

CZASOWY ROZKŁAD STĘŻEŃ OZONU NISKOTROPOSFERYCZNEGO W SZCZECINIE W LATACH 2005–2007

Jadwiga Nidzgorska-Lencewicz

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny

Streszczenie: Podstawę opracowania stanowiły wyniki automatycznych, cogodzinnych pomiarów stężeń ozonu niskotroposferycznego pochodzące ze stacji imisyjnej WIOŚ, zlokalizowanej w Szczecinie przy ul. Andrzejewskiego. Stwierdzono, że w okresie badań obejmującym lata 2005–2007 największymi przeciętnymi stężeniami ozonu charakteryzowała się kalendarzowa wiosna, a najmniejszymi kalendarzowa jesień i zima. W ujęciu tygodniowym wykazano przewagę poziomu imisji weekendowej nad pozostałymi dniami tygodnia najsilniej zaznaczającą się w porze wiosennej. W przebiegu dobowym ozonu, zwłaszcza podczas wiosny i lata, występował wyraźny wzrost stężeń rozpoczynający się w godzinach rannych, z maksimum przypadającym na godziny od 15.00 do 18.00 (wg czasu UTC).

Słowa kluczowe: ozon troposferyczny, stężenie, częstość, struktura dobową, efekt weekendowy

WSTĘP

Ozon troposferyczny jest zanieczyszczeniem wtórnym, powstającym w wyniku reakcji fotochemicznych utleniania tlenków azotu, w obecności niemetanowych lotnych związków organicznych (NMLZO) oraz tlenku węgla i metanu [Juda-Rezler 2000]. Poziom tego gazu zmienia się w ciągu dnia i w skali roku, a wielkość imisji w dużym stopniu zależy od składu chemicznego powietrza, od aktualnie panujących warunków atmosferycznych, zwłaszcza termiczno-solarnych, oraz od lokalnej topografii terenu [Kalabokas i in. 2000, Dueñas i in. 2002, Viras 2002, Godłowska 2004, Gerasopoulos i in. 2006, Yasuyuki i in. 2007, Castell i in. 2008, Khoder 2009]. W przeciwieństwie do innych zanieczyszczeń, których najwyższe stężenia na ogół są notowane w centrach dużych miast, najwyższa imisja ozonu najczęściej występuje na obrzeżach aglomeracji, po ich zawietrznej stronie [Juda-Rezler 2000, Godłowska i Tomaszewska 2006].

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Jadwiga Nidzgorska-Lencewicz, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, ul. Papieża Pawła VI 3, e-mail: jadwiga.nidzgorka-lencewicz@zut.edu.pl.

Szkodliwy wpływ wysokich stężeń ozonu na zdrowie ludzkie, w skrajnych przypadkach prowadzący nawet do śmierci, został rozpoznany i jest szeroko udokumentowany w licznych pracach [Fischer i in. 2004, Stedman 2004, Filleul i in. 2006, Amann i in. 2008]. W Europie ciągle rejestrowane są przekroczenia wartości określanych jako bezpieczne dla zdrowia ludzkiego, najczęściej w czasie tzw. epizodów letnich. Przykładowo Stedman [2004] oszacował, że na terenie Anglii i Walii w okresie dwóch pierwszych tygodni sierpnia 2003 roku liczba przypadków śmierci spowodowanej wysokimi stężeniami ozonu oraz PM10 wzrosła od 423 do 769.

Ponadnormatywne stężenia ozonu troposferycznego notowane są również w naszym kraju. Z raportu opracowanego przez Inspekcję Ochrony Środowiska za rok 2008 [2009] wynika, że przekroczenia poziomu docelowego, określonego z myślą o ochronie zdrowia, zanotowano w 10 strefach z 28 podlegających ocenie. Przekroczenia te dotyczą również obszaru całego województwa zachodniopomorskiego, z wyłączeniem aglomeracji szczecińskiej. Z kolei w przypadku poziomu celu długoterminowego przekroczenia zanotowano we wszystkich strefach w kraju, z wyjątkiem aglomeracji krakowskiej.

Celem pracy było wykazanie zmienności imisji ozonu troposferycznego w różnych przedziałach czasowych na przykładzie wyników pomiarów zarejestrowanych na obszarze aglomeracji szczecińskiej w okresie 2005–2007.

MATERIAŁY I METODY

Podstawę opracowania stanowiły godzinne (wg czasu UTC) wartości automatycznych pomiarów imisji ozonu troposferycznego z okresu od stycznia 2005 r. do grudnia 2007 r. pochodzące ze stacji imisyjnej reprezentującej tło miejskie, zlokalizowanej na obrzeżach Szczecina przy ul. Andrzejewskiego (φ 53 22'51" λ 14 39'48" Hs 10 m n.p.m.). Stacja ta została utworzona w ramach projektu PHARE i od 1 stycznia 2005 funkcjonuje w systemie pomiarowym Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Szczecinie.

Strukturę stężeń ozonu ujętą w postaci średnich, przedstawiono dla poszczególnych dni tygodnia, miesięcy oraz sezonów, uwzględniając również zmienność imisji w ciągu doby (tab. 1, rys. 2, 3 i 4). Wahania ozonu z godziny na godzinę oceniono odchyleniem standardowym w poszczególnych miesiącach oraz w skali całego roku (tab. 1).

WYNIKI I DYSKUSJA

W latach 2005–2007 w rejonie stacji przy ul. Andrzejewskiego w Szczecinie średnie roczne stężenie ozonu niskotroposferycznego wynosiło $51 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Największą imisją ozonu, wynoszącą przeciętnie $69 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, charakteryzowała się kalendarzowa wiosna (III–V), zwłaszcza kwiecień i maj. Latem (VI–VIII) notowano nieco mniejsze stężenia: $63 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, osiągające przeciętnie najwyższe wartości w lipcu. Kalendarzowa jesień (IX–XI) i zima (XII–II) odznaczały się niemal identycznym, wynoszącym odpowiednio 36 i $37 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, średnio najniższym sezonowym stężeniem (tab. 1). Wartości odchylenia standardowego wskazują, że najmniejszą zmiennością ozonu charakteryzowała się chłodna pora roku, a największą miesiące kalendarzowej wiosny, lata i częściowo jesieni. Otrzymane wyniki są zbliżone z wynikami Boguckiej [2006].

Z danych prezentowanych w tabeli 1 wynika, że w analizowanym okresie w okolicach stacji przy ul. Andrzejewskiego nie stwierdzono 1-godzinnych stężeń ozonu troposfe-

Tabela 1. Średnia, najwyższa, najniższa oraz odchylenie standardowe stężeń ozonu troposferycznego w Szczecinie (2005–2007)

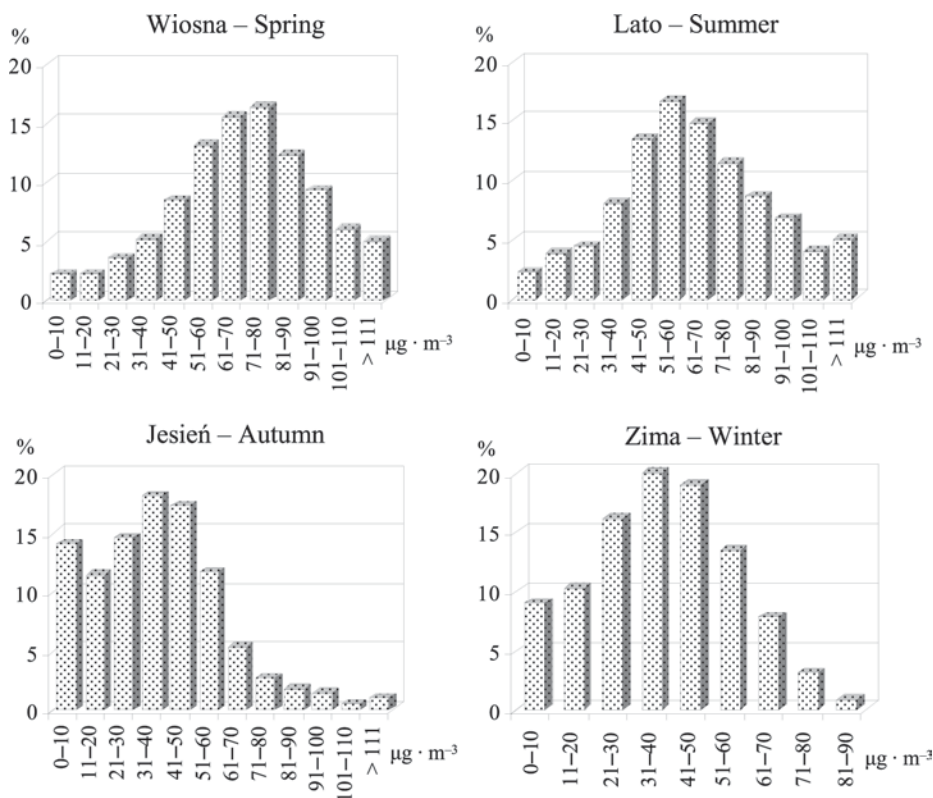
Table 1. Mean, highest, lowest and standard deviation of tropospheric ozone concentrations in Szczecin (2005–2007)

Miesiące Months	Stężenie O ₃ – Ozone concentrations μg · m ⁻³												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII
Średnia Mean	38,0	43,4	62,8	72,0	71,1	65,3	69,8	52,7	48,8	31,4	28,5	29,6	51,1
Najwyższa 1 h Highest 1 h	85,0	85,0	135,0	144,0	173,0	161,0	178,0	138,0	165,0	109,0	71,0	73,0	178,0
Najniższa 1 h Lowest 1 h	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	4,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
Odchylenie standardowe Standard deviation	17,5	19,3	26,3	25,6	26,6	26,9	29,5	23,7	27,1	20,1	17,0	16,0	28,5

rycznego oznaczających konieczność informowania społeczeństwa o ryzyku wystąpienia progu alarmowego (180 μg · m⁻³), a tym samym wartości powyżej tego progu alarmowego (240 μg · m⁻³) [Rozporządzenie... 2008]. Najwyższe stężenie ozonu, zanotowane dwukrotnie w lipcu (w 2005 i 2006 r.), osiągnęło poziom 178 μg · m⁻³. W skali całego kraju wśród lat objętych analizą największą liczbą przypadków ze stężeniami ozonu przewyższającymi wartość progu informowania charakteryzował się rok 2006 [IOS 2006, 2007, 2008]. Przekroczenia zanotowano wówczas na stanowiskach w Łodzi, Warszawie, Wrocławiu, Poznaniu, Białymstoku oraz na obszarze Aglomeracji Górnośląskiej, a wystąpiły one głównie za sprawą bardzo wysokiej temperatury w lipcu. Na żadnym ze stanowisk pomiarowych położonych na terenie kraju nie stwierdzono jednak przekroczeń progu alarmowego.

Zarówno w okresie zimy, jak i jesieni około 75% wszystkich wyników stanowiły stężenia godzinne do 50 μg · m⁻³, przy przewadze częstości występowania w zakresie 30–50 μg · m⁻³ (rys. 1). Natomiast wiosną i latem zdecydowanie najczęściej, w około 32%, notowane były stężenia w przedziałach odpowiednio 60–80 oraz 50–70 μg · m⁻³. Imisję przekraczającą 100 μg · m⁻³ notowano jesienią, wiosną i latem, przy czym jesienią tak wysokie stężenia stanowiły zaledwie 1,5% wszystkich obserwacji, podczas gdy wiosną i latem występowały z dużo większą częstością, wynoszącą odpowiednio 12% i 10% (rys. 1).

Miesiącem, w którym zanotowano największą liczbę stężeń godzinnych przekraczających 100 μg · m⁻³, był lipiec roku 2006 (blisko 23% wszystkich wyników z miesiąca). Niewątpliwie do takiego rozkładu przyczyniły się panujące wówczas warunki meteorologiczne, w szczególności termiczne. Średnia miesięczna temperatura powietrza w lipcu 2006 roku wynosząca 22,7°C zdecydowanie odbiegała od normy, przewyższając ją aż o 4,7°C [Biuletyn... 2006]. Rola warunków termicznych w kształtowaniu poziomu imisji

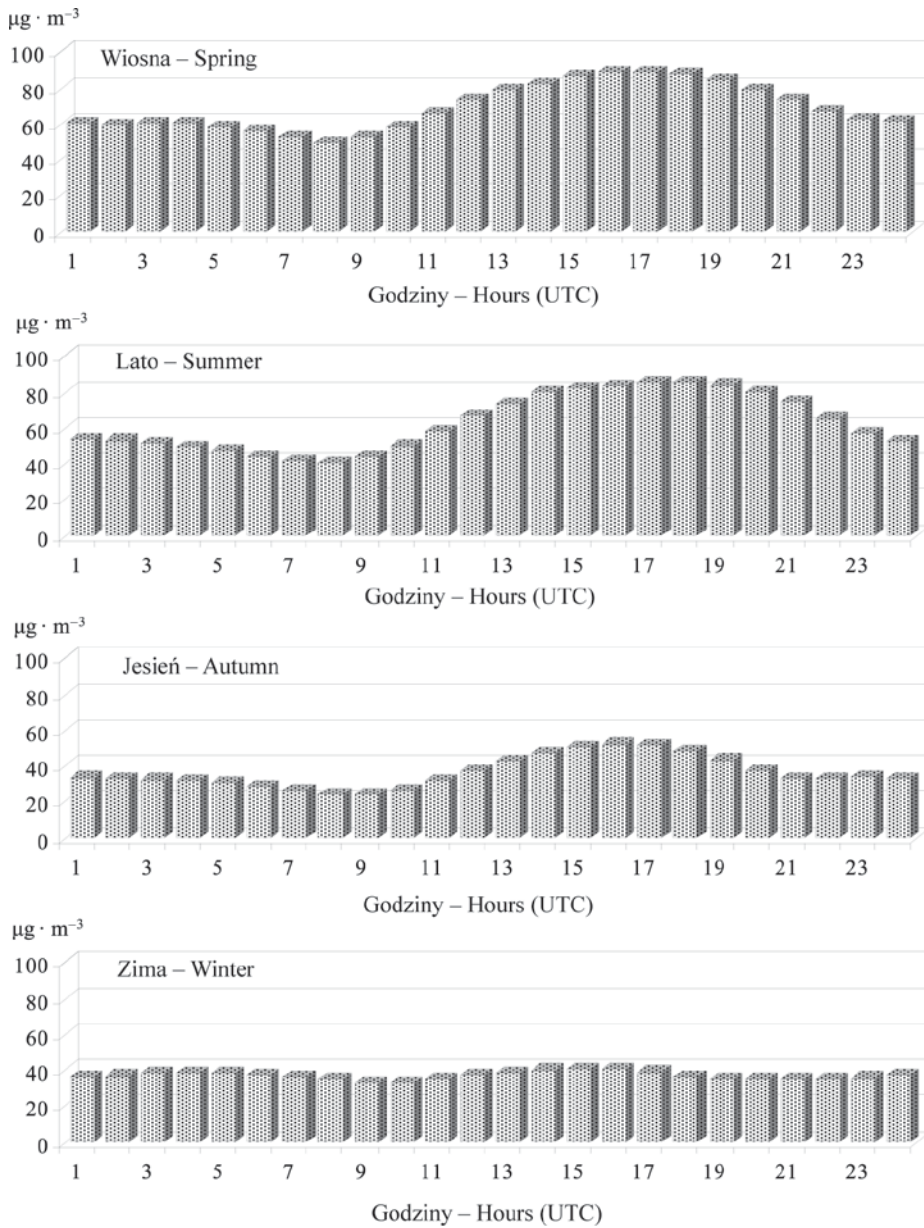


Rys. 1. Częstość występowania przyjętych klas stężeń ozonu troposferycznego według sezonów w Szczecinie, lata 2005–2007

Fig. 1. The frequency of occurrence of tropospheric ozone concentrations by accepted classes and seasons in Szczecin, years 2005–2007

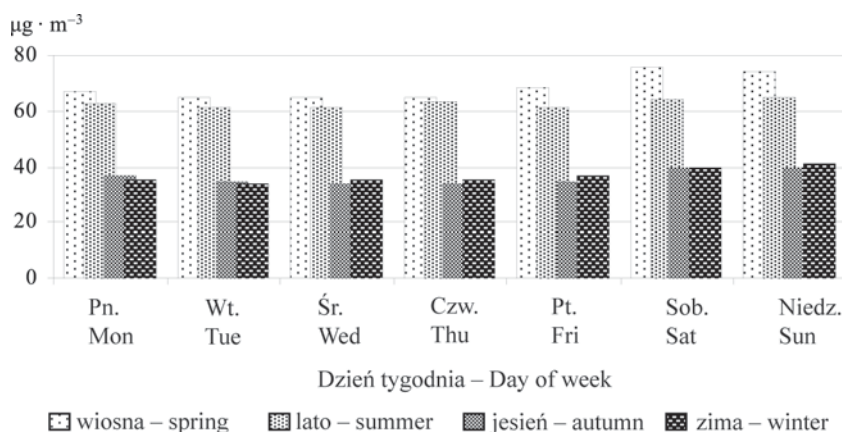
analizowanego zanieczyszczenia jest znana i szeroko opisana w literaturze przedmiotu [Ośródką i Święch-Skiba 1997, Baran i in. 1999, Dueñas i in. 2002, Gzella i Zwoździak 2003, Godłowska 2004, Godłowska i Tomaszewska 2006, Castell i in. 2008]. Z badań Nidzgorskiej-Lencewicz [2008] przeprowadzonych dla tego samego okresu i tej samej stacji wynika, że najważniejszym elementem meteorologicznym kształtującym poziom emisji ozonu w lipcu i w sierpniu była właśnie temperatura powietrza.

W okresie objętym analizą stężenie ozonu odznaczało się wyraźną strukturą dobową (rys. 2). Wiosną i latem od godziny 9 (wg czasu UTC), a jesienią od 10 daje się zauważyć wyraźny wzrost emisji analizowanego zanieczyszczenia z maksimum przypadającym na godziny 15–18. Największe różnice stężeń w ciągu doby, dochodzące przeciętnie nawet do 45 µg·m⁻³, dotyczą lata, nieco mniejsze, wynoszące około 39 µg·m⁻³, obserwowano wiosną. Pomimo niemal identycznego poziomu emisji ozonu podczas jesieni i zimy, co wykazano już wcześniej, struktura dobową teje emisji była odmienna: jesienią bardziej widoczna, podczas gdy zimą największe różnice w ciągu doby przeciętnie nie przekraczały 8 µg·m⁻³, a wielkość stężeń nocnych była zbliżona do dziennych (rys. 2). Wykazana



Rys. 2. Średnie godzinne stężenia ozonu troposferycznego według godzin w Szczecinie, lata 2005–2007

Fig. 2. Mean hourly concentrations of tropospheric ozone by seasons in Szczecin, years 2005–2007



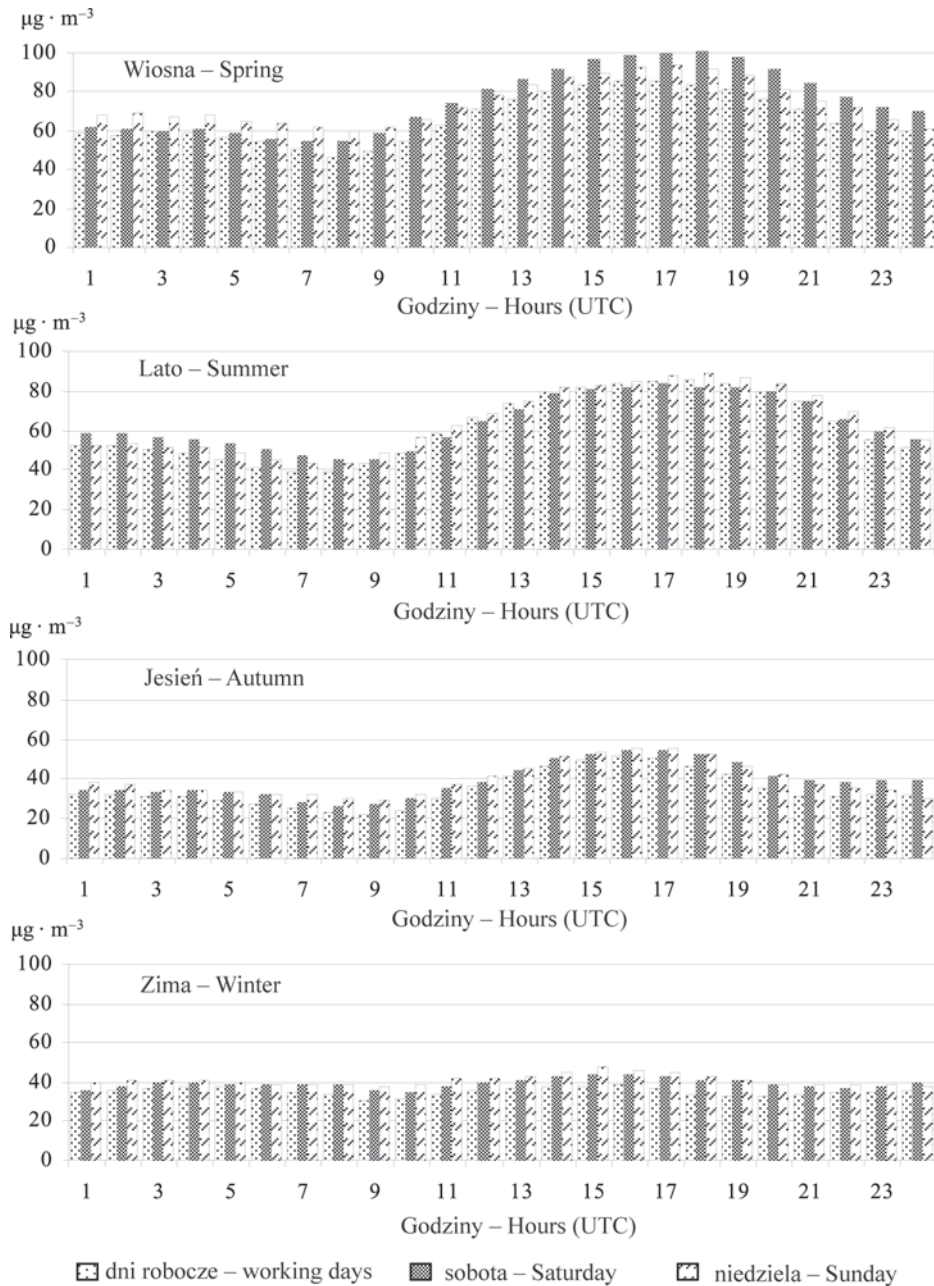
Rys. 3. Średnie sezonowe stężenia ozonu troposferycznego w kolejnych dniach tygodnia w Szczecinie, lata 2005–2007

Fig. 3. Mean seasonal concentrations of tropospheric ozone according to days of a week in Szczecin, years 2005–2007

wyraźna zmienność stężeń ozonu w ciągu doby jest charakterystyczna dla obszarów nizinnych. W rejonach górskich obserwuje się praktycznie wyrównany dobowy rozkład stężeń ozonu, co na przykładzie wyników z 8 lat dla Śnieżki wykazała Bogucka [2006].

Znany z literatury tzw. efekt weekendowy, który zarejestrowano w wielu miastach na świecie [Hoffman i Jasiński 2000, Viras 2002, Atkinson-Palombo i in. 2006, Khoder 2009], polegający na obserwowaniu podwyższonych stężeń ozonu w ciągu dni wolnych od pracy w porównaniu z dniami roboczymi, zaznacza się we wszystkich porach roku również w Szczecinie, co ilustrują rys. 3 i 4. W ujęciu tygodniowym przeciętnie najwyższe stężenie ozonu notowano w soboty wiosną i w niedziele podczas pozostałych pór roku. Niezależnie od pory roku podwyższone stężenia ozonu utrzymywały się jeszcze w poniedziałki. Najwyraźniejsza przewaga poziomu imisji weekendowej nad pozostałymi dniami tygodnia, wynosząca przeciętnie około $9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, miała oczywiście miejsce wiosną. Jesienią i zimą różnice te były mniejsze i wynosiły odpowiednio około 5 i $6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Latem, pomimo wykazanej wcześniej wyraźnej struktury dobowej, w ujęciu tygodniowym zmienność stężeń ozonu była zdecydowanie najmniejsza.

Rys. 4 wskazuje, że przewaga wiosennych sobotnich stężeń nad niedzielnymi zaznaczała się nie w ciągu całej doby, lecz w godzinach od 10 do 24, natomiast w pozostałym okresie dominowały stężenia niedzielne. Niemalże zupełnie odwrotna sytuacja miała miejsce latem. Podczas tej pory roku w godzinach od 24 do 8 przeciętnie najwyższą imisją charakteryzowały się soboty, a w pozostałej części doby – niedziele, przy czym w godzinach od 11 do 19 sobotnie stężenia ozonu bywały nawet niższe niż w dniach roboczych, czego nie zaobserwowano w żadnej z pozostałych pór roku. Jesienią i zimą, pomimo stosunkowo niewielkiej zmienności poziomu imisji w ciągu doby, zaznaczyła się przewaga imisji weekendowej nad pozostałymi dniami tygodnia, z nieco wyższym poziomem stężeń niedzielnych nad sobotnimi w obydwu porach roku (z wyjątkiem godzin wieczornych jesienią).



Rys. 4. Średnie godzinne stężenia ozonu troposferycznego dla dni roboczych oraz sobót i niedziel według sezonów w Szczecinie, lata 2005–2007

Fig. 4. Mean hourly concentrations of tropospheric ozone for weekdays and Saturdays and Sundays, by seasons in Szczecin, years 2005–2007

PODSUMOWANIE

1. Przeciętnie największą imisją ozonu w Szczecinie w latach 2005–2007, wynoszącą $69 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, charakteryzowała się kalendarzowa wiosna, zwłaszcza kwiecień i maj, a najmniejszą jesień i zima.
2. W latach objętych analizą nie odnotowano 1-godzinnych stężeń ozonu oznaczających konieczność informowania społeczeństwa o ryzyku wystąpienia prognozy alarmowego.
3. W okresie wiosny i lata, w mniejszym stopniu jesienią, w przebiegu dobowym ozonu zaznaczał się wyraźny wzrost stężeń rozpoczynający się w godzinach rannych, z maksimum przypadającym na godziny od 15 do 18 (według czasu UTC). Natomiast w sezonie zimowym obserwowano praktycznie wyrównany poziom stężeń ozonu w ciągu doby.
4. W ciągu całego roku poziom weekendowej imisji ozonu przewyższał stężenia zarejestrowane podczas dni roboczych.

PIŚMIENNICTWO

- Amann M., Derwent D., Forsberg B., Hänninen O., Hurley F., Krzyzanowski M., Leeuw F., Liu S. J., Mandin C., Schneider J., Schwarze P., Simpson D., 2008. Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution. World Health Organization, Europe.
- Atkinson-Palombo C.M., Miller J.A., Balling R.C., 2006. Quantifying the ozone “weekend effect” at various locations in Phoenix, Arizona. *Atmosph. Environ.* 40, 7644–7658.
- Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej, 2006. Wyd. IMGW Warszawa.
- Baran J., Świąc A., Hoffman S., 1999. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do modelowania stężenia ozonu przy powierzchni ziemi. *Inż. Ochr. Środ.* 2(3–4), 305–321.
- Bogucka M., 2006. Wstępne wyniki analizy zmienności stężenia ozonu niskotroposferycznego w Polsce na stacjach tła zanieczyszczenia atmosfery IMGW w okresie 1996–2003. *Wiad. IMGW* 29(50), 3–4, 17–29.
- Castell N., Mantilla E., Millan M.M., 2008. Analysis of tropospheric ozone concentration on a Western Mediterranean site: Castellon (Spain). *Environ. Monit. Assessm.* 136, 3–11.
- Dueñas C., Fernández M.C., Cañete S., Carratero J., Liger E., 2002. Assessment of ozone variations and meteorological effects in an urban area in the Mediterranean Coast. *Sci. Total Environ.* 299, 97–113.
- Filleul L., Cassadou S., Medina S., Fabres P., Lefranc A., Eilstein D. i in., 2006. The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. *Environ. Health Perspect.* 114, 1344–1347.
- Fischer P.H., Brunekreef B., Lebret E., 2004. Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands. *Atmosph. Environ.* 38, 1083–1085.
- Gerasopoulos E., Kouvarakis G., Vrekoussis M., Donoussis C., Mihalopoulos N., Kanakidou M., 2006. Photochemical ozone production in the Eastern Mediterranean. *Atmosph. Environ.* 40, 3057–3069.
- Godłowska J., 2004. Analiza zmienności średnich 8-godzinnych ozonu (10–18 GMT) na terenie Polski i ich związków z meteorologią. *Wiad. IMGW* 29(50), 3–4, 17–29.
- Godłowska J., Tomaszewska A.M., 2006. Zależność średnich 8-godzinnych stężeń ozonu (O_3) od typów cyrkulacji J. Lityńskiego na stacjach krajowego monitoringu ozonu. *Wiad. IMGW* 29(50), 3–4, 3–16.
- Gzella A., Zwoździak J., 2003. Przestrzenno-czasowe zależności stężeń ozonu w regionie Czarnego Trójkąta. *Arch. Ochr. Środ.* 29(5), 25–37.

- Hoffman S., Jasiński R., 2000. Zmiany stężenia ozonu przy powierzchni ziemi w przebiegu tygodniowym w miejscowościach Polski południowej. Cz. II: Kraków. Chem. Inż. Ekolog. 7(4), 385–391.
- Inspekcja Ochrony Środowiska, 2006. Wybrane problemy zanieczyszczenia powietrza w Polsce w 2005 roku w świetle wyników pomiarów prowadzonych w ramach PMŚ. Warszawa.
- Inspekcja Ochrony Środowiska, 2007. Zanieczyszczenie powietrza w Polsce w latach 2005–2006. Warszawa.
- Inspekcja Ochrony Środowiska, 2008. Ocena zanieczyszczenia powietrza w Polsce w roku 2007 w świetle wyników pomiarów prowadzonych w ramach PMŚ. Warszawa.
- Inspekcja Ochrony Środowiska, 2009. Jakość powietrza w Polsce w roku 2008 w świetle wyników pomiarów prowadzonych w ramach PMŚ. Warszawa.
- Juda-Rezler K., 2000. Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko. Ofic. Wydaw. Polit. Warsz. Warszawa.
- Kalabokas P.D., Viras L.G., Bartzis J.G., Repapis C.C., 2000. Mediterranean rural ozone characteristics around the urban area of Athens. Atmosph. Environ. 34, 5199–5208.
- Khoder M.I., 2009. Diurnal, seasonal and weekdays-weekends variations of ground level ozone concentrations in an urban area in greater Cairo. Environ. Monit. Assessm., 349–362.
- Nidzgorska-Lencewicz J., 2008. Meteorological elements determining the concentration of ozone in Szczecin. 8th Ann. Meet. of the European Meteorological Society – 7th Europ. Conf. on Applied Climatology (ECAC), Amsterdam, 29 IX – 3 X 2008. Abstracts 5.
- Ośródką L., Święch-Skiba J., 1997. Klimatologiczne aspekty powstawania smogu letniego na obszarze Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Wiad. IMGW 1, 113–128.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 marca 2008 w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu. Dz.U. Nr 47, poz. 281.
- Stedman J.R., 2004. The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave. Atmosph. Environ. 38, 1087–1090.
- Viras L.G., 2002. Comparison of ozone levels between working days and weekends in Athens, Greece. Environ. Monit. Assessm. 80, 301–314.
- Yasuyuki I., Bandow H., Takenaka N., Saitoh Y., Asayama A., Fukuyama J., 2007. Impact of NO_x reduction on long-term ozone trends in an urban atmosphere. Sci. Total Environ. 379, 46–55.

TIME DISTRIBUTION OF TROPOSPHERIC OZONE CONCENTRATIONS IN SZCZECIN IN THE YEARS 2005–2007

Abstract. The results were based on automatic, hourly measurements of tropospheric ozone concentrations registered in immission station of Voivodeship Inspectorates of Environmental Protection, located in Szczecin, at Andrzejewskiego Street. It was found that during the study period covering the 2005–2007, the greatest average concentrations of ozone was stated in the spring season, the smallest in autumn and winter. In terms of week measurements the immission level in weekend days was dominant over the rest of the week, marking the strongest in the spring season. In the course of twenty four hours of ozone, especially during spring and summer, a clear increase of concentrations beginning in the morning, with a maximum falling in the hour from 15.00 to 18.00 (UTC time) occurred.

Keywords: tropospheric ozone, concentrations, frequency, daily structure, weekend effect

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 16.02.2011