



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 2013 – 2016.**



Praca zrealizowana na podstawie umowy z GIOŚ nr 2/2014/F z dnia 31.03.2014 r., finansowana wyłącznie ze środków NFOŚiGW na podstawie umowy nr 670/2013/Wn-50/MN-PO/D z dnia 07.10.2013 r. o dofinansowanie pracy pt. „Monitoring całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą, rozkładu pionowego ozonu oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2013-2016” – zadanie nr 2.



Sprawozdanie z Etapu V, 2016 rok

- 1. Pomiary rozkładu pionowego ozonu sondą ozonową ECC 6A za 11-12.2015 oraz 01-05.2016**
- 2. Pomiary promieniowania UV-B 11-12.2015 oraz 01-05.2016**
- 3. Wyznaczanie całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową w okresie 11-12.2015 oraz 01-05.2016**
- 5. Kalibracja mierników i współpraca międzynarodowa**
- 6. Analiza danych oraz opracowywanie informacji dla odbiorców krajowych i międzynarodowych; raport za rok 2015**

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 Zarządzania Siecią Pomiarowo Obserwacyjną 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

6.2 RAPORT ZA ROK 2015

6.2.1 Wstęp

Warstwa ozonu w stratosferze (10-50km) absorbuje całkowicie promieniowanie nadfioletowe o długości fali poniżej 295nm, bardzo szkodliwe dla organizmów żywych i filtruje do powierzchni Ziemi kilka procent biologicznie czynnego promieniowania UV-B. Niewielka ilość promieniowania jest potrzebna do syntezy prewitaminy D₃ w organizmie człowieka, ale 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 mogą niszczyć ozon wysoko w stratosferze. Nieoczekiwanie na początku lat 1980. odkryto zjawisko dramatycznego wiosennego spadku całkowitej zawartości ozonu nad Antarktydą, poniżej umownej granicy 220 D („dziura ozonowa”). Odtąd dziura ozonowa pojawia się 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. 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. Antarktyczna dziura ozonowa spowodowała 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 2015 roku.

6.2.2 Stan warstwy ozonowej w skali globalnej

6.2.2.1 Stan zanieczyszczenia atmosfery Substancjami Zubażającymi Warstwę Ozonową

Działania podjęte w ramach Protokołu Montrealskiego 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 zmniejszają się zasadniczo zgodnie z prognozą, chociaż nie wszystko jest zrozumiałe, w szczególności poziom CCl_4 nie zmniejsza się tak szybko jak prognozowano. Większość kontrolowanych SZWO zmniejsza się, ale zwiększa się ilość związków, HCFC i halonu 1301.

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 15 lat temu.

Zmniejszają się 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 rok 2050 dla umiarkowanych szerokości geograficznych i 2075 dla Antarktydy.

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

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 zmniejszy się przy ścisłym wypełnianiu zaleceń PM.

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

6.2.2.2 Przyszłe zadania dotyczące SZWO

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

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

Korzystne 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) prawdopodobnie spowodują tylko niewielkie zmiany ozonu w bliskiej przyszłości. Prognozy dotyczące emisji tych substancji w przyszłości są niepewne.

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

6.2.2.3 Ewolucja warstwy ozonowej w skali globalnej

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

Całkowita zawartość ozonu zmniejszyła się o około 2.5% nad większą częścią planety w latach 1980. i wczesnych 1990., i pozostawała stabilna od roku 2000. Istnieją oznaki wzrostu globalnej kolumny ozonu w latach 2000-2012, zgodnie z przewidywaniami. 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 wychłodzenie powodowane przez wzrost zawartości CO₂ przyczyniają 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 ozon na tych wysokościach pozostawał stabilny, zgodnie z przewidywaniami.

Observacje zmian temperatury i ozonu w ciągu ostatnich 30-50 lat sugerują zwiększone unoszenie powietrza w tropikalnej dolnej stratosferze. Jest to spójne 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 silnie zależeć od przyszłych zawartości CO₂, N₂O i CH₄, i od zmian zawartości ozonu w troposferze. Za wyjątkiem jednego modelu, który prognozuje duży wzrost metanu, istotne spadki ozonu w tropikach są przewidywane w XXI wieku.

6.2.2.4 Ewolucja warstwy ozonowej w rejonach polarnych

Dziura ozonowa nad Antarktydą będzie się pojawiać co najmniej do roku 2050. Pojawiające się czasami duże ubytki ozonu w Arktyce, takie jak na wiosnę 2011 są możliwe również w najbliższych dziesięcioleciach. Regeneracja ozonu w rejonach polarnych mogłaby się pojawić wcześniej, gdyby nie było dalszej emisji kontrolowanych SZWO. Regeneracja może być również opóźniona przez wzrost

stratosferycznego aerozolu, np. przez wprowadzenie do stratosfery siarki poprzez duże erupcje wulkaniczne lub zastosowanie geoinżynierii.

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

Duże zniszczenie ozonu w Arktyce było obserwowane wiosną 2011 r. Było ono spowodowane 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 dużej destrukcji ozonu jak na wiosnę 2011 r., są i tak znacznie wyższe niż na wiosnę nad Antarktydą. Dopóki zawartość chloru i bromu w stratosferze będzie wysoka, czyli w ciągu najbliższych 10-20 lat, duże spadki ozonu w Arktyce mogą się pojawić. Można oczekiwać, że taki ubytek, jeśli się pojawi, będzie podobnej wielkości jak ten z wiosny 2011 r.

6.2.2.5 Zmiany w przeszłości stratosferycznego ozonu i klimatu

Dziura ozonowa nad Antarktydą spowodowała istotne zmiany klimatu przy powierzchni Ziemi podczas lata na półkuli południowej. Wychłodzenie dolnej stratosfery wywołane niszczeniem ozonu nad Antarktydą jest prawdopodobnie główną przyczyną obserwowanego przesunięcia na południe na półkuli południowej troposferycznej cyrkulacji podczas lata w ostatnich kilkudziesięciu latach. Te zmiany cyrkulacji wpływają na temperaturę na powierzchni Ziemi, na opady i stan oceanu. Do tej pory na półkuli północnej nie stwierdzono podobnego wpływu ozonu na zmianę cyrkulacji w troposferze i na klimat na powierzchni Ziemi. Istnieją również dowody na to, że podczas australijskiego lata proces regeneracji ozonu nad Antarktydą i wzrost zawartości gazów cieplarnianych 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.

W związku ze zmianami klimatu w Polsce coraz częściej pojawiają się silne burze. Intensywna konwekcja może powodować unoszenie wilgotnych 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 jest niezbędny do produkcji rodników wodoru (OH), które pełnią rolę detergentu usuwającego z atmosfery zanieczyszczenia, które nie są usuwane w inny sposób, na przykład przez opady. Symulacje pokazują możliwość powstawania "dziury OH". W rejonie jej występowania do stratosfery mogłyby się szybko przedostawać substancje niszczące warstwę ozonową.

6.2.2.6 Przyszłość warstwy ozonowej

Substancje Zubażające Warstwę Ozonową były dominującym czynnikiem sprawczym globalnego procesu zubożenia warstwy ozonowej w końcu XX wieku. W dolnej stratosferze, niszczenie ozonu było dominującą przyczyną obserwowanego globalnie uśrednionego długoterminowego wychłodzenia od lat 1980.

W górnej stratosferze modele wskazują, że wzrost ilości gazów cieplarnianych i zmiany ozonu w jednakowym stopniu przyczyniają się do obserwowanego wychłodzenia. Ponieważ kontrolowane koncentracje SZWO zmniejszają się, to gazy cieplarniane takie jak dwutlenek węgla (CO_2), podtlenek azotu (N_2O) i metan (CH_4) będą silnie wpływać na ewolucję warstwy ozonowej w pozostałej części tego stulecia, poprzez procesy chemiczne i zmiany klimatu. Wzrost N_2O będzie zmniejszać zawartość ozonu, podczas gdy wzrosty CH_4 i CO_2 będą powodować wzrost ozonu.

Niepewności co do przyszłych emisji tych gazów prowadzą do dużych różnic w przewidywanej zawartości ozonu na koniec tego stulecia. Istnieje również duża niepewność w rozumieniu bieżącego bilansu N_2O i CH_4 . Wyjaśnienie tempa wzrostu tych substancji jest wyzwaniem dla nauki.

6.2.3 Ocena stanu warstwy ozonowej w 2015 roku na podstawie wyników monitoringu.

W Polsce rutynowe sondáže ozonowe są wykonywane na stacji w Legionowie k/Warszawy od 1979 roku. Pomiar jest wykonywany w każdą 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. pomiary są kontynuowane z użyciem znacznie dokładniejszych sond ECC5/6A. Sonda umożliwia pomiar ciśnienia cząstkowego ozonu, z wysoką rozdzielczością pionową około 100m, dokładność pomiaru wynosi 5-10%. Podobne pomiary na świecie wykonywane są na rzadkiej sieci kilkudziesięciu stacji od lat 1960. Sondy ozonowe dostarczają najbardziej dokładnej informacji o rozkładzie pionowym ozonu w atmosferze, w związku z tym stanowią podstawę do walidacji satelitarnych pomiarów ozonu.

Na podstawie otrzymanego profilu ozonu poprzez całkowanie wyliczana jest całkowita zawartość ozonu od powierzchni Ziemi do granicy atmosfery, przy czym zawartość ozonu powyżej osiągniętego pułapu sondażu jest obliczana przy założeniu stałego stosunku mieszania ozon/powietrze. Ocenę jakości pomiaru wykonuje się poprzez obliczenie współczynnika korekcji (CF), tj. stosunku średniej dziennej lub wartości około południowej całkowitej zawartości ozonu zmierzonej spektrofotometrem Dobsona/Brewera w Belsku (odległego od Legionowa ~70km) do całkowitej zawartości ozonu z sondażu. Zgodnie z zaleceniami WMO, do analizy wybierane są sondáže z CF w zakresie 0,9-1,15. Sondáže ze współczynnikiem nieznacznie przekraczającym ten zakres mogą być włączane do analizy w sytuacjach dużego gradientu w rozkładzie przestrzennym ozonu nad Polską. Zmierzone wartości ozonu nie są mnożone przez CF.

6.2.3.1 Analiza rozkładu pionowego ozonu nad Legionowem w 2015 roku.

Na podstawie homogenicznej serii pomiarów z lat 1994-2015 obliczono zawartości ozonu w warstwach między standardowymi powierzchniami izobarycznymi oraz w warstwie od powierzchni 10hPa (~31km) do granicy atmosfery. Zawartość ozonu wyrażona jest w jednostkach Dobsona (D). 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 1m², na którą działa prostopadle siła 1N (niutona). W Tabeli 9 prezentowane są zawartości ozonu w miesiącach dla 2015 roku i wielolecia 1994-2014 a także standaryzowane odchylenia średnich miesięcznych roku względem średnich miesięcznych z wielolecia. Standaryzowane odchylenie pozwala w łatwy sposób wykryć anomalne zawartości ozonu w atmosferze – wskazują na to wartości odchylenia przekraczające +2 lub -2.

W profilach ozonu nad Legionowem w warstwie 300/150hPa widoczne jest przejście od małych koncentracji ozonu w troposferze do dużych koncentracji w stratosferze. Maksimum koncentracji ozonu znajduje się w warstwie 50/30hPa (~21-24km), ale najwyższe stężenia są osiągane w średniej stratosferze w okresie letnim. Główne fotochemiczne źródło ozonu znajduje się w równikowej średniej stratosferze. Ozon ze źródła jest transportowany do niższych wysokości wzdłuż nachylonych powierzchni izentropowych w stronę bieguna. W wysokich i umiarkowanych szerokościach geograficznych zawartość ozonu w stratosferze jest największa na przełomie zimy i wiosny i zmniejsza się do jesieni. Ozon 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.

Ze względu na ograniczony wpływ dynamiki atmosfery regeneracja warstwy ozonowej powinna się zacząć od najwyższych poziomów w stratosferze. Powyżej powierzchni 10hPa (31km) w 2015 roku przeważały zawartości ozonu poniżej średniej wieloletniej, z ujemną anomalią pod koniec lata (sierpień). W sierpniu obserwowano nietypowy rozkład pionowy ozonu: ubytki były widoczne prawie w całym profilu. Zimowy wzrost ozonu w polarnych masach rozpoczyna się na jesieni, po przebudowie cyrkulacji w stratosferze z letniej na zimową. W październiku 2015 r. wystąpił ponad przeciętny wzrost ozonu w warstwie 50/10hPa. Dla zimy 2014/2015 istotne znaczenie miało ogrzanie stratosferyczne na początku roku. W wyniku adyabatycznego procesu wzrosła zawartość ozonu w średniej stratosferze. W styczniu obserwowano dodatnie odchylenia zawartości ozonu w stratosferze na wysokościach powyżej powierzchni 50hPa, a poniżej tej powierzchni w lutym i marcu. W dolnej stratosferze w ciągu całego roku przeważały ujemne odchylenia zawartości ozonu w stosunku do średniej wieloletniej, z dużą ujemną anomalią ozonu w styczniu w warstwie 150/100hPa (silna adwekcja z niskich szerokości geograficznych półkuli północnej).

Tabela 9. Zawartość ozonu w warstwach atmosfery nad Legionowem w 2015 r.

Wyszczególnienie		Warstwy między standardowymi powierzchniami izobarycznymi (hPa)											
		<u>~1000</u> 700	<u>700</u> 500	<u>500</u> 300	<u>300</u> 200	<u>200</u> 150	<u>150</u> 100	<u>100</u> 70	<u>70</u> 50	<u>50</u> 30	<u>30</u> 20	<u>20</u> 10	<u>10</u> 00
Styczeń	a	8,6	7,8	7,9	9,9	12,2	19,9	33,9	39,8	65,8	43,2	43,7	40,8
	b	7,6	7,4	9,2	12,3	16,5	30,8	33,7	38,9	58,6	36,3	38,5	40,1
	c	0,3	0,1	-0,3	-0,6	-1,1	-2,7	0,0	0,2	1,8	1,7	1,3	0,2
Luty	a	9,0	7,6	8,8	11,8	21,1	38,4	42,0	40,7	64,1	41,0	44,5	43,3
	b	8,7	7,8	9,9	15,3	19,3	31,7	37,2	42,2	63,1	39,4	43,2	46,9
	c	0,0	-0,0	-0,2	-0,7	0,3	1,3	0,9	-0,3	0,2	0,3	0,2	-0,7
Marzec	a	12,0	8,6	11,2	19,2	23,7	35,9	37,3	42,5	62,0	38,6	43,8	45,9
	b	11,0	8,8	11,4	18,7	22,3	34,1	36,7	41,1	62,6	38,5	42,8	49,3
	c	0,2	-0,0	-0,0	0,1	0,3	0,4	0,1	0,3	-0,1	0,0	0,2	-0,8
Kwiecień	a	11,5	9,4	10,1	14,2	16,4	29,4	36,7	42,8	60,1	37,3	44,2	53,0
	b	12,7	10,1	12,9	18,6	21,4	32,1	34,4	38,9	59,2	38,2	46,7	54,4
	c	-0,2	-0,1	-0,5	-0,9	-1,0	-0,5	0,5	0,8	0,2	-0,2	-0,5	-0,3
Maj	a	12,6	10,4	11,8	12,0	17,2	24,6	27,9	38,8	58,1	39,1	51,7	58,8
	b	13,6	10,6	12,3	15,6	19,9	27,4	28,0	34,4	54,5	37,5	47,0	56,8
	c	-0,2	-0,0	-0,1	-0,8	-0,5	-0,6	-0,0	0,9	0,7	0,3	1,0	0,4
Czerwiec	a	13,4	10,9	12,7	12,9	14,0	24,2	27,0	32,1	54,3	38,4	50,9	53,6
	b	13,3	10,8	13,1	14,2	17,1	24,0	25,4	31,2	52,0	38,8	48,7	58,2
	c	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,8	0,1	0,4	0,2	0,6	-0,1	0,6	-1,2
Lipiec	a	12,4	10,0	11,3	12,5	12,3	19,8	24,7	30,0	48,9	38,0	50,7	54,9
	b	13,1	10,4	12,8	14,0	14,7	20,3	22,3	29,0	49,5	37,7	47,6	55,3
	c	-0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,5	-0,1	0,5	0,2	-0,1	0,1	0,7	-0,1
Sierpień	a	15,9	9,6	11,3	9,6	7,3	13,1	19,5	25,4	38,6	30,2	37,8	43,5
	b	12,5	10,3	12,3	10,8	11,7	19,3	23,4	28,8	46,9	35,4	47,6	53,8
	c	0,7	-0,1	-0,2	-0,2	-0,9	-1,3	-0,8	-0,7	-1,7	-1,0	-2,0	-2,1
Wrzesień	a	11,5	9,8	9,8	8,2	8,0	16,7	23,9	29,1	44,9	32,4	44,8	47,1
	b	10,7	9,2	10,4	9,2	9,0	17,6	23,6	28,8	46,4	33,2	41,7	49,8
	c	0,2	0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	0,1	0,1	-0,4	-0,2	0,8	-0,7
Październik	a	9,7	8,3	9,3	8,2	7,3	14,1	23,8	30,8	50,5	38,0	44,7	42,8
	b	9,5	8,3	9,6	8,7	8,8	16,5	22,9	27,9	45,1	32,1	38,1	43,2
	c	0,0	-0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,5	0,2	0,6	1,1	1,2	1,4	-0,1
Listopad	a	8,7	8,0	9,0	7,7	8,1	17,1	19,2	27,7	48,0	32,3	36,0	34,4
	b	8,2	7,7	8,7	8,8	9,6	19,3	25,8	29,4	48,1	35,2	36,6	39,5
	c	0,1	0,1	0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-1,6	-0,4	-0,0	-0,7	-0,2	-1,2
Grudzień	a	9,8	7,8	8,1	5,2	9,0	17,7	22,1	29,3	51,5	38,7	42,0	37,7
	b	7,6	7,5	8,6	9,1	11,0	23,0	28,5	32,7	53,8	36,4	37,5	37,9
	c	0,5	0,1	-0,1	-0,9	-0,5	-1,3	-1,5	-0,8	-0,6	0,6	1,1	-0,0

a – średnie miesięczne (D) w 2015 r.

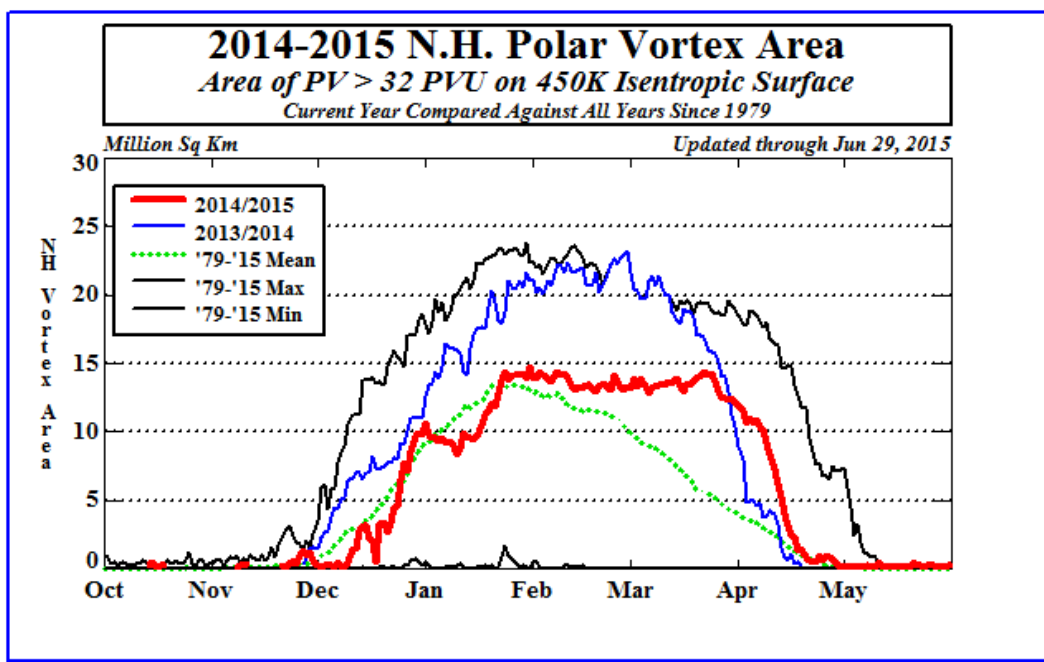
b – średnie miesięczne wieloletnie (D) z lat 1994-2014

c – standaryzowane odchylenie: $(a - b)/\sigma$, gdzie σ jest odchyleniem standardowym średnich miesięcznych z lat 1994-2014.

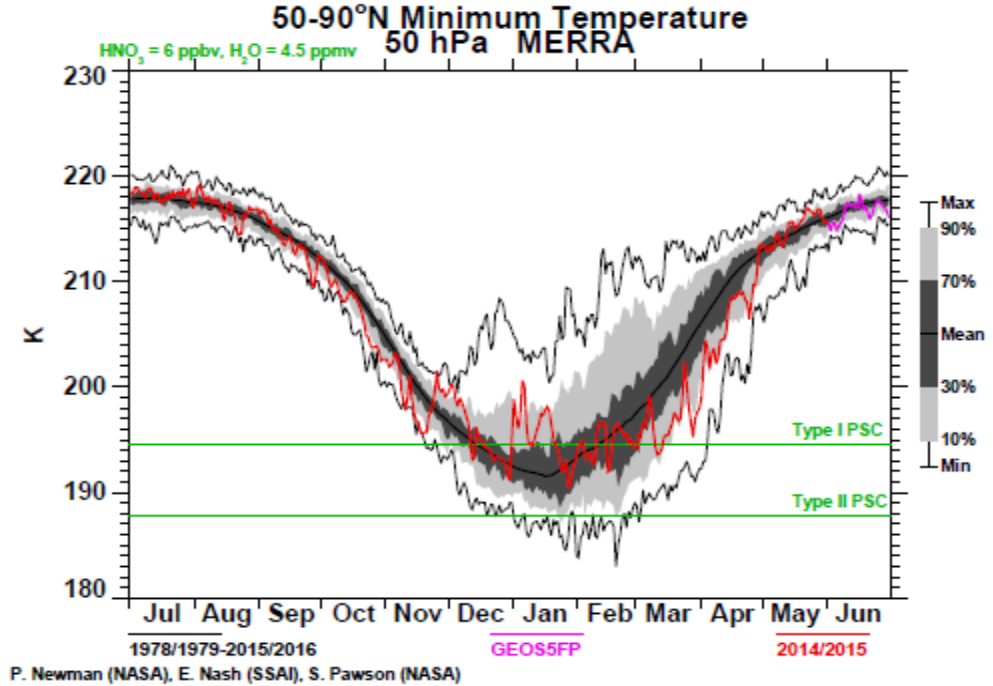
Warunki meteorologiczne w stratosferze nad półkulą północną podczas zimy 2014/15

W stratosferze w wysokich szerokościach geograficznych każdego roku na jesieni formuje się wir polarny – to jest obszar chłodnego powietrza odizolowanego przez prąd strumieniowy od cieplejszego powietrza umiarkowanych szerokości geograficznych. Brak mieszania chłodnego i zimnego powietrza powoduje, że polarne powietrze staje się jeszcze chłodniejsze, z powodu radiacyjnej utraty ciepła podczas nocy polarnej. Cząstki powietrza wewnątrz wiru poruszają się na powierzchniach izentropowych (powierzchnie jednakowej temperatury potencjalnej) Powierzchnia 450K leży na wysokości 18km, to jest na wysokości maksymalnej koncentracji ozonu w rejonach polarnych. Na Rys. 1 przedstawiono wielkość powierzchni arktycznego wiru polarnego w sezonie zimy/wiosny 2014/15, na tle zmian wieloletnich. Wir polarny uformował się w grudniu. W końcu stycznia osiągnął rozmiar ~15 mln km² – przeciętny dla warunków na półkuli północnej. Stabilny wir utrzymywał się na tej powierzchni do połowy marca. Rozpad wiru polarnego był opóźniony – wir stopniowo zmniejszał swoją powierzchnię w kwietniu, aż do całkowitego zaniku na początku maja.

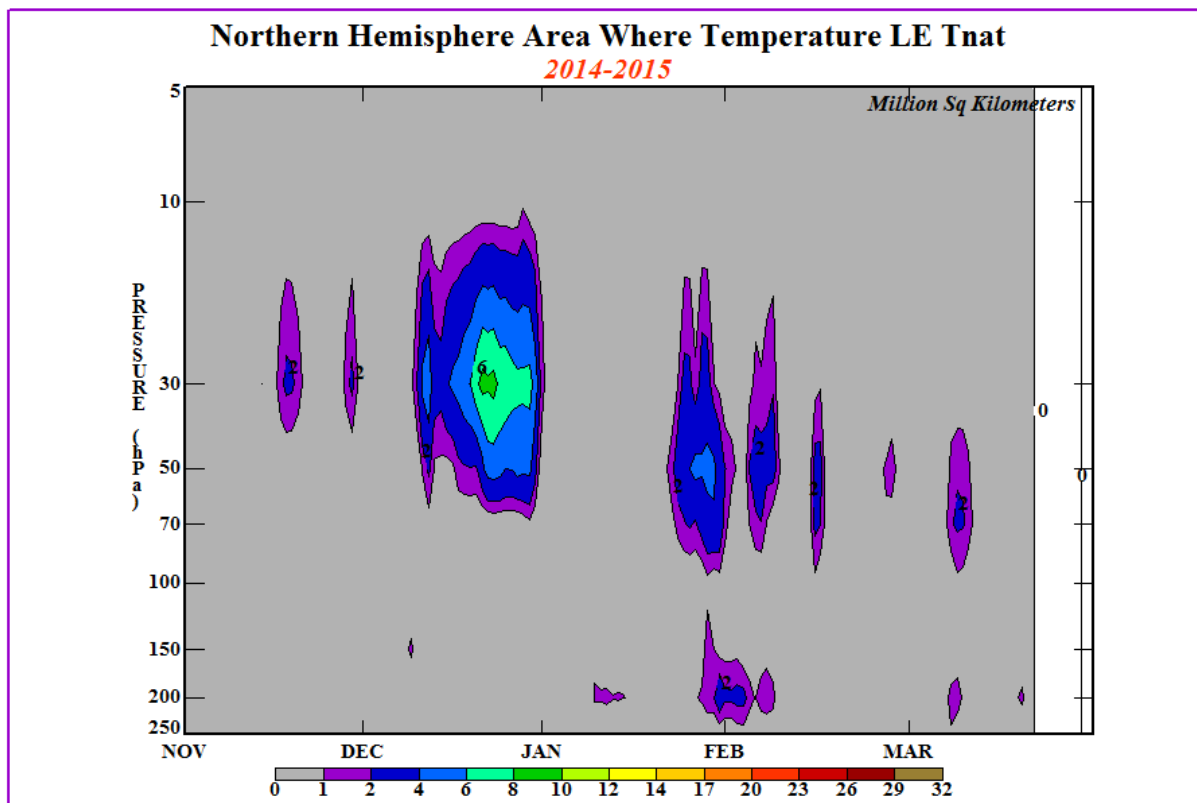
Zmienność temperatur w polarnej stratosferze na półkuli północnej jest znacznie większa niż na półkuli południowej. Rys. 2 przedstawia zmiany w czasie najniższej temperatury na powierzchni izobarycznej 50hPa (~21km) na północ od 50°N (linia w kolorze czerwonym) dla zimy 2014/2015, w odniesieniu do zmian wieloletnich. Gdy temperatura w stratosferze spada poniżej wartości progowej, -78°C, para wodna może kondensować na aerozolach siarkowych i rosnąć krople tworzące tzw. polarne chmury stratosferyczne (PSC typu I). Gdy temperatura spada poniżej -85°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 rezerwuarowymi postaciami chloru (HCl, ClONO₂). Wynikiem tych reakcji jest wzrost koncentracji aktywnych rodników chloru (ClO, Cl₂O₂). Podstawowe znaczenie w procesie niszczenia ozonu ma grawitacyjne osiadanie dużych cząstek PSC zawierających kwas azotowy (HNO₃). To osiadanie powoduje usuwanie NO₂ ze stratosfery, tzw. proces denitryfikacji. Proces ten zapobiega odtwarzaniu rezerwuaru ClONO₂, co znacznie zwiększa ilość aktywnych rodników chloru. Nagromadzony chlor rozpoczyna katalityczny rozpad ozonu natychmiast po pojawieniu się Słońca nad horyzontem. Dopóki temperatury pozostają poniżej progu 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 rezerwuarowych, które nie niszczą ozonu. Jedna cząsteczka ClO przed ponownym połączeniem z cząsteczką NO₂ jest w stanie zniszczyć tysiące cząsteczek ozonu. Potencjał niszczenia ozonu na półkuli północnej w sezonie zimowo-wiosennym 2014/2015 był ograniczony ponieważ nie doszło do utworzenia PSC złożonych z kryształków lodu.



Rys. 1 Powierzchnia arktycznego wiru polarnego w sezonie zimy/wiosny 2014/2015
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar/gif_files/vtx_nh_2014-2015.png



Rys. 2 Najniższa temperatura w stratosferze na powierzchni izobarycznej 50hPa na północ od 50°N w sezonie zimy/wiosny 2014/2015 (źródło: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>)



Rys. 3 Powierzchnie PSC nad półkulą północną w sezonie zimowo-wiosennym 2014/2015 (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/polar/gif_files/time_pres_tnat_NH_2014.png)

Rys. 3 przedstawia zmiany w czasie powierzchni PSC typu I nad półkulą północną w sezonie zimowo-wiosennym 2014/2015. Sezon występowania PSC rozpoczął się w listopadzie. Najbardziej rozległe PSC występowały w grudniu, w pobliżu powierzchni 30hPa zajmowały obszar $\sim 6 \text{ mln km}^2$. Po ogrzaniu stratosferycznym na początku roku przejściowo zanikły. Od trzeciej dekady stycznia do zakończenia sezonu PSC na początku marca występowały z przerwami na dużo mniejszej powierzchni. Widać, że warstwa najbardziej chłodnego powietrza wewnątrz wiru polarnego osiada od powierzchni 30hPa ($\sim 24 \text{ km}$) na początku zimy do 70hPa ($\sim 18 \text{ km}$) na końcu zimy.

Zimowo-wiosenne ubytki ozonu stratosferycznego

W okresie spodziewanych ubytków ozonu od stycznia do kwietnia 2015 r. wystąpiły 4 epizody ze spadkami CZO_3 w sondażach większymi niż 10% w stosunku do średniej wieloletniej. Na Rys. 4 przedstawiono profile ciśnienia cząstkowego ozonu nad Legionowem dla wybranych dni, z odniesieniem do serii pomiarów ± 15 dni od daty sondażu w latach 1994-2014. W profilach są widoczne ujemne anomalie – wartości koncentracji ozonu poniżej 5 centyla. Na Rys. 5 dla tych samych dni przedstawiono mapy WMO procentowych odchyłek CZO_3 na półkuli północnej z pomiarów satelitarnych GOME-2 i pomiarów ze stacji naziemnych (<http://lap.physics.auth.gr/ozonemaps2/archive.php?gType=perDate>). Analizowano wsteczne trajektorie HYSPLIT (<http://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajtype.pl?runtype=archive>) dla cząstek powietrza na wysokościach niskich koncentracji ozonu nad Legionowem. Transport mas powietrza

nad półkulą północną na powierzchniach izentropowych 380K (~15km) i 475K (~19km) obrazują mapy wirowości potencjalnej MIMOSA <http://www.pole-ether.fr/etherTypo/index.php?id=1450&L=1> (Rys. 7-8). Na tej samej stronie internetowej są dostępne wyniki modelu REPROBUS, w którym szacowana jest strata ozonu w danej masie powietrza w procentach od początkowej wartości na początku zimy. Model uwzględnia dynamikę i chemię atmosfery, w tym reakcje heterogeniczne niszczenia ozonu na powierzchniach PSC. Z porównania w tych samych dniach map ubytków ozonu (Rys. 9) i wirowości potencjalnej 475K (Rys. 8) wynika, że proces niszczenia ozonu zachodzi w obrębie wiru polarnego. Przy jego przemieszczeniach nad Polskę można obserwować skumulowany efekt niszczenia ozonu w chłodnej polarnej masie.

Epizod 7 stycznia 2015

Na początku stycznia 2015 r. miało miejsce ogrzanie stratosferyczne. W wyniku tego arktyczny wir polarny podzielił się (Rys. 8). W profilu ozonu nad Legionowem wystąpiła ujemna anomalia na wysokości 26km (Rys. 4). Masa z obniżoną zawartością ozonu nad Polską pochodziła z rejonu Arktyki - cząstka powietrza sięgająca Legionowa na wysokości 26km przemieszczała się po cyklonicznej trajektorii wewnątrz wiru, i większość czasu przebywała w nieoświetlonym obszarze blisko bieguna północnego (Rys. 6). Badania tempa niszczenia ozonu w wirze polarnym w ramach kampanii Match, w których stacja Legionowo uczestniczy od 1995 roku, pokazują, że w obszarach nieoświetlonych niszczenie ozonu nie jest możliwe. Na niższych wysokościach stacja znalazła się na brzegu wiru polarnego (Rys. 8). Według modelu REPROBUS strata ozonu na brzegu wiru polarnego na początku stycznia wynosiła mniej niż 10 procent (Rys. 9).

Ekstremalnie niskie koncentracje ozonu występowały w górnej troposferze pod tropopauzą (Rys. 4). Powietrze przemieszczające się nad stacją na wysokości 9km zostało przeniesione adwekcyjnie z dolnej troposfery blisko równika.

Kolumna ozonu nad Legionowem była o 17 % niższa niż przeciętnie (Rys. 4). W centrum anomalii w rejonie Wysp Brytyjskich odnotowano 20% spadek ozonu (Rys. 5). Stratyfikacja mas powietrza podczas tego epizodu była analogiczna jak w przypadku mini-dziur ozonowych.

Epizod 28 stycznia 2015

CZO₃ w sondażu spadła o 13% poniżej normy (Rys. 4). Spadki ozonu na wysokościach 25km i 19km (Rys. 4) związane były z niszczeniem ozonu w chłodnej masie powietrza polarnego, przemieszczającego się na trajektoriach w oświetlonych przez Słońce obszarach (Rys. 6). Procesowi niszczenia ozonu sprzyjała aktywacja chloru na powierzchniach PSC (Rys. 3). Analiza danych satelitarnych i naziemnych CZO₃ nad półkulą północną wykazała spadek ozonu na rozległym obszarze wewnątrz wiru polarnego. W centrum anomalii nad Syberią zawartość ozonu w kolumnie atmosfery obniżyła się o 25% w stosunku do średniej wieloletniej (Rys. 5). Zasadniczą przyczyną spadku ozonu podczas tego epizodu była adwekcja wiru polarnego, w którym trwał proces fotochemicznej destrukcji ozonu.

Epizod 12 lutego 2015

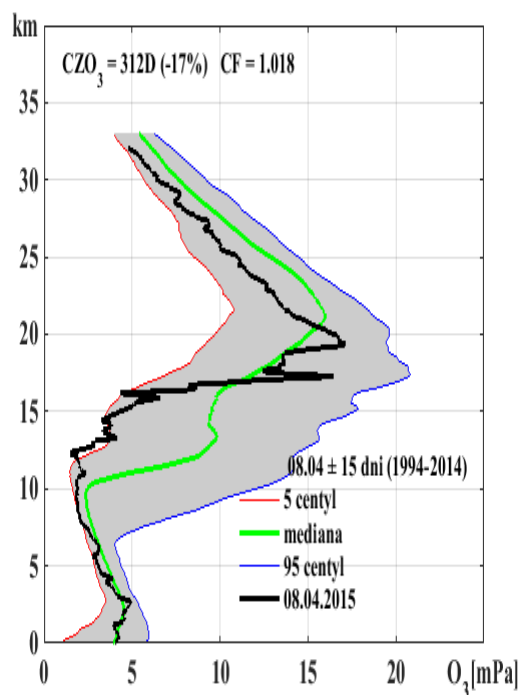
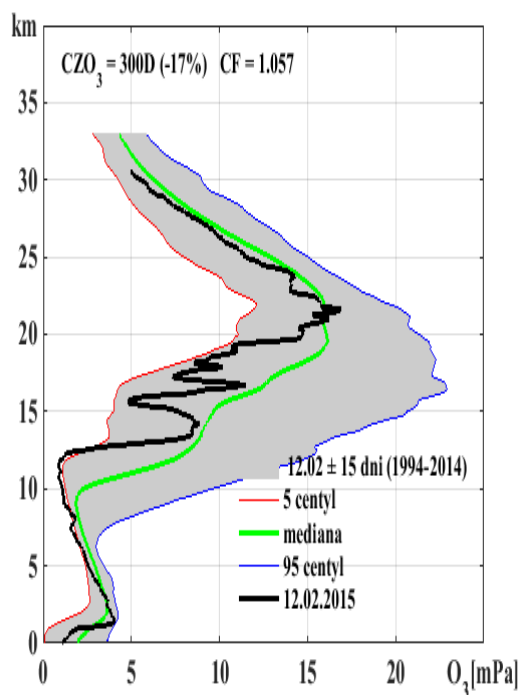
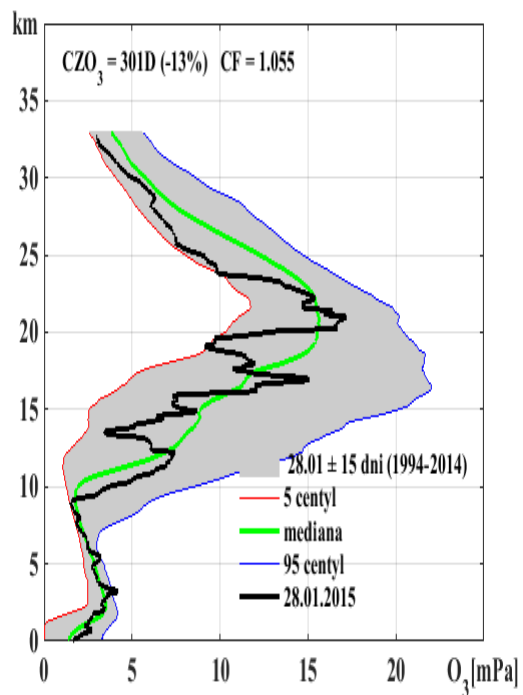
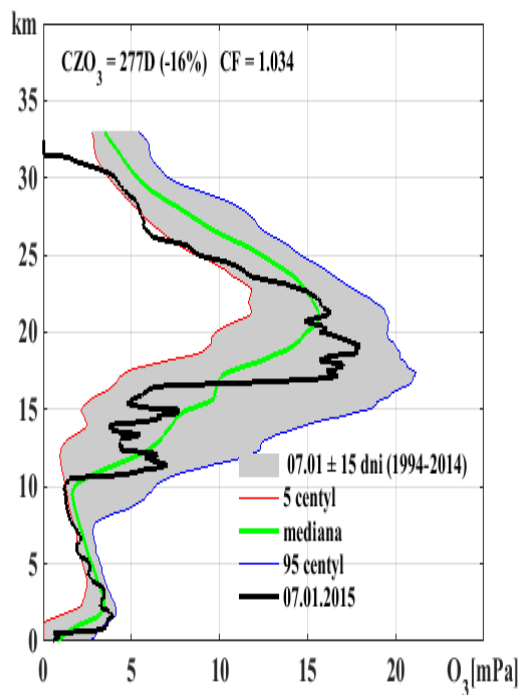
Polska znajdowała się poza wirami polarnymi (Rys. 8). Kolumna ozonu nad Legionowem była o 13% niższa niż przeciętnie (Rys. 4). Powietrze na trajektoriach sięgających Legionowa na wysokościach 18km i 9km pochodziło z niskich szerokości geograficznych półkuli północnej. Częstka, która znalazła się w górnej troposferze została uniesiona z warstwy granicznej nad Oceanem Atlantyckim. Główną przyczyną spadku ozonu podczas tego epizodu był transport subtropikalnego powietrza o małej wirowości w rejonie tropopauzy (Rys. 7, 8).

Epizod 8 kwietnia 2015

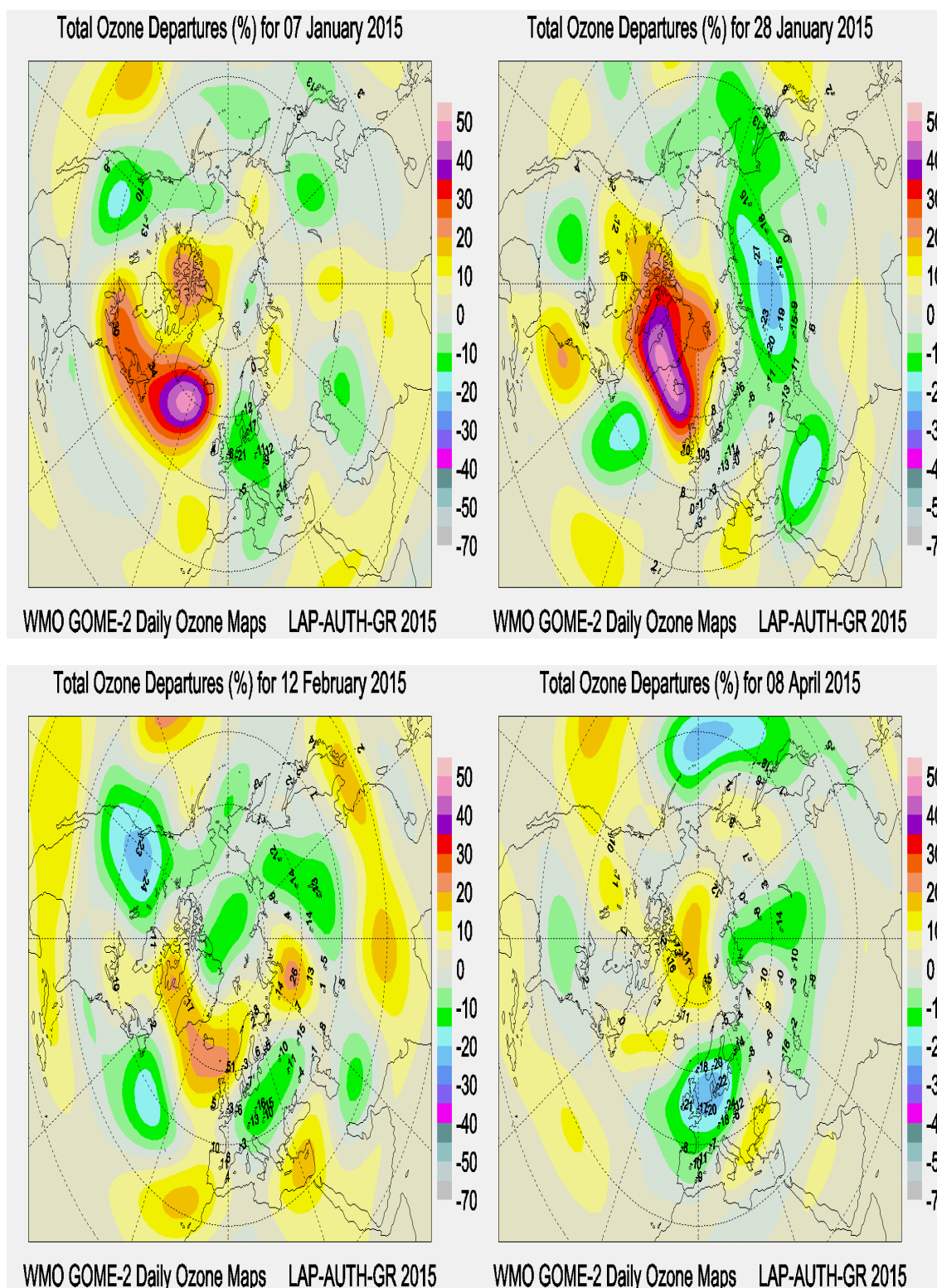
Epizod obserwowano w fazie powolnego rozpadu arktycznego wiru polarnego. Wir wydłużył się południkowo i sięgał daleko na południe Europy (Rys. 8). Powietrze przemieszczające się na trajektoriach kończących się nad Legionowem na wysokościach 18km i 25km pochodziło z rejonu Arktyki (Rys. 6). Sonda próbowała niewielki ale wyraźny ubytek ozonu w warstwie maksymalnej koncentracji ozonu pomiędzy 17km a 19km oraz obniżone w stosunku do średniej wieloletniej koncentracje ozonu na wysokościach powyżej 21km (Rys. 4). Według modelu REPROBUS w sezonie zimowo-wiosennym wewnątrz arktycznego wiru polarnego zniszczona została co trzecia cząsteczka ozonu (Rys. 9).

Adwekcja subtropikalna wzmogła się na wiosnę. Sonda próbowała ekstremalnie niskie koncentracje ozonu w górnej troposferze i dolnej stratosferze do wysokości 17km (Rys. 4). Analiza ruchu na trajektorii kończącej się nad Legionowem w sąsiedztwie tropopauzy pokazała unoszenie subtropikalnego powietrza z górnej troposfery (Rys. 6). Bardzo mała wartość wirowości potencjalnej 380K (15km) nad Europą Zachodnią wskazuje transport z rejonu tropikalnego (Rys. 7). W centrum anomalii CZO_3 spadła o 20% poniżej normy (Rys. 4).

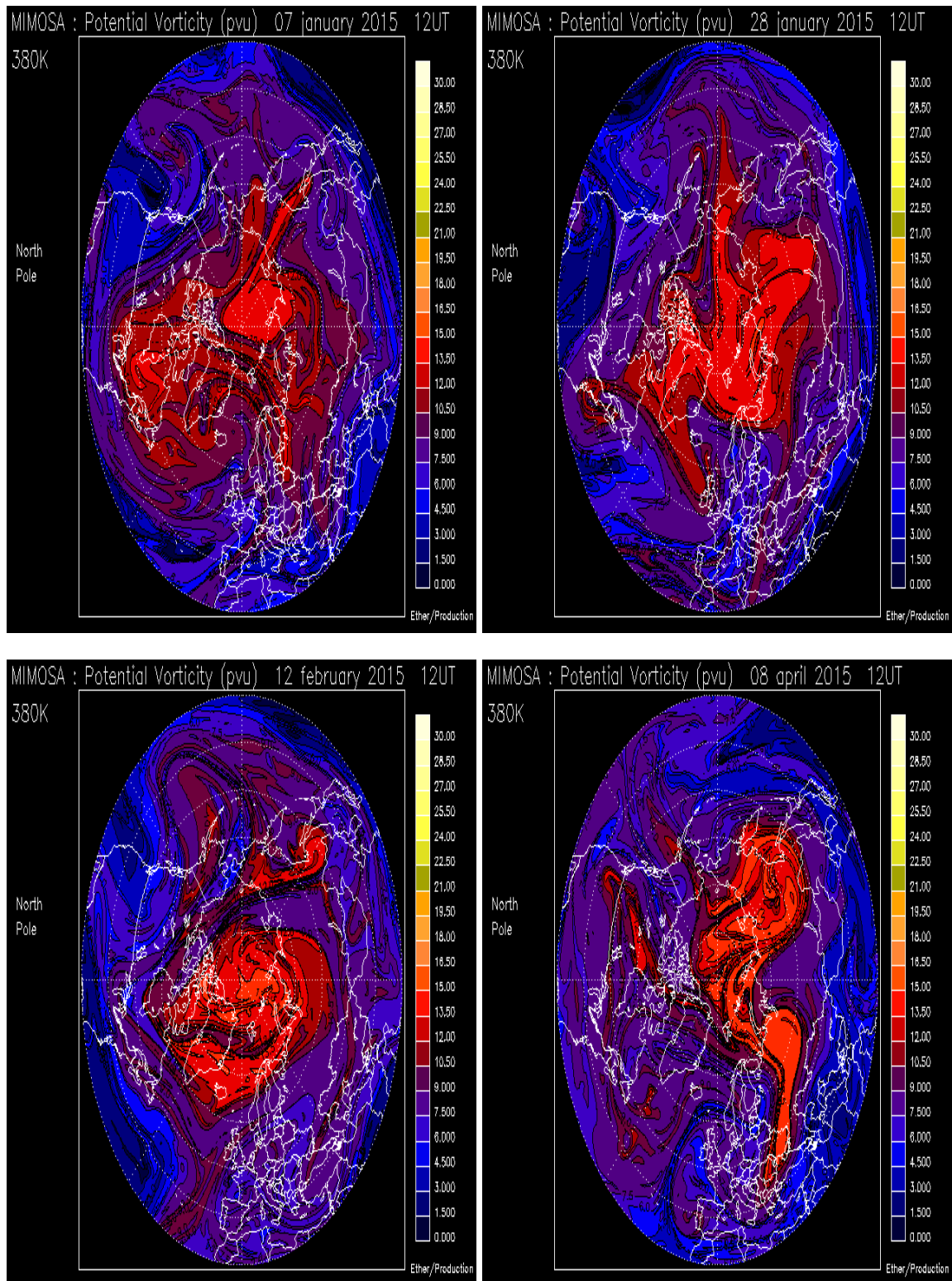
Podczas tego epizodu wystąpiła kombinacja: opóźnionego rozpadu wiru polarnego z naturalnie niską koncentracją ozonu w średniej stratosferze, fotochemicznego ubytku ozonu w warstwie maksymalnej koncentracji ozonu i wzmoczonej adwekcji (sub) tropikalnej z naturalnie niską koncentracją ozonu w górnej troposferze i dolnej stratosferze. Spadek ozonu w centrum i na północy kraju przyczynił się do wzrostu poziomu Indeksu UV na stacjach IMGW-PIB w Legionowie i Łebie (Rys. 23).



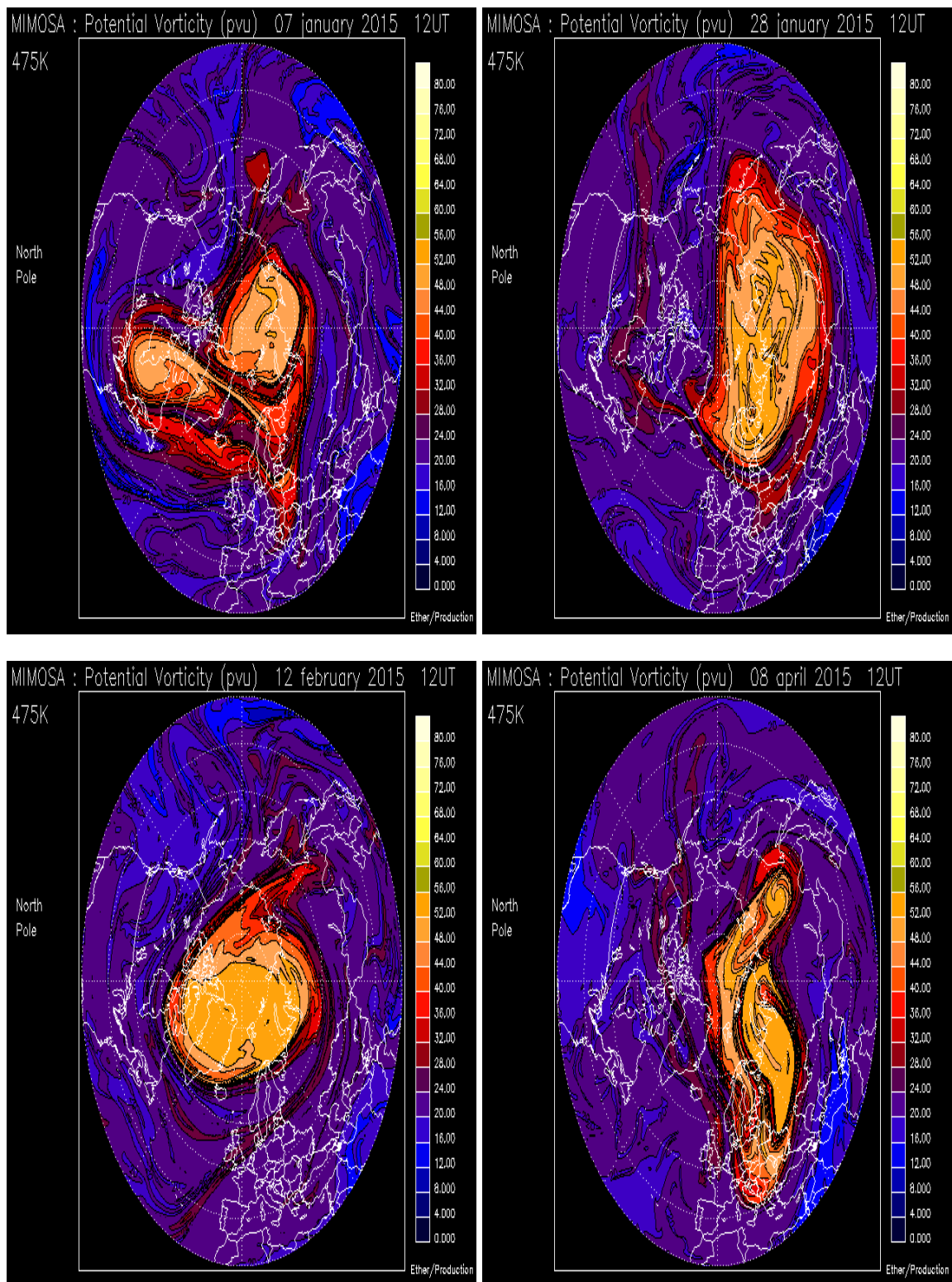
Rys. 4 Wybrane sondáže z ubytkami ozonu nad Legionowem.



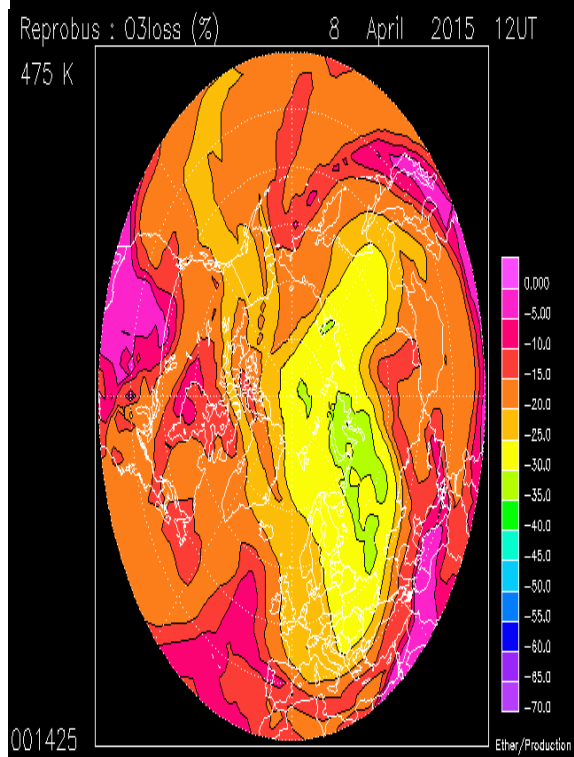
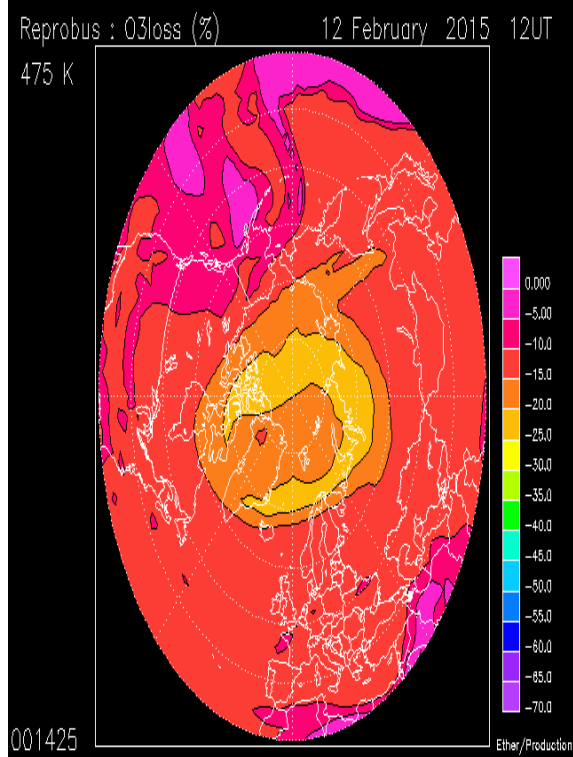
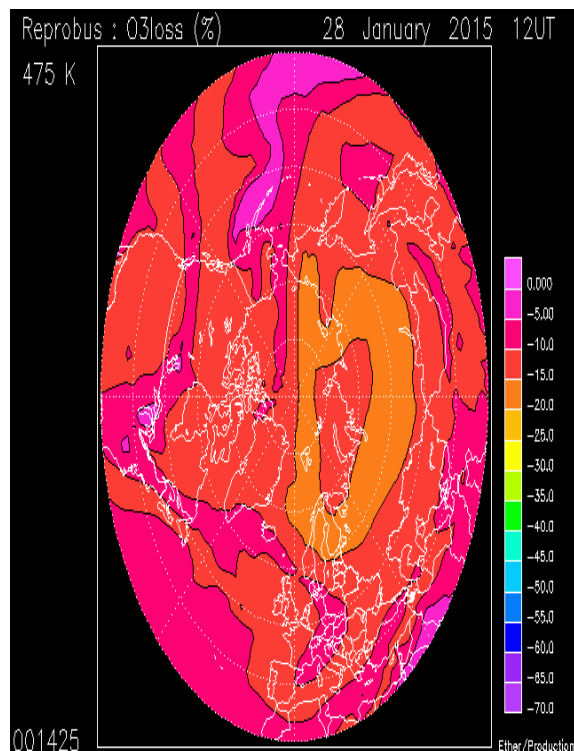
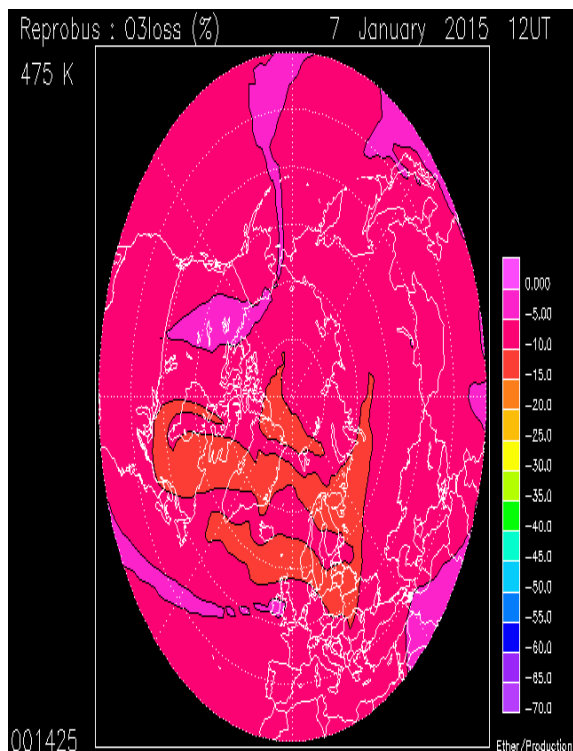
Rys. 5 Odchylenia procentowe CZO₃ całkowitej zawartości ozonu w pomiarach satelitarnych GOME-2 i na sieci stacji naziemnych.



Rys. 7 Wirowość potencjalna na powierzchni izentropowej 380K nad półkulą północną.



Rys. 8 Wirowość potencjalna na powierzchni izentropowej 475K nad półkulą północną.



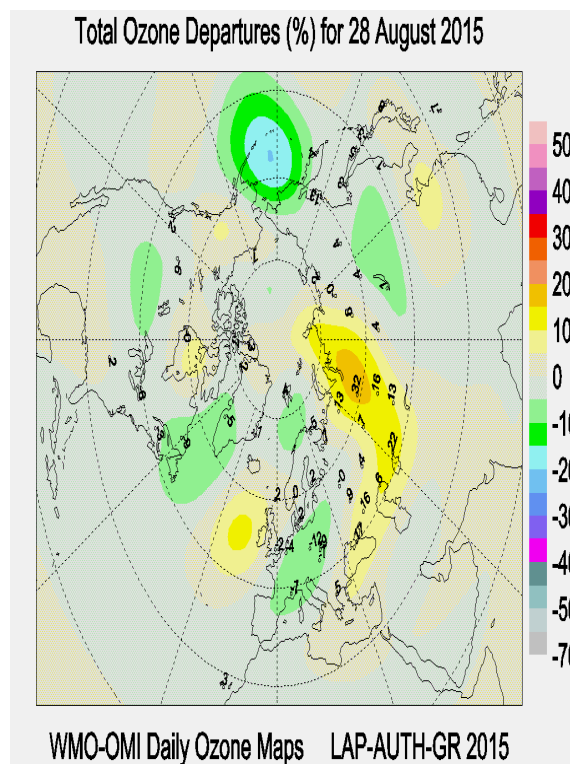
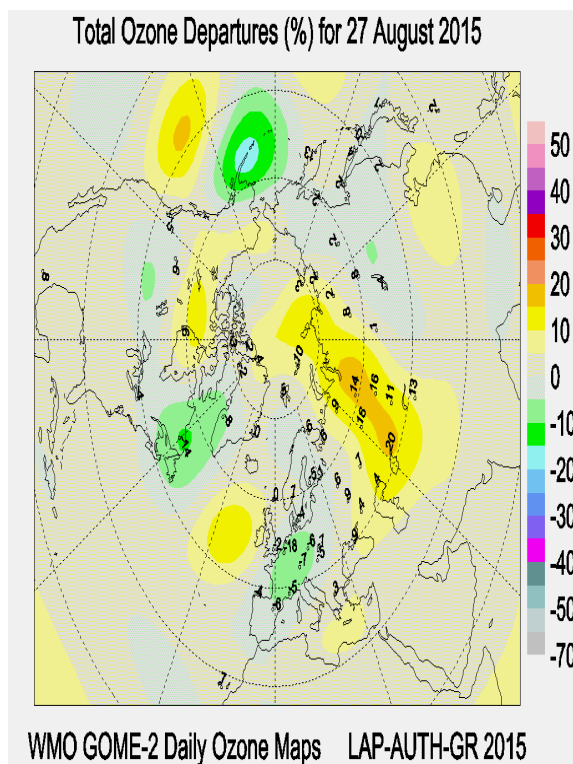
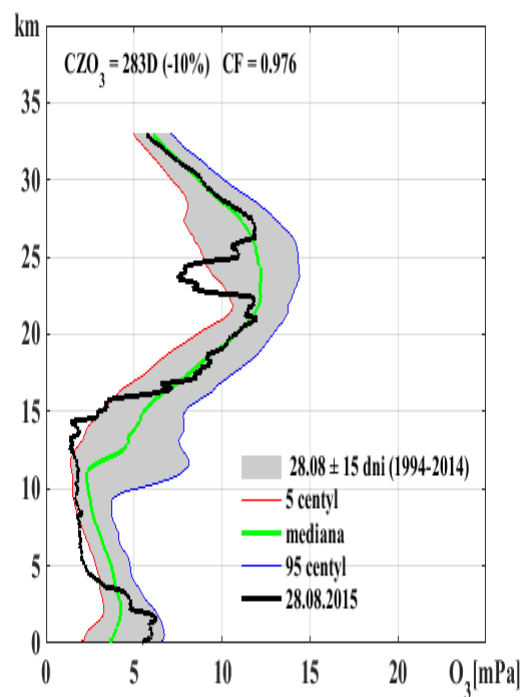
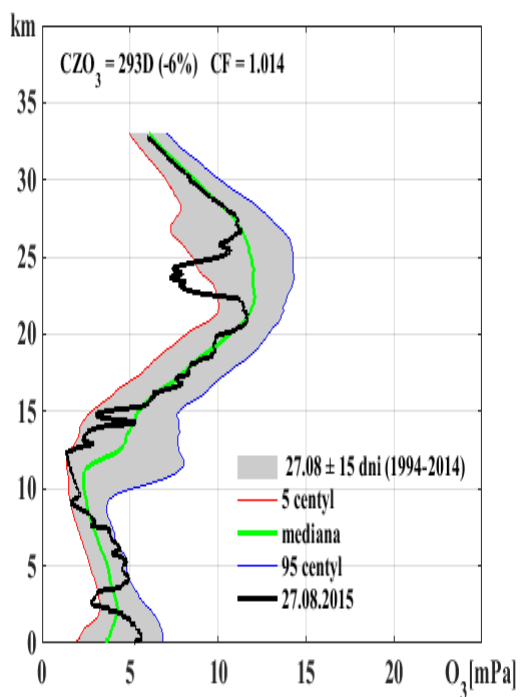
Rys. 9 Procentowa strata zawartości ozonu od początku zimy na powierzchni izentropowej 475K według modelu REPROBUS.

Letnie ubytki ozonu w stratosferze

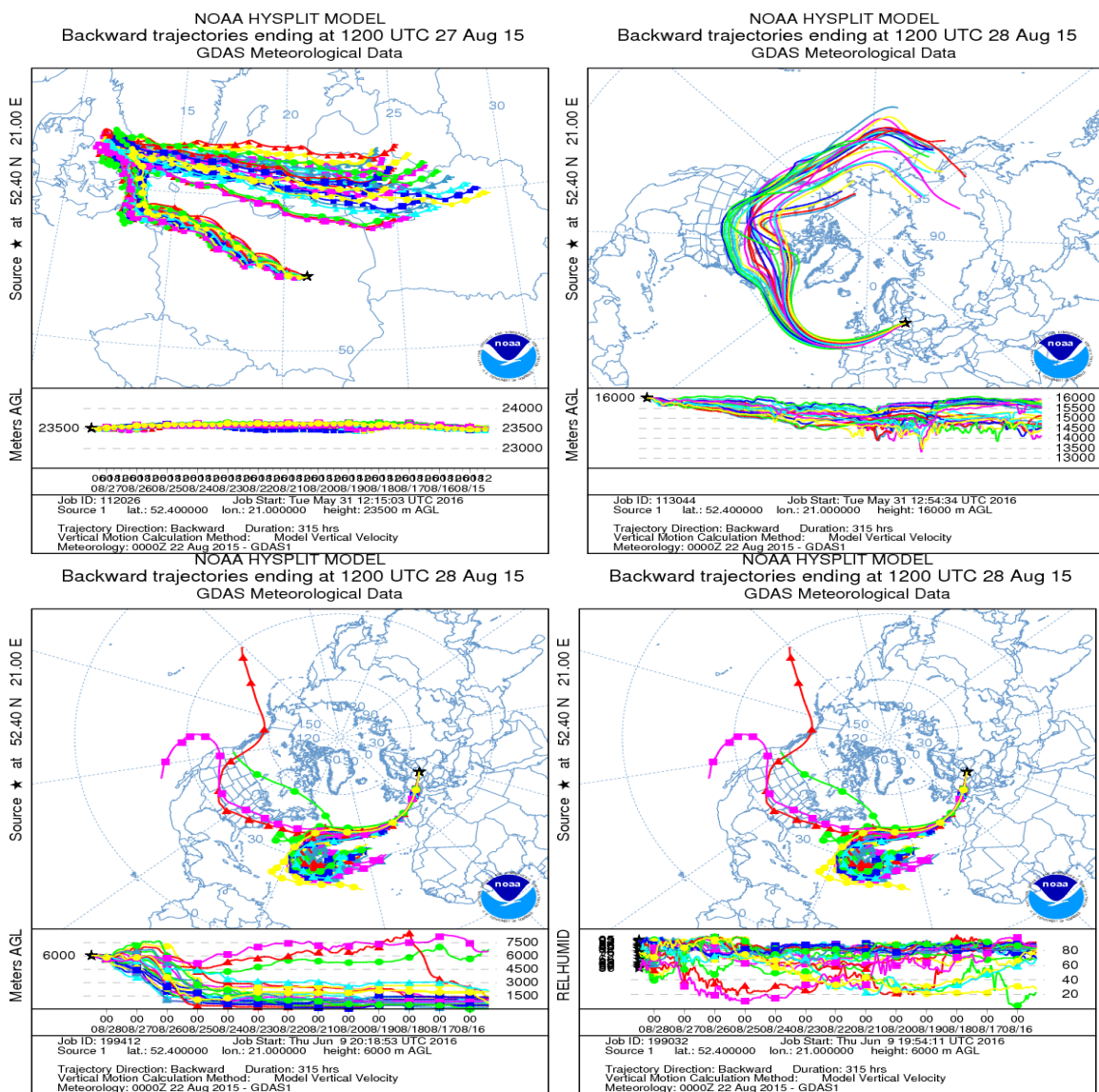
W okresie letnim nad Europą obserwowane są epizody niewyjaśnionych spadków CZO_3 . W końcu sierpnia 2015 r. maksymalne spadki CZO_3 nad częścią Europy obejmującą Polskę wynosiły 13-18% poniżej normy (Rys. 10).

W profilach ozonu nad Legionowem 27 i 28 sierpnia wystąpiła ujemna anomalia w warstwie 23-25km (Rys. 4). Powietrze na trajektoriach kończących się w otoczeniu stacji w pobliżu wysokości 23,5km wykazało bardzo powolny antycyklonalny ruch (Rys. 11). Anomalia utrzymywała się przez szereg dni – ubytek ozonu na tej wysokości obserwowano w profilach ozonu na początku września.

Powietrze na trajektoriach w najniższej części dolnej stratosfery wykazywało tendencję do powolnego wznoszenia. W profilu z 28 sierpnia wystąpiła anomalia ozonu w troposferze w bardzo grubej warstwie od 4km do 14km. Anomalia została wywołana unoszeniem ciepłego i wilgotnego powietrza znad wód Oceanu Atlantyckiego. Obrazują to trajektorie zespołu cząstek sięgających Legionowa na wysokości 6km. (Rys. 11).



Rys. 10 Epizod letniego ubytku ozonu nad Europą w sierpniu 2015 r.

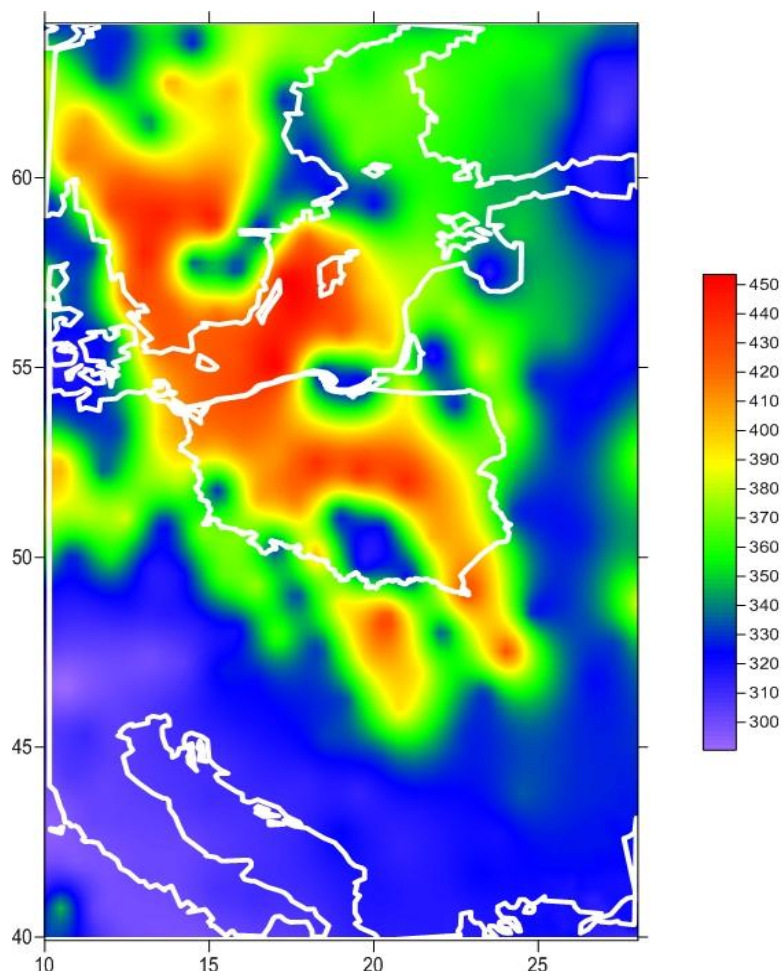


Rys. 11 Zespoły cząstek powietrza na trajektoriach dla epizodu letniego ubytku ozonu nad Europą.

6.2.3.2 Ozon całkowity z danych satelitarnych nad Europą Środkową w 2015 roku.

Satelitarny monitoring całkowitej zawartości ozonu w 2015 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 i Metop-A w punktach odpowiadających 3x3 pikselom HIRS. Ze względu na fakt, że współrzędne geograficzne tych punktów są różne dla poszczególnych transmisji, 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

krigingu zwykłego. Na rysunku 12 przedstawiono przykładowy rozkład całkowitej zawartości ozonu z dnia 17 marca 2015.

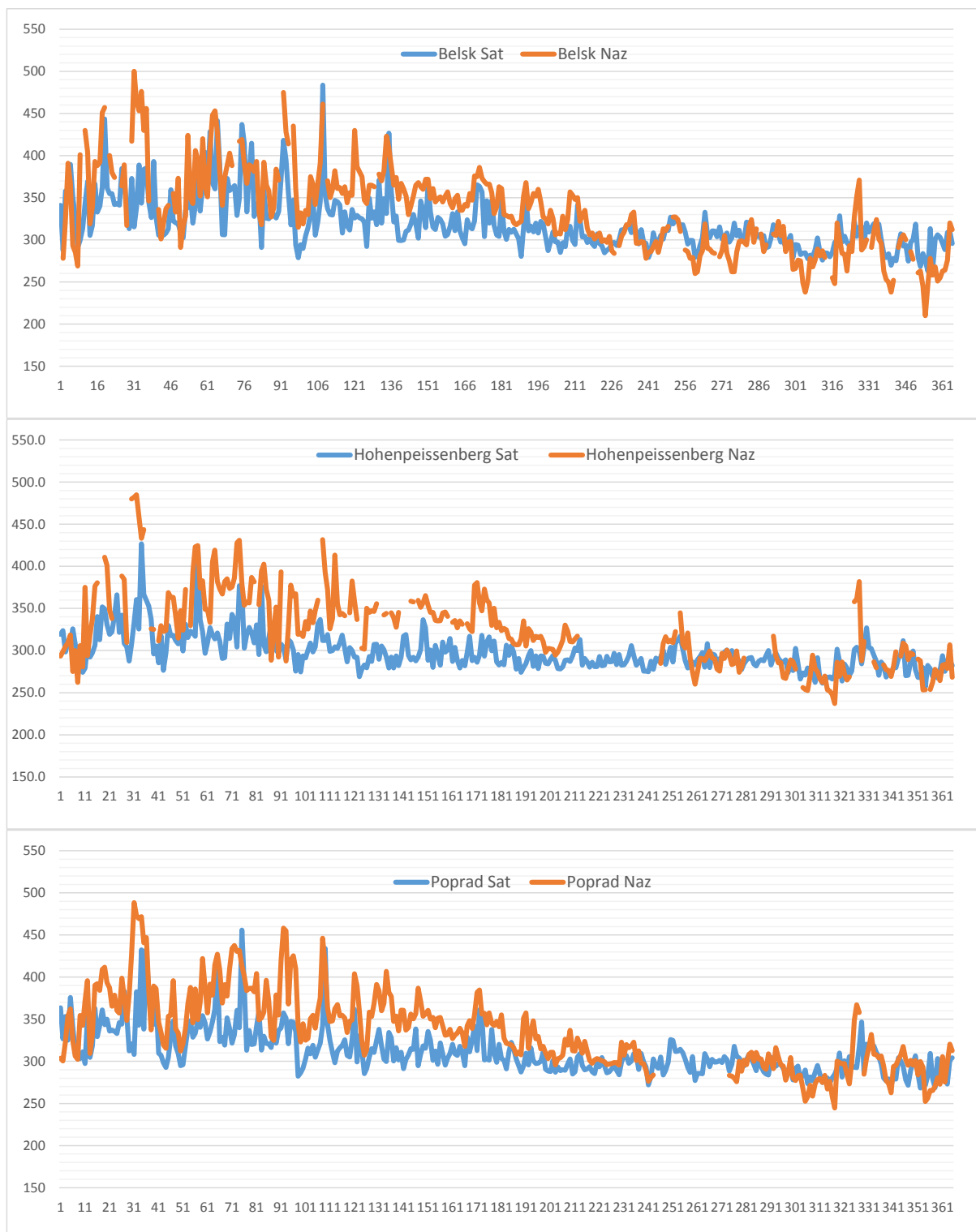


Rys. 12 Całkowita zawartość ozonu (D) w dniu 17 marca 2015, godz. 0815 UTC, wyznaczona z danych Metop-A.

Mapy całkowitej zawartości ozonu wyznaczane były dla każdej odebranej transmisji NOAA-18, NOAA-19 oraz Metop-A. W 2015 roku nie było problemów z odbiorem danych satelitarnych i mapy rozkładu całkowitej zawartości ozonu nad Europą Środkową były wygenerowane dla każdego dnia.

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. Stacje te to: Belsk (21°E, 52°N), Hohenpeissenberg (11,0°E, 47,8°N) oraz Poprad-Ganovce (20,9°E, 49°N). Ze względu na duże braki w serii danych naziemnych dla Hradec-Kralove, stacja ta nie została uwzględniona w porównaniu. Dane dla stacji w Belsku pochodzą z Instytutu Geofizyki PAN, a dane dla pozostałych dwóch stacji pobrane zostały ze Światowego Centrum Danych Ozonowych i UV znajdującego się w Toronto (Kanada) (www.woudc.org). Na Rysunku 13 przedstawiono przebiegi krzywych całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z satelitarnych danych i zmierzonej spektrofotometrem dla wymienionych wyżej

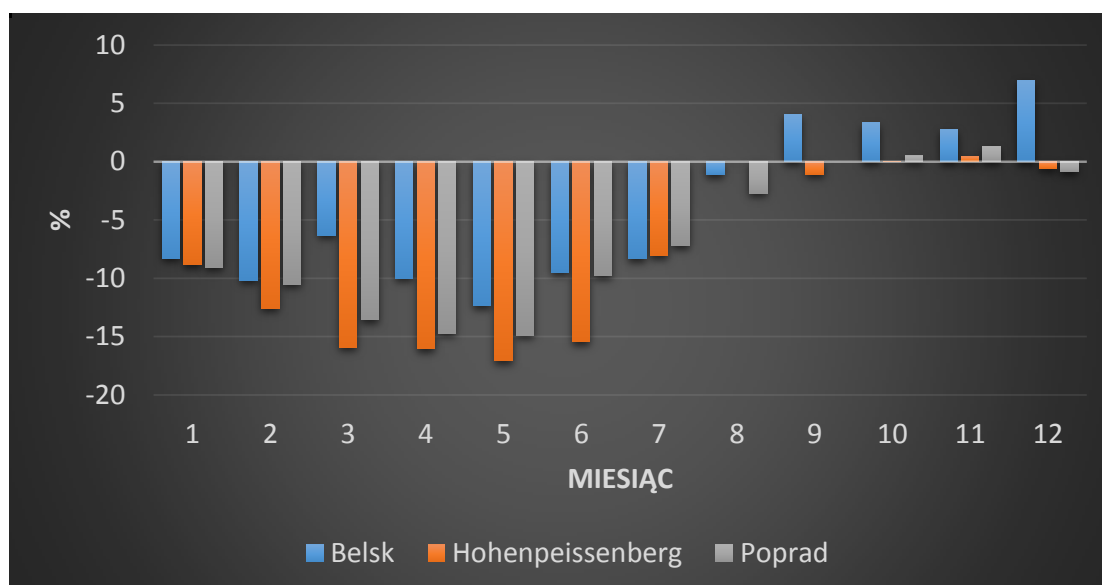
stacji w roku 2015. Kolorem czerwonym oznaczono krzywą uzyskaną na podstawie pomiarów wykonanych spektrofotometrem, a niebieskim – satelitarnych.



Rys. 13. Całkowita zawartość ozonu wyznaczona dla Belska, Hohenpeissenberga oraz Popradu-Ganovce z danych satelitarnych NOAA/ATOVS (linia niebieska) oraz zmierzona spektrofotometrem (linia czerwona) w roku 2015.

Łatwo zauważyć dużą zmienność dobową 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. 14) pokazuje, że różnice te są zbliżone dla wszystkich stacji i wahają się od -17% (maj, Hohenpeissenberg) do 7% (listopad, Belsk).



Rys. 14 Rozkład procentowych różnic pomiędzy średnimi miesięcznymi wartościami całkowitej zawartości ozonu wyznaczonych dla Belska, Hohenpeissenberga i Popradu-Ganovce z danych satelitarnych NOAA/ATOVS oraz zmierzona spektrofotometrem w roku 2015.

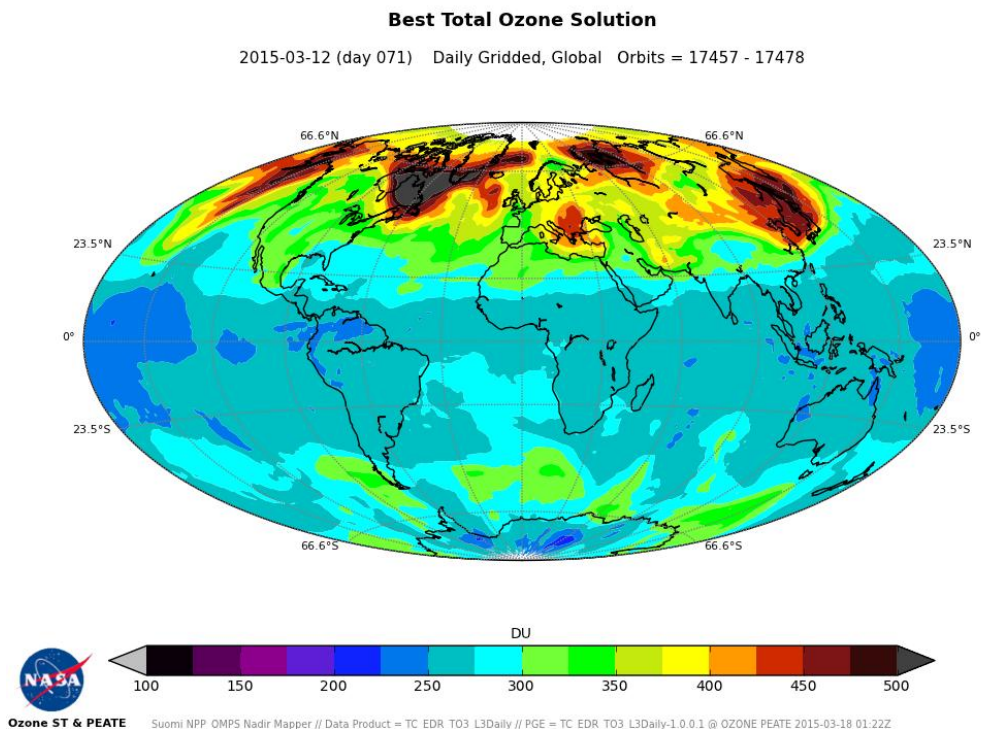
W celu określenia dokładności metody wyznaczania zawartości ozonu z danych satelitarnych NOAA/ATOVS, obliczono średnią różnicę pomiędzy całkowitą zawartością ozonu wyznaczoną z danych satelitarnych i naziemnych, średnią różnicę bezwzględną, korelację oraz błąd procentowy metody. Obliczenia wykonano na podstawie wartości dobowych dla 2015 roku. Wyniki przedstawione zostały w Tabeli 10.

Tabela 10. Wyniki porównania pomiędzy ozonem wyznaczonym z danych ATOVS i zmierzonych spektrofotometrem w latach 2015, dla stacji Belsk, Hohenpeissenberg oraz Poprad-Ganovce.

	Korelacja	Średnia różnica [D]	Średnia różnica bezwzględna [D]	RMSE %
Belsk	0,75	-12,9	28,5	12,5
Hohenpeissenberg	0,67	-26,4	34,2	16,0
Poprad-Ganovce	0,74	-24,1	29,8	12,7

Dokładność satelitarnego monitoringu ozonu z wykorzystaniem danych z czujnika ATOVS obliczona na podstawie porównania z pomiarami naziemnymi jest rzędu 12-13% z wyjątkiem Hohenpeissenbergu, dla którego jest ona mniejsza i wynosi prawie 16%. 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. Dlatego konieczne jest znalezienie innego źródła informacji satelitarnej o całkowitej zawartości ozonu, które dostępne byłoby w trybie operacyjnym. Źródłem takim jest instrument Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) znajdujący się na pokładzie satelity meteorologicznego Suomi-NPP. OMPS mierzy promieniowanie rozproszone wstecz (backscattered) w zakresie od 290nm do 1000nm i składa się z trzech czujników: dwóch mierzących promieniowanie w nadirze oraz jednego mierzącego promieniowanie w limbie.

OMPS został zaprojektowany w celu pozyskiwania informacji zarówno o pionowym profilu ozonu jak i jego całkowitej zawartości. Dzięki umieszczeniu go na pokładzie satelity poruszającego się po orbicie sunsynchronicznej o krótkim czasie obiegu i kącie inklinacji 98,7° możliwe jest codzienne pozyskiwanie informacji o globalnym rozkładzie całkowitej zawartości ozonu (Rys. 15).

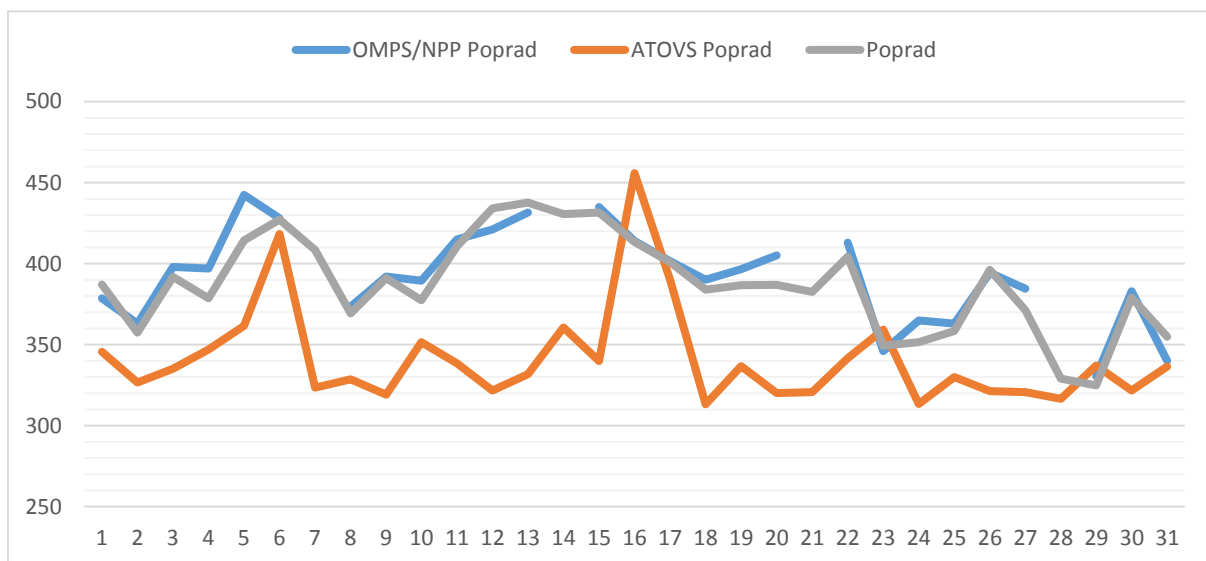
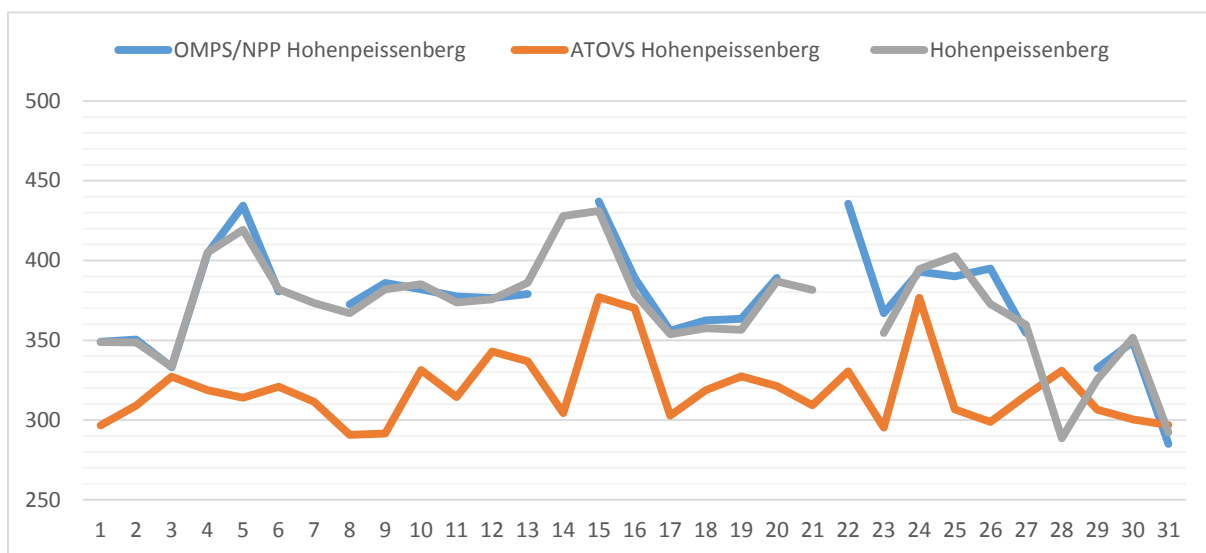
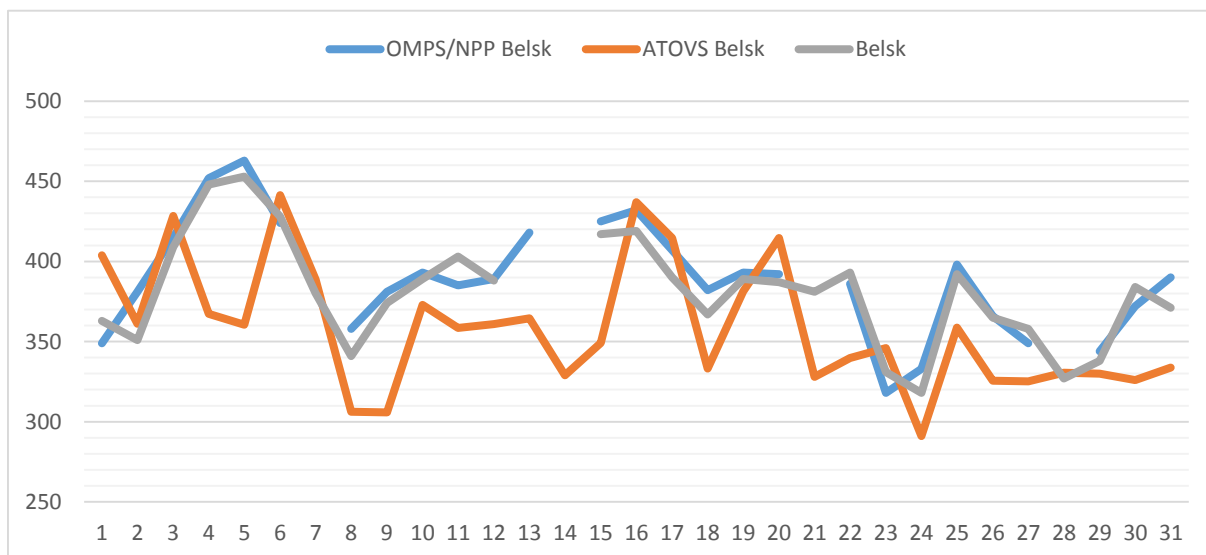


Rys. 15 Globalny rozkład całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych OMPS w dniu 12.03.2015

W chwili obecnej informacje o całkowitej zawartości ozonu wyznaczone na podstawie danych OMPS dostępne są w szeregu internetowych bazach danych jednak ze względu na opóźnienie z jakim pojawiają się informacje o ozonie (6 dni), nie mogą one być wykorzystane do operacyjnego monitoringu. Konieczne jest zatem uruchomienie lokalnego systemu przetwarzania danych OPMS. Wydział Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB prowadzi operacyjny odbiór danych z satelity Suomi-NPP, w tym również z OMPS, jednak ze względu na brak odpowiedniego oprogramowania, dane te nie były do tej pory przetwarzane w Wydziale. Sytuacja ta może ulec zmianie ponieważ nowa wersja pakietu do przetwarzania danych Suomi-NPP zawiera procedury do kalibracji i wstępnego przetwarzania danych OPMS. Dla celów uruchomienia operacyjnego monitoringu całkowitej zawartości ozonu z danych OPMS konieczne będzie jeszcze uruchomienie i wdrożenie specjalistycznego oprogramowania.

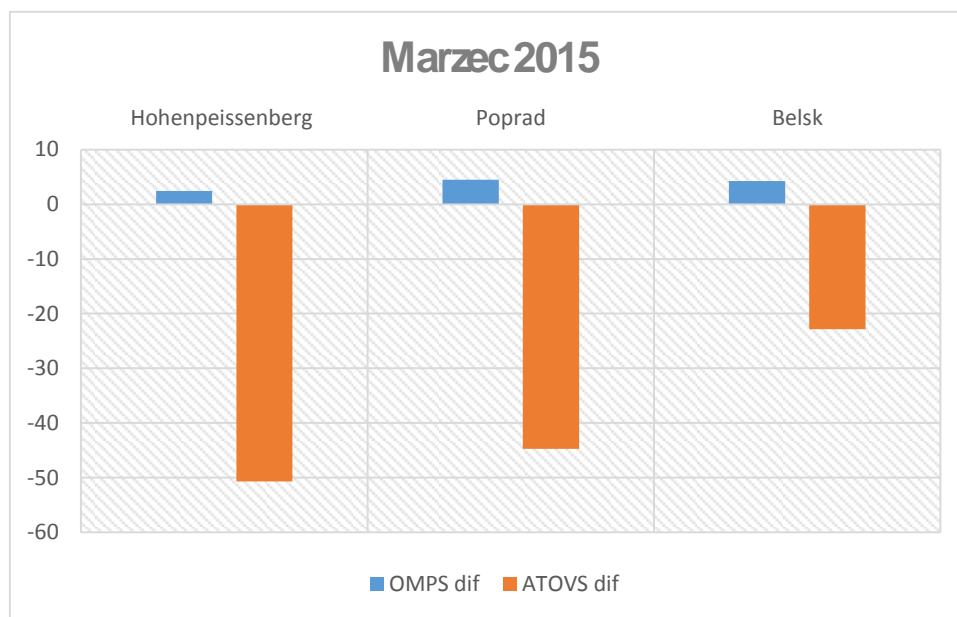
Aby oszacować czy i jak bardzo całkowita zawartość ozonu wyznaczona z danych OMPS będzie lepsza od tej obliczonej z danych ATOVS, dokonano porównania dla tych samych trzech stacji, dla których przeprowadzono walidację danych ATOVS. Do analizy wybrano miesiąc marzec. Dane o całkowitej zawartości ozonu z czujnika OMPS pochodzą ze strony NASA (<https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/>).

Poniżej przedstawiono rozkład całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych OPMS, ATOVS oraz zmierzonej na stacjach w marcu 2015.



Rys. 16 Całkowita zawartość ozonu wyznaczona dla Belska, Hohenpeissenberga oraz Popradu-Ganovce z danych satelitarnych OMPS (linia niebieska), ATOVS (linia pomarańczowa) oraz zmierzona spektrofotometrem (linia szara) w marcu 2015.

Łatwo zauważyć bardzo dobrą zgodność całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych OMPS z pomiarami naziemnymi. Średnia różnica w tym przypadku wynosi 2-4 Dobsonów, podczas gdy w przypadku danych ATOVS oscyluje ona od 20 do 50 Dobsonów (Rys. 17).



Rys. 17 Średnia różnica pomiędzy wartościami całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej dla Belska, Hohenpeissenberga i Popradu-Ganovce z danych satelitarnych OMPS i ATOVS oraz pomiarami naziemnymi w marcu 2015.

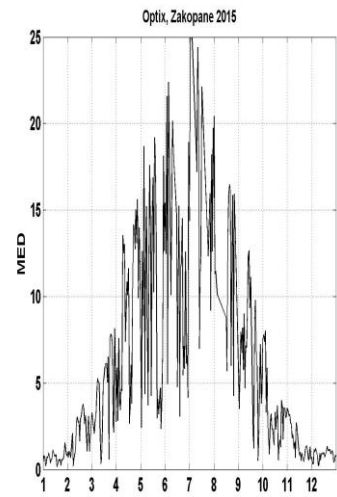
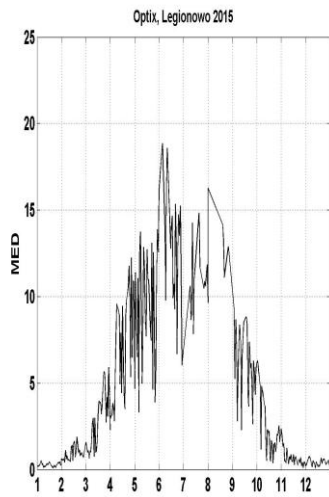
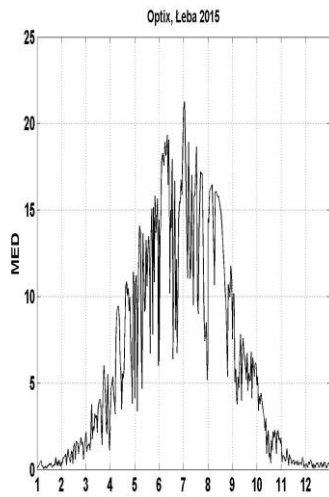
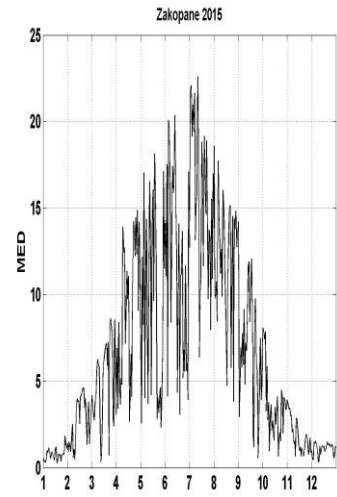
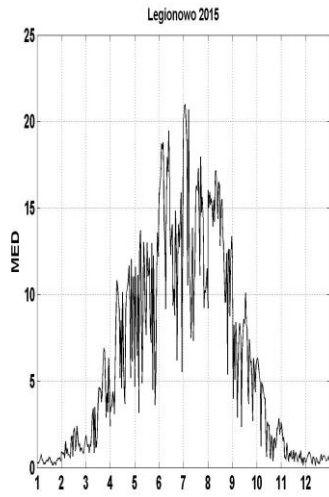
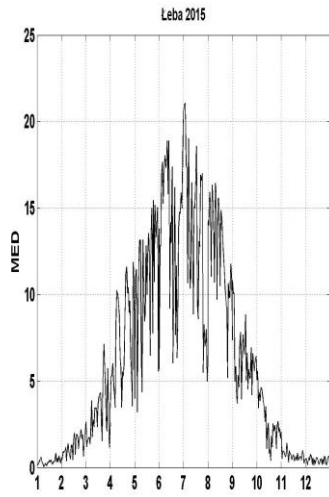
Uzyskane wyniki pokazują na zdecydowanie lepszą jakość całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych OMPS od tej pozyskiwanej z danych ATOVS i tym samym konieczność operacyjnego wykorzystywania tych danych do satelitarnego monitoringu ozonu. Podjęte zostaną starania wdrożenia satelitarnego monitoringu ozonu z danych OMPS w nowej umowie.

6.2.3.3 Promieniowanie UV-B zmierzone na sieci monitoringu w 2015 roku.

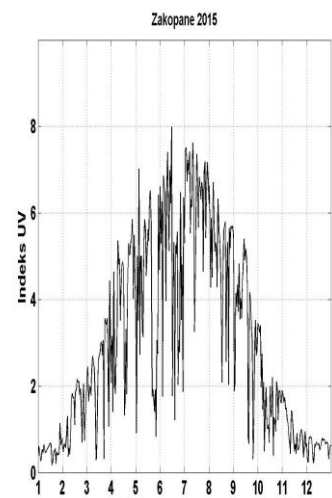
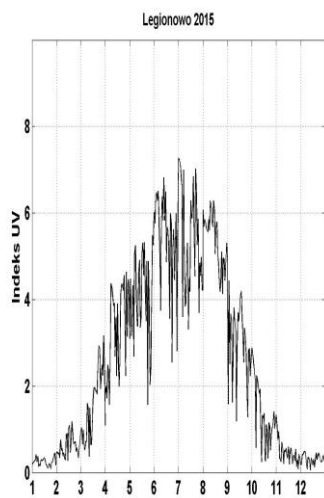
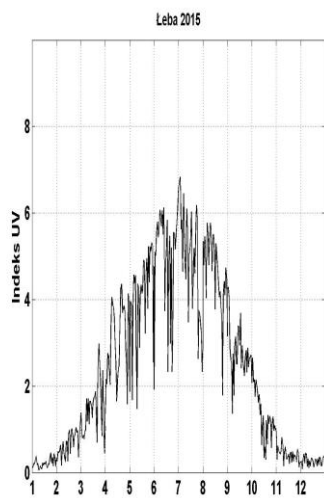
Pomiary promieniowania czynnego promieniowania UV-B wykonywane są w sieci monitoringu dwoma typami przyrządów: UV Biometer Model 501 (SL501) firmy Solar Light, zainstalowanym na stacjach IMGW-PIB w Łebie, Legionowie, Zakopanem; oraz UVEM-6C firmy OPTIX, pracującym na stacjach IMGW-PIB w Łebie, Legionowie, Katowicach i Zakopanem. Wyniki pomiarów uzyskane z przyrządów SL501 o międzynarodowej renomie i długim czasie pracy (od połowy 1993 r.) służą do badań o charakterze klimatycznym. Wyniki pomiarów przyrządami OPTIX, pracującymi w ramach sieci monitoringu operacyjnego od 2006 r., służą do monitoringu i są na bieżąco publikowane na stronie internetowej prowadzonej przez IMGW-PIB obok prognozy Indeksu UV i ogólnych informacji o promieniowaniu UV. Analiza promieniowania UV-B oparta jest przede wszystkim na wynikach pomiarów czujników Solar Light SL501 ze względu na długą serię pomiarową.

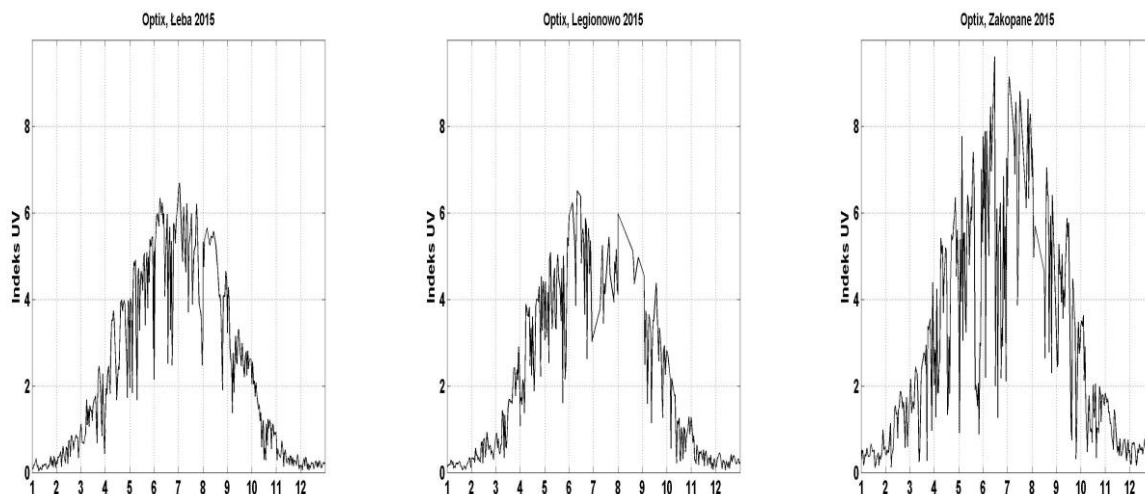
Poniżej przedstawiono wartości dawek dziennych UV-B [MED] i Indeksu UV zmierzone na stacjach IMGW-PIB w 2015 roku (Rys. 18 -19).

a)

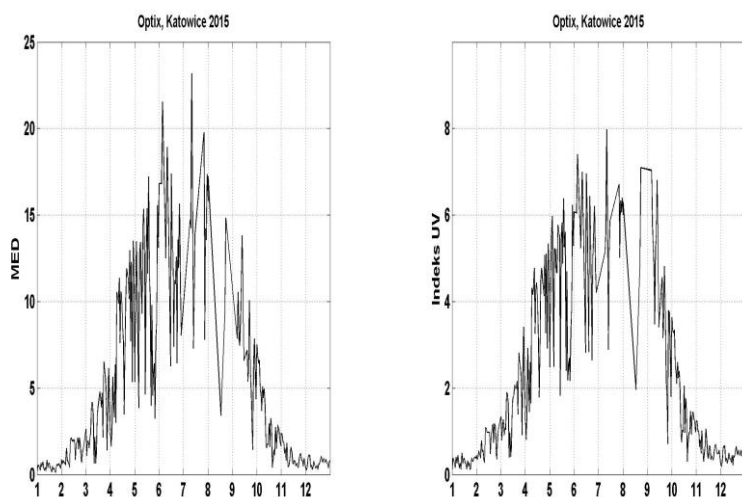


b)



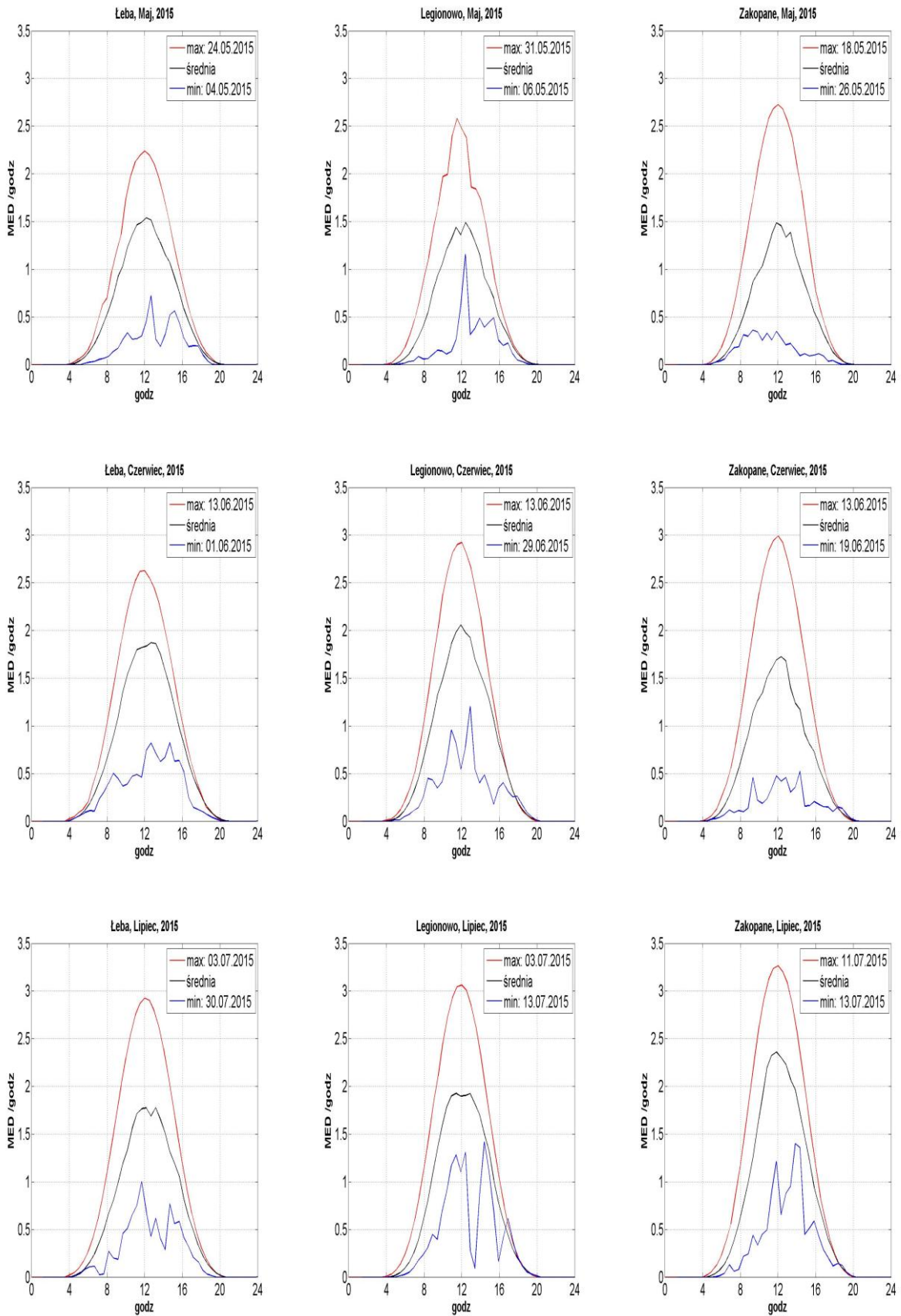


Rys. 18 Wartości dawek dziennych UV-B [MED] (a) i Indeksu UV (b) z czujników SL501 oraz OPTIX UVEM-6C w Łebie, Legionowie i Zakopanem w 2015r.

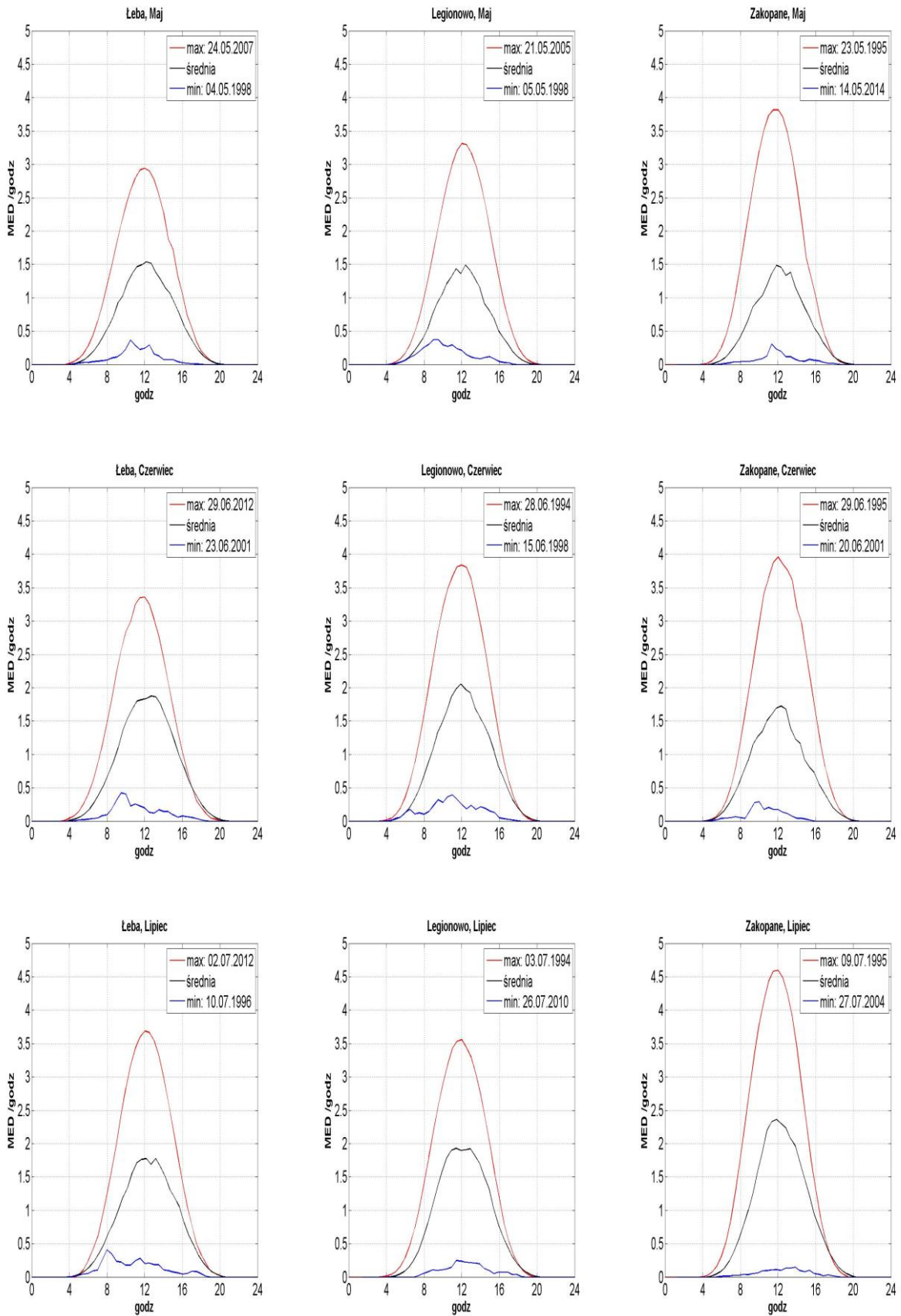


Rys. 19 Wartości dawek dziennych UV-B [MED] i Indeksu UV z czujników OPTIX UVEM-6C w Katowicach w 2015 roku.

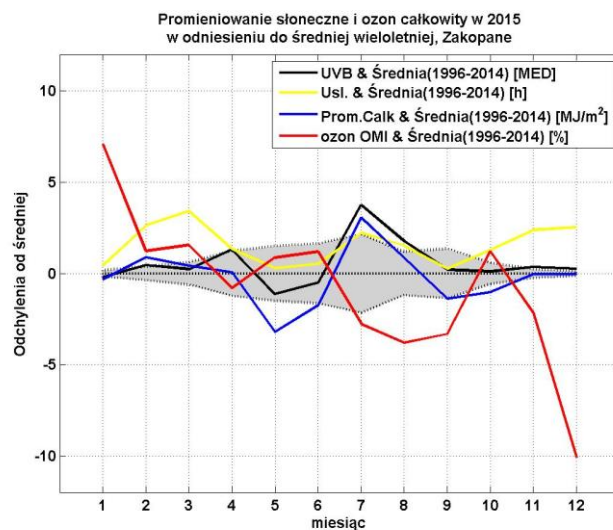
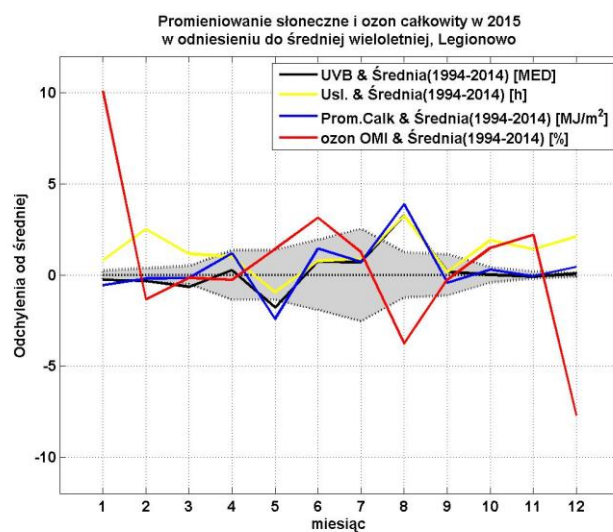
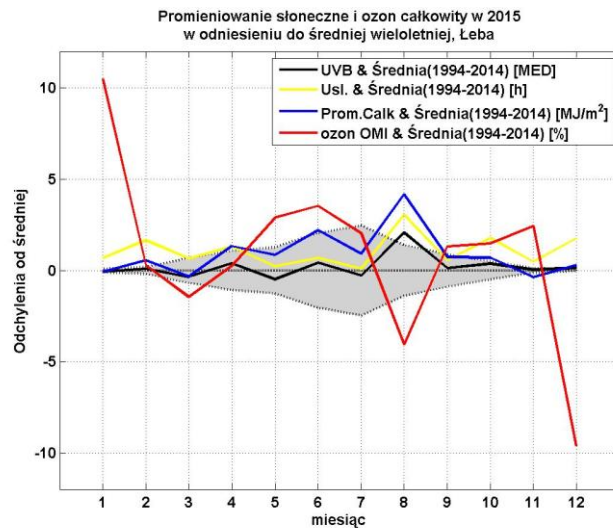
Przebiegi roczne dawek dziennych oraz Indeksu UV pokazują zawyżanie wartości promieniowania zmierzonego czujnikami OPTIX. Przy wysokich temperaturach powietrza czujniki te przegrzewają się. Niestety nie istnieje prosta metoda usunięcia tego efektu. Do opracowania pominięto dni gdy temperatura maksymalna powietrza przekraczała 25°C. Innym problemem pomiarów czujnikami Optix jest brak ich charakterystyk spektralnych i kątowych. Dlatego nie można usunąć efektu tzw. błędu cosinusowego widocznego szczególnie w pomiarach z Zakopanego, gdzie promieniowanie zmierzone jest zawyżane latem przy niskich kątach zenitalnych Słońca i zaniżane zimą przy wysokich kątach zenitalnych. Czujniki OPTIX nie są już produkowane i najlepszym rozwiązaniem byłoby, gdy tylko pojawią się środki finansowe zastąpienie ich czujnikami Solar Light.



Rys. 20 Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B (w MED/h) zmierzonymi przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu 2015 r.



Rys. 21 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 2015.



Rys. 22 Odchylenie od średniej wieloletniej promieniowania UV-B, promieniowania całkowitego, ozonu całkowitego i usłonecznienia w 2015 roku. Szary obszar reprezentuje zmienność promieniowania UV-B w granicach $\pm 1\sigma$. Średnie wieloletnie ozonu całkowitego obliczone na podstawie danych satelitarnych.

Poziom promieniowania UV-B dochodzącego do powierzchni Ziemi zależy od wielu czynników. Najwyższe wartości UV-B obserwowane są przy bezchmurnym niebie, małej zawartości ozonu i aerozoli. Najniższe wartości UV-B występują przy dużym zachmurzeniu, zwłaszcza przez chmury niskie. Zmienność promieniowania UV-B charakteryzują średnie dawki miesięczne i wartości Indeksu UV. Ze względu na utrzymującą się w szeregu dni w lipcu i sierpniu 2015 roku bezchmurną wyżową pogodą na stacjach w Łebie, Legionowie i Zakopanem zmierzono podwyższone wartości promieniowania UV-B (Rys. 22). Szczególnie wyróżnia się sierpień dla wszystkich stacji oraz lipiec dla stacji Zakopane gdzie zmierzone UV-B wykraczało poza obszar naturalnej zmienności. Duża ilość promieniowania jest skorelowana ze zmniejszeniem ilości ozonu całkowitego oraz występowaniem bardziej słonecznej pogody w porównaniu z poprzednimi latami, co potwierdzają pomiary promieniowania całkowitego i usłonecznienia. Największą dawkę miesięczną UV-B, 481,5MED oraz największą dawkę dzienną 22,6MED (Tabela 11) zmierzono dla Zakopanego w lipcu.

Tabela 11. Dienne – średnie, maksymalne i minimalne dawki UV-B oraz miesięczne dawki promieniowania UV-B (w MED) zmierzonego przyrządami SL501 w 2015 r.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Łeba												
Śr. Dobowe	0,3	1,2	3,0	7,3	10,8	13,9	13,1	12,4	6,3	2,7	0,7	0,4
Max. Dob.	0,8	2,2	7,1	11,9	15,5	18,9	21,0	16,4	10,8	5,6	2,0	0,8
Min. Dob.	0,1	0,4	1,2	3,5	3,2	5,7	5,0	5,2	3,7	0,4	0,2	0,2
Dawka mies.	10,5	33,6	94,1	219,8	333,3	416,5	405,5	383,5	188,2	83,6	21,1	13,2
Legionowo												
Śr. Dobowe	0,4	1,2	3,2	7,5	9,5	13,8	13,8	13,6	6,4	2,8	0,8	0,5
Max. Dob.	0,8	2,4	6,9	12,0	15,8	19,5	21,0	17,2	10,9	6,3	2,6	0,9
Min. Dob.	0,2	0,6	0,9	3,1	3,2	5,5	7,3	5,4	2,4	0,4	0,2	0,1
Dawka mies.	11,7	32,6	98,6	225,0	295,6	415,5	427,4	421,9	192,7	86,7	24,4	15,8
Zakopane												
Śr. Dobowe	**	2,6	5,0	9,1	9,4	11,6	15,5	12,1	6,8	3,6	1,8	1,1
Max. Dob.	**	4,6	8,6	14,9	18,1	20,4	22,6	18,6	14,2	8,0	3,9	1,5
Min. Dob.	**	0,5	0,4	2,7	2,3	3,1	6,4	3,8	0,6	0,7	0,6	0,3
Dawka mies.	**	72,8	153,5	271,6	290,7	348,4	481,5	373,9	203,8	110,8	54,8	33,3

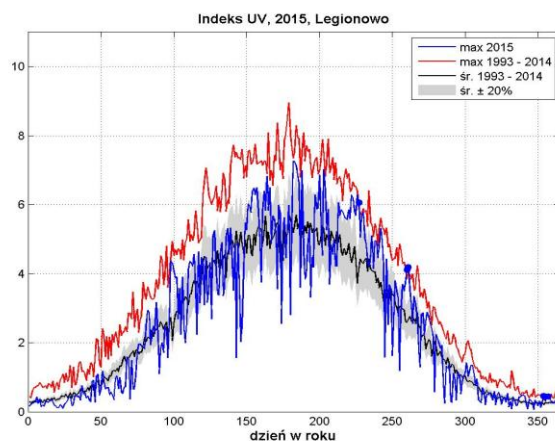
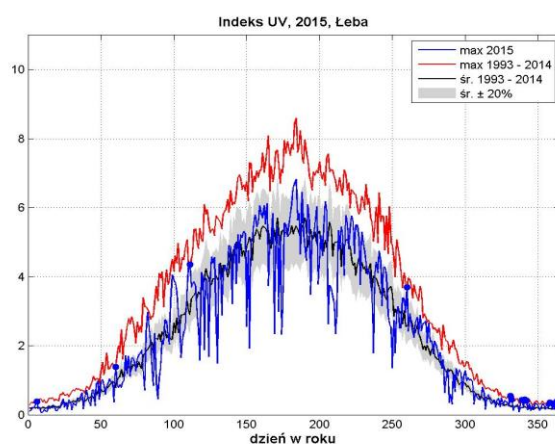
* przy braku danych w poszczególnych dniach, uzupełniono je przez średnią z pozostałych dni

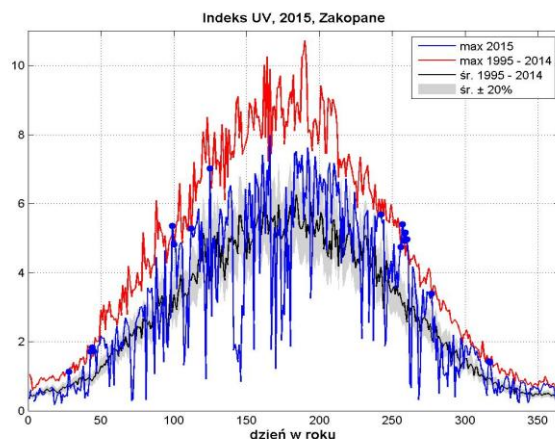
** zbyt mała liczba dni pomiarowych w miesiącu (brak 5 lub więcej dni pomiarowych)

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. Efekt taki można zaobserwować dla miesięcy od jesieni do wiosny. Dla 2015 roku od lutego do kwietnia oraz od września do końca roku (Tabela 11) ilość zmierzonego promieniowania jest tym większa im stacja jest bardziej położona na południe. Sytuacja zmienia się gdy 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. Widać to w pomiarach z maja i czerwca.

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 2015 roku styczniu w Łebie (8 dni), Legionowie (6 dni) i Zakopanem (1 dzień), w listopadzie po jednym dniu Łebie i Legionowie oraz w grudniu w Łebie (10 dni) i w Legionowie (4 dni).



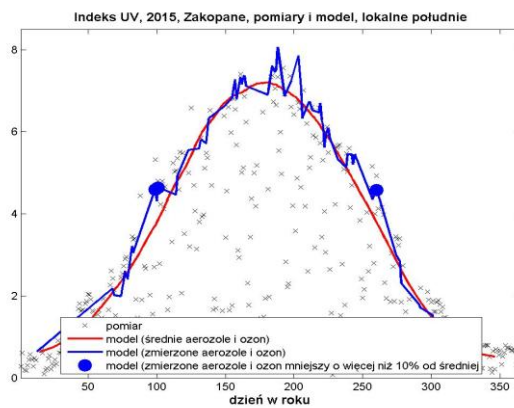
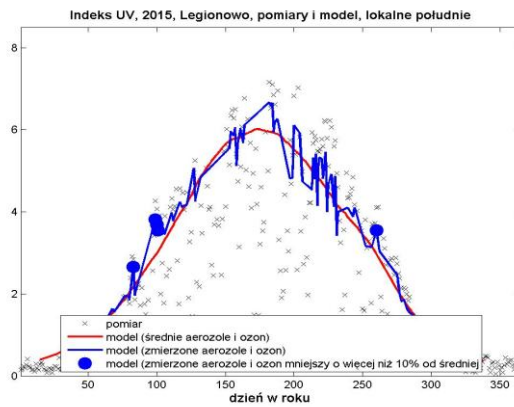
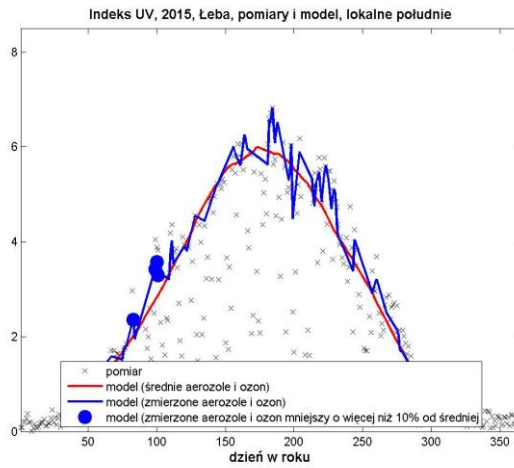


Rys. 23 Przebiegi roczne Indeksu UV z 2015 roku dla stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem na tle średniego oraz maksymalnego Indeksu UV od początku pomiarów do 2014 roku dla każdej stacji.

Wpływ ozonu całkowitego na promieniowanie UV-B najłatwiej zaobserwować analizując Indeks UV, czyli maksymalną półgodzinną wartość promieniowania UV-B w ciągu dnia. Na Rysunku 23 przedstawiono przebieg roczny Indeksu UV z 2015 roku na tle średniego oraz maksymalnego Indeksu UV z okresu od 1993 (Zakopane 1995) do 2014 roku dla każdej ze stacji. W roku 2015 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 w sierpniu. Rekordowe wartości występowały w Zakopanem w lutym i kwietniu. Ekstremalne promieniowania UV-B związane było ze znacznymi ubytkami ozonu całkowitego połączonych z utrzymującą się w tych okresach słoneczną pogodą. Duże wartości Indeksu UV zmierzono także w lipcu w Legionowie oraz w kwietniu dla Łeby i Legionowa.

Korzystając z pomiarów satelitarnych OMI ozonu całkowitego i aerozoli z 2015 roku obliczono, używając model transferu promieniowania słonecznego FastRT wartości Indeksu UV dla bezchmurnego nieba dla lokalnego południa (Rys. 24). Podobne obliczenie wykonano dla danych uśrednionych ozonu całkowitego i aerozoli 30-dniową średnią biegnącą z okresu 2005-2014. Na poniższym rysunku umieszczono pomiary Indeksu UV z 2015 roku oraz zaznaczono wartości Indeksu UV gdy ozon całkowity był mniejszy o więcej niż 10% od średniej.

Okazuje się, że podwyższone wartości promieniowania UV da się wytłumaczyć spadkami ozonu całkowitego głównie na wiosnę. Natomiast podwyższone wartości Indeksu UV w lecie często były związane z mniejszą ilością aerozoli.



Rys. 24 Przebiegi roczne Indeksu UV z 2015 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 2005-2014.

6.2.4 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. W przypadku Konwencji zobowiązanie dotyczy zapewnienia środków niezbędnych do wykonywania pomiarów ozonu atmosferycznego i natężenia promieniowania nadfioletowego 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). Polska wywiązuje się z przyjętych zobowiązań. Niewypełnianie postanowień Protokołu Montrealskiego może opóźnić, a nawet uniemożliwić regenerację warstwy ozonowej.

Od ponad 30 lat obserwowane są wyraźne zmiany ilości i rozkładu przestrzennego ozonu w atmosferze. Warstwa ozonu w stratosferze stanowiąca naturalny filtr 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 regularne pojawianie się wiosennej dziury ozonowej nad Antarktydą od 1985 r., powodują znaczny wzrost promieniowania UV dochodzącego do powierzchni Ziemi. Ponadto duże zmiany w profilu ozonu powodują zmiany cyrkulacji atmosferycznej zarówno w skali regionalnej jak i globalnej poprzez modyfikację struktury termicznej atmosfery. Może to mieć istotne znaczenie dla 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 dziesięcioleciach. W ostatnich latach na stan warstwy ozonowej w obszarach polarnych i poza nimi coraz bardziej wpływają zmiany cyrkulacji atmosfery i wzrost koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze. Nad Polską i Europą pojawiają się epizody jednoczesnej adwekcji na różnych wysokościach, masy subtropikalnej o naturalnie niskiej zawartości ozonu i polarnej masy z fotochemicznym ubytkiem ozonu. Podczas tych epizodów pojawiają się wysokie wartości Indeksu UV. Opóźniony na wiosnę rozpad wiru polarnego, nawet bez fotochemicznych ubytków wirze polarnym, w połączeniu z silną adwekcją subtropikalną może istotnie zwiększać poziom promieniowania UV. W sezonie letnim w ostatnich latach pojawiło się niespodziewane zmniejszenie grubości ochronnej warstwy ozonowej nad dużymi obszarami w strefie umiarkowanych szerokości geograficznych półkuli północnej, w tym i 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 spójne z symulacjami w modelach, które pokazują długoterminowy wzrost unoszenia tropikalnego powietrza wywołany przeszłym wzrostem zawartości gazów cieplarnianych. Ostatnio zwrócono uwagę, że istnieją gazy takie jak N_2O , których emisja nie jest monitorowana przez PM. Koncentracja N_2O systematycznie rośnie i ze względu na długi okres połowicznego rozpadu (>100lat) może wpływać na osłabienie warstwy ozonowej w średniej stratosferze w okresie letnim.

Zagrożenie dla warstwy ozonowej związane ze zmniejszającą się zawartością chlorowcopochodnych gazów 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.). Pomiarzy naziemne są wykorzystywane do walidacji pomiarów satelitarnych, prowadzenia bieżącego monitoringu ozonu i analizy trendów. Bez wysokiej jakości pomiarów nie będzie można śledzić oczekiwanej regeneracji warstwy ozonowej przypisywanej spadkowi zawartości SZWO, a także zrozumieć znacznego wychłodzenia średniej stratosfery i ocieplenia troposfery, których można oczekiwać w następnych dekadach.

Podziękowania

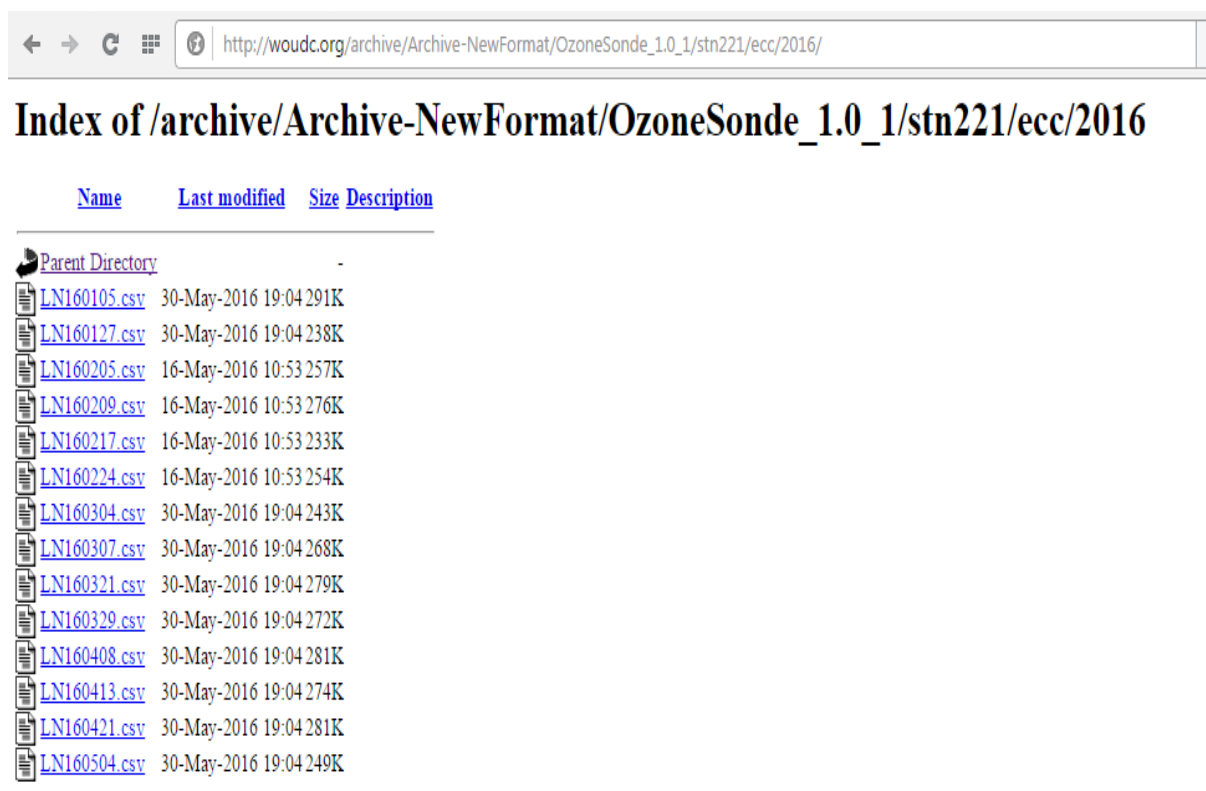
Dziękujemy zespołowi Zakładu Fizyki Atmosfery IGF PAN za udostępnienie serii pomiarów całkowitej zawartości ozonu mierzonej spektrofotometrem Dobsona w Centralnym Obserwatorium Geofizycznym w Belsku.

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.

6.3 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 25 przedstawiono wykaz zawartości bazy WOUDC z ostatnio przekazanymi danymi.



Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory	-	-	-
LN160105.csv	30-May-2016 19:04	291K	
LN160127.csv	30-May-2016 19:04	238K	
LN160205.csv	16-May-2016 10:53	257K	
LN160209.csv	16-May-2016 10:53	276K	
LN160217.csv	16-May-2016 10:53	233K	
LN160224.csv	16-May-2016 10:53	254K	
LN160304.csv	30-May-2016 19:04	243K	
LN160307.csv	30-May-2016 19:04	268K	
LN160321.csv	30-May-2016 19:04	279K	
LN160329.csv	30-May-2016 19:04	272K	
LN160408.csv	30-May-2016 19:04	281K	
LN160413.csv	30-May-2016 19:04	274K	
LN160421.csv	30-May-2016 19:04	281K	
LN160504.csv	30-May-2016 19:04	249K	

Rys. 25 Fragment listingu zawartości bazy WOUDC z pomiarami z Legionowa na stronie http://woudc.org/archive/Archive-NewFormat/OzoneSonde_1.0_1/stn221/ecc/2016/

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 26 przedstawiono fragment listingu zawartości serwera.

↑ Name	Ext	Size	Date	Attr
LN160127	P11	288 825	2016-01-27 15:04	-644
LN160205	P11	309 988	2016-02-05 15:56	-644
LN160208	P11	333 457	2016-02-08 15:32	-644
LN160209	P11	333 857	2016-02-09 15:51	-644
LN160217	P11	282 175	2016-02-17 15:06	-644
LN160224	P11	306 506	2016-02-24 15:13	-644
LN160301	P11	322 836	2016-03-01 15:11	-644
LN160304	P23	295 376	2016-03-05 03:14	-644
LN160307	P11	324 132	2016-03-07 15:28	-644
LN160315	P11	321 087	2016-03-15 15:16	-644
LN160321	P11	337 971	2016-03-21 15:29	-644
LN160329	P11	333 806	2016-03-29 15:10	-644
LN160406	P11	367 396	2016-04-07 10:09	-644
LN160408	P11	346 440	2016-04-08 15:20	-644
LN160413	P11	335 625	2016-04-13 15:13	-644
LN160421	P11	343 585	2016-04-21 15:15	-644
LN160428	P11	335 624	2016-04-28 15:09	-644
LN160504	P11	309 316	2016-05-04 16:23	-644
LN160511	P11	357 987	2016-05-11 15:56	-644
LN160518	P11	319 765	2016-05-18 15:46	-644
LN160519	P11	356 946	2016-05-19 15:31	-644
LN160525	P11	341 815	2016-06-02 11:35	-644

Rys. 26 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 2015 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. Ostatnie dane przekazano w czerwcu 2015 roku.

6.4 PODSUMOWANIE

W 2015 roku realizowano program monitorowania rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą oraz promieniowania UV-B w Polsce.

W roku 2015 wykonano 59 sondaży ozonowych w stosunku do 52 sondaży na rok wymaganych umową.

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 2015 program pomiarowy został wykonany w 99,6%.

W sierpniu 2015 r. zostało wykonane w centrum kalibracyjnym PMOD/WRC w Davos (Szwajcaria) laboratoryjne wzorowanie czujników Solar Light o numerach 0935 i 1120.

Sieć monitoringu operacyjnego UV-B, wykorzystująca mierniki OPTIX UVEM-6C pracujące na stacjach w Łebie, Legionowie, Katowicach, Zakopanem; przekazywała na bieżąco dane o promieniowaniu UV-B na stronę internetową IMGW-PIB (www.pogodynka.pl/indeksuv). Na kilku stacjach wystąpiły braki w danych pomiarowych, obejmujące 2,7% całego okresu. Niestety, mierniki firmy OPTIX zawyżają pomiary przy dużych wartościach promieniowania oraz przy wysokich temperaturach powietrza i nie istnieje prosta metoda korekcji tego efektu. Czujniki te nie są już produkowane i najlepszym rozwiązaniem będzie zastąpienie ich czujnikami Solar Light.

Satelitarny monitoring ozonu działa w oparciu o dane z czujnika ATOVS satelitów NOAA-16, 18, 19 i Metop-A. W roku 2015 monitoring ozonu przebiegł bezawaryjnie – uzyskano 100% danych. Ze względu na pogarszającą się jakość pomiarów związaną ze starzeniem się czujnika ATOVS należy podjąć starania wprowadzenia nowego czujnika OMPS do satelitarnego monitoringu ozonu.

System operacyjny jednodniowej prognozy Indeksu UV działał bezawaryjnie w okresie od końca kwietnia do końca września 2015 r. Prognoza była dostępna na stronie internetowej IMGW-PIB (www.pogodynka.pl/indeksuv/prognozyuv).

Wyniki sondaży ozonowych są regularnie przekazywane do Bazy Danych w NILU, w Norwegii gdzie są wykorzystywane do opracowania wyników kampanii MATCH, oraz 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 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 z wyłączeniem surowych danych satelitarnych (RAW), które są przechowywane na płytach DVD w Dziale Zarządzania Siecią Pomiarowo-Obszerwacyjną.

Dane pomiarowe wraz z opisem formatów, powstałe w wyniku realizacji umowy monitoringu w roku 2015, zostały dołączone do niniejszego sprawozdania na płycie CD.

6.5 LITERATURA

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)