



Wpływ warunków meteorologicznych na zachorowalność na gripę w wybranych polskich miastach

Impact of meteorological conditions on influenza morbidity in the selected Polish cities

Katarzyna Lindner-Cendrowska 

Institut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. S. Leszczyckiego PAN

ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

klindner@twarda.pan.pl

Zarys treści. Celem opracowania jest ocean wpływu czynników meteorologicznych (temperatury powietrza, względnej i bezwzględnej wilgotności powietrza, prędkości wiatru, zachmurzenia i opadów) na zachorowalność na gripę w wybranych czterech dużych miastach w Polsce – Krakowie, Poznaniu, Warszawie i Wrocławiu. Dane meteorologiczne z czterech stacji IMGW, obejmujące sześć lat (2013-2018) zostały zestawione z cotygodniowymi raportami wojewódzkich stacji sanitarno-epidemiologicznych o zachorowalności na gripę i choroby grypopodobne (ILI) z tego samego okresu. W celu uchwycenia nieliniowej zależności między ekspozycją na dane warunki atmosferyczne, a zapadalnością na gripę, przeprowadzono analizę materiału za pomocą korelacji Spearmana oraz uogólnionych modeli liniowych o rozkładzie ujemnym dwumianowym, wiązanych logarytmicznie. Wykazano silny ujemny związek między wilgotnością bezwzględną powietrza, a infekcjami grypowymi (RR = 0,738) oraz dodatnią relacją między ILI a temperaturą minimalną (RR = 1,148). Wpływ prędkości wiatru, zachmurzenia i opadów na zachorowalność jest mniej oczywisty. Zaproponowany model może być z powodzeniem stosowany w odniesieniu do każdej grupy wiekowej mieszkańców polskich miast, lecz największą zgodność wykazuje w przypadku osób, mających co najmniej 65 lat (AIC = 6943,9). Model ten daje też dobre przybliżenie zachorowalności na gripę w poszczególnych porach roku, choć jedynie wilgotność bezwzględna powietrza, temperatura minimalna i prędkość wiatru są statystycznie istotne w ciągu całego roku. Co więcej, zaobserwowano, że najwyższą mocą predykcyjną (AIC = 8644,97) charakteryzował się model dla 1-tygodniowego przesunięcia czasowego między warunkami pogodowymi, sprzyjającymi rozprzestrzenianiu się wirusa, a wzrostem zachorowalności na ILI. Choć zmienne meteorologiczne są istotnymi statystycznie predyktorami zapadalności na infekcje grypowe, istnieją również pozaśrodowiskowe czynniki, które mogą znacznie wpływać na sezonowość i złożoność epidemii grypy w polskich miastach.

Słowa kluczowe: grypa, zachorowalność, warunki meteorologiczne, polskie miasta, regresja ujemna dwumianowa.

Keywords: influenza, morbidity, meteorological conditions, Polish cities, negative binomial regression.

Wstęp

Grypa jest wysoce zakaźną chorobą wirusową, która występuje na całym świecie, wywołując okresowo epidemie. Szacuje się, że z powodu zakażenia grypą i wirusami grypopodobnymi rocznie na świecie choruje od 330 mln do 1,575 mld ludzi, z czego 0,5-1 mln przypadków infekcji kończy się zgonem (Brydak, 2012). W Polsce w okresie 1961-2018 największą zapadalność na gripę i choroby grypopodobne odnotowano w roku 1971

(18711,0 na 100 tys.) (wg Roczników Statystycznych Polski, GUS), przy czym od kilku lat obserwuje się systematyczny wzrost zachorowań, od 1443,0 przypadków na 100 tys. mieszkańców w 2010 r. do 13639,3 na 100 tys. mieszkańców w 2018 r. (Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – PZH, 2019). Najbardziej narażone na komplikacje zdrowotne w wyniku infekcji grypowych są małe dzieci (w wieku 0-4 lat) oraz osoby starsze (Ruf i Knuf, 2014; Li et al., 2018). Znane są trzy typy wirusa grypy atakujące człowieka – A, B i C, z czego tylko dwa pierwsze mogą wywoływać epidemie wśród ludzi (WHO, 2020). Dzięki szczepieniom ochronnym oraz na skutek uprzednich zakażeń przez krążące szczepy wirusa grypy, populacja zyskuje odporność zbiorową. Jednakże, na skutek dużej zmienności antygenowej wirusa, może dochodzić do powstawania nowych szczepów, przeciwko którym dana populacja nie wytworzyła jeszcze przeciwciał i na które jest podatna, co w konsekwencji może doprowadzić do pandemii (Nelson i Holmes, 2007; Bouvier i Palese, 2008; Brydak, 2014). Do zakażenia dochodzi drogą kropelkową na skutek bezpośredniego kontaktu z dużymi kroplami wydzielin osoby chorej (uwalnianymi w trakcie kaszlu lub kichania) oraz pośrednio, na skutek wdychania zawieszonych w powietrzu drobniotkych kropelek aerozolu zawierających wiriony. Wirus grypy może być również przenoszony poprzez kontakt z wydzielinami znajdującymi się na zakażonych powierzchniach (Shaman i Kohn, 2009; Tamerius et al., 2011). Okres inkubacji wirusa grypy w organizmie nosiciela jest stosunkowo krótki i waha się od 1 do 4 dni, maksymalnie do 6 dni w przypadku grypy typu B (Lessler et al., 2009).

W strefie klimatu umiarkowanego cechą charakterystyczną wirusa grypy jest wyraźna sezonowość jego występowania. Epidemie pojawiają się zwykle od późnej jesieni do wiosny, z maksimum przypadającym na miesiące zimowe (Cox i Subbarao, 2000; Heikkinen i Järvinen, 2003; Finkelman et al., 2007; Moorthy et al., 2012). Przez resztę roku aktywność wirusa grypy utrzymuje się na bardzo niskim poziomie (Lofgren et al., 2007). Zazwyczaj okres epidemiczny trwa od 4 tygodni do 4 miesięcy, choć często pojawia się więcej niż jeden szczyt zachorowań w półroczu chłodnym (Simonsen, 1999). Moment pojawienia się kolejnych szczytów zachorowań oraz ich amplitudy są zmienne z roku na rok i przez to trudne do przewidzenia nawet w obrębie jednej populacji (Huppert et al., 2012; Moorthy et al., 2012; Yaari et al., 2013).

Od dawna dostrzegano istnienie związku między lokalnymi warunkami meteorologicznymi a zachorowalnością na grypę i inne choroby wirusowe górnych dróg oddechowych (Tamerius et al., 2011; Fdez-Arroyabe, 2012; Price et al., 2019). Intensywne promieniowanie słoneczne, szczególnie jego zakres UV, uważane jest za czynnik inaktywujący wirusy posiadające otoczkę lipidową, w tym wirusa grypy (Jensen, 1964; Sagripanti i Lytle, 2007). Niektóre infekcje wirusowe, pojawiające się w półroczu chłodnym, nazywane są potocznie przeziębieniami, co podkreśla ich związek z niską temperaturą (du Prel et al., 2009). Spadek średniej dobowej i tygodniowej temperatury powietrza istotnie wpływa na wzrost zachorowań na grypę (Sundell et al., 2016), co ma związek z większą stabilnością i wirulencją tego patogenu w chłodnym środowisku (Lowen et al., 2007; Polozov et al., 2008). Jednocześnie, wraz ze spadkiem temperatury postępuje ochładzanie powierzchni ciała człowieka, co może prowadzić do powstania stresu zimna, osłabiającego odpowiedź immunologiczną (Mourtzoukou i Falagas, 2007). Nadmierne wychłodzenie organizmu zwiększa zapotrzebowanie na energię dla procesów termoregulacyjnych, kosztem energii dostępnej dla układu odpornościowego, co czyni człowieka bardziej wrażliwym na patogeny (Lochmiller i Deerenberg, 2000; Lofgren et al., 2007). Jednakże, jak wykazano

na przykładzie badań prowadzonych w północnej Finlandii, ryzyko infekcji może paradoksalnie ulec zmniejszeniu, gdy temperatura spadnie do bardzo niskich wartości (Jaakkola et al., 2014). Co więcej, we wcześniejszych pracach zwracano uwagę na fakt, że nie tylko absolutne wartości temperatury wpływają na zmiany zachorowalności na choroby górnych dróg oddechowych, ale również jej amplituda dobową (Shaw Stewart, 2016; Li et al., 2018). Z kolei wpływ wilgotności powietrza na zmiany zachorowalności na grypę nie jest jednoznacznie określony w literaturze przedmiotu. Liczne wyniki badań potwierdzają, iż niska zawartość pary wodnej w powietrzu zwiększa transmisję i przetrwanie wirusa w aerozolu (Tellier, 2006; Brankston et al., 2007; Lowen et al., 2007). Duże krople wydzieliny, zawierające wiriony, wydalone w trakcie kaszlu lub kichania, w suchym powietrzu bardzo szybko parują, zmniejszając swoje rozmiary do wielkości, która umożliwia im pozostanie w formie zawieszonyj w powietrzu przez dłuższy czas (Tellier, 2006; Weber i Stilianakis, 2008). Dodatkowo wdychanie suchego powietrza przez człowieka, może prowadzić do wysuszenia śluzówki nosa, co znacząco ogranicza jej funkcje oczyszczającą i ochronną, czyniąc organizm bardziej podatnym na zakażenie (Salah et al., 1988). Inne publikacje natomiast zwiększoną zachorowalność wiążą z warunkami wysokiej wilgotności względnej (Chan et al., 2009; Li et al., 2018) lub kwestię tę traktują jako nierozstrzygniętą i zależną od typu wirusa grypy (A lub B) (Tang et al., 2010; Iha et al., 2016). Obecnie wielu badaczy (Shaman i Kohn, 2009; McDevitt et al., 2010; Pica i Bouvier, 2012) sugeruje, że wysokie wartości wskaźnika transmisji wirusa grypy są najbardziej powiązane z wilgotnością bezwzględną powietrza. Wykazano bardzo silne korelacje między wilgotnością bezwzględną a wybuchami epidemii w Stanach Zjednoczonych (Shaman et al., 2010) i Japonii (Shoji et al., 2011). Znacznie mniej uwagi poświęcono dotychczas potencjalnemu wpływowi pozostałych elementów meteorologicznych na zachorowalność. Niektóre prace wspominają o wpływie niskiej prędkości wiatru na rozprzestrzenianie się wirusa (Xiao et al., 2013; Roussel et al., 2016), natomiast opady są zwykle pomijane lub uznawane za nieistotne jako predyktor zachorowalności na grypę (Tang et al., 2010). Choć zmienne warunki meteorologiczne często są łączone z epidemiami grypy, nie są jedynie ich bezpośrednią przyczyną. Sezonowe zmiany pogody wpływają przede wszystkim na interakcje między człowiekiem, patogenem i środowiskiem – zwiększają prawdopodobieństwa ekspozycji i powodują zmiany indywidualnej podatności na infekcję (du Prel et al., 2009). Nasza wiedza na temat roli poszczególnych czynników pogodowych w epidemiologii grypy jest nadal ograniczona i wiele aspektów wymaga wciąż wyjaśnienia (Pica i Bouvier, 2012).

Dotychczas w Polsce zagadnienie wpływu warunków meteorologicznych na zachorowalność na choroby wirusowe nie zostało w pełni rozpoznane. W 2015 r. Błażejczyk z zespołem przedstawił zróżnicowanie przestrzenne zachorowalności na grypę w Polsce oraz zaproponował model prognostyczny zmian zachorowalności powiązany ze scenariuszami zmian klimatu (Błażejczyk et al., 2015). Również Iwańczak (2015) w tym samym roku zaprezentował model przestrzenny zagrożenia grypą w Polsce, jednak wykorzystał on tylko zmienne społeczno-ekonomiczne, dostrzegając jednocześnie potrzebę uwzględnienia aspektów środowiskowych. Natomiast Korzeniecki (2015) dokonał analizy statystycznej związku wartości parametrów meteorologicznych z danymi o zachorowalności na grypę i choroby grypopodobne na obszarze województwa mazowieckiego. Opracowanie to dotyczyło jednak tylko dwóch sezonów grypowych i uwzględniało jedynie dwa elementy – temperaturę i wilgotność bezwzględną powietrza. Z kolei Romaszko z zespołem szczegółowo zbadał związek między warunkami biotermicznymi, a liczbą wizyt lekarskich z po-

wodu chorób górnych dróg oddechowych w Olsztynie, w latach 2012-2015, jednak bez rozróżnienia na grypę oraz inne infekcje wirusowe (Romaszko et al., 2019).

Biorąc pod uwagę fakt, że rodzima literatura przedmiotu jest bardzo skromna, celem niniejszego opracowania jest określenie wpływu warunków meteorologicznych na zachorowalność na grypę i choroby grypopodobne (ILI) w wybranych dużych miastach w Polsce w latach 2013-2018. Uwzględniono zachorowalność w różnych grupach wiekowych, jak również zmienność sezonową oddziaływania poszczególnych elementów meteorologicznych.

Materiały i metody

W niniejszym opracowaniu analizą objęto 4 duże miasta wojewódzkie: Kraków (1,05 mln), Poznań (927 tys.), Warszawę (1,72 mln) oraz Wrocław (787 tys.)¹ Dane epidemiologiczne, w postaci tygodniowych sprawozdań o zachorowaniach i podejrzeniach zachorowań na grypę, uzyskano z wojewódzkich stacji sanitarno-epidemiologicznych (małopolskiej, wielkopolskiej, mazowieckiej i dolnośląskiej). W przypadku wszystkich miast, oprócz Warszawy, dane o zachorowalności dotyczyły powiatu grodzkiego oraz ziemskiego łącznie. W Warszawie dane obejmowały jedynie miasto stołeczne Warszawę.

Monitoring aktywności wirusa grypy w populacji za pomocą analiz laboratoryjnych, prowadzony jest jedynie wrywkowo na symptomatycznych pacjentach (Meerhoff et al., 2004). W Polsce, tak jak i w wielu innych krajach, podmioty wykonujące działalność leczniczą, udzielające ambulatoryjnych świadczeń zdrowotnych, zobowiązane są zgłaszać do powiatowych stacji sanitarno-epidemiologicznych przypadki grypy oraz zachorowań grypopodobnych (z ang. ILI – *influenza-like illnesses*) w postaci cotygodniowych meldunków MZ-55. Przypadki te definiowane są za pomocą następujących kryteriów klinicznych – nagłe wystąpienie objawów oraz przynajmniej jednego z następujących czterech symptomów ogólnych: gorączki lub stanu podgorączkowego, bólu głowy, bólu mięśni, rozbicia i ogólnego złego samopoczucia, któremu towarzyszy co najmniej jeden z trzech objawów ze strony układu oddechowego: kaszel, ból gardła i duszności (Zakład Epidemiologii Chorób Zakaźnych i Nadzoru NIZP-PZH, 2019). Powyższa definicja jest zgodna z przypadkami kodowanymi jako J10 i J11 według klasyfikacji ICD-10. Należy mieć jednak świadomość, że grypa może być trudna do zdiagnozowania jedynie na podstawie objawów klinicznych, gdyż inne patogeny mogą powodować podobne dolegliwości (Eccles, 2005; Heikkinen i Järvinen, 2003; Liu et al., 2019), a jedynie 5-15% infekcji jest w istocie rezultatem zakażenia wirusem grypy (Zambon et al., 2001). Mimo to tygodniowa liczebność przypadków ILI jest często wykorzystywana w badaniach epidemiologicznych w modelach zachorowalności na grypę, gdyż dobrze ilustruje aktywność wirusa w populacji (Wang et al., 2017). Co więcej, przypadki grypy potwierdzone laboratoryjnie bardzo dobrze korelują z raportowaną liczbą przypadków ILI (Yaari et al., 2013).

Dane epidemiologiczne zagregowane są do tygodni sprawozdawczych, co wymusza zastosowanie pewnych uśrednień uwarunkowań środowiskowych. Jednakże operowanie tygodniowymi wartościami umożliwia zniwelowanie różnic w liczbie przypadków ILI między dniami roboczymi, a weekendami i dniami świątecznymi, gdy ośrodki zdrowia

¹ Stan na 2018 r. wg GUS (bdl.stat.gov.pl).

w większości nie funkcjonują (Buckingham-Jeffery et al., 2017). Takie podejście pozwala również uniknąć problem tzw. „efektu poniedziałku” czyli sztucznie podwyższonej zachorowalności w pierwszym dniu roboczym po przerwie (Romaszko et al., 2019). Trzeba jednak zauważyć, że tygodnie sprawozdawcze stosowane przez polski nadzór sanitarny nie zawsze są okresami 7-dniowymi. W każdym miesiącu pierwszy i trzeci tydzień ma 7 dni, podczas gdy drugi składa się z 8 dni, a czwarty waha się od 6 do 9 dni. Aby przezwyciężyć dysproporcję w długości trwania okresów sprawozdawczych, jak również nierówną liczebność populacji zamieszkujących poszczególne miasta, dla każdego tygodnia (n) i każdej lokalizacji (X) wyliczono wskaźnik średniej dobowej zachorowalności na ILI w przeliczeniu na 100 tys. mieszkańców – $dILI$ (1):

$$dILI_{nX} = \frac{\text{całkowita liczba przypadków ILI w tygodniu } n}{\text{liczba dni w tygodniu } n \cdot \text{liczba mieszkańców miasta } X \text{ w danym roku}} \cdot 100 \text{ tys.} \quad (1)$$

Polskie sprawozdania o zachorowalności na gripę i choroby grypopodobne nie zawierają żadnych danych osobowych o płci czy ogólnym stanie zdrowia pacjentów, podzielone są natomiast na cztery grupy wiekowe: 0-4 lata (niemowlęta i małe dzieci), 5-14 (starsze dzieci), 15-64 (młodzież i dorośli) oraz większe równe 65 lat (osoby starsze).

Warunki meteorologiczne w latach 2013-2018 zostały określono na podstawie danych ze stacji sieci pomiarowej IMGW. Pogodę w powiecie krakowskim scharakteryzowano na podstawie pomiarów ze stacji klimatologicznej Kraków-Observatorium (5511), zlokalizowanej na obszarze Ogrodu Botanicznego w Krakowie. Dane meteorologiczne pozyskano również: dla powiatu poznańskiego ze stacji synoptycznej Poznań Ławica (330), dla miasta Warszawy ze stacji Bielany (372) oraz dla powiatu wrocławskiego ze stacji synoptycznej Wrocław Strachowice (424). Wykorzystano godzinne wartości temperatury powietrza (t , °C), ciśnienia pary wodnej (e , hPa), wilgotności względnej (f , %), prędkości wiatru (v , m/s), zachmurzenia (N , oktanty), jak również dobowe sumy opadów (prec, mm), maksymalną dobową (t_{max} , °C) i minimalną dobową (t_{min} , °C) temperaturę powietrza. Wilgotność absolutna (a , g/m³) została natomiast obliczona na podstawie poniższego wzoru (2):

$$a = 216,7 \cdot \frac{e}{(273,15 + t)} \quad (2)$$

Dane meteorologiczne zostały uśrednione do okresów sprawozdawczych przyjętych przez polski nadzór sanitarny, a następnie obliczono dla nich podstawowe statystyki opisowe. Choć agregacja danych powoduje spłaszczenie wartości ekstremalnych i może nie oddawać w pełni zakresu warunków na jakie narażeni są mieszkańcy miast, jednak jak wykazano we wcześniejszych opracowaniach, średnie tygodniowe wartości parametrów meteorologicznych są wystarczającym przybliżeniem sytuacji pogodowej i mogą być z powodzeniem wykorzystywane w badaniach nad zachorowalnością na gripę (Huang et al., 2017; Liu et al., 2019).

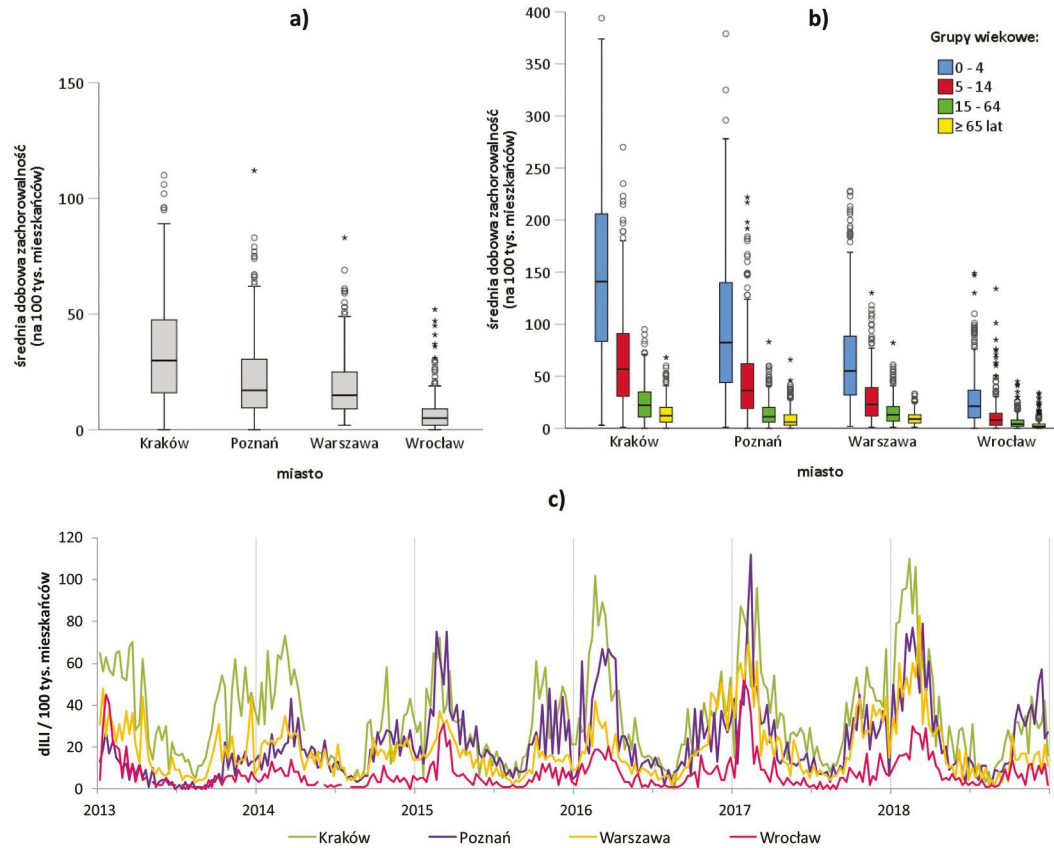
Biorąc pod uwagę fakt, że zależności między $dILI$ a warunkami meteorologicznymi nie wykazują związku liniowego, jak również zmienne nie mają rozkładu normalnego na poziomie istotności 0,05, do zbadania stopnia korelacji między zachorowalnością, a parametrami meteorologicznymi wykorzystano współczynnik korelacji Spearmana. W badaniach epidemiologicznych nad zachorowalnością na gripę dane zazwyczaj posiadają rozkład Poissona (Feng et al., 2016; Su et al., 2019). W przypadku obecnej analizy, wariacje zmiennych zależnych odbiegały znacznie od średnich, co ograniczyło możliwość zastosowania

regresji Poissona. W związku z tym wykorzystano uogólniony model liniowy o rozkładzie ujemnym dwumianowym (MEL) wiązany logarymicznie (z szacowanym parametrem skali). Model ten był już wcześniej stosowany przy badaniu wpływu czynników atmosferycznych na ryzyko infekcji typu ILI (Feng et al., 2016; Gomez-Barroso et al., 2017; Peci et al., 2019). Istotnie statystycznie skorelowane z zachorowalnością zmienne meteorologiczne były testowane jako możliwe predykatory w modelu, a następnie uzyskane modele regresji były oceniane pod kątem ich jakości i dopasowania do danych za pomocą kryterium informacyjnego Akaike (AIC) (Johnson i Omland, 2004). Modele o najniższej wartości AIC traktowane są jako posiadające największą moc predykcyjną (Akaike, 1998). Wyniki przedstawiono za pomocą wartości ryzyka względnego (RR) wraz z 95% przedziałem ufności dla zmiany zapadalności na grypę pod wpływem określonych zmiennych meteorologicznych. Gdy RR ma wartość większą od 1, obserwowany jest wzrost ryzyka, a gdy $RR < 1$ mamy do czynienia ze spadkiem ryzyka względnego wraz z przyrostem wartości zmiennych objaśniających. Opracowano modele regresji zarówno dla całej populacji wybranych miast, jak i dla poszczególnych grup wiekowych, zdefiniowanych powyżej. Uwzględniono także analizę zmienności sezonowej zachorowalności na ILI w podziale na pory roku. W wielu wcześniejszych publikacjach zwrócono również uwagę na fakt, że między znaczącą zmianą pogody, a wzrostem zachorowalności na ILI występuje przesunięcie czasowe od 7 do 14 dni (Mäkinen et al., 2009; Nastos i Matzarakis, 2006; Sundell et al., 2016). W związku z tym obliczono modele regresji uwzględniające warunki meteorologiczne panujące na tydzień i dwa tygodnie przed stwierdzeniem zachorowania na grypę lub chorobę grypopodobną. Na podstawie kryterium informacyjnego Akaike określono, czy modele dla opóźnionych zachorowań względem warunków pogodowych mają lepszą zdolność predykcyjną. Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono w programie IBM SPSS Statistics 25.

Wyniki

W okresie od stycznia 2013 do grudnia 2018 r. w omawianych czterech miastach odnotowano 2023552 przypadki zachorowań na grypę lub choroby grypopodobne (ILI). Średnia dobowa zachorowalność w przeliczeniu na 100 tys. mieszkańców była w tym okresie najwyższa w Krakowie (33,97), a najniższa we Wrocławiu (7,36) (ryc. 1a). Najwyższa średnia dobowa zachorowalność (112,43/100 tys.) miała miejsce w Poznaniu w dniach od 8. do 15. lutego 2017 r. Spośród wszystkich grup wiekowych, największa zachorowalność na ILI występowała wśród najmłodszych mieszkańców (0-4 lat) i wahała się od średnio 28,32/100 tys. we Wrocławiu do 150,68/100 tys. w Krakowie (ryc. 1b). Najniższe wartości wskaźnika *dILI* obserwowano wśród osób powyżej 64 roku życia, średnio od 3,55/100 tys. we Wrocławiu, do 14,92/100 tys. w Krakowie. Zachorowania na grypę i choroby grypopodobne wykazywały wyraźną sezonowość, osiągając szczyt zazwyczaj zimą lub wczesną wiosną (ryc. 1c). Warto jednak zauważyć, że w poszczególnych latach maksymalne wartości *dILI* były bardzo różne i nie zawsze obserwowano je w tych samych miesiącach. W 2017 i 2018 r. wyraźnie zaznaczył się jeden wyraźny szczyt zachorowań, podczas gdy w sezonie grypowym 2013/2014 wyraźnym pikiem *dILI* zaznaczył się tylko Poznań.

Podstawowe statystyki opisowe dotyczące warunków meteorologicznych w ujęciu tygodniowym w poszczególnych miastach zawarto w tabeli 1. W analizowanym okresie



Ryc. 1. Średnia dobowa zachorowalność na ILI w latach 2013-2018 w przeliczeniu na 100 tys. mieszkańców w Krakowie, Poznaniu, Warszawie i Wrocławiu: a) ogółem, b) w podziale na grupy wiekowe, c) przebieg 6-letni
Mean daily ILI morbidity in years 2013-2018 per 100 thousand citizens in Cracow, Poznań, Warsaw and Wrocław: a) in total, b) divided into age groups, c) 6-year course

najwyższa średnia temperatura powietrza występowała w Krakowie (11,0°C), natomiast najwyższa średnia temperatura maksymalna (15,4°C) była we Wrocławiu. Najniższą śred-

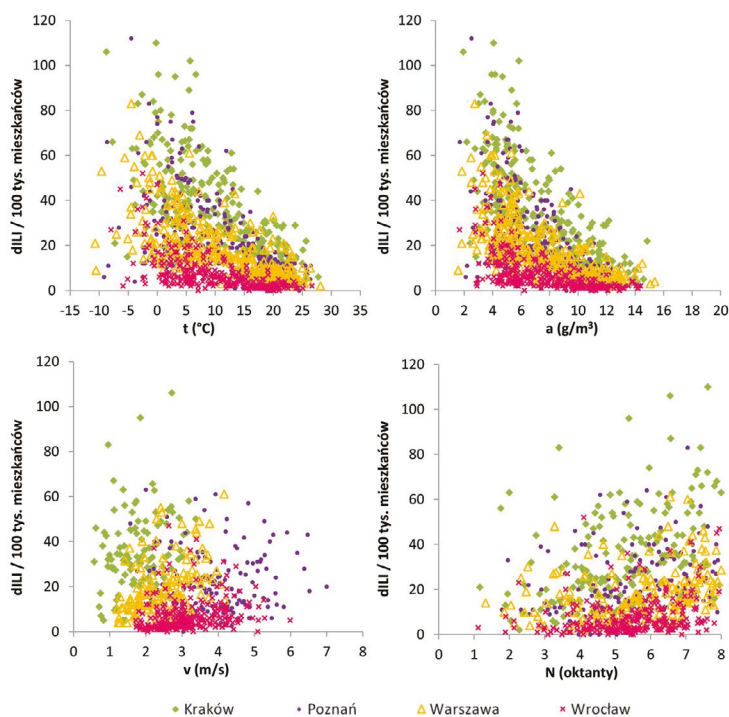
Tabela 1. Statystyki opisowe tygodniowych wartości zmiennych meteorologicznych dla Krakowa, Poznania, Warszawy i Wrocławia (2013-2018)
Descriptive statistics for weekly meteorological variables in Cracow, Poznań, Warsaw and Wrocław (2013-2018)

zmiennie meteorologiczne		minimum	średnia \pm SE	maksimum	σ
średnia temperatura powietrza (t, °C)	Kraków	-8,7	11,0 \pm 0,48	27,8	8,2
	Poznań	-9,1	10,7 \pm 0,49	26,5	8,2
	Warszawa	-10,7	10,8 \pm 0,51	28,2	8,6
	Wrocław	-7,9	10,6 \pm 0,45	26,7	7,6
temperatura maksymalna (tmax, °C)	Kraków	-6,4	15,3 \pm 0,54	33,9	9,2
	Poznań	-7,0	14,3 \pm 0,54	32,5	9,1
	Warszawa	-8,4	14,4 \pm 0,56	34,2	9,6
	Wrocław	-4,9	15,4 \pm 0,52	34,5	8,9
temperatura minimalna (tmin, °C)	Kraków	-10,6	6,3 \pm 0,41	19,6	6,9
	Poznań	-13,1	6,1 \pm 0,39	19,0	6,7
	Warszawa	-13,5	6,1 \pm 0,41	19,1	7,0
	Wrocław	-11,5	6,0 \pm 0,38	19,7	6,5
wilgotność względna (f,%)	Kraków	46,3	72,0 \pm 0,58	90,4	9,9
	Poznań	41,1	72,3 \pm 0,75	95,5	12,8
	Warszawa	36,8	72,3 \pm 0,74	93,9	12,6
	Wrocław	50,4	75,3 \pm 0,54	95,7	9,1
wilgotność bezwzględna (a, g/m ³)	Kraków	1,9	7,6 \pm 0,18	14,9	3,1
	Poznań	1,7	7,3 \pm 0,16	14,0	2,7
	Warszawa	1,6	7,5 \pm 0,18	15,4	3,0
	Wrocław	1,7	7,7 \pm 0,17	14,5	3,0
prędkość wiatru (v, m/s)	Kraków	0,6	1,8 \pm 0,03	3,4	0,5
	Poznań	1,6	3,8 \pm 0,05	7,0	0,9
	Warszawa	1,2	2,4 \pm 0,04	4,2	0,6
	Wrocław	1,7	3,1 \pm 0,05	6,0	0,8
zachmurzenie (N, oktanty)	Kraków	1,2	5,3 \pm 0,08	8,0	1,3
	Poznań	1,8	5,5 \pm 0,07	7,9	1,3
	Warszawa	1,3	5,9 \pm 0,09	8,0	1,4
	Wrocław	1,1	5,4 \pm 0,07	7,9	1,2
suma opadów (prec, mm)	Kraków	0,0	15,0 \pm 1,00	104,3	16,9
	Poznań	0,0	11,2 \pm 0,74	92,1	12,6
	Warszawa	0,0	12,2 \pm 0,81	86,1	13,8
	Wrocław	0,0	11,1 \pm 0,81	110,9	13,7

SE – błąd standardowy, σ – odchylenie standardowe.

nią temperaturą minimalną również charakteryzował się Wrocław (6,0°C), choć najniższą tygodniową wartość temperatury minimalnej zanotowano w Warszawie (-13,5°C). Najsuszniej w omawianym 6-leciu było w Poznaniu ($a = 7,3 \text{ g/m}^3$), a najwilgotniej we Wrocławiu ($a = 7,7 \text{ g/m}^3$). Średnia tygodniowa prędkość wiatru najwyższa była w Poznaniu (3,8 m/s), niższa natomiast w Warszawie (2,4 m/s) i Krakowie (1,8 m/s), gdzie stacje pomiarowe znajdują się w obrębie zwartej zabudowy miejskiej. Średnie tygodniowe zachmurzenie wahało się od 5,3 oktanta w Krakowie do 5,9 oktanta w Warszawie. Najwyższą średnią tygodniową sumą opadów charakteryzował się Kraków (15 mm).

W celu zbadania zachorowalności na gripę i choroby grypopodobne w zależności od warunków atmosferycznych, zdecydowano się zwiększyć masę statystyczną i przeprowadzić analizę łącznie dla czterech wybranych miast. Wartości dILI wahały się znacznie przy niższej temperaturze powietrza, natomiast wraz ze wzrostem temperatury zachorowalność malała, by po przekroczeniu 20°C spaść poniżej 30 przypadków na 100 tys. mieszkańców (ryc. 2). Analogicznie kształtowała się dobowa zachorowalność na ILI w przypadku wzrostu wilgotności bezwzględnej powietrza. Przy niskiej wilgotności powietrza wskaźnik dILI osiągał najwyższe wartości (w Krakowie i Poznaniu nawet ponad 100 osób dziennie/100 tys.), tymczasem przy zawartości pary wodnej w powietrzu powyżej 12 g/m³ nie przekraczał 30 chorych na 100 tys. mieszkańców. Związek zachorowalności z prędkością wiatru nie jest ewidentny, z kolei w przypadku zachmurzenia można stwierdzić,



Ryc. 2. Średnia tygodniowa zachorowalność na dILI względem wartości temperatury powietrza (t), wilgotności bezwzględnej (a), prędkości wiatru (v) i zachmurzenia (N) w wybranych czterech miastach (2013-2018)
Weakly mean dILI incidence in relation to air temperature (t), absolute humidity (a), wind speed (v) and cloudiness (N) in the selected four cities (2013-2018)

że małe zachmurzenie (0-2 oktanty) wiąże się z niższymi wartościami dILI, choć istnieją wyjątki nie potwierdzające tej zależności.

Średnia dobowo zachorowalność na ILL w przeliczeniu na 100 tys. mieszkańców była w latach 2013-2018 najsilniej skorelowana z wilgotnością bezwzględną ($r=-0,570$), jednak umiarkowanie silna ujemna korelacja wystąpiła również z temperaturą minimalną ($r=-0,547$), temperaturą maksymalną ($r=-0,541$) i temperaturą średnią dobową ($r=-0,533$) (tab. 2). Zaobserwowano również dodatnią słabą korelacją między dILI, a wilgotnością względną powietrza ($r=0,251$) i zachmurzeniem ($r=0,227$). Najsłabiej zachorowalność na gripę związana była w polskich miastach z opadami ($r=-0,101$). Warto również zauważyć, że w poszczególnych porach roku istotność statystyczna i siła związku między dILI, a parametrami meteorologicznymi ulegały zmianie. Latem zachorowalność w niewielkim stopniu zależna była od pogody. Od czerwca do sierpnia warunki termiczne i nefologiczne nie były w sposób istotny statystycznie powiązane z dILI, a najsilniejsza ujemna korelacja wystąpiła w przypadku wilgotności względnej powietrza ($r=-0,315$). Z kolei zimą zachorowalność na gripę powiązana była najsilniej z prędkością wiatru ($r=-0,403$) oraz wilgotnością bezwzględną ($r=-0,312$).

Biorąc pod uwagę fakt, że współczynnik korelacji ma ograniczone możliwości uchwycenia złożonych, nieliniowych zależności między zachorowalnością, a warunkami meteorologicznymi, wykorzystano w dalszej analizie ujemną dwumianową regresję, związaną logarymicznie. Metodą kolejnych eliminacji nieistotnych, bądź najmniej istotnych statystycznie zmiennych meteorologicznych, uzyskano model zachorowalności o najlepszym dopasowaniu (najniższej wartości AIC), opisany poniższym ogólnym równaniem (3):

$$\text{Log}(\mu_n) = \theta_0 + \beta_1 \cdot a_n + \beta_2 \cdot \text{tmax}_n + \beta_3 \cdot \text{tmin}_n + \beta_4 \cdot N_n + \beta_5 \cdot v_n + \beta_6 \cdot \text{prec}_n \quad (3)$$

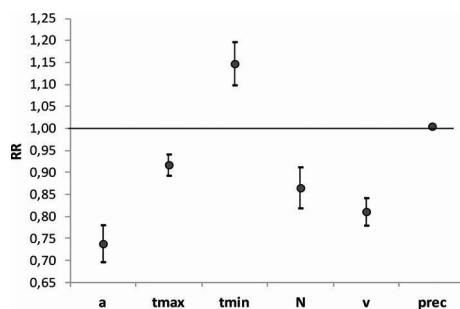
gdzie μ_n to wartość oczekiwana dILI w kolejnych tygodniach (n), θ_0 to wyraz wolny, a $\beta_{1,2,\dots}$ – współczynniki poszczególnych zmiennych meteorologicznych w powyższym równaniu regresji. Na rycinie 3 wskazano ryzyko względne (RR) wraz z 95% przedziałem ufności dla zmiany zapadalności na gripę pod wpływem danej zmiennej w modelu, w ujęciu łącznym dla omawianych czterech miast. Wzrostowi wartości zarówno wilgotności bezwzględnej, jak i temperatury maksymalnej, prędkości wiatru czy zachmurzenia towarzyszył spadek wartości dILI. Jedynie w przypadku wzrostu średniej tygodniowej temperatury minimalnej obserwowano podwyższoną zachorowalność na gripę. Efekt oddziaływania opadów był niewielki, choć zmienna ta istotnie statystycznie poprawia jakość całego modelu. Naj-

Tabela 2. Wartości współczynników korelacji Spearmana dla średniej dobowej zachorowalności na gripę oraz elementów meteorologicznych w Krakowie, Poznaniu, Warszawie i Wrocławiu (2013-2018)

Spearman correlation coefficients between dILI and meteorological factors in Cracow, Poznań, Warsaw and Wrocław (2013-2018)

		tmin	t	tmax	f	a	v	N	prec
dILI/100 tys. mieszkańców	rok	-0,547**	-0,533**	-0,541**	0,251**	-0,570**	-0,126**	0,227**	-0,101**
	wiosna	-0,421**	-0,386**	-0,394**	-0,001	-0,463**	-0,208**	-0,004	-0,111
	lato	-0,055	0,036	-0,082	-0,315**	-0,215**	-0,157**	-0,037	0,019
	jesień	-0,273**	-0,304**	-0,316**	0,173**	-0,292**	-0,291**	0,121*	0,044
	zima	-0,232**	-0,214**	-0,206**	-0,149*	-0,312**	-0,403**	-0,012	-0,023

**p < 0,01; * p < 0,05.



Ryc. 3. Zmiany ryzyka względnego (RR) (wraz z 95% przedziałem ufności) dla dILI przy wzroście średnich tygodniowych wartości zmiennych meteorologicznych o jednostkę (2013-2018)

Relative risk (RR) change (with 95% CI) of ILI for one unit increase of mean weekly meteorological variables (2013-2018)

większe ryzyko wzrostu zachorowalności wiązało się ze spadkiem wilgotności bezwzględnej i wzrostem temperatury minimalnej – odpowiednio o 21,9% na 1 g/m³ oraz 19,8% na 1°C. Warto jednak zaznaczyć, że w przypadku spadku wilgotności bezwzględnej już o 5 g/m³, ryzyko względne wzrastało potęgowo odpowiednio o 70,9%, natomiast w przypadku wzrostu temperatury minimalnej o 5°C, prawdopodobieństwo zachorowania rosnęło aż o 146,5%.

W przypadku poszczególnych grup wiekowych rodzaj i wielkość wpływu wszystkich analizowanych elementów meteorologicznych na dILI były analogiczne do modelu dla całej populacji i istotne statystycznie na poziomie 0,01. Najsilniej na zachorowalność na grype oddziaływała wilgotność bezwzględna (tab. 3). Wraz ze spadkiem zawartości pary wodnej w powietrzu o 1 g/m³ wzrastało ryzyko infekcji od 25,4% wśród osób w wieku 15-64 lata do 30% w grupie 5-14 lat. W przypadku większego spadku wilgotności bezwzględnej, o 5 g/m³, ryzyko względne wzrastało odpowiednio o 76,9% oraz 83,2%. Najbardziej wrażliwą grupą na wpływ temperatury i zachmurzenia były dzieci w wieku 0-4 lat, natomiast wzrost prędkości wiatru najbardziej ograniczał rozprzestrzenianie się infekcji

Tabela 3. Ryzyko względne (RR) (wraz z 95% przedziałem ufności) wpływu zmiennych meteorologicznych na dILI w podziale na grupy wiekowe mieszkańców w wybranych miastach (2013-2018) oraz wartość AIC dla poszczególnych modeli

Relative risk (RR) (and 95% CI) of meteorological variables affecting dILI in the selected cities (2013-2018) for particular age groups of citizens and AIC value for particular models

Zmienne	RR (95% przedział ufności)			
	0-4 lat	5-14 lat	15-64 lat	≥ 65 lat
a	0,737 (0,693 – 0,783)	0,700 (0,654 – 0,749)	0,746 (0,705 – 0,790)	0,732 (0,688 – 0,779)
tmax	0,904 (0,878 – 0,930)	0,909 (0,880 – 0,938)	0,926 (0,902 – 0,950)	0,934 (0,908 – 0,961)
tmin	1,185 (1,131 – 1,242)	1,177 (1,118 – 1,241)	1,126 (1,079 – 1,175)	1,122 (1,071 – 1,175)
N	0,834 (0,786 – 0,885)	0,851 (0,797 – 0,908)	0,882 (0,836 – 0,931)	0,891 (0,841 – 0,944)
v	0,818 (0,785 – 0,852)	0,830 (0,794 – 0,869)	0,783 (0,753 – 0,814)	0,800 (0,767 – 0,835)
prec	1,006 (1,002 – 1,009)	1,006 (1,002 – 1,010)	1,005 (1,001 – 1,008)	1,005 (1,001 – 1,009)
AIC	12117,845	10186,386	7974,054	6943,896

p < 0,01.

grypopodobnych wśród osób w wieku 15-64 lata. Wykorzystując kryterium informacyjne Akaike (AIC) można stwierdzić, że zastosowany w analizie model najlepiej obrazuje wpływ pogody na zachorowalność na ILL u osób dorosłych, szczególnie wśród ludzi starszych, mających 65 i więcej lat (tab. 3).

W poszczególnych porach roku ryzyko względne zachorowalności na grypę pod wpływem różnych elementów meteorologicznych ulegało zmianie. Opad był istotną statystycznie zmienną jedynie zimą, zachmurzenie nie wywierało istotnego wpływu na *dILL* zimą i wiosną, natomiast temperatura maksymalna traciła na znaczeniu zimą (tab. 4). Wiosną najsilniej na wzrost *dILL* wpływał spadek wilgotności bezwzględnej powietrza – 25,4% na 1 g/m³. Latem z kolei największe ryzyko względne towarzyszyło wzrostowi temperatury minimalnej i wynosiło 38,3% na 1°C. Jesienią zachorowaniom na grypę sprzyjał w niemal równym stopniu spadek prędkości wiatru (23,7% na 1 m/s) oraz wzrost temperatury minimalnej (23,3% na 1°C). W okresie zimowym wzrost wartości *dILL* zdeterminowany były przez niskie wartości wilgotności bezwzględnej. Przy wzroście zawartości pary wodnej w powietrzu o jednostkę, ryzyko względne zachorowania na grypę malało o 46,8%. Na podstawie wartości AIC stwierdzono, że zaproponowany model charakteryzuje się najwyższą mocą predykcyjną latem, natomiast zimą, gdy zachorowań jest najwięcej, jego dopasowanie jest nieco mniejsze (tab. 4).

W niniejszym badaniu uwzględniono również fakt, że reakcja organizmu na dane warunki pogodowe, sprzyjające rozwojowi infekcji, może być przesunięta w czasie, w związku z okresem niezbędnym na inkubację wirusa oraz pewną bezwładnością rejestrowania zachorowań przez system służby zdrowia. Porównując wartości AIC dla poszczególnych modeli, można zauważyć, że w przypadku całej badanej populacji, najwyższą mocą predykcyjną charakteryzował się model uwzględniający warunki meteorologiczne panujące w tygodniu poprzedzającym stwierdzenie zachorowania na grypę lub chorobę grypopodobną (tab. 5). U dzieci w wieku do 14 lat najlepsze dopasowanie modelu zaobserwowano w przypadku wpływu pogody w bieżącym tygodniu na *dILL*, natomiast u osób dorosłych najsilniejsza zależność między zachorowalnością, a warunkami meteorologicznymi sprzyjającymi transmisji i rozwojowi wirusa, występowała z tygodniowym opóźnieniem. Naj-

Tabela 4. Ryzyko względne (RR) (wraz z 95% przedziałem ufności) wpływu zmiennych meteorologicznych na *dILL* w poszczególnych porach roku w wybranych miastach (2013-2018) oraz wartość AIC dla poszczególnych modeli

Relative risk (RR) (and 95% CI) of meteorological variables affecting dILL in particular seasons in the selected cities (2013-2018) and AIC value for each model

Zmienne	RR (95% przedział ufności)			
	Wiosna	Lato	Jesień	Zima
<i>a</i>	0,746 (0,651 – 0,855)	0,715 (0,641 – 0,796)	0,798 (0,689 – 0,924)	0,532 (0,422 – 0,672)
<i>tmax</i>	0,930 (0,876 – 0,986)	0,841 (0,774 – 0,914)	0,863 (0,819 – 0,909)	0,983 (0,972 – 1,043)
<i>tmin</i>	1,132 (1,033 – 1,241)	1,383 (1,221 – 1,568)	1,233 (1,126 – 1,351)	1,157 (1,063 – 1,260)
<i>N</i>	0,900 (0,810 – 1,001)	0,790 (0,697 – 0,895)	0,781 (0,701 – 0,871)	0,945 (0,853 – 1,048)
<i>v</i>	0,843 (0,783 – 0,908)	0,828 (0,749 – 0,915)	0,763 (0,707 – 0,822)	0,816 (0,763 – 0,872)
<i>prec</i>	0,999 (0,991 – 1,007)	1,005 (1,000 – 1,011)	1,003 (0,997 – 1,010)	1,019 (1,008 – 1,030)
AIC	2253,139	1705,618	2183,069	2470,519

Kursywą zaznaczono zmienne nieistotne statystycznie na poziomie 0,05.

Tabela 5. Wartości kryterium informacyjnego Akaike (AIC) modeli zachorowalności dla warunków meteorologicznych w tygodniu bieżącym oraz opóźnienia tygodniowego i dwutygodniowego w wybranych miastach (2013-2018) ogółem oraz w podziale na grupy wiekowe
Akaike criterion (AIC) values for morbidity models depending on the actual meteorological conditions as well as on 1-week and 2-week lags in the selected cities (2013-2018) in general and divided into age groups.

	ogółem	0-4 lat	5-14 lat	15-64 lat	≥ 65 lat
tydzień 0	8645,604	12117,845	10186,386	7974,054	6943,896
tydzień – 1	8644,973	12132,338	10205,206	7953,749	6918,104
tydzień – 2	8670,051	12162,979	10223,961	7987,127	6900,698

Kolorem czerwonym zaznaczono najniższe wartości AIC.

większe opóźnienie efektu zmiennych atmosferycznych na $dILI$, wynoszące dwa tygodnie, stwierdzono w najstarszej grupie wiekowej (≥ 65 lat).

Dyskusja

W niniejszym opracowaniu stwierdzono istotne statystycznie związki zachorowalności na ILI w zależności od warunków meteorologicznych. Na podstawie wartości współczynników korelacji, jak również analizy regresji ujemnej dwumianowej wiązanej logarymicznie, potwierdzono, że najistotniejszym czynnikiem atmosferycznym, powiązany ujemnie ze wzrostem zachorowalności na grype, jest wilgotność bezwzględna powietrza. Wniosek ten jest zgodny z wynikami wielu wcześniejszych prac (McDevitt et al., 2010; Shoji et al., 2011; Pica i Bouvier, 2012; Van Noort et al., 2012; Wiemken et al., 2017). Na zachorowalność na ILI wpływają również warunki termiczne, prędkość wiatru, zachmurzenie i w niewielkim stopniu opady. Jednak nie w każdej porze roku wszystkie czynniki odgrywają jednakowo ważną rolę – opady są istotne tylko zimą, a zachmurzenie latem i jesienią. Choć potwierdzono opisany w literaturze trend (du Prel et al., 2009; Tang et al., 2010; Jaakkola et al., 2014; Price et al., 2019;), że wzrost zachorowalności poprzedzony jest spadkiem średniej tygodniowej temperatury powietrza, to nieco zaskakująca jest wyraźna dodatnia zależność między temperaturą minimalną a $dILI$. Dotychczas taka zależność nie była nigdzie obserwowana, ale też temperatura minimalna nie była przedmiotem licznych badań w kontekście zachorowalności na grype. Shaw Stewart (2016) zwrócił uwagę na fakt, że to nie absolutne wartości temperatury, ale raczej dobowe kontrasty termiczne są odpowiedzialne za wyższą zachorowalność na choroby górnych dróg oddechowych. Dlatego też można przypuszczać, że znaczenie wzrostu t_{min} dla rozprzestrzeniania się wirusa grypy wiąże się ze zmniejszaniem amplitud dobowych temperatury, które z kolei są ujemnie skorelowane z zachorowalnością na ILI (Li et al., 2018).

Uzyskane wyniki można do pewnego stopnia uznać za reprezentatywne dla wszystkich dużych miast w Polsce. Zaproponowany ujemny dwumianowy model wiązany logarymicznie cechuje się dobrą mocą predykcyjną i może być stosowany w odniesieniu do wszystkich grup wiekowych w polskiej populacji. Szczególnie dobrze opisuje on wpływ pogody na ILI u osób starszych. Jednocześnie stwierdzono, iż w poszczególnych porach roku nie wszystkie zmienne meteorologiczne są istotne statystycznie, stąd można przypuszczać, że do analiz sezonowych w przyszłości należałoby model zmodyfikować odpowiednio dla każdej pory roku. Wykazano również, że między zmianą pogody, a wzrostem

liczby zachorowań na grypę występuje 6-9-dniowe przesunięcie czasowe, gdyż najwyższą mocą predykcyjną charakteryzował się model uwzględniający warunki meteorologiczne panujące w tygodniu poprzedzającym wzrost zachorowalności na ILI. Uzyskane wyniki są zgodne z wnioskami Sundella et al. (2016) oraz Romaszko et al. (2019) w odniesieniu do chorób górnych dróg oddechowych, choć w innych pracach zaobserwowano również dłuższe przesunięcia czasowe – 10-dniowe (Nastos i Matzarakis, 2006) oraz dwutygodniowe (Mäkinen et al., 2009). U dzieci nie stwierdzono opóźnienia zachorowań w stosunku do zmiany warunków meteorologicznych. Szybkie rozprzestrzenianie się wirusa grypy wśród najmłodszych można wiązać z faktem, że jest to najbardziej wrażliwa na infekcje grupa wiekowa, nie posiadająca jeszcze w pełni rozwiniętego układu immunologicznego (Valenciano et al., 2013). Co więcej, nieco starsze dzieci dużo czasu spędzają na powietrzu, stąd ich ekspozycja na warunki meteorologiczne jest największa, a odpowiedź organizmu najintensywniejsza, przez co najszybciej są diagnozowane (Li et al., 2010; Li et al., 2018). Z kolei w przypadku osób starszych (≥ 65 lat) wzrost zachorowalności na ILI obserwowany był po dwóch tygodniach od wystąpienia pogody sprzyjającej rozprzestrzenianiu się wirusa grypy, co może być związane z odmiennym trybem życia i spędzaniem większej ilości czasu w pomieszczeniach przez tę grupę wiekową (Huang et al., 2017).

Uzyskane wyniki należy interpretować, mając na uwadze pewne ograniczenia wynikające ze złożonej natury poruszanego problemu. Wykorzystany w opracowaniu wskaźnik ILI to rozpoznanie kliniczne, które odnosi się nie tylko do grypy, gdyż te same objawy mogą być efektem zakażenia różnymi patogenami (Bednarska et al., 2016; Liu et al., 2019). Dlatego też wyniki niniejszych badań można traktować tylko jako przybliżony obraz wpływu pogody w polskich miastach na zachorowalność na grypę. Dodatkowo, analizowany zbiór danych epidemiologicznych może nie oddawać w pełni zachorowalności na ILI, gdyż wiele osób nie zgłasza się po pomoc lekarską i nie zostaje ujęte w statystykach lub przechodzi chorobę bezobjawowo (Babcock et al., 2006). Co więcej, choć zmienne meteorologiczne istotnie przyczyniają się do wyjaśnienia zachorowalności na grypę, istnieją również inne, często niemierzalne czynniki, które mogą wpływać na sezonowość i złożoność epidemiologii tej choroby. W miesiącach zimowych, gdy temperatura powietrza jest niska, a dzień krótki, ludzie spędzają więcej czasu w pomieszczeniach, co sprzyja transmisji chorób wirusowych (Lofgren et al., 2007; Fisman, 2012). Ponadto, stosowane w budynkach w półroczu chłodnym centralne ogrzewanie, powoduje krążenie w częściowo zamkniętym obiegu wysuszonego powietrza, co stwarza idealne środowisko dla przetrwania i dalszego rozprzestrzeniania się wirusa (Sundell et al., 2016). Trudno więc określić, w jakim stopniu sezonowość grypy jest zależna od warunków atmosferycznych, a w jakim od zwiększenia częstości bliskich kontaktów międzyludzkich. Dodatkowo, istnieje również wiele dowodów na to, że zimowo-wiosenne szczyty zachorowań na ILI mogą być efektem cyklicznie zmieniającej się odporności populacji na choroby górnych dróg oddechowych (Dowell, 2001). Zimą, wraz ze spadkiem natężenia promieniowania UV, zmniejsza się produkcja witaminy D w organizmie, co skutkuje immunosupresją i zmniejszeniem zdolności do zwalczania infekcji (Cannell et al., 2006; Urashima et al., 2010; Martineau et al., 2017). Wreszcie na wzrost liczby przypadków chorób górnych dróg oddechowych w półroczu chłodnym może wpływać zwiększone zanieczyszczenie powietrza w tym okresie, w efekcie którego może dochodzić do tworzenia się wolnych rodników, które upośledzają funkcje ochronne układu oddechowego (Ciencewicki i Jaspers, 2007). Szczególnie duże znaczenie dla wzrostu zachorowalności na ILI zdaje się mieć zapylenie powietrza (Hwang i Chan, 2002;

Chen et al., 2017;), gdyż cząstki drobnych pyłów mogą stanowić jądra kondensacji dla kropelek zawierających wiriony, przez co wydłuża się czas pozostawania wirusa w powietrzu i zwiększa ryzyko zakażenia (Feng et al., 2016). Ten aspekt w odniesieniu do polskich miast nie został jeszcze dobrze rozpoznany i będzie podlegał dalszym badaniom.

Mając na uwadze istniejące ograniczenia, można jednak stwierdzić, że należy kontynuować prace badawcze nad modelowaniem zachorowań na grypę w zależności od warunków środowiskowych. Modele statystyczne mają nie tylko wartość poznawczą, ale również wartość prognostyczną, co umożliwi śledzenie na bieżąco aktywności patogenów i odpowiednio wczesne przygotowanie się na wybuchy epidemii.

Ryciny i tabele, pod którymi nie zamieszczono źródeł, są opracowaniami własnymi autora artykułu.

Piśmiennictwo

- Akaike, H. (1998). Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. W: E. Parzen, K. Tanabe, & G. Kitagawa (red.), *Selected Papers of Hirotugu Akaike*. Springer Series in Statistics (Perspectives in Statistics). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1694-0_15
- Babcock, H.M., Merz, L.R., & Fraser, V.J. (2006). Is Influenza an Influenza-Like Illness? Clinical Presentation of Influenza in Hospitalized Patients. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 27(3), 266-270. <https://doi.org/10.1086/501539>
- Bednarska, K., Hallmann-Szelińska, E. Kondratiuk, K., Rabeczenko, D., & Brydak, L. (2016). Innowacje w nadzorze nad grypą w Polsce. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 97(2), 101-105.
- Błażejczyk, K., Baranowski, J., & Błażejczyk, A. (2015). *Wpływ klimatu na stan zdrowia w Polsce: stan aktualny oraz prognoza do 2100 roku*. Warszawa: Wydawnictwo Akademickie SEDNO. http://rcin.org.pl/igipz/Content/60110/WA51_79962_r2015_Wplyw-klimatu-na-sta.pdf
- Bouvier, N.M., & Palese, P. (2008). The biology of influenza viruses. *Vaccine*, 26, D49-D53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2008.07.039>
- Brankston, G., Gitterman, L., Hirji, Z., Lemieux, C., & Gardam, M. (2007). Transmission of influenza A in human beings. *The Lancet. Infectious Diseases*, 7(4), 257-265. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(07\)70029-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(07)70029-4)
- Brydak, L.B. (2012). Grypa – problem stary jak świat. *Hygeia Public Health*, 47(1), 1-7.
- Brydak, L.B. (2014). Grypa znana od stuleci – nadal groźna. Flu known for centuries – still dangerous Szczepionki i szczepienia przeciw grypie. *Family Medicine & Primary Care Review*, 16(2), 181-184.
- Buckingham-Jeffery, E., Morbey, R., House, T., Elliot, A. J., Harcourt, S., & Smith, G.E. (2017). Correcting for day of the week and public holiday effects: improving a national daily syndromic surveillance service for detecting public health threats. *BMC Public Health*, 17(1), 477. <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4372-y>
- Cannell, J.J., Vieth, R., Umhau, J.C., Holick, M.F., Grant, W.B., Madronich, S., Garland, C.F., & Giovannucci, E. (2006). Epidemic influenza and vitamin D. *Epidemiology and Infection*, 134, 1129-1140. <https://doi.org/10.1017/S0950268806007175>
- Chan, P K.S., Mok, H.Y., Lee, T.C., Chu, I.M.T., Lam, W.-Y., & Sung, J.J.Y. (2009). Seasonal influenza activity in Hong Kong and its association with meteorological variations. *Journal of Medical Virology*, 81(10), 1797-1806. <https://doi.org/10.1002/jmv.21551>

- Chen, G., Zhang, W., Li, S., Zhang, Y., Williams, G., Huxley, R., Ren, H., Cao, W., & Guo, Y. (2017). The impact of ambient fine particles on influenza transmission and the modification effects of temperature in China: A multi-city study. *Environment International*, *98*, 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.004>
- Cienciewicki, J., & Jaspers, I. (2007). Air Pollution and Respiratory Viral Infection. *Inhalation Toxicology*, *19*(14), 1135-1146. <https://doi.org/10.1080/08958370701665434>
- Cox, N.J., & Subbarao, K. (2000). Global Epidemiology of Influenza: Past and Present. *Annual Review of Medicine*, *51*, 407-421. <https://doi.org/10.1146/annurev.med.51.1.407>
- Department of Infectious Disease Epidemiology and Surveillance NIZP-PZH. (2019). *Definitions of infectious disease cases for the needs of epidemiological surveillance, 2018*.
- Dowell, S.F. (2001). Seasonal variation in host susceptibility and cycles of certain infectious diseases. *Emerging Infectious Diseases*, *7*, 369-374. <https://doi.org/10.3201/eid0703.017301>
- du Prel, J., Puppe, W., Gröndahl, B., Knuf, M., Weigl, J.A.I., Schaaff, F., & Schmitt, H. (2009). Are Meteorological Parameters Associated with Acute Respiratory Tract Infections? *Clinical Infectious Diseases*, *49*(6), 8618-68. <https://doi.org/10.1086/605435>
- Eccles, R. (2005). Understanding the symptoms of the common cold and influenza. *The Lancet. Infectious Diseases*, *5*(11), 718-725. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(05\)70270-X](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(05)70270-X)
- Fdez-Arroyabe, P. (2012). Influenza epidemics and Spanish climatic domains. *Health*, *04*(10), 941-945. <https://doi.org/10.4236/health.2012.430144>
- Feng, C., Li, J., Sun, W., Zhang, Y., & Wang, Q. (2016). Impact of ambient fine particulate matter (PM_{2.5}) exposure on the risk of influenza-like-illness: A time-series analysis in Beijing, China. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, *15*(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0115-2>
- Finkelmann, B.S., Viboud, C., Koelle, K., Ferrari, M.J., Bharti, N., & Grenfell, B.T. (2007). Global patterns in seasonal activity of influenza A/H3N2, A/H1N1, and B from 1997 to 2005: Viral coexistence and latitudinal gradients. *PLoS ONE*, *2*(12), e1296. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001296>
- Fisman, D. (2012). Seasonality of viral infections: Mechanisms and unknowns. *Clinical Microbiology and Infection*, *18*(10), 946-954. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2012.03968.x>
- Gomez-Barroso, D., León-Gómez, I., Delgado-Sanz, C., & Larrauri, A. (2017). Climatic factors and influenza transmission, Spain, 2010-2015. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *14*(12), 1469. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121469>
- Heikkinen, T., & Järvinen, A. (2003). The common cold. *The Lancet*, *361*(9351), 51-59. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(03\)12162-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)12162-9)
- Huang, X., Mengersen, K., Milinovich, G., & Hu, W. (2017). Effect of weather variability on seasonal influenza among different age groups in Queensland, Australia: A Bayesian spatiotemporal analysis. *Journal of Infectious Diseases*, *215*(11), 1695-1701. <https://doi.org/10.1093/infdis/jix181>
- Huppert, A., Barnea, O., Katriel, G., Yaari, R., Roll, U., & Stone, L. (2012). Modeling and Statistical Analysis of the Spatio-Temporal Patterns of Seasonal Influenza in Israel. *PLoS ONE*, *7*(10), e45107. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045107>
- Hwang, J.-S., & Chan, C.-C. (2002). Effects of Air Pollution on Daily Clinic Visits for Lower Respiratory Tract Illness. *American Journal of Epidemiology*, *155*(1), 1-10. <https://doi.org/10.1093/aje/155.1.1>
- Iha, Y., Kinjo, T., Parrott, G., Higa, F., Mori, H., & Fujita, J. (2016). Comparative epidemiology of influenza A and B viral infection in a subtropical region: a 7-year surveillance in Okinawa, Japan. *BMC Infectious Diseases*, *16*(1), 650. <https://doi.org/10.1186/s12879-016-1978-0>
- Iwańczak, B. (2015). Zróżnicowanie przestrzenne zagrożenia grypą w Polsce. *Prace i Studia Geograficzne*, *57*, 127-144.

- Jaakkola, K., Saukkoriipi, A., Jokelainen, J., Juvonen, R., Kauppila, J., Vainio, O., Ziegler, T., Rönkkö, E., Jaakkola, J.J.K., Ikäheimo, T.M., & the KIAS-Study Group (2014). Decline in temperature and humidity increases the occurrence of influenza in cold climate. *Environmental Health*, 13(1), 22. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-13-22>
- Jensen, M.M. (1964). Inactivation of Airborne Viruses by Ultraviolet Irradiation. *Applied Microbiology*, 12(5), 418-420. <https://doi.org/10.1128/aem.12.5.418-420.1964>
- Johnson, J.B., & Omland, K.S. (2004). Model selection in ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, 19(2), 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.10.013>
- Korzeniecki, P. (2015). Warunki pogodowe sprzyjające zwiększonej zachorowalności na grypę w województwie mazowieckim (Weather conditions associated with increased occurrence of influenza in the Mazovia Voivodeship in Poland). W: P. Krąż, J. Liro, & M. Liro (red.), *Współczesne problemy i kierunki badawcze w geografii*, 3 (s. 109-122). Kraków: Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ.
- Lessler, J., Reich, N.G., Brookmeyer, R., Perl, T.M., Nelson, K.E., & Cummings, D.A.T. (2009). Incubation periods of acute respiratory viral infections: a systematic review. *The Lancet. Infectious Diseases*, 9(5), 291-300. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(09\)70069-6](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(09)70069-6)
- Li, C.C., Wang, L., Eng, H.L., You, H.L., Chang, L.S., Tang, K.S., Lin, Y.J., Kuo, H.C., Lee, I.K., Liu, J.W., Huang, E.Y., & Yang, K.D. (2010). Correlation of pandemic (H1N1) 2009 viral load with disease severity and prolonged viral shedding in children. *Emerging Infectious Diseases*, 16, 1266-1272. <https://doi.org/10.3201/eid1608.091918>
- Li, Y., Wang, X.L., & Zheng, X. (2018). Impact of weather factors on influenza hospitalization across different age groups in subtropical Hong Kong. *International Journal of Biometeorology*, 62(9), 1615-1624. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1561-z>
- Liu, X.X., Li, Y., Qin, G., Zhu, Y., Li, X., Zhang, J., Zhao, K., Hu, M., Wang, X.L., & Zheng, X. (2019). Effects of air pollutants on occurrences of influenza-like illness and laboratory-confirmed influenza in Hefei, China. *International Journal of Biometeorology*, 63(1), 51-60. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1633-0>
- Lochmiller, R.L., & Deerenberg, C. (2000). Trade-offs in evolutionary immunology: just what is the cost of immunity? *Oikos*, 88(1), 87-98. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.880110.x>
- Lofgren, E., Fefferman, N.H., Naumov, Y.N., Gorski, J., & Naumova, E.N. (2007). Influenza Seasonality: Underlying Causes and Modeling Theories. *Journal of Virology*, 81(11), 5429-5436. <https://doi.org/10.1128/jvi.01680-06>
- Lowen, A.C., Mubareka, S., Steel, J., & Palese, P. (2007). Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS Pathogens*, 3(10), 1470-1476. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.0030151>
- Mäkinen, T.M., Juvonen, R., Jokelainen, J., Harju, T.H., Peitso, A., Bloigu, A., Silvennoinen-Kassinen, S., Leinonen, M., & Hassi, J. (2009). Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections. *Respiratory Medicine*, 103(3), 456-462. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2008.09.011>
- Martineau, A.R., Jolliffe, D.A., Hooper, R.L., Greenberg, L., Aloia, J.F., Bergman, P., Dubnov-Raz, G., Esposito, S., Ganmaa, D., Ginde, A.A., Goodall, E.C., Grant, C.C., Griffiths, C.J., Janssens, W., Laaksi, I., Manaseki-Holland, S., Mauger, D., Murdoch, D.R., Neale, R., & et al. (2017). Vitamin D supplementation to prevent acute respiratory tract infections: Systematic review and meta-analysis of individual participant data. *BMJ (Online)*, 356. <https://doi.org/10.1136/bmj.i6583>
- McDevitt, J., Rudnick, S., First, M., & Spengler, J. (2010). Role of absolute humidity in the inactivation of influenza viruses on stainless steel surfaces at elevated temperatures. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(12), 3943-3947. <https://doi.org/10.1128/AEM.02674-09>

- Meerhoff, T.J., Paget, W.J., Aguilera, J.F., & van der Velden, J. (2004). Harmonising the virological surveillance of influenza in Europe: results of an 18-country survey. *Virus Research*, *103*(1-2), 31-33. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2004.02.009>
- Moorthy, M., Castronovo, D., Abraham, A., Bhattacharyya, S., Gradus, S., Gorski, J., Naumov, Y.N., Fefferman, N.H., & Naumova, E.N. (2012). Deviations in influenza seasonality: Odd coincidence or obscure consequence? *Clinical Microbiology and Infection*, *18*(10), 955-962. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2012.03959.x>
- Mourtzoukou, E.G., & Falagas, M.E. (2007). Exposure to cold and respiratory tract infections. *International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, *11*(9), 938-943.
- Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – PZH. (2019). Choroby zakaźne i zatrucia w Polsce. Biuletyn roczny. Pobrane z: http://wwwold.pzh.gov.pl/oldpage/epimeld/index_p.html (30.03.2020).
- Nastos, P.T., & Matzarakis, A. (2006). Weather impacts on respiratory infections in Athens, Greece. *International Journal of Biometeorology*, *50*(6), 358-369. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0031-1>
- Nelson, M.I., & Holmes, E.C. (2007). The evolution of epidemic influenza. *Nature Reviews Genetics*, *8*(3), 196-205. <https://doi.org/10.1038/nrg2053>
- Peci, A., Winter, A.L., Li, Y., Gnaneshan, S., Liu, J., Mubareka, S., Gubbay, J.B., Humidity, A., & Humidity, R. (2019). Effects of Absolute Humidity, Relative Humidity, Temperature, and Wind Speed on Influenza Activity in Toronto, Ontario, Canada. *Applied and Environmental Microbiology*, *85*(6), 1-13. <https://doi.org/10.1128/AEM.02426-18>
- Pica, N., & Bouvier, N.M. (2012). Environmental factors affecting the transmission of respiratory viruses. *Current Opinion in Virology*, *2*(1), 90-95. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2011.12.003>
- Polozov, I.V., Bezrukov, L., Gawrisch, K., & Zimmerberg, J. (2008). Progressive ordering with decreasing temperature of the phospholipids of influenza virus. *Nature Chemical Biology*, *4*(4), 248-255. <https://doi.org/10.1038/nchembio.77>
- Price, R.H.M., Graham, C., & Ramalingam, S. (2019). Association between viral seasonality and meteorological factors. *Scientific Reports*, *9*(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37481-y>
- Romaszko, J., Skutecki, R., Bocheński, M., Cymes, I., Dragańska, E., Jastrzębski, P., Morocka-Tralle, I., Jalali, R., Jeznach-Steinhagen, A., & Glińska-Lewczuk, K. (2019). Applicability of the universal thermal climate index for predicting the outbreaks of respiratory tract infections: a mathematical modeling approach. *International Journal of Biometeorology*, *63*(9), 1231-1241. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01740-y>
- Roussel, M., Pontier, D., Cohen, J.M., Lina, B., & Fouchet, D. (2016). Quantifying the role of weather on seasonal influenza. *BMC Public Health*, *16*(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3114-x>
- Ruf, B.R., & Knuf, M. (2014). The burden of seasonal and pandemic influenza in infants and children. *European Journal of Pediatrics*, *173*, 265-276. <https://doi.org/10.1007/s00431-013-2023-6>
- Sagripanti, J.-L., & Lytle, C.D. (2007). Inactivation of Influenza Virus by Solar Radiation. *Photochemistry and Photobiology*, *83*(5), 1278-1282. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2007.00177.x>
- Salah, B., Dinh Xuan, A.T., Fouilladieu, J.L., Lockhart, A., & Regnard, J. (1988). Nasal mucociliary transport in healthy subjects is slower when breathing dry air. *European Respiratory Journal*, *1*(9), 846-849.
- Schulman, J.L., & Kilbourne, E.D. (1963). Experimental transmission of influenza virus infection in mice. II. some factors affecting the incidence of transmitted infection. *The Journal of Experimental Medicine*, *118*(2), 267-275. <https://doi.org/10.1084/jem.118.2.267>
- Shaman, J., & Kohn, M. (2009). Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *106*(9), 3243-3248. <https://doi.org/10.1073/pnas.0806852106>

- Shaman, J., Pitzer, V.E., Viboud, C., Grenfell, B.T., & Lipsitch, M. (2010). Absolute humidity and the seasonal onset of influenza in the continental United States. *PLoS Biology*, 8(2), e1000316. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000316>
- Shaw Stewart, P.D. (2016). Seasonality and selective trends in viral acute respiratory tract infections. *Medical Hypotheses*, 86, 104-119. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2015.11.005>
- Shoji, M., Katayama, K., & Sano, K. (2011). Absolute humidity as a deterministic factor affecting seasonal influenza epidemics in Japan. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 224, 251-256. <https://doi.org/10.1620/tjem.224.251>
- Simonsen, L. (1999). The global impact of influenza on morbidity and mortality. *Vaccine*, 17 (Supplement 1), 3-10. [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(99\)00099-7](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(99)00099-7)
- Su, W., Wu, X., Geng, X., Zhao, X., Liu, Q., & Liu, T. (2019). The short-term effects of air pollutants on influenza-like illness in Jinan, China. *BMC Public Health*, 19(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7607-2>
- Sundell, N., Andersson, L.M., Brittain-Long, R., Lindh, M., & Westin, J. (2016). A four year seasonal survey of the relationship between outdoor climate and epidemiology of viral respiratory tract infections in a temperate climate. *Journal of Clinical Virology*, 84, 59-63. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2016.10.005>
- Tamerius, J., Nelson, M.I., Zhou, S.Z., Viboud, C., Miller, M.A., & Alonso, W.J. (2011). Global influenza seasonality: Reconciling patterns across temperate and tropical regions. *Environmental Health Perspectives*, 119(4), 439-445. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002383>
- Tang, J.W., Lai, F.Y.L., Nymadawa, P., Deng, Y.-M., Ratnamohan, M., Petric, M., Loh, T.P., Tee, N.W.S., Dwyer, D.E., Barr, I.G., & Wong, F.Y.W. (2010). Comparison of the incidence of influenza in relation to climate factors during 2000-2007 in five countries. *Journal of Medical Virology*, 82(11), 1958-1965. <https://doi.org/10.1002/jmv.21892>
- Tellier, R. (2006). Review of aerosol transmission of influenza A virus. *Emerging Infectious Diseases*, 12, 1657-1662. <https://doi.org/10.3201/eid1211.060426>
- Urashima, M., Segawa, T., Okazaki, M., Kurihara, M., Wada, Y., & Ida, H. (2010). Randomized trial of vitamin D supplementation to prevent seasonal influenza A in schoolchildren. *American Journal of Clinical Nutrition*, 91(5), 1255-1260. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.29094>
- Valenciano, M., Kissling, E., & I-MOVE Case-Control Study Team. (2013). Early estimates of seasonal influenza vaccine effectiveness in Europe: results from the I-MOVE multicentre case-control study, 2012/13. *Eurosurveillance*, 18(7), 3. <https://doi.org/https://doi.org/10.2807/ese.18.07.20400-en>
- Van Noort, S.P., Águas, R., Ballesteros, S., & Gomes, M.G.M. (2012). The role of weather on the relation between influenza and influenza-like illness. *Journal of Theoretical Biology*, 298, 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2011.12.020>
- Wang, X.L., Yang, L., He, D.H., Chiu, A.P., Chan, K.H., Chan, K.P., Zhou, M., Wong, C.M., Guo, Q., & Hu, W. (2017). Different responses of influenza epidemic to weather factors among Shanghai, Hong Kong, and British Columbia. *International Journal of Biometeorology*, 61(6), 1043-1053. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1284-y>
- Weber, T.P., & Stilianakis, N.I. (2008). Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: A critical review. *Journal of Infection*, 57, 361-373. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2008.08.013>
- WHO. (2020). *Virology of human influenza*. Pobrane z: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/communicable-diseases/influenza/data-and-statistics/virology-of-human-influenza> (26.03.2020).

- Wiemken, T.L., Mattingly, W.A., Furmanek, S.P., Guinn, B.E., English, C.L., Carrico, R.M., Peyrani, P., & Ramirez, J.A. (2017). Impact of Temperature Relative Humidity and Absolute Humidity on the incidence of hospitalizations for lower respiratory tract infections due to influenza, rjinovirus, and respiratory syncytial virus: results from community-acquired pneumonia organization. *University of Louisville Journal of Respiratory Infections*, 1(3), 27-35. <https://doi.org/10.18297/jri/vol1/iss3/7>
- Xiao, H., Tian, H., Lin, X., Gao, L., Dai, X., Zhang, X., Chen, B., Zhao, J., & Xu, J. (2013). Influence of extreme weather and meteorological anomalies on outbreaks of influenza A (H1N1). *Chinese Science Bulletin*, 58(7), 741-749. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5571-7>
- Yaari, R., Katriel, G., Huppert, A., Axelsen, J.B., & Stone, L. (2013). Modelling seasonal influenza: The role of weather and punctuated antigenic drift. *Journal of the Royal Society Interface*, 10(84). <https://doi.org/10.1098/rsif.2013.0298>
- Zambon, M., Stockton, J., Clewley, J., & Fleming, D. (2001). Contribution of influenza and respiratory syncytial virus to community cases of influenza-like illness: an observational study. *The Lancet*, 358(9291), 1410-1416. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(01\)06528-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(01)06528-X)

Summary

This study was designed to explore the impact of meteorological factors (air temperature, relative and absolute humidity, wind, cloudiness and precipitation) on influenza morbidity in four selected big cities in Poland – Cracow, Poznań, Warsaw and Wrocław. Atmospheric data obtained from four meteorological stations spread over six years (2013-2018) were compared to influenza-like illnesses (ILI) reports, obtained from the Voivodship Units of the State Sanitary Inspection for the same locations and period. Data were analysed using Spearman correlation and negative binomial regressions to capture the nonlinear relationship between exposure to environmental conditions and influenza morbidity. Our study found a strong negative association of absolute air humidity with influenza infections (RR = 0.738) and positive relationship with minimal temperature (RR = 1.148). The effect of wind speed, cloudiness and precipitation on ILI was less evident. Proposed model is valid for all age groups in Polish cities, but suits the best to elderly citizens (65+). The model is also appropriate for different seasons, however only absolute humidity, minimal temperature and wind speed are considered significant variables all year round. Furthermore, we observed 6 to 9-days delay between particular adverse weather conditions and ILI morbidity increase, as 1-week lag model proved to have the highest predictive power (AIC = 8644.97). Although meteorological variables have statistically significant contribution to explain influenza morbidity, there are also other non-climatic factors, that can possibly influence the seasonality and complexity of influenza epidemiology in Polish cities.

