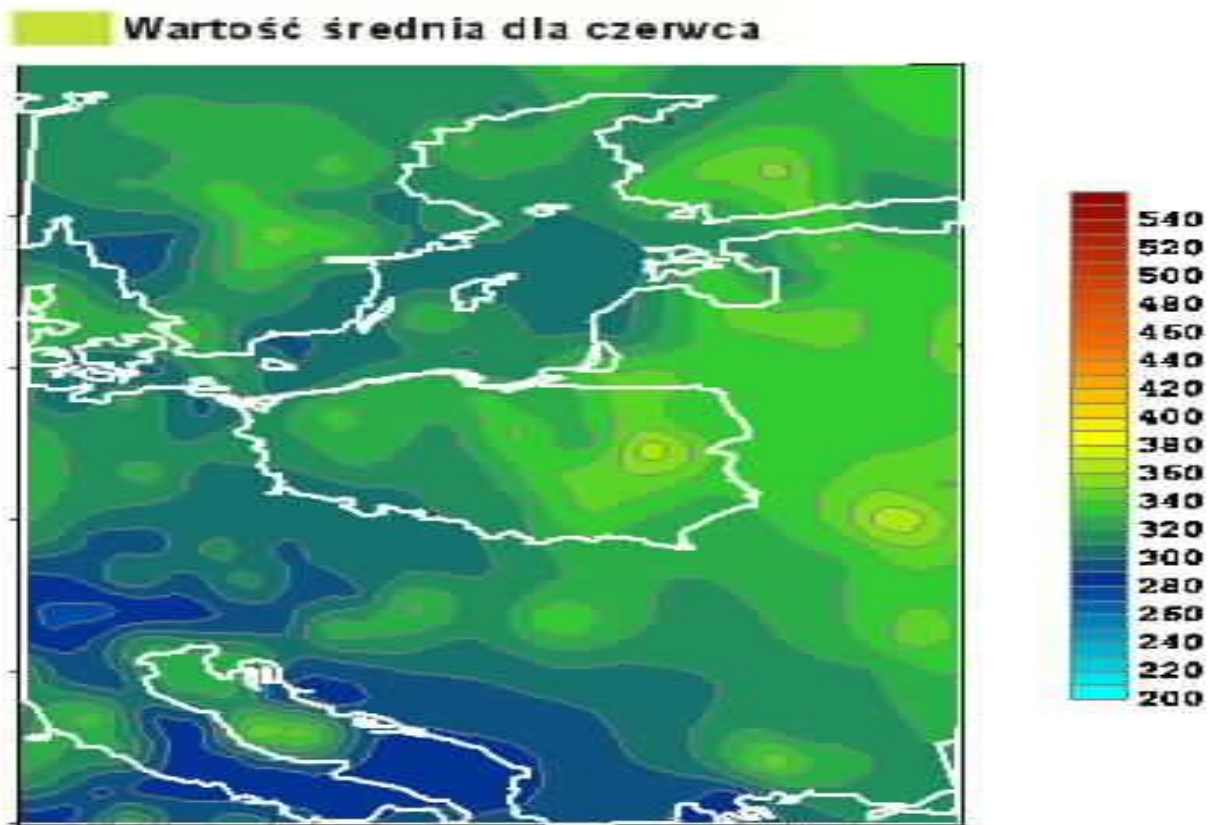


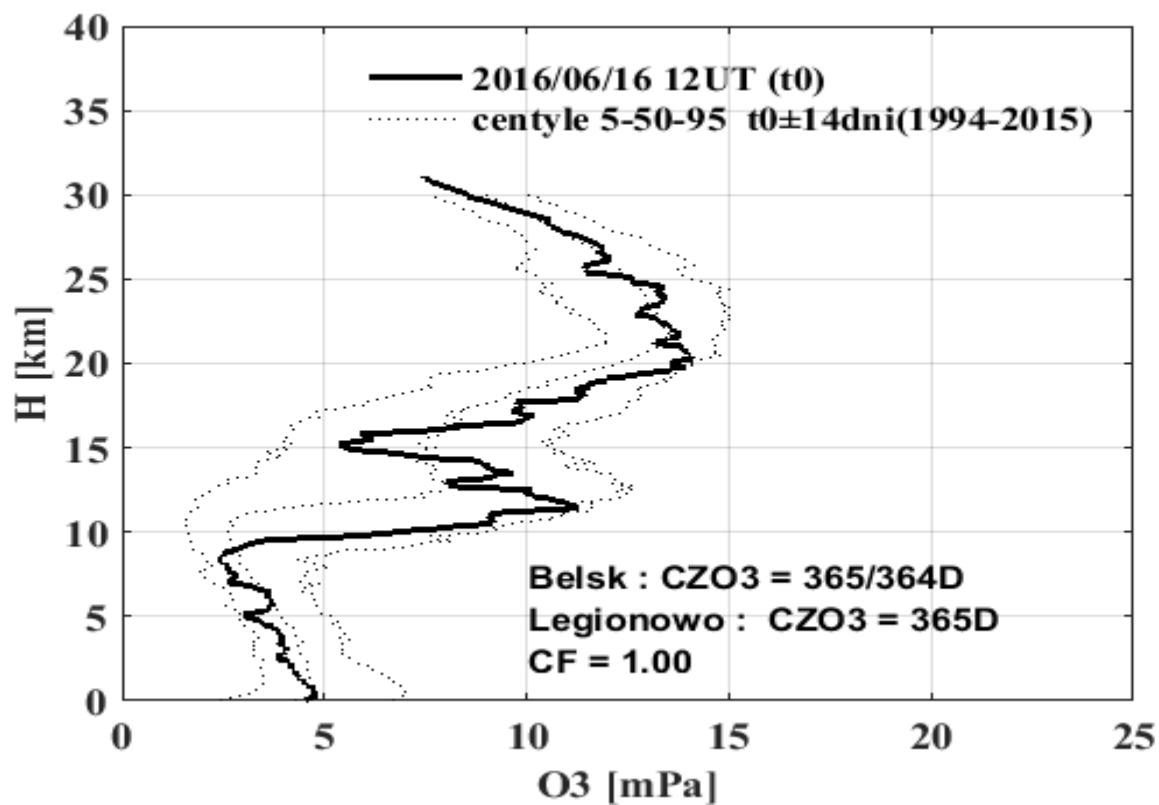
Całkowita zawartość ozonu, 01.06.2016 05:19 GMT



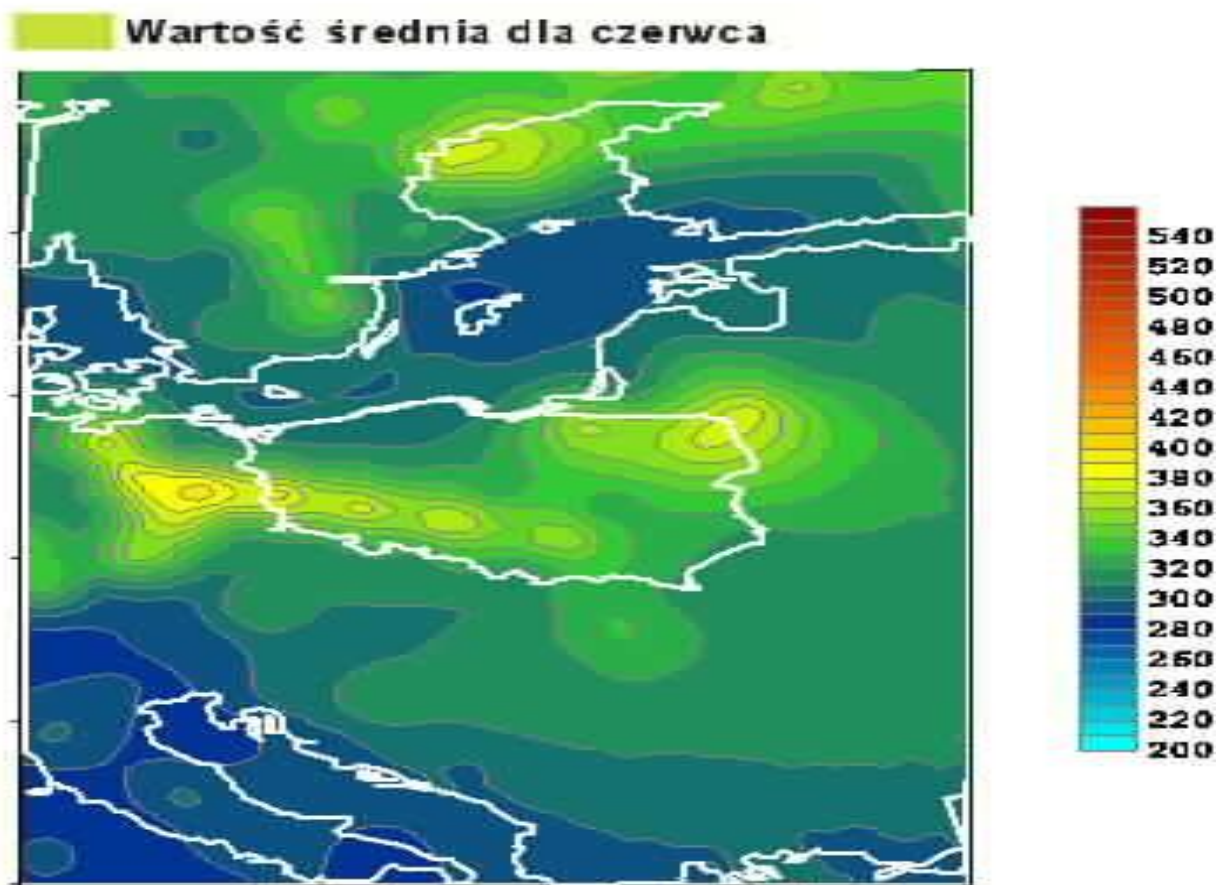


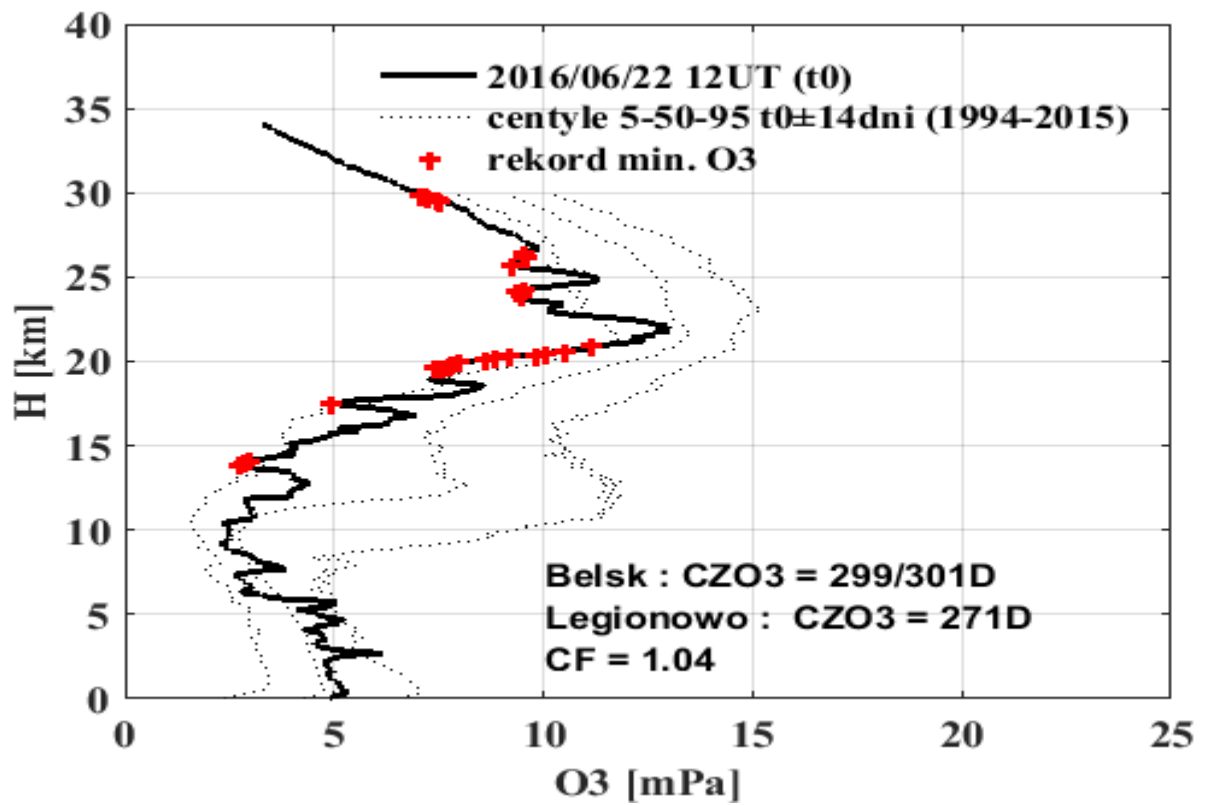
Całkowita zawartość ozonu, 07.06.2016 05:51 GMT



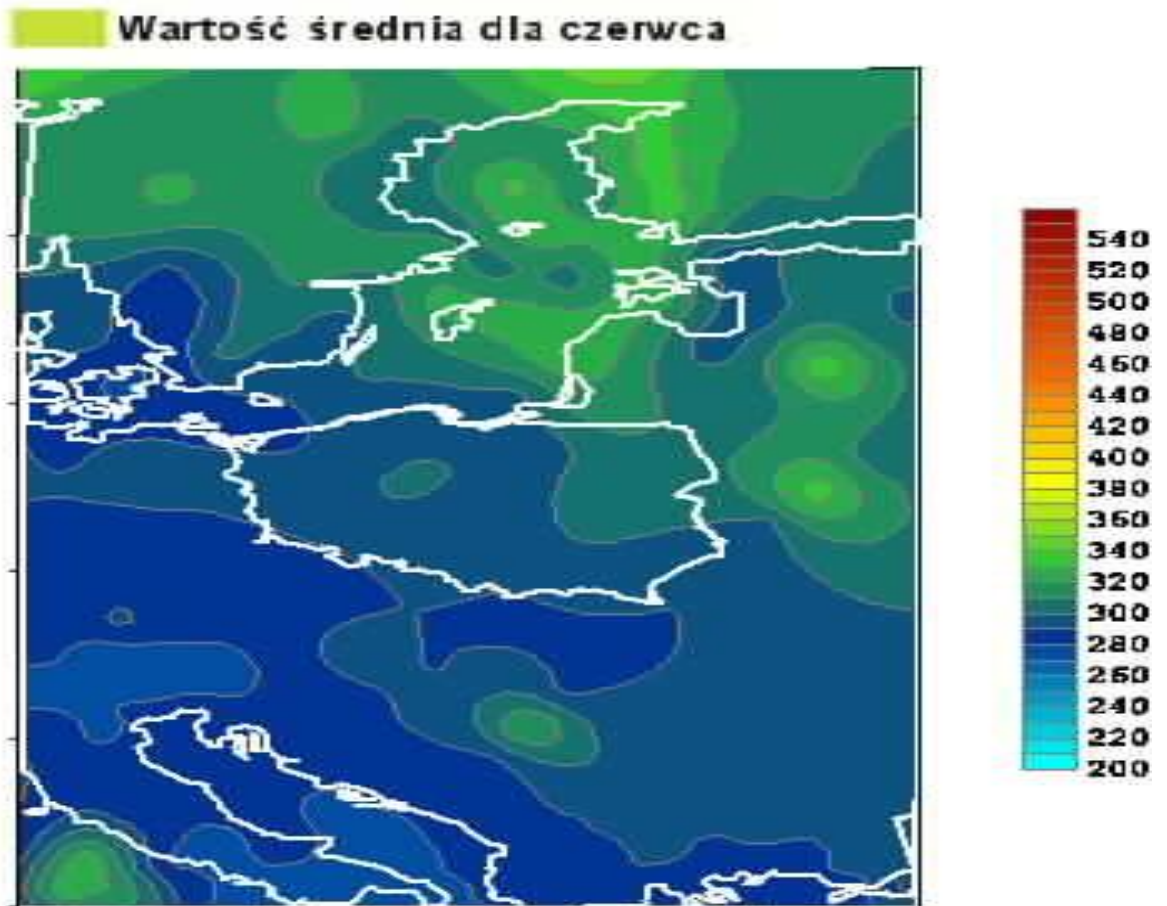


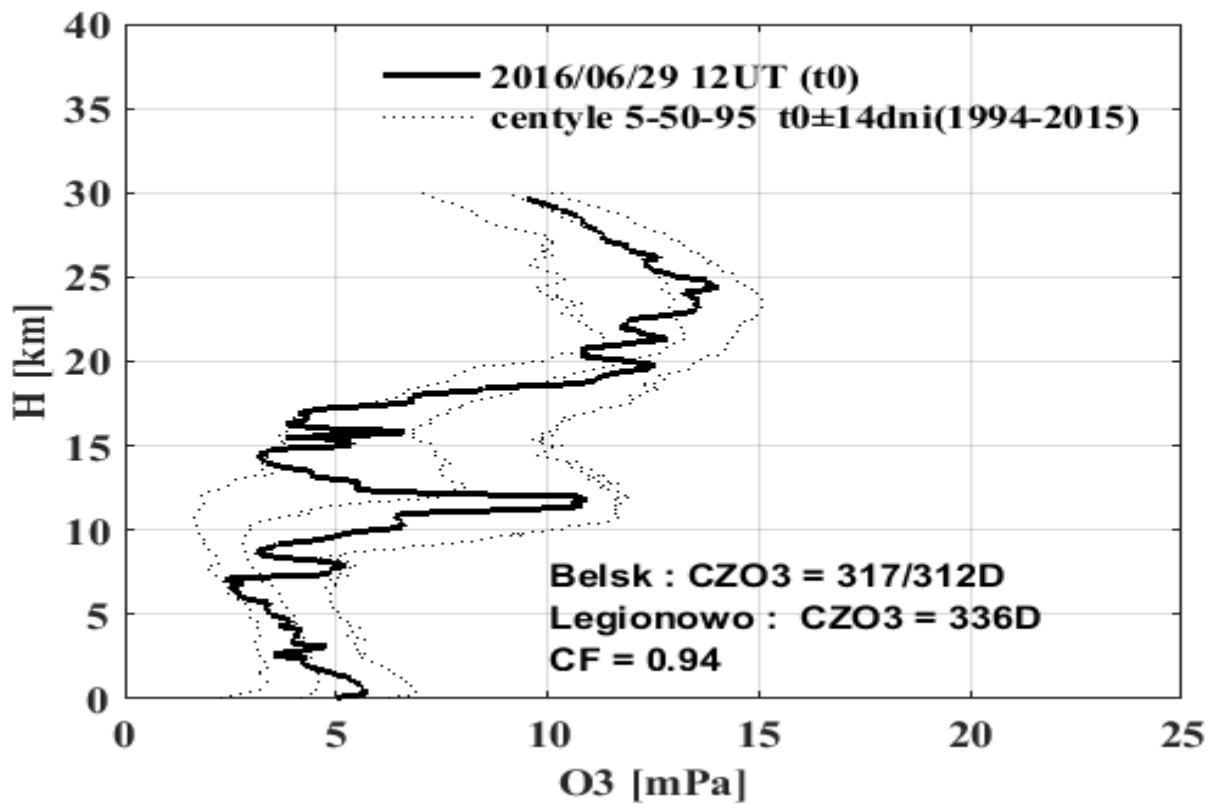
Całkowita zawartość ozonu, 16.06.2016 03:00 GMT



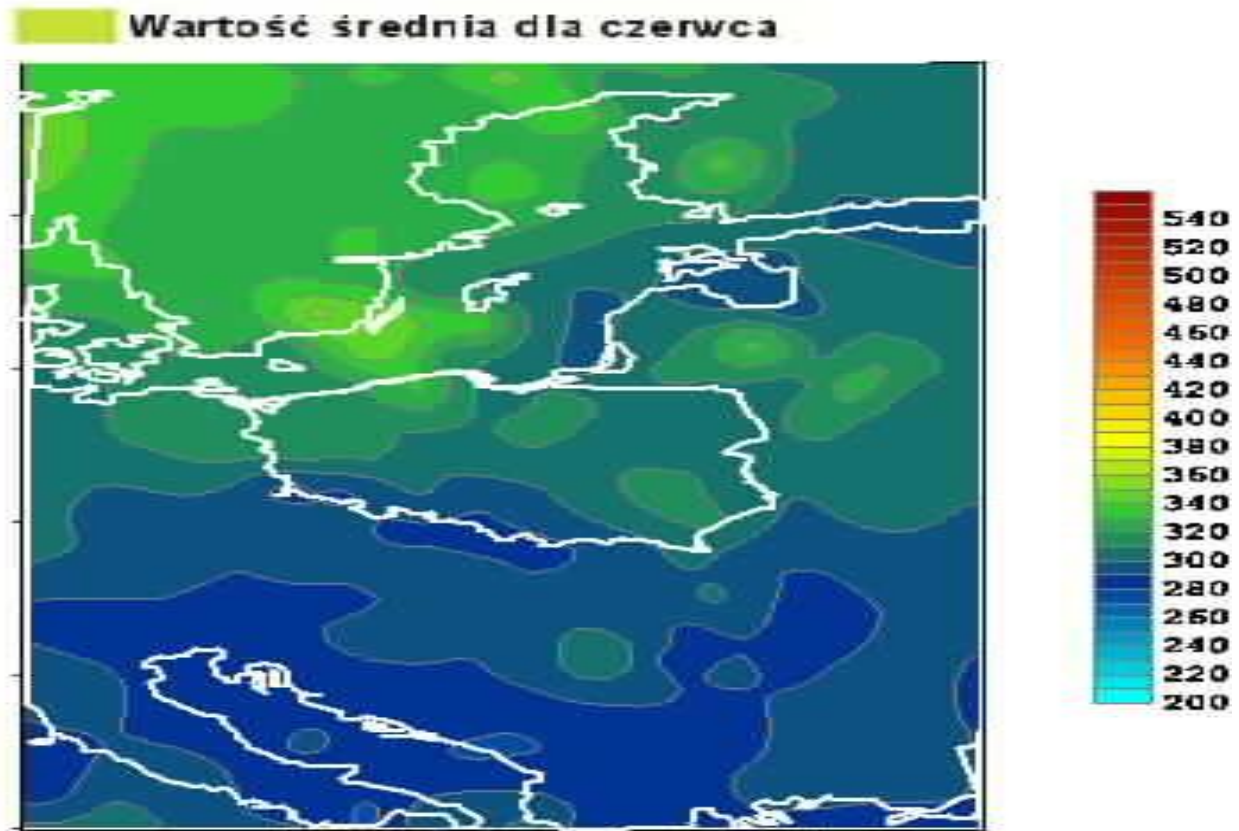


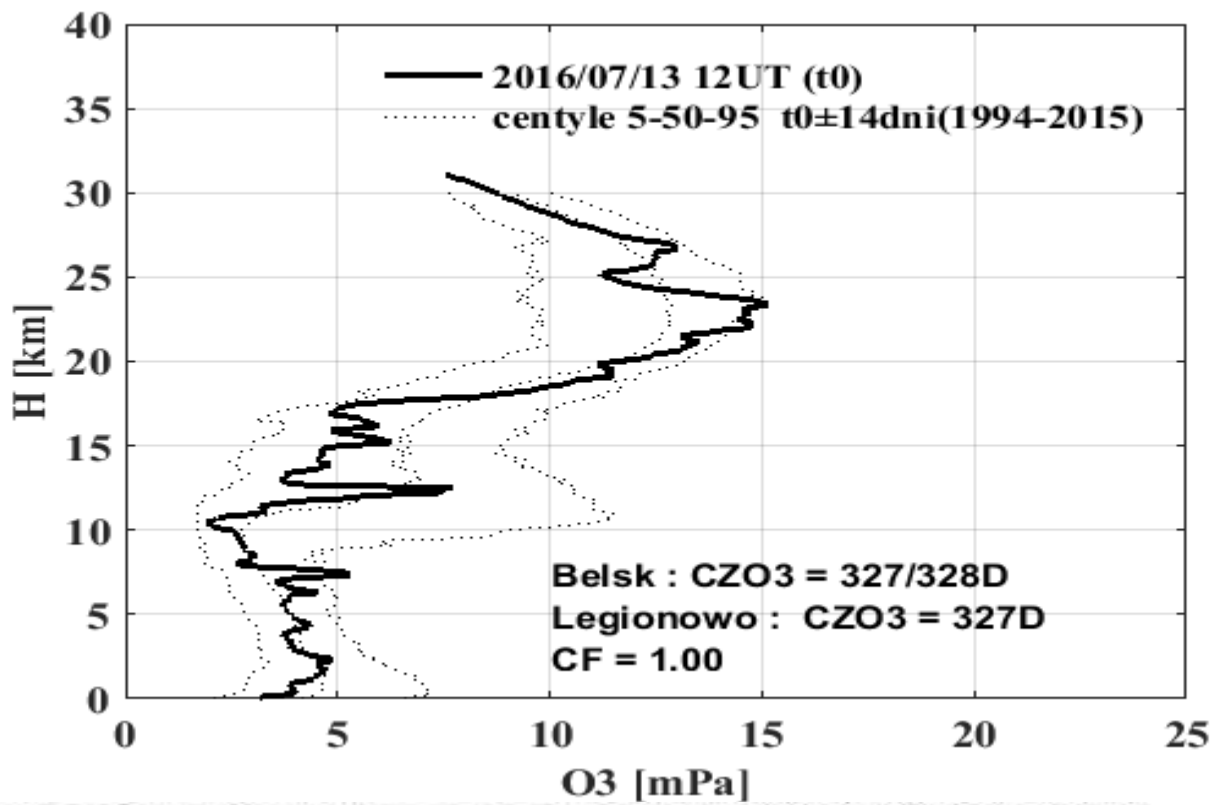
Całkowita zawartość ozonu, 22.06.2016 06:19 GMT





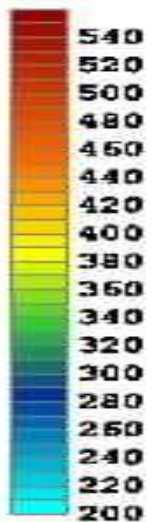
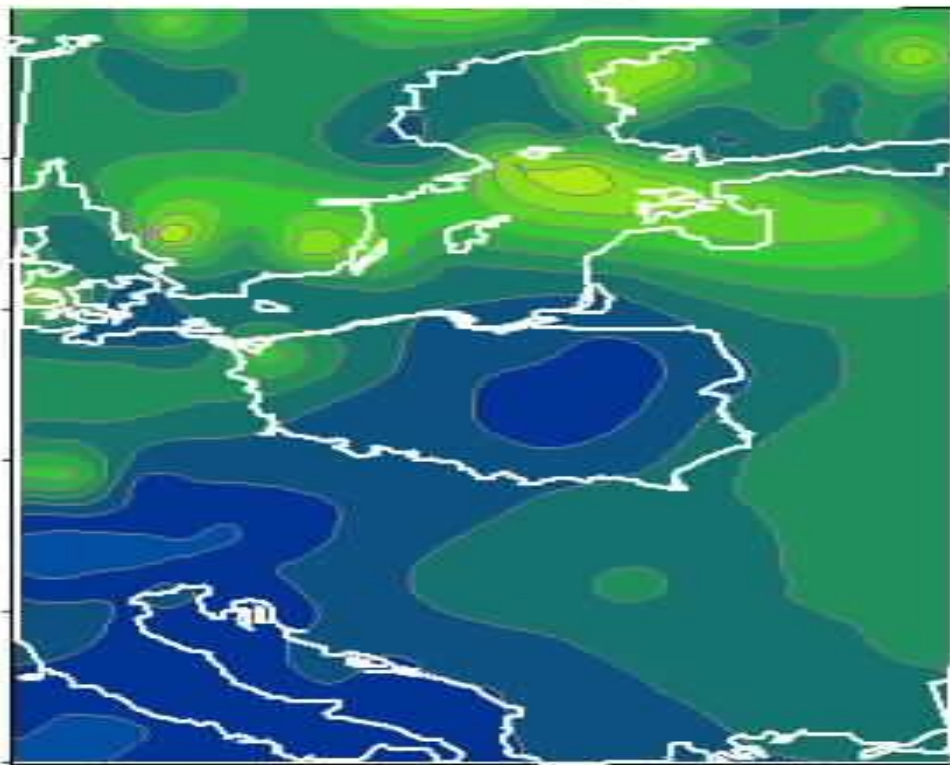
Całkowita zawartość ozonu, 29.06.2018 02:11 GMT

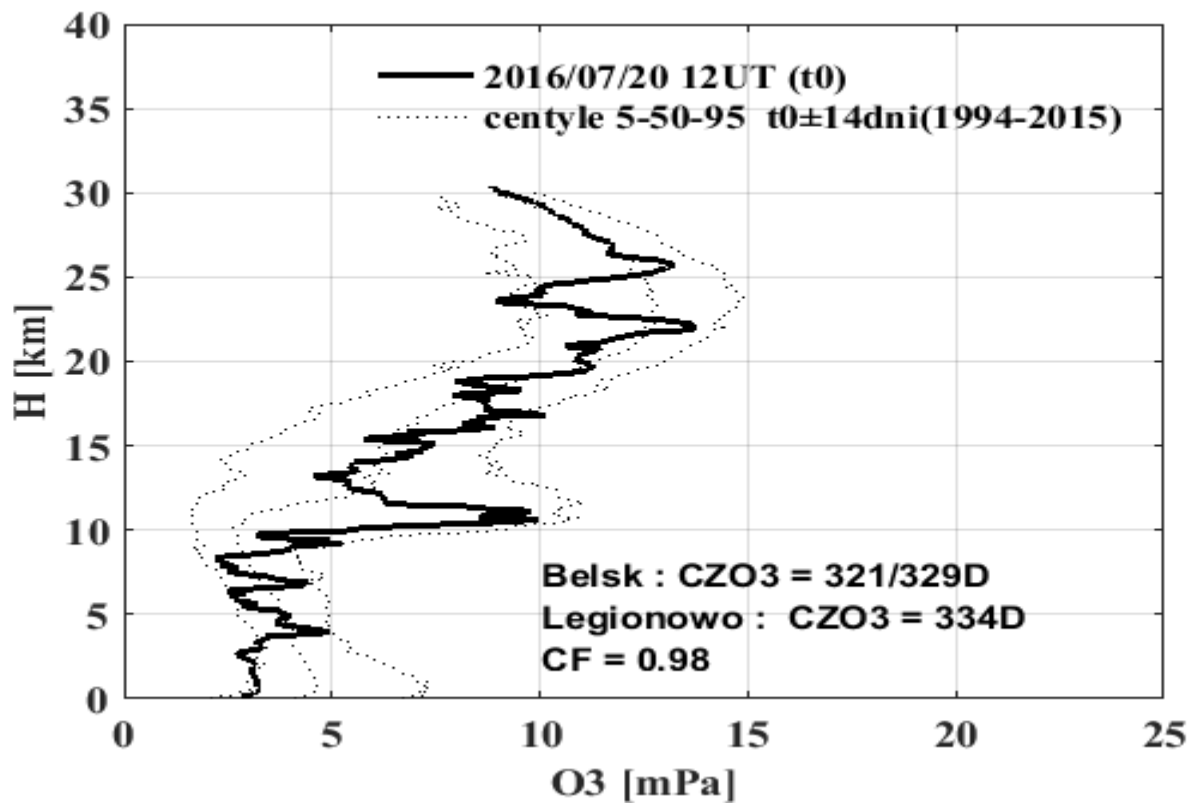




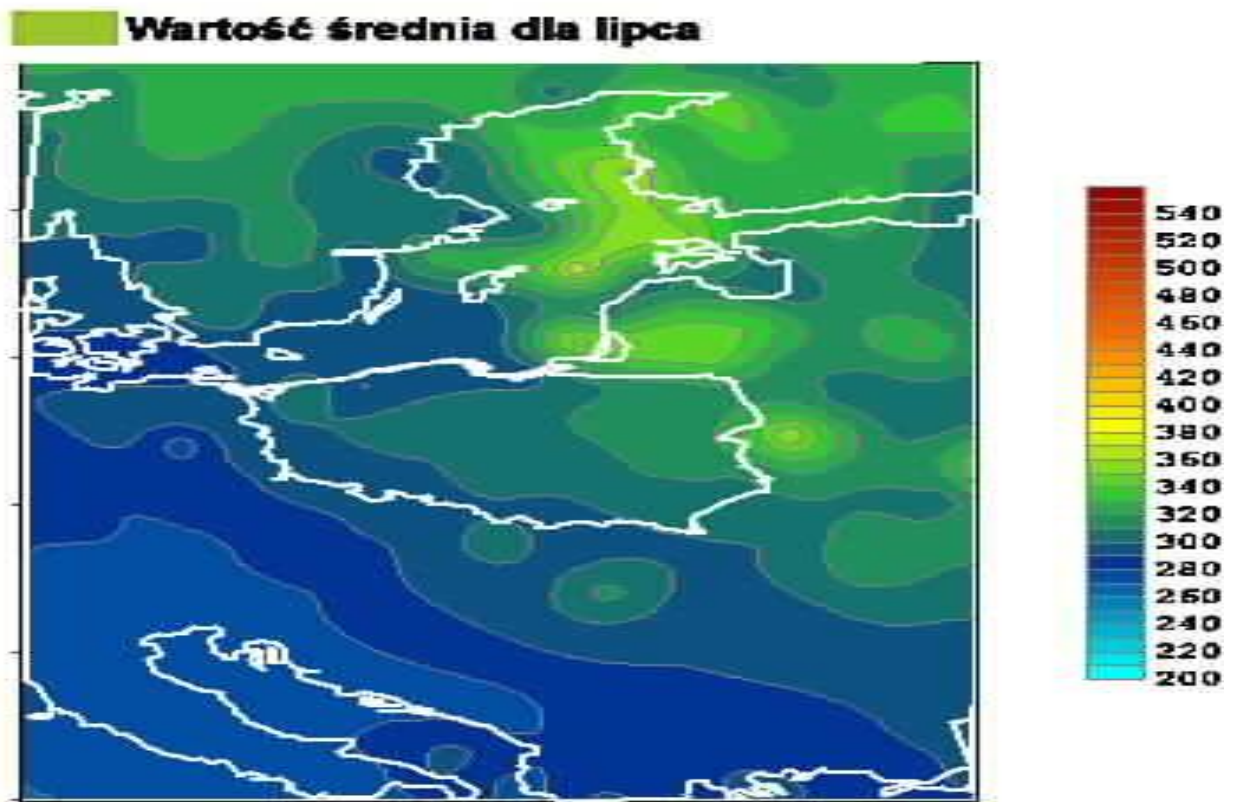
Całkowita zawartość ozonu, 13.07.2016 02:52 GMT

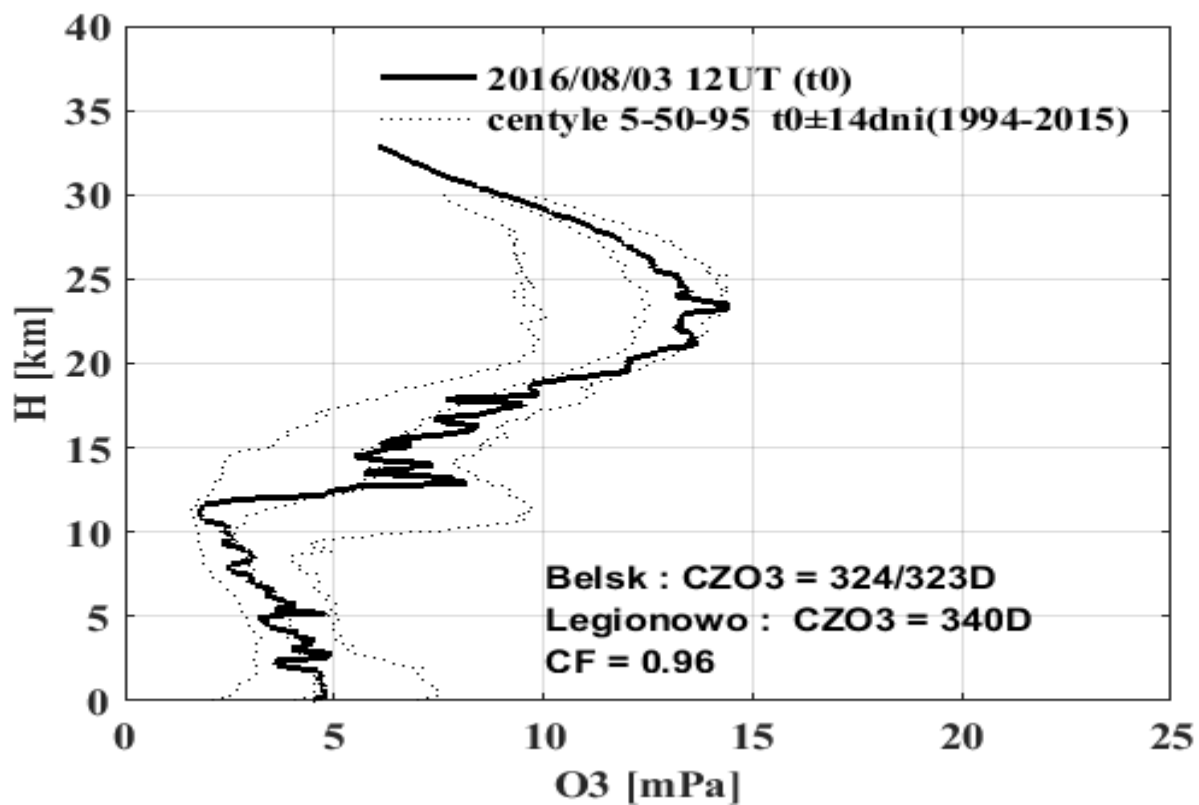
Wartość średnia dla lipca





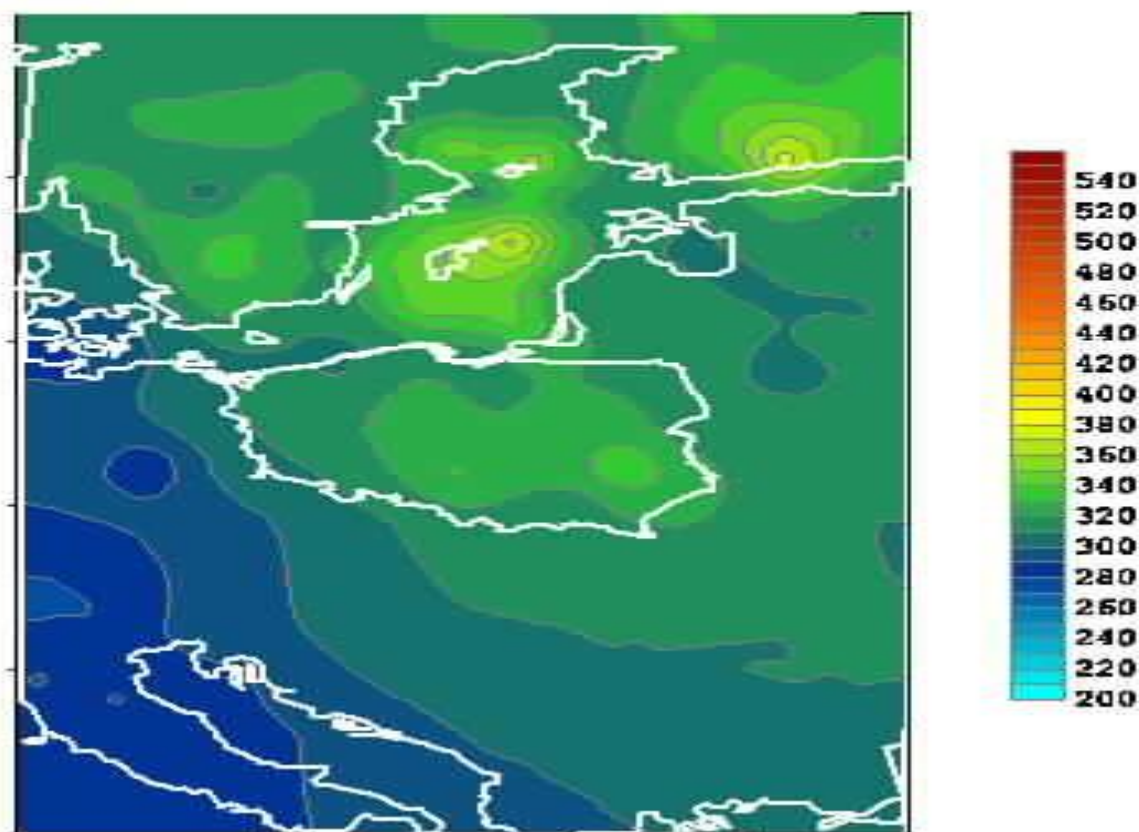
Całkowita zawartość ozonu, 20.07.2016 05:57 GMT

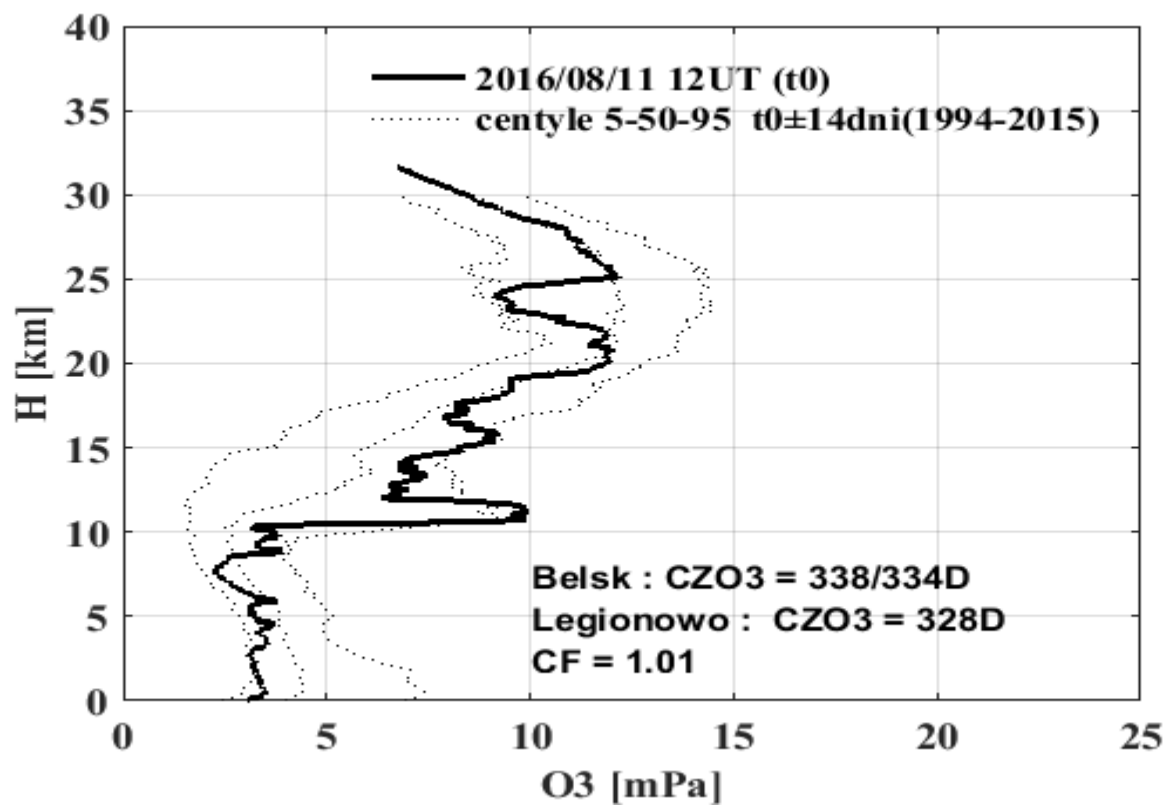




Całkowita zawartość ozonu, 03.08.2016 06:34 GMT

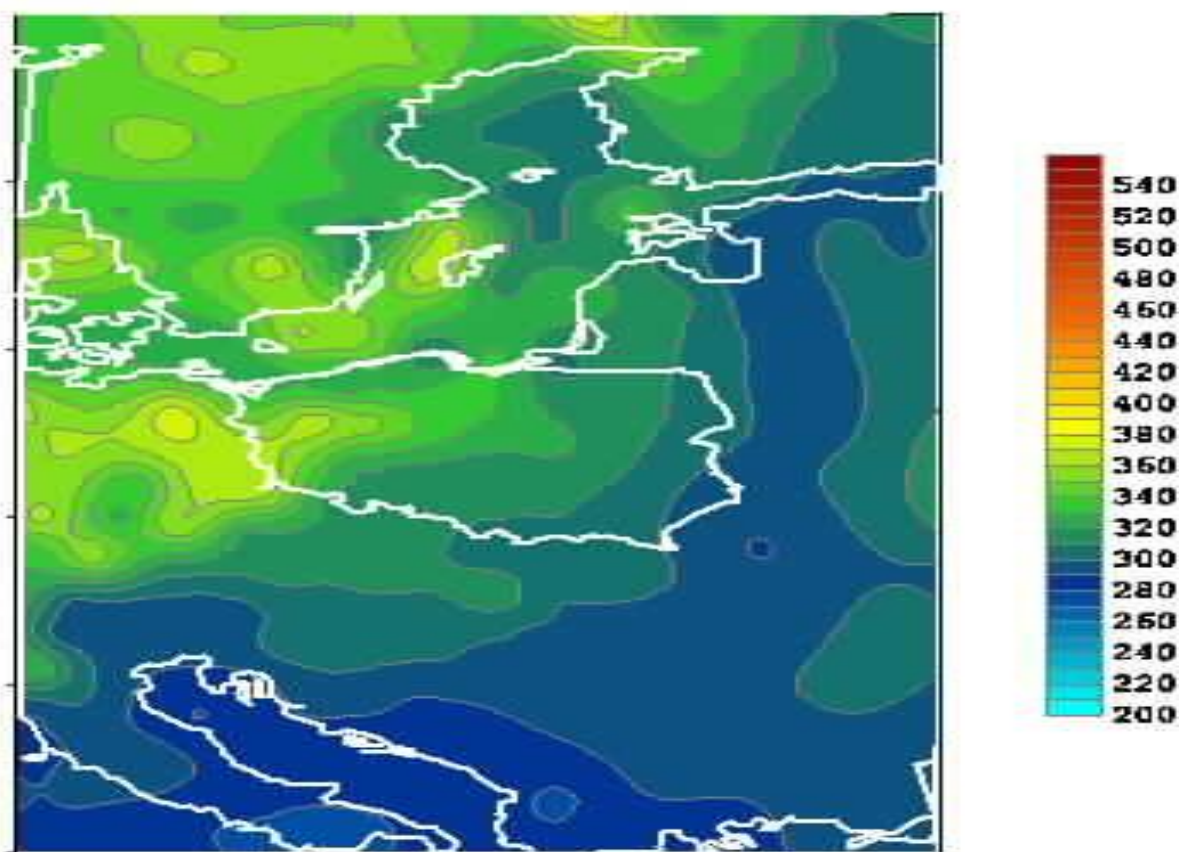
Wartość średnia dla sierpnia

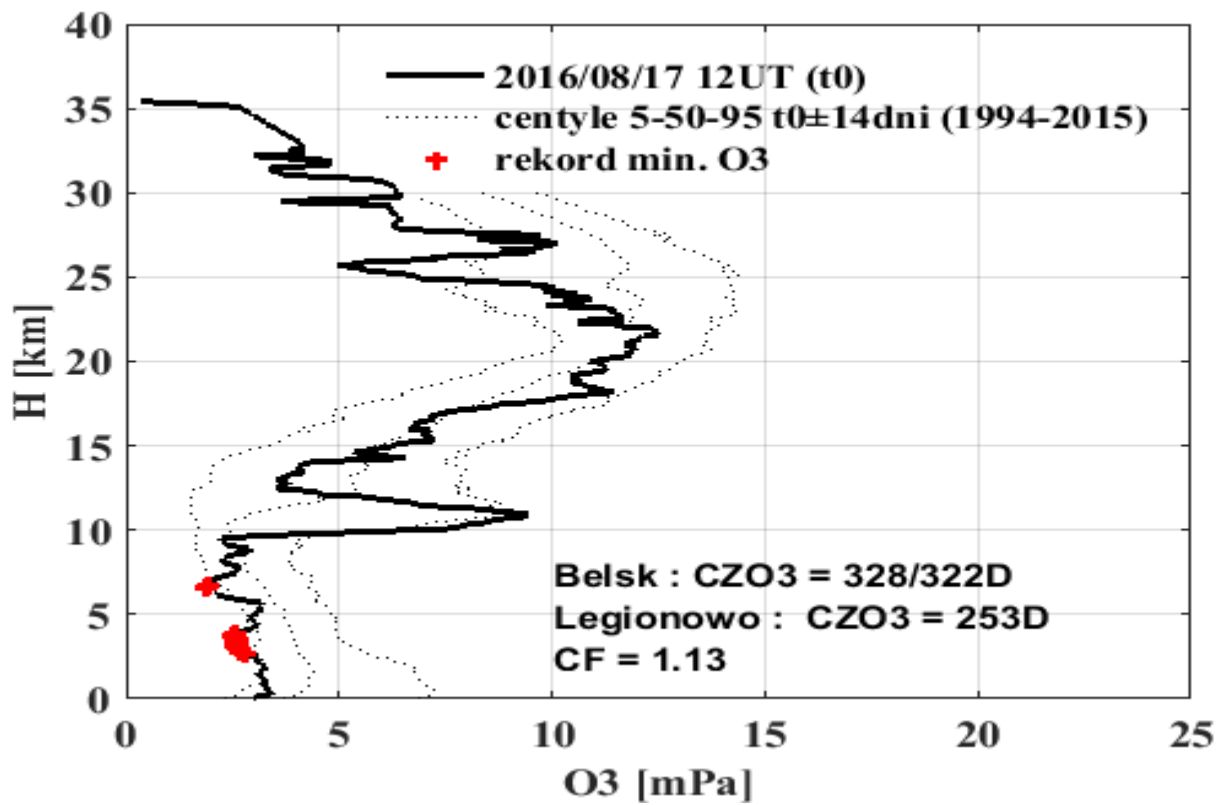




Całkowita zawartość ozonu, 11.08.2016 02:25 GMT

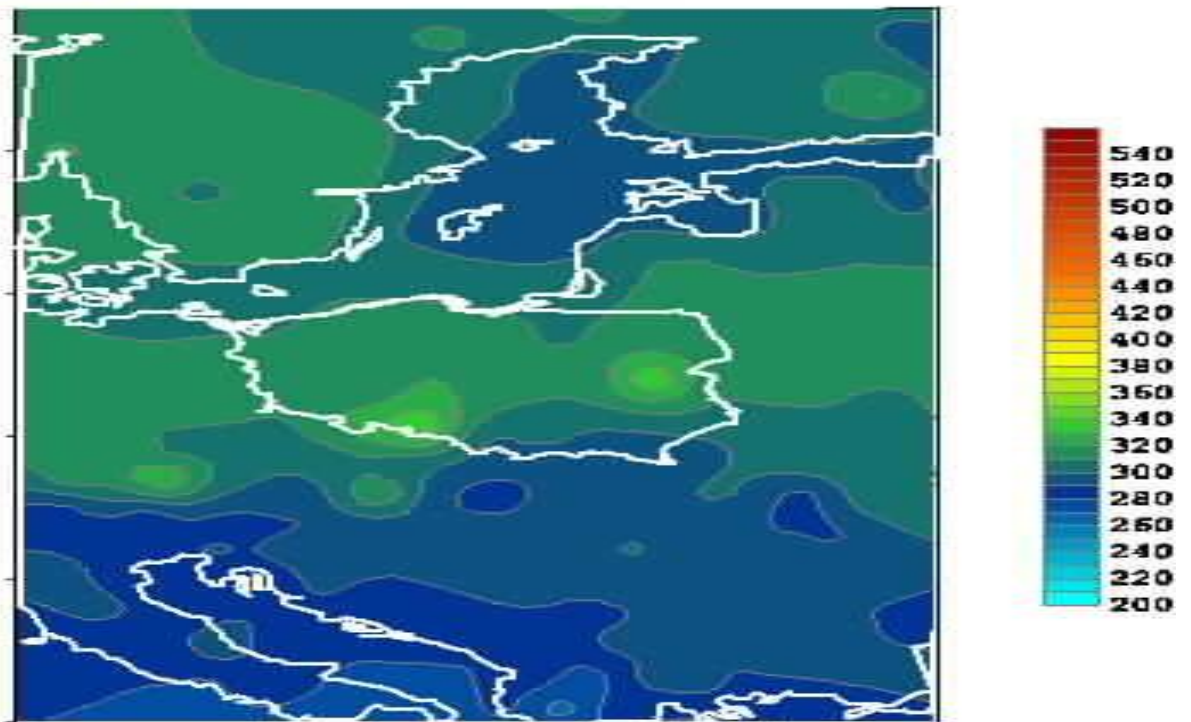
Wartość średnia dla sierpnia

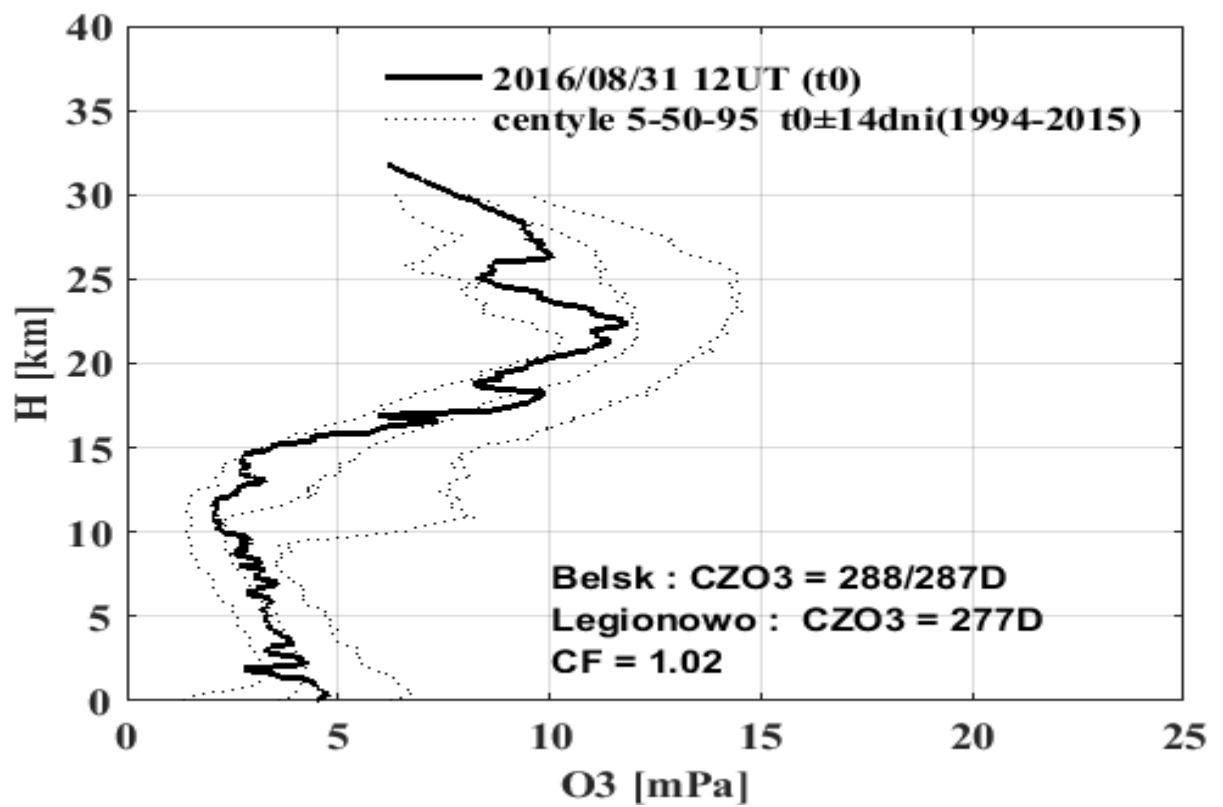




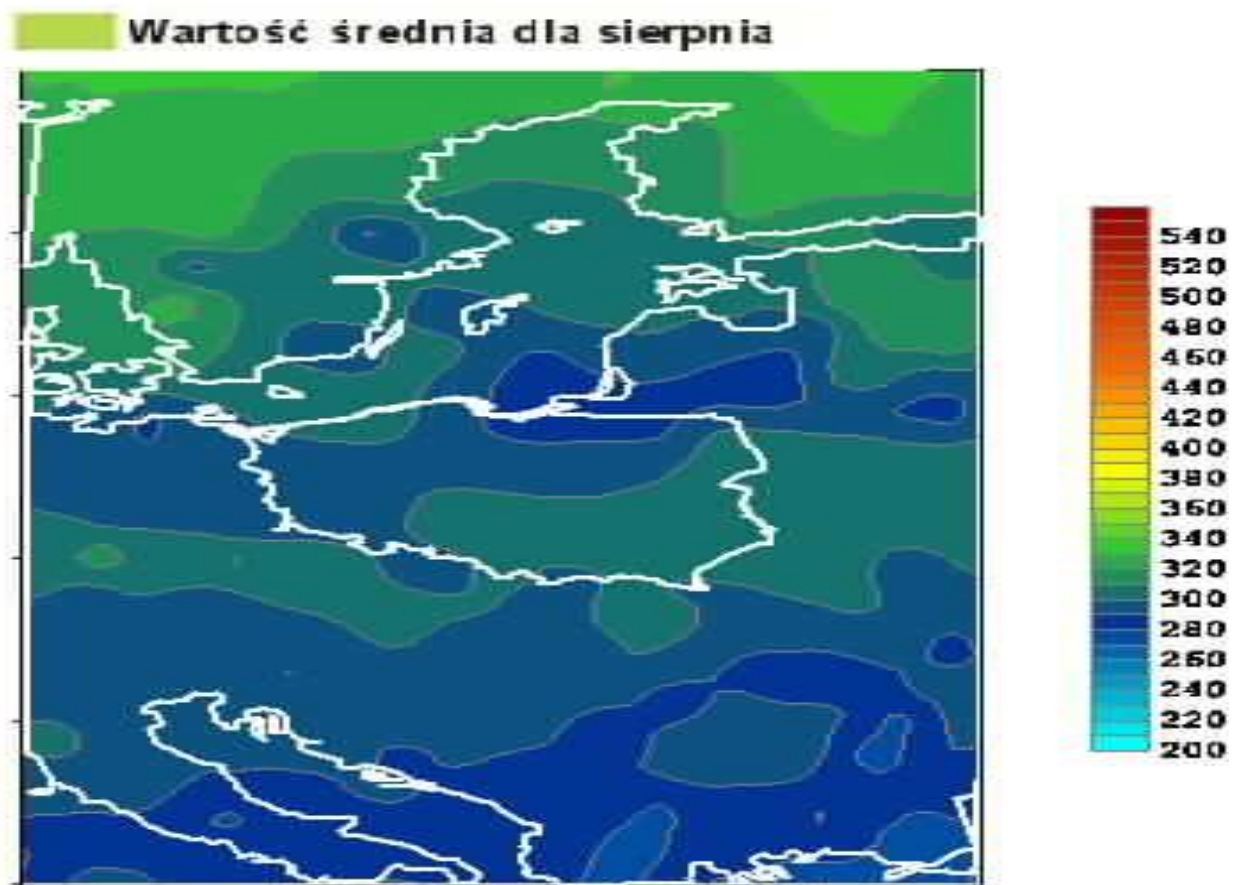
Całkowita zawartość ozonu, 17.08.2016 05:33 GMT

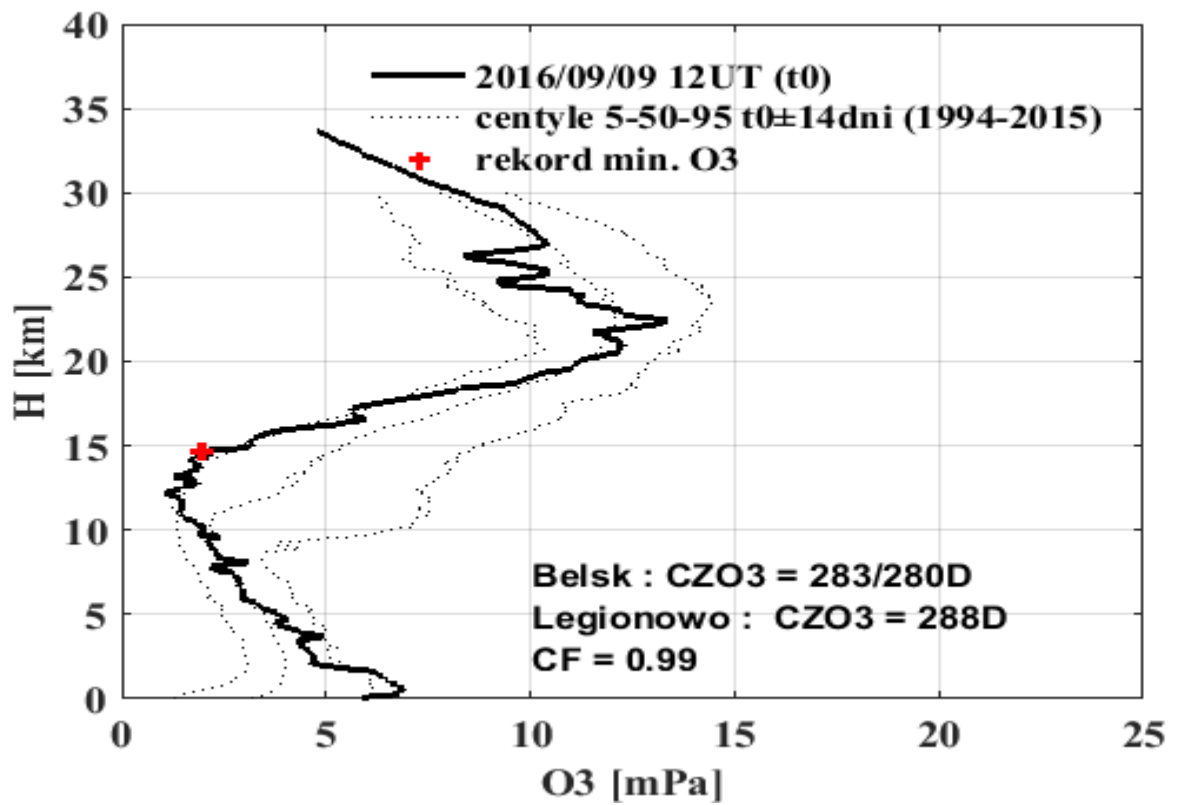
Wartość średnia dla sierpnia



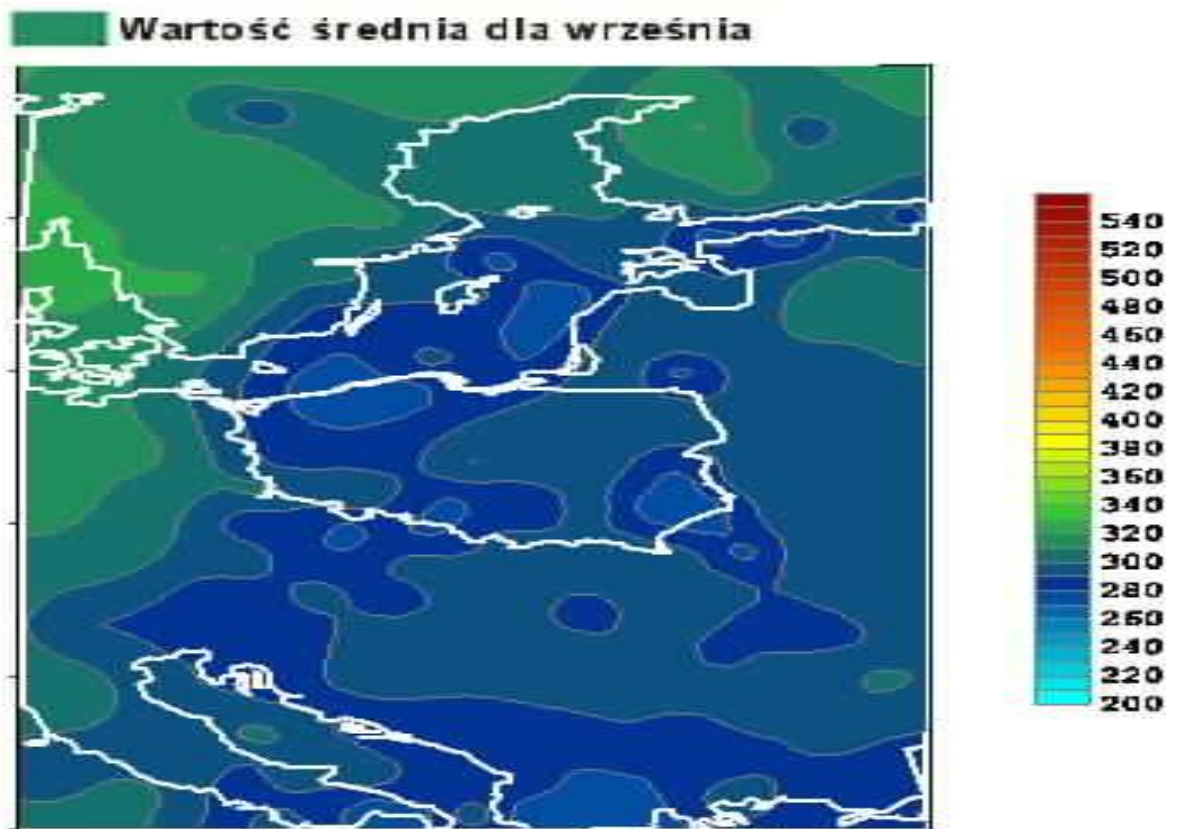


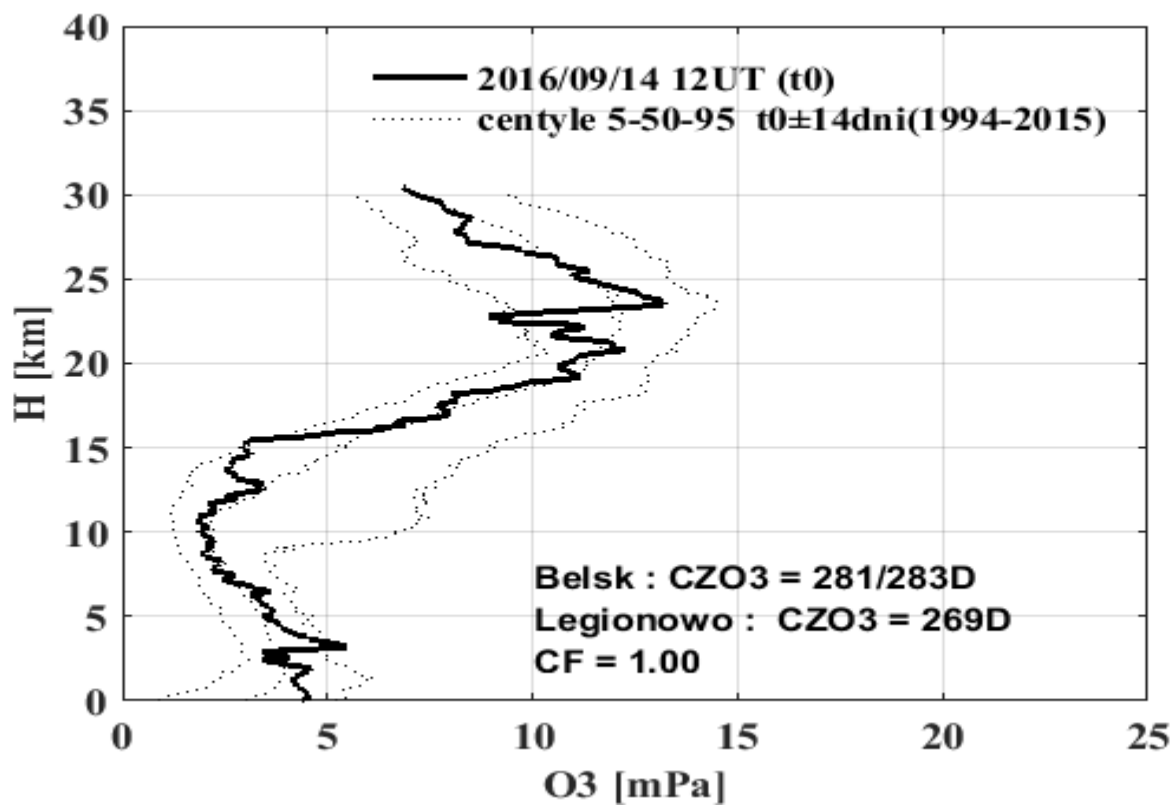
Całkowita zawartość ozonu, 31.08.2016 01:58 GMT



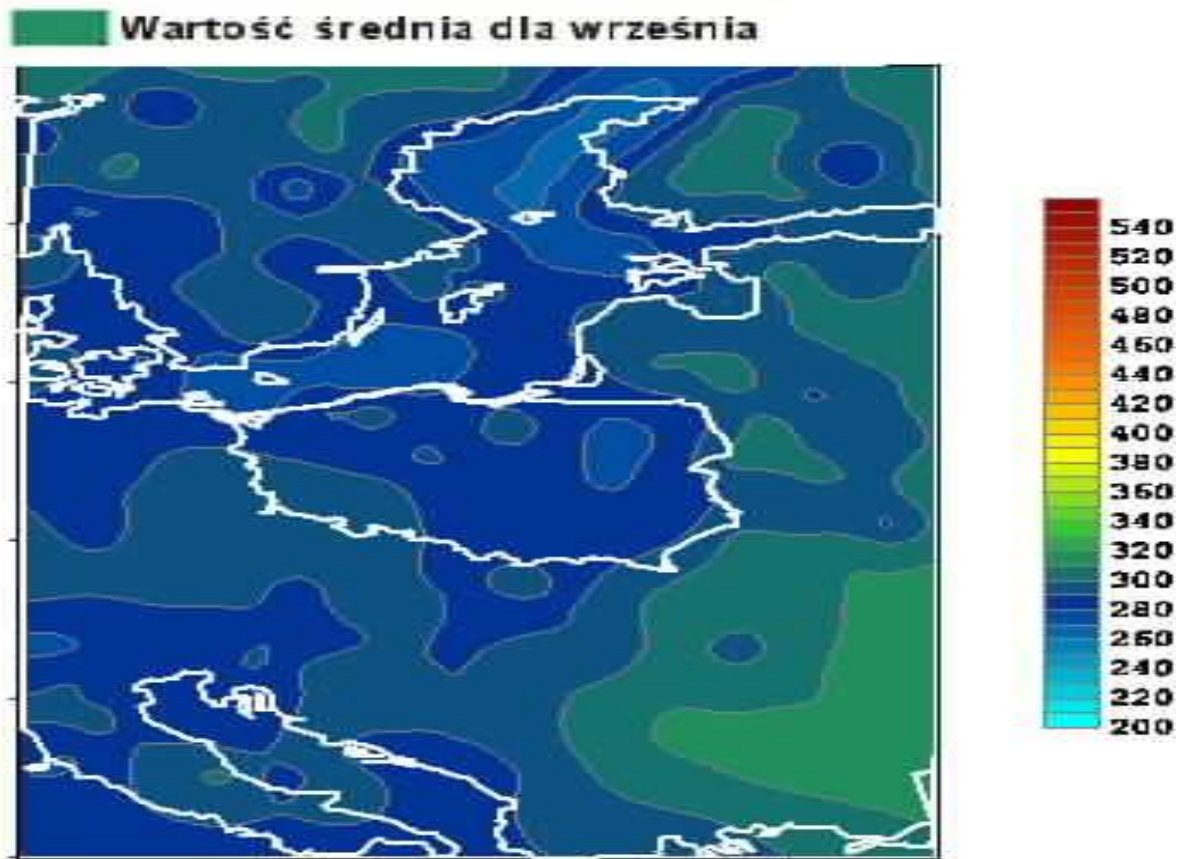


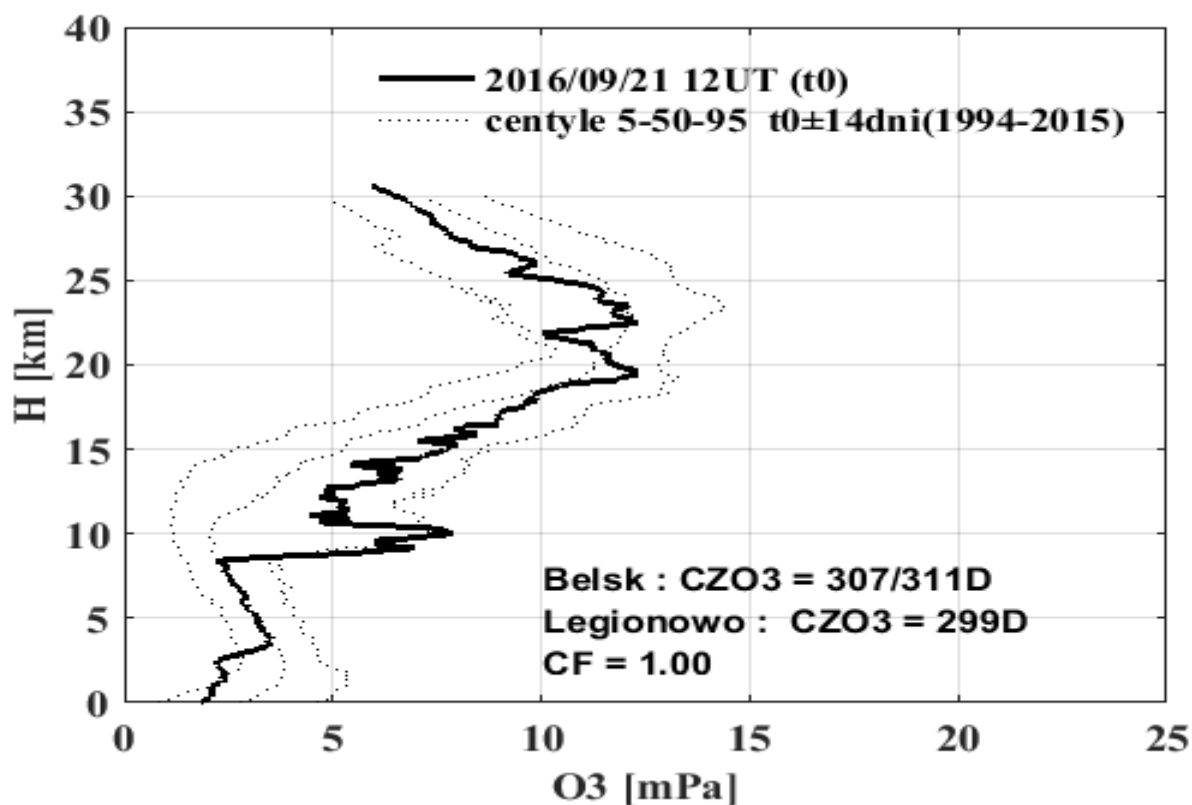
Całkowita zawartość ozonu, 09.09.2016 01:56 GMT



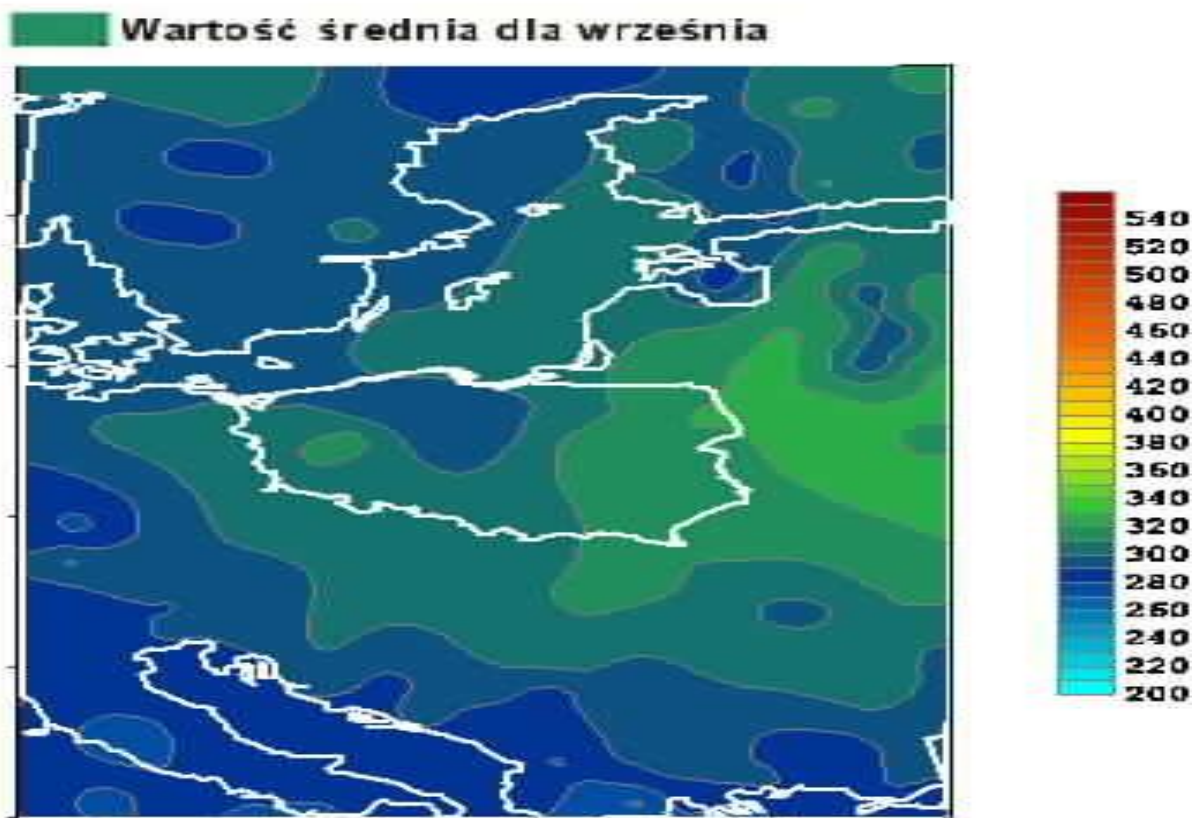


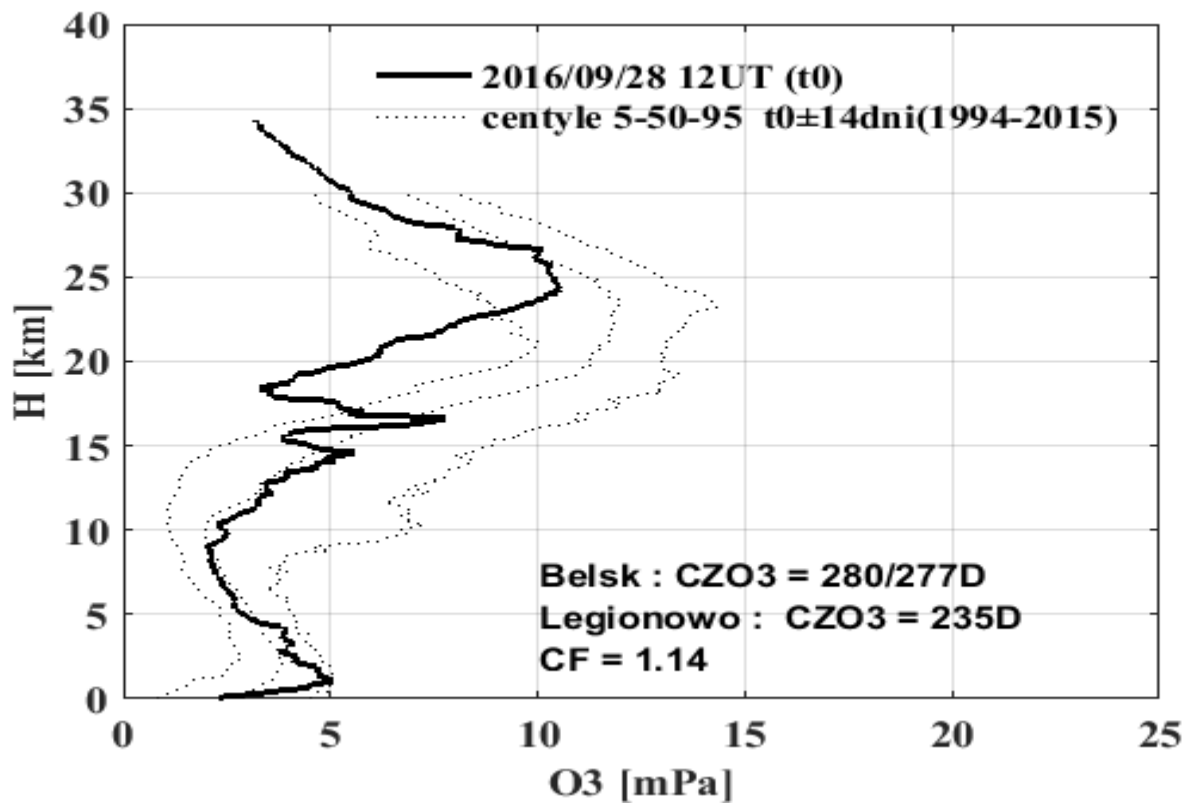
Całkowita zawartość ozonu, 14.09.2016 02:41 GMT



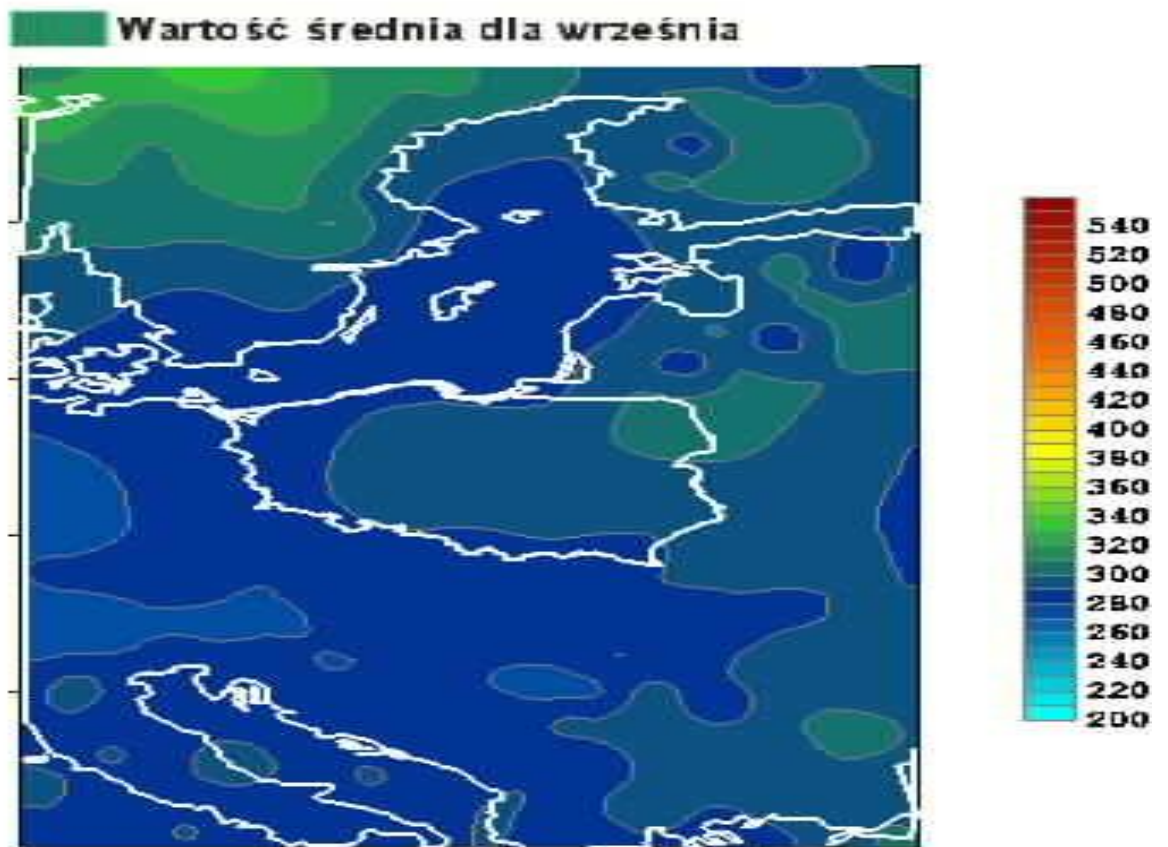


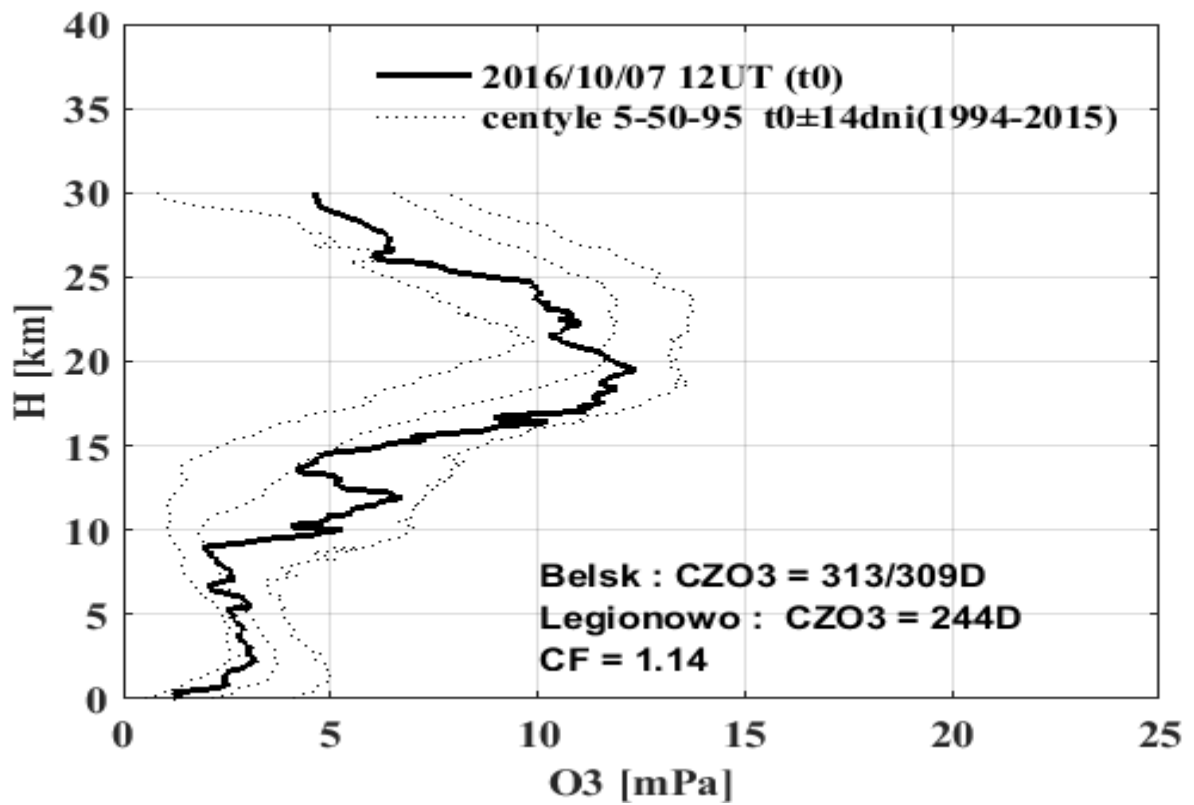
Całkowita zawartość ozonu, 21.09.2016 05:29 GMT



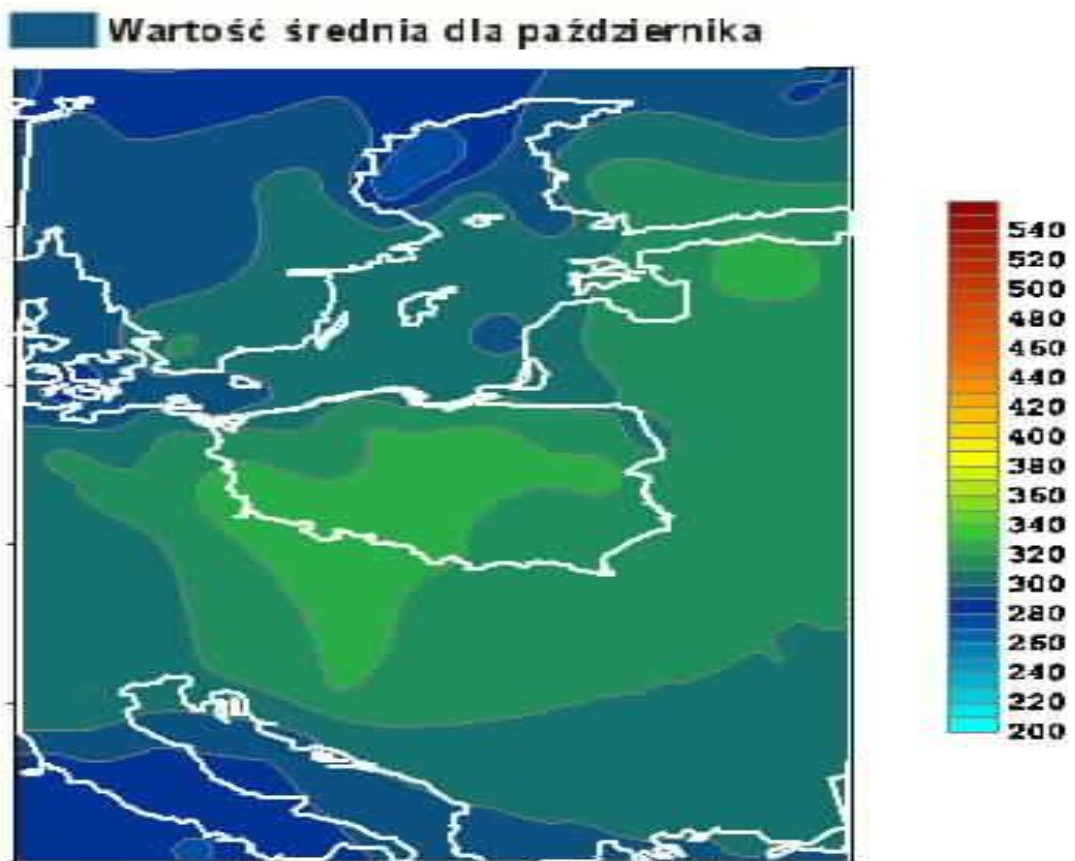


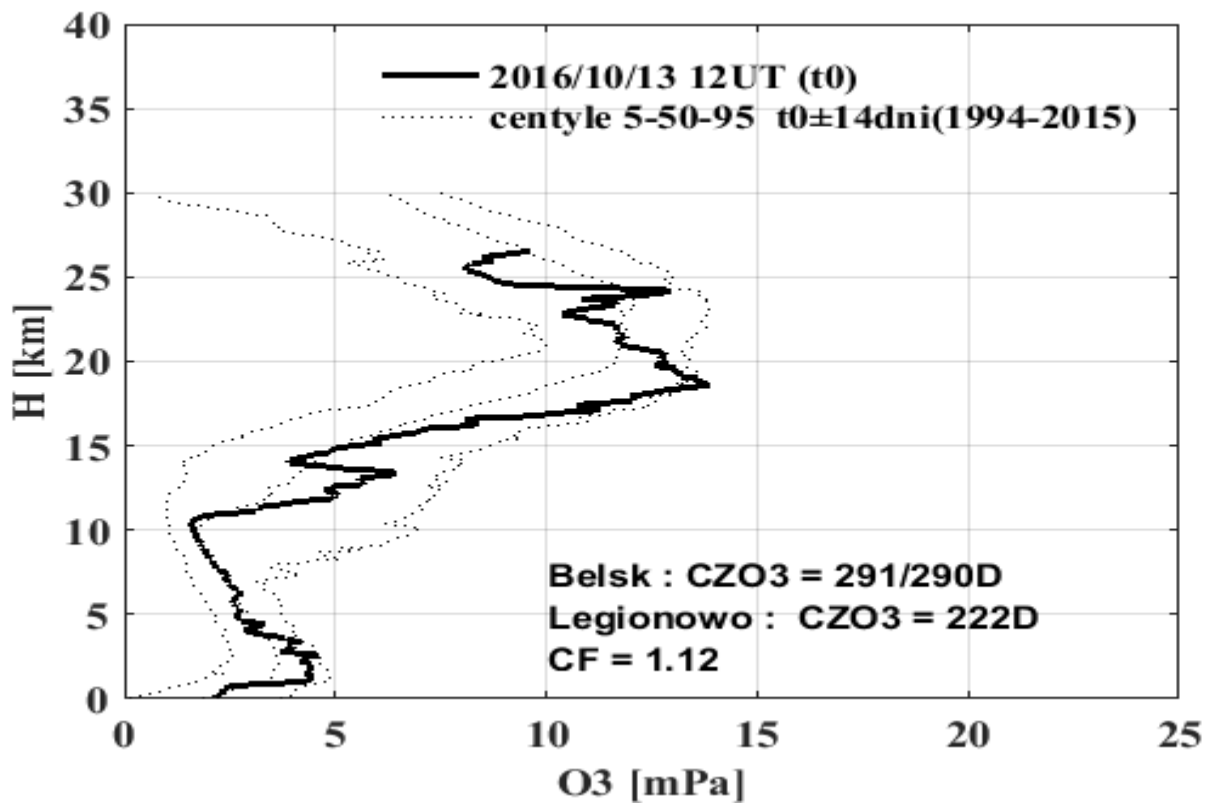
Całkowita zawartość ozonu, 28.09.2016 GG:MM GMT



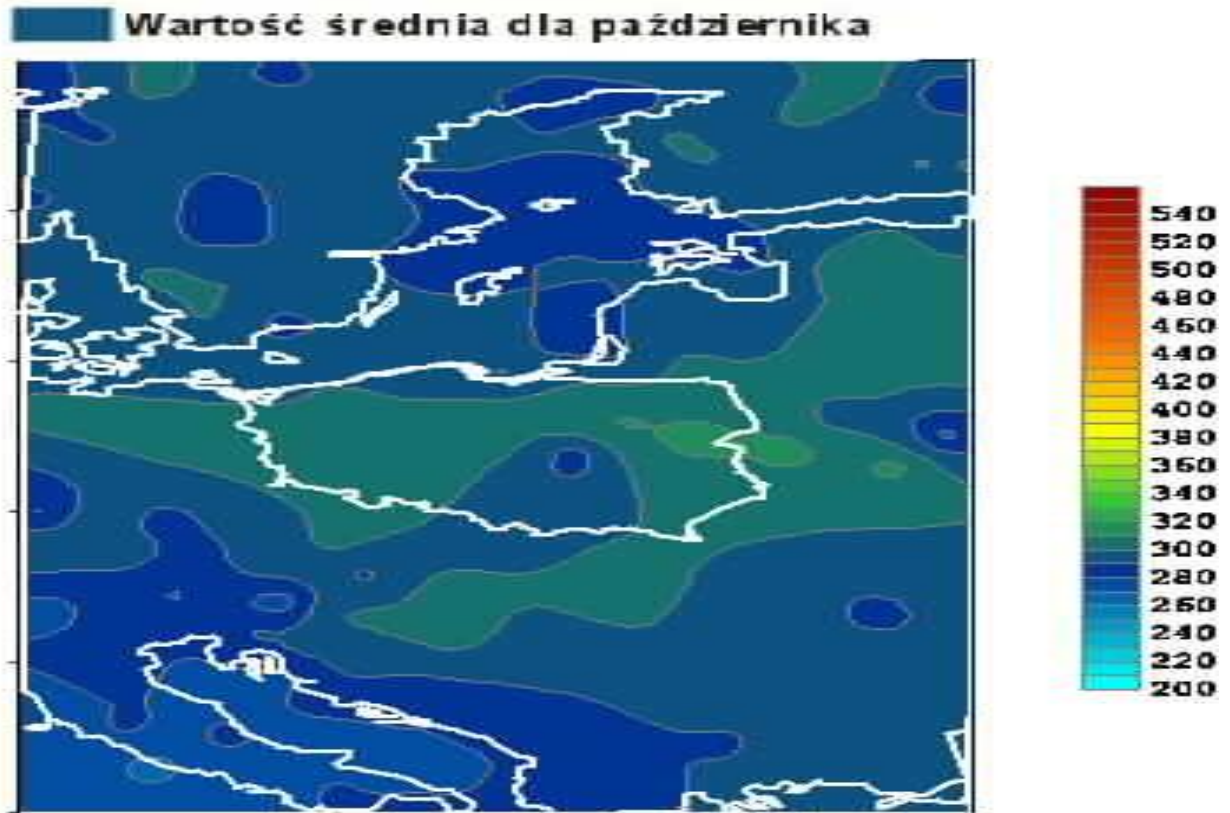


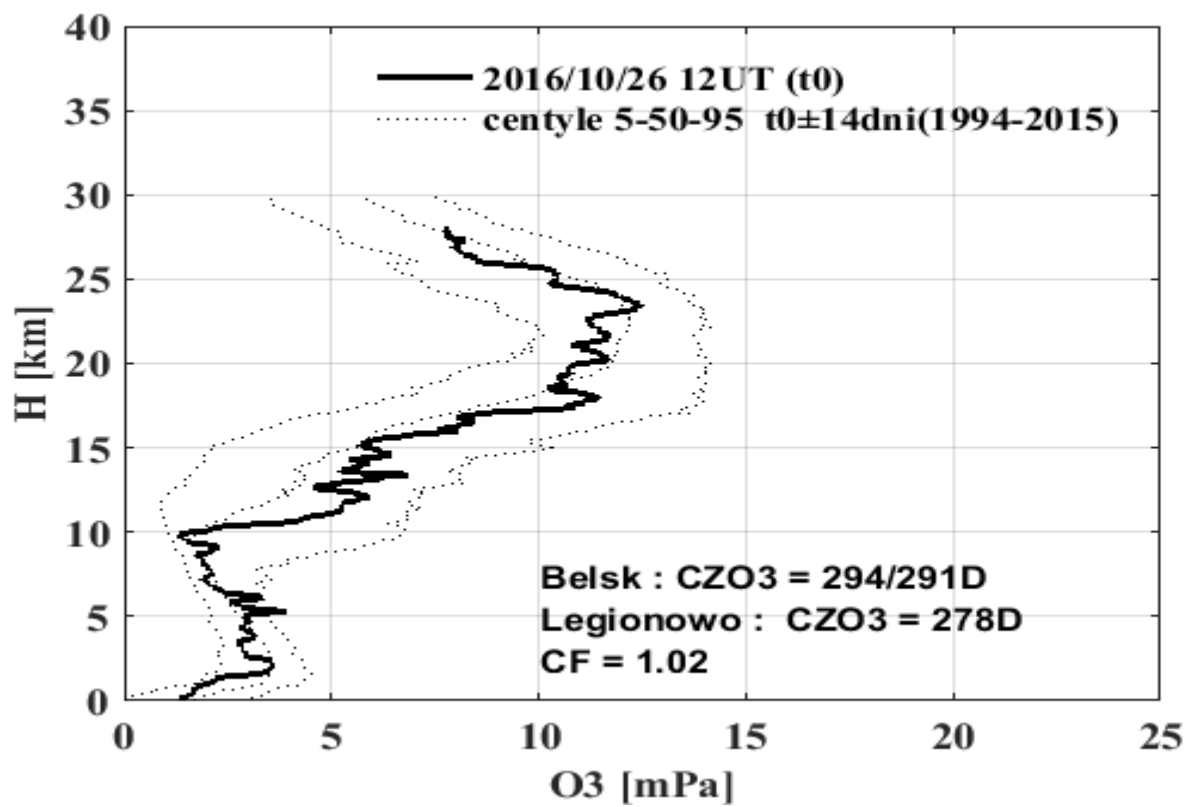
Całkowita zawartość ozonu, 07.10.2016 03:21 GMT



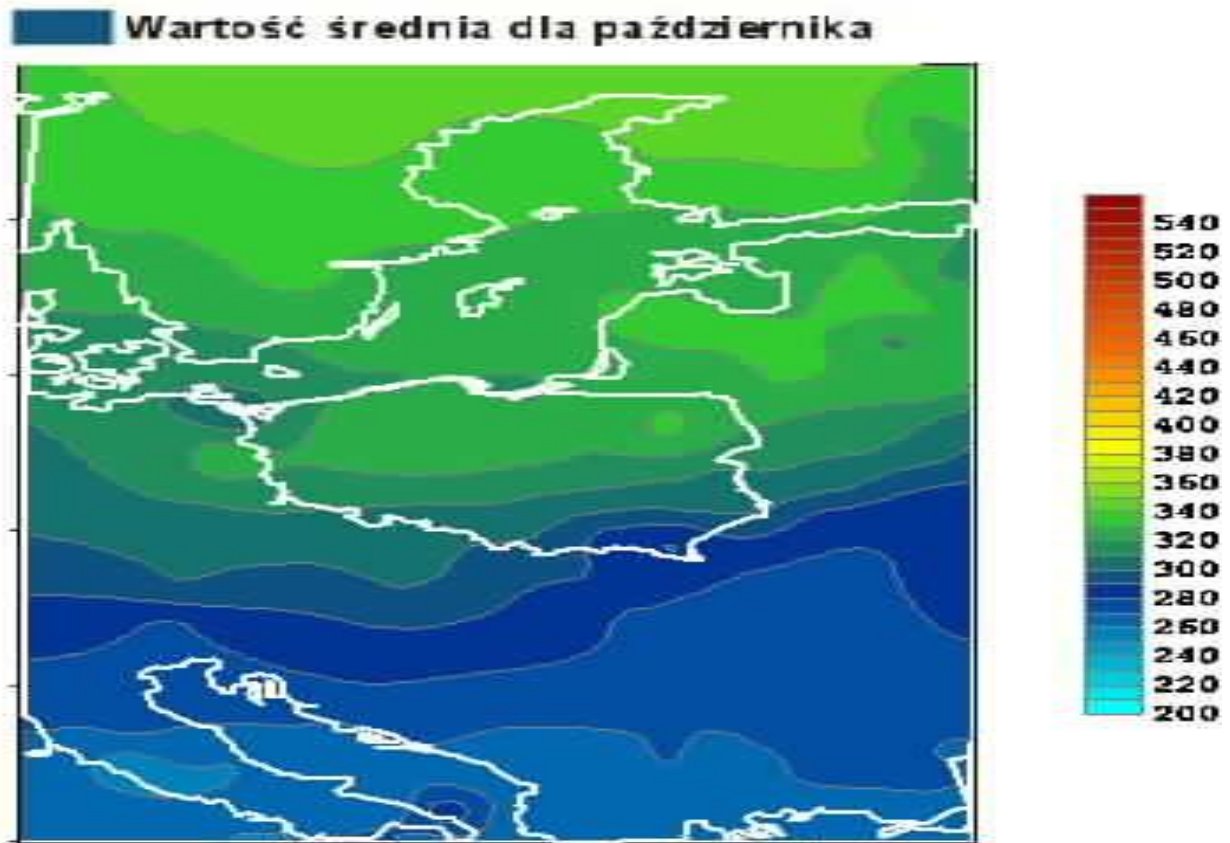


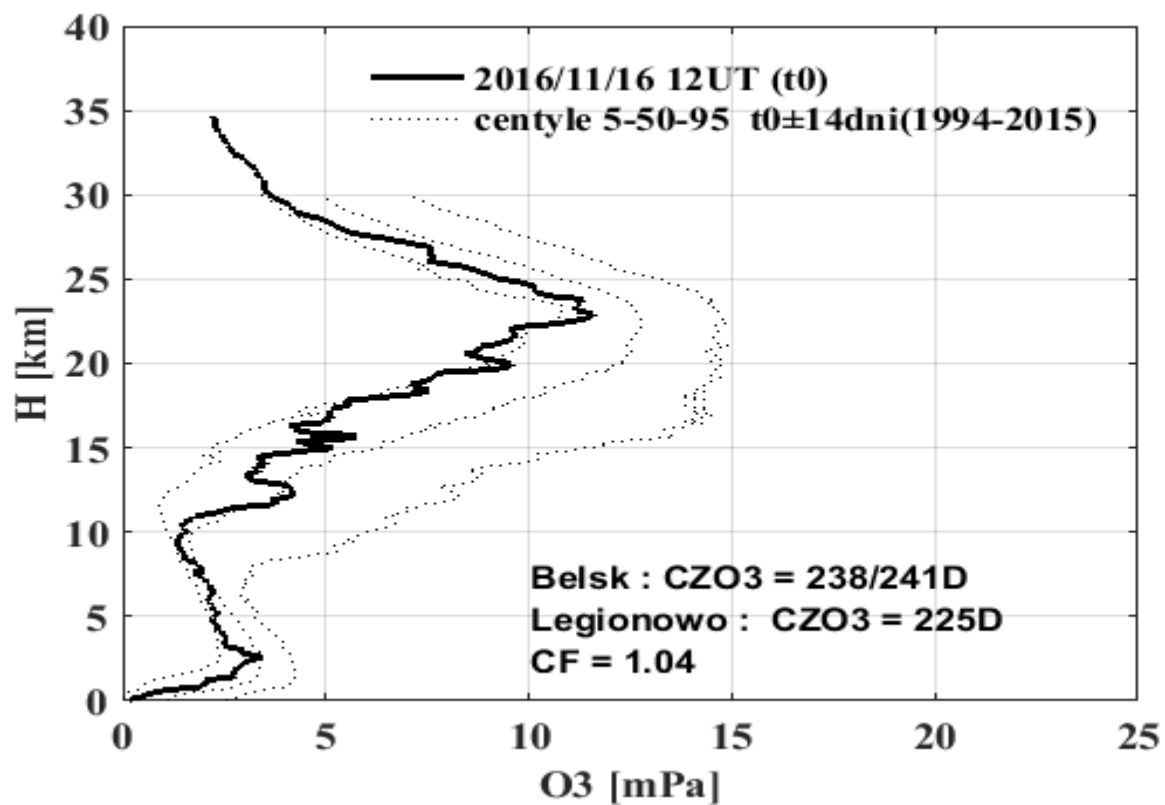
Całkowita zawartość ozonu, 13.10.2016 06:17 GMT



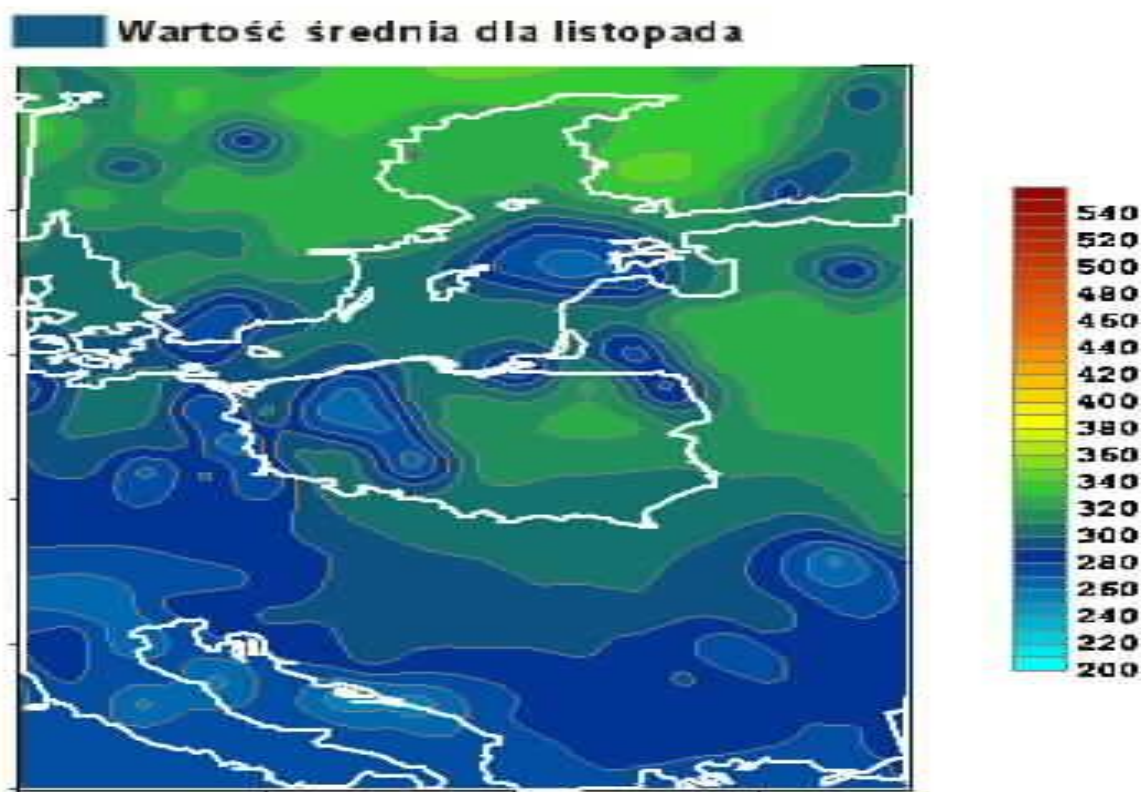


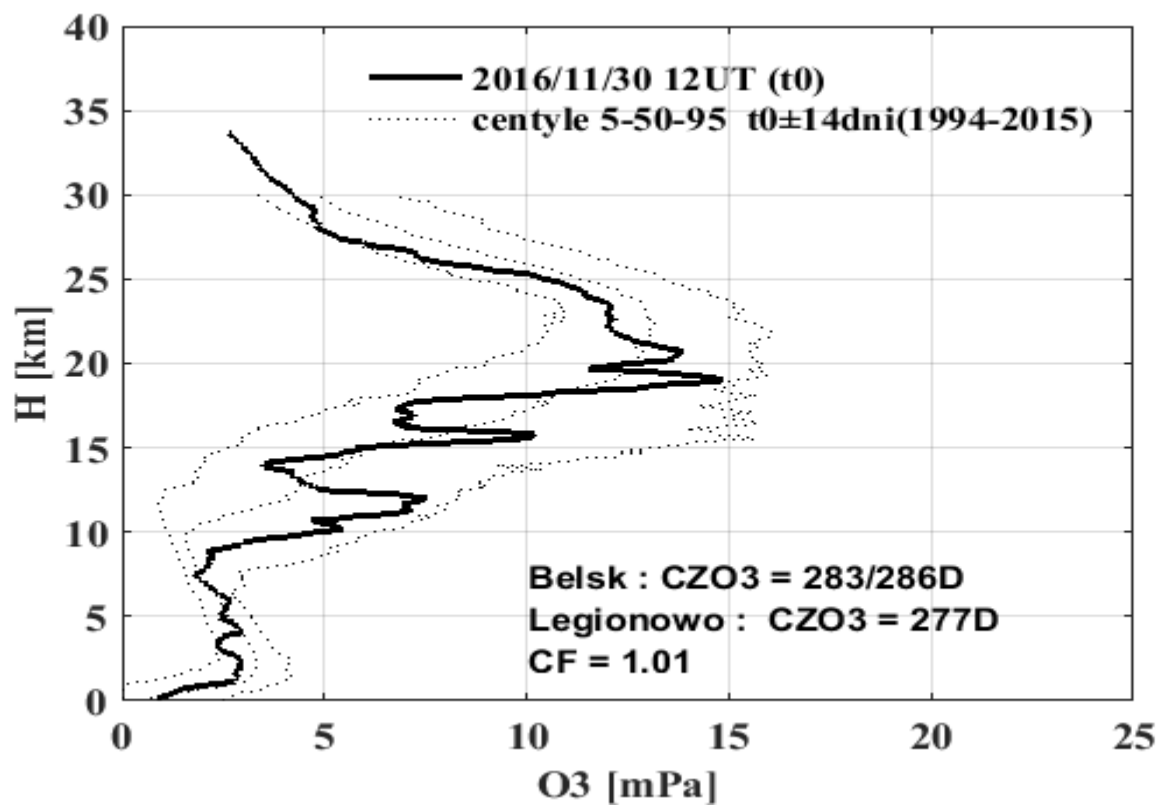
Całkowita zawartość ozonu, 26.10.2016 05:25 GMT



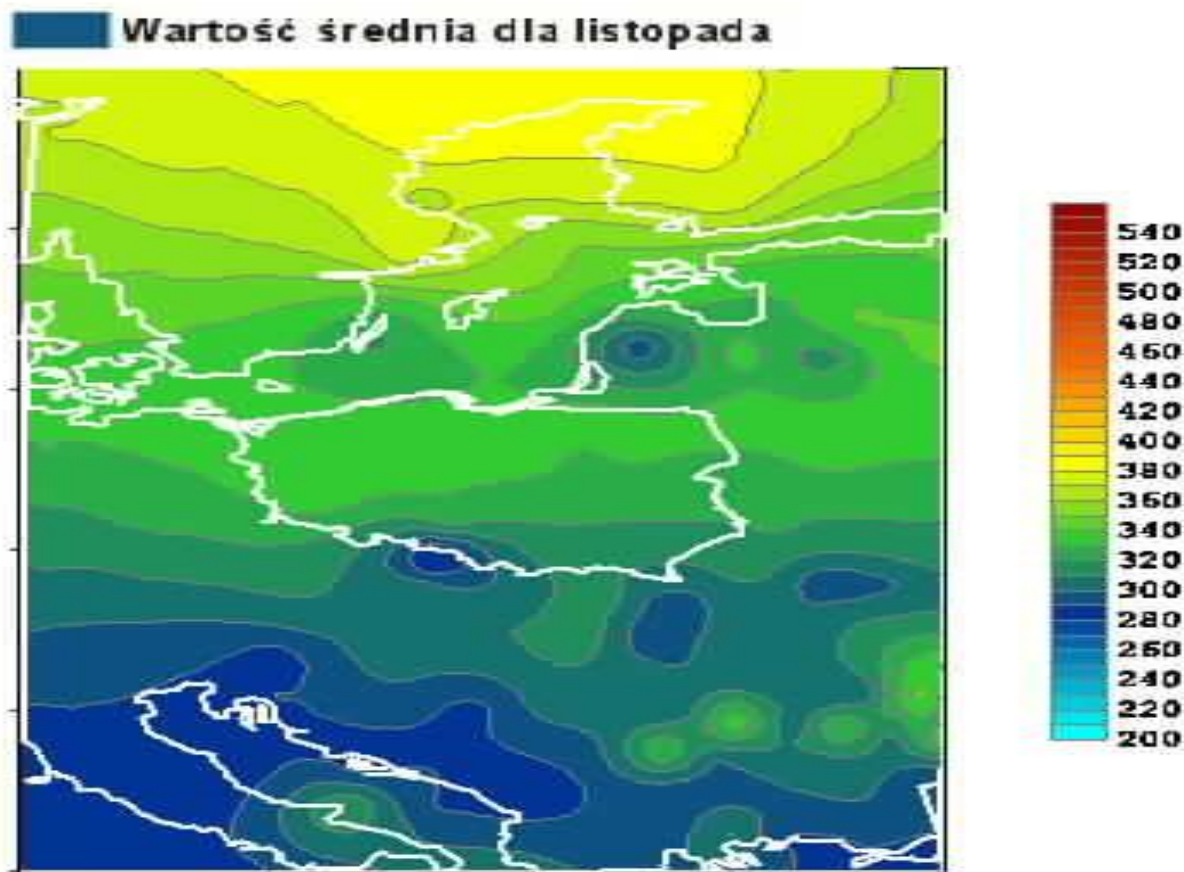


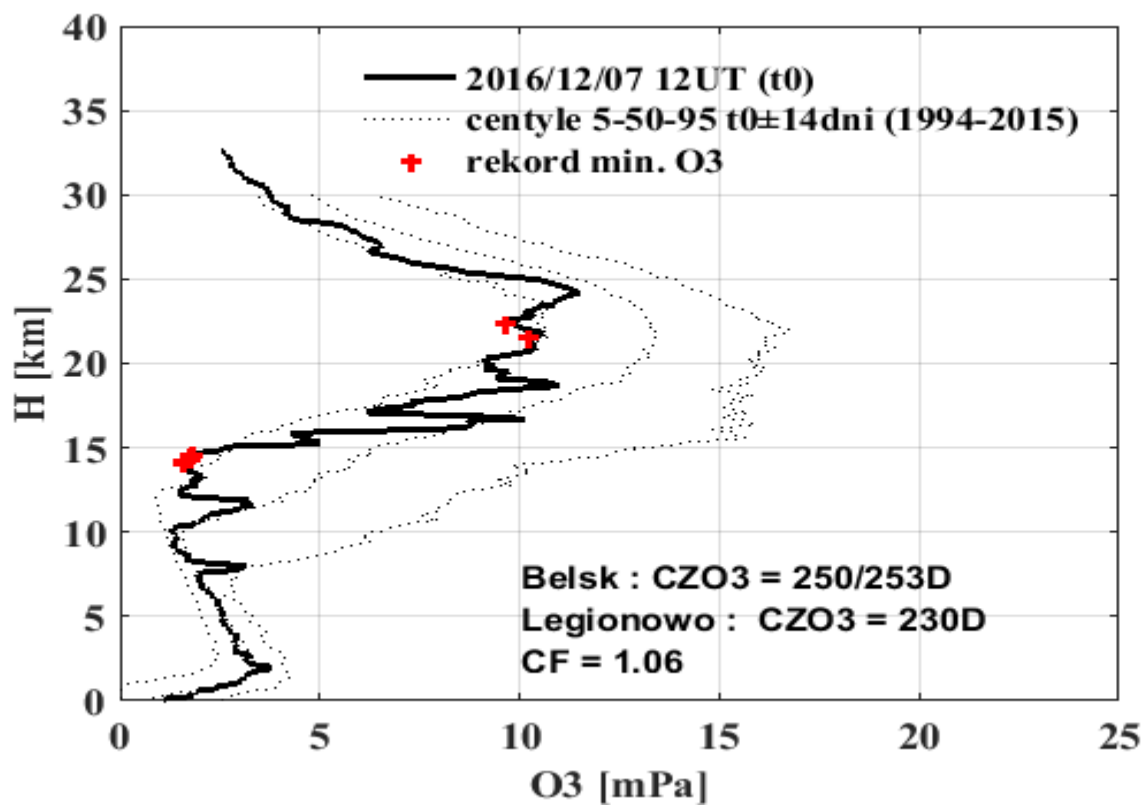
Całkowita zawartość ozonu, 16.11.2016 06:25 GMT



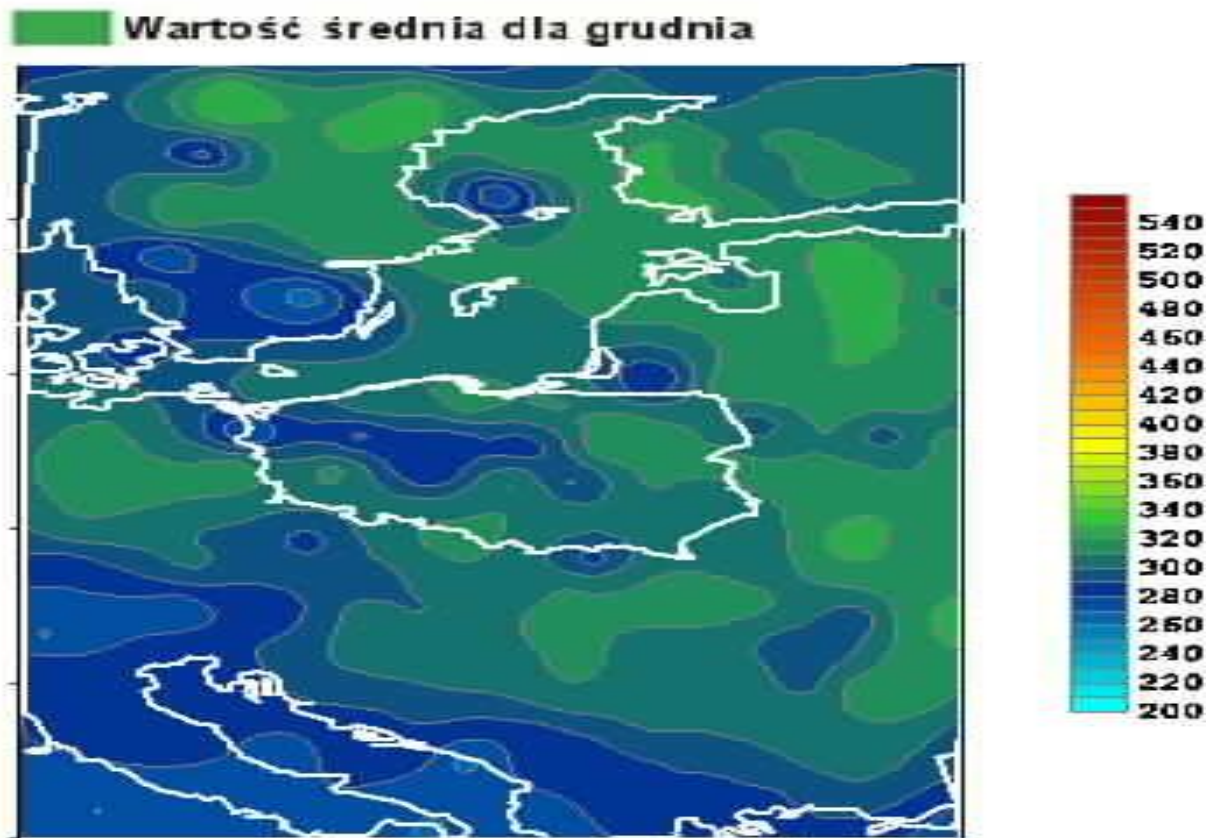


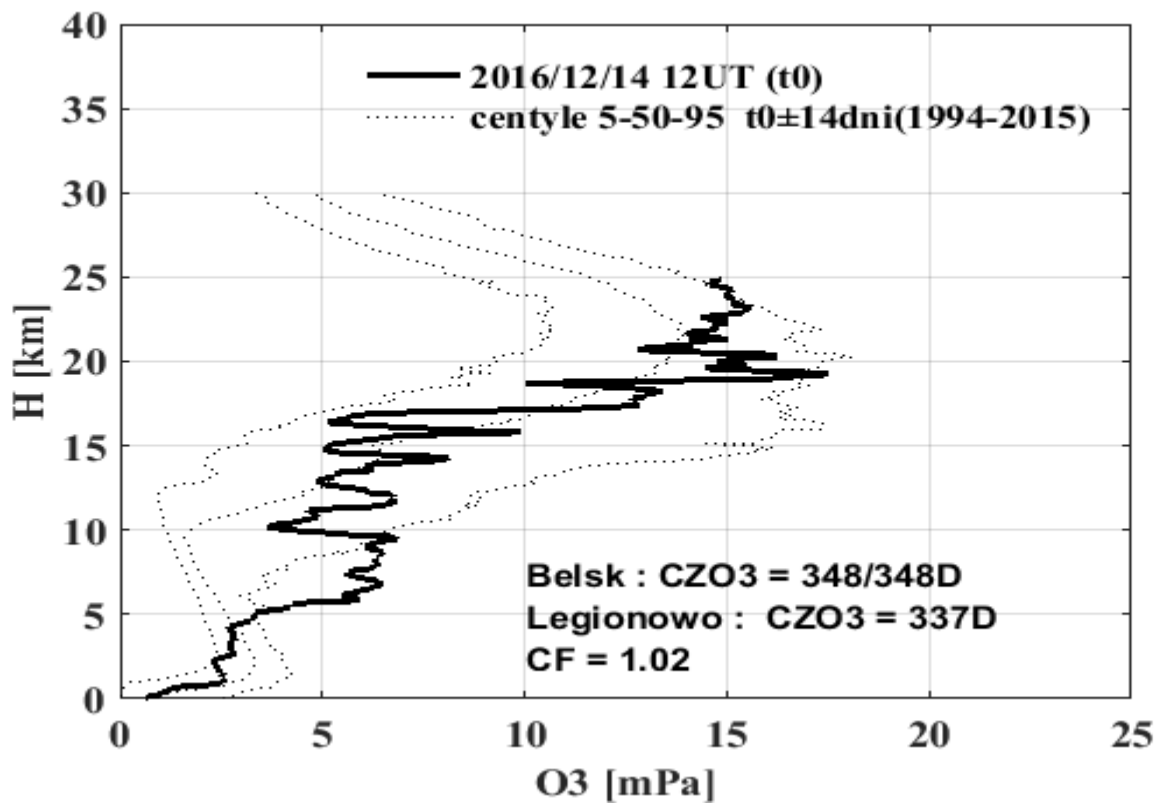
Całkowita zawartość ozonu, 30.11.2016 05:21 GMT



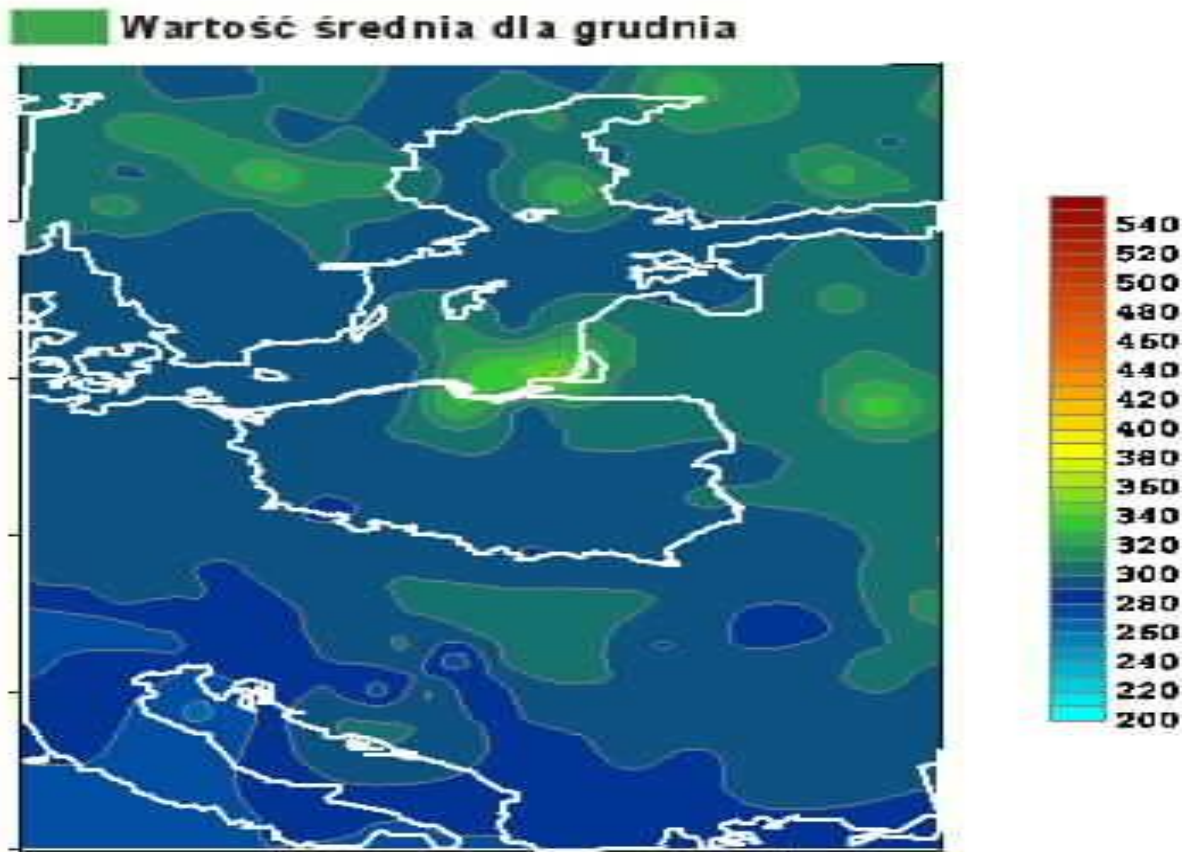


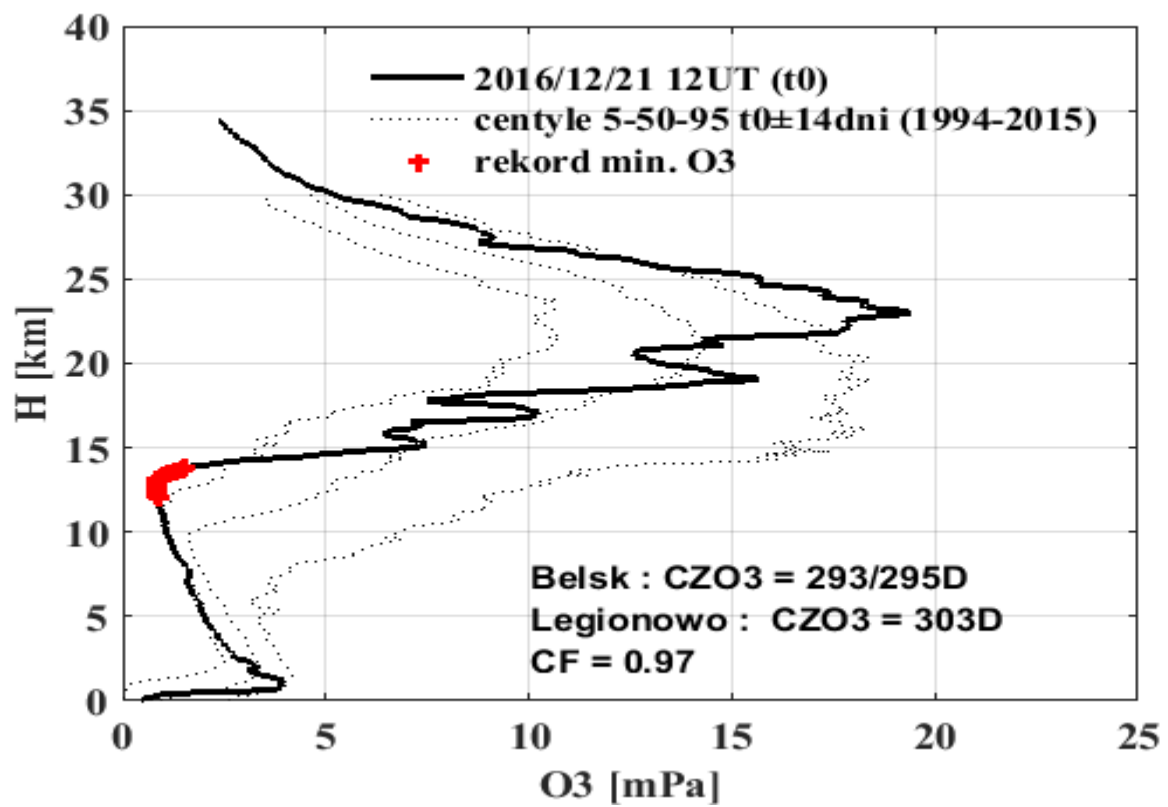
Całkowita zawartość ozonu, 07.12.2016 05:42 GMT



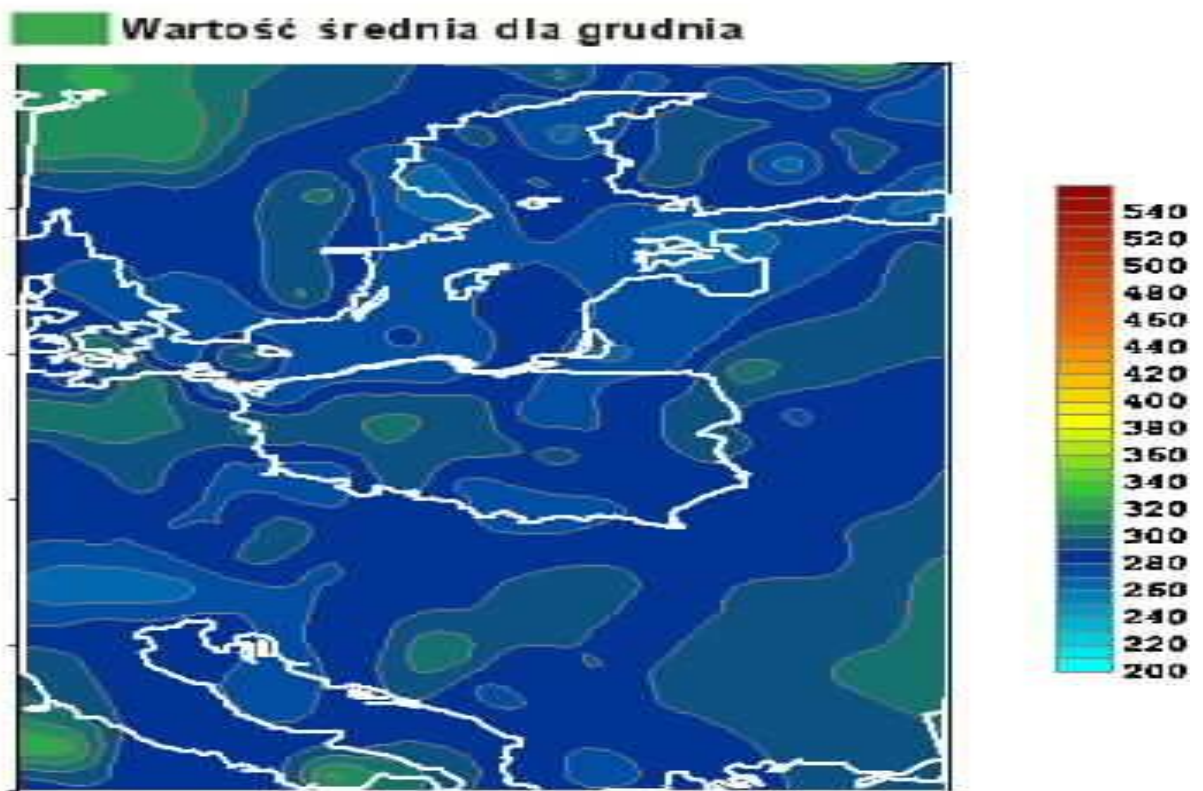


Całkowita zawartość ozonu, 14.12.2016 06:00 GMT



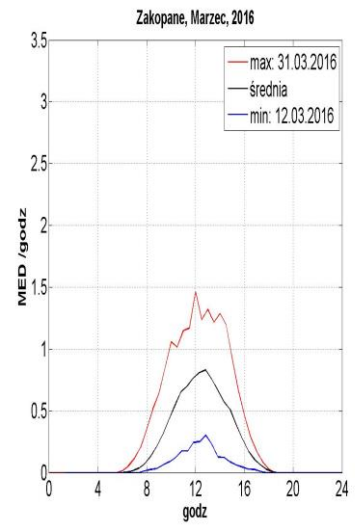
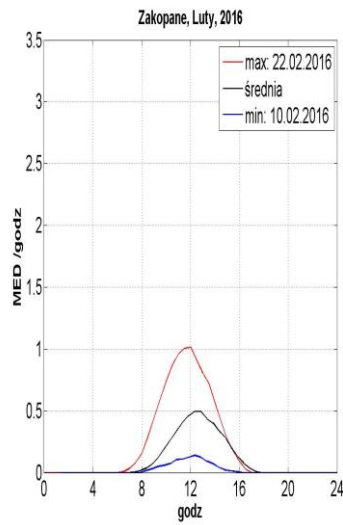
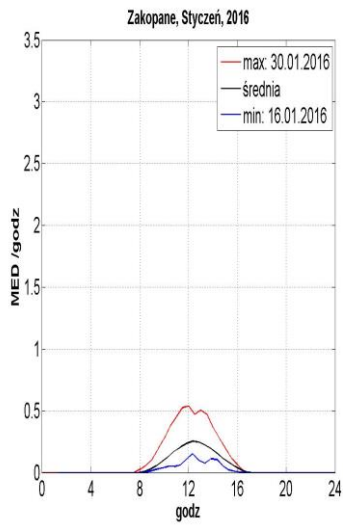
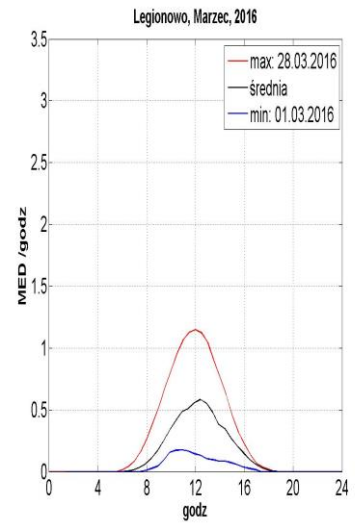
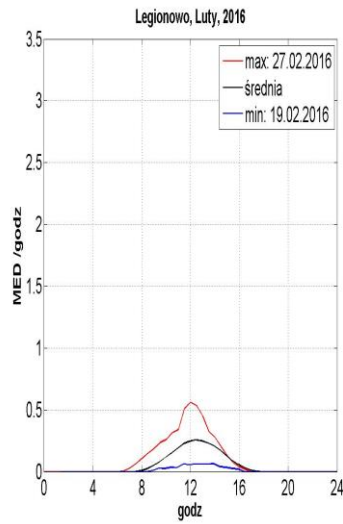
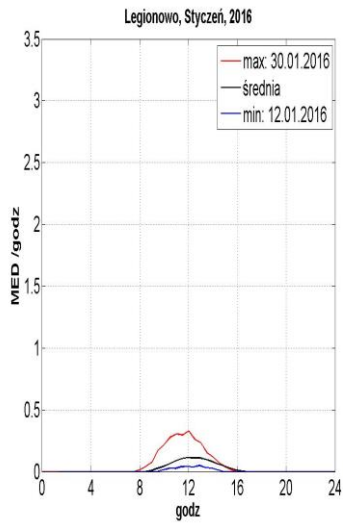
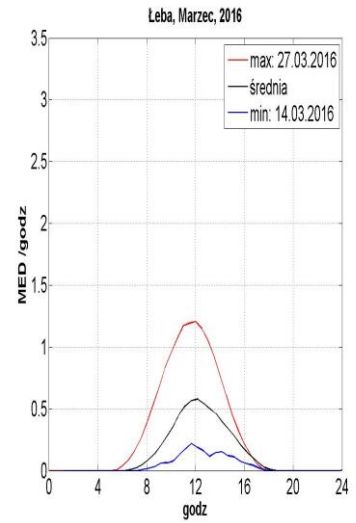
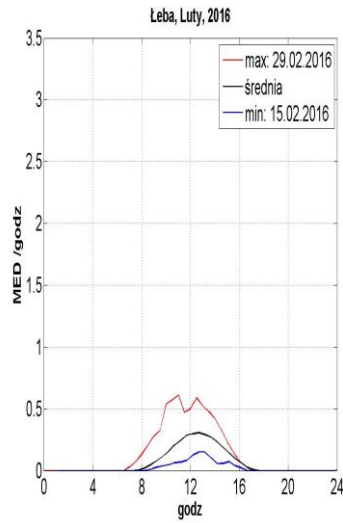
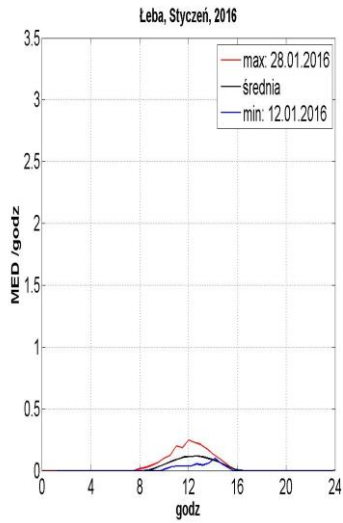


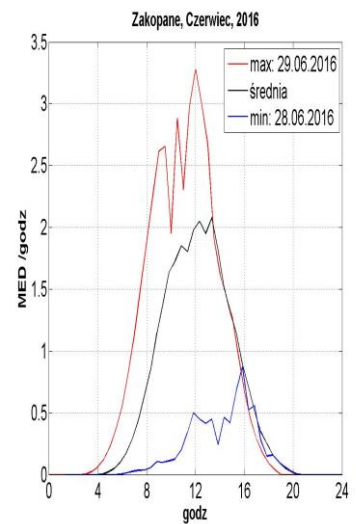
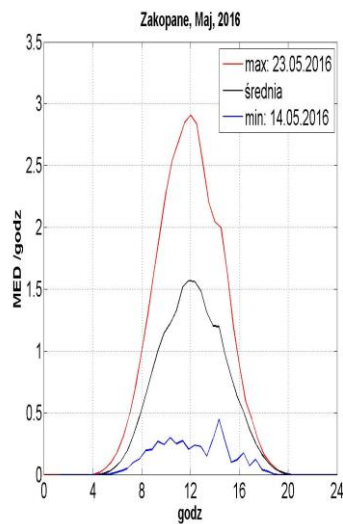
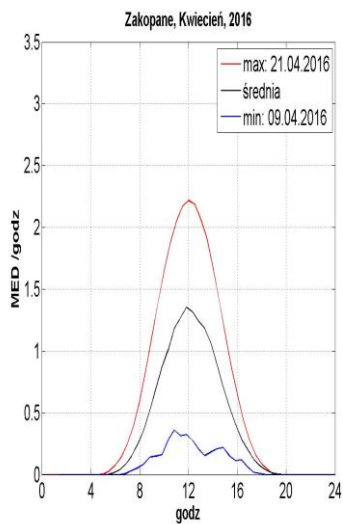
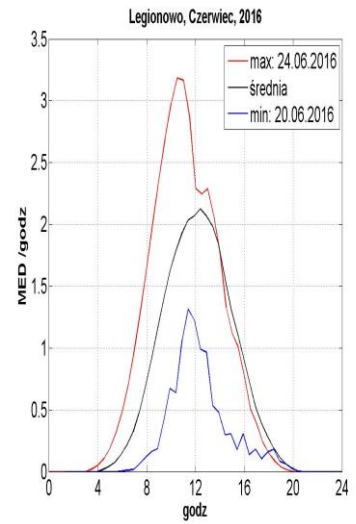
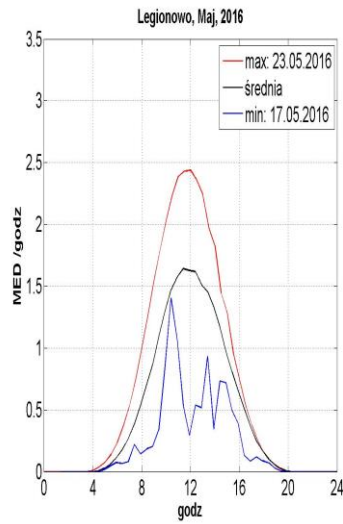
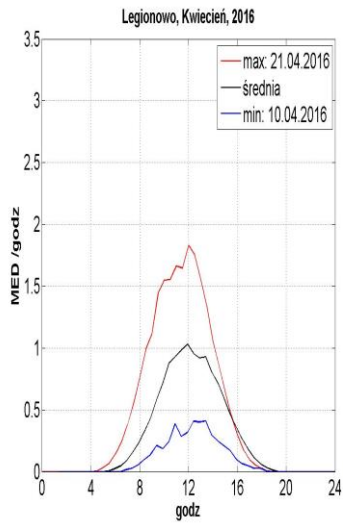
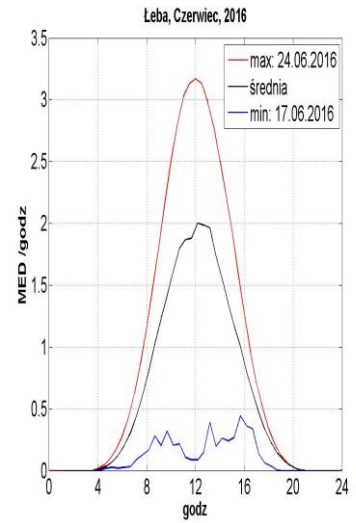
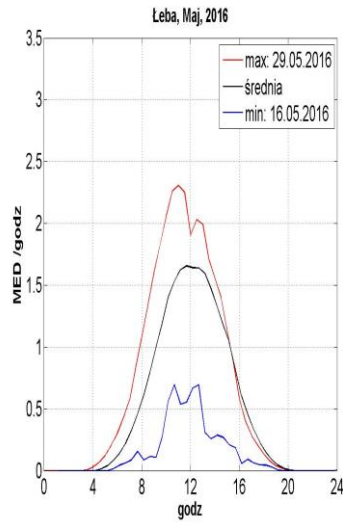
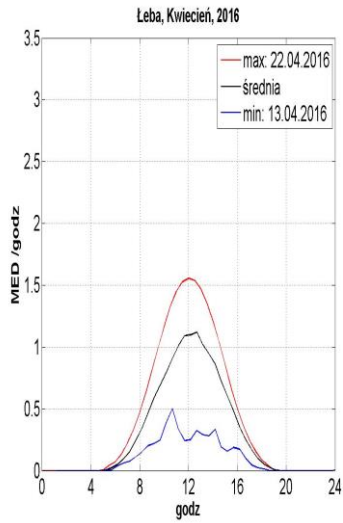
Całkowita zawartość ozonu, 21.12.2016 06:21 GMT

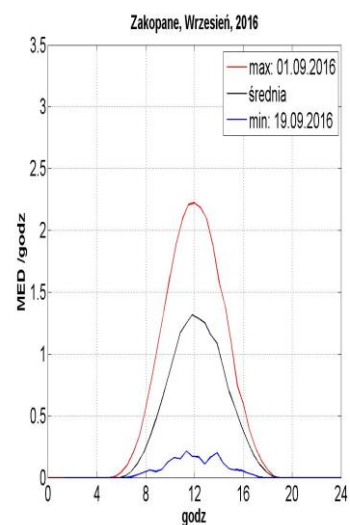
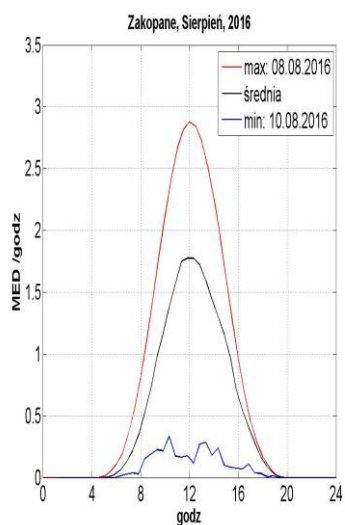
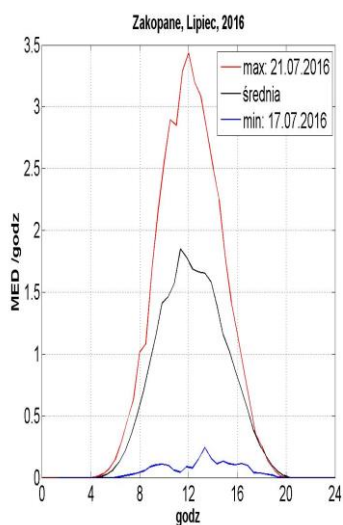
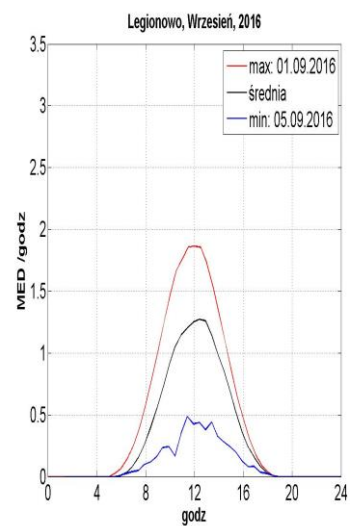
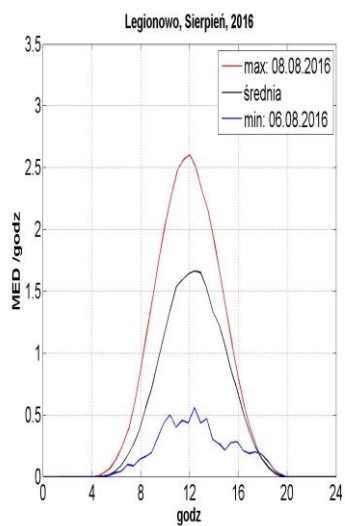
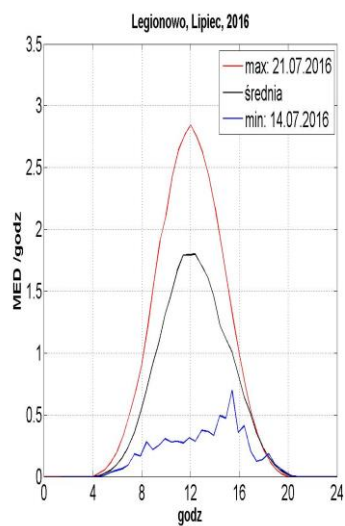
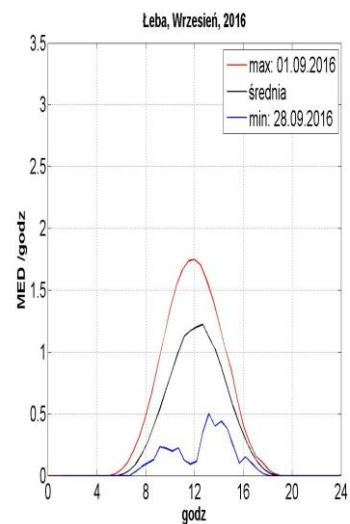
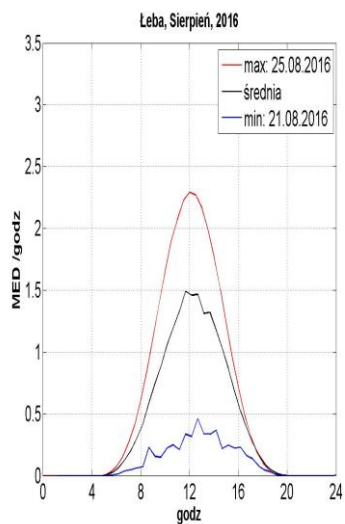
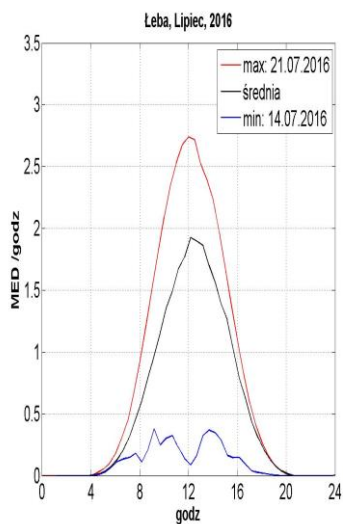


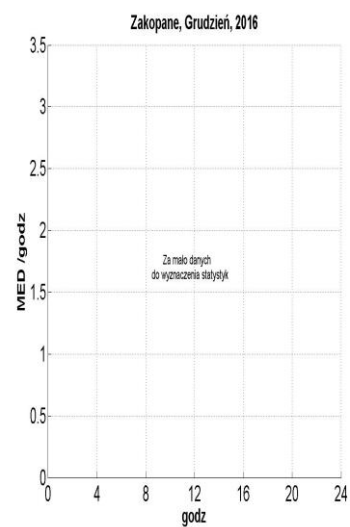
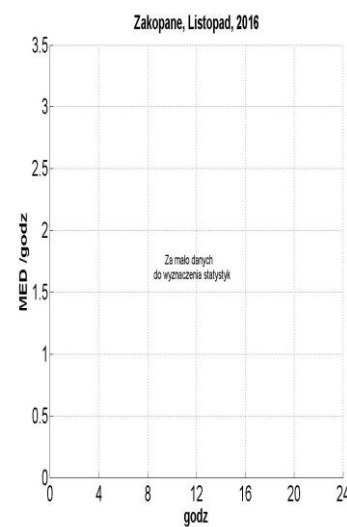
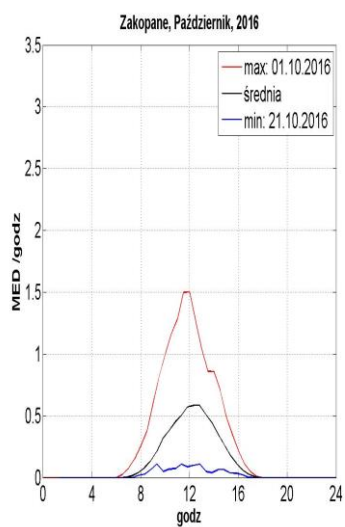
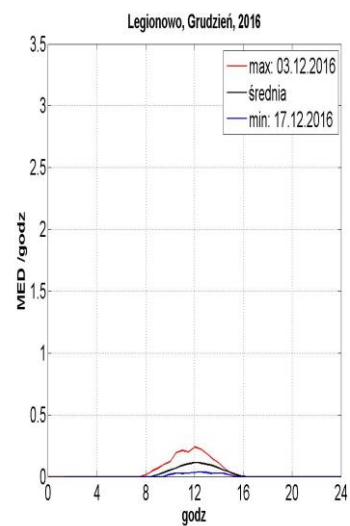
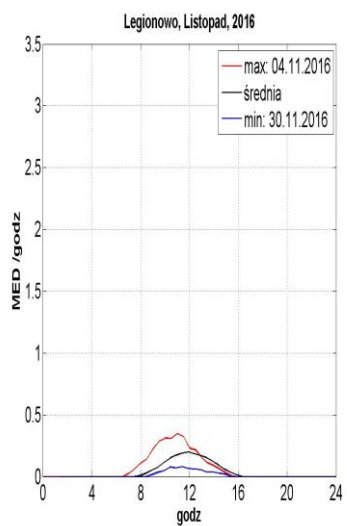
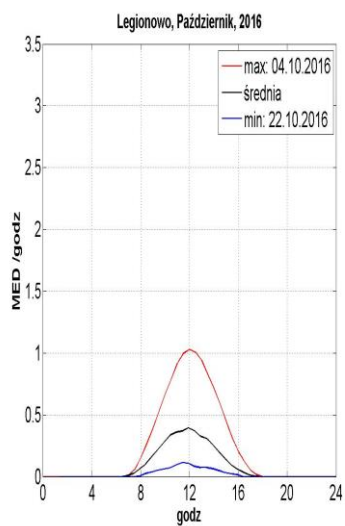
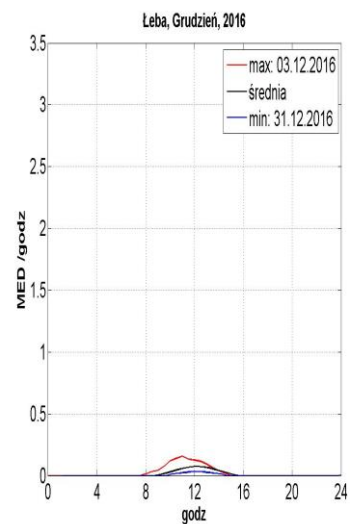
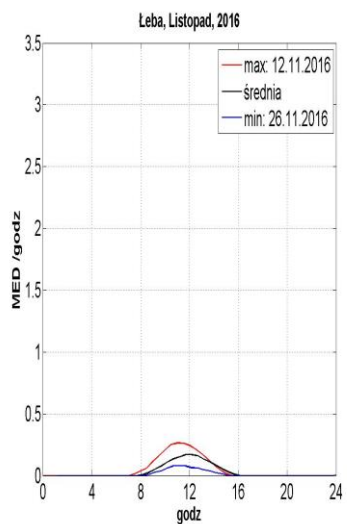
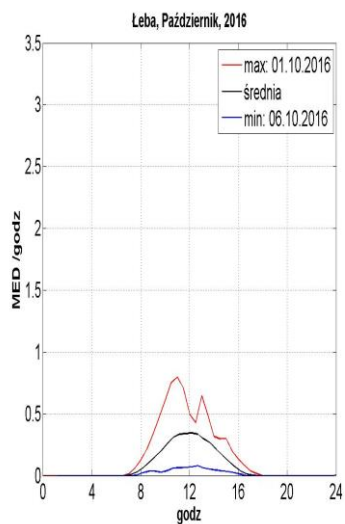
ZAŁĄCZNIK 5

DOBOWE PRZEBIEGI PROMIENIOWANIA UV-B Z MIESIĘCY
STYCZEŃ - GRUDZIEŃ 2016 R. (ŚREDNIE, MAKSYMALNE
I MINIMALNE) ZMIERZONE ZA POMOCĄ PRZYRZĄDU SOLAR LIGHT
(ŁEBA, LEGIONOWO, ZAKOPANE)









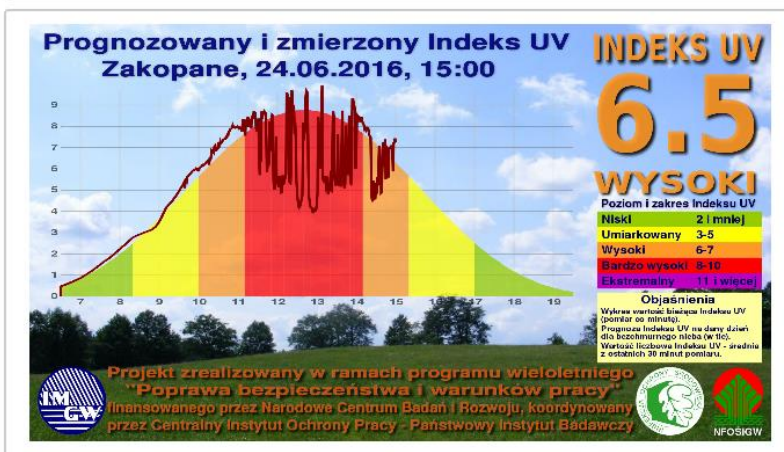
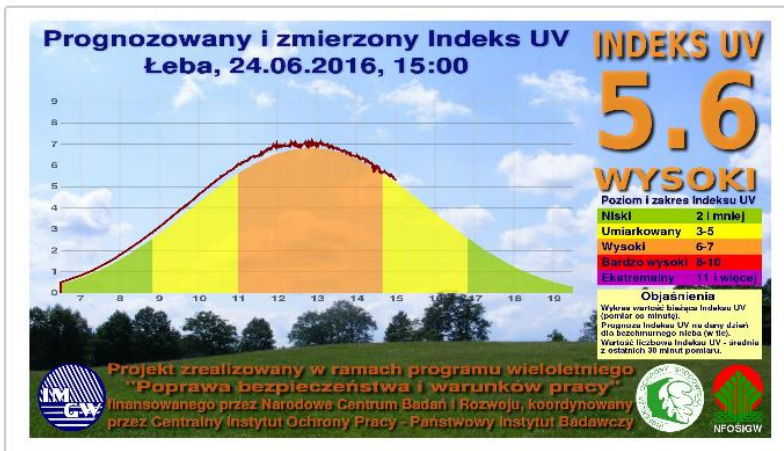
ZAŁĄCZNIK 6

INFORMACJE O BIEŻĄCYM I PROGNOZOWANYM INDEKSIE UV
Z DNIA 24.06.2016 OPUBLIKOWNE NA STRONIE INTERNETOWEJ
www.pogodynka.pl/indeksuv

Pomiar Indeksu UV w czasie rzeczywistym (aktualizowany co 5 minut)

Nadmierne opalanie jest szkodliwe, może powodować raka skóry, zaćmę, obniżenie odporności biologicznej. Indywidualna wrażliwość człowieka na promieniowanie UV zależy od typu jego skóry.

AKTUALNY INDEKS UV
PROGNOZA INDEKSU UV
MATERIAŁY EDUKACYJNE



Monitoring promieniowania UV jest realizowany przez Ośrodek Oceanografii i Monitoringu Hydrosfery i Atmosfery IMGW-PIB w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska na zlecenie Głównego Inspektora Ochrony Środowiska, finansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.



Bieżący Indeks UV – pomiar przyrządami UVEM-6C firmy OPTIX pracującymi w ramach sieci monitoringu operacyjnego IMGW-PIB od 2006 r.

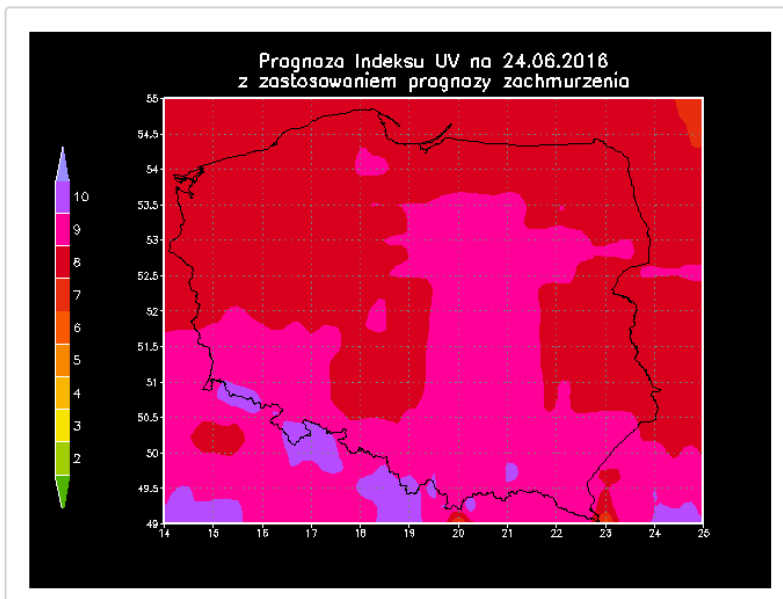
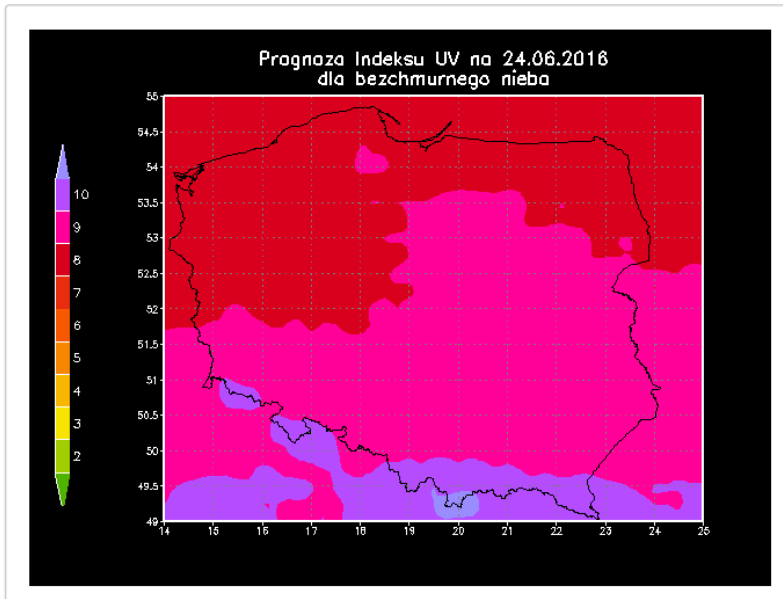
Prognoza Indeksu UV (aktualizowany raz na dobę)

Nadmierne opalanie jest szkodliwe, może powodować raka skóry, zaćmę, obniżenie odporności biologicznej. Indywidualna wrażliwość człowieka na promieniowanie UV zależy od typu jego skóry.

AKTUALNY INDEKS UV

PROGNOZA INDEKSU UV

MATERIAŁY EDUKACYJNE



Monitoring promieniowania UV jest realizowany przez Ośrodek Oceanografii i Monitoringu Hydrosfery i Atmosfery IMGW-PIB w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska na zlecenie Głównego Inspektora Ochrony Środowiska, finansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

