

PORÓWNANIE POMIARÓW OZONU W PRZYZIEMNEJ WARSTWIE TROPOSFERY NA WYBRANYCH STACJACH EUROPEJSKICH

Hubert Wróblewski

Wróblewski H., 2006: Porównanie pomiarów ozonu w przyziemnej warstwie troposfery na wybranych stacjach europejskich (*The comparison of measurements near-surface ozone concentration on chosen European stations*). *Monitoring Środowiska Przyrodniczego* nr 7, s. 33-37, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: Wartości stężenia ozonu oraz jego dynamika są ściśle powiązane z położeniem geograficznym punktu pomiarowego. Ilość ozonu i jego cykl występowania zmienia się wraz ze zmianą szerokości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza. W pracy dokonano analizy ciągów pomiarowych z wybranych stacji europejskich charakteryzujących się zróżnicowanym położeniem geograficznym. Głównym celem analizy było porównanie wyników otrzymanych na stacji Święty Krzyż ze stacjami położonymi na innych wysokościach oraz w innych szerokościach geograficznych.

Słowa kluczowe: ozon, monitoring, położenie geograficzne, cykl dobowy, porównanie, grupowanie.

Hubert Wróblewski, Stacja Monitoringu, Akademia Świętokrzyska, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce.

1. Wprowadzenie

Ozon jest naturalnym składnikiem troposfery produkowanym podczas fotochemicznych reakcji. Na terenie Europy pomiary tego gazu prowadzone są od XIX wieku.

Badania publikowane przez wielu autorów (np. Chatfield, Harrisom 1977, Fabian, Pruchniewicz 1976, 1977, Loibl i wsp. 1994, Brönnimann i wsp. 2000, Ribas, Peñuelas 2004) dowodzą, że wielkości stężeń ozonu oraz jego dynamika są ściśle powiązane z położeniem geograficznym punktu pomiarowego. Ilość ozonu i jego cykl występowania zmienia się wraz ze zmianą szerokości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza.

Koncentracje ozonu ogólnie wykazują duże zmiany dobowe z maksimum w godzinach popołudniowych i minimum nad ranem. Roczny cykl ozonu w średnich szerokościach geograficznych wykazuje sezonową zmienność z letnim maksimum odpowiadają-

jącym obszarom miejskim i przemysłowym, oraz maksimum wiosennym typowym dla regionów słabo zurbanizowanych reprezentujących warunki tła (Monks 2000).

Poziom stężenia ozonu na badanych obszarach jest kombinacją tworzenia się, transportu, niszczenia oraz depozycji. Wysokość nad poziomem morza również daje efekt w zmianach koncentracji ozonu. Wiele złożonych naturalnych i antropogenicznych czynników powoduje problem z określeniem tła koncentracji ozonu. Jednak pomiary prowadzone w miejscach o małej antropopresji mogą dać informacje o tych wartościach.

Obecnie szacuje się, że średnie roczne koncentracje ozonu przyziemnego występują w granicach 40–90 $\mu\text{g m}^{-3}$ ze zmiennością zależną od funkcji położenia geograficznego, wyniesienia nad poziom morza i wpływu antropogenicznego.

Mając na celu określenie charakteru dynamiki ozonu na Świętym Krzyżu, na podstawie pomiarów,

dokonano porównania z wybranymi stacjami europejskimi.

2. Obiekt i metody badań

Do analizy wybrano stacje położone na różnych wysokościach nad poziomem morza, znajdujące się mniej więcej na szerokości geograficznej stacji świętokrzyskiej. Ponadto, dokonano porównania stacji europejskich oddalonych względem siebie o około 10° szerokości geograficznej i położonych na wysokościach zbliżonych do lokalizacji stacji na Świętym Krzyżu (475 – 534 m.n.p.m.).

Lokalizacja stacji pomiarowych jest zróżnicowana ze względu na otoczenie. Spośród wybranych stacji wyróżniamy dwie stacje położone na wybrzeżu (Łeba i O Saviñao). Większość zlokalizowana jest w otoczeniu lasów z przewagą drzew iglastych - Diabla Góra, Belsk, Esrange, Voss, Święty Krzyż, Schauinsland. Śnieżka i Chopok położone na największych wysokościach reprezentują stacje górskie (tab. 1, ryc. 1).

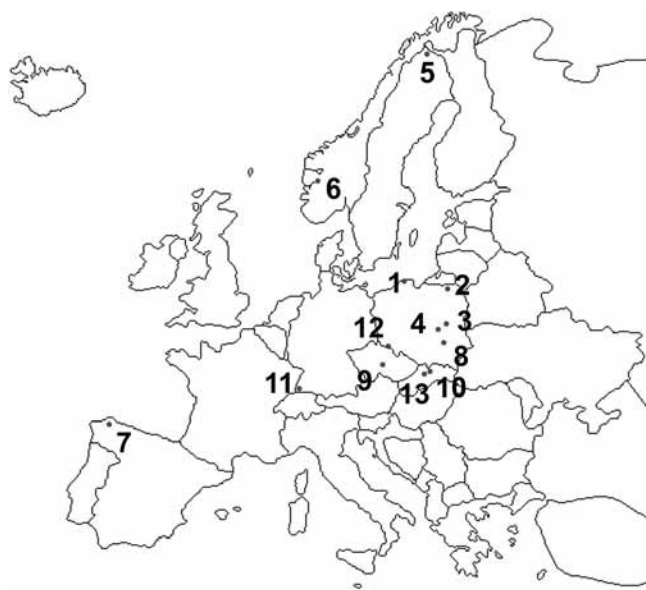
Lp.	Stacja	Szer. Geogr.	Dł. Geogr.	Wysokość (m.n.p.m.)
1	Łeba	54° 45' 0" N	17° 32' 0" E	2
2	Diabla Góra	54° 9' 0" N	22° 4' 0" E	157
3	Jarczew	51° 49' 0" N	21° 59' 0" E	180
4	Belsk	51° 20' 12" N	21° 47' 30" E	180
5	Esrange	67° 53' 0" N	21° 4' 0" E	475
6	Voss	60° 36' 0" N	6° 32' 0" E	500
7	O Saviñao	43° 13' 52" N	7° 41' 59" W	506
8	Święty Krzyż	50° 53' 0" N	21° 2' 0" E	513
9	Kosetice	49° 35' 0" N	15° 5' 0" E	534
10	Stará Lesná	49° 9' 0" N	20° 17' 0" E	808
11	Schauinsland	47° 54' 53" N	7° 54' 31" E	1205
12	Śnieżka	50° 44' 0" N	15° 44' 0" E	1603
13	Chopok	48° 56' 0" N	19° 35' 0" E	2008

Tab. 1. Lokalizacja stacji pomiarowych
Tab. 1 The location of measuring stations

Stacje zlokalizowane są z dala od większych osiedli ludzkich. Wyjątkiem jest stacja Schauinsland, która oddalona jest o 12 km od Freiburga (206 tys. mieszkańców).

Dane wyjściowe pozyskano z pomiarów stacji europejskich, udostępnionych przez European Monitoring Environment Program (EMEP). Ponadto do analizy wykorzystano wyniki pomiarów obserwatorium w Belsku udostępnione przez Polską Akademię Nauk (PAN). Analiza dotyczy danych za lata 1994–2003.

Analizy statystyczne oraz przedstawienie graficzne wykonano z pomocą pakietu Statistica 6.0.

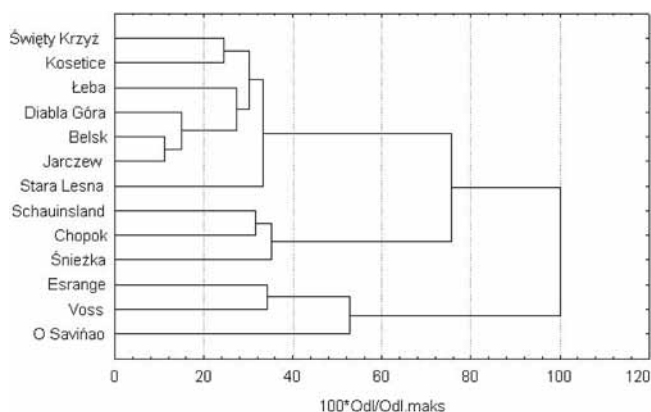


Ryc. 1. Lokalizacja stacji pomiarowych (numeracja zgodna z tabelą 1)

Fig. 1. The location of measuring stations (agree with tab. 1)

3. Wyniki i dyskusja

Na podstawie pomiarów ozonu dokonano analizy skupień za pomocą aglomeracji metodą Warda, gdzie miarą odległości było $I-r$ Pearsona. W pierwszej fazie analizy wykorzystano wszystkie dostępne wyniki pomiarów. Rezultatem analizy było wyodrębnienie czterech grup stacji odpowiadających zróżnicowanemu położeniu (ryc. 2).



Ryc. 2. Wynik grupowania stacji na podstawie danych z lat 1994-2003

Fig. 2. The result of clusterization for 1994-2003

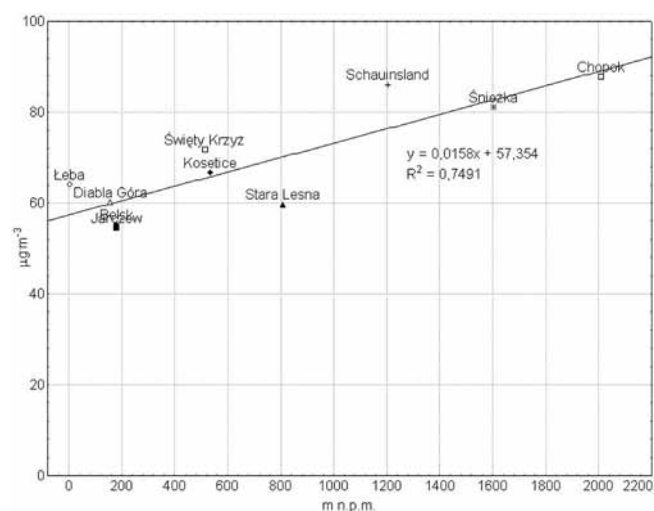
Pierwszą grupę utworzyły stacje: Łeba, Diabla Góra, Jarczew, Belsk, Święty Krzyż, Kosetice, Stará Lesná. Charakterystyczną, wspólną cechą dla tej grupy jest położenie w stosunkowo niewielkich odległo-

ściach od siebie oraz wysokość bezwzględna nie przekraczającą 550 m n.p.m..

Stacje: Śnieżka, Schauinsland, Chopok utworzyły grupę stacji górskich, położonych powyżej 1200 m n.p.m.

Do kolejnej grupy zakwalifikowano stacje Erange i Voss, których lokalizacja odpowiada najwyższym szerokościom geograficznym.

Natomiast stacja O Saviñao charakteryzuje się położeniem na najmniejszej szerokości geograficznej spośród analizowanych stacji.



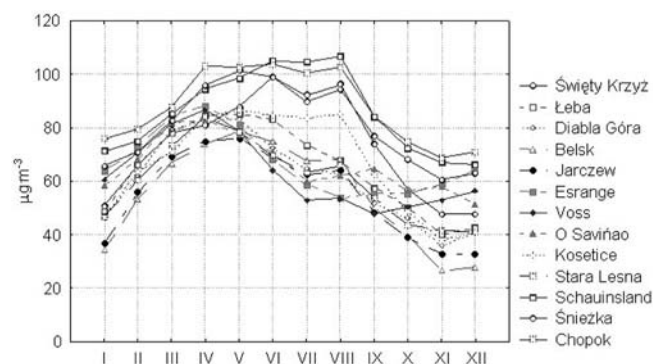
Ryc. 3. Rozkład stężenia ozonu na tle wysokości nad poziomem morza

Fig. 3. Decomposition of ozone concentration on background of height above sea level

Pierwszą i drugą grupę utworzyły stacje zlokalizowane w centralnej Europie na obszarze o promieniu 500 km pomiędzy 47 i 55 równoleżnikiem. Zróżnicowanie wysokości bezwzględnej tych stacji pozwoliło na porównanie średnich rocznych wartości stężenia ozonu. Analiza pozwoliła potwierdzić informacje zawarte w literaturze (Loibl i wsp. 1994), które mówią o wzroście stężenia ozonu wraz z wysokością nad poziomem morza (ryc. 3). Najwyższe średnie stężenia roczne notowano na stacji Chopok, natomiast najniższe w Jarczewie. Na podstawie analizy regresji liniowej, pomiędzy średnim stężeniem ozonu a wysokością nad poziomem morza, stwierdzono, że wraz ze wzrostem wysokości o 100m następuje wzrost stężenia ozonu o wartość $1,58 \mu\text{g m}^{-3}$.

Kolejne dwie grupy, to stacje wyróżniające się skrajnymi szerokościami geograficznymi spośród wybranych stacji. Ich wydzielenie spośród analizowanych stacji wskazuje na zróżnicowanie poziomu stę-

żenia ozonu wraz ze zmianą szerokości geograficznej. W przypadku stacji położonych powyżej 60 równoleżnika obserwujemy niską amplitudę wahań dobowych w porównaniu do pozostałych stacji położonych na wysokości około 500 m n.p.m.. Przyczyną jest mniejsza ilość energii dostarczanej przez słońce, potrzebnej do pobudzenia reakcji fotochemicznych. O Saviñao to stacja wysunięta najdalej na południe, charakteryzuje się zbliżonymi do stacji polskich średnimi wartościami stężeń rocznych ozonu ale różni ją niższa zmienność miesięcznych wartości stężenia ozonu (ryc. 4). Głównym czynnikiem kształtującym tam dynamikę ozonu jest bliskość oceanu, znad którego napływało powietrze ubogie w zawartość prekursorów ozonu.



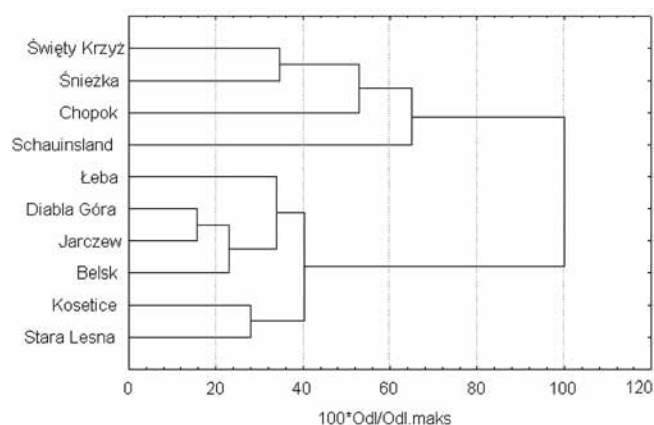
Ryc. 4. Średnie miesięczne stężenia ozonu na wybranych stacjach europejskich

Fig. 4. Seasonal distribution of surface ozone concentration on chosen European stations

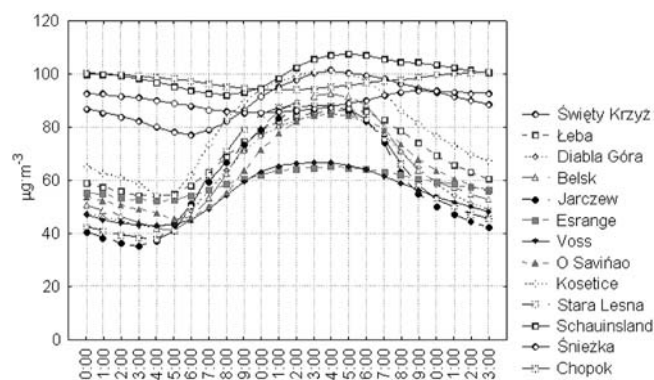
W dalszych analizach odstąpiono od porównywania stacji związanych z zróżnicowaniem szerokości geograficznej i skupiono się na stacjach wydzielonych w dwóch pierwszych grupach.

Kolejny krok miał na celu znalezienie i obserwację zmian zachodzących pomiędzy grupami stacji, na podstawie danych z poszczególnych miesięcy. Pozwoliło to na wyodrębnienie okresu od początku czerwca do końca września, dla którego stacja Święty Krzyż została zaklasyfikowana do grupy stacji położonych powyżej 1200 m n.p.m. (ryc. 5). Na taki wynik analizy miały wpływ wysokie średnie miesięczne stężenia ozonu odpowiadające wartościom notowanym na stacjach górskich (ryc. 6). Dla potwierdzenia relacji między stacjami wykonano analizę wariancji, w której jako test post-hoc wykorzystano test Tuckeya. Analiza jednoznacznie wykazała różnice w średnich stężeniach ozonu, na poziomie istotności $p < 0,05$, między stacją Święty Krzyż a stacjami położonymi poniżej

1200 m n.p.m.. Brak istotnych statystycznie różnic otrzymano dla stacji: Święty Krzyż, Schauinsland, Śnieżka i Hopok.



Ryc. 5. Wynik grupowania na podstawie miesięcy VI – IX
Fig. 5. The result of clusterization for months VI – IX

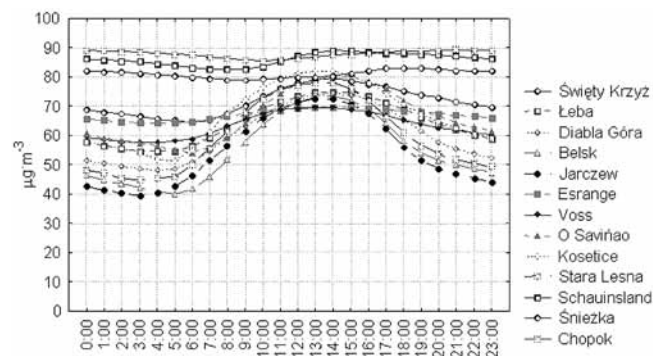


Ryc. 6. Cykl dobowy stężenia ozonu w miesiącach czerwiec – wrzesień
Fig. 6. Diurnal cycle of ozone concentration for months June – September

Ponadto dynamika dobowa stężeń ozonu na Świętym Krzyżu była bardziej zbliżona do wyników ze stacji górskich osiągając wahania ponad dwukrotnie mniejsze od wahań stacji położonych poniżej 1200 m n.p.m. – Belsk, Jarczew, Kosetice, Stará Lesná (ryc. 6). Poza tym nadal zachowane było maksimum i minimum, w godzinach popołudniowych i porannych, charakterystyczne dla grupy stacji położonych poniżej 1200 m n.p.m..

W pozostałej części roku zmiany i poziom stężenia ozonu na stacji Święty Krzyż nawiązywały do pomiarów prowadzonych przez stacje zlokalizowane poniżej 1200 m n.p.m.. Charakterystyka zmian stężenia ozonu w ciągu doby pozwoliła na stwierdzenie, że stacja

Święty Krzyż nawiązuje dynamiką i poziomem stężeń do stacji nizinnych w półroczu chłodnym i do stacji górskich w półroczu ciepłym (ryc. 7).



Ryc. 7. Cykl dobowy stężenia ozonu na wybranych stacjach
Fig. 7. Diurnal cycle of ozone concentration on chosen stations

4. Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że stacji Święty Krzyż nie można jednoznacznie zakwalifikować do stacji górskich czy nizinnych. W otrzymanych wynikach zaznacza się sezonowość charakteru stacji Święty Krzyż. Pomiary z półroczu chłodnego nawiązują do stacji nizinnych, natomiast dane rejestrowane w półroczu ciepłym wykazują podobieństwo do pomiarów otrzymywanych na stacjach górskich.

Podziękowanie. Praca została oparta na danych udostępnionych przez EMEP za co autor składa podziękowania. Podziękowania należą się również pracownikom Zakładu Fizyki Atmosfery Instytutu Geofizyki PAN za udostępnienie danych pomiarowych obserwatorium w Belsku.

5. Literatura

- Brönnimann A., Schuepbach E., Zanis P., Buchmann B., Wanner H., 2000: *A climatology of regional background ozone at different elevation in Switzerland (1992-1998)*. Atmospheric Environment, 34, 5191-5198
- Coyle M., Smith R. I., Stedman J. R., Weston K. J., Fowler D., 2002: *Quantifying the spatial distribution of surface ozone concentration in the UK*. Atmospheric Environment, 36, 1013-1024
- Loibl W., Winiwarter W., Kopsca A., Zueger J., Baumann R., 1994: *Estimating the special distribution of ozone concentration in complex terrain*. Atmospheric Environment, 28 (16), 2557-2566
- Ribas Á., Peñuelas J., 2004: *Temporal patterns of surface ozone in different habitats of the North Western Mediterranean basin*. Atmospheric Environment, 38, 985-992

Monks, P.S., 2000. *A review of the observations and origins of the spring ozone maximum.* Atmospheric Environment 34, 3545–3561

THE COMPARISON OF MEASUREMENTS NEAR-SURFACE OZONE CONCENTRATION ON CHOSEN EUROPEAN STATIONS

Summary

The ozone is the natural component of troposphere produced during photochemical reactions. On terrain of Europe measurements of this gas have been led since 19th century.

Investigations published by many authors (np. Chatfield, Harrisom 1977, Fabian, Pruchniewicz 1976, 1977, Loibl and others 1994, Brönnimann and others 2000, Ribas, Penuelas 2004) prove, that concentrations ozone size as well as its dynamics are closely-coupled with the bearings measuring point. The quantity of ozone and its occurrence cycle change with geographical latitude as well as height over the sea level.

The stations laid on different heights over the sea level and being more or less breadth geographical wise of The Holy Cross Station, were chosen to analysis. Moreover, the European stations, executed the distant the regard himself about 10o geographical latitude and laid on the height approximate to the location of Holy Cross station (475 - 534 m a.g.l.), were compared.

On the grounds of the measurements of ozone was executed the analysis of concentrations with the agglomeration help of method Warda where it was the measure of distance $1 - r$ Pearsona. All accessible results of measurements were used in first phase of analysis. Singles out four groups of station was the result of analysis answering diverse position.

The first group was created by the stations: Leba, Diabla Mountain, Jarczew, Belsk, Holy Cross, Kosetice, Stará Lesná. Position The characteristic, common feature for this group are the lies off comparatively small apart as well as ruthless height it crossing 550m a.g.l. The stations: Śnieżka, Schauinsland, Chopok created the group of mountain stations, laid above 1200m a.g.l. The stations to the next group were classified Esrange and Voss stations, which location answers the highest geographical latitudes. However, station O Saviñao was characterizes oneself the position on the smallest geographical latitude among analysed stations.

The analysis of measurements results, for the station on different heights positions, permitted on singling out the period at beginning June to finem September, when the Holy Cross was classified to the station group laid 1200m a.g.l. On the result of analysis had the influence the high averages monthly concentration of ozone answering written down on mountain stations values. For confirmation to the report the analysis was executed wariancji analyse between stations, in which as test post-hoc was used test Tuckeya. The analysis show the differences in average concentrations on the ozone unambiguously, on level of significance the $p < 0,05$, between the Holy Cross station and laid below 1200m a.g.l. stations. The lack of statistically essential differences were received for station: Holy Cross, Schauinsland, Śnieżka and Hopok.

The made researches show that the Holy Cross station was not been possible to unambiguously classify to mountain stations whether lowland. The temporariness of character of the Holy Cross Station appears in received results. The measurements with cool half-year link to lowland stations, however recorded in warm half-year data show to received on mountain stations measurements similarity.