

USŁONECZNIE W MIASTACH NA PODSTAWIE WYBRANYCH STACJI W EUROPIE

Sunshine duration in urban areas based on selected stations in Europe

DOROTA MATUSZKO*

Zarys treści. W pracy dokonano analizy wieloletniej i rocznej zmienności usłonecznienia w wybranych miastach Europy. Wykorzystano możliwie najdłuższe serie heliograficzne dostępne w internetowych bazach danych. Uwzględniono sumy dobowe i miesięczne usłonecznienia z dwunastu miast europejskich dla wspólnego okresu (lata 1929–1991). Przebieg wieloletni przedstawiono na podstawie możliwie najdłuższych, jednorodnych ciągów. Stwierdzono, że zmienność wieloletnia i roczna usłonecznienia w wybranych miastach Europy wykazuje duże podobieństwo. Zauważono, że podobne tendencje w przebiegu wieloletnim sum rocznych występowały nie tylko w okresach „globalnego zaciemnienia” i „globalnego rozjaśnienia”, ale także na przełomie XIX i XX wieku oraz w pierwszej połowie XX wieku. Za przyczyny zmienności usłonecznienia w analizowanych miastach uznano uwarunkowania cyrkulacyjne, szerokość geograficzną oraz czynniki antropogeniczne.

Słowa kluczowe: klimat miasta, usłonecznienie, „globalne zaciemnienie”, „globalne rozjaśnienie”, Europa

Abstract. The study analyzed the long-term and annual variability of sunshine duration in selected European cities. The longest possible series of heliographic data available in online databases were used. The total daily and monthly sunshine duration sums from twelve European cities for the common period (1929–1991) were taken into account. The multi-annual course is presented based on the longest possible, homogeneous sunshine duration series. It was found that long-term and annual sunshine duration variability in selected European cities is very similar. It was noted that similar trends in the long-term course of annual sums occurred not only in the periods of “global dimming” and “global brightening” but also at the turn of the twentieth century and in the first half of the twentieth century. The causes of the variation of sunshine duration in the analyzed cities were found to be the circulation conditions, latitude, and anthropogenic factors.

Key words: urban climate, sunshine duration, “global dimming”, “global brightening”, Europe

Wprowadzenie

W literaturze klimatologicznej panuje pogląd, że obszary miejskie odznaczają się mniejszym usłonecznieniem niż tereny pozamiejskie (Kuczmański 1982; Morawska-Horawska 1984; Marciniak, Wójcik 1991). Straty te ocenia się na około 5–15% (Landsberg 1981; Lewińska 2000). Według Brázdila (1991) w warunkach miejskich, przy dużym zanieczyszczeniu powietrza, heliograf zaczyna wypalać ślad dopiero przy wysokości Słońca nad horyzontem większym od 8°. Wielu uczonych (m.in. Liepert 2002; Norris, Wild 2007; Ruckstuhl, Norris 2009; Wild 2012) łączy wieloletnie tendencje zmienności usłonecznienia na świecie ze zmianami stanu zanieczyszczeń na terenach zurbanizowanych. W literaturze zagranicznej często opisywane są zjawiska „globalnego zaciemnie-

nia” (*global dimming*) i „globalnego rozjaśnienia” (*global brightening*) polegające na zmniejszeniu liczby godzin ze słońcem w latach 50. do 80. XX wieku, a następnie ich wzrost w ostatnich dwóch dekadach XX wieku. Zdaniem wymienionych Autorów w połowie lat 50. w wielu uprzemysłowionych miastach europejskich zaobserwowano wzrost zanieczyszczeń spowodowany intensywnym rozwojem przemysłu. Emitowane do atmosfery duże ilości aerozoli i sadzy zwiększały pochłanianie i odbijanie promieniowania słonecznego a zarazem powodowały powstawanie chmur, przyczyniając się do tzw. „globalnego zaciemnienia”. W latach 80. XX wieku, na skutek załamania się gospodarki w krajach byłego bloku komunistycznego, zmniejszyła się produkcja przemysłowa obniżając tym samym emisję zanieczyszczeń. Podjęto też skuteczne działania na rzecz poprawy czystości powietrza, czego efektem był wzrost prze-

* Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków; e-mail: d.matuszko@uj.edu.pl

zroczystości atmosfery i zwiększenie dopływu promieniowania do powierzchni Ziemi („globalne rozjaśnienie”).

W większości cytowanych publikacji tendencje usłonecznienia w Europie analizowane były na podstawie krótkich serii pomiarowych (od połowy XX wieku) lub rekonstruowanych (m.in. Bryś 2013), co utrudnia w pełni obiektywne wyjaśnienie przyczyn tych zmian.

Celem niniejszego opracowania jest charakterystyka zmienności usłonecznienia w wybranych miastach Europy na podstawie wieloletnich serii heliograficznych. Publikacja jest też głosem w dyskusji na temat wątpliwości metodycznych dotyczących jednorodności serii klimatologicznych dostępnych w internetowych bazach danych, wykorzystywanych do analiz zmian klimatu.

Materialy źródłowe i metoda

Pierwszy etap badań polegał na wstępnej weryfikacji stacji z internetowych baz danych zawierających informacje o usłonecznieniu. Uwzględniono stacje z regionu VI WMO – Europa, które poszukiwano w następujących bazach:

1. <http://www.geba.ethz.ch/>,
2. <http://www.ecad.eu/dailydata/customquery.php>,
3. http://www.knmi.nl/research/climate_observations/,
4. <http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/climate-historic/#?tab=climateHistoric>,
5. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/getpage.pl>,
6. http://eklima.met.no/Help/Stations/today/all/no_Stations.html,
7. <http://meteo.ru/english/climate/suns.php>,
8. <https://www.pik-potsdam.de/services/climate-weather-potsdam/climate-diagrams/sunshine-duration>.

Przegląd ciągów heliograficznych w Europie wykazał wiele problemów utrudniających analizę czasową i przestrzenną wieloletnich serii usłonecznienia. Do najważniejszych należą: luki w danych, uzupełnianie serii na podstawie wartości z tych samych stacji, zmiana lokalizacji stacji lub położenia heliografu, krótkie serie pomiarowe, zmiana przyrządu pomiarowego oraz brak informacji metadata (dokumentacja stacji). Ten ostatni czynnik jest niezwykle istotny, bo nie daje pewności czy analizowany ciąg danych heliograficznych jest homogeniczny. Takie czynniki jak zasłonięcie horyzontu, zmiana

miejsca pomiaru bądź zmiana przyrządu mogą dyskwalifikować serię do wiarygodnych badań. Obecnie przyczyną poważnych błędów w analizie wieloletnich zmian usłonecznienia może być zamiana tradycyjnego przyrządu na automat. Najważniejszą różnicą między heliografem Campbella-Stokesa a miernikiem automatycznym jest inna zasada działania, jednak przede wszystkim próg czułości przyrządów (Matuszko 2012, 2015). W literaturze polskiej i zagranicznej istnieje wiele prac dotyczących tego zagadnienia (m.in. Painter 1981; Stanhill 2003; WMO 2008), w których podaje się, że wartość progowa heliografów klasycznych waha się od 70 do 280 $W \cdot m^{-2}$. W Polsce badacze przyjmują różne wartości natężenia promieniowania słonecznego bezpośredniego, jako progowe dla momentu, od którego zaczyna działać heliograf Campbella-Stokesa. Słomka (1957) dla wrocławskich pomiarów usłonecznienia przyjął wartość progową ok. 209 $W \cdot m^{-2}$, natomiast Kuczmarowski (1990) dla analizowanych pomiarów w całej Polsce – 279,2 $W \cdot m^{-2}$. W późniejszych opracowaniach (m.in. Podstawczyńska 2007) dla pomiarów usłonecznienia heliografem Campbella-Stokesa, wykonywanych w sieci IMGW oraz w stacji uniwersyteckiej w Łodzi, jako wartość progową uznano 120 $W \cdot m^{-2}$, która jest zgodna z prezentowanymi od 1981 roku zaleceniami WMO (2008) dotyczącymi czułości progowej wszystkich typów heliografów. Dla pomiarów krakowskich, realizowanych w stacji UJ, przytoczoną powyżej wartość Kuczmarowskiego podaje Matuszko (2012, 2015). Przeciwwstawia ją wartości progowej 120 $W \cdot m^{-2}$, na którą ustawione są czujniki stacji automatycznych mierzących usłonecznienie.

Obecnie nie ma jednego powszechnie stosowanego w Europie przyrządu do pomiaru usłonecznienia. W Szwajcarii, Czechach, Islandii i Estonii wykorzystywane są wyłącznie czujniki automatyczne. W Belgii, Danii, Luxemburgu, Irlandii, Wielkiej Brytanii, Szwecji, Niemczech, Holandii i Polsce usłonecznienie na niektórych stacjach rejestrowane jest tradycyjnym heliografem, a na innych czujnikami automatycznymi. W Grecji, Chorwacji i na Węgrzech nadal stosowane są wyłącznie heliografy Campbella-Stokesa (Matuszko 2015). W internetowych bazach danych rzadko podawana jest informacja jakim przyrządem mierzone jest usłonecznienie. Użytkownicy danych klimatologicznych nie zawsze zdają sobie sprawę z faktu, że zmiana przyrządu może być przyczyną zerwania jednorodności serii i wysnuwania błędnych wniosków na temat wieloletnich zmian wartości danego

elementu klimatu. Według instrukcji *World Meteorological Organization* (WMO 2008) wyniki pomiarów z nowych przyrządów należy weryfikować w dłuższym okresie czasu (co najmniej przez jeden rok), jednak na wielu stacjach, np. w Polsce, Irlandii, Islandii czy Estonii, ten wymóg nie jest stosowany. Przykładem z Polski jest stacja Warszawa-Okęcie, na której od 2005 roku usłonecznienie rejestrowane jest automatycznie, co powoduje zawyżenie wcześniejszych wartości o kilkaset godzin rocznie (Matuszko 2009). Podobnie jest na niektórych stacjach w innych krajach, np. w Holandii (<http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/brochures.html>). Pokorný i Vaniček (2007) już wcześniej zwracali uwagę, że wprowadzenie czujników automatycznych przerwie jednorodność serii pomiarowych usłonecznienia i ostrzegali przed używaniem danych z czujników automatycznych w analizach klimatycznych po 2000 roku.

W Wielkiej Brytanii przed 2000 rokiem zamieniono kilka standardowych stacji meteorologicznych na automatyczne, wobec czego zaprzestano na nich pomiarów usłonecznienia heliografem Campbella-Stokesa. Czujniki automatyczne zainstalowano tam dopiero w 2003 roku (Kerr, Tabony 2004), ale przeprowadzono badania porównawcze i obliczono współczynniki korygujące. Na podkreślenie zasługuje też fakt, że na stronie Brytyjskiego Biura Meteorologicznego (<http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/stationdata/>) przy każdej ze stacji zaznaczono jakim przyrządem mierzone jest usłonecznienie. Ułatwia to wykorzystanie danych do analiz klimatologicznych, ponieważ pozwala na wybór stacji o jednorodnych ciągach pomiarowych i nakazuje ostrożność przy wyciąganiu wniosków z danych heliograficznych otrzymanych z różnych przyrządów pomiarowych. Warto dodać, że na stacjach brytyjskich Armagh (Płn. Irlandia) i Kew (Londyn) pomiary usłonecznienia za pomocą heliografu Campbella-Stokesa rozpoczęto najwcześniej w Europie, bo już w 1880 roku (Pallé, Butler 2002).

Niezwykle cennym opracowaniem w literaturze polskiej jest monografia Bryś (2013), w której Autorka przedstawiła przebiegi pomierzonych i zhomogenizowanych wartości usłonecznienia, m.in. dla stacji Armagh od 1886 do 2012 roku. W publikacji tej znajdują się również inne wykresy wieloletniego przebiegu miesięcznych sum konsekwentnych i sum rocznych usłonecznienia odtworzonych lub uzupełnionych za pomocą odpowiednich metod statystycznych serii heliograficznych dla wielu stacji w Europie. Należy jednak pamiętać, że w badaniach wieloletnich ciągów klimatologicznych najcenniejsze są oryginalne dane pomiarowe, gdyż „wszelkie inne manipulacje przy danych i ich poprawie mogą okazać się błędne i bezpowrotnie zniszczyć wartość merytoryczną danej serii” (Ustrnul 1997).

W niniejszym opracowaniu, po przestudiowaniu literatury i żmudnej weryfikacji serii heliograficznych z różnych baz internetowych do dalszej analizy, z pewnymi zastrzeżeniami wybrano dane z 12 stacji (tab. 1). Przy wyborze kierowano się zasadą, by seria heliograficzna z niej pochodząca była oryginalnym ciągiem pomiarowym, w jak najmniejszy sposób modyfikowanym za pomocą różnych metod uzupełniania i rekonstrukcji danych.

Tabela 1

Wieloletnie ciągi heliograficzne w Europie
Long-term heliographic series in Europe

Stacja	Lata	Uwagi
Kraków	1884–2014	Przyrząd, lokalizacja bez zmian
Wiedeń	1908–2010	Brak informacji metadata
Poczdami	1893–2014	Przyrząd, lokalizacja bez zmian
Bazylea	1902–2014	Zmiana przyrządu na automatyczny
Lugano	1901–2014	Zmiana przyrządu na automatyczny
Genewa	1901–2014	Zmiana przyrządu na automatyczny
Groningen	1907–2014	Zmiana lokalizacji stacji, zmiana przyrządu na automatyczny
Bradford	1908–2014	Znana metadata
Durham	1890–1999	Znana metadata
Oxford	1929–2014	Znana metadata
Sheffield	1929–2014	Znana metadata
Southampton	1895–1991	Znana metadata

Spośród analizowanych stacji (tab. 1) najdłuższą, oryginalną serię usłonecznienia w Europie posiada Kraków, nieco krótszą ma Poczdam. Szczegółowe informacje na temat metadata krakowskiej serii heliograficznej znajdują się w opracowaniu Matuszko i Jędrzychowskiego (2007). Niewielkie problemy z restrykcyjnie pojętą homogenicznością danych posiada Poczdam, w którym m.in. na skutek działań wojennych wystąpiła na przełomie kwietnia i maja 1945 roku 25-dniowa przerwa w rejestracji usłonecznienia (<https://www.pik-potsdam.de/services/climate-weather-potsdam/climate-diagrams/sunshine-duration>). Stacje szwajcarskie prowadzą do dziś ponad stuletnie pomiary heliograficzne, lecz na przełomie XX i XXI wieku zmieniono przyrząd do rejestracji usłonecznienia. W Wielkiej Brytanii aktualnie wieloletnie pomiary heliograficzne kontynuowane są na 4 stacjach i do wyników otrzymywanych metodą automatyczną można wprowadzić współczynniki korygujące. Ciąg heliograficzny z Groningen nie jest jednorodny, gdyż wcześniejsze dane pochodzą ze stacji uniwersyteckiej, natomiast współczesne – ze stacji lotniskowej poza miastem, ponadto zmieniono przyrząd pomiarowy bez badań porównawczych. W innych krajach europejskich, np. w Hiszpanii i Francji, istnieją długie ciągi usłonecznienia, lecz często pomiary nie są kontynuowane i serie heliograficzne posiadają

duże luki, szczególnie w latach z okresu II wojny światowej (Sanchez-Lorenzo i in. 2015).

W niniejszej analizie uwzględniono sumy dobowe i miesięczne usłonecznienia z wybranych miast Europy (tab. 1). Przebieg wieloletni przedstawiono na podstawie możliwie najdłuższych ciągów dla poszczególnych stacji. Porównano wartości miesięczne i roczne usłonecznienia rzeczywistego i względnego ze wspólnego okresu obejmującego lata 1929–1991, zaś do szczegółowej charakterystyki wykorzystano, jako najdłuższe spośród analizowanych, ciągi heliograficzne z Krakowa i Poczdamu (wspólny okres: lata 1893–2014).

Wyniki

Analiza korelacji ciągów sum miesięcznych usłonecznienia wykazała, że wszystkie zależności są istotne statystycznie na poziomie $< 0,05$ (tab. 2). Najsilniejsze związki występują pomiędzy stacjami brytyjskimi, szczególnie Oxfordem a Southamptonem (0,85). Także ciągi heliograficzne na stacjach szwajcarskich wykazują silną korelację (tab. 2). Seria krakowska ma największy współczynnik korelacji z wartościami usłonecznienia w Wiedniu (0,73) i Poczdamie (0,61), najmniejszy ze stacjami angielskimi (tab. 2).

Tabela 2

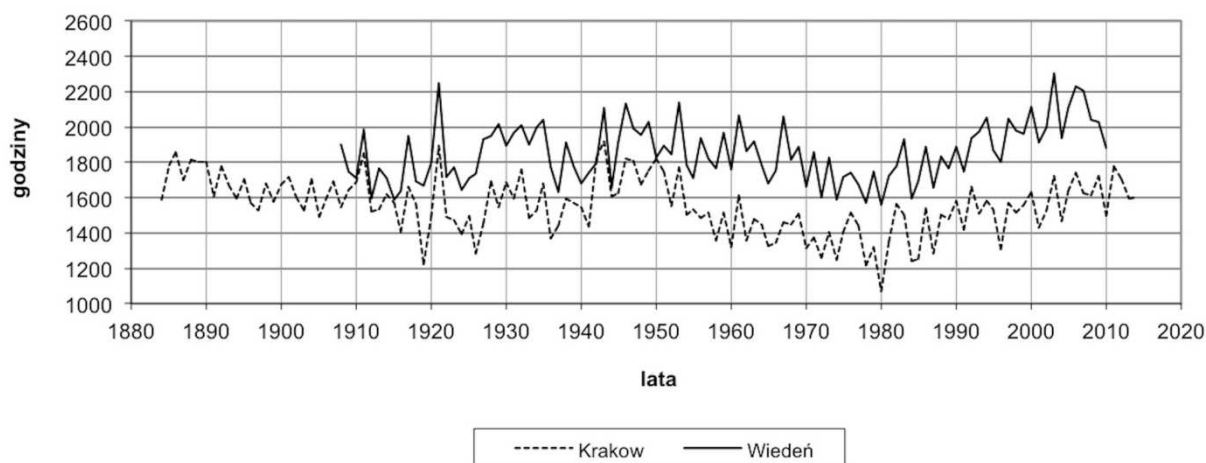
Współczynniki korelacji między ciągami sum miesięcznych usłonecznienia na wybranych stacjach w Europie w latach 1929–1991

Correlation coefficients of sunshine duration monthly sums series in selected stations in Europe in the years 1929–1991

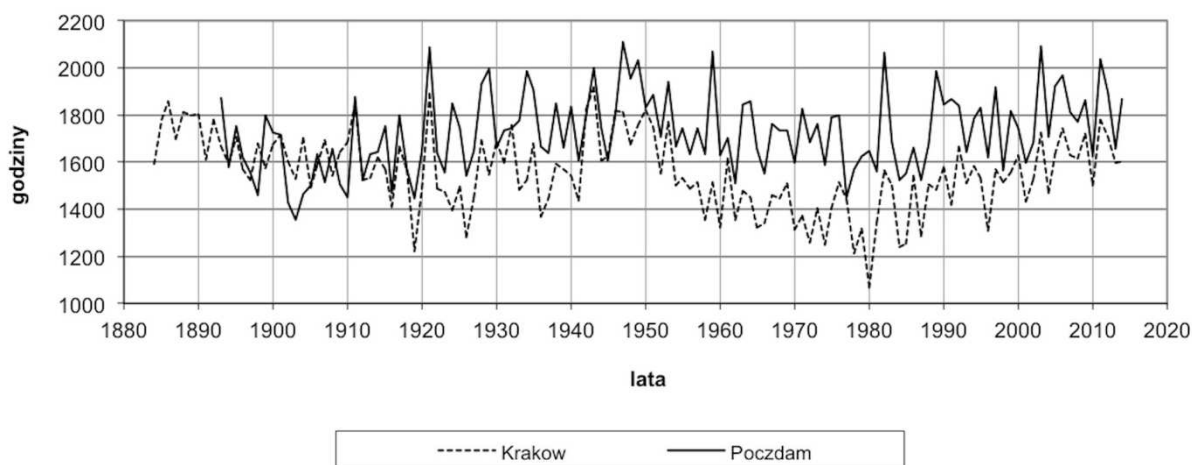
Stacja	Kraków	Wiedeń	Poczdam	Bazylea	Lugano	Genewa	Groningen	Bradford	Durham	Oxford	Sheffield	Southampton
Kraków	x	0,733	0,611	0,437	0,435	0,565	0,544	0,289	0,262	0,130	0,061	0,086
Wiedeń	0,733	x	0,568	0,563	0,461	0,577	0,387	0,298	0,240	0,229	0,069	0,058
Poczdam	0,611	0,568	x	0,613	0,351	0,520	0,761	0,452	0,424	0,457	0,361	0,421
Bazylea	0,437	0,563	0,613	x	0,699	0,696	0,548	0,488	0,443	0,548	0,463	0,433
Lugano	0,435	0,461	0,351	0,699	x	0,736	0,395	0,271	0,347	0,334	0,246	0,158
Genewa	0,565	0,577	0,520	0,696	0,736	x	0,437	0,331	0,242	0,349	0,064	0,209
Groningen	0,544	0,387	0,761	0,548	0,395	0,437	x	0,489	0,370	0,457	0,379	0,466
Bradford	0,289	0,298	0,452	0,488	0,271	0,331	0,489	x	0,727	0,724	0,722	0,671
Durham	0,262	0,240	0,424	0,443	0,347	0,242	0,370	0,727	x	0,650	0,722	0,549
Oxford	0,130	0,229	0,457	0,548	0,334	0,349	0,457	0,724	0,650	x	0,733	0,854
Sheffield	0,061	0,069	0,361	0,463	0,246	0,064	0,379	0,722	0,722	0,733	x	0,703
Southampton	0,086	0,058	0,421	0,433	0,158	0,209	0,466	0,671	0,549	0,854	0,703	x

Analizę wieloletniej zmienności usłonecznienia w wybranych miastach Europy przeprowadzono na podstawie wykresów porównujących przebieg usłonecznienia w Krakowie z przebiegiem sum rocznych na poszczególnych stacjach (rys. 1–11). Na rysunkach widać duże podobieństwo tendencji usłonecznienia we wszystkich miastach. Dotyczy to szczególnie spadku usłonecznienia od lat 50. do 80. XX wieku, a następnie wzrostu do końca badanego

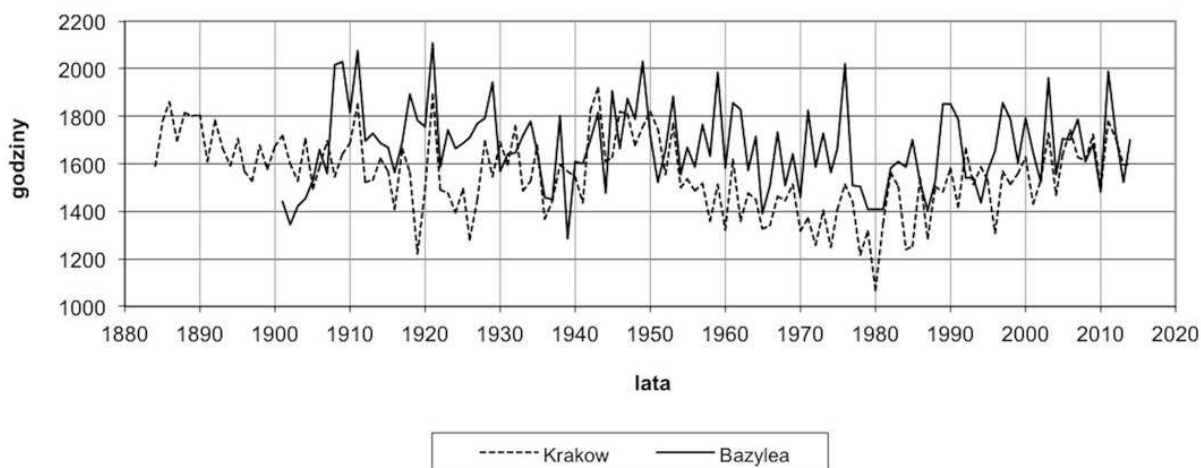
okresu (rys. 1–11). Na większości stacji zaznaczają się bardzo wyraźne maksima sum usłonecznienia w latach 1921, 1943, 2006 i minimum w 1980 roku. Można również zauważyć, że stosunkowo wysokie wartości usłonecznienia przypadające na XXI wiek osiągnęły poziom tych z początku XX wieku (rys. 1–11). Jest to przede wszystkim skutek zwiększenia usłonecznienia w okresie letnim i znacznie słabszego w półroczu zimowym.



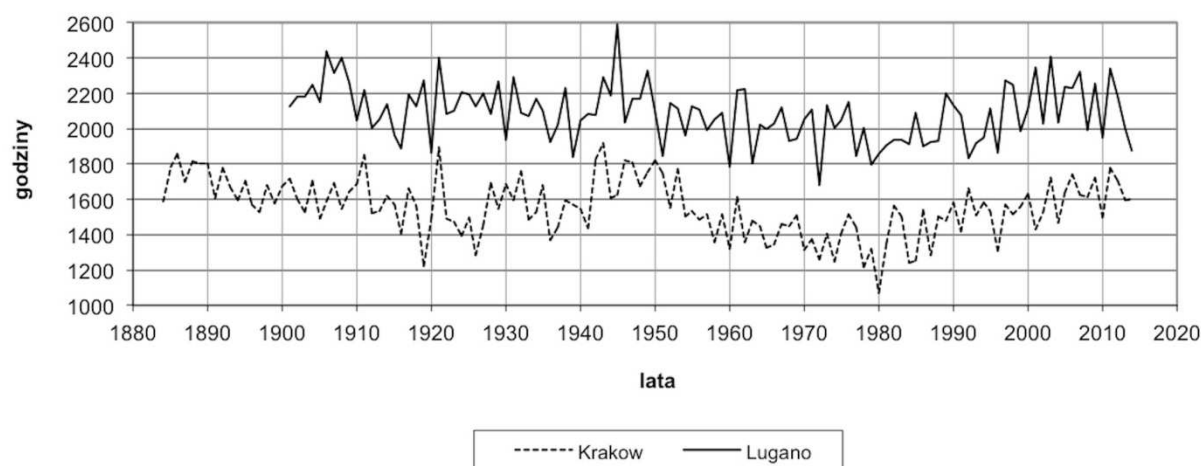
Rys. 1. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) w Wiedniu na tle serii krakowskiej
Long-term course of sunshine duration sums (hours) in Wien against the series of Krakow



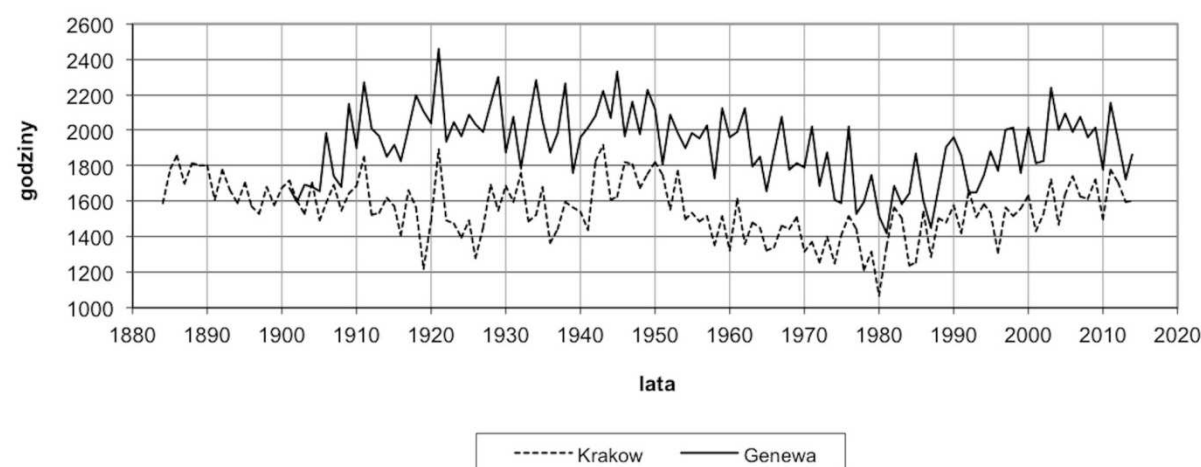
Rys. 2. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) w Poczdamie na tle serii krakowskiej
Long-term course of sunshine duration sums (hours) in Potsdam against the series of Krakow



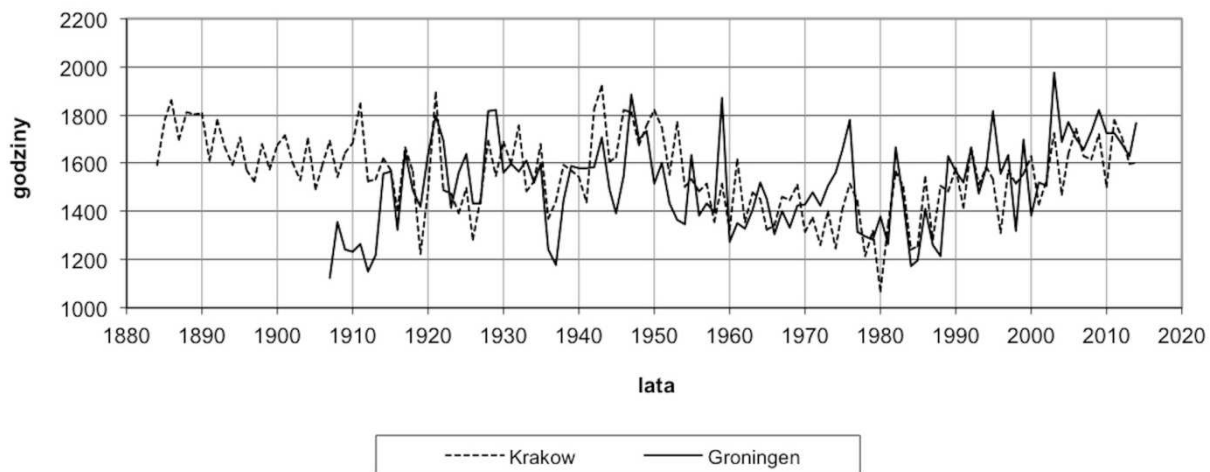
Rys. 3. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) w Bazylei na tle serii krakowskiej
Long-term course of sunshine duration sums (hours) in Basel against the series of Krakow



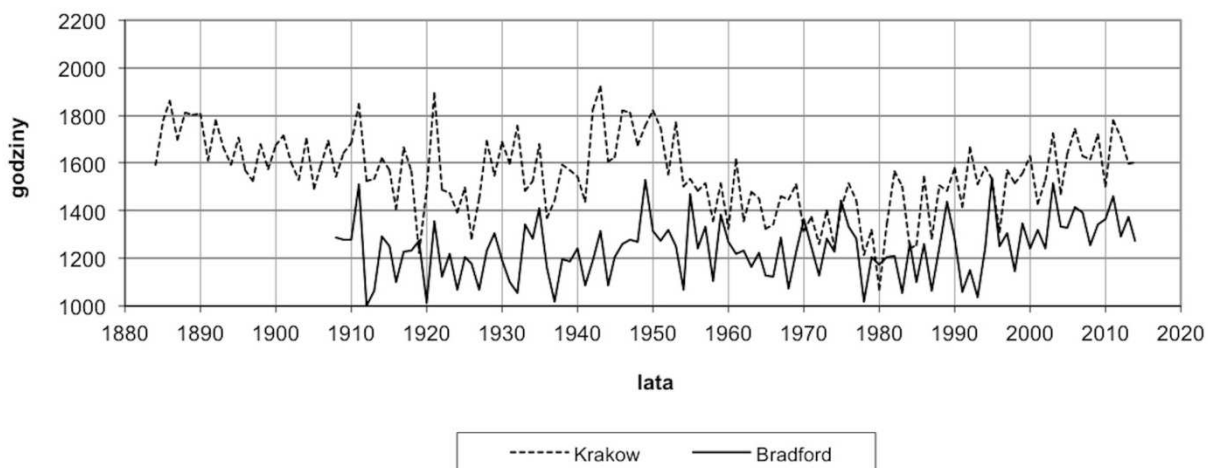
Rys. 4. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) w Lugano na tle serii krakowskiej
Long-term course of sunshine duration sums (hours) in Lugano against the series of Krakow



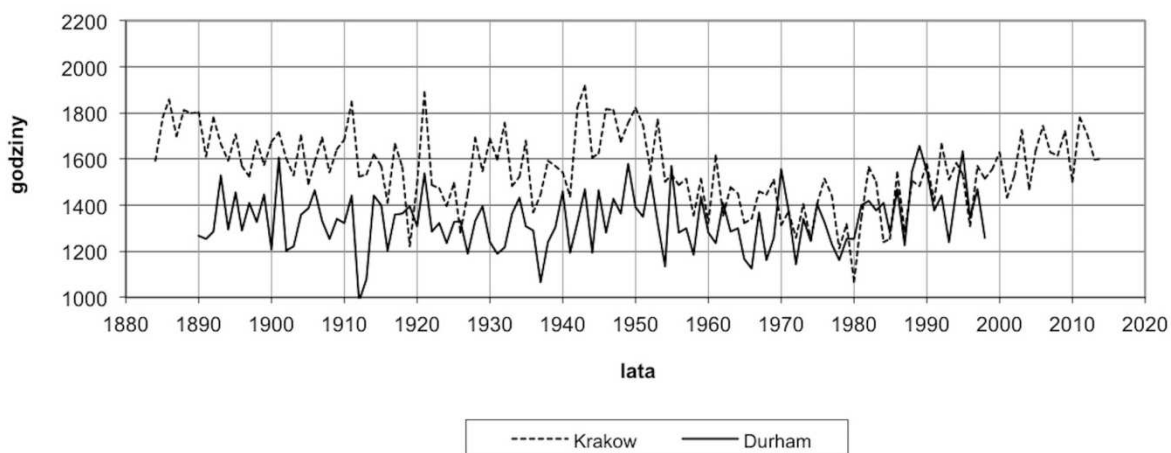
Rys. 5. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) w Genewie na tle serii krakowskiej
Long-term course of sunshine duration sums (hours) in Geneva against the series of Krakow



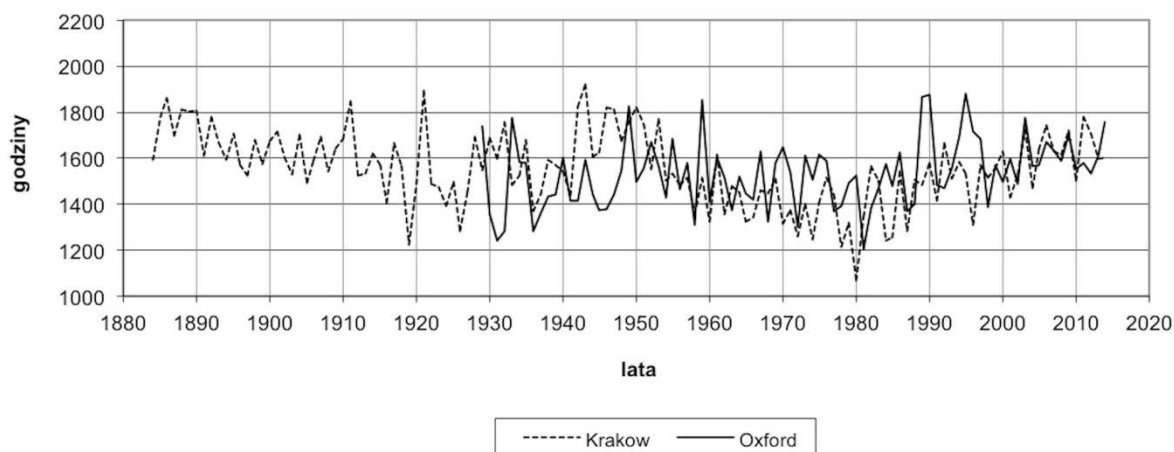
Rys. 6. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) w Groningen na tle serii krakowskiej
Long-term course of sunshine duration sums (hours) in Groningen against the series of Krakow



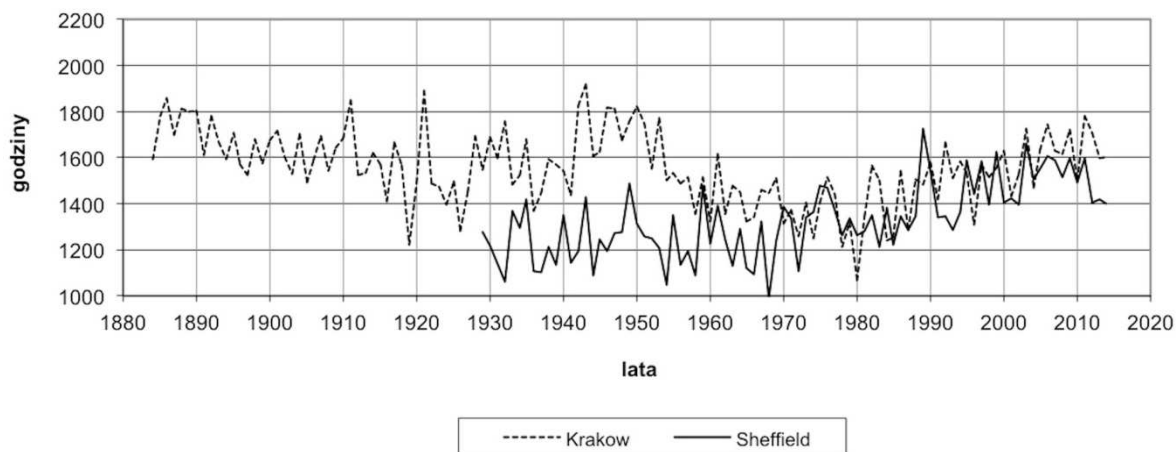
Rys. 7. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) w Bradford na tle serii krakowskiej
Long-term course of sunshine duration sums (hours) in Bradford against the series of Krakow



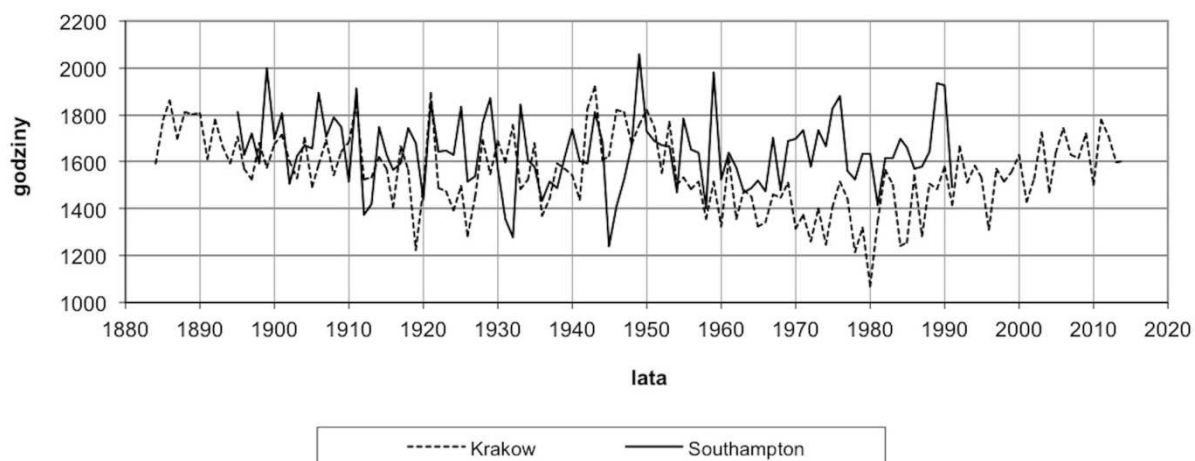
Rys. 8. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) w Durham na tle serii krakowskiej
Long-term course of sunshine duration sums (hours) in Durham against the series of Krakow



Rys. 9. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) w Oxford na tle serii krakowskiej
Long-term course of sunshine duration sums (hours) in Oxford against the series of Krakow



Rys. 10. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) w Sheffield na tle serii krakowskiej
Long-term course of sunshine duration sums (hours) in Sheffield against the series of Krakow



Rys. 11. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) w Southampton na tle serii krakowskiej
Long-term course of sunshine duration sums (hours) in Southampton against the series of Krakow

Występowanie podobnych tendencji w wieloletnim przebiegu usłonecznienia na wielu stacjach w Europie prawdopodobnie ma przyczyny cyrkulacyjne, wzmocnione czynnikami antropogenicznymi, które przejawiają się w zmianach wielkości i rodzaju zachmurzenia (Matuszko 2014).

Największa roczna suma usłonecznienia występuje w Lugano, które położone jest najbardziej na południe spośród analizowanych miast (tab. 3),

w strefie klimatu śródziemnomorskiego. Nawet w chłodnej części roku sumy miesięczne usłonecznienia są tu większe niż 100 godzin, a w lipcu przekraczają nawet 260 godzin. Jednak bardziej słoneczne lato, o ponad 50 godzin, panuje w Genewie. Najmniejsze usłonecznienie, poniżej 1300 godzin rocznie, charakteryzuje stacje Bradford i Sheffield, położone w zachmurzonej i mglistej północnej Anglii.

Tabela 3

Sumy miesięczne i roczne usłonecznienia rzeczywistego – a (godziny) i względnego – b (%) na wybranych stacjach w Europie w latach 1929–1991

Monthly and annual sums of sunshine duration – a (hours) and relative sunshine duration – b (%) in selected stations in Europe in the years 1929–1991

Stacja		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Kraków 50°03'N 19°56'E	a	43,7	58,6	102,5	145,2	194,3	206,9	216,3	196,3	148,2	106,7	49,0	34,9	1502,5
	b	16	21	28	35	41	42	44	44	39	32	18	14	34
Wiedeń 48°13'N 16°22'E	a	56,8	81,8	132,4	176,2	210,2	237,8	255,6	238,6	184,8	133,0	59,2	48,3	1814,7
	b	21	29	36	43	45	50	53	54	49	40	21	18	41
Poczdám 52°24'N 13°04'E	a	53,0	71,7	135,2	174,8	230,7	239,7	235,4	220,7	174,8	117,0	53,8	43,2	1749,8
	b	21	26	37	42	47	48	47	49	46	35	20	18	39
Bazylea 47°33'N 7°35'E	a	62,4	81,9	128,5	154,1	182,8	203,5	229,9	208,0	163,9	113,9	67,4	56,1	1652,3
	b	23	29	35	38	39	43	48	47	43	34	24	21	37
Lugano 46°00'N 8°57'E	a	115,7	131,4	165,5	176,7	184,8	224,7	260,6	236,1	187,9	148,3	108,8	109,1	2049,7
	b	41	45	45	43	40	48	55	54	50	44	38	40	46
Genewa 46°12'N 6°09'E	a	52,8	88,5	151,0	185,9	217,7	246,3	281,9	250,9	193,6	123,1	62,2	44,2	1898,1
	b	19	31	41	46	47	52	59	57	51	36	22	16	43
Groningen 53°13'N 6°34'E	a	44,5	67,4	109,1	156,9	205,2	202,9	188,4	185	136,7	95,5	50,3	36,5	1478,5
	b	18	24	30	37	42	40	37	41	36	29	19	15	33
Bradford 53°47'N 1°45'W	a	33,8	52,2	88,3	128,6	167,4	175,8	162,7	151,0	114,1	80,7	45,9	26,6	1227,1
	b	13	19	24	31	34	34	32	33	30	25	18	11	27
Durham 54°46'N 1°34'W	a	53,2	65,8	103,9	134,9	168,1	171,7	157,1	152,0	124,0	93,7	62,3	45,0	1331,7
	b	22	24	28	32	34	33	30	33	32	29	25	20	30
Oxford 51°45'N 1°15'W	a	55,0	70,0	116,5	151,6	189,1	197,7	189,7	180,1	137,3	101,3	65,8	51,5	1505,5
	b	21	25	32	36	39	40	38	40	36	31	25	21	34
Sheffield 53°23'N 1°28'W	a	39,7	51,6	94,2	125,4	166,5	180,2	170,8	157,2	121,8	84,4	47,4	33,8	1273,1
	b	15	19	26	30	34	36	34	35	32	26	18	14	28
Southampton 50°54'N 1°24'W	a	56,1	72,3	121,1	166,5	202,4	208,9	209,0	196,4	148,9	109,8	69,9	51,0	1612,3
	b	21	26	33	40	42	42	42	44	39	33	26	20	36

W większości miast maksimum usłonecznienia przypada na lipiec (Kraków, Wiedeń, Lugano, Bazylea, Genewa, Southampton) lub czerwiec (Poczdąm, Bradford, Durham, Oxford, Sheffield), jedynie w Groningen na maj (tab. 3). Na wszystkich stacjach najmniejsze usłonecznienie jest w grudniu, z wyjątkiem Lugano, w którym nieco mniejsze usłonecznienie występuje w listopadzie. Jesień ma więcej godzin ze słońcem niż wiosna w Wiedniu i na stacjach szwajcarskich. Sumy miesięczne usłonecznienia są większe niż w Krakowie na stacjach położonych w południowo-zachodniej Europie, a mniejsze – na stacjach brytyjskich. Jedynie w zimie w Southampton, Durham i Oxford usłonecznienie jest większe niż w Krakowie. Poczdąm, ze względu na bardzo słoneczne miesiące letnie, ma o ponad 200 godzin większe usłonecznienie niż Kraków (tab. 3).

Dopełnieniem charakterystyki warunków heliograficznych wybranych miast Europy jest miesięczne i roczne usłonecznienie względne (tab. 3), które według Stenza (1952) „lepiej odzwierciedla charakter słoneczny miejscowości, zwłaszcza, gdy chodzi o porównywanie różnych pór roku” oraz „eliminuje zarówno zmienną długość dnia, jak i zmienną czułość heliografu”.

Największe roczne usłonecznienie względne (powyżej 40%) występuje w Lugano, Genewie i Wiedniu, natomiast najmniejsze (poniżej 30%) w Bradford i Sheffield (tab. 3). Najwyższe miesięczne wartości przypadają najczęściej na lipiec i sierpień (Kraków, Lugano, Genewa, Bazylea, Wiedeń) lub maj i czerwiec (stacje brytyjskie), a najniższe występują w zimie (tab. 3).

Unikatowym miejscem do badań klimatu, jako tła procesów zachodzących na terenach zurbanizowanych, jest obszar Arktyki. Analiza przebiegu sum rocznych usłonecznienia w Krakowie, Hornsundzie i Barentsburgu (Matuszko i in. 2015) wykazuje pewną zgodność tendencji do lat 80. XX wieku. Potem usłonecznienie w Krakowie wzrasta, natomiast w Barentsburgu i Hornsundzie maleje. Zdaniem Matuszko i in. (2015) w rejonach polarnych nie zaznacza się tak jak w miastach europejskich okres wzrostu usłonecznienia (*global brightening*) w ostatnich trzech dekadach analizowanego wielolecia. Porównanie wartości usłonecznienia względnego na stacjach w strefie polarnej wskazuje głównie na przyczyny cyrkulacyjne wieloletniej zmienności usłonecznienia.

Wnioski

Analiza zmienności usłonecznienia w miastach europejskich jest trudna z powodu niewielkiej liczby długich, oryginalnych i jednorodnych serii pomiarowych. Dotychczasowe opracowania dotyczące wieloletniej zmienności usłonecznienia w Europie oparte były na odtworzonych lub uzupełnianych seriach heliograficznych, którym homogeniczność przywrócono dzięki metodom statystycznym. Spośród analizowanych w pracy stacji tylko Kraków i Poczdąm posiadają ponad stuletnie unikatowe serie usłonecznienia, pozbawione luk i zmiany przyrządu pomiarowego. Zaleca się dużą ostrożność przy korzystaniu z internetowych baz danych, zwłaszcza, gdy brakuje metadanych stacji, a analizy dotyczą wieloletnich zmian klimatu i obejmują okres po 2000 roku, gdy wprowadzono przyrządy automatyczne.

Przebieg wieloletni i roczny usłonecznienia w wybranych miastach Europy wykazuje duże podobieństwo. Można zauważyć wspólne okresy wzrostu i spadku usłonecznienia oraz wartości ekstremalne przypadające na te same lata (max – 1943, 1921 rok, min – 1980 rok). Warto zwrócić uwagę, że podobne tendencje w przebiegu wieloletnim sum rocznych występowały nie tylko w okresach „globalnego zaciemnienia” i „globalnego rozjaśnienia”, ale także na przełomie XIX i XX wieku oraz w pierwszej połowie XX wieku. Trudno jednoznacznie określić przyczyny wieloletniej zmienności usłonecznienia w miastach Europy. Podobne tendencje na tak dużym obszarze świadczą o globalnych uwarunkowaniach dopływu promieniowania słonecznego, jedynie modyfikowanych czynnikami lokalnymi. Uwarunkowania makroskalowe mogą mieć genezę zarówno cyrkulacyjną, jak i antropogeniczną.

We wszystkich miastach zmienność roczna usłonecznienia zależy głównie od położenia stacji – szerokości geograficznej i uwarunkowań cyrkulacyjnych, wpływających na wielkość i rodzaj zachmurzenia. Duże zanieczyszczenie w miastach z pewnością wpływa na ograniczenie przezroczystości powietrza i zmniejszenie usłonecznienia. Jednak oddziaływanie tego czynnika, przy dominującej roli zachmurzenia, jest bardzo trudne do uchwycenia i wymaga dalszych badań.

Literatura

- Brázdil Rudolf. 1991. Kolísání vybraných meteorologických prvků ve střední Evropě v období přístrojových pozorování. Tom 2 – Národní klimatický program České a Slovenské Federativní Republiky. Praha: Český hydrometeorologický ústav.
- Bryś Krystyna. 2013. Dynamika bilansu radiacyjnego murawy oraz powierzchni nieporośniętej. Monografie CLXII. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.
- Kerr Andrew, Richard Tabony. 2004. „Comparison of sunshine recorded by Campbell–Stokes and automatic sensors”. *Weather* 59 (4): 90-95.
- Kuczmański Mieczysław. 1982. „Usłonecznienie i zachmurzenie w Krakowie”. *Przegląd Geofizyczny* XXVII (3-4): 241-249.
- Kuczmański Mieczysław. 1990. „Usłonecznienie Polski i jego przydatność dla helioterapii”. *Dokumentacja Geograficzna* 4: 1-67.
- Landsberg Helmut E. 1981. The urban climate. International Geophysics Series 28. New York: Academic Press.
- Lewińska Janina. 2000. Klimat miasta: zasoby, zagrożenia, kształtowanie. Kraków: Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Oddział w Krakowie.
- Liepert Beate G. 2002. „Observed reductions of surface solar radiation at sites in the United States and worldwide from 1961 to 1990”. *Geophysical Research Letters* 29 (10): 1421, doi: 10.1029/2002GL014910.
- Marciniak Kazimierz, Gabriel Wójcik. 1991. „The variation of sunshine duration in the middle part of northern Poland during the period 1946-1989”. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 396: 109-115.
- Matuszko Dorota. 2009. Wpływ zachmurzenia na usłonecznienie i całkowite promieniowanie słoneczne (na przykładzie krakowskiej serii pomiarów). Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Matuszko Dorota. 2012. „Porównanie wartości usłonecznienia mierzonego heliografem Campbella-Stokesa i czujnikiem elektronicznym CSD3”. *Przegląd Geofizyczny* LVII (1): 3-10.
- Matuszko Dorota. 2014. „Long-term variability in solar radiation in Krakow based on measurements of sunshine duration”. *International Journal of Climatology* 34 (1): 228-234.
- Matuszko Dorota. 2015. „A comparison of sunshine duration records from the Campbell-Stokes sunshine recorder and CSD3 sunshine duration sensor”. *Theoretical and Applied Climatology* 119 (3): 401-406.
- Matuszko Dorota, Ireneusz Jędrzychowski. 2007 (2006). „Pomiary usłonecznienia w Krakowie”. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio B - Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia* LXI (33): 284-289.
- Matuszko Dorota, Daniel Celiński-Mysław, Jakub Soroka. 2015. „Usłonecznienie w Arktyce europejskiej i Grenlandii na podstawie danych z wybranych stacji strefy polarnej”. *Problemy Klimatologii Polarnej* 25: 127-138.
- Morawska-Horawska Maria. 1984. „Współczesne zmiany w zachmurzeniu i usłonecznieniu Krakowa na tle 120-lecia”. *Przegląd Geofizyczny* XXIX (3): 271-284.
- Norris Joel R., Martin Wild. 2007. „Trends in aerosol radiative effects over Europe inferred from observed cloud cover, solar “dimming” and solar “brightening”. *Journal of Geophysical Research* 112 (D8): D08214, doi: 10.1029/2006JD007794.
- Painter Henry E. 1981. „The performance of a Campbell-Stokes sunshine recorder compared with a simultaneous record of normal incidence irradiance”. *The Meteorological Magazine* 110: 102-109.
- Pallé Enric, Christopher J. Butler. 2002. „Comparison of sunshine records and synoptic cloud observations: a case study for Ireland”. *Physics and Chemistry of the Earth* 27: 405-414.
- Podstawczyńska Agnieszka. 2007. „Cechy solarne klimatu Łodzi”. *Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Physica* 7: 1-294.
- Pokorný Jiří, Karel Vaníček. 2007. „Automatizace měření slunečního svitu na stanicích Českého hydrometeorologického ústavu pomocí elektronických slunoměrů”. *Meteorologické zprávy* 60 (4): 106-116.
- Ruckstuhl Christian, Joel R. Norris. 2009. „How do aerosol histories affect solar “dimming” and “brightening” over Europe? IPCC-AR4 models versus observations”. *Journal of Geophysical Research* 114: D00D04, doi: 1029/2008JD011066.
- Sanchez-Lorenzo Arturo, Martin Wild, Michele Brunetti, Jose A. Guijarro, Maria Z. Hakuba, Josep Calbó, Stefanos Mystakidis, Blanka Bartok. 2015. „Reassessment and update of long-term trends in downward surface shortwave radiation over Europe (1939-2012)”. *Journal of Geophysical Research* 120 (18): 9555-9569.
- Słomka Jan. 1957. Usłonecznienie we Wrocławiu. Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego, seria B, nr 79. Wrocław: PWN.
- Stanhill Gerald. 2003. „Through a glass brightly: some new light on the Campbell–Stokes sunshine recorder”. *Weather* 58 (1): s. 3-11.
- Stenz Edward. 1952. „Zachmurzenie Polski”. *Przegląd Meteorologiczny i Hydrologiczny* V (1-2): 69-81.
- Ustrnul Zbigniew. 1997. Uzupełnianie i weryfikacja danych krakowskiej serii pomiarowej temperatury i ciśnienia powietrza z lat 1792-1825. W: Janina Trepińska (red.) *Wahania klimatu w Krakowie (1792–1995)*, 79-88. Kraków: In-

- stytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Wild Martin. 2012. „Enlightening Global Dimming and Brightening”. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93 (1): 27-37.
- WMO (World Meteorological Organization). 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation: (CIMO guide), WMO-No. 8 Secretariat of the WMO, Geneva.
- http://eklima.met.no/Help/Stations/toDay/all/no_Stations.html,
- <http://meteo.ru/english/climate/suns.php>
- <http://www.ecad.eu/dailydata/customquery.php>
- <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/getpage.pl>
- <http://www.geba.ethz.ch/>
- <http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/brochures.html>
- http://www.knmi.nl/research/climate_observations/
- <http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/stationdata/>
- <http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/climate-historic/#?tab=climateHistoric>
- <https://www.pik-potsdam.de/services/climate-weather-potsdam/climate-diagrams/sunshine-duration>

Summary

The aim of the study is to characterize the variability of sunshine duration in selected European cities based on the long-term series of heliographic data. The paper is also a voice in the discussion on the methodological concerns regarding homogeneity of climatological series available in online databases, which are used for the analysis of climate change. A review of the long-term heliographic series in Europe was performed and, after a laborious verification of the data from different online databases for further analysis, 12 stations were selected with certain reservations: Krakow, Vienna, Potsdam, Groningen, Basel, Lugano, Geneva, Bradford, Durham, Oxford, Sheffield, Southampton.

Long-term course was presented based on the longest possible series for each station. For comparisons of monthly and annual values of sunshine duration and relative sunshine duration, the data from the common period covering the

years 1929–1991 was used. For the detailed characteristic the longest heliographic series in Europe were used: Krakow and Potsdam series (common period: 1893–2014).

An analysis of the correlation of monthly sums of sunshine duration showed that all relationships are statistically significant at the level of < 0.05 . The strongest relationships exist between the British stations, especially between Oxford and Southampton (0.85). The heliographic series of Swiss stations show a strong correlation as well (Geneva and Lugano – 0.74). The series of Krakow has the highest correlation coefficients with the sunshine duration values from Vienna (0.73) and Potsdam (0.61) and the lowest with the British stations. The long-term and annual course of sunshine duration is very similar in the selected European cities. Common periods of increase and decrease of sunshine duration can be noted, as well as extreme values occurring in the same years (max – 1921, 1943; min – 1980). It is worth noting that similar trends in long-term course of annual sums occurred not only in periods of “global dimming” and “global brightening” but also at the turn of the twentieth century and in the first half of the twentieth century. It is difficult to determine the cause of long-term sunshine duration variability in European cities. Similar trends over such a large area evidence the global determinants of solar radiation, modified only by local factors. Macro scale conditions might have both circulation and anthropogenic origin (e.g. the industrialization in the 50s to 80s of the twentieth century).

In all the cities the annual variability of sunshine duration depends mainly on the position of the station – latitude and circulation conditions, affecting the size and type of cloud cover. Major pollution in cities certainly affects the reduction of air transparency and reduction of sunshine duration. However, the impact of this factor, with the dominant role of cloudiness, is very difficult to grasp and requires further study.