



**INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY  
OŚRODEK AEROLOGII**

TEMAT: **Monitoring rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą Środkową oraz promieniowania UV-B w Polsce w latach 2010 – 2013.**



Praca zrealizowana na podstawie umowy z GIOŚ nr 4/2011/F z dnia 11.03.2011 r. zawartej na podstawie umowy o dofinansowaniu z NFOŚiGW nr 590/2010/Wn-7/MN-BD/D z dnia 29.10.2010 r. wraz z aneksem do niej nr 1/92 z dnia 29.03.2011.



## 6.2. Raport za rok 2012

JEDNOSTKA PROWADZĄCA: **IMGW-PIB - Ośrodek Aerologii**

KIEROWNIK TEMATU: **mgr inż. Grzegorz Zabłocki**

WYKONAWCY:

**Ośrodek Aerologii:**  
**mgr Julita Biszczuk–Jakubowska**  
**mgr Aleksander Curyło**  
**mgr Bogumił Kois**  
**techn. Krystyna Twardo**  
**mgr inż. Grzegorz Zabłocki**

**Ośrodek Teledetekcji Satelitarnej:**  
**dr Bożena Łapeta**  
**techn. Barbara Kopeć**  
**techn. Mateusz Struzik**  
**techn. Magdalena Raniecka-Wells**  
**mgr Leokadia Zagajewska**

**Dział Numerycznych Prognoz Meteorologicznych w Krakowie:**  
**mgr Marek Jerczyński**

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

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

***Kierownik Ośrodka Aerologii***

***Dyrektor Instytutu***

**mgr inż. Grzegorz Zabłocki**

**prof. nzw. dr hab. inż. Mieczysław S. Ostojki**

Legionowo, czerwiec 2013

## 6.2 RAPORT ZA ROK 2012.

### 6.2.1 Wstęp

Ozon ( $O_3$ ) w atmosferze powstaje w zderzeniach tlenu atomowego z tlenem cząsteczkowym ( $O_2$ ), którym oddychamy. Źródłem tlenu atomowego jest intensywne słoneczne promienie UV, które powoduje rozpad tlenu cząsteczkowego na pojedyncze atomy powyżej 25km. Ozon w pełni absorbuje najbardziej energetyczną część promieniowania UV. Ten proces powoduje nagrzewanie powietrza tworząc stratosferę na wysokościach 15km do 50km, i chroni życie na powierzchni Ziemi. W stratosferycznej warstwie ozonowej znajduje się średnio około 90 procent całkowitej zawartości ozonu w atmosferze. Obecność tlenu atomowego w atmosferze jest powodem powstawania wolnych rodników. Wolne rodniki to cząsteczki lub ich fragmenty z jednym lub większą ilością niesparowanych elektronów. Obecność niesparowanych elektronów powoduje, że wolne rodniki są najczęściej bardzo reaktywne. W drugiej połowie ostatniego stulecia poznano katalityczne cykle reakcji niszczenia ozonu z udziałem rodników ( $HO$ ,  $HO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $Cl$  i  $ClO$ ). Łańcuchy reakcji z  $NO_x$  i  $ClO_x$  związane są z emisją na powierzchni Ziemi stabilnych molekuł ( $N_2O$ ,  $CCl_2F_2$ ,  $CCl_3F$ , ...), niektóre z nich pozostają w atmosferze ponad sto lat nim rozpadną się pod wpływem intensywnego promieniowania UV (tego, które tworzy ozon). Produkty tego rozpadu tworzą  $NO$  i  $Cl$  w środku stratosferycznej warstwy ozonowej. Rosnące emisje freonów doprowadziły do zmniejszenia zawartości ozonu w stratosferze i wzrostu słonecznego promieniowania UVB na powierzchni Ziemi. Ten ubytek występuje w umiarkowanych szerokościach geograficznych we wszystkich sezonach, ale szczególnie drastycznie od wczesnych lat 1980. na półkuli południowej w rejonie polarnym na wiosnę – 'antarktyczna dziura ozonowa'. Reakcje chemiczne powodujące rozrzedzenie warstwy stratosferycznego ozonu są oparte na atomowym  $Cl$  i  $ClO$ , ten ostatni jest produktem reakcji z ozonem. Wytwarzanie freonów zostało zakazane w 1992 r. po rewizji Protokołu Montrealskiego (PM). 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.

Oczekuje się, że w przyszłości coraz większą rolę odgrywać będą interakcje ozonu z klimatem. Przy wciąż dużym nasyceniu stratosfery niszczącymi ozon związkami chloru i bromu wnioskowanie o stanie warstwy ozonowej w ciągu następnych 10-20 lat jest obciążone dużą niepewnością. Antarktyczna dziura ozonowa spowodowała już zmiany klimatu na półkuli południowej, i to nie tylko w rejonie polarnym, ale i w umiarkowanych szerokościach geograficznych. Wzrost ilości gazów cieplarnianych zwiększa wychłodzenie stratosfery. To z kolei zwiększa stabilność wiru polarnego i prawdopodobieństwo większego rozrzedzenia stratosferycznej warstwy ozonu na wiosnę.

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 UVB za pomocą sieci przyrządów pomiarowych. W raporcie przedstawiono analizę stanu warstwy ozonowej i poziomu promieniowania UVB na podstawie pomiarów wykonanych w 2012 roku.

## **6.2.2 Stan warstwy ozonowej w skali globu.**

### **6.2.2.1 Stan warstwy ozonowej nad Antarktydą.**

„Dziura ozonowa” nad Antarktydą jest odzwierciedleniem wpływu człowieka na warstwę ozonową. Ubytek ozonu w tym rejonie znacznie przewyższa naturalną zmienność. Dziura ozonowa dostarcza również najbardziej widocznego przykładu, jak redukcja ozonu stratosferycznego wpływa na warunki przy powierzchni ziemi.

- **Wiosenny spadek całkowitej zawartości ozonu nad Antarktydą - dziura ozonowa - zauważona po raz pierwszy we wczesnych latach 1980. pojawia się rokrocznie. Choć ubytki ozonu pokazują zmienność z roku na rok, wywołaną głównie zmianami warunków meteorologicznych, średnia całkowita zawartość ozonu wewnątrz wiru polarnego dla października z 15 lat pomiarów jest o 40% niższa niż przed rokiem 1980. Średnie erytemalne (rumieniowe) promieniowanie UV mierzone na biegunie południowym w latach 1991 - 2006 było 55 – 85% większe niż oszacowane wartości dla lat 1963-1980.**
- **Wcześniejsze wątpliwości dotyczące rozumienia przyczyny dziury ozonowej nad Antarktydą zostały rozwiane.** Nowe pomiary laboratoryjne dotyczące kluczowych substancji chemicznych biorących udział w procesie katalitycznego rozpadu ozonu w rejonie polarnym potwierdziły, że wcześniejsza emisja CFC rzeczywiście jest przyczyną dziury ozonowej. Obliczenia ilości substancji odpowiedzialnych za powstanie dziury ozonowej są potwierdzone przez obserwacje.
- **Zwiększa się ilość dowodów, że antarktyczna dziura ozonowa wpływa na klimat na powierzchni ziemi na półkuli południowej.** Modele klimatyczne pokazują, że dziura ozonowa jest głównym czynnikiem obserwowanych zmian wiatru przy powierzchni ziemi na półkuli południowej dla umiarkowanych i wysokich szerokości geograficznych podczas australijskiego lata. Te zmiany przyczyniły się do obserwowanego ocieplenia Półwyspu Antarktycznego i ochłodzenia nad płaskowyżem kontynentu. Zmiany wiatru były również powiązane z regionalnymi zmianami opadów, wzrostem lodu morskiego wokół Antarktydy, ociepleniem Oceanu Południowego oraz lokalnym spadkiem pochłaniania CO<sub>2</sub> w oceanie.
- **Nie należy oczekiwać, że trendy letnich wiatrów nad półkulą południową będą utrzymywać się w najbliższych kilku dekadach. To dlatego, że oczekiwane jest przesunięcie wpływu na wiatry powierzchniowe rosnącej ilości gazów cieplarnianych i regeneracji warstwy ozonowej.**
- **Obserwowana wiosenna kolumna ozonu nad Antarktydą nie pokazuje jeszcze statystycznie istotnego rosnącego trendu.** Zmienność z roku na rok wywołana czynnikami meteorologicznymi jest

znacznie większa niż niewielki na razie spadek koncentracji substancji niszczących warstwę ozonową. To jest zbieżne z symulacjami z użyciem modeli chemiczno-klimatycznych.

- **Ewolucja wiosennej kolumny ozonu nad Antarktydą do końca tego stulecia będzie zdominowana spadkiem koncentracji substancji niszczących warstwę ozonową.** Symulacje w modelach chemiczno-klimatycznych pokazują, że **zmiany zawartości gazów cieplarnianych miały i będą miały mały wpływ na dziurę ozonową** w porównaniu z wpływem substancji niszczących warstwę ozonową. **Małe epizodyczne antarktyczne dziury ozonowe będą się pojawiać nawet do końca tego stulecia. Podczas wiosny i wczesnym latem nad Antarktydą będzie nadwyżka promieniowania UV.**

#### **6.2.2.2 Stan warstwy ozonowej w skali globu i nad Arktyką.**

Jako wynik kontroli wprowadzonej przez Protokół Montrealski oczekuje się, że spadek ilości substancji zubożających warstwę ozonową doprowadzi do wzrostu zawartości ozonu w stratosferze. W najbliższych latach trudno będzie przypisać wzrost ozonu spadkowi koncentracji substancji niszczących warstwę ozonową. To z powodu naturalnej zmienności, niepewności wynikającej z ograniczonej dokładności pomiarów i czynników zakłócających, takich jak zmiany stratosferycznej temperatury i pary wodnej. Symulacje z użyciem modeli chemiczno-klimatycznych dla okresu 1960 - 2100 pozwoliły zbadać długoterminowe zmiany w stratosferze i określenie względnego wkładu substancji niszczących ozon i gazów cieplarnianych.

- **Średnia całkowita zawartość ozonu w latach 2006 - 2009 pozostawała na tym samym poziomie jak w poprzednich czterech latach, to jest około 3.5% i 2.5% poniżej średnich z lat 1964 - 1980, odpowiednio dla 90°S – 90°N i 60°S – 60°N.** Średnioroczne kolumny zawartości ozonu w umiarkowanych szerokościach geograficznych (35° - 60°) na półkuli południowej [północnej] za okres 2006 - 2009 pozostawały na tym samym poziomie jaki obserwowano w latach 1996 - 2005, ~6% [ ~3.5% ] poniżej średniej z lat 1964 -1980.
- **Ubytki ozonu w Arktyce w sezonach zimy/wiosny pomiędzy 2007 i 2010 były zmienne, ale pozostawały w zakresie porównywalnym do wczesnych lat 1990.** Znaczące straty ozonu pojawiają się podczas mroźnych arktycznych zim w stratosferze.
- **Nie udało się ustalić związków pomiędzy ubożeniem ozonu w Arktyce i zmianami klimatu na powierzchni ziemi i w troposferze, ponieważ oczekiwane straty ozonu są mniejsze w porównaniu do tych nad Antarktydą.** Chemiczno-klimatyczne modele odtwarzają strukturę trendów zarówno od szerokości i wysokości n.p.m. dla północnych i południowych umiarkowanych szerokości geograficznych podczas minionego okresu wzrostu ilości substancji niszczących warstwę ozonową, potwierdzając zasadniczo nasze rozumienie zmiany ozonu. Symulacje zgadzają się z obserwacjami – ostatnia dekada pokazuje bardzo niewielkie zmiany serii czasowej całkowitej zawartości ozonu w atmosferze.
- **Analizy oparte na naziemnych i satelitarnych pomiarach pokazują, że erytemalne promieniowanie UV wzrosło w umiarkowanych szerokościach geograficznych od końca lat 1970.** To jest jakościowo zgodne z obserwowanym spadkiem kolumny ozonu, chociaż inne czynniki

(głównie chmury i aerozole) wpłynęły na długoterminowe zmiany promieniowania UV. Obserwacje czystego nieba na stacjach bez zanieczyszczeń pokazują, że od końca lat 1990. promieniowanie UV pozostaje w przybliżeniu stałe, co jest spójne z obserwacjami kolumny ozonu za ten okres.

- **Nowe analizy danych satelitarnych i radiosondażowych dają rosnącą pewność zmiany stratosferycznych temperatur w okresie 1980 - 2009.** W skali całego globu dolna stratosfera w okresie 1980-1995 ochłodziła się średnio o 1 - 2K, a górna stratosfera o 4 - 6K. Nie ma istotnych długoterminowych zmian średniej globalnej temperatury dolnej stratosfery od roku 1995. Średnie globalne wychłodzenie dolnej stratosfery nie zachodziło liniowo, ale manifestowało się jako seria spadków temperatury na początku lat 1980. i 1990. Wychłodzenie dolnej stratosfery obejmuje także pas zwrotnikowy, a nie jest ograniczone do obszarów poza-zwrotnikowych jak poprzednio sądzono.
- **Ewolucja temperatury dolnej stratosfery zachodziła pod wpływem kombinacji różnych czynników naturalnych i ludzkich, które zmieniały się w czasie.** Spadki ozonu miały największy wpływ na wychłodzenie stratosfery od roku 1980. Duże erupcje wulkaniczne i aktywność słoneczna miały wyraźny ale krótkotrwały wpływ. Modele, które biorą pod uwagę wszystkie te czynniki są w stanie odtworzyć historię zmian temperatury.
- **Zmiany stratosferycznego ozonu, pary wodnej i aerozoli poprzez pochłanianie i emisję promieniowania wpływają na temperaturę na powierzchni ziemi.** Modele klimatyczne i obserwacje pokazują, że duże erupcje wulkanów np. Mt. Pinatubo w 1991 r. mogą powodować ochłodzenie powierzchni Ziemi przez kilka lat.
- **Globalnie, średnia i górna stratosfera powinny wychłodzić się w tym stuleciu, głównie z powodu zwiększenia CO<sub>2</sub>.** Odbudowa stratosferycznego ozonu nieco przesunie wychłodzenie. Wprowadzane obecnie zamienniki dla substancji zubożających warstwę ozonową – HFC – mogą ocieplić tropikalną dolną stratosferę i rejon tropopauzy o około 0,3°C, gdy ich stężenia osiągną poziom 1 ppbv.
- **Pojawiają się dowody z symulacji w modelach, które sugerują, że rosnąca ilość gazów cieplarnianych doprowadzi do przyspieszenia krążenia w komórce Dobsona - Brewera.** Takie przyspieszenie mogłoby mieć poważne konsekwencje – zmniejszenie zawartości ozonu w pasie zwrotnikowym, a w pozostałym obszarze jej zwiększenie. Jednak, mechanizmy odpowiedzialne za to pozostają niejasne i brak jest potwierdzenia dla tej cyrkulacji w obserwacjach.
- **Przewiduje się, że globalna zawartość ozonu będzie się zwiększać wraz ze spadkiem ilości substancji zubożających warstwę ozonową i ten wzrost będzie przyspieszany przez wychłodzenie górnej stratosfery.** Globalna zawartość ozonu w małym stopniu zależy od zmian cyrkulacji atmosfery, zatem to przewidywanie jest wysoce prawdopodobne.
- **Przewiduje się, że ewolucja ozonu w Arktyce będzie miała większy wpływ na zmiany klimatu niż nad Antarktydą.** Przewidywane wzmocnienie stratosferycznej cyrkulacji Dobsona – Brewera powinno znacznie zwiększyć ilość ozonu w dolnej stratosferze w Arktyce i znacznie skrócić powrót zawartości ozonu do poziomu sprzed lat 1980.
- **Przewiduje się, że zmiany temperatury i cyrkulacji indukowane wzrostem ilości gazów cieplarnianych przyspieszą powrót całkowitej zawartości ozonu w umiarkowanych szerokościach geograficznych do poziomu z lat 1980. o kilka dziesięcioleci, podnosząc**

**znacznie poziom z lat 1980. do końca tego stulecia. Efekt ten będzie najbardziej wyraźny w umiarkowanych szerokościach geograficznych na półkuli północnej, gdzie do połowy tego stulecia powinien spowodować obniżenie promieniowania UV znacznie poniżej poziomu z lat 1980. Przewiduje się, że w umiarkowanych szerokościach południowych wpływ zmian cyrkulacji będzie słabszy i na poziom ozonu będzie oddziaływać proces jego niszczenia nad Antarktydą. Stąd, na półkuli południowej powrót ozonu do poziomu z lat 1980. pojawi się znacznie później.**

- W 2011 r. wystąpił bezprecedensowy sezonowy ubytek ozonu w Arktyce: na wysokościach 18 – 20km zniszczenie ozonu było większe niż 80% (<http://ozone.unep.org>). Przyczyną był wysoki poziom chloru i bromu pochodzący z rozpadu substancji niszczących ozon (CFC, halony) w połączeniu z niezwykle niskimi temperaturami w stratosferze na rozległym obszarze wewnątrz silnie rozwiniętego i wyjątkowo stabilnego arktycznego wiru polarnego. Warunki podczas zimy 2010 – 2011 i na wiosnę tego roku były idealne do wytworzenia dużego ubytku ozonu. Stopień destrukcji ozonu w Arktyce z roku na rok jest wysoce zmienny – duże ubytki w Arktyce obserwowano także w latach 2005, 2000, 1997 i 1996, ale nie w takim stopniu jak na wiosnę 2011. W porównaniu do antarktycznej dziury ozonowej, która pojawia się co roku na wiosnę obszar ubytku ozonu w Arktyce (około 2 miliony kilometrów kwadratowych) był znacznie mniejszy i bardziej mobilny. Obszar poważnego ubytku pojawił się w rejonie Arktyki w lutym i marcu, potem przesunął się nad północną Kanadą, północną Europą Środkową i Rosją, do północnej Azji. Ubytki ozonu utrzymywały się jeszcze w kwietniu. Ubytek ozonu w Arktyce nosi wiele cech charakterystycznych dla antarktycznej dziury ozonowej, ale tak duże ubytki w Arktyce nie pojawiają każdego roku na wiosnę ani nie pokrywają tak dużego obszaru. Trzeba dodać, że ubytki ozonu w Arktyce nigdy nie przewyższyły tych z dziury ozonowej nad Antarktydą. Przemieszczanie obszaru zredukowanej zawartości ozonu nad zamieszkałymi rejonami wiąże się z ostrzeżeniami o nadwyżce promieniowania nadfioletowego. Ozon jest czynnikiem decydującym o poziomie promieniowania UV na powierzchni Ziemi, dlatego w obszarach poważnych ubytków ozonu poziomy UV przy odkrytym Słońcu mogą być znacznie wyższe niż normalnie. Warunki meteorologiczne w arktycznej stratosferze są wysoce zmienne. W ostatniej dekadzie mieliśmy 4 najcieplejsze i 2 najzimniejsze zimy w 32 letniej serii pomiarów. Gdyby nie Protokół Montrealski, który zatrzymał wzrost stężenia chloru w atmosferze, zniszczenie ozonu w Arktyce każdego roku byłoby znacznie większe, duże nawet w zimach które nie są bardzo chłodne. Powody chłodnych zim w Arktyce nie są obecnie jasne. Obecne obserwacje są zgodne z rozumieniem procesów niszczenia ozonu opisanych w ostatnim naukowym raporcie WMO/UNEP: “Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010”.

### **6.2.3 Ocena stanu warstwy ozonowej w 2012 roku na podstawie wyników monitoringu.**

#### **6.2.3.1 Analiza rozkładu pionowego ozonu nad Legionowem w 2012 roku.**

Stan warstwy ozonowej nad Legionowem w miesiącach 2012 roku charakteryzują dane w Tabeli 1. Zgodnie z zaleceniami WMO, do analizy wybrano sondáže ze współczynnikami korekcji Dobsona w zakresie 0.9-1.15, jednak zmierzonych wartości ozonu nie modyfikowano. Badano zmiany

ozonu w miesiącach dla 11 warstw atmosfery od powierzchni ziemi do poziomu 10hPa. Pierwsza obejmuje ciśnienia od powierzchni ziemi do poziomu 700hPa. Kolejne warstwy znajdują się między głównymi powierzchniami izobarycznymi (700, 500, 300, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20 i 10hPa). Dla każdej warstwy obliczono średnie wieloletnie wartości ciśnienia cząstkowego ozonu w miesiącach na podstawie serii pomiarów od czerwca 1993 r. do grudnia 2011 r. W średniej stratosferze (20/10hPa) występuje letnie maksimum związane fotochemiczną produkcją ozonu. W lutym transport ozonu ze źródła nad równikiem powoduje powstanie rocznego maksimum ozonu w warstwie 100/20hPa, w marcu to maksimum przesuwa się do dolnej stratosfery (300/100hPa), a w kwietniu do górnej troposfery (500/300hPa). W maju maksimum roczne ozonu znajduje się w dolnej troposferze. Ten wzorzec transportu powtarza się co roku; w niektórych latach istnieją znaczne przesunięcia w czasie i ilości transportowanego ozonu. Na to nakładają się zmiany powodowane procesem fotochemicznego niszczenia ozonu. Przedstawienie odchyłań ozonu od wartości średnich w jednostkach odchylenia standardowego pozwala na wykrycie anomalii.

W 2012 r. największe niedobory ozonu wystąpiły w stratosferze w chłodnej porze roku. W styczniu rosnące z wysokością ujemne odchylenia ozonu wystąpiły powyżej poziomu 70hPa. W lutym i marcu spadki ozonu objęły niemal cały profil. Ujemne anomalie ozonu widoczne w styczniu i lutym powyżej 30hPa, przemieściły się do dolnej stratosfery na wiosnę – w marcu duże spadki były widoczne w warstwie 200/150hPa, a w kwietniu w warstwie 150/100hPa. W ciepłej porze roku, od maja do września, w stratosferze również przeważały wartości ozonu poniżej średnich wartości wieloletnich. W grudniu wystąpił silny wzrost ozonu w dolnej stratosferze (150/70hPa) i spadek w warstwie 20/10hPa.

Na Rysunkach od 1 do 4 przedstawiono profile ciśnienia cząstkowego ozonu nad Legionowem w poszczególnych dniach dla miesięcy 2012 r. Wypełnione obszary ilustrują zmienność ozonu w miesiącach, w granicach  $\pm 1\sigma$  wokół średnich wartości wieloletnich. Obok profili ozonu zamieszczono odpowiadające im profile temperatury. Zmienność ozonu w poszczególnych dniach jest znacznie większa niż w profilach uśrednionych. Całkowita zawartość ozonu w sondażach z 2012 r. osiągnęła skrajne wartości 436D i 244D, odpowiednio w dniach 15 lutego i 22 października.

Tabela 1. Średnie ciśnienie cząstkowe ozonu w warstwach atmosfery nad Legionowem w 2012 roku.

Mies.	Warstwy atmosfery między standardowymi powierzchniami izobarycznymi (hPa)											
	Ziemia 700	700 500	500 300	300 200	200 150	150 100	100 70	70 50	50 30	30 20	20 10	
1	a	2.9	2.6	1.9	3.2	6.5	9.4	12.2	13.2	14.9	10.5	5.9
	b	2.7	2.9	2.2	3.7	7.0	9.2	12.2	15.1	15.3	12.4	7.9
	c	0.7	-1.7	-1.6	-0.3	-0.3	0.1	0.0	-1.0	-0.4	-2.2	-2.6
2	a	3.0	2.7	2.1	3.9	7.9	10.0	13.0	16.1	14.3	10.3	7.2
	b	3.1	3.1	2.4	4.4	8.6	10.2	13.7	16.5	16.1	13.0	8.5
	c	-0.2	-1.5	-1.2	-0.4	-0.3	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-1.4	-2.9
3	a	3.3	3.0	2.5	4.5	6.9	8.0	10.1	15.4	16.3	12.0	7.9
	b	3.9	3.4	2.8	5.5	9.8	10.7	13.2	15.5	15.6	12.4	8.7
	c	-2.0	-2.4	-0.8	-0.6	-2.2	-1.9	-1.8	-0.1	0.7	-0.5	-1.6

4	a	4.5	3.9	2.9	5.3	9.7	6.1	10.4	15.1	15.4	12.8	8.8
	b	4.5	3.9	3.2	5.4	9.6	10.2	12.4	14.7	14.8	12.1	9.0
	c	0.0	0.0	-0.7	-0.1	0.1	-2.2	-1.1	0.3	0.6	0.8	-0.3
5	a	4.9	4.2	3.3	3.1	7.5	7.6	10.4	12.5	13.2	11.8	8.9
	b	4.8	4.1	3.1	5.0	9.1	8.7	10.6	13.4	13.9	12.0	9.6
	c	0.4	0.4	0.4	-1.4	-1.2	-1.0	-0.2	-1.0	-1.1	-0.6	-1.3
6	a	4.8	4.2	3.0	4.1	7.9	6.6	7.8	11.1	12.9	11.5	8.9
	b	4.7	4.2	3.4	4.5	7.5	7.5	9.1	11.9	13.1	12.3	10.1
	c	0.1	0.0	-1.4	-0.3	0.2	-0.9	-1.1	-1.0	-0.4	-0.9	-1.9
7	a	5.3	4.2	3.5	4.1	6.4	5.4	7.5	11.1	12.2	12.0	9.4
	b	4.6	4.0	3.3	4.5	6.6	6.5	8.2	11.1	12.7	12.3	9.9
	c	1.1	0.7	0.6	-0.2	-0.1	-1.2	-1.1	0.0	-0.8	-0.7	-0.7
8	a	4.6	3.8	3.3	3.5	4.7	5.8	7.9	10.2	12.5	10.8	8.9
	b	4.4	3.9	3.1	3.4	5.3	6.1	8.4	10.8	11.8	11.6	9.6
	c	0.4	-0.4	0.4	0.1	-0.8	-0.5	-0.8	-0.8	0.9	-0.8	-1.2
9	a	4.3	3.5	2.3	1.7	2.9	4.5	6.9	10.2	11.4	9.8	7.7
	b	3.8	3.6	2.7	2.9	4.0	5.5	8.6	11.1	11.9	11.1	8.7
	c	1.1	-0.2	-1.6	-1.7	-1.5	-1.2	-1.8	-1.3	-1.0	-1.3	-1.3
10	a	3.3	3.2	2.5	3.3	4.0	4.6	8.1	10.9	11.7	10.9	7.3
	b	3.2	3.2	2.4	2.7	3.7	5.1	8.1	10.8	11.7	10.7	7.8
	c	0.2	0.4	0.2	0.6	0.3	-0.5	0.0	0.2	0.0	0.3	-0.9
11	a	3.2	3.3	2.3	2.0	3.9	5.6	7.9	11.4	13.3	11.7	7.7
	b	2.8	3.0	2.2	2.7	4.4	6.1	9.5	11.5	12.5	11.4	7.5
	c	1.1	1.8	0.2	-0.8	-0.6	-0.4	-1.2	-0.1	1.3	0.4	0.3
12	a	1.9	2.9	2.0	3.8	6.9	11.3	14.0	14.0	14.5	11.3	5.7
	b	2.7	2.9	2.2	2.7	4.7	7.1	10.1	12.7	13.5	11.8	7.6
	c	-2.1	-0.2	-0.5	1.4	1.8	2.3	2.4	0.8	0.8	-0.7	-2.3

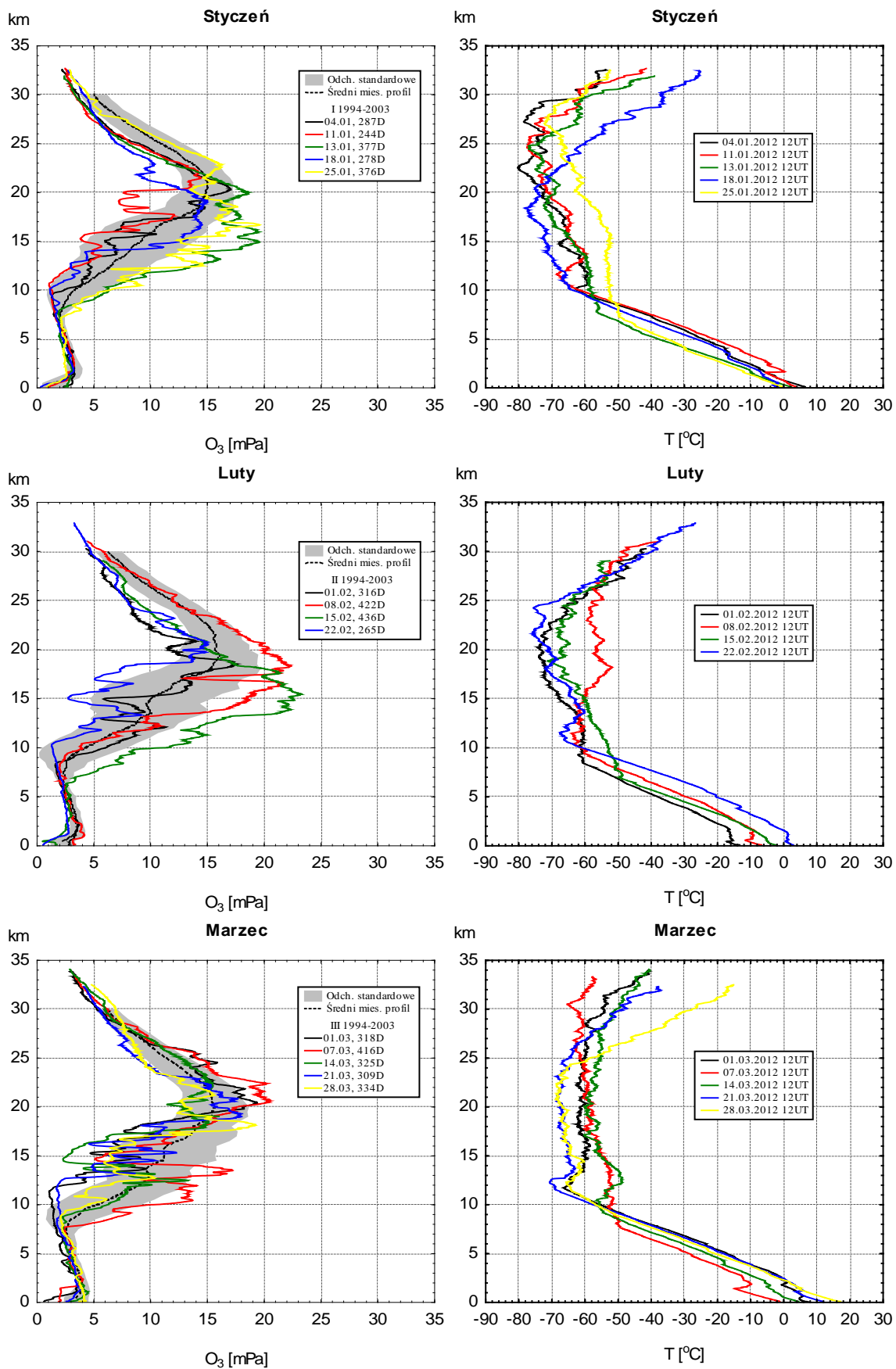
Wartości ciśnienia cząstkowego ozonu w  $10^{-4}$  Pa

a – średnie miesięczne ciśnienie cząstkowe w 2012 r.

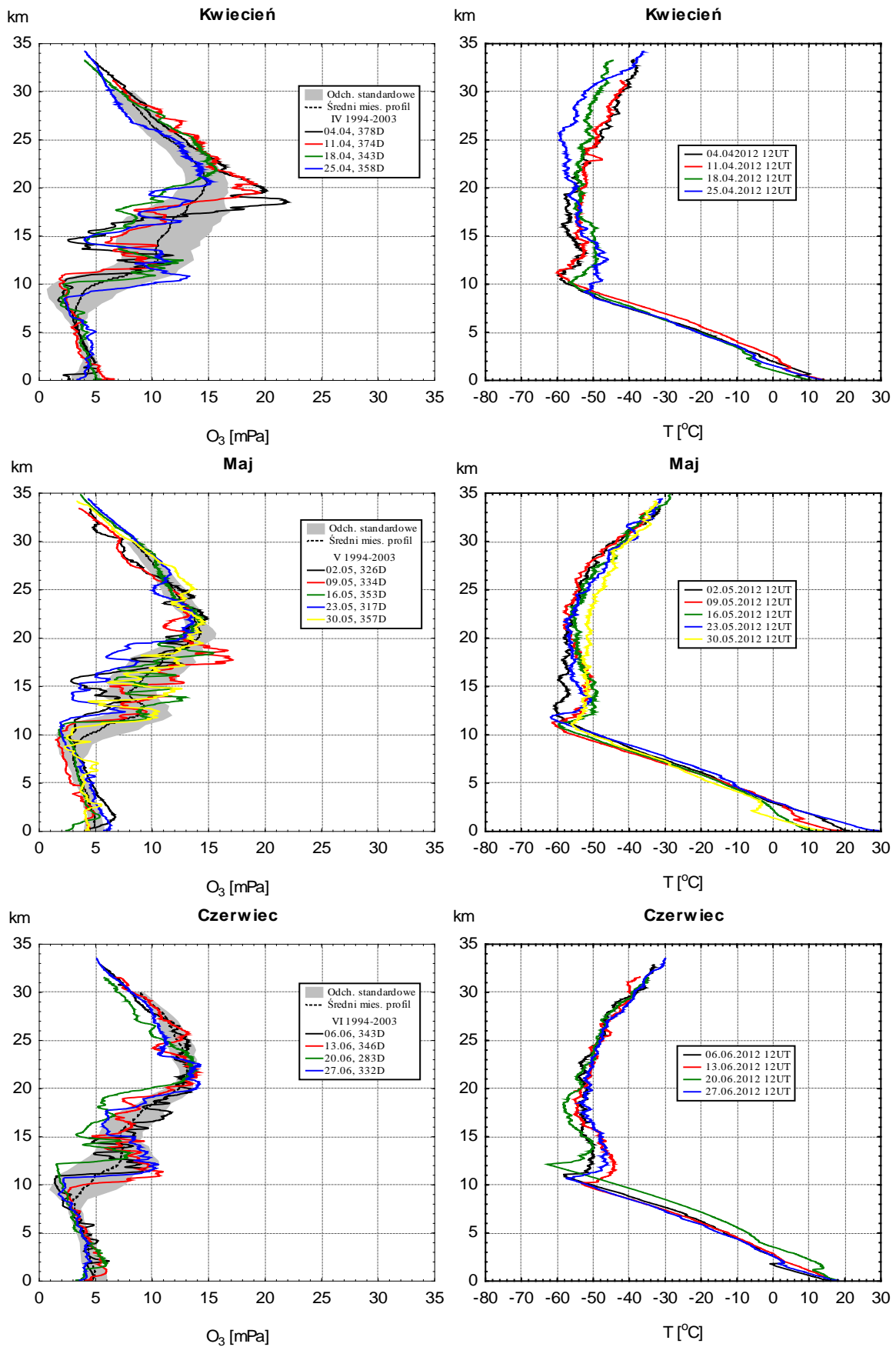
b – średnie miesięczne wieloletnie ciśnienie cząstkowe z okresu 06.1993-12.2011

c – standaryzowane odchylenie:  $(a - b)/\sigma$ , gdzie  $\sigma$  jest odchyleniem standardowym średnich miesięcznych z okresu 06.1993-12.2011

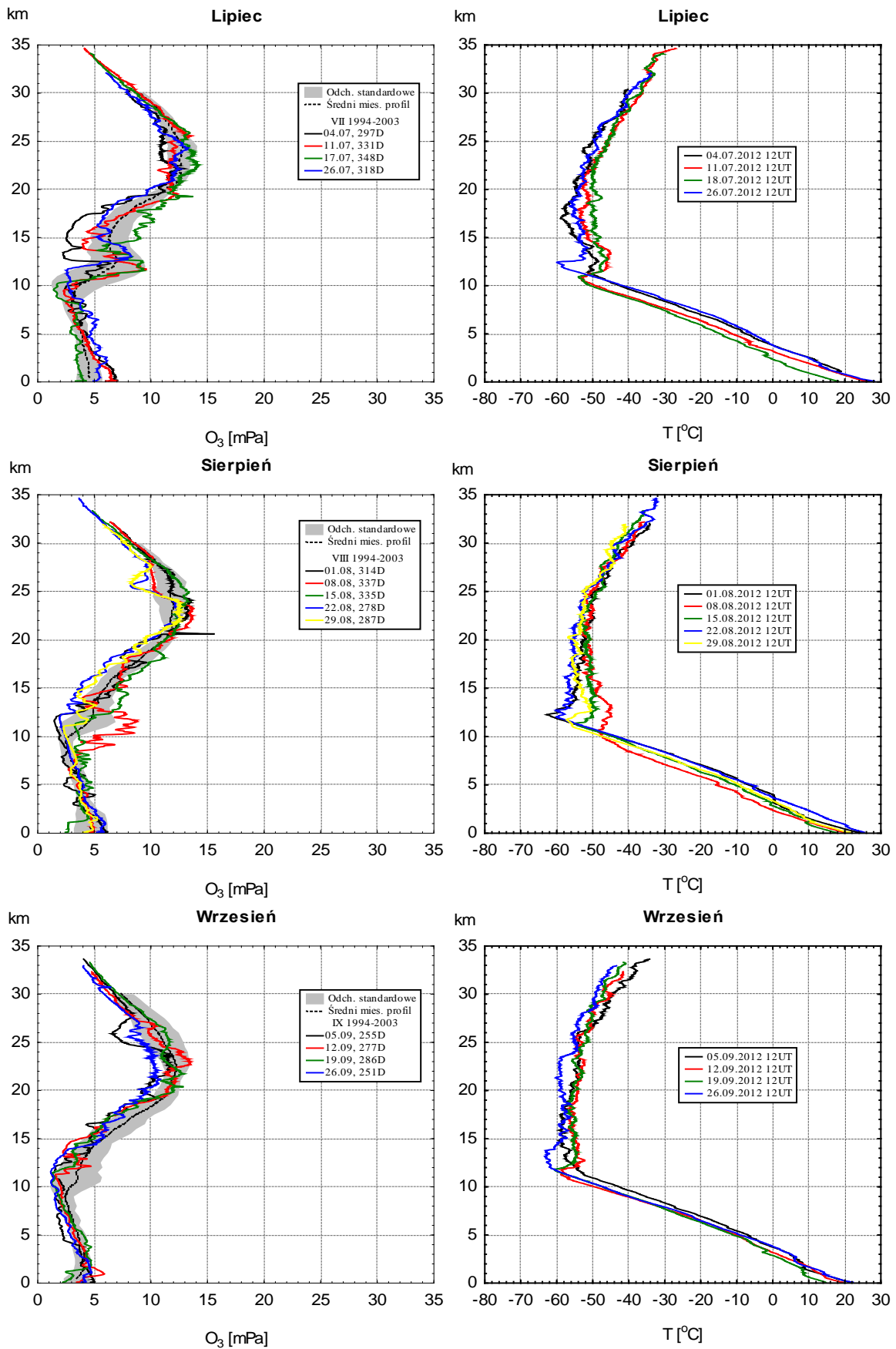




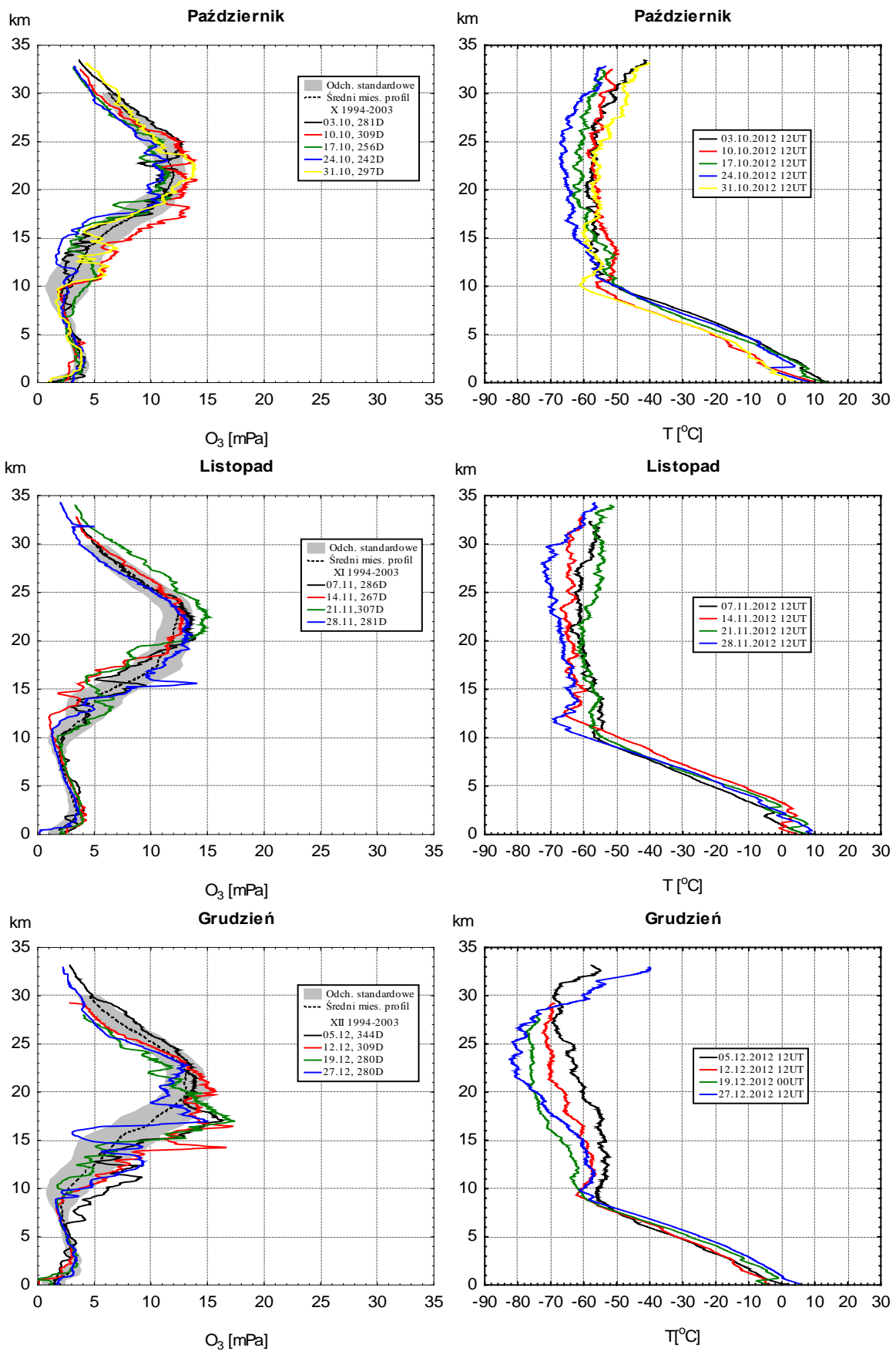
Rysunek 1. Profile ozonu i temperatury nad Legionowem w I kwartale 2012 r.



Rysunek 2. Profile ozonu i temperatury nad Legionowem w II kwartale 2012 r.



Rysunek 3. Profile ozonu i temperatury nad Legionowem w III kwartale 2012 r.



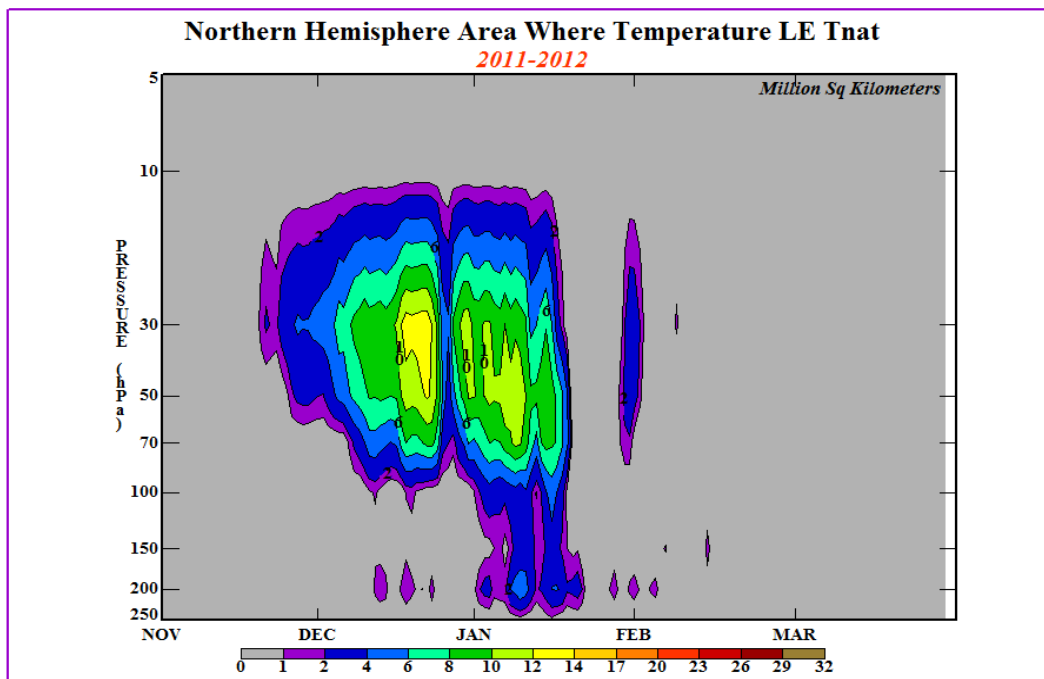
Rysunek 4. Profile ozonu i temperatury nad Legionowem w IV kwartale 2012 r.

## Procesy niszczenia ozonu na półkuli północnej podczas zimy 2011/12

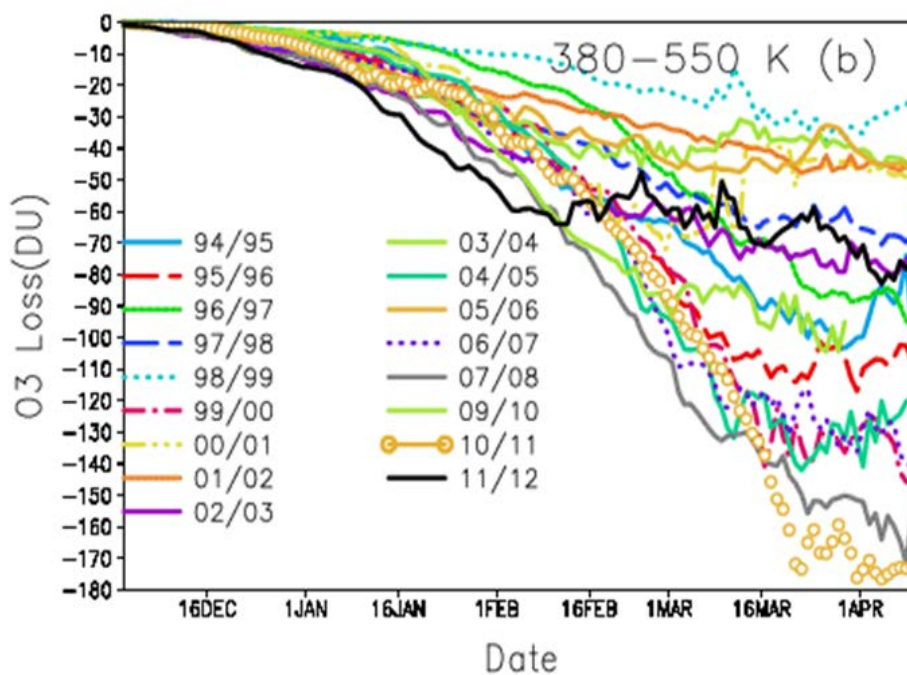
Przy wciąż wysokim nasyceniu stratosfery związkami chloru i bromu niszczenie ozonu w Arktyce zależy w dużym stopniu od zmieniających się z roku na rok warunków meteorologicznych. Zimą, po spadku temperatury poniżej  $-78^{\circ}\text{C}$  na wysokościach 15-25km mogą się tworzyć tzw. polarne chmury stratosferyczne (PSC). Obszar występowania PSC ograniczony jest do wiru polarnego, który epizodycznie przemieszcza się do umiarkowanych szerokości geograficznych. Potencjał niszczenia ozonu zależy od wielkości powierzchni PSC, na których zachodzą reakcje przekształcania rezerwuaru aktywnego chloru ( $\text{ClONO}_2$  i  $\text{HCl}$ ) w najbardziej reaktywną postać ( $\text{ClO}$ ). Ilość  $\text{ClO}$  znacznie się zwiększa w wyniku grawitacyjnego osiadania dużych cząstek PSC – proces ten określany jako denitryfikacja usuwa  $\text{NO}_2$  ( $\text{NO}_2$  pomaga w dezaktywacji  $\text{ClO}$ ).

Rysunek 5 przedstawia wielkość obszaru polarnych chmur stratosferycznych (PSC) dla zimy 2011/12, w funkcji ciśnienia atmosferycznego, obliczonego na podstawie rozkładu temperatur w stratosferze nad półkulą północną. Temperatury umożliwiające powstawanie PSC na półkuli północnej występowały na większych obszarach od początku grudnia do połowy stycznia. W tym okresie brak promieniowania słonecznego uniemożliwiało fotochemiczne niszczenie ozonu w rejonach polarnych. Temperatury spadły ponownie poniżej progu PSC na znacznie mniejszym obszarze pod koniec stycznia. Sezon występowania PSC zakończył się wcześniej niż zwykle, bo już na początku lutego.

Procesy niszczenia ozonu w Arktyce w sezonie zimy/wiosny są badane za pomocą trójwymiarowych modeli uwzględniających chemię i dynamikę atmosfery. Na Rysunku 6 przedstawiono wyniki obliczeń z użyciem modelu SLIMCAT Uniwersytetu Leeds. W modelu tym zaktualizowano parametryzację procesów transportu, chemicznych i denitryfikacji. Symulacja pokazuje zmianę początkowej ilości ozonu od początku zimy, w jednostkach Dobsona, dla cząstkowej kolumny 380-550K. Ubytki ozonu dla poszczególnych dni uśredniono po obszarze arktycznego wiru polarnego, w okresach zimy/wiosny od 1994 do 2012 roku. Podczas zimy 2011/12 pierwsza aktywacja chloru na powierzchniach PSC miała miejsce na początku grudnia 2011, ostatnia na początku lutego 2012 r. (Rysunek 5). W tym okresie zniszczona została rekordowa ilość ozonu (60D). Od połowy lutego do końca kwietnia ozon był nadal niszczone, ale w znacznie mniejszym tempie, co zapobiegło powstaniu drugiej z kolei dziury ozonowej w Arktyce, prawdopodobnie większej od tej z wiosny 2011 r.



Rysunek 5. Powierzchnie PSC (w mln km<sup>2</sup>) w funkcji ciśnienia dla zimy 2011/12 na półkuli północnej (Źródło: [www.cpc.ncep.noaa.gov](http://www.cpc.ncep.noaa.gov)).



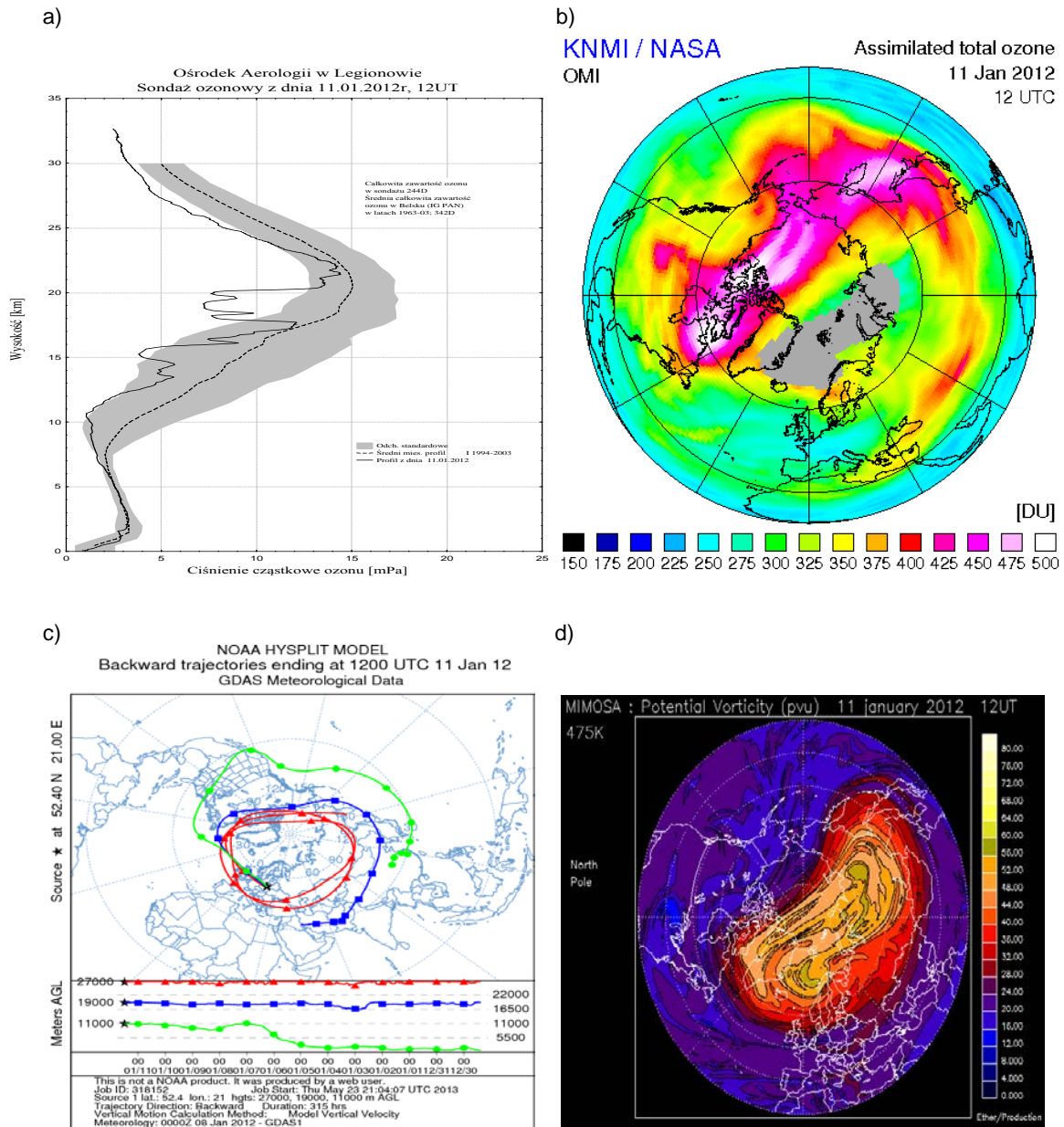
Rysunek 6. Symulacje w modelu SLIMCAT: serie czasowe dla arktycznych zim 1994/95 do 2011/12 przedstawiające uśrednione po obszarze wiru ubytki ozonu w cząstkowej kolumnie atmosfery w dolnej stratosferze (column o3 loss).

## Analiza wybranych epizodów rozrzedzenia warstwy ozonowej

Dla wybranych dni wykorzystano profile ozonu z Legionowa, rozkłady przestrzenne całkowitej zawartości ozonu ([http://www.temis.nl/protocols/o3field/o3field\\_omi.php](http://www.temis.nl/protocols/o3field/o3field_omi.php)) i pola wirowości potencjalnej (<http://www.pole-ether.fr/etherTypo/index.php?id=1573>) dla wybranych powierzchni izentropowych oraz wsteczne trajektorie cząstek ([http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT\\_traj.php](http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php)) na wysokościach ubytków ozonu (Rysunki 7-8).

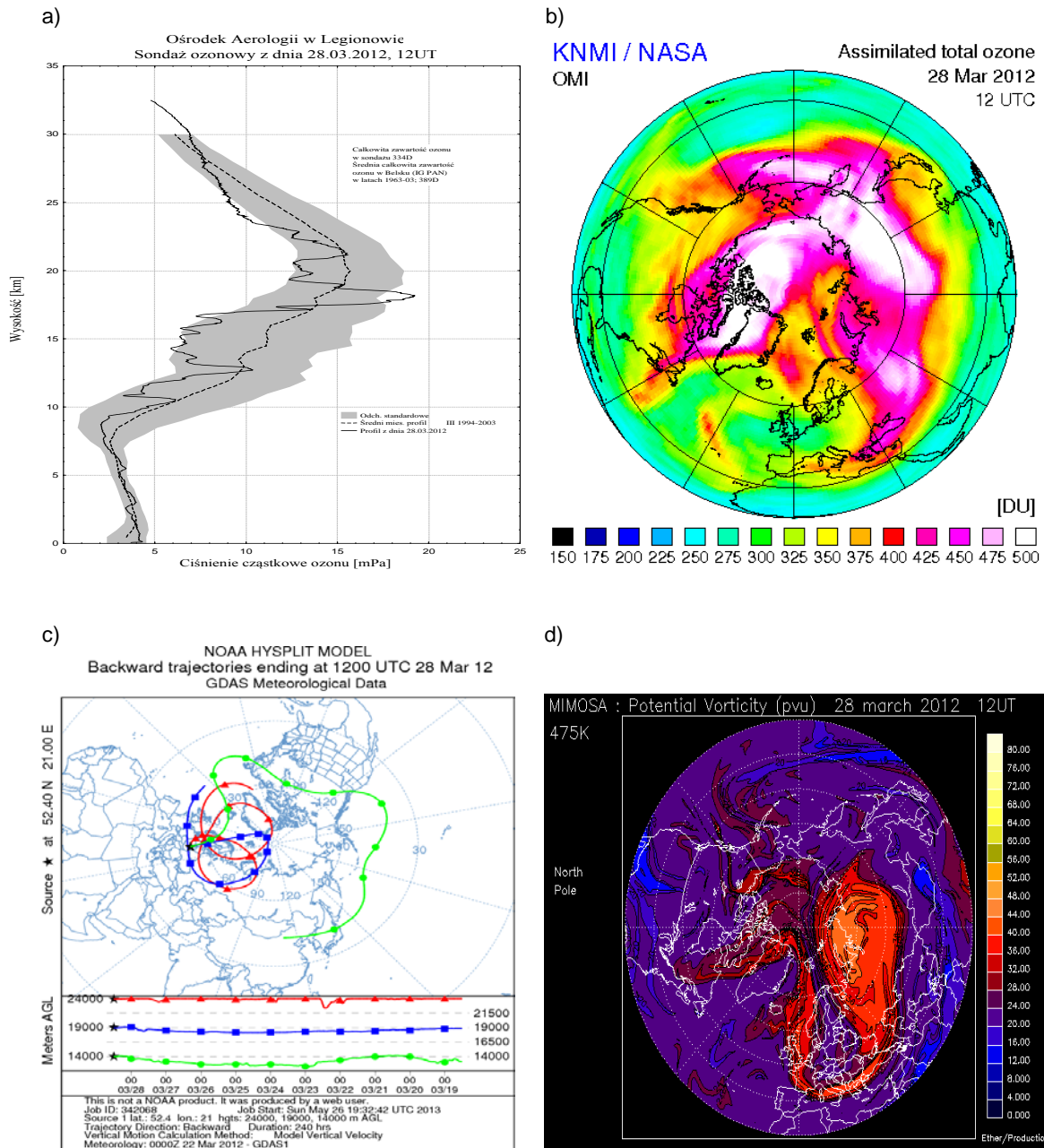
W dniu 11 stycznia 2012 r. zaobserwowano duży spadek całkowitej zawartości ozonu (CZO) nad Europą Zachodnią i Środkową; CZO w sondażu w Legionowie obniżyła się do 244D. Stratyfikacja mas była typowa dla epizodów mini-dziur ozonowych. Górą nad Polskę napływało powietrze o małej zawartości ozonu z arktycznego wiru polarnego, a dołem, w warstwie UTLS ( $\pm 5$ km względem tropopauzy), powietrze o naturalnie niskich koncentracjach ozonu z szerokości około 30°N. Na wysokości powierzchni izentropowej 475K (~19.5km) granica arktycznego wiru polarnego przebiegała nad południową Skandynawią, a Polska znajdowała się w masie powietrza subtropikalnego. Na nieco niższej wysokości (19km) cząstka przemieszczająca się nad Legionowem miała swoje źródło w niższych szerokościach, około 30°N. Prawdopodobnym wyjaśnieniem dla anomalii ozonu w warstwie 17-20km jest transport (zanieczyszczonego) powietrza pod (sub)tropikalną tropopauzą. Minimum koncentracji ozonu na wysokości tropopauzy wystąpiło w masie powietrza, które wzniosło się z nad wód oceanu Spokojnego.

Na wiosnę obserwowano skutki wcześniejszego fotochemicznego niszczenia ozonu w wirze polarnym. W dniu 28 marca 2012 r., powyżej powierzchni izentropowej 475K(19.5km), Polska znajdowała się na brzegu wiru polarnego. W profilu ozonu nad Legionowem ubytki ozonu widoczne były w dwóch warstwach centrowanych na wysokościach ~20km i ~24km, natomiast poniżej 16km obserwowano transport naturalnie ubogich w ozon mas powietrza z niższych szerokości geograficznych. W tym samym dniu większe spadki całkowitej zawartości ozonu na zachód od Polski były spowodowane silniejszym napływem powietrza subtropikalnego w dolnej stratosferze. W drugiej połowie kwietnia wir polarny istniał tylko na najwyższych poziomach w stratosferze. Po zmianie cyrkulacji w stratosferze z zimowej na letnią w profilu ozonu nad Legionowem z 25 kwietnia 2012 r. powyżej wysokości 26km było wciąż widoczne mieszanie polarnych mas powietrza o mniejszej zawartości ozonu z bogatym w ozon powietrzem transportowanym ze źródła nad równikiem.



Rysunek 7. a) Profil ozonu nad Legionowem 11 stycznia 2012, 12UTC,  
b) całkowita zawartość ozonu,  
c) trajektorie wsteczne kończące się nad stacją,  
d) wirowość potencjalna 475K.

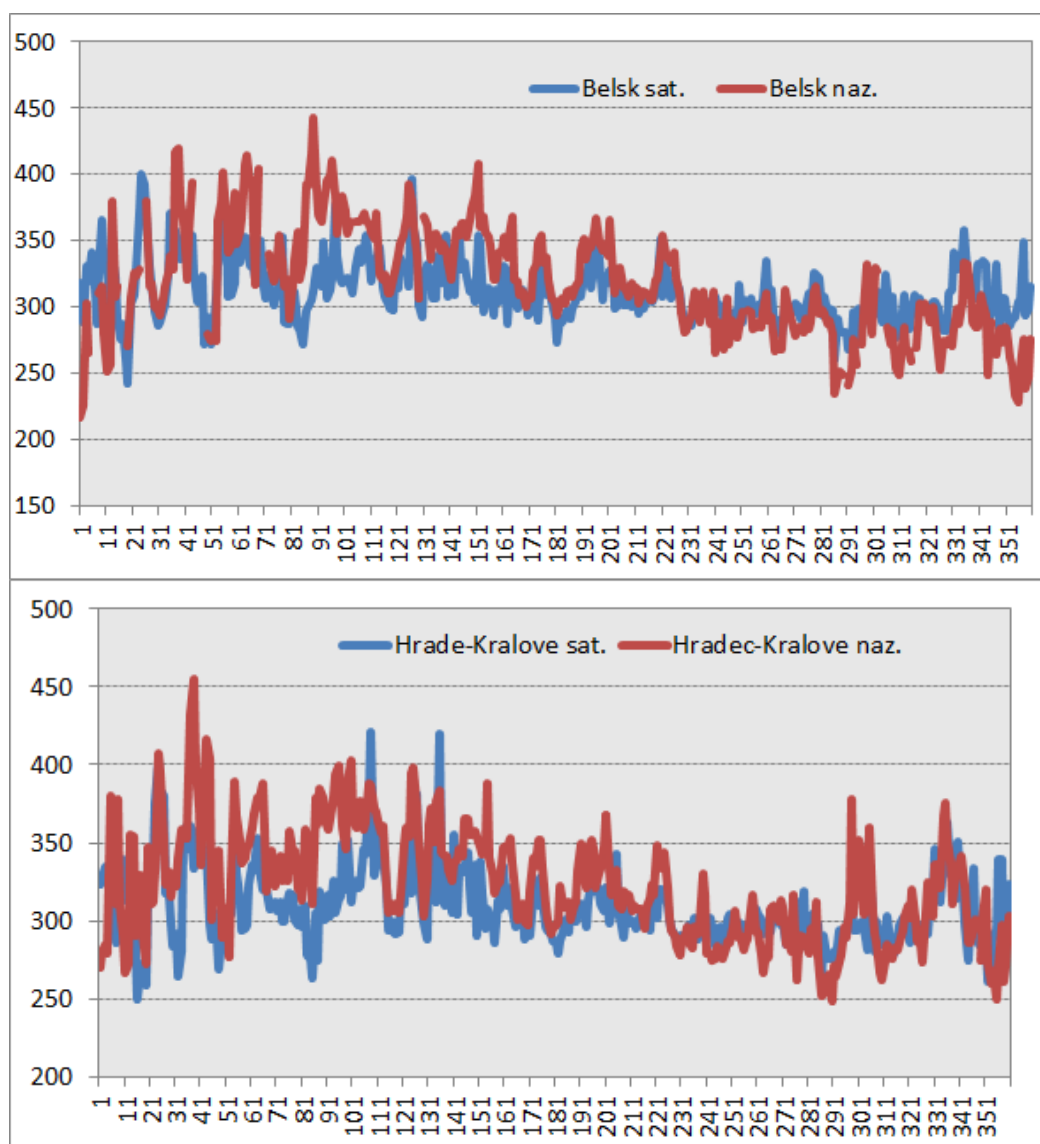


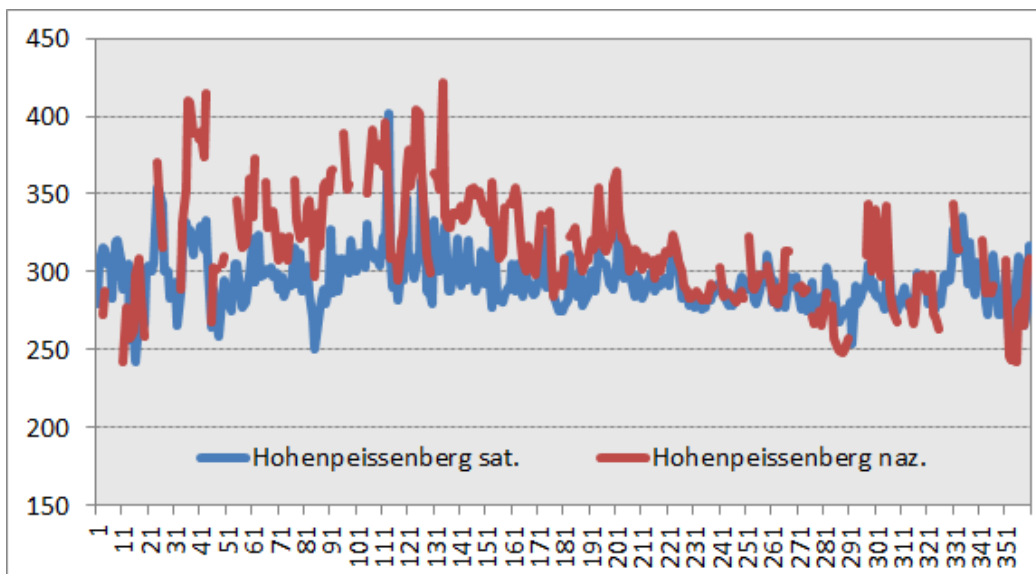


Rysunek 8. a) Profil ozonu nad Legionowem 28 marca 2012, 12UTC,  
b) całkowita zawartość ozonu,  
c) trajektorie wsteczne kończące się nad stacją,  
d) wirowość potencjalna 475K.

### 6.2.3.2 Ozon całkowity z danych satelitarnych w 2012 roku.

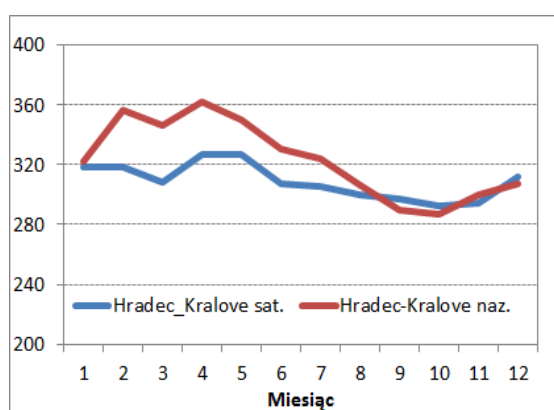
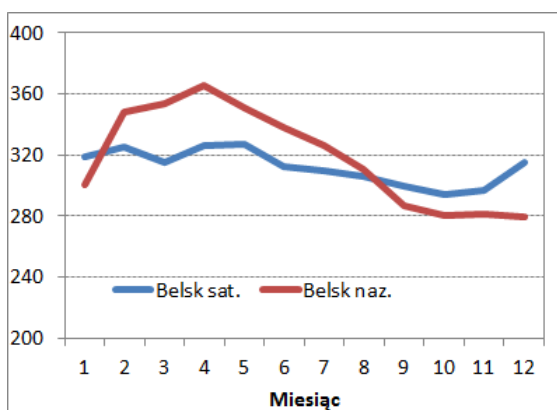
Weryfikacja dokładności całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z danych satelitarnych odbywa się poprzez porównanie z pomiarami naziemnymi. Porównanie takie przeprowadzone zostało dla trzech stacji z obszaru Europy Środkowej, które znajdują się w obrębie każdej transmisji NOAA odbieranej w Ośrodku Teledetekcji Satelitarnej IMGW-PIB. Stacje te to: Belsk (21°E, 52°N), Hradec-Kralove (15.8°E, 50.2°N) oraz Hohenpeissenberg (11.0°E, 47.8°N). 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](http://www.woudc.org)). Na Rysunku 9 przedstawiono przebiegi krzywych całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej z satelitarnych danych i zmierzonej spektrofotometrem dla wymienionych wyżej stacji w roku 2012. Kolorem czerwonym oznaczono krzywą uzyskaną na podstawie pomiarów spektrofotometrem, a niebieskim – satelitarnych.

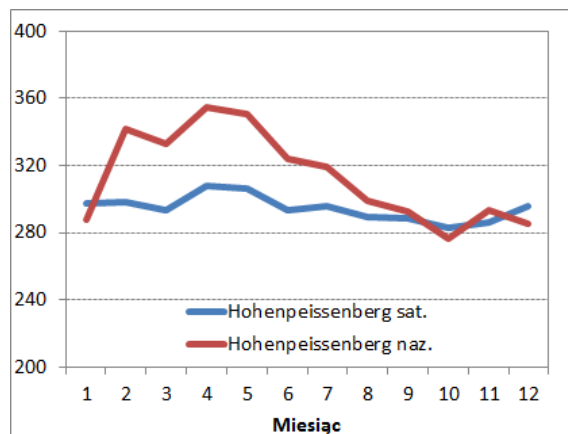




Rysunek 9. Całkowita zawartość ozonu wyznaczona dla Belska, Hradec-Kralove oraz Hohenpeissenberga z danych satelitarnych NOAA/ATOVS (linia niebieska); zmierzona spektrofotometrem Dobsona (linia czerwona) w roku 2012.

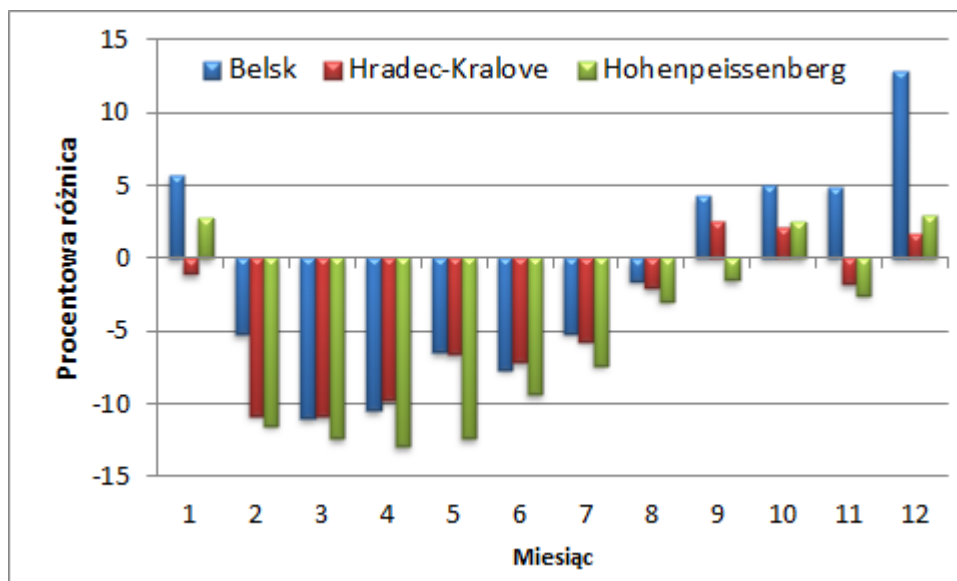
Łatwo zauważyć dużą zmienność dobową całkowitej zawartości ozonu wyznaczonej zarówno z danych satelitarnych jak i zmierzonej spektrofotometrem. Krzywe charakteryzuje podobna zmienność roczna z widocznym spadkiem zawartości ozonu jesienią i jej wzrostem wiosną, przy czym wzrost ten jest mniej wyraźny w przypadku danych satelitarnych. Dla wszystkich trzech stacji w pierwszej połowie roku widoczne jest zaniżanie całkowitej zawartości ozonu przez dane satelitarne oraz zawyżanie w drugiej. Właściwość ta mocniej uwidacznia się na Rysunku 10, przedstawiającym zmienność roczną średnich miesięcznych całkowitej zawartości ozonu wyznaczonych z danych satelitarnych NOAA/ATOVS oraz zmierzonych za pomocą spektrofotometru.





Rysunek 10. Średnie miesięczne całkowitej zawartości ozonu wyznaczone dla Belska, Hradec-Kralove oraz Hohenpeissenberga z danych satelitarnych NOAA/ATOVS (linia niebieska); zmierzone spektrofotometrem Dobsona (linia czerwona) w roku 2012.

Analiza procentowych różnic pomiędzy średnimi miesięcznymi całkowitej zawartości ozonu wyznaczonymi z danych satelitarnych oraz zmierzonymi na stacji (Rysunek 11) pokazuje, że różnice są zbliżone dla wszystkich stacji i wahają się od -12.9% (kwiecień, Hohenpeissenberg) do 12.9% (grudzień, Belsk). Jesienią i zimą (z wyjątkiem lutego) 2012 różnice uzyskane dla Belska są wyraźnie większe od tych otrzymanych dla pozostałych dwóch stacji.



Rysunek 11. Rozkład procentowych różnic pomiędzy średnimi miesięcznymi całkowitej zawartości ozonu wyznaczonymi dla Belska, Hradec-Kralove i Hohenpeissenberga z danych satelitarnych NOAA/ATOVS (linia niebieska); zmierzonymi spektrofotometrem Dobsona (linia czerwona) w roku 2012.

W celu określenia dokładności metody wyznaczania zawartości ozonu z danych satelitarnych 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 2012 roku. Wyniki przedstawione zostały w Tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki porównania pomiędzy ozonem wyznaczonym z danych ATOVS i zmierzonych spektrofotometrem dla trzech stacji w roku 2012.

	Korelacja	Średnia różnica [D]	Średnia różnica bezwzględna [D]	RMSE %
Belsk	0.61	-6.3	25.3	11.0
Hradec-Kralove	0.61	-14.3	24.6	10.4
Hohenpeissenberg	0.58	-20.5	27.3	12.1

Dokładność satelitarnego monitoringu ozonu z wykorzystaniem danych z nowej generacji czujnika ATOVS obliczona na podstawie porównania z pomiarami naziemnymi w roku 2012 wahała się od 10.4% do 12.1% w zależności od stacji, i była najniższa dla Hohenpeissenberga (Tabela 2). Natomiast wartość modułu średniej różnicy jest najmniejsza dla Belska, co wynika z dużych dodatnich różnic pomiędzy całkowitą zawartością ozonu wyznaczoną z danych satelitarnych, a zmierzoną spektrofotometrem w ostatnich miesiącach roku (Rysunek 11).

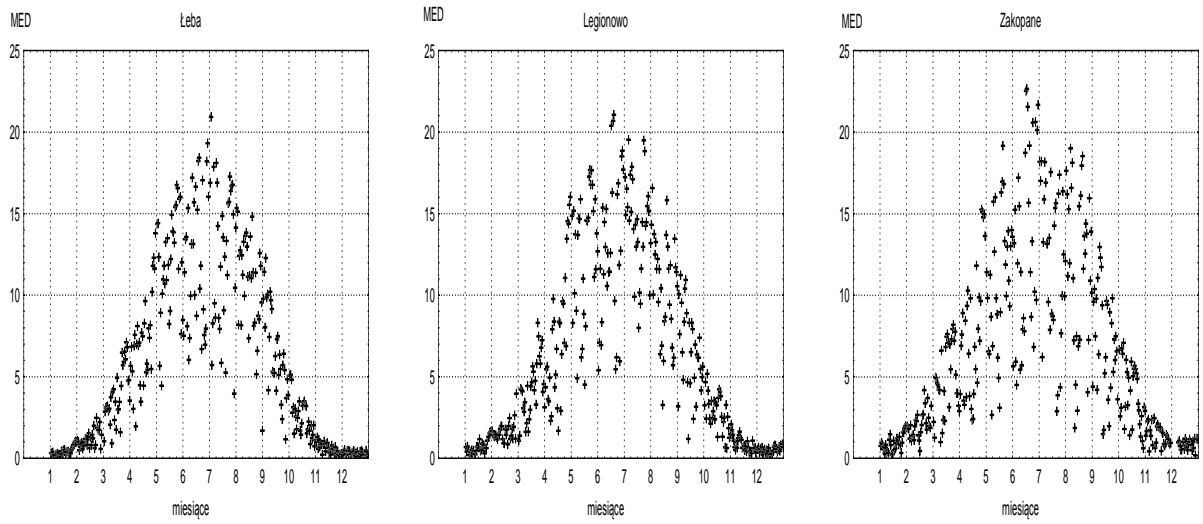
Podsumowując można stwierdzić, że jakość satelitarnego monitoringu całkowitej zawartości ozonu w Europie Środkowej w 2012 jest w niewielkim stopniu zależna od położenia, a błąd procentowy uzyskany na podstawie danych ze wszystkich trzech stacji jest równy 11%.

### 6.2.3.3 Promieniowanie UV-B zmierzone na sieci monitoringu w 2012 roku.

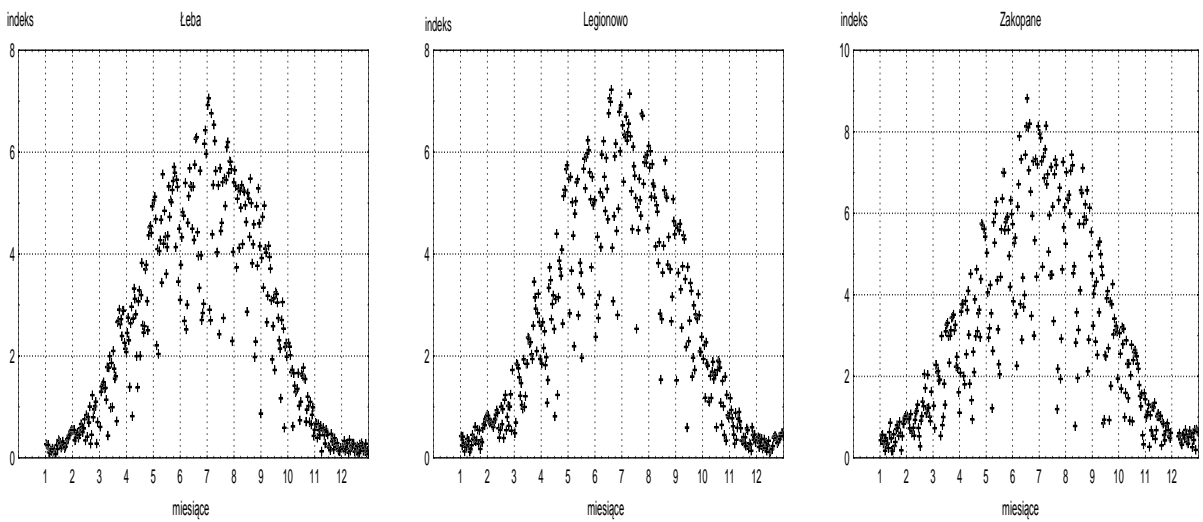
Pomiary rumieniowo czynnego promieniowania UV-B wykonywane są w sieci monitoringu dwoma typami przyrządów: UV Biometer Model 501 (SL501) firmy Solar Light, zainstalowanym na stacjach IMGW-PIB w Łebie, Legionowie, Zakopanem; oraz UVEM-6C firmy OPTIX, pracującym na stacjach IMGW-PIB w Łebie, Mikołajkach, Legionowie, Katowicach, Zakopanem. Wyniki pomiarów uzyskane z przyrządów SL501 o międzynarodowej renomie i długim czasie pracy (od 1994 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 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 2012 roku (Rysunki 12-15).

a)

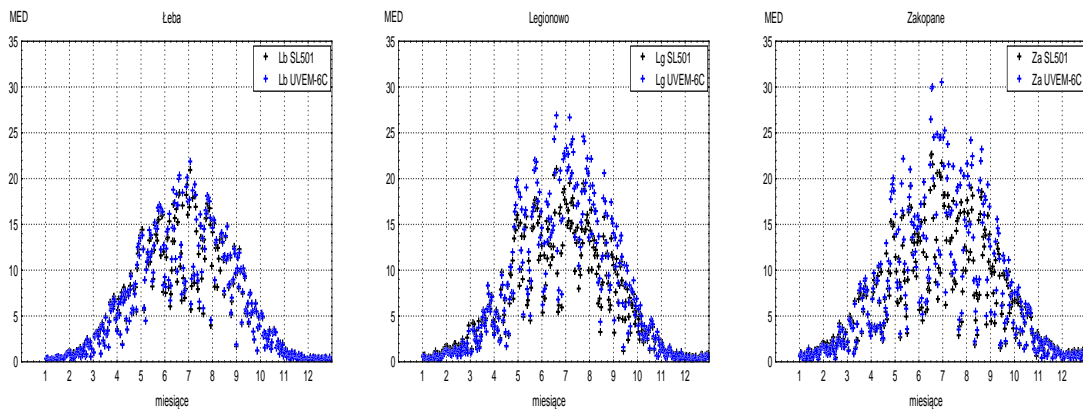


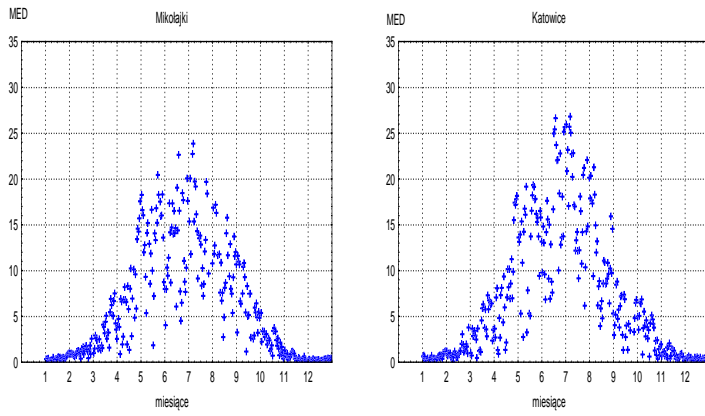
b)



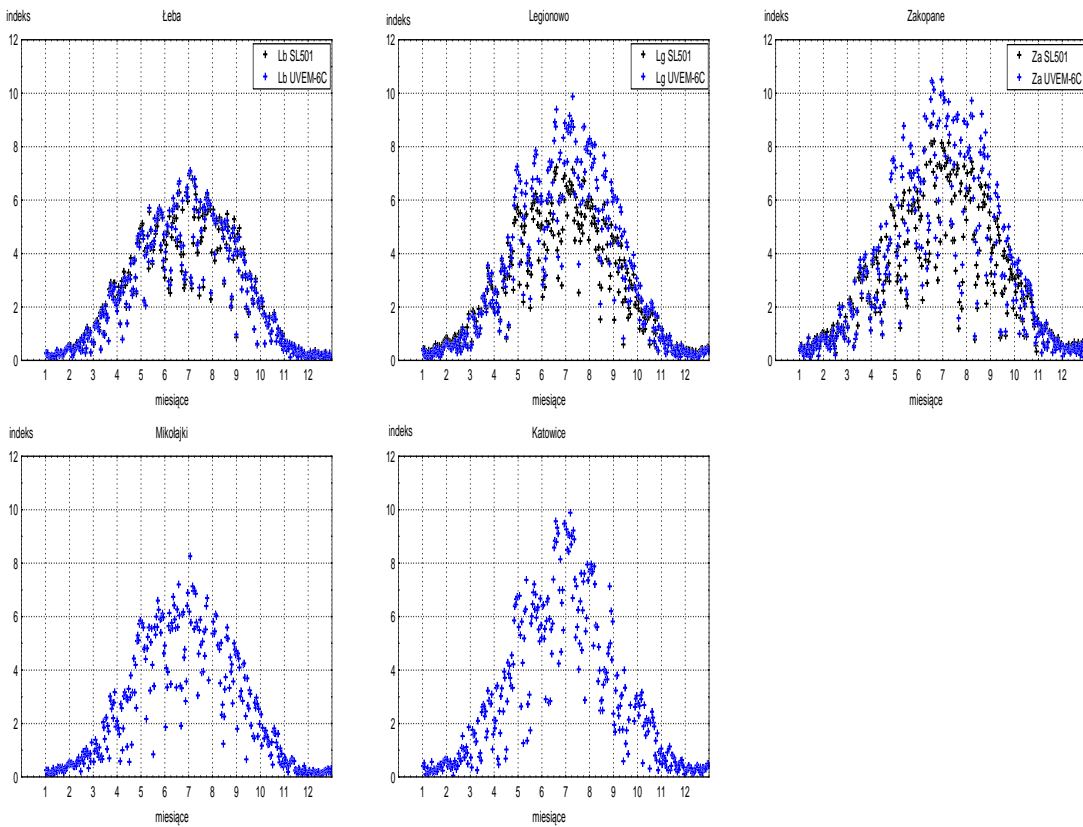
Rysunek 12. Wartości dawek dziennych UV-B [MED] (a) i indeksu UV (b) z czujników SL501 w 2012r.

a)

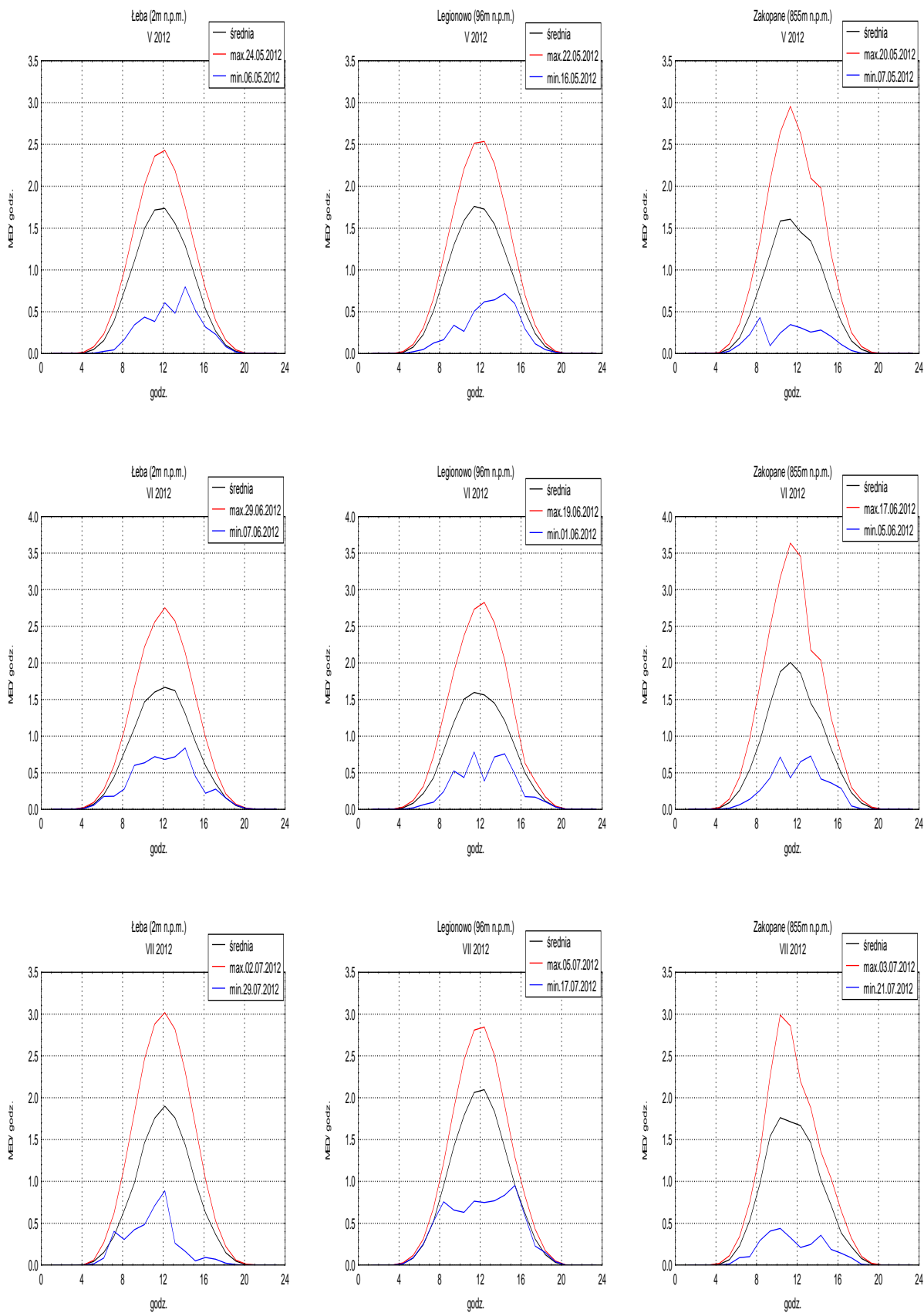




b)

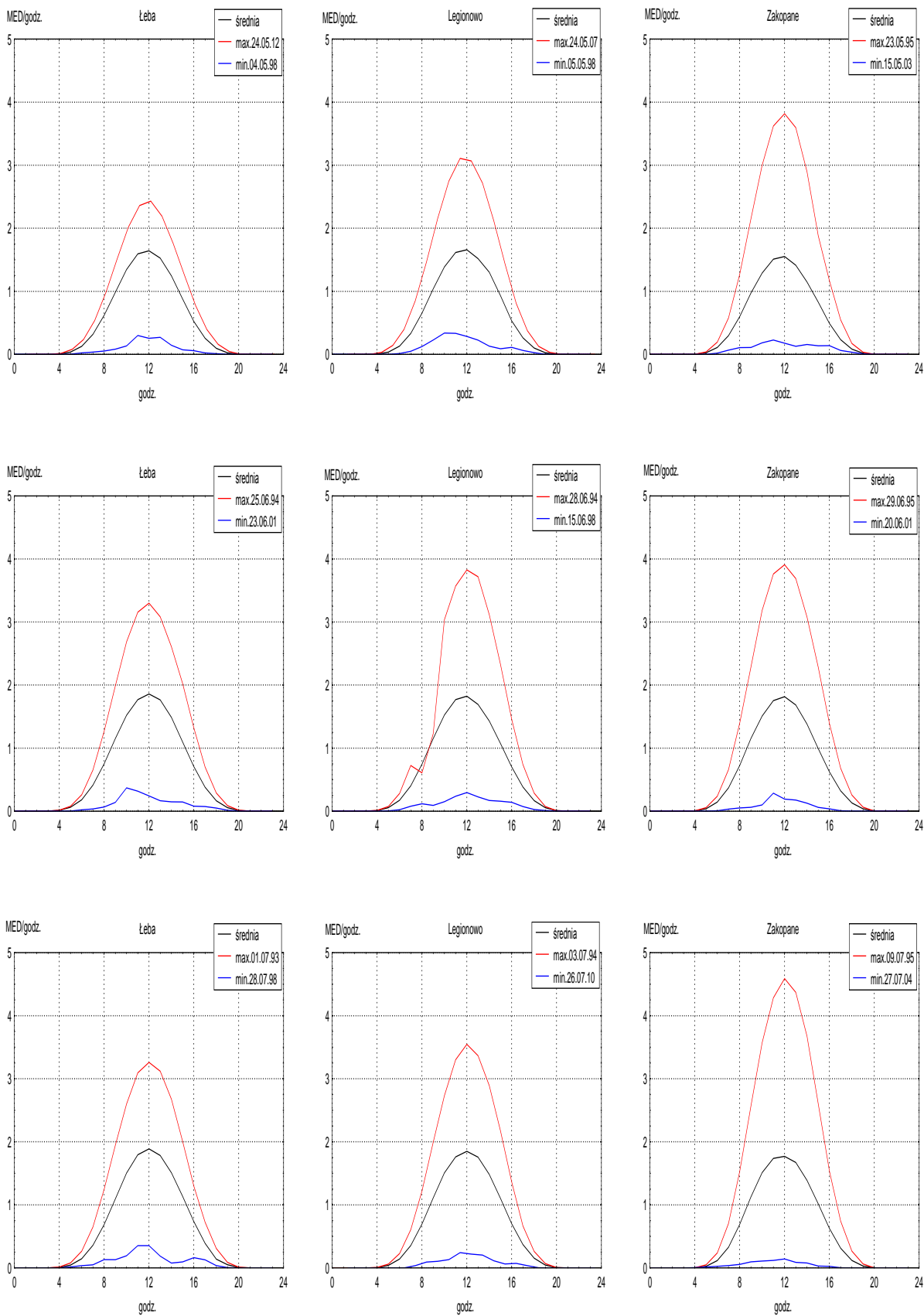


Rysunek 13. Wartości dawek dziennych UV-B [MED] (a) i indeksu UV (b) z czujników OPTIX UVM-6C w 2012 roku (kolor niebieski) na tle wartości z czujników SL 501 pracujących równoległe na wybranych stacjach (kolor czarny).



Rysunek 14. Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B (w MED/h) zmierzonego przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu 2012 r.





Rysunek 15. Średnie, maksymalne i minimalne przebiegi dobowe promieniowania UV-B (w MED/h) zmierzonych przyrządami SL501 w maju, czerwcu i lipcu dla całej serii pomiarowej od VII.1993 do VII.2012

Tabela 3. Dienne – średnie, maksymalne i minimalne dawki UV-B oraz miesięczne dawki promieniowania UV-B (MED) zmierzone czujnikami OPTIX w 2012 r.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Łeba												
Liczba dni pom.	31	29	31	30	31	30	30	26**	30	31	30	31
Śr. Dobowe	0,4	1,1	3,7	7,2	12,5	13,5	13,6		6,6	2,5	0,6	0,3
Max. Dob.	1,0	2,4	6,8	13,5	17,1	20,4	21,9	15,5	11,9	5,3	1,2	0,4
Min. Dob.	0,1	0,2	0,9	1,8	4,5	6,7	4,5	1,9	1,2	0,6	0,2	0,1
Dawka mies.	12,6	30,9	115,7	215,8	387,8	404,3	409,4*		198,5	76,2	16,8	8,1
Mikołajki												
Liczba dni pom.	31	29	31	29	29	30	25**	28	27	30	30	31
Śr. Dobowe	0,4	1,2	3,5	7,3	13,3	12,8		10,7	6,4	2,3	0,6	0,3
Max. Dob.	1,0	2,6	7,5	17,6	20,5	22,7	23,9	17,2	11,7	5,4	1,4	0,5
Min. Dob.	0,1	0,4	1,0	0,9	1,9	4,1	7,3	2,8	1,2	0,4	0,1	0,1
Dawka mies.	13,7	33,9	107,7	212,5*	386,0*	384,8		298,7*	173,3*	69,1*	17,0	8,8
Legionowo												
Liczba dni pom.	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Śr. Dobowe	0,5	1,2	4,0	8,0	14,7	15,6	19,4	14,1	8,4	3,1	0,8	0,4
Max. Dob.	1,2	3,4	8,3	19,8	22,0	26,9	26,7	22,2	14,8	6,2	1,9	0,7
Min. Dob.	0,1	0,7	1,0	1,7	5,0	6,2	10,5	4,4	1,6	0,6	0,2	0,1
Dawka mies.	15,6	36,2	123,2	239,5	456,7	469,4	599,9	438,3	252,7	95,3	23,3	12,1
Katowice												
Liczba dni pom.	31	29	30	29	30	30	30	31	24**	30	30	31
Śr. Dobowe	0,6	1,2	3,8	8,1	13,4	16,2	17,6	11,2		3,4	0,9	0,5
Max. Dob.	1,2	3,8	7,3	18,2	19,4	26,7	26,8	21,3	8,8	6,9	2,1	0,8
Min. Dob.	0,1	0,1	0,5	1,0	2,8	6,9	6,2	4,0	1,4	0,4	0,2	0,1
Dawka mies.	17,1	36,1	115,4*	236,1*	402,1*	484,7	527,9*	347,8		101,8*	27,3	14,5
Zakopane												
Liczba dni pom.	31	29	29	30	31	30	30	31	27	31	30	31
Śr. Dobowe	0,8	1,8	5,0	8,8	13,1	16,1	15,5	14,9	8,2	4,3	1,3	0,7
Max. Dob.	1,7	3,8	9,1	20,0	22,2	30,0	25,3	24,2	15,6	8,1	2,5	1,0
Min. Dob.	0,1	0,3	0,9	2,5	3,1	5,2	3,5	2,2	1,8	1,0	0,4	0,1
Dawka mies.	24,9	51,7	143,9*	265,4	406,6	482,9	464,1*	462,5	222,6*	132,1	39,8	21,3

\* 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)

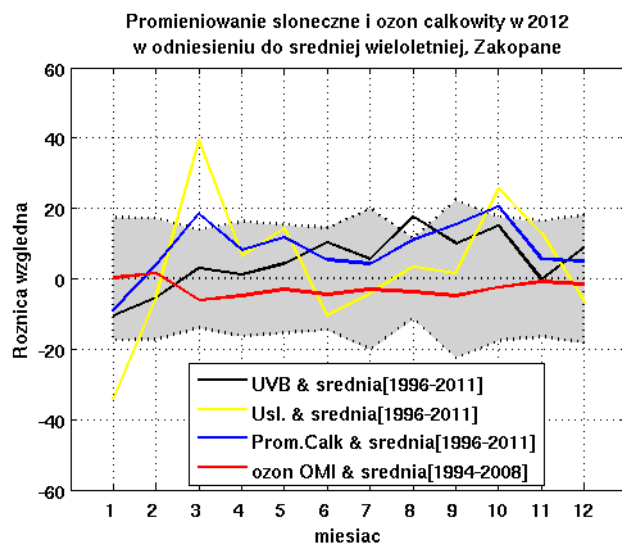
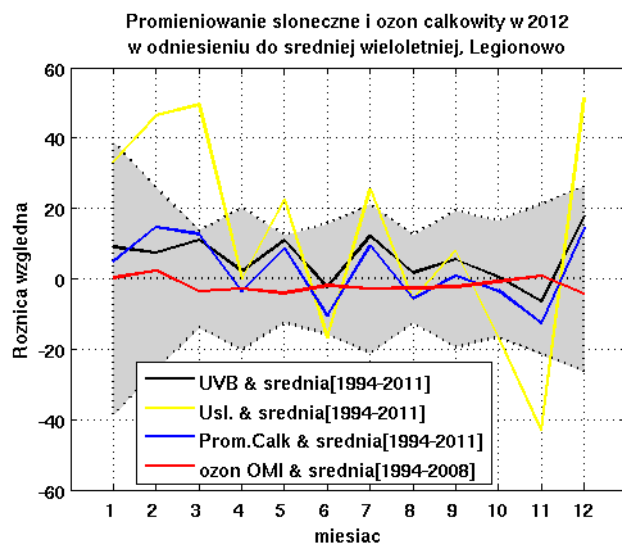
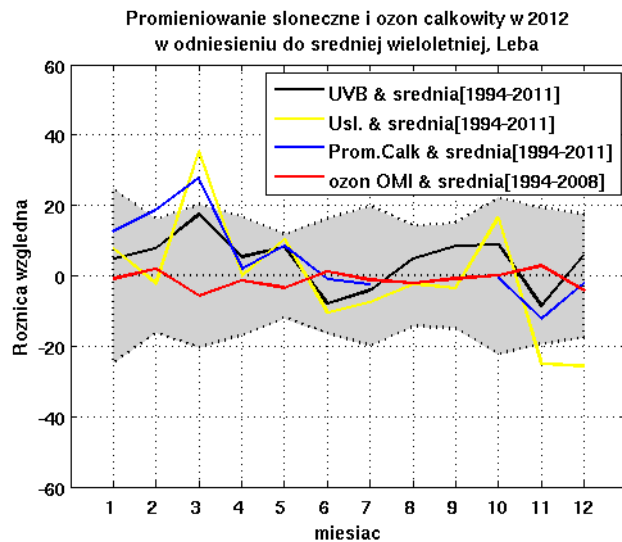
Tabela 4. Dzielne – średnie, maksymalne i minimalne dawki UV-B oraz miesięczne dawki promieniowania UV-B (w MED) zmierzonego przyrządami SL501 w 2012 r.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Łeba												
Śr. Dobowe	0,4	1,2	3,9	7,2	12,1	12,3	12,7	10,7	6,6	2,5	0,6	0,3
Max. Dob.	1,0	2,5	7,1	13,8	16,7	19,3	20,9	15,3	12,3	5,1	1,3	0,5
Min. Dob.	0,1	0,5	0,9	1,9	4,5	6,0	4,0	1,7	1,2	0,7	0,2	0,1
Dawka mies.	13,1	34,1	119,9	216,9	374,4	370,1	392,6	332,2	196,6	77,1	18,0	9,3
Legionowo												
Śr. Dobowe	0,7	1,6	4,2	7,4	12,6	12,9	14,5	10,5	6,6	2,8	0,9	0,5
Max. Dob.	1,7	4,0	8,3	16,0	17,7	21,1	19,5	16,6	11,2	5,2	2,1	0,9
Min. Dob.	0,2	0,9	1,1	1,7	4,5	5,4	8,0	3,3	1,9	0,6	0,3	0,2
Dawka mies.	21,9	46,9	131,1	223,2	390,5	385,6	448,3	325,1	196,7	86,2	25,8	16,0
Zakopane												
Śr. Dobowe	0,9	2,1	4,9	7,8	11,0	13,3	12,4	12,0	7,2	4,0	1,5	**
Max. Dob.	2,0	4,2	8,2	15,3	19,2	22,7	18,2	19,0	13,0	7,1	2,5	**
Min. Dob.	0,2	0,5	1,0	2,4	2,7	4,5	2,9	1,9	1,5	0,6	0,5	**
Dawka mies.	29,1	60,2	151,4	235,4	342,4	399,9	383,7	372,0	217,1	122,8	44,3	**

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

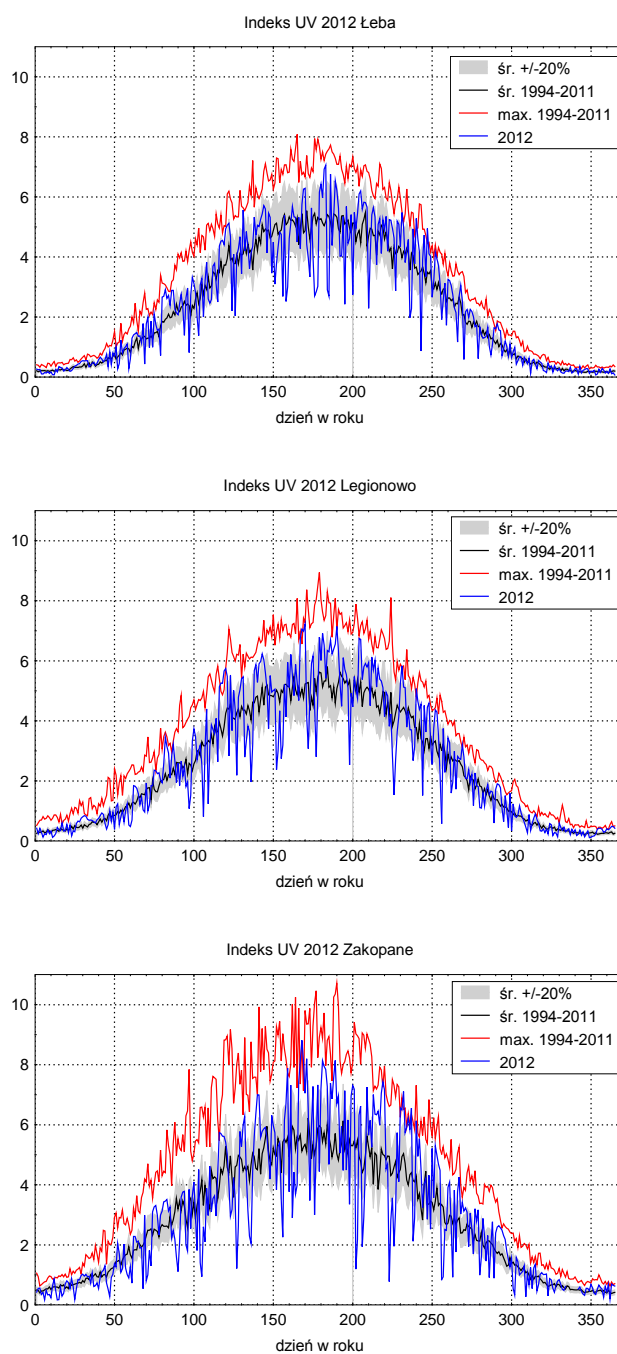
Czujniki SL w 2012 roku pokazały najwyższą dawkę miesięczną promieniowania UVB w lipcu w Legionowie, a największą dawkę dobową w czerwcu na stacji w Zakopanem (Tabela 4). Na stacji w Łebie zmierzono maksymalną w serii pomiarów z maja dawkę dobową promieniowania UVB (16.7MED) podczas sływu czystego powietrza z Arktyki.

Poziom promieniowania UVB dochodzącego do powierzchni Ziemi zależy od wielu czynników. Najwyższe wartości UVB są obserwowane przy bezchmurnym niebie, małej zawartości ozonu i aerozoli. Najniższe wartości UVB występują przy dużym zachmurzeniu, zwłaszcza przez chmury niskie. Na Rysunku 16 przedstawiono różnice względne UVB, usłonecznienia, promieniowania całkowitego i ozonu całkowitego w miesiącach 2012 r. w odniesieniu do średnich wieloletnich. Dla większości miesięcy, na wszystkich stacjach występowały wartości promieniowania UVB powyżej średniej wieloletniej. Na wiosnę 2012 roku, w marcu i maju przeważała słoneczna, wyżowa pogoda z małą zawartością ozonu. W związku z tym na stacjach w Łebie i Legionowie zaobserwowano podwyższone wartości promieniowania UVB. Poziom promieniowania UVB na stacji w Zakopanem jest najtrudniejszy w interpretacji ze względu na specyfikę stacji górskiej.



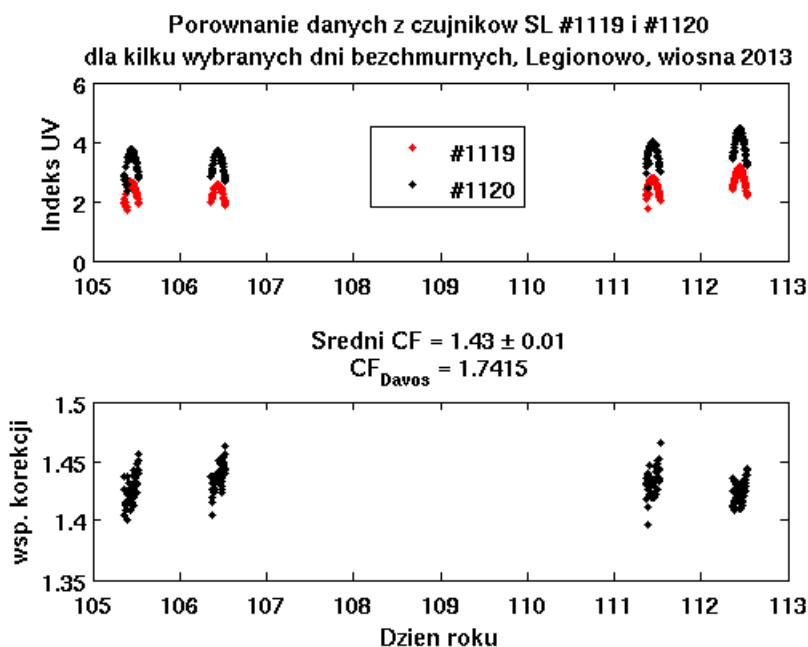
Rysunek 16. Różnice względne UVB, usłonecznienia, promieniowania całkowitego i ozonu całkowitego w 2012 w o odniesieniu do średnich wieloletnich. Średnie wieloletnie ozonu całkowitego obliczone na podstawie danych satelitarnych z wielu czujników (<http://www.temis.nl>).

Wpływ ozonu całkowitego na promieniowanie UVB najłatwiej zaobserwować analizując indeks UV, czyli maksymalną półgodzinną wartość promieniowania UVB w ciągu dnia. Na Rysunku 17 przedstawiono przebieg roczny indeksu UV z 2012 roku na tle średniego oraz maksymalnego indeksu UV z okresu 1994-2011 dla każdej ze stacji. W roku 2012 na wszystkich stacjach obserwowano epizodycznie wartości indeksu UV zbliżające się do ekstremów wieloletnich w seriach pomiarowych, a nawet je przekraczające. Związane to jest z utrzymującymi się w ciągu całego roku zmniejszonymi wartościami ozonu całkowitego.



Rysunek 17. Przebiegi roczne indeksu UV z 2012 roku dla stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem na tle średniego oraz maksymalnego indeksu UV z okresu 1994-2011 dla danej stacji.

Do korekcji danych z czujników Solar Light z Łeby, Legionowa i Zakopanego wykorzystano metodę zalecaną przez WMO. W metodzie tej stosowane są zmierzone laboratoryjnie zależności spektralne i kątowe czujników oraz współczynniki korekcji (CF) uzyskane poprzez porównanie ze spektrofotometrem wzorcowym. Charakterystyki wykorzystywanych w IMGW-PIB czujników opracowane zostały w centrum kalibracyjnym PMOD/WRC w Davos (Szwajcaria). Analizując dane z pomiarów wykonanych w roku 2012 czujnikiem o numerze 1119 na stacji w Łebie okazało się, że wartości promieniowania były bardzo zawyżone. Wiosną 2013 roku czujnik z Łeby przewieziono do Legionowa, gdzie wykonano pomiary porównawcze z czujnikiem o numerze 1120, który był kalibrowany w Davos. W porównaniu założono, że zależności spektralne i kątowe zmierzone laboratoryjnie dla obu czujników są poprawne, a problem dotyczy jedynie współczynnika korekcyjnego. Okazało się, że dla czujnika o numerze 1119 współczynnik korekcyjny otrzymany z Davos był o ponad 20% większy niż ten wyznaczony z przeprowadzonego porównania w Legionowie. Ostatecznie do raportu użyto danych skorygowanych współczynnikiem wyznaczonym w Legionowie, natomiast problematyczny czujnik zostanie wysłany do ponownej kalibracji w Davos.



Rysunek 18. Porównanie danych z czujników SL #1119 i #1120 dla wybranych bezchmurnych dni na wiosnę 2013 roku.

#### 6.2.4 Podsumowanie i wnioski

Polska jest stroną Konwencji Wiedeńskiej o ochronie warstwy ozonowej i Protokołu Montrealskiego 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. Na półkuli północnej zmiany ozonu są opóźnione w stosunku do zmian na półkuli południowej. W sezonie zimy/wiosny 2010/11 pojawiła się pierwsza arktyczna dziura ozonowa. Także podczas kolejnej zimy 2011/12 tempo niszczenia ozonu w Arktyce było rekordowe i tylko wcześniejszy wzrost temperatur w stratosferze zapobiegł powstaniu kolejnej, prawdopodobnie większej dziury ozonowej. 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. W profilu ozonu nad Legionowem w ciągu całego 2012 roku, za wyjątkiem jesieni, przeważały ujemne odchylenia w stratosferze. Zatem nie wszystkie czynniki wpływające na zmiany stratosferycznego ozonu zostały do końca poznane i potrzebne są dalsze systematyczne pomiary i badania wyjaśniające zmienność ozonu w różnych skalach czasowych. Zagrożenie dla warstwy ozonowej będzie występować w okresie najbliższych kilkudziesięciu lat, dlatego należy kontynuować 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 można śledzić oczekiwanej regeneracji warstwy ozonowej przypisywanej spadkowi zawartości halogenów, 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 Monitoringu Klimatu Polski 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 Światowej Bazy Danych Ozonowych w Toronto, w Kanadzie, co potwierdza wykaz zawartości bazy (Rysunek 19).

The screenshot shows the WOUDC website interface. At the top, there are logos for Environment Canada and the Meteorological Service of Canada, along with navigation links for Français, Contact Us, and WMO. The main heading is "World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre (WOUDC)". Below this, the "Platform Observation Programs" section displays details for Platform STN 221, Name: LEGIONOWO, located in Poland (POL), WMO Region VI. It lists coordinates and heights: Min. Latitude: 52.37, Min. Longitude: 20.937, Min. Height: 81, Max. Latitude: 52.43, Max. Longitude: 20.997, Max. Height: 111. A map shows the location near Legionowo, Poland. Below the map is a table of instrument data:

Category	Instrument	S/N	Model	Min. Date	Max. Date	Agency
OzoneSonde	ECC		Z	24-Mar-95	06-Apr-01	PIMWM
OzoneSonde	ECC	na	na	16-Jun-93	31-Jan-07	PIMWM
OzoneSonde	ECC		6A	31-Jul-96	27-Feb-13	PIMWM
OzoneSonde	ECC		5A	09-Jun-93	09-Jun-06	PIMWM
OzoneSonde	Brewer-GDR	na	na	17-Jan-79	26-May-93	PIMWM

At the bottom of the page, there is a footer with the text: "Created : 2002-12-31", "Modified : 2002-12-31", and "Url of this page : http://www.woudc.org/data/Metadata/query\_results\_platform\_e.html".

Rysunek 19. Wykaz zawartość bazy WOUDC z pomiarami z Legionowa ze strony [www.woudc.org](http://www.woudc.org)

Od 1994 roku wyniki sondážu 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 sondážu ozonowych wysyłane są w trybie operacyjnym - po zakończeniu sondážu 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 20 przedstawiono fragment listingu zawartości serwera.



```

-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 147059 feb 15 2012 LN120215.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 170404 feb 22 2012 LN120222.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 169106 mar 1 2012 LN120301.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 164790 mar 7 2012 LN120307.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 167648 mar 14 2012 LN120314.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 140764 mar 21 2012 LN120321.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 155745 mar 28 2012 LN120328.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 160573 apr 4 2012 LN120404.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 144616 apr 11 2012 LN120411.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 166816 apr 18 2012 LN120418.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 152827 apr 25 2012 LN120425.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 150536 mai 2 2012 LN120502.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 163854 mai 9 2012 LN120509.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 185851 mai 16 2012 LN120516.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 163694 mai 23 2012 LN120523.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 162707 mai 30 2012 LN120530.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 157558 jun 6 2012 LN120606.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 150487 jun 13 2012 LN120613.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 152040 jun 20 2012 LN120620.P12
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 163726 jun 27 2012 LN120627.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 144094 jul 4 2012 LN120704.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 174615 jul 11 2012 LN120711.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 160573 jul 18 2012 LN120718.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 153244 jul 26 2012 LN120726.P12
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 144042 aug 1 2012 LN120801.P12
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 159793 aug 8 2012 LN120808.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 163175 aug 15 2012 LN120815.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 178254 aug 22 2012 LN120822.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 144043 aug 29 2012 LN120829.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 145493 sep 5 2012 LN120905.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 152671 sep 12 2012 LN120912.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 167908 sep 19 2012 LN120919.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 145500 sep 26 2012 LN120926.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 161411 okt 3 2012 LN121003.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 147735 okt 17 2012 LN121017.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 153191 nov 9 2012 LN121107.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 156417 nov 14 2012 LN121114.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 169109 nov 21 2012 LN121121.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 160993 nov 28 2012 LN121128.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 168167 des 5 2012 LN121205.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 151269 des 12 14:02 LN121212.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 130677 des 19 01:44 LN121218.P23
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 167390 des 27 14:06 LN121227.P11
-rw-r--r-- 1 litynska vinterso 254 aug 10 2006 ws_ftp.log
226 Transfer complete.

```

Rysunek 20. Fragment listingu zawartości serwera ftp zar doz.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 O<sub>3</sub>, oraz do corocznego raportowania pracy stacji. Ostatni raport zawierający m.in. harmonogram przekazywania danych został przesłany drogą elektroniczną 4 października 2012 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 18 lipca 2012 roku.

## 6.4 PODSUMOWANIE

W 2012 roku realizowano program monitorowania rozkładu pionowego ozonu, całkowitej zawartości ozonu nad Polską i Europą oraz promieniowania UV-B w Polsce.

W roku 2012 wykonano 54 sondáže ozonu w stosunku do 52 sondáže 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 2012 r. krótka awaria wystąpiła na stacji w Zakopanem, braki danych obejmują w sumie 0,6% całego okresu.

Na przełomie sierpnia i września 2012 r. zostało wykonane w centrum kalibracyjnym PMOD/WRC w Davos (Szwajcaria) laboratoryjne wzorowanie czujników Solar Light o numerach 0936 i 1869.

Sieć monitoringu operacyjnego UV-B, wykorzystująca mierniki OPTIX UVEM-6C pracujące na stacjach w Łebie, Mikołajkach, Legionowie, Katowicach, Zakopanem; przekazywała na bieżąco dane o promieniowaniu UV-B na stronę internetową IMGW-PIB ([www.pogodynka.pl/indeksuv](http://www.pogodynka.pl/indeksuv)). Na każdej stacji wystąpiły wynikające z awaryjności czujników i rejestratorów braki w danych pomiarowych, obejmujące w sumie 2,1% całego okresu.

Satelitarny monitoring ozonu działa w oparciu o dane z czujnika ATOVS satelitów NOAA-16, 18, 19. W roku 2012 monitoring ozonu działał bezawaryjnie. Analiza danych satelitarnych całkowitej zawartości ozonu potwierdziła charakterystyczne własności czujników nowej generacji ATOVS.

System operacyjny jednodniowej prognozy indeksu UV działał bezawaryjnie w okresie od końca kwietnia do końca września 2012 r. Prognoza była dostępna na stronie internetowej IMGW-PIB ([www.pogodynka.pl/indeksuv/prognozyuv](http://www.pogodynka.pl/indeksuv/prognozyuv)).

Wyniki sondáže ozonowych są regularnie przekazywane do Światowego Centrum Danych Ozonowych w Toronto, w Kanadzie i do Bazy Danych w NILU, w Norwegii gdzie są wykorzystywane do opracowania wyników kampanii MATCH, oraz do bazy danych NDACC w Maryland, USA.

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 i przechowywane w Ośrodku Aerologii na dysku sieciowym serwera oraz archiwizowane na płytach CD/DVD z wyłączeniem surowych danych satelitarnych (RAW), które są przechowywane na płytach DVD w Ośrodku Teledetekcji Satelitarnej.

Dane pomiarowe wraz z opisem formatów, powstałe w wyniku realizacji umowy monitoringu w roku 2012, zostały dołączone do niniejszego sprawozdania na płycie CD.

## **6.5 LITERATURA**

Baird, C. and M. Cann (2005). Environmental Chemistry, W. H. Freeman and Company, New York.

Kois B., Z. Litynska, Largest cold season ozone deficiencies in the stratosphere over Legionowo compared to other European stations, 2000. In: Air pollution research report 73, Proceedings of the fifth European Workshop on Stratospheric Ozone. St. Jean De Luz, France, 27th September to 1st

October 1999, edited by N.R.P. Harris, M.Guirlet and G.T. Amanatidis. European Commission, pp. 91-94.

Kuttippurath, J., Godin-Beekmann, S., Lefèvre, F., and Goutail, F.: Spatial, temporal, and vertical variability of polar stratospheric ozone loss in the Arctic winters 2004/05–2009/10, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 10, 14675-14711, doi:10.5194/acpd-10-14675-2010, 2010.

Lityńska Z., B. Kois, B. Jaworska, 1997. The variation of ozone concentration profile over Poland. Eastern Europe and global change, 3 to 10 October 1994, Kassandra, Halkidiki, Greece, European Commission, Science Research Development, pp. 213-224.

Lityńska Z., B. Kois, 1995, High ozone concentration episodes in the troposphere over Poland. Preliminary Results. Ozone - a Regional and Global Problem. Proceedings of Seminar, November 21, 1994, Katowice, Poland, p. 51-60

Molina M.J & F. S. Rowland. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone, *Nature* 249, 810 - 812 (28 June 1974); doi:10.1038/249810a0

Pyle, J.A., Harris, N.R.P., Farman, J.C. Arnold, D., Braathen, G., Cox, R.A., Faucon, P., Jones, R.L., Megie, G., O'Neill, A., Pommereau, J.P., Schmidt, U., and Stordal, F., 1994: An overview of the EASOE campaign, *Geophys. Res. Lett.* 21, pp. 1191-1194

Rex, M., Salawitch, R. J., Margitan, J. J., Sen, B., Toon, G. C., Osterman, G. B., Rex, M., Elkins, J. W., Ray, E. A., Moore, F. L., Hurst, D. F., Romashkin, P. A., Bevilacqua, R. M., Hoppel, K. W., Richard, E. C., Bui, T. P., 2002, Chemical loss of ozone during the Arctic winter of 1999/2000: An analysis based on balloon-borne observations *Journal of Geophysical Research*, 107/D20, 8269

SCOUT-O3 Bulletin, Press Release 25 April 2005.

World Meteorological Organization (WMO), 2011, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010, Global Ozone Research and Monitoring Project–Report No. 52, 516 pp., Geneva