ANNA BŁĄŻEJCZYK¹, JAROSŁAW BARANOWSKI²

¹*Bioklimatologia*

Pracownia Bioklimatologii i Ergonomii Środowiskowej

Łukowska 17/55, 04-133 Warszawa

²*Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN*

Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

E-mail: pracownia@bioklimatologia.pl

j.bar@twarda.pan.pl

WPLYW ZMIAN KLIMATU NA ZMIANY ZACHOROWAŃ I ZGONÓW NA CHOROBY KLIMATOZALEŻNE W POLSCE W XXI WIEKU

WPROWADZENIE

Mimo ogromnego postępu medycyny zdrowie, zarówno pojedynczych osób, jak i całych społeczeństw, jest wciąż w znacznym stopniu uzależnione od różnorodnych czynników środowiskowych, w tym atmosferycznych. Oddziaływania te mają charakter bezpośredni i pośredni. Do bezpośrednich zaliczamy oddziaływania na organizm człowieka pojedynczych elementów klimatu i zjawisk pogodowych (KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA i współaut. 2004, BŁĄŻEJCZYK i KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA 2008). Pośrednie oddziaływania klimatu na zdrowie człowieka uwiadamiają się przez postępującą urbanizację, problemy z zaopatrzeniem w wodę pitną oraz choroby i infekcje przenoszone drogą pokarmową i wektorowo (CONFALONIERI i współaut. 2007).

Wskazując pożądane mechanizmy adaptacji do postępujących zmian środowiska życia człowieka należy uwzględnić nie tylko zmiany klimatu, ale także czynniki środowiskowe i społeczno-ekonomiczne oddziałujące na sektor zdrowia (Ryc. 1).

Podejmowane są liczne badania mające na celu określenie, jak obserwowane współcześnie zmiany klimatu mogą wpłynąć na stan zdrowia społeczeństw w poszczególnych krajach i w skali globalnej (HAINES i współaut. 2006; GOSLING i współaut. 2007, 2009; PATERSON i współaut. 2014; EBI 2015). W latach 2009–2012 w ramach projektu KLIMADA powstał dwuczęściowy raport *Ocena skutków możliwych zmian klimatu dla zdrowia człowieka* (BŁĄŻEJCZYK i współaut. 2011,

2012). Wnioski z tych badań posłużyły do opracowania przez Ministerstwo Środowiska w 2013 r. dokumentu *Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030*.

W celu uzupełnienia luk w wiedzy o regionalnym zróżnicowaniu relacji pomiędzy warunkami klimatycznymi a występowaniem chorób klimatozależnych w latach 2012–2015 realizowany był projekt badawczy NCN Nr 2011/01/B/ST10/06972 pt. *Ocena wpływu zmian klimatu na stan zdrowia społeczeństwa w różnych regionach Polski oraz prognoza do roku 2100*. Pełne wyniki projektu zostały opublikowane w książce *Wpływ klimatu na stan zdrowia w Polsce: stan aktualny oraz prognoza do 2100 roku* (BŁĄŻEJCZYK i współaut. 2015) oraz w publikacjach częściowych (BŁĄŻEJCZYK A. i współaut. 2018, BŁĄŻEJCZYK i współaut. 2020). Celem obecnego opracowania jest przedstawienie tej części wyników, które dotyczą prognozy zmian zachorowań na niektóre choroby klimatozależne i zgonów do końca XXI w.

ODDZIAŁYWANIA KLIMATU NA ZDROWIE

Czynniki meteorologiczne i ogólne cechy klimatu danego regionu działają na człowieka jako bodziec, określanany mianem stresu pogodowego (FERS 1995, KALKSTEIN 1998, MCGREGOR 2001, KUCHCIK 2003, KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA i BŁĄŻEJCZYK 2010). Poszczególne

Ryc. 1. Powiązania pomiędzy zmianami klimatu i ich przyczynami a zmianami w ekosystemach, stanem zdrowia i rozwojem socjoekonomicznym (wg MENNE i współaut. 2008, zmieniona).

elementy meteorologiczne w istotny sposób wpływają na procesy fizjologiczne zachodzące w organizmie człowieka. Najsilniejsze oddziaływania mają miejsce w przypadku promieniowania słonecznego, temperatury i wilgotności powietrza, ciśnienia atmosferycznego oraz prędkości wiatru.

Niezależnie od strefy klimatycznej, autorzy licznych badań zwracają uwagę na duży wzrost liczby zgonów i zachorowań podczas fal gorąca (KUCHCIK i BŁAŻEJCZYK 2001; DESAI 2002; DIAZ i współaut. 2006; KUCHCIK 2006, 2017). Ryzyko choroby lub zgonu wzrasta, gdy mamy jednocześnie do czynienia z dużym natężeniem promieniowania słonecznego i wysoką wilgotnością powietrza (MATZARAKIS i MAYER 1991; BŁAŻEJCZYK 2000, 2004; BŁAŻEJCZYK i współaut. 2000; LASCHEWSKI i JENDRITZKY 2002; BŁAŻEJCZYK i MCGREGOR 2007). Dla umiarkowanych i wysokich szerokości geograficznych specyficzne są także komplikacje zdrowotne związane z niskimi wartościami temperatury powietrza,

a szczególnie z falami mrozów (ENG i MERCER 1998, GYLLERUP 1998, KEATINGE i DONALDSON 1998, KUCHCIK 2017).

W przypadku promieniowania słonecznego największe znaczenie dla zdrowia człowieka ma promieniowanie nadfioletowe (UV). Nadmierne dawki tego promieniowania mogą powodować choroby skóry, oczu i zaburzenia układu immunologicznego (LUCAS i współaut. 2006, CONFALONIERI i współaut. 2007, BŁAŻEJCZYK i BŁAŻEJCZYK 2012a). Do najgroźniejszych należy uszkodzenie DNA jądra komórek skóry prowadzące do rozwoju nowotworów skóry, w tym również czerniaka szczególnie groźnego dla życia człowieka (LITYŃSKA i współaut. 2001). Coraz częstszym problemem są także fotoalergie (KIEĆ-ŚWIERCZYŃSKA i KRĘCISZ 2008).

W przypadku bodźców termiczno-wilgotnościowych ważne są obciążenia układu termoregulacyjnego i krwionośnego człowieka. Procesy adaptacji organizmu do różnych i często zmieniających się warunków termicz-

Tabela 1. Oddziaływania środowiskowe i zdrowotne poszczególnych elementów klimatu.

Element klimatu	Miara	Oddziaływanie środowiskowe	Oddziaływanie zdrowotne
promieniowanie słoneczne	wzrost dopływu UV	działanie bakteriobójcze	wzrost zachorowań na nowotwory skóry
	intensywna insolacja	stymulowanie wegetacji roślin	udar słoneczny, wypadki drogowe
temperatura powietrza	fale upałów	wzrost stężeń ozonu troposferycznego	wzrost zgonów, udary cieplne, odwodnienie, astma, zaburzenia krążenia
	fale zimna	wzrost PM10 i SO ₂	wychłodzenie, infekcje układu oddechowego, odmrożenia, urazy, astma
	gorące lata	rozwój kleszczy, zanieczyszczenie wody	zatrucia pokarmowe
	ciepłe zimy	przyspieszenie sezonu pylenia	choroby odkleszczowe
opad atmosferyczny	intensywne opady	powódzie, zanieczyszczenie ujęć wody pitnej, pogorszenie warunków drogowych	nasilenie alergii i astmy, wczesne infekcje kleszczowe
	susze	zapylenie powietrza, alergen roślinne	zatrucia pokarmowe, utonięcia, wypadki drogowe
wiatr	cisze	stagnacja zanieczyszczeń	astma, infekcje układu oddechowego
	silne wiatry	zniszczenia budynków	wypadki śmiertelne, zaburzenia układu nerwowego
ciśnienie atmosferyczne	wartość ciśnienia, zmiany ciśnienia	brak danych	zaburzenia układu nerwowego, zaburzenia układu krążenia

wg BŁAŻEJCZYK i współaut. 2015

nych otoczenia (co jest typowe dla klimatu Polski) powodują znaczne obciążenia tych układów. Obciążenia te zmniejszają efektywność układu odpornościowego, powodując częste zapadanie na choroby infekcyjne prowadząc do różnorodnych dysfunkcji organizmu, a nawet do śmierci. Grupami szczególnie wrażliwymi na wpływ temperatury są osoby starsze i małe dzieci, u których łatwo dochodzi do zaburzeń gospodarki cieplnej organizmu, oraz osoby ze specyficznymi schorzeniami (LAAIDI i współaut. 2006, WHO 2009).

Zmiany w stanie zdrowia człowieka powodowane są także pośrednio przez inne elementy środowiska, kształtowane przez ogólne lub miejscowe warunki klimatyczne. Do tej grupy przyczyn chorób można zaliczyć: urbanizację i związany z nią wzrost zanieczyszczeń powietrza, zaopatrzenie w wodę i jej stan sanitarny, zmiany w populacji i rozmieszczeniu owadów przenoszących choroby. Na przykład, specyfika radiacyjno-termiczna miast sprawia, że w ich centralnych częściach, o wysokiej zabudowie i przewodze powierzchni sztucznych, temperatura odczuwalna jest średnio o około 5°C wyższa niż na obszarach otaczających miasto (BŁAŻEJCZYK i KUNERT 2006, BŁAŻEJCZYK i współaut. 2014). Jednocześnie, miasta cechują

się zwiększonym poziomem zanieczyszczeń powietrza. W badaniach projektu EuroHEAT, które objęły 9 miast europejskich, stwierdzono 10,5% wzrost zgonów w dniach upalnych. Gdy wysokiej temperaturze towarzyszył wysoki poziom ozonu, wzrost liczby zgonów był wyższy aż o około 16%, a gdy podwyższony był poziom pyłu zawieszonego (PM10) wzrost ten wynosił 14% (WHO 2009).

Bezpośrednią przyczyną chorób układu pokarmowego są bakterie, wirusy lub drobnoustroje patogenne znajdujące się w pożywieniu lub wodzie pitnej. Należy podkreślić, że warunki atmosferyczne, a zwłaszcza podwyższona temperatura powietrza, są czynnikiem sprzyjającym rozwojowi lub namnażaniu się patogenów. W Polsce najpowszechniejszą chorobą przenoszoną drogą pokarmową jest salmonelloza, a do zakażeń dochodzi najczęściej w cieplej porze roku (BŁAŻEJCZYK i współaut. 2011, BŁAŻEJCZYK i BŁAŻEJCZYK 2012b).

Do tzw. chorób wektorowych w Polsce należą choroby przenoszone przez kleszcze. Do najczęstszych i najgroźniejszych chorób odkleszczowych należą: kleszczowe zapalenie mózgu (KZM) i borelioza. Wzrost liczby zachorowań na KZM i boreliozę wiąże się z obserwowanymi zmianami w środowisku, w tym zmianami klimatycznymi. Ocieplanie się

klimatu odpowiedzialne jest za wydłużenie okresu żerowania kleszczy, który trwa obecnie od lutego/marca do listopada (LINDGREN i JAENSON 2006).

Zestawienie oddziaływań środowiskowych i zdrowotnych poszczególnych elementów i cech klimatu zawiera Tabela 1.

MATERIAŁY I METODY BADAŃ

W badaniach oparto się na dwóch grupach danych: epidemiologicznych (o zachorowaniach i zgonach z powodu niektórych chorób klimatozależnych) i klimatycznych (o radiacyjnych, termicznych, wilgotnościowych, wiatrowych i opadowych cechach klimatu). Pod pojęciem „choroby klimatozależne” należy rozumieć sytuacje zdrowotne, które są w mniejszym lub większym stopniu zależne od czynników klimatycznych. Największym problemem w badaniu zmienności chorób klimatozależnych jest brak ogólnodostępnych baz danych dotyczących infekcji dróg oddechowych. Ogólnopolskie bazy danych regionalnych dotyczą tylko wybranych chorób (nowotwory, zatrucia, choroby zakaźne). Wykorzystano także ogólnopolską bazę danych o zgonach związanych z zaburzeniami układu krążenia i układu oddechowego.

Ciągi obserwacyjne dotyczące chorób klimatozależnych zostały zaczerpnięte z różnych źródeł: *Roczników Statystycznych Polski*, GUS; raportów Państwowego Zakładu Higieny (PZH) *Choroby zakaźne i zatrucia w Polsce*; z Krajowego Rejestru Nowotworów przy Centrum Onkologii; z bazy danych o umieralności Światowej Organizacji Zdrowia (WHO Mortality Data Base).

Z uwagi na specyfikę informacji epidemiologicznych zestawiono je z wartościami średnimi obszarowymi elementów meteorologicznych. Oparto się na wspólnym dla 26 wytypowanych stacji meteorologicznych okresie 1973-2014, a dane o rozdzielczości do-

bowej zaczerpnięto z serwisu NOAA (dane z satelitów meteorologicznych). Analizie poddano różne charakterystyki klimatyczne.

Prognozy podstawowych elementów klimatu (całkowite promieniowanie słoneczne, temperatura i wilgotność powietrza, prędkość wiatru, opady atmosferyczne) zaczerpnięto z programu METEONORM 7. Program ten wykorzystuje do obliczeń symulacyjnych wiązkę 18 modeli klimatu przygotowaną na potrzeby 4 raportu IPCC (ang. Intergovernmental Panel on Climate Change) (MEEHL i współaut. 2007). Symulacje wykonano dla 40 stacji meteorologicznych w Polsce dla kolejnych dziesięcioleci XXI w., uwzględniając trzy scenariusze emisji CO₂ (ang. Special Report on Emissions Scenarios,

SRES): B1, A1B i A2 (NAKICENOVIC i współaut. 2000). Scenariusz B1 zakłada stosunkowo niewielki wzrost emisji dwutlenku węgla (do 600 ppm w 2100 r.) i wynikający z tego wzrost temperatury powietrza rzędu 1,8°C. Scenariusz A2 opiera się na założeniu, że wzrost emisji CO₂ będzie duży (do 1250 ppm), powodując wzrost temperatury powietrza o 3,4°C. Scenariusz A1B jest określany jako najbardziej prawdopodobny. Zakłada on wzrost emisji dwutlenku węgla do 850 ppm i temperatury powietrza o 2,8°C.

W prognozowaniu zmian stanu zdrowia wykorzystano schemat zaproponowany przez GOSLINGA i współaut. (2009). Składa się on z dwóch etapów (Ryc. 2). W etapie pierwszym poszukiwano modeli statystycznych relacji pomiędzy niezależnymi zmiennymi klimatycznymi a zależnymi zmiennymi dotyczącymi zachorowalności i umieralności. Ten etap badań opiera się na zbiorach danych historycznych. W drugim etapie, korzystając z istniejących projekcji zmian klimatu, dokonano prognozy na przyszłość. Przygotowano w tym celu zestaw niezależnych zmiennych klimatycznych i na podstawie opracowanych

Ryc. 2. Schemat badań dotyczących prognozy zachorowań i zgonów na choroby klimatozależne (wg GOSLINGA i współaut. 2009, zmieniona).

w pierwszym etapie modeli statystycznych obliczono możliwe zmiany zachorowań i zgonów na choroby klimatozależne do końca XXI w. Do obliczenia możliwej liczby zachorowań i zgonów wykorzystano także prognozy dotyczące zmian demograficznych.

WIELOLETNIE ZMIANY CECH KLIMATU W POLSCE

W przedziale 1973-2014 miał miejsce stopniowy wzrost temperatury powietrza, zwłaszcza w okresie letnim, wynoszący $0,043^{\circ}\text{C}/\text{rok}$. W przypadku średniej rocznej słaby trend wyniósł $0,015^{\circ}\text{C}/\text{rok}$. Duża zmienność z roku na rok średniej temperatury miesięcy zimowych sprawia, że nie zaznacza się żaden istotny statystycznie trend zmian. Istotne statystycznie były wzrosty temperatury maksymalnej oraz liczby dni gorących i bardzo gorących. Dla osób starszych, chorych na astmę i osób z zaburzeniami układu krążenia uciążliwe są sytuacje związane z wysoką temperaturą i wilgotnością powietrza. W badanym okresie nastąpił bardzo wyraźny wzrost takich sytuacji, o $0,24$ dnia na każdy rok kalendarzowy.

Obserwowany wzrost temperatury powietrza i częstości dni parnych ma także odzwierciedlenie w zmianach warunków biotermicznych. Do ich scharakteryzowania wykorzystano uniwersalny wskaźnik obciążeń cieplnych (ang. universal thermal climate index, UTCI) (BŁAŻEJCZYK i współaut. 2010) (Tabela 2). W badanym okresie liczba dni z dużym stresem zimna (DSZ) zmniejszała się z około 55 na początku, do około 30 pod koniec okresu. Liczba dni z dużym stresem gorąca (DSC) ma tendencję wzrostową, z 5 do około 10 dni.

Wiatr w istotny sposób wpływa na stan zdrowia. Wiatr silny ($>8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) ma działanie bodźcowe i przyczynia się do nasilenia stresu zimna przy niskiej, a stresu ciepła przy wysokiej temperaturze powietrza. Wiatr słaby ($<1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) sprzyja stagnacji zanieczyszczeń powietrza, co niekorzystnie wpływa na układ oddechowy. W badanym wieloleciu

liczba dni z wiatrem słabym zmniejszała się istotnie o około $0,44$ dnia/rok w miesiącach zimowych i o $0,08$ dnia/rok w miesiącach letnich.

Opady atmosferyczne (ich suma i częstość występowania) wpływają na warunki rozwoju owadów (komary, kleszcze), zwiększając ryzyko tzw. chorób wektorowych. Analiza statystyczna wieloletniej zmienności opadów wykazała słaby trend wzrostowy sum opadów (o $1,1 \text{ mm}/\text{rok}$) i liczby dni z opadem (o $0,25$ dnia/rok).

Na przestrzeni 40 badanych lat z roku na rok zmieniała się także liczba zachorowań i zgonów na choroby klimatozależne. W Europie Środkowej, w tym w Polsce, choroby układu krążenia są główną przyczyną zgonów. W czasie zmian pogody obserwuje się nasilenie objawów choroby niedokrwiennej serca, podwyższenie częstości zawałów mięśnia sercowego i zwiększenie wahań ciśnienia tętniczego krwi. Hospitalizacje chorych z powodu tzw. ostrych zdarzeń kardiologicznych są zdecydowanie częstsze w półroczu chłodnym niż ciepłym. W Polsce roczna liczba zgonów z powodu chorób serca wyraźnie wzrosła w okresie 1973-1993. W ostatnich latach zmiany z roku na rok są niewielkie. Odwrotny przebieg wieloletni mają zgony z powodu chorób układu oddechowego, tzn. spadek do roku 1993, a następnie stopniowy wzrost (BŁAŻEJCZYK i współaut. 2015).

W przypadku rocznej liczby zachorowań na grypę miały miejsce częste zmiany. Zaznaczają się lata ze zwiększoną i zmniejszoną liczbą zachorowań, co wydaje się być związane ze zmianami warunków pogodowych, przy czym zwiększoną liczbę zachorowań obserwuje się od listopada do marca. Zakażenia boreliozą następują najczęściej w miesiącach letnich, co wiąże się z aktywnością biologiczną kleszczy. Rejestry zachorowań obejmują okres po 2003 r. i wykazują wyraźny wzrost.

Bardzo wyraźny, stopniowy wzrost jest także widoczny w przypadku zachorowań na nowotwory skóry, w tym czerniaka. Wiąże się to prawdopodobnie ze stopniowym powiększaniem się tzw. dziury ozonowej, skutkującym zwiększonym dopływem kanцерогенного promieniowania nadfioletowego (BŁAŻEJCZYK i BŁAŻEJCZYK 2012b).

Wpływ warunków termicznych na stan zdrowia i umieralność jest przedmiotem licznych badań w wielu krajach świata. Szczegółowe badania prowadzone w Polsce przez BŁAŻEJCZYKA i współaut. (2015) pokazują, że w dniach, w których wystąpił duży stres ciepła ryzyko zgonu jest większe o 20% niż w dniach z warunkami termoneutralnymi. Analogicznie, w dniach z bardzo dużym i ekstremalnym stresem ciepła ryzyko zgonu

Tabela 2. Kategorie obciążeń cieplnych wg wskaźnika UTCI.

Kategoria obciążeń cieplnych	Zakres	UTCI
Opis	Skrót	($^{\circ}\text{C}$)
Bardzo silny stres zimna	DSZ	< -27
Silny stres zimna		$-27-13$
Umiarkowany stres zimna	USZ	$-13-0$
Mały stres zimna	MSZ	$0-9$
Brak obciążeń cieplnych	0	$9-26$
Umiarkowany stres ciepła	USC	$26-32$
Silny stres ciepła		$32-38$
Bardzo silny stres ciepła	DSC	>38

Tabela 3. Statystyczne modele regresji pomiędzy różnymi zmiennymi klimatycznymi a zachorowalnością i umieralnością na choroby klimatozależne.

Równanie regresji	Średni błąd bezwzględny	Współczynnik determinacji	Poziom ufności (%)
Nowotwory skóry: zachorowania/100 tys.			
$-60,84 + 0,05311 \cdot K_{glob_lato}$	2,83	54,88	95
Borelioza: zachorowania/100 tys.			
$-59,1 + 3,71 \cdot T_{min_sr_XI-III} + 0,046 \cdot Opad_V-IX + 3,25 \cdot T_{max_sr_V-IX}$	5,39	40,96	85
Grypa: zachorowania/100 tys.			
$18178,5 - 1598,87 \cdot T_{sr_zima} + 1807,19 \cdot T_{min_sr_zima} - 1799,69 \cdot T_{max_sr_zima} - 12,26 \cdot T_{max<0_zima}$	2094,56	25,42	95
Zgony z przyczyn układu krążenia/100 tys.			
$325,55 + 4,25 \cdot T_{min<-10} - 1,63 \cdot T_{max>25} - 2,11 \cdot Parno + 12,87 \cdot T_{min_sr-93,29 \cdot T_{max_sr} + 143,88 \cdot T_{sr}}$	49,57	22,79	85
Zgony z przyczyn układu oddechowego/100 000			
$72,06 - 45,03 \cdot T_{sr_zima} + 17,43 \cdot T_{max_sr_zima} - 1,09 \cdot T_{sr} + 21,73 \cdot T_{min_sr_zima} - 0,53 \cdot T_{max<0} + 0,044 \cdot T_{min<-10} + 1,04 \cdot V > 8_zima$	4,26	48,10	95

K_{glob_lato} – suma całkowitego promieniowania słonecznego dla lata, T_{sr} – średnia roczna temperatura powietrza, T_{sr_zima} – średnia temperatura dla okresu XII-II, T_{max_sr} – średnia roczna temperatura maksymalna, $T_{max_sr_V-IX}$ – średnia temperatura maksymalna dla okresu V-IX, $T_{max_sr_zima}$ – średnia temperatura maksymalna dla okresu XII-II, $T_{min_sr_zima}$ – średnia temperatura minimalna dla okresu XII-II, $T_{min_sr_XI-III}$ – średnia temperatura minimalna dla okresu XI-III, $T_{max<0_zima}$ – liczba dni z temperaturą maksymalną $<0^{\circ}\text{C}$ dla okresu XII-II, $T_{max>25}$ – roczna liczba dni z temperaturą maksymalną $>25^{\circ}\text{C}$, $T_{max<0}$ – roczna liczba dni z temperaturą maksymalną $<0^{\circ}\text{C}$, $T_{min<-10}$ – roczna liczba dni z temperaturą minimalną $<-10^{\circ}\text{C}$, $Opad_V-IX$ – suma opadu dla okresu V-IX, $Parno$ – roczna liczba dni parnych, $V > 8_zima$ – liczba dni z prędkością wiatru $>8\text{ m/s}$.

jest większe odpowiednio o 52% i 102%. W odniesieniu do dni ze stresem zimna ma miejsce wzrost ryzyka o: 10% – przy stresie umiarkowanym, 21% – w dniach z dużym stresem zimna, 30% – podczas bardzo dużego stresu zimna i o 34% – w warunkach ekstremalnego stresu zimna.

MIARY ODDZIAŁYWANIA KLIMATU NA CHOROBY KLIMATOZALEŻNE

Wskaźniki ilościowe określające oddziaływanie klimatu na stan zdrowia człowieka można podzielić na dwie grupy: proste i zespolone. Do grupy prostych wskaźników klimatycznych zalicza się podstawowe charakterystyki meteorologiczne (patrz Tabela 1):

- w odniesieniu do promieniowania słonecznego: natężenie promieniowania (w tym promieniowania UV), sumy nasłonecznienia;
- w odniesieniu do warunków termiczno-wilgotnościowych: średnia, maksymalna i minimalna temperatura powietrza, amplituda temperatury, wilgotność względna powietrza i ciśnienie pary wodnej, stany parności;
- w odniesieniu do opadów atmosferycznych: opad maksymalny, sumy opadu, liczba dni z opadem;

- w odniesieniu do wiatru: średnia i maksymalna prędkość, liczba dni z ciszą i wiatrem silnym;

- w odniesieniu do ciśnienia atmosferycznego: ciśnienie niskie i wysokie, zmiany śróddobowe i międzydobowe.

Przeprowadzone badania wykazały, że jedynie w odniesieniu do zachorowań na nowotwory skóry można zastosować prostą miarę klimatyczną, tzn. sumę promieniowania całkowitego w okresie letnim. W przypadku innych chorób klimatozależnych informacje epidemiologiczne wskazują, że na zapadalność ma wpływ złożony zespół charakterystyk klimatu. W celu określenia możliwego oddziaływania klimatu na stan zdrowia społeczeństwa, opracowano zespół 30 wskaźników klimatycznych. Wyniki regresji wielokrotnej pozwoliły na wytypowanie tych wskaźników, które najsilniej wpływały na daną chorobę lub prowadziły do zgonów. Pozwoliło to na opracowanie modeli statystycznych oddziaływania poszczególnych zmiennych klimatycznych na wielkość zachorowań i/lub zgonów na poszczególne choroby klimatozależne (Tabela 3).

Odmienny sposób modelowania zastosowano w przypadku zgonów będących skut-

kiem dużego lub umiarkowanego stresu ciepła i zimna. Przeanalizowano codzienne rejestry zgonów w 9 miastach Polski w latach 1993-2001. Rejestry te zestawiono z codziennymi wartościami wskaźnika UTCI. Codzienne liczby zgonów zaklasyfikowano do poszczególnych kategorii tego wskaźnika, a dla każdej z wyróżnionych kategorii UTCI obliczono średnią liczbę zarejestrowanych zgonów. Liczbę tę odnoszono do liczby mieszkańców danego miasta. Uzyskano w ten sposób dobowy, standaryzowany wskaźnik umieralności na 100 tys. mieszkańców. Szczegółowe algorytmy do wyznaczenia liczby zgonów, które mogą być związane z poszczególnymi kategoriami stresu zimna (ZSZ) i stresu gorąca (ZSC), mają następującą postać:

- dla stresu zimna (USZ+DSZ):

$ZSZ = (2,59 \cdot \text{populacja}/100 \text{ tys.} \times \text{liczba dni z USZ}) + (2,89 \cdot \text{populacja}/100 \text{ tys.} \times \text{liczba dni z DSZ})$,

- dla stresu ciepła (USC+DSC):

$ZSC = (2,58 \cdot \text{populacja}/100 \text{ tys.} \times \text{liczba dni z USC}) + (2,87 \cdot \text{populacja}/100 \text{ tys.} \times \text{liczba dni z DSC})$.

PROGNOZA ZMIAN WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH W POLSCE DO ROKU 2100

Cechą charakterystyczną klimatu jest jego zmienność w czasie. Za przyczynę tych zmian uznaje się dwie grupy czynników: naturalne i antropogeniczne. Na obecnym etapie wiedzy o zmianach klimatu przyjmuje się, że w jego kształtowaniu w przyszłości znaczącą rolę odgrywać będą obie te grupy, ze wskazaniem na czynniki antropogeniczne.

Prognozy zmian średniej rocznej temperatury powietrza wskazują na systematyczny jej wzrost w kolejnych dziesięcioleciach XXI w. Trend taki obserwowany jest we wszystkich trzech scenariuszach SRES, a najwyższe wartości temperatury będą obserwowane w ostatniej dekadzie XXI w. W dekadzie 2021-2030 wartość średniej rocznej temperatury powietrza wyniesie w uwzględnionych scenariuszach od 8,0 do 9,2°C. Największy wzrost średniej rocznej temperatury powietrza w okresie kolejnych siedmiu dekad przewidywany jest w scenariuszu A2 i wyniesie ponad 2,5°C. Najłagodniejszy scenariusz (B1) przewiduje wzrost o 1,1°C, a scenariusz A1B o 2,1°C (Ryc. 3).

Jeszcze bardziej wyraziste zmiany warunków termicznych widoczne są w przypadku temperatury maksymalnej i minimalnej. W kolejnych dekadach największe zmiany przewiduje scenariusz A2, według którego w dekadzie 2091-2100 temperatura maksymalna będzie o 2,6°C wyższa niż obecnie. Najła-

godniejsze zmiany temperatury maksymalnej prognozowane są w scenariuszu B1 i wyniosą one 1,0°C. W przypadku temperatury minimalnej, w XXI w. wzrost może wynieść w skrajnym scenariuszu A2 aż 2,9°C, a w najbardziej łagodnym B1 1,2°C.

Wartości średniej prędkości wiatru w kolejnych dekadach XXI w. nie będą ulegać większym zmianom. Średnia roczna prędkość wiatru wyniesie pod koniec wieku około 3,6 m·s⁻¹. Również w okresie letnim i zimowym, w żadnym ze scenariuszy nie są prognozowane wyraźne zmiany prędkości wiatru.

Zgodnie ze scenariuszem B1 w XXI w. będą wyraźnie wzrastały roczne sumy opadu, od 633 mm w dekadzie 2021-2030 do 645 mm u schyłku stulecia. W scenariuszu A1B, w pierwszych trzech dekadach wieku może nastąpić niewielki wzrost opadów z 632 do 638 mm rocznie, w kolejnych dwu dekadach będą się utrzymywać na poziomie 635 mm, a następnie, aż do końca XXI w., ustabilizują się na poziomie 630 mm. Zupełnie inną prognozę sum opadów atmosferycznych podaje scenariusz A2, według którego będzie następował spadek wielkości opadów począwszy od dekady 2031-2040. Pod koniec stulecia średni opad może wynieść 616 mm, czyli o 30 mm mniej niż w scenariuszu B1.

Wykonane symulacje wskazują, że w kolejnych dziesięcioleciach XXI w. średnie roczne wartości UTCI będą systematycznie wzrastały. W zależności od przyjętego scenariusza, pod koniec obecnego wieku mogą one wzrosnąć do 8,8°C (według scenariusza B1) do 10,6°C (scenariusz A2). Stopniowy wzrost jest także przewidywany w przypadku maksymalnych wartości UTCI, które w ostatniej dekadzie XXI w. osiągną od 41,2°C (scenariusza B1) do 43,6°C (scenariusz A2) (Ryc. 4).

Ryc. 3. Średnie roczne wartości temperatury powietrza w Polsce w kolejnych dekadach XXI w. prognozowane według różnych scenariuszy SRES (A1B, A2, B1) (wg BŁAŻEJCZYK i współaut. 2015, zmieniona).

Ryc. 4. Średnie roczne (UTCI_śr) wartości wskaźnika UTCI w kolejnych dekadach XXI w. w odniesieniu do wartości obserwowanych w latach 1991-2000, prognozowane według różnych scenariuszy SRES (A1B, A2, B1) (wg BŁAŻEJCZYK i współaut. 2015, zmieniona).

Ryc. 5. Standaryzowany wskaźnik zachorowalności na nowotwory skóry w Polsce w kolejnych dekadach XXI w. przewidywana przy uwzględnieniu różnych scenariuszy SRES (A1B, A2, B1) (wg BŁAŻEJCZYK i współaut. 2015, zmieniona).

PROGNOZA ZACHOROWAŃ I ZGONÓW NA CHOROBY KLIMATOZALEŻNE DO ROKU 2100

Równania regresji zamieszczone w Tabeli 3 posłużyły do opracowania prognozy zachorowań i zgonów na choroby klimatozależne do 2100 r. w poszczególnych województwach. Poza standaryzowaną liczbą zachorowań i zgonów (na 100 tys. mieszkańców), obliczono także jakich, wyrażonych w procentach, zmian zapadalności i umieralności należy oczekiwać w różnych okresach XXI w.: w latach 2021-2040, 2051-2070 i 2081-2100.

NOWOTWORY SKÓRY

Liczba zachorowań zwiększy się z około 26 przypadków na 100 tys. mieszkańców, jaki był obserwowany w pierwszej dekadzie XXI w., do blisko 29 przypadków w dekadzie ostatniej. Scenariusz B1 zakłada szybkie tempo wzrostu pomiędzy dekadą 2021-2030 i 2051-2060. Scenariusz A1B zakłada systematyczny wzrost zachorowań do roku 2080, a następnie ich stabilizację. Natomiast scenariusz A2 przyjmuje, że największego tempa wzrostu liczby zachorowań należy się spodziewać w drugiej połowie XXI w. (Ryc. 5). Tak więc, zapadalność na nowotwory skóry zwiększy się od 8,7% (scenariusz B1) do 10% (scenariusze A1B i A2).

W porównaniu ze stanem obecnym największa liczba zachorowań nadal będzie notowana w województwach: opolskim i wielkopolskim. Istotnych zmian, w porównaniu ze stanem współczesnym, należy się spodziewać w województwach: zachodniopomorskim, kujawsko-pomorskim, podkarpackim i dolnośląskim (Ryc. 6).

Ryc. 6. Wskaźniki zachorowalności (na 100 tys. mieszkańców) na nowotwory skóry ogółem prognozowane na lata 2091-2100 przy zastosowaniu różnych scenariuszy SRES (A2, B1 i A1B), na tle zapadalności obserwowanej współcześnie (wg BŁAŻEJCZYK i współaut. 2015, zmieniona).

BORELIOZA

Według scenariuszy A1B i A2 w ostatniej dekadzie XXI w. zapadalność na boreliozę może wzrosnąć do 38-41 przypadków na 100 tys., to oznacza wzrost o 58-68%. Nieco łagodniejszy wzrost zakłada scenariusz B1, w którym na koniec wieku jest prognozowany wzrost zachorowań do około 31 osób na 100 tys. (Ryc. 7).

Nadal najwięcej zachorowań będzie występować w województwach: podlaskim i warmińsko-mazurskim, jednak względny wzrost zapadalności będzie na tych ob-

Ryc. 7. Standaryzowany wskaźnik zachorowalności na boreliozę w Polsce w kolejnych dekadach XXI w. przewidywany przy uwzględnieniu różnych scenariuszy SRES (A1B, A2, B1) (wg BŁAŻEJCZYK i współaut. 2015, zmieniona).

szarach stosunkowo niewielki (od 10 do 38%). Największego wzrostu liczby zachorowań (od 60 do 214%) trzeba natomiast oczekiwać w województwach: wielkopolskim, łódzkim, pomorskim i świętokrzyskim. Większych, od przeciętnego dla całej Polski, wzrostów zachorowań na boreliozę należy się spodziewać także w województwach: zachodniopomorskim, kujawsko-pomorskim, mazowieckim, lubelskim, świętokrzyskim i dolnośląskim (Ryc. 8).

GRYPA

Analizując zachorowania na gripę w odniesieniu do 100 tys. mieszkańców przewiduje się, że w skali Polski wskaźnik zachorowalności będzie się systematycznie obniżał w kolejnych dekadach XXI w. O ile obecnie wynosi on około 2450/100 tys., to w ostatniej dekadzie wieku spadnie do poziomu od 750 (scenariusz A2) do 1840 (scenariusz B1) (Ryc. 9). Tak więc spadek wskaźnika zachorowalności na gripę na koniec XXI w. może się wahać od około 22% do 68%.

Wskaźnik zapadalności na gripę różni się pomiędzy województwami. W scenariuszu A1B zmiany te mogą się wahać od -15% (woj. śląskie) do -96% (woj. lubuskie). W scenariuszu A2 zakres możliwych zmian wynosi od -48% (woj. mazowieckie) do -94% (woj. lubuskie). Najmniejsze zmiany zakłada scenariusz B1: od -4% w Śląskiem, do -72% w Świętokrzyskim (Ryc. 10).

ZGONY Z PRZYCZYN CHOROÓB UKŁADU KRAŻENIA

Klimatycznymi czynnikami stresogennymi, wpływającymi na funkcjonowanie układu krążenia, są niska i wysoka temperatura oraz wysoka wilgotność powietrza. Sce-

Ryc. 8. Wskaźniki zachorowalności (na 100 tys. mieszkańców) na boreliozę prognozowane na lata 2091-2100, przy zastosowaniu różnych scenariuszy SRES (A2, B1 i A1B), na tle zapadalności obserwowanej współcześnie (wg BŁAŻEJCZYK i współaut. 2015, zmieniona).

Ryc. 9. Standaryzowany wskaźnik zachorowalności na gripę w Polsce w kolejnych dekadach XXI w. przewidywany przy uwzględnieniu różnych scenariuszy SRES (A1B, A2, B1) (wg BŁAŻEJCZYK i współaut. 2015, zmieniona).

nariusze SRES zakładają wzrost wskaźnika umieralności. Według scenariuszy A1B i A2 wzrośnie on z około 346 (na przełomie XX i XXI w.) do około 360 zgonów na 100 tys. mieszkańców w ostatnich dekadach XXI w. Scenariusz B2 zakłada łagodniejszy wzrost do około 355 na koniec wieku (Ryc. 11). W wartościach względnych oznacza to wzrost ryzyka zgonu rzędu 3-4%.

W zdecydowanej większości województw tendencje zmian wskaźnika umieralności z powodu chorób układu krążenia są zgodne z tendencją średnią dla Polski. Jednak

Ryc. 10. Wskaźniki zachorowalności (na 100 tys. mieszkańców) na grype prognozowane dla lat 2091-2100, przy zastosowaniu różnych scenariuszy SRES (A2, B1 i A1B) na tle zapadalności obserwowanej współcześnie (wg BŁĄŻEJCZYK i współaut. 2015, zmieniona).

Ryc. 12. Umieralność (na 100 tys. mieszkańców) z powodu chorób układu krążenia prognozowana na lata 2091-2100 przy zastosowaniu różnych scenariuszy SRES (A2, B1 i A1B) (wg BŁĄŻEJCZYK i współaut. 2015, zmieniona).

Ryc. 11. Standaryzowany wskaźnik umieralności z powodu dysfunkcji układu krążenia w Polsce w kolejnych dekadach XXI w. przewidywana przy uwzględnieniu różnych scenariuszy SRES (A1B, A2, B1) (wg BŁĄŻEJCZYK i współaut. 2015, zmieniona).

dla województwa opolskiego scenariusze zakładają nie wzrost, a spadek wskaźnika umieralności od 1,5% do 7,6%. Część scenariuszy przewiduje także nieznaczny spadek wskaźnika w województwach: dolnośląskim, śląskim, małopolskim i podkarpackim. Znacznie większy niż średnio w Polsce wzrost wskaźnika umieralności z powodu chorób układu krążenia (od 3 do 11%) scenariusze SRES zakładają w województwach: zachodniopomorskim (o 4-8%), pomorskim,

Ryc. 13. Przewidywana roczna liczba zgonów spowodowanych stresem ciepła w kolejnych dekadach XXI w. według różnych scenariuszy SRES (A1B, A2, B1) (wg BŁĄŻEJCZYK i współaut. 2015, zmieniona).

lubuskim, wielkopolskim i kujawsko-pomorskim (Ryc. 12).

ZGONY SPOWODOWANE STRESEM CIEPŁA

Średnio, liczba zgonów spowodowanych stresem ciepła będzie wyraźnie wzrastała. Największy wzrost zakłada scenariusz A2, z obecnych 28 tys. osób, do blisko 75 tys. rocznie w ostatniej dekadzie XXI w. Scenariusz A1B przewiduje wzrost do około 63 tys., a scenariusz B1 – do 35,5 tys. rocznie (Ryc. 13). W wartościach względnych wzrost

Ryc. 14. Liczba zgonów spowodowanych stresem ciepła (ZSC) prognozowana na lata 2091-2100 przy zastosowaniu różnych scenariuszy SRES (A2, B1 i A1B) (wg BŁAŻEJCZYK i współaut. 2015, zmieniona).

ten może zatem wynieść od 137% (B1) do 277% (A2).

Największego względnego wzrostu zgonów wywołanych stresem ciepła, rzędu 180-460%, można oczekiwać w województwie śląskim. Wyższe od średniej krajowej wzrosty liczby zgonów są zakładane także w województwach: kujawsko-pomorskim, łódzkim i dolnośląskim. Z kolei najmniejsze wzrosty są przewidywane w zachodniopomorskim i wielkopolskim (Ryc. 14).

Biorąc pod uwagę obserwowane współcześnie i przewidywane do końca XXI w. zmiany klimatu stwierdzono, że w kolejnych dekadach wieku ryzyko zachorowań i/lub zgonów (na 100 tys. mieszkańców) będzie się istotnie zmieniało. Tabela 4 zawiera zestawienie obliczonych tendencji zmian wybra-

Tabela 4. Przewidywane zmiany wskaźników zachorowalności i umieralności na choroby klimatozależne w Polsce dla okresu 2081-2100.

Wskaźnik zdrowotny	Trend	Pewność szacunków
umieralność z przyczyn układu krążenia	wzrost 3-4%	umiarkowana
umieralność z przyczyn układu oddechowego	spadek 7-17%	duża
zachorowalność na nowotwory skóry	wzrost 9-10%	duża
zgon z powodu stresu ciepła	wzrost 137-277%	duża
zgon z powodu stresu zimna	spadek 64-74%	duża
zachorowalność na grype	spadek 23-50%	umiarkowana
zachorowalność na boreliozę	wzrost 22-68%	duża

wg Błażejczyk i współaut. 2015

nych wskaźników zdrowotnych. Największy wzrost, rzędu 137-277%, jest spodziewany w przypadku liczby zgonów spowodowanych stresem ciepła. O 22-68% może także wzrosnąć ryzyko zakażenia boreliozą, a o 9-10% wzrośnie ryzyko zachorowania na nowotwory skóry. W wyniku postępujących zmian klimatu zmniejszy się natomiast ryzyko zgonu z przyczyn infekcji grypowych (o 23-68%) i zgonów spowodowanych skutkami zdrowotnymi dużego stresu zimna (o 64-74%).

PROPOZYCJE DZIAŁAŃ ADAPTACYJNYCH SYSTEMU OCHRONY ZDROWIA

Pożądane działania adaptacyjne można podzielić na dwie grupy: działania doraźne i długofalowe.

Działania doraźne to:

- wyposażenie placówek służby zdrowia w podstawowy sprzęt klimatyzacyjny w celu łagodzenia stresu gorąca;
- zapewnienie odpowiedniej liczby przeszkolonego personelu medycznego do pomocy poszkodowanym przez zdarzenia pogodowe (w tym stres ciepła i stres zimna);
- odpowiednie zabezpieczenie placówek służby zdrowia w sezonowe środki zaopatrzenia medycznego, np. kompresy chłodzące i rozgrzewające, opatrunki hydrożelowe, koce termiczne, unieruchomienia (szyny, deski ortopedyczne), środki na oparzenia słoneczne, kołdry chłodzące, worki z lodem, chłodne płyny, defibrylatory;
- właściwe zabezpieczenie stanowisk pracy narażonych na działanie czynników atmosferycznych przed ich negatywnymi skutkami.

Działania długofalowe:

- szkolenia personelu medycznego w kierunku poprawy diagnostyki i leczenia chorób klimatozależnych oraz przygotowanie i opracowanie programu kształcenia w zakresie wpływu czynników klimatycznych i zanieczyszczeń środowiska na zdrowie;

- zwiększenie liczby laboratoriów diagnostycznych pozwalających na wczesne wykrywanie chorób odkleszczowych;
- modernizacja laboratoriów i placówek diagnostycznych pozwalających na wczesne wykrywanie problemów kardiologicznych;
- poprawa infrastruktury technicznej obiektów służby zdrowia (w tym wykonanie termoizolacji) w celu dostosowania do częstszych i intensywniejszych fal gorąca;
- rozbudowa systemu monitorowania jakości powietrza i kontrola wdrażanych programów naprawczych;
- prowadzenie systematycznego monitoringu i stworzenie interaktywnego systemu rejestrowania i statystyki występowania chorób klimatyzależnych;
- zapewnienie środków na prowadzenie naukowych badań epidemiologicznych i klimatyczno-fizjologicznych w celu lepszego poznania mechanizmów reakcji człowieka na bodźce klimatyczne;
- stworzenie efektywnego systemu profilaktyki zdrowotnej (badania okresowe, zachowanie w warunkach ekstremalnych zjawisk pogodowych, pierwsza pomoc przedmedyczna w takich sytuacjach).

Streszczenie

Klimat i jego zmiany wpływają na stan zdrowia pojedynczych osób i całych społeczeństw. Problemy zdrowotne wywoływane czynnikami klimatycznymi są określane jako choroby klimatozależne. W Polsce należą do nich infekcje dróg oddechowych, grypa, nowotwory skóry, borelioza i kleszczowe zapalenie mózgu, salmonelloza, problemy krążeniowe oraz zaburzenia układu termoregulacyjnego spowodowane stresem gorąca lub stresem zimna. Na podstawie danych epidemiologicznych i klimatycznych za lata 1973-2014 opracowano modele statystyczne wpływu różnych cech klimatu na choroby klimatozależne. W drugim etapie badań dokonano, na podstawie tych modeli, prognozy zachorowań i zgonów na choroby klimatozależne w kolejnych dekadach XXI w. Stwierdzono istotne statystycznie wzrosty takich chorób jak: nowotwory skóry, borelioza czy zgony z przyczyn kardiologicznych i związane ze stresem gorąca. Trendy spadkowe wykazują natomiast infekcje grypowe i zgony z powodu chorób układu oddechowego.

LITERATURA

- BŁĄŻEJCZYK A., BŁĄŻEJCZYK K., BARANOWSKI J., KUCHCIK M., 2018. *Heat stress mortality and desired adaptation responses of healthcare system in Poland*. Int. J. Biometeorol. 62, 307-318.
- BŁĄŻEJCZYK K., 2000. *Influence of extremal heat waves on man*. Instytut Geografii UJ, Prace Geograficzne, 108, 101-108.
- BŁĄŻEJCZYK K., 2004. *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*. Prace Geograficzne IGiPZ PAN, 192.
- BŁĄŻEJCZYK K., KUNERT A., 2006. *Differentiation of bioclimatic conditions of urban areas (the case of Poland)*. [W:] 6th International Conference on Urban Climate, June 12-16, 2006, Göteborg, Sweden, Preprints, 213-216.
- BŁĄŻEJCZYK K., MCGREGOR G., 2007. *Warunki biotermiczne a umieralność w wybranych aglomeracjach europejskich*. Przegląd Geograficzny 79, 401-423.
- BŁĄŻEJCZYK K., KOZŁOWSKA-SZCZESNA T., 2008. *Klimat a zdrowie*. Kosmos 57, 269-280.
- BŁĄŻEJCZYK K., BŁĄŻEJCZYK A., 2012a. *Changes in UV radiation intensity and their possible impact on skin cancer in Poland*. Geographia Polonica 85, 57-64.
- BŁĄŻEJCZYK K., BŁĄŻEJCZYK A., 2012b. *Środowiskowe i klimatyczne uwarunkowania zatruc pokarmowych – stan aktualny i prognoza do roku 2100*. [W:] *Cywilizacja a środowisko – wyzwania i dylematy*. KANTOWICZ E., ROGĘ-WISNIEWSKA M. (red.). Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW, 55-65.
- BŁĄŻEJCZYK K., BARANOWSKI J., PISARCZYK S., SZPOT M., 2000. *Influence of the human heat balance on respiratory and circulatory diseases*. [W:] *Biometeorology and urban climatology at the turn of millennium*. DE DEAR R. J., KALMA J. D., OKE T. R., AULICIEMS A. (red.). Selected papers from the Conference ICB-ICUC'99 (Sydney, 8-12 Nov. 1999). World Meteorological Organization, Geneva, 107-111.
- BŁĄŻEJCZYK K., BRÓDE P., FIALA D., HAVENITH G., HOLMÉR I., JENDRITZKY G., KAMPMANN B., 2010. *UTCI – Nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka*. Przegląd Geograficzny 82, 49-71.
- BŁĄŻEJCZYK K., PIOTROWICZ K., KUCHCIK M., MYSZKOWSKA D., SKOTAK K., KUNERT A., IDZIKOWSKA D., 2011. *Ocena skutków możliwych zmian klimatu dla zdrowia człowieka, cz. 1. Raport dla Instytutu Ochrony Środowiska - PIB w ramach projektu „Opracowanie i wdrożenie Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu - KLIMADA”*.
- BŁĄŻEJCZYK K., SKOTAK K., BŁĄŻEJCZYK A., PIOTROWICZ K., MYSZKOWSKA D., SZMYD J., 2012. *Ocena skutków możliwych zmian klimatu dla zdrowia człowieka, cz. 2. Raport dla Instytutu Ochrony Środowiska - PIB w ramach projektu „Opracowanie i wdrożenie Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu - KLIMADA”*.
- BŁĄŻEJCZYK K., BŁĄŻEJCZYK A., BARANOWSKI J., 2014. *Wieloletnia zmienność niektórych chorób klimatozależnych w Polsce i jej związek z warunkami klimatycznymi*. Prace i Studia Geograficzne 56, 37-65.
- BŁĄŻEJCZYK K., BARANOWSKI J., BŁĄŻEJCZYK A., 2015. *Wpływ klimatu na stan zdrowia w Polsce: stan aktualny oraz prognoza do 2100 roku*. Wyd. Akademickie SEDNO.
- BŁĄŻEJCZYK K., BŁĄŻEJCZYK A., BARANOWSKI J., KUCHCIK M., 2020. *Assessment of mortality risk in Poland due to cold and heat stress and predictions to 2100*. J. Climate Change Res. 1, 67-75.
- CONFALONIERI U., MENNE B., AKHTAR R., EBI K.L., HAUENGUE M., KOVATS R. S., REVICH B., WOODWARD A., 2007. *Human health*. [W:] *Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. PARRY M. L., CANZIANI O. F., PALUTIKOF J.P., VAN DER LINDEN P. J., HANSON C. E. (red.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 391-431.
- DESSAI S., 2002. *Heat stress and mortality in Lisbon. Part I. Model construction and validation*. Int. J. Biometeorol. 47, 6-12.

- DIAZ J., LINARES C., TOBIAS A., 2006. *Impact of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain) among the 45-64 age-group*. Int. J. Biometeorol. 50, 342-348.
- EBI K., 2015. *Health in the new scenarios for climate change research*. Int. J. Environ. Res. Publ. Health 11, 30-46.
- ENG H., MERCER J., 1998. *Seasonal variations in mortality caused by cardiovascular diseases in Norway and Ireland*. J. Cardiovasc. Risk 5, 89-95.
- FERS J. P., 1995. *Crises d'épilepsie et facteurs météorologiques dans le Finistère (Epilepsy crises and meteorological facts in Finistere)*. Climat et Santé 13, 57-74.
- GOSLING S. N., MCGREGOR G. R., PALDY A., 2007. *Climate change and heat related mortality in six cities Part 1: model construction and validation*. Int. J. Biometeorol. 51, 525-540.
- GOSLING S. N., MCGREGOR G. R., LOWE J. A., 2009. *Climate change and heat-related mortality in six cities Part 2: climate model evaluation and projected impacts from changes in the mean and variability of temperature with climate change*. Int. J. Biometeorol. 53, 1-51.
- GYLLERUP S., 1998. *Cold climate and regional variation in coronary mortality in Sweden*. [w:] *Problems with cold work*. HOLMÉR I., KUKLANE K. (red.). Arbete och hälsa, 18, 197-200.
- HAINES A., KOVATS R. S., CAMPBELL-LENDRUM D., CORVALAN C., 2006. *Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health*. Publ. Health 120, 585-596.
- KALKSTEIN L. S., 1998. *Climate and human mortality: relationships and mitigating measures*. Adv. Bioclimatol. 5, 161-177.
- KEATINGE W. R., DONALDSON G. C., 1998. *Differences in cold exposures associated with excess winter mortality*. [W:] *Problems with cold work*. HOLMÉR I., KUKLANE K. (red.). Arbete och hälsa, 18, 210-215.
- KIEĆ-SWIERCZYŃSKA M., KRĘCISZ B., 2008. *Fotoalergia*. [w:] *Alergologia zawodowa*. PAŁCZYŃSKI C., KIEĆ-SWIERCZYŃSKA M., WALUSIAK J. (red.). Oficyna Wydawnicza Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź, 51-161.
- KOZŁOWSKA-SZCZESNA T., BŁAŻEJCZYK K., 2010. *Wpływ środowiska atmosferycznego na społeczeństwo jako przedmiot badań biometeorologii społecznej*. Przegląd Geograficzny 82, 5-48.
- KOZŁOWSKA-SZCZESNA T., KRAWCZYK B., KUCHCIK M., 2004. *Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka*. IGI PZ PAN, Monografie 4, Warszawa.
- KUCHCIK M., 2003. *Topoclimatic conditions at various urban structures in Warsaw*. Acta Universitatis Wratislaviensis, 2542, Studia Geograficzne 75, 505-514.
- KUCHCIK M., 2006. *Fale upałów w Polsce w latach 1993-2002*, Przegląd Geograficzny, 78, 3, 397-412.
- KUCHCIK M., 2017. *Zmiany warunków termicznych w Polsce na przełomie XX i XXI wieku i ich wpływ na umieralność*. Prace Geograficzne IGI PZ, 263.
- KUCHCIK M., BŁAŻEJCZYK K., 2001. *Wpływ warunków pogodowych na zachorowalność i umieralność mieszkańców Warszawy*. [W:] *Badania środowiska fizycznogeograficznego w aglomeracji warszawskiej*. KRAWCZYK B., WĘCŁAWOWICZ G. (red.). Prace Geograficzne 180, 71-87.
- LAAIDI M., LAAIDI K., BESANCENOT J.-P., 2006. *Temperature-related mortality in France, a comparison between regions with different climates from the perspective of global warming*. Int. J. Biometeorol. 51, 145-153.
- LASCHEWSKI G., JENDRITZKY G., 2002. *Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany*. Climate Res. 21, 91-103.
- LINDGREN E., JAENSON T., 2006. *Lyme boreliosis in Europe: influences of climate and climate change, epidemiology, ecology and adaptation measures*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- LITYŃSKA Z., ŁAPETA B., WOLSKA H., 2001. *Index UV a człowiek*. IMGW, Warszawa.
- LUCAS R., MCMICHAEL T., SMITH W., ARMSTRONG B., 2006. *Solar ultraviolet radiation, global burden of disease from solar ultraviolet radiation, environmental burden of disease series, No. 13*. WHO, Public Health and the Environment, Geneva.
- MATZARAKIS A., MAYER H., 1991. *The extreme heat wave in Athens in July 1987 from the point of view of human biometeorology*. Atmosph. Environ. 25B, 203-211.
- MCGREGOR G. R., 2001. *The meteorological sensitivity of ischaemic heart disease mortality events in Birmingham, UK*. Int. J. Biometeorol. 45, 133-142.
- MEEHL G. A., STOCKER T. F., COLLINS W. D., FRIEDLINGSTEIN P., GAYE A. T., GREGORY J. M., KITO A., KNUTTI R., MURPHY J. M., NODA A., RAPER S. C. B., WATTERSON I. G., WEAVER A. J., ZHAO Z. C., 2007. *Global climate projections*. [W:] *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. SOLOMON S., QIN D., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS M., AVERYT K. B., TIGNOR M., MILLER H. L. (red.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 747-846.
- MENNE B., APFEL F., KOVATS S., RACIOPPI F., 2008. *Protecting health in Europe from climate change*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- NAKICENOVIC N., ALCAMO J., DAVIS G., DE VRIES B., FENHANN J., GAFFIN S., GREGORY K., GRIBLER A., JUNG T.Y., KRAM T., LA ROVERE E. L., MICHAELIS L., MORI S., MORITA T., PEPPER W., PITCHER H., PRICE L., RIAHI K., ROEHL A., ROGNER H.-H., SANKOVSKI A., SCHLESINGER M., SHUKLA P., SMITH S., SWART R., VAN ROOIJEN S., VICTOR N., DADI TODEA D. A., 2000. *Special report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- PATERSON J., BERRY P., EBI K., VARANGU L., 2014. *Health care facilities resilient to climate change impacts*. Int. J. Environ. Res. Publ. Health 11, 13097-13116.
- WHO, 2009. *Improving public health responses to extreme weather/heat-waves – EuroHEAT*. Technical report, 2009, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.

KOSMOS Vol. 70, 4, 597–610, 2021

ANNA BŁAŻEJCZYK¹, JAROSŁAW BARANOWSKI²

¹*Bioklimatologia, Laboratory of Bioclimatology and Environmental Ergonomics, 17/55 Łukowska Str., 04-133 Warszawa, ²Institute of Geography and Spatial Organization PAS, 51/55 Twarda Str., 00-818 Warszawa, E-mail: pracownia@bioklimatologia.pl, j.bar@twarda.pan.pl*

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGES ON FLUCTUATIONS OF MORBIDITY AND MORTALITY DUE TO CLIMATE
RELATED DISEASES IN POLAND IN 21ST CENTURY

Summary

Climate and its changes influence health status of individuals and societies. Health problems involved by climatic factors are called as climate related diseases (CRD). In Poland the most frequent CRD are: infections of respiratory tracts, influenza, skin cancers, Lyme boreliosis, salmonellosis, circulatory dysfunctions as well as dysfunctions of thermoregulatory system due to heat and cold stress. Epidemiological and climate data from the years 1973-2014 were the basis for statistical models of climate impacts on CRD. These models were applied to prediction of CRD mortality and morbidity in consecutive decades of 21st century. We have found statistically significant increase of skin cancer and Lyme boreliosis morbidity as well as mortality due to circulatory and heat stress dysfunctions. However, decreasing trends were found for influenza infections and mortality due to respiratory problems.

Key words: climate change, climate related diseases, climate change predictions, morbidity predictions, Poland