

OCENA JAKOŚCI POWIETRZA LEGNICY (POLSKA, DOLNY ŚLĄSK) NA PODSTAWIE WYBRANYCH ZANIECZYSZCZEŃ GAZOWYCH I WSKAŹNIKA TEMPERATURY ODCZUWALNEJ

Robert Krzysztof Sobolewski✉

Instytut Architektury Krajobrazu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji,
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Grunwaldzka 55, 50-357 Wrocław

ABSTRAKT

Celem pracy była ocena rozkładu czasowego poziomu stężeń zanieczyszczeń gazowych dwutlenku siarki (SO_2 , $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) i dwutlenku azotu (NO_2 , $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) oraz charakterystyka warunków biotermicznych Legnicy, położonej w województwie dolnośląskim, na podstawie temperatury odczuwalnej (STI, °C). Ocenę sezonowego i dobowego przebiegu emisji SO_2 , NO_2 oraz wartości STI, w badanym wieloleciu, dokonano w oparciu o statystyki opisowe miar. Analizę częstości poziomów stężeń w przyjętych przedziałach SO_2 i NO_2 wykonano w odniesieniu do skali stosowanej przy interpretacji wskaźnika STI. Ocena warunków biotermicznych badanego okresu (2005–2014) nie wykazała wystąpienia odczucia ciepła „upalnie”. Najbardziej niekorzystne warunki arosanitarne spowodowane wysokimi stężeniami SO_2 w powietrzu towarzyszą odczuciu „mroźno”. Największą zmiennością zawartości SO_2 i NO_2 w powietrzu charakteryzowała się zima podczas występowania odczuć „mroźno” i „bardzo zimno”. Najwyższe stężenie SO_2 , wynoszące $234 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, odnotowano zimą 2005 r., natomiast najwyższe stężenie NO_2 – wiosną 2009 roku i wynosiło $184 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Imisja SO_2 i NO_2 wykazuje odwrotny dobowy przebieg w porównaniu do przebiegu temperatury odczuwalnej.

Słowa kluczowe: SO_2 , NO_2 , warunki biotermiczne, bioklimat

WSTĘP

Jakość środowiska atmosferycznego na terenach miejskich powiązana jest z formami użytkowania terenu, co wynika z silnej heterogeniczności obszarów zurbanizowanych [Huang i in. 2013, Karnia i in. 2007]. Źródłami emisji SO_2 są głównie indywidualne paleniska domowe związane z zabudową osiedlową, jednorodzinną, natomiast źródłem NO_2 tereny komunikacji drogowej. Na poziom zanieczyszczeń wpływają bezpośrednio elementy meteorologiczne takie jak: prędkość wiatru, opad atmosferyczny, temperatura i wilgotność względna powietrza [Żyromski i in. 2014, Rozbicka i Michalak 2015]. Wysokie stężenia

SO_2 i NO_2 występują głównie w okresie zimowym [Kalbarczyk i Kalbarczyk 2008, Huang i in. 2013, Żyromski i in. 2014]. Pogarszające się warunki arosanitarne mają niekorzystny wpływ na ludzkie zdrowie, zwłaszcza u osób cierpiących na dolegliwości wynikające z chorób układu krążenia i oddechowego. Prowadzić to może do podwyższonego ryzyka zachorowalności, a nawet umieralności z powodu niewydolności tych układów [Kowalska i in. 2008, San Tam i in. 2015]. W Zabrze stwierdzono, że głównym zanieczyszczeniem powodującym wzrost ryzyka hospitalizacji jest NO_2 . Przeprowadzona analiza wieloczynnikowa potwierdziła istotną zależność pomiędzy stężeniem NO_2 a dobową liczbą hospitali-

✉ e-mail: robert.sobolewski.lubawka@gmail.com

zacji przy uwzględnieniu ciśnienia atmosferycznego oraz temperatury i wilgotności względnej powietrza [Kowalska i in. 2008]. Badania wskazują na wzajemne oddziaływanie zarówno zanieczyszczeń powietrza, jak i elementów meteorologicznych na zdrowie, a tym samym komfort życia na terenach zurbanizowanych. Niekorzystnym warunkom aerosanitarnym często towarzyszą równie niekorzystne warunki biotermiczne [Ramsey i in. 2014, Kalbarczyk i in. 2016]. Błażejczyk i McGregor [2007] stwierdzili zależność między liczbą zgonów a warunkami biotermicznymi. Udowodniono, że w Londynie wyjaśnić można od 20% do 29% liczby zgonów pojawieniem się trzy dni wcześniej niekorzystnych warunków biotermicznych. W Paryżu i Barcelonie ok. 35%, a w Budapeszcie i w Londynie 10–25% liczby zgonów w okresie letnim można powiązać z dużym obciążeniem termicznym organizmu. W ocenie warunków biotermicznych wykorzystać można m. in. wskaźnik temperatury odczuwalnej (STI), opracowany do biotermiczno-meteorologicznej klasyfikacji pogody [Błażejczyk i Kunert 2011]. Wskaźnik STI objaśnia natężenie bodźców termicznych środowiska atmosferycznego odczuwanych przez człowieka przed uaktywnieniem się procesów przystosowawczych organizmu [Błażejczyk 2003, 2005]. W Polsce do oceny warunków biotermicznych wskaźnik STI wykorzystali m.in.: Koźmiński i Michalska [2010], Mąkosza i Michalska [2010], Wereski i in. [2010], Pełech [2013].

Celem pracy była charakterystyka i ocena rozkładu czasowego poziomu stężeń zanieczyszczeń gazowych SO_2 i NO_2 oraz towarzyszących im warunków biotermicznych Legnicy w poszczególnych porach roku na podstawie temperatury odczuwalnej w latach 2005–2014.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W pracy wykorzystano dane godzinnych stężeń zanieczyszczeń gazowych dwutlenku siarki (SO_2 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) i dwutlenku azotu (NO_2 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) oraz godzinne dane meteorologiczne z lat 2005–2014. Dane pozyskano ze stacji Państwowego Monitoringu Środowiska w Legnicy (woj. dolnośląskie) oznaczonej kodem międzynarodowym PL0190A, będącą stacją typu tła miejskiego. Dane opracowano dla czasu uniwersalnego (UTC). Ocenę warunków bioklimatycznych dokona-

no na podstawie wskaźnika temperatury odczuwalnej (STI, °C) przy użyciu dziewięciostopniowej skali wg Błażejczyka [2005] (tab. 1).

Tabela 1. Skala STI [Błażejczyk 2005]

Table 1. STI scale [Błażejczyk 2005]

Temperatura, °C Temperature, °C	Klasa komfortu termicznego Thermal comfort class
< -38,0	mroźno – frosty
-38,0÷-20,1	bardzo zimno – very cold
-20,0÷-0,5	zimno – cold
-0,4÷22,5	chłodno – cool
22,6÷31,9	komfortowo – comfortable
32,0÷45,9	ciepło – warm
46,0÷4,9	gorąco – hot
55,0÷9,0	bardzo gorąco – very hot
>70,0	upalnie – sweltering

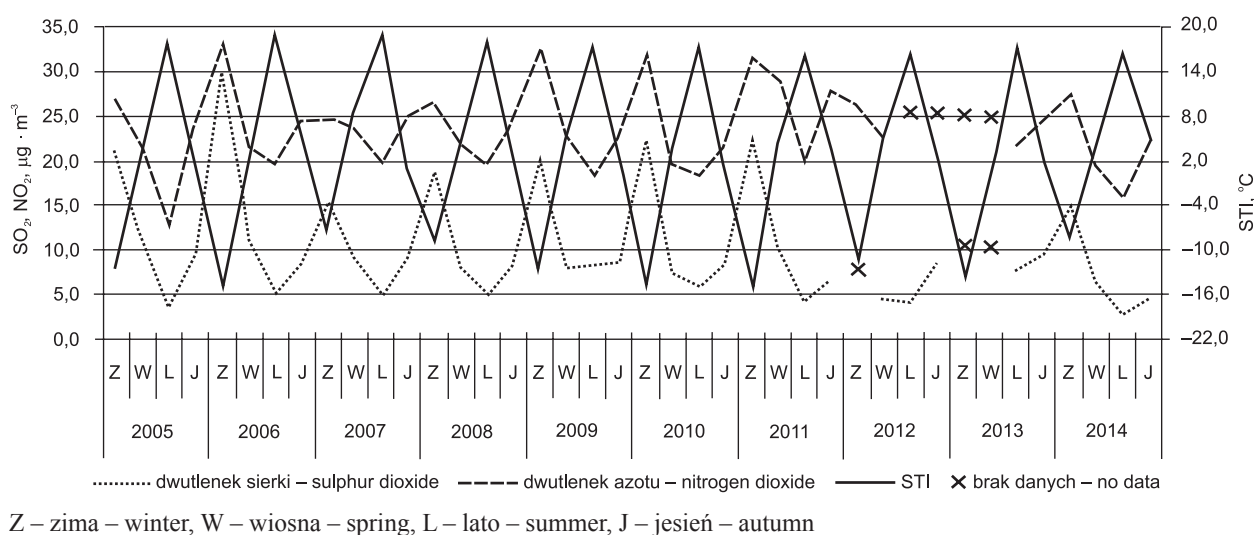
Wartości wskaźnika STI obliczono za pomocą programu Bioklima 2.6 [<https://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>]. Wyjściową prędkość wiatru zredukowano do wysokości 2 m n.p.g. na podstawie wzoru Suttona [Mąkosza i Michalska 2010, Kalbarczyk i in. 2015]. Ocenę warunków aerosanitarnych przeprowadzono na podstawie analizy imisji SO_2 i NO_2 . W sezonie zimowym 2012 i 2013 roku oraz wiosennym 2013 roku odnotowano 100% brak danych godzinnych stężeń SO_2 . Ponadto 100% brak danych wykazano dla godzinnych stężeń NO_2 w sezonie letnim i jesiennym 2012 roku oraz sezonie zimowym i wiosennym 2013 roku. Dane godzinnych stężeń zanieczyszczeń SO_2 i NO_2 oraz wskaźnika STI scharakteryzowano na podstawie statystyk opisowych miar położenia: wartości średnich, maksymalnych i minimalnych w sezonie zimowym (XII–II), wiosennym (III–V), letnim (VI–VIII) i jesiennym (IX–XI) badanego 10-lecia. Ponadto dokonano oceny częstości występowania godzinnych stężeń zanieczyszczeń gazowych w przyjętych przedziałach oraz klas komfortu termicznego człowieka. Średnie wartości godzinnych stężeń zanieczyszczeń gazowych i wartości STI posłużyły do oceny dobowego przebiegu imisji zanieczyszczeń oraz warunków biotermicznych analizowanych sezonów. W celu określenia poziomu zanieczyszczeń gazowych towarzyszących warunkom

biotermicznym, oceniono częstość ich występowania w klasach odczuć komfortu termicznego człowieka.

WYNIKI

Sezon zimowy 2005/2006 wyróżniał się najwyższymi stężeniami badanych zanieczyszczeń w ciągu analizowanego wielolecia, z średnią sezonową wartością SO_2 i NO_2 wynoszącą kolejno $30 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ i $33 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (ryc. 1). Średnie stężenia NO_2 w sezonie zimowym, powyżej $30 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, odnotowano również w sezonach: 2008/2009, 2009/2010 oraz 2010/2011. Średnia wartość NO_2 we wszystkich rozpatrywanych sezonach była wyższa od wartości SO_2 w powietrzu średnio o $12,5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. W wieloleciu 2005–2014 najniższa

wartość STI, wynoszącą $-14,6^\circ\text{C}$, odnotowano zimą na przełomie lat 2005/2006, 2009/2010 i 2010/2011. W sezonach letnich średnia wartość STI wahała się od ok. 16 do 19°C . Najwyższą średnią temperaturę odczuwalną, wynoszącą $18,9^\circ\text{C}$, odnotowano latem 2007 roku. Najmniejszą różnicę pomiędzy wartościami stężeń SO_2 i NO_2 , wynoszącą zaledwie ok. $3,0 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, odnotowano zimą na przełomie lat 2005/2006 podczas temperatury odczuwalnej wynoszącej $-14,6^\circ\text{C}$. Natomiast najwyższą różnicę pomiędzy wartościami stężeń SO_2 i NO_2 zarejestrowano jesienią 2011 roku, $21,1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, przy temperaturze odczuwalnej $3,5^\circ\text{C}$. Imisja SO_2 i NO_2 wykazała odwrotny sezonowy przebieg w stosunku do rozkładu wartości wskaźnika STI w rozpatrywanym wieloleciu.



Ryc. 1. Rozkład czasowy średniego stężenia dwutlenku siarki, dwutlenku azotu i STI wg pór roku w latach 2005–2014

Fig. 1. Time distribution of average concentrations of sulfur dioxide, nitrogen dioxide and STI according to the seasons of the year, 2005–2014

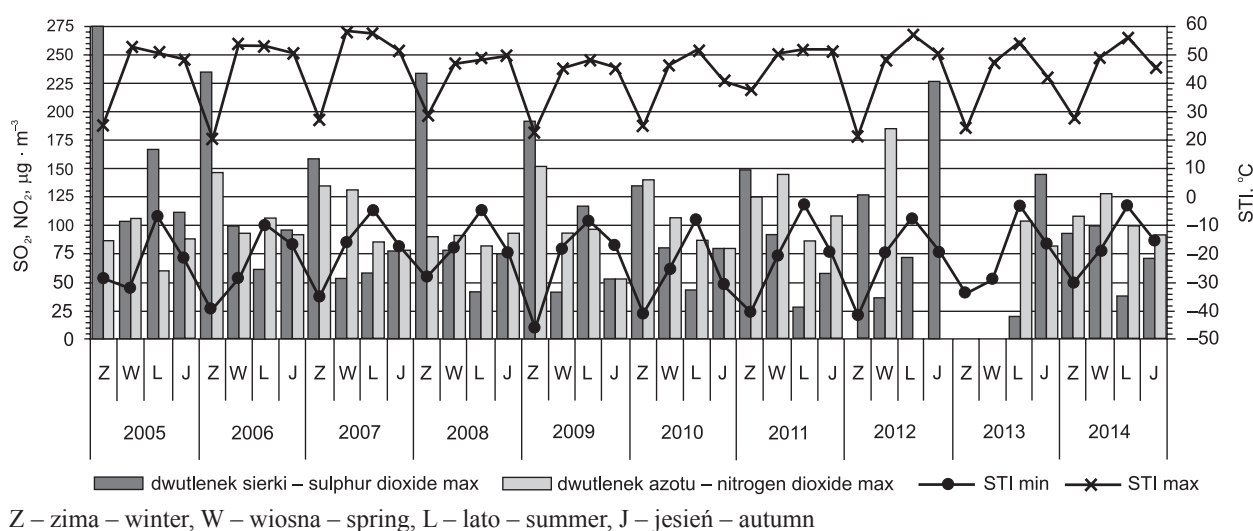
Najwyższe maksymalne stężenie SO_2 wynoszące $274 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ w badanym wieloleciu odnotowano zimą w 2005 r. (ryc. 2). W sezonie letnim najwyższe stężenie SO_2 , wynoszące $167 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, odnotowano w 2005 r, natomiast w wiosennym $103 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ tego samego roku oraz $226 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ w sezonie jesiennym 2012 roku. W 2014 r. maksymalne stężenie SO_2 zimą wyniosło $94 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ i było niższe od najwyższego stężenia w badanym wieloleciu o $180 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. W latach 2005–2014 najwyższe stężenie NO_2 odnotowano wiosną 2012 r. i wyniosło $184 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, natomiast najniższe spośród

sezonowych maksymalnych stężeń jesienią 2007 r., wynoszące zaledwie $54 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Maksymalną temperaturę odczuwalną w sezonach letnich badanego wielolecia przekraczającą 50°C wykazano aż w 8 na 10 rozpatrywanych sezonów. Najwyższa maksymalna wartość STI wynosiła $58,4^\circ\text{C}$, wiosną 2007 r. Tego samego roku wykazano najwyższą minimalną temperaturę odczuwalną STI ($-15,7^\circ\text{C}$) w odniesieniu do pozostałych sezonów wiosennych. Najmniejsza różnica pomiędzy maksymalną a minimalną wartością STI w sezonie letnim wystąpiła 2007 r. i wynosiła $52,6^\circ\text{C}$, natomiast największą

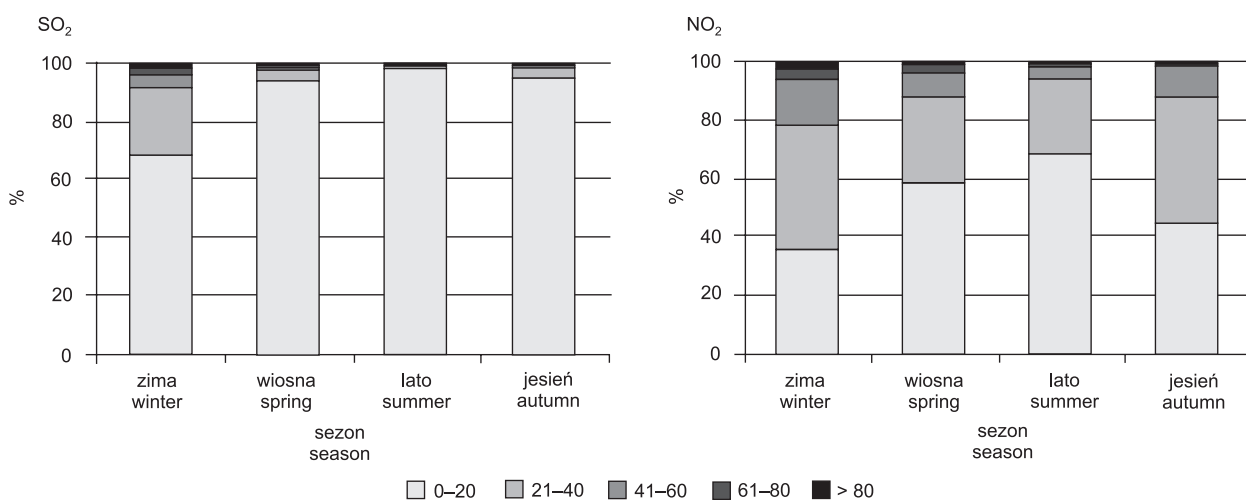
zaobserwowano w 2012 r., wynoszącą 63,7°C. Najniższą wartość STI, -45°C, w porównaniu z pozostałymi sezonami wielolecia odnotowano zimą 2009 r.

Stężenie SO₂ w sezonie zimowym wykazywało największe zróżnicowanie, w porównaniu z pozostałymi sezonami (ryc. 3). Najwyższe godzinne wartości SO₂, powyżej 80 µg · m⁻³, odnotowano zimą, stanowiły 6% wszystkich przypadków. Wartości stężeń w przyjętym przedziale 61–80 µg · m⁻³ w sezonie

zimowym stanowiły 2,0%. Latem stężenia powyżej 80 µg · m⁻³ stanowiły 0,04%, a jesienią – 0,07%. Stężenia NO₂, powyżej 20 µg · m⁻³, w porównaniu ze stężeniami SO₂ były częstsze we wszystkich sezonach badanego wielolecia. Zimą ponad 20% odnotowanych przypadków stężeń NO₂ przekraczało 40 µg · m⁻³. Stężenia NO₂ powyżej 80 µg · m⁻³ w sezonie zimowym wynosiły 1,9%. Stężenia powyżej 80 µg · m⁻³ stanowiły zaledwie 0,2% wszystkich przypadków.



Ryc. 2. Statystyki podstawowe opisujące wartości SO₂, NO₂ i STI w poszczególnych porach roku w latach, 2005–2014
Fig. 2. Basic statistics describing the values of SO₂, NO₂ and STI for the seasons in following years, 2005–2014

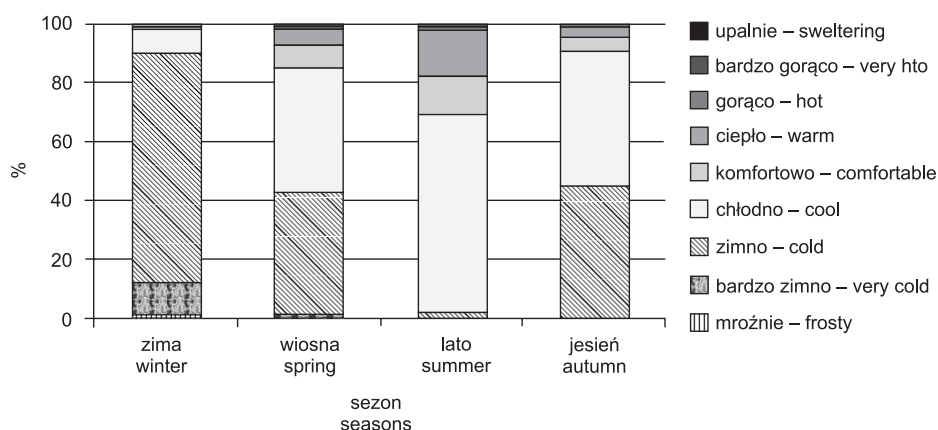


Ryc. 3. Częstość godzinnych stężeń NO₂ i SO₂ (µg · m⁻³) w porach roku w latach 2005–2014
Fig. 3. The frequency of hourly concentrations of NO₂ and SO₂ (µg · m⁻³) for year seasons, 2005–2014

W badanym wieloleciu 2005–2014 odnotowano 8 z 9 klas odczuć ciepłych, od „mroźno” do „bardzo gorąco” (ryc. 4). Odczucie „mroźno” stanowiło jedynie 0,2% przypadków zimą, natomiast „bardzo zimno” 12,1%. W sezonie zimowym najczęściej notowano odczucie „zimno”, stanowiące 78,5% wszystkich odczuć. W sezonie letnim badanego wielolecia nie udokumentowano odczucia „upalnie”. Odczucie „bardzo gorąco” odnotowano jedynie w pięciu przypadkach latem, stanowiących 0,02% w wieloleciu 2005–2014. Odczucie „gorąco” stanowiło zaledwie 1,8% odczuć okresu letniego. Odczucie „komfortowo” najczęściej występowało w sezonie letnim i stanowiło 12,7% wszystkich odczuć. Wiosną odczucie „gorąco” stanowiło zaledwie 0,3%, natomiast jesienią nie odnotowano powyższego odczucia. W badanym wieloleciu jesień i wiosna charakteryzowały się zbliżonymi warunkami biotermicznymi, przy czym wiosną odczucie ciepło i komfortowo występowało dwukrotnie częściej.

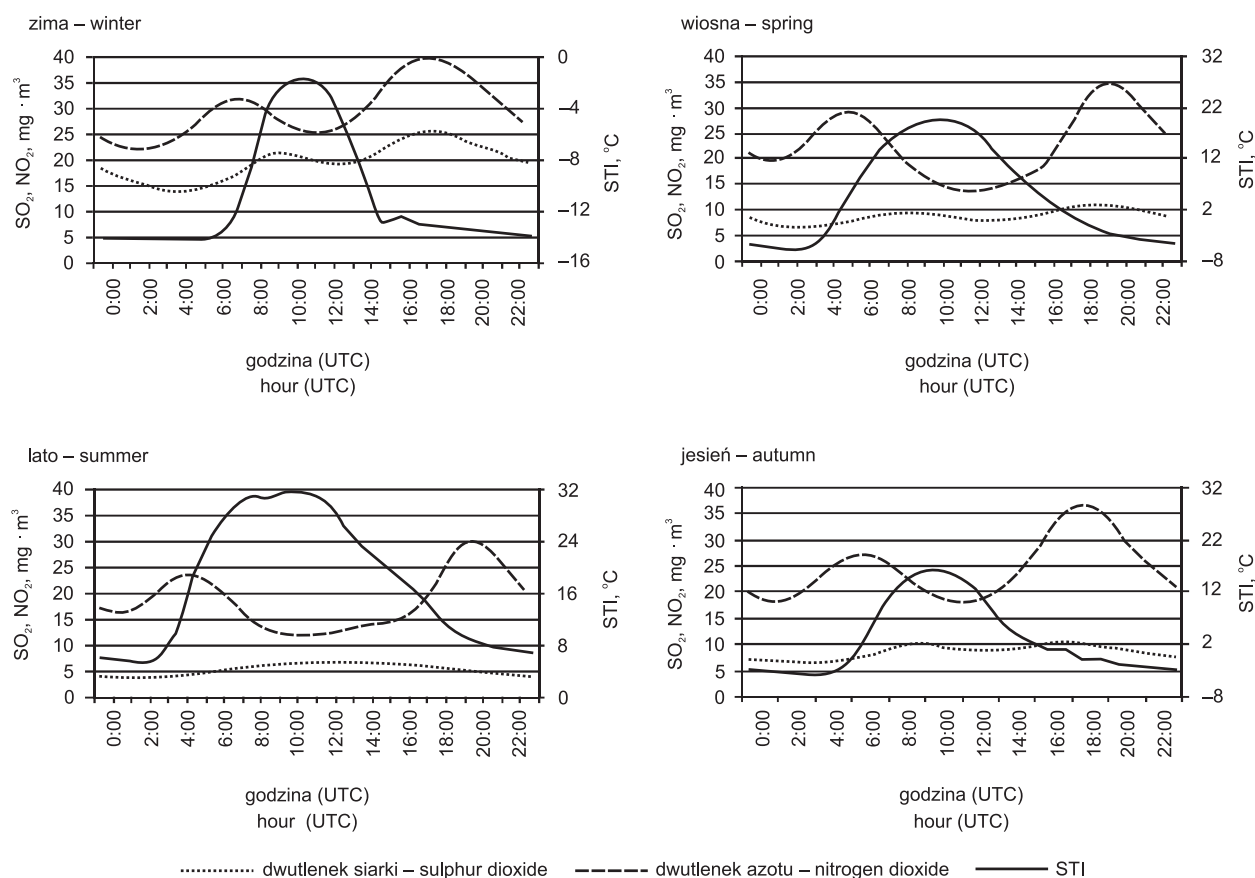
Najwyższe odnotowane zimą stężenie SO_2 wynosiło ok. $25 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ w godzinach 17:00–18:00 (UTC) (ryc. 5). W sezonie letnim dobowy przebieg emisji SO_2 utrzymywał się na stałym, niskim poziomie ok. $3,5\text{--}7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. W sezonie wiosennym najwyższe średnie godzinne stężenie SO_2 , wynoszące $11 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, odnotowano w godzinach 16:00–17:00 (UTC), natomiast jesiennym $10 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ w godzinach od 18:00 do 19:00. Najwyższe stężenie NO_2 odnotowano zimą w godzinach 17:00–18:00 (UTC) i wynosiło $39 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Latem najwyższe stężenie wynosiło prawie $30 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ o godzinie 20:00

(UTC). Imisja NO_2 wykazywała we wszystkich porach roku wyraźny dobowy przebieg, z dwoma maksimumami w godzinach porannych i wieczornych, przy czym w godzinach wieczornych było one wyższe. W sezonie wiosennym najwyższe stężenie NO_2 , wynoszące $34 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, odnotowano w godzinach 19:00–20:00 (UTC), jesienią zaś $36 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ w godzinach od 18:00 do 19:00 (UTC). W sezonie jesiennym i wiosennym badanego wielolecia maksymalny wzrost stężenia NO_2 poprzedzał o 1–2 godziny, maksymalny wzrost stężeń SO_2 . Najwyższe średnie godzinne wartości temperatury odczuwalnej (STI), wynoszące $30\text{--}31^\circ\text{C}$, wykazano w sezonie letnim w godzinach 8:00–12:00 (UTC), świadczące o odczuciu „komfortowo”. Natomiast najniższe wartości STI odpowiadające odczuciu „bardzo zimno” zimą, wynosiły poniżej -14°C , w godzinach od 1:00 do 6:00 (UTC). W sezonie wiosennym najwyższa średnia wartość STI wnosila prawie 30°C . Wskaźnik ten wykazuje odwrotny dobowy przebieg w porównaniu do przebiegu NO_2 i SO_2 we wszystkich porach roku, wyraźnie zaznaczając się w godzinach przed i popołudniowych. Zimą najwyższej średniej wartości STI, równej $-2,1^\circ\text{C}$ o godzinie 10:00 (UTC), towarzyszyły średnie godzinne stężenia SO_2 i NO_2 wynoszące kolejno $21,1$ oraz $26,9 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Latem natomiast najwyższej średniej wartości STI, równej $31,4^\circ\text{C}$ o godzinie 10:00 (UTC), towarzyszyły średnie stężenia SO_2 i NO_2 wynoszące kolejno $6,49$ i $11,7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Latem, wiosną i jesienią w godzinach od 3:00 do 5:00 (UTC) wzrósłowi wartości STI towarzyszył wyraźny wzrost NO_2 .



Ryc. 4. Częstość występowania odczuć ciepłych człowieka na podstawie wskaźnika temperatury odczuwalnej (STI), w latach 2005–2014

Fig. 4. The frequency of human thermal sensations according to subjective temperature index (STI), 2005–2014

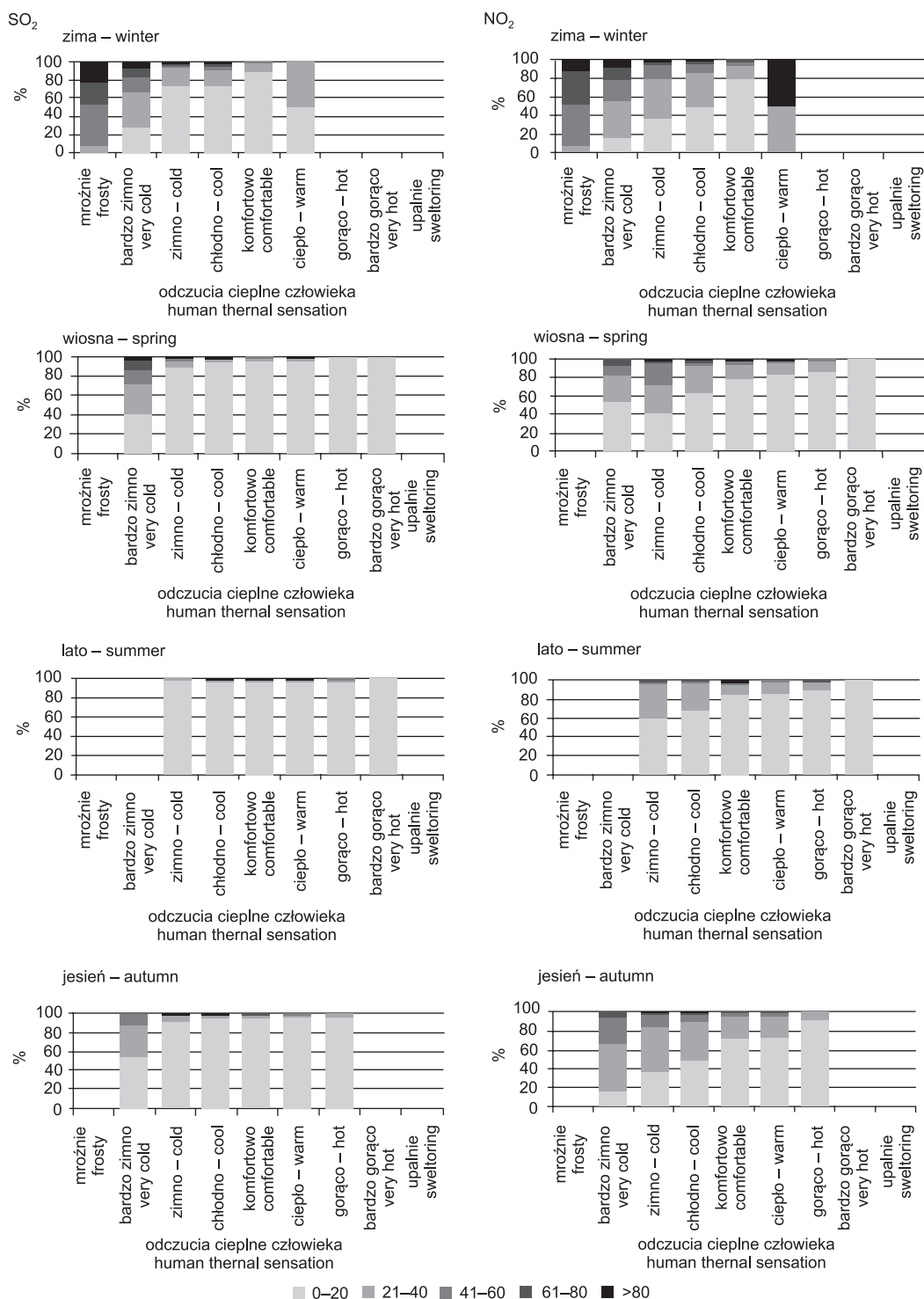


Ryc. 5. Rozkład dobowy: NO_2 , SO_2 oraz STI w porach roku w latach 2005–2014

Fig. 5. Daily distribution: NO_2 , SO_2 , and STI for year seasons, 2005–2014

Okres zimowy charakteryzował się największym zróżnicowaniem poziomu zanieczyszczeń przy wszystkich towarzyszących odczuciach cieplnych człowieka (ryc. 6). W sezonie zimowym odczucie „ciepło” odnotowano jedynie w 2 przypadkach. Przyczyną tak równomiernego rozkładu częstości stężeń zanieczyszczeń była zarówno mała liczebność przypadków odczucia „ciepło” w badanym wieloleciu, jak i brak danych zanieczyszczeń z okresu 2012–2013. Najwyższe godzinne stężenia SO_2 powyżej $80 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ w badanym wieloleciu odnotowano przy odczuciach „mroźno” i „bardzo zimno”, które wynosiły kolejno 20,8% oraz 7,0% wszystkich analizowanych przypadków. Odczucia te charakteryzowały się największym zróżnicowaniem poziomu SO_2 w powietrzu. Sezon letni wykazał się najmniejszą zmiennością poziomu emisji SO_2 w badanym wieloleciu, wszystkim analizowa-

nym odczuciom, w ponad 97% przypadków, towarzyszyły stężenia z zakresu $0\text{--}20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Wiosną jedynie przy odczuciu bardzo zimno notowano stężenia SO_2 znajdujące się we wszystkich przyjętych przedziałach. W porównaniu z jesienią wiosna charakteryzowała się wyższą częstością wysokich poziomów zanieczyszczeń towarzyszącym stresowi zimna. Najwyższe godzinne stężenia NO_2 powyżej $80 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, występowały podczas odczucia „mroźno” i „bardzo zimno” zimą, co stanowi kolejno 11,6% i 9,6% przypadków. Zimą nie odnotowano stężeń NO_2 zakresu powyżej $80 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ towarzyszącym odczuciu komfortowo. Latem odczuciu „bardzo gorąco” towarzyszył najniższy poziom godzinnych stężeń NO_2 , w przeciwieństwie do odczucia „zimno”, któremu towarzyszył najwyższy poziom stężenia analizowanego sezonu.



Ryc. 6. Częstość godzinnych stężeń NO₂ oraz SO₂ ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) w poszczególnych klasach odczuć cieplnych człowieka na podstawie wskaźnika temperatury odczuwalnej (STI) w latach 2005–2014

Fig. 6. The frequency of hourly NO₂ and SO₂ ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) concentration in each human thermal sensation classes according to subjective temperature index (STI), 2005–2014

DYSKUSJA

Legnica przynależy do centralnego regionu bioklimatycznego charakteryzującego się średnią temperaturą o godz. 12:00 (UTC) latem $21,3^{\circ}\text{C}$ i zimą $1,9^{\circ}\text{C}$. Przy czym okres letni odpowiada miesiącom czerwiec–lipiec, natomiast zimy styczeń–marzec [Błażejczyk i Matzarakis 2007]. Na terenie Legnicy w ciągu badanego dziesięciolecia nie wystąpiło odczucie „upalnie”. Odczucia tego nie odnotowali również Mąkosza i Michalska [2010] oraz Wereski i in. [2010], stosujący wskaźnik STI w Polsce środkowozachodniej oraz południowowschodniej (Lublin i Lesko). Stwierdzenie to może świadczyć o bardzo sporadycznym występowaniu odczucia „upalnie” w klimatycznych warunkach Polski. Bryś i Ojrzyńska [2016] na podstawie wskaźnika UTCI wskazują na częstsze występowanie obciążeń związanych ze stresem zimna w porównaniu ze stresem gorąca na terenach podmiejskich Wrocławia. Potwierdzają to badania własne na terenie Legnicy, leżącej w tym samym rejonie bioklimatycznym, co Wrocław. Papanastasiou i in. [2015] na podstawie indeksu dyskomfortu (DI) oraz wskaźnika wspólny indeks jakości powietrza (CAQI) wykazali pogarszający się stan jakości powietrza podczas fal upałów występujących w Salonikach, Atenach i Volos w okresie od 2001 do 2010 roku. Kalbarczyk i in. [2016] wykazali na podstawie temperatury radiacyjno-efektywnej (TRE) częstsze występowanie poziomów stężeń O_3 powyżej $80 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ w lipcu i sierpniu, podczas odczuć „ciepło” i „gorąco” w porównaniu z innymi odczuciami cieplnymi. W kwietniu i maju wysoki poziom stężeń O_3 notowano głównie przy odczuciu „komfortowo”. Zależność pomiędzy NO_2 a O_3 była najsilniejsza w miesiącach zimowych, natomiast w sezonie letnim notowano najsilniejszy wpływ badanych elementów meteorologicznych na stężenie O_3 . Najsilniejsze zależności pomiędzy TRE a ozonem odnotowano w okresach od kwietnia do września. Przeprowadzone badania własne w latach 2005–2014, wskazują na wyższy poziomy zanieczyszczeń NO_2 i SO_2 w zimie niż w lecie. W latach 2005–2009 na terenie czterech miast Dolnego Śląska, w tym Legnicy analiza warunków aerosanitarnych dla miesięcy listopad–kwiecień wykazała najsilniejszy związek pomiędzy imisją NO_2 a prędkością wiatru w miesiącach najzimniejszych [Żyromski i in. 2014]. Przeprowa-

dzona ocena w odniesieniu do poziomów stężeń NO_2 i SO_2 na terenie Legnicy wskazuje na występowanie najbardziej niekorzystnych warunków jakości powietrza w warunkach stresu zimna w sezonie zimowym przy odczuciu „bardzo zimno”. Wysokie godzinne stężenia SO_2 i NO_2 towarzyszyły odczuciom „mroźno” i „bardzo zimno”, przy czym odczucie „mroźno” występowało rzadziej w porównaniu do odczucia „bardzo zimno”. Potwierdzają to prowadzone badania na terenie Gdyni, gdzie wskaźnik CAQI był najbardziej niekorzystny (wysoki i bardzo wysoki) podczas zimnej części roku, z częstością 3,5% w centrum miasta i 1,2% na peryferiach miasta [Nidzgorska-Lencewicz 2015]. Schwarzak i in. [2014] w swoim opracowaniu dotyczącym rejonu granicznego Polski i Saksonii wskazują na znaczącą redukcję depozycji siarki i tlenków azotu w latach 2000–2010. Poprawa jakości powietrza możliwa jest również w Legnicy, gdzie maksymalne stężenie SO_2 w powietrzu zimą 2014 roku wynosiło $94 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, a 10 lat wcześniej wynosiło $274 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Ze względu na brak danych w latach 2012 i 2013 potwierdzenie tej obserwacji możliwe jest jedynie poprzez prowadzenie monitoringu kolejnych lat.

WNIOSKI

1. We wszystkich porach roku, odnotowano odwrotny dobowy przebieg koncentracji NO_2 i SO_2 względem wskaźnika STI.
2. W latach 2005–2014 w Legnicy nie odnotowano odczucia „upalnie”, co wskazuje na niską częstość występowania odczuć cieplnych o silnej bodźcowości stresu gorąca.
3. Najwyższe średnie godzinne stężenia SO_2 są poprzedzone najwyższymi stężeniami NO_2 w odstępie 1–2 godzin.
4. W badanym wieloleciu odczuciom „bardzo zimno” i „mroźno” towarzyszyły najwyższe stężenia NO_2 i SO_2 , co świadczy o niekorzystnych warunkach aerosanitarnych zimą podczas występowania silnego stresu zimna.
5. W okresie letnim, wszystkim odczuciom cieplnym człowieka towarzyszyły niskie wartości stężeń SO_2 i NO_2 , a tym samym poprawa jakości powietrza w porównaniu do sezonu zimowego.

PODZIĘKOWANIA

Autor pracy chce podziękować Panu dr. hab. inż. Robertowi Kalbarczykowi prof. nadzw. z Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, za konstruktywne uwagi podczas opracowywania niniejszego artykułu.

PIŚMIENNICTWO

- BioKlima© 2.6. <https://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html> (31.09.2016).
- Błażejczyk, K. (2003). Biotermiczne cechy klimatu Polski. *Prz. Geogr.*, 4(75), 525–543.
- Błażejczyk, K. (2005). New Indices to Assess Thermal Risk Outdoors. *Mat. Konf. Environmental Ergonomics XI, Proceedings of the 11th International Conference*. 22–26 May, Ystad, Sweden, 222–225.
- Błażejczyk, K., Kunert, A. (2011). Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego, PAN, Warszawa.
- Błażejczyk, K., Matzarakis, A. (2007). Assessment of bioclimatic differentiation of Poland, based on the human heat balance. *Geogr. Pol.*, 80(1), 63–82.
- Błażejczyk, K., McGregor, G. (2007). Warunki biotermiczne a umieralność w wybranych aglomeracjach europejskich. *Prz. Geogr.*, 79(3–4), 627–649.
- Bryś, K., Ojrzynska, H. (2016). Bodźcowość warunków biometeorologicznych we Wrocławiu. *Acta Geogr. Lodziensia*, 104, 193–200
- Huang, Y., Luvsuan, M., Gombojav, E., Ochir, C., Bulgan, J., Chan, C. (2013). Land use patterns and SO₂ and NO₂ Pollution in Ulaanbaatar, Mongolia. *Environ. Res.*, 124, 1–6.
- Kalbarczyk, R., Kalbarczyk, E. (2008). Concentration of gas and particulate air pollutants in Suwałki analysed in relation to meteorological conditions. *Pol. J. Natur. Sc.*, 23(1), 134–151.
- Kalbarczyk, R., Sobolewski, R., Kalbarczyk, E. (2015). Assessment of human thermal sensations based on bioclimatic indices in a suburban population, Wrocław (SW Poland). *Pol. J. Natur. Sc.*, 30(2), 185–201.
- Kalbarczyk, R., Sobolewski, R., Kalbarczyk, E. (2016). Biometeorological determinants of the tropospheric ozone concentration in the suburban conditions of Wrocław. *Poland. J. Elem.*, 21(3), 729–744.
- Karnia, M., Miczyński, J., Zuśka, Z. (2007). Badania stanu zanieczyszczenia powietrza w gminie Pleśna na potrzeby bonitacji i zagospodarowania terenu. *Acta Sci Pol, Formatio Circumiectus*, 6(3), 43–52.
- Kowalska, M., Zejda, E. J., Ośródk, L., Chwirut, A., Kondek, P. (2008). Dzienna liczba hospitalizacji z powodu chorób układu krążenia i oddechowego a zanieczyszczenie powietrza w Zabrze, w latach 2001–2005. *Probl. Hig. Epidemiol.*, 89(1), 41–46.
- Koźmiński, C., Michalska, B. (2010). Zmienność liczby dni gorących i upalnych oraz odczucia cieplne w strefie polskiego wybrzeża Bałtyku. *Acta Agroph.*, 15(2), 347–358.
- Mąkosza, A., Michalska, B. (2010). Ocena warunków w Polsce środkowozachodniej na podstawie temperatury odczuwalnej (STI). *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin. Agric., Aliment., Pisc., Zootech.*, 279(15), 53–62.
- Nidzgorzka-Lencewicz, J. (2015). Variability of human-biometeorological conditions in Gdańsk. *Pol. J. Natur. Sc.*, 24(1), 215–226.
- Papanastasiou, D., K., Melas, D., Kambezidis, H., D. (2015). Air quality and thermal comfort levels under extreme hot weather. *Atmos. Res.*, 152, 4–13.
- Pełech, S. (2013). Warunki biotermiczne w Tatrach polskich. *Pr. Geogr.*, 133, 7–19.
- Ramsey, N. R., Klein, M. P., Moore III, B. (2014). The impact of meteorological parameters on urban air quality. *Atmos. Environ.*, 86, 58–67.
- Rozbicka, K., Michalak, M. (2015). Charakterystyka stężeń wybranych zanieczyszczeń powietrza na obszarze Warszawy (Poland). *Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ.*, 68, 193–206.
- Wereski, S., Dobek, M., Wereski, S. (2010). Częstość występowania poszczególnych odczuć cieplnych w Lublinie i w Lesku na podstawie temperatury odczuwalnej (STI) w latach 1991–2005. *Prob. Eko. Kraj.*, 27, 371–377.
- San, Tam, W., W., Wong, T., W., Wong, A., H. (2015). Association between air pollution and daily mortality and hospital admission due to ischemic heart diseases in Hong Kong. *Atm. Environ.*, 120, 360–368.
- Schwarzak, S., Otop, I., Kryza, M. (red.) (2014). *Projekcje klimatu, zanieczyszczenia powietrza i ładunki krytyczne w regionie granicznym Polski i Saksonii*, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- Żyromski, A., Biniak-Pieróg, M., Burszta-Adamiak, E., Zamiar, Z. (2014). Evaluation of relationship between air pollutant concentration and meteorological elements in winter months. *J. Water Land Dev.*, 22(1), 25–32.

ASSESSMENT OF LEGNICA (POLAND, LOWER SILESIA) AIR QUALITY, BASED ON SELECTED GASEOUS POLLUTANTS AND SUBJECTIVE TEMPERATURE INDEX

ABSTRACT

The aim of this study is to characterise the time distribution of the concentration levels gas pollutants, sulphur dioxide (SO_2 , $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$), nitrogen dioxide (NO_2 , $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) and biothermal conditions, based on subjective temperature index (STI, °C) in Legnica, Dolnośląskie Voivodship. Assessment of seasonal and daily SO_2 , NO_2 concentration and STI index values in the multi-year time analysis was based on descriptive statistics. The analysis of NO_2 and SO_2 concentration frequency was performed in reference to the scale applied in the interpretation of the STI index. The assessment of the atmospheric environment did not show the occurrence of thermal sensation “sweltering”. The least favourable air pollutions conditions caused by high concentration levels of SO_2 in the air accompany the sensation of frosty”. The highest fluctuation in the content of NO_2 and SO_2 in the air was characteristic for the winter with the occurrence of “frosty” and “very cold” sensation. The highest concentration of SO_2 amounting to $234 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ was recorded in the winter of 2005 and highest NO_2 concentration was recorded in the spring of 2009, amounting to $184 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. The NO_2 and SO_2 concentration shows a reverse circadian course in comparison to the course of subjective temperature.

Key words: NO_2 , SO_2 , biothermal conditions, bioclimate