



**Krajowy Ośrodek
Zmian Klimatu**
Instytut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy

Projekt badawczy

„Związek między zmianą klimatu a chorobami zakaźnymi”



Spis treści

Wstęp	2
Opis projektu	3
Cele projektu	3
Podjęte działania	3
Uczestnicy	4
Klimat i choroby	5
Wpływ zmian warunków środowiskowych na patogeny	5
Wpływ bezpośredni	6
Wpływ zmian warunków środowiska na wektory (pośredni).....	7
Wpływ na ekosystemy.....	14
Choroby przenoszone przez wektory w Polsce.....	17
Najważniejsze wnioski	17
Co możemy zrobić?	18
Źródła	20

Wstęp



W świecie dotkniętym pandemią COVID-19 temat chorób zakaźnych staje się coraz bardziej istotny. Mamy problem nie tylko z nowymi, wciąż mutującymi wirusami, ale także z rozprzestrzenianiem się mikroorganizmów w miejscach, w których dotąd nie występowały – wynika to ze zmieniającego się klimatu. Skutkuje to występowaniem niezaobserwowanych dotąd w danych terenach chorób zakaźnych. Podjęliśmy w Krajowym Ośrodku Zmian Klimatu próbę interdyscyplinarnego podejścia do tego tematu. Głos naukowców z całego świata, reprezentujących różne dziedziny – medycynę, zdrowie publiczne, mikrobiologię, klimatologię czy ekologię – pozwoli lepiej zrozumieć powiązania między zmianą klimatu a chorobami zakaźnymi oraz, co szczególnie ważne, poznać sposoby na radzenie sobie z migracją chorobotwórczych mikrobów. Chcemy, aby nasz projekt badawczy pomógł popularyzować wiedzę na ten temat w Polsce i służył w przygotowaniu naszego kraju na różne scenariusze zdarzeń wynikających ze spowodowanych zmianą klimatu migracji chorób zakaźnych.

Alicja Piekarz

*p.o. Kierownika Zakładu Społeczno-Ekonomicznych Skutków Zmian Klimatu,
Krajowy Ośrodek Zmian Klimatu*



Opis projektu

Projekt „Związek między zmianą klimatu a chorobami zakaźnymi” zrealizowany przez Krajowy Ośrodek Zmian Klimatu to pierwsze w Polsce podejście do problemu wpływu globalnego ocieplenia na rozprzestrzenianie się chorób zakaźnych. Jego bazą są opinie międzynarodowych ekspertów różnych dziedzin nauk, m. in. medycyny, zdrowia publicznego, mikrobiologii, klimatologii i ekologii. Spojrzenie z tych wielu perspektyw oraz analiza źródeł naukowych pozwoliły na lepsze zrozumienie mechanizmów stojących za zagrożeniem, z którym w przyszłości przyjdzie nam się mierzyć.

Cele projektu

- Ocena wagi wpływu zmiany klimatu na rozprzestrzenianie się chorób zakaźnych
- Sformułowanie wniosków z opinii ekspertów
- Rozpowszechnienie uzyskanej wiedzy poprzez publikację raportu

Podjęte działania

- Analiza dostępnej literatury naukowej
- Przeprowadzenie wywiadów jakościowych z ekspertami
- Analiza pozyskanego materiału i sformułowanie wniosków
- Przygotowanie artykułu popularyzującego wnioski z badania
- Przygotowanie raportu popularyzującego wnioski z badania

Uczestnicy

Dr Aneta Afelt, Espace-DEV Institut de recherche pour le développement, Francja

Prof. A. Alonso Aguirre, George Mason University, Stany Zjednoczone

Dr John Balbus, National Institute of Environmental Health Sciences, Stany Zjednoczone

Prof. Walter A. P. Boeger, Universidade Federal do Paraná, Brazylia

Prof. Daniel R. Brooks, University of Toronto, Kanada

Prof. David O. Carpenter, University at Albany, Stany Zjednoczone

Prof. Andrew Dobson, Princeton University, Stany Zjednoczone

Prof. Stephen Higgs, Kansas State University, Stany Zjednoczone

Prof. Paul Hunter, University of East Anglia, Wielka Brytania

Dr Renata Matuszewska, Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy, Polska

Prof. Mirosław Miętus, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Polska

Prof. Jonathan Alan Patz, director of Global Health Institute, University of Wisconsin – Madison, Stany Zjednoczone

Prof. Xavier Rodó, Barcelona Institute for Global Health, Hiszpania

Prof. Jason Rohr, University of Notre Dame, Stany Zjednoczone

Dr Nick Watts, Chief Sustainability Officer NHS (National Health Service), Wielka Brytania

Podczas wywiadów jakościowych z ekspertami skupiono się na następujących zagadnieniach:

- Związki między zmianą klimatu a rozprzestrzenianiem się chorób zakaźnych
- Jak te powiązania zmieniały się w przeszłości?
- W jaki sposób zmiana klimatu może zwiększyć lub zmniejszyć zagrożenie chorobami zakaźnymi wśród ludzi?
- Możliwe powiązania między zmianami klimatu a początkami trwającej pandemii COVID-19
- Jakie działania można podjąć w sprawie wpływu zmian klimatycznych na rozprzestrzenianie się chorób zakaźnych?

Klimat i choroby

Zmiany klimatu wpływają na rozprzestrzenianie się chorób zakaźnych w sposób pośredni lub bezpośredni. Ten pierwszy polega np. na przesuwaniu się geograficznych barier czynników chorobotwórczych (patogenów) z powodu ocieplania się klimatu i nasilenia występowania gwałtownych zjawisk pogodowych (powodzie, huragany, susze itp.). Efekt działania tych czynników jest najlepiej widoczny, ponieważ są one w stanie bezpośrednio wpłynąć na same patogeny i wektory chorób zakaźnych. Nie można jednak pominąć pośredniego wpływu zmiany klimatu na rozprzestrzenianie się chorób zakaźnych poprzez zmianę ludzkich zachowań, wynikających z reakcji na nowe warunki pogodowe i środowiskowe. Powodują one w dalszych skutkach zaburzenia ekosystemów, prowadzące do wystąpienia warunków ułatwiających przenoszenie istniejących i rozwój nowych chorób. Ludzie sami stwarzają szansę na rozprzestrzenianie się chorób, ale zmiana klimatu powoduje także zmianę barier ekologicznych (np. ocieplenie lub stworzenie chłodniejszych warunków umożliwiających rozprzestrzenianie się gatunków, poprzez zmniejszenie lub zwiększenie poziomu oceanów). Wynika z tego, że związek zmiany klimatu i rozprzestrzeniania się chorób zakaźnych można przedstawić od strony chorób lub od strony ekosystemu [Orłowska et al. 2021], a wpływ ten na same choroby może być bezpośredni lub pośredni.

Wpływ zmian warunków środowiskowych na patogeny

Istnieje ograniczony zakres warunków klimatycznych, w których mogą przetrwać i rozmnażać się zarówno patogeny jak i organizmy wektorowe. Patogeny to czynniki chorobotwórcze - w tym przypadku mikroorganizmy, czyli wirusy i bakterie, natomiast wektory to organizmy przenoszące je na kolejnych gospodarzy. Zmiany temperatury, opadów czy zasolenia wód w sposób bezpośredni oddziałują na te organizmy powodując zmiany w ich zasięgu geograficznym.

Wiemy, że zmiana klimatu powoduje przyspieszenie procesu topnienia polarnych czap lodowych Arktyki i Antarktyki, a w miarę jak lód topnieje w coraz szybszym tempie, gwałtownie spada także poziom zasolenia mórz i oceanów. Znamy wiele przypadków, gdy zmieniający się skład chemiczny i właściwości fizyczne wody w morzach i oceanach i jej rosnąca temperatura pozwoliły nie tylko na pojawienie się zupełnie nowych patogenów, ale też na migracje gatunków, które dotychczas żyły w izolacji i nie miały ze sobą kontaktu. Przez zmianę temperatury wody gatunki te mają ze sobą styczność, co z kolei ułatwia transmisję nowego patogenu z jednego gatunku na drugi i jego adaptację do nowego gospodarza – A. Alonso Aguirre

Także same mikroorganizmy chorobotwórcze mogą być podatne na warunki pogodowe. Widoczne jest to na przykładzie grypy, wykazującej sezonowość. W klimacie umiarkowanym najwięcej zachorowań na grypę przypada na jesień i zimę. Jest to skutek zachowania ludzi, ale wpływ na to ma również wrażliwość wirusa grypy na temperaturę i wilgotność powietrza – jako wirus przenoszony drogą kropelkową, łatwiej rozprzestrzenia się on w warunkach niższej temperatury i niższej wilgotności powietrza. Przenoszenie patogenów między poszczególnymi nosicielami jest ułatwione także przez różnicę warunków termicznych i wilgotnościowych na zewnątrz i w pomieszczeniach [Duszyński et al. 2020]. Wirusy obecne w atmosferze

mogą być też wrażliwe na działanie promieni UV [Lowen, Steel 2014]. Dzięki swojemu krótkiemu cyklowi życiowemu i szybkiej przemianie pokoleń, mikroorganizmy są w stanie szybko przystosować się do nowych warunków.

Naszym zmartwieniem powinny być te gatunki bakterii i wirusów, które „zyskują na” globalnym ociepleniu. Główny problem polega na tym, że choć wszystkie gatunki na planecie: zarówno wirusy, bakterie, jak i niedźwiedzie polarne, czy wieloryby szare – w procesie ewolucji przystosowały się do życia w różnych warunkach klimatycznych i potrafią reagować na zmiany klimatu, to w przypadku niedźwiedzi polarnych, czy wielorybów, ale także ludzi reakcja ta jest znacznie wolniejsza niż w przypadku bakterii [...] Bakterie i wirusy mają znacznie szybszą przemianę pokoleniową, mierzoną w godzinach lub nawet w minutach – Andrew Dobson

Wpływ bezpośredni

Skutkiem bezpośredniego wpływu zmian klimatu jest zmiana zasięgu występowania i czasowego wzorca aktywności patogenu, czyli obszaru i czasu w którym może on powodować zachorowania.

Taką sytuację może ilustrować przykład bakterii z rodzaju *Vibrio* wywołujących u ludzi zapalenie żołądka i jelit, zakażenia ran, posocznicę i cholereę (*Vibrio cholerae*). Gatunki *Vibrio* występują w słonawych wodach morskich, a na przypadki infekcji wpływa zasolenie powierzchni morza, temperatura powierzchni morza i stężenie chlorofilu. Na podstawie zasolenia i temperatury powierzchni morza oceniono potencjał wybrzeża Bałtyku i północno-wschodniego wybrzeża USA dla rozwoju tych bakterii. W stosunku do początku lat 80-tych XX wieku, obszar wybrzeża zapewniający warunki odpowiednie dla *Vibrio*, wzrósł o 31% na wybrzeżu Bałtyku i 29 proc. na północno-wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych, a liczba dni w roku zapewniających takie warunki w Bałtyku wzrosła dwukrotnie. W roku 2018 wynosiła 107 i była najwyższa w historii [Watts et al. 2019].

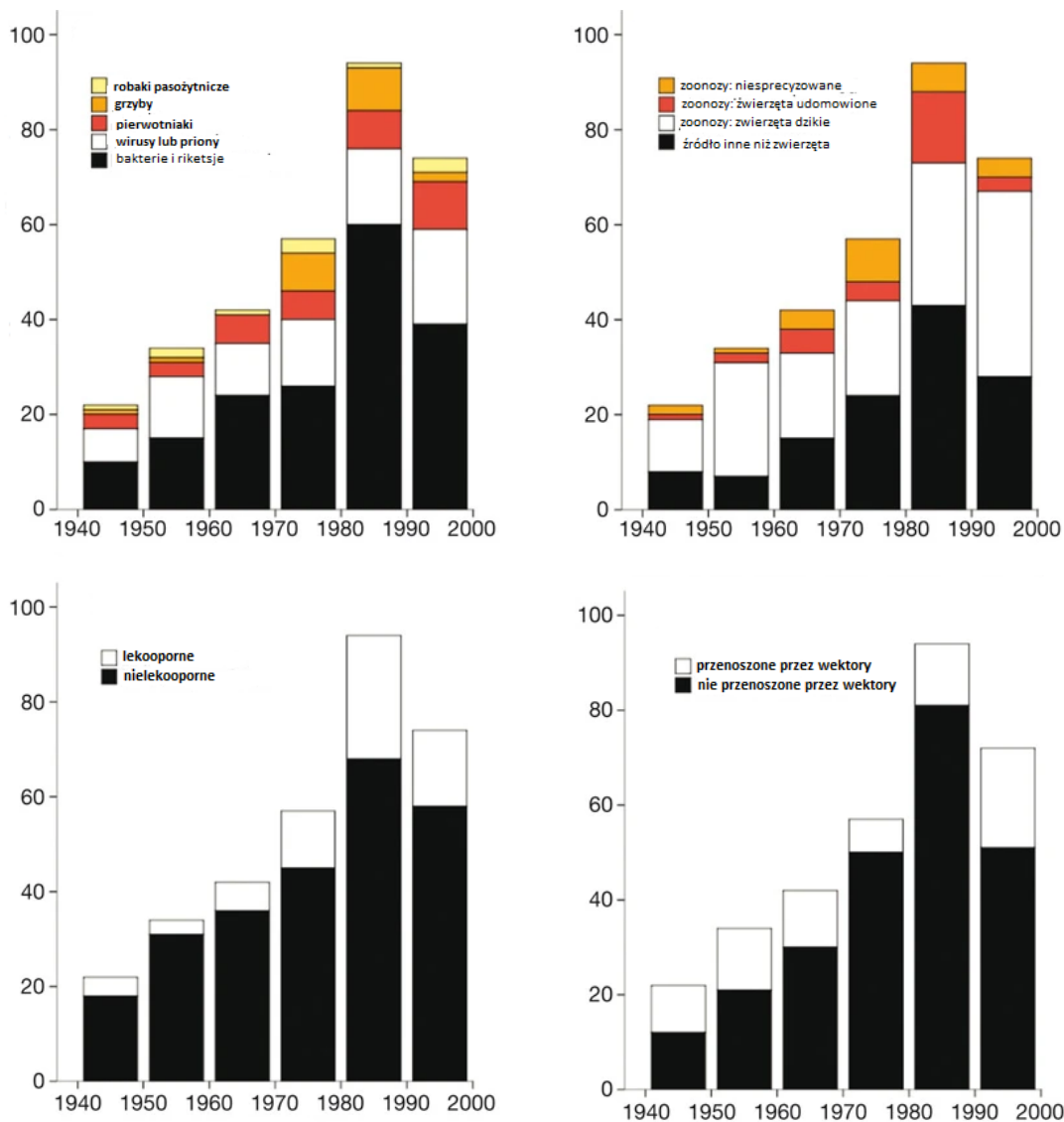
W regionach umiarkowanych transmisja wirusa grypy zależy silnie od wilgotności bezwzględnej i temperatury. Jednak sposób oddziaływania tych czynników środowiskowych na wirusa pozostaje niejasny, i może obejmować wiele efektów działających na poziomie gospodarza, wirusa i kropli oddechowych [Lowen, Steel 2014]. Niska wilgotność powietrza sprzyja rozprzestrzenieniu się wirusa grypy. Przy wilgotności względnej otoczenia 80% typowa cząstka oddechowa może pozostać w powietrzu zaledwie do 1 godziny, natomiast gdy wilgotność spadnie do 20%, ta sama cząstka może pozostać w powietrzu przez ponad 24 godziny. Inaczej mówiąc, kiedy powietrze jest suche, duże krople częściowo odparowują, tworząc mniejsze, lżejsze krople, które z większym prawdopodobieństwem pozostaną w powietrzu przez dłuższy czas [Weber, Stilianakis 2008]. W klimacie umiarkowanym, nagły spadek temperatury zewnętrznej może aktywować sezonową epidemię grypy ułatwiając rozprzestrzenianie się aerozolu w suchym powietrzu [Sundell et al. 2016].

Warto przy tym pamiętać o ścisłej zależności wilgotności od temperatury. Im wyższa temperatura powietrza, tym więcej pary wodnej może się w nim znajdować. Ciepłejsze i bardziej wilgotne warunki mogą zmniejszyć żywotność i zasięg rozprzestrzeniania się wirusów drogą kropelkową. Biorąc pod uwagę prognozy dla przyszłego klimatu wydaje się, że wzrost wilgotności spowodowany temperaturą w klimacie umiarkowanym może prowadzić do przesunięcia epidemii sezonowych na północ, gdzie jest chłodniej i sucho [Baker et al. 2019]. Na dzień dzisiejszy nie wiadomo jeszcze czy zmiana klimatu będzie skutkować bardziej czy mniej poważnymi epidemiami grypy [Singh et al. 2020].

Podobnie zależna od warunków klimatycznych okazuje się być *kampylobakterioza*, bakteryjna choroba biegunkowa. Bakterie występują u zwierząt takich jak drób, bydło, świnie, dzikie ptaki i dzikie ssaki. Najczęstszym sposobem zarażenia jest spożywanie skażonej żywności (głównie drobiu) lub wody. Inne czynniki ryzyka obejmują pływanie w naturalnych wodach powierzchniowych i bezpośredni kontakt z zakażonymi zwierzętami [European Centre for Disease Prevention and Control 2021a]. Oszacowano wpływ zmian klimatu na przyszłe zakażenia kampylobakteriozą w Danii, Finlandii, Norwegii i Szwecji. Częstość występowania tej bakterii jest związana ze wzrostem temperatury, a zwłaszcza opadów w tygodniu poprzedzającym zachorowanie, co sugeruje drogę transmisji nieżywnościowej. Te cztery kraje mogą doświadczyć podwojenia liczby zakażeń przed końcem 2080 roku, co odpowiada około 6000 nadmiernych przypadków rocznie spowodowanych wyłącznie zmianami klimatycznymi [Gaardbo Kuhn et al. 2020].

Wpływ zmian warunków środowiska na wektory (pośredni)

Pośredni wpływ środowiska na rozprzestrzenianie się chorób zakaźnych odbywa się przez wektory. Są to najczęściej muchy, komary, wszy i kleszcze czyli zwierzęta zmiennocieplne, a zatem, szczególnie wrażliwe na czynniki klimatyczne. Klimat wpływa na ich przeżycie i tempo reprodukcji, czyli na rozmieszczenie i liczebność siedlisk; wskaźniki rozwoju, przeżycia i reprodukcji patogenów w wektorach oraz intensywność i czasowy wzorzec aktywności (szczególnie częstość gryzienia) w ciągu roku. „*Pojawiające się Choroby Zakaźne*”- PCZ to infekcje, których częstość występowania u ludzi wzrosła w ciągu ostatnich dwudziestu lat lub grozi wzrostem w najbliższej przyszłości. W latach 1940 – 2004 choroby przenoszone przez wektory odpowiadały za 22,8% przypadków PCZ, przy czym w dekadzie 1990 - 2000 było to 28,8% , co wskazuje na rosnące znaczenie chorób wektorowych wśród PCZ [Jones et al. 2008].



Rysunek 1. Formy rozprzestrzeniania się chorób zakaźnych na świecie w podziale na dekady.

Jones, K., Patel, N., Levy, M. et al. *Global trends in emerging infectious diseases. Nature* 451, 990–993 (2008).

<https://doi.org/10.1038/nature06536>

Jeden gatunek komara może przenosić wiele różnych patogenów, np. *Aedes aegypti* i *Aedes albopictus* przenoszą m. in. chikungunę, dengę i gorączkę powodowaną przez wirus Zika – choroby, które wykazują związaną z ociepleniem klimatu zmiany w charakterystyce występowania. Jak zauważył Becker: „Żadne inne zwierzę na planecie nie ma tak decydującego negatywnego wpływu na losy ludzkości, jak komary zdolne do przenoszenia wirusów” [Becker 2008].

Są choroby, których wirusy oraz wektory żyją w warunkach klimatu ciepłego i klimatu wilgotnego bądź suchego. Dzisiaj nazywamy je głównie chorobami tropikalnymi. Wraz z ociepleniem, przesunięciem się ku wyższym szerokościom geograficznym strefy tropikalnej te choroby mogą migrować, chociażby w przypadku malarii czy dengi - wraz z komarami, które odpowiadają za przenoszenie tej choroby – Mirosław Miętus

Komary są wrażliwe na temperaturę, która wpływa na tempo ich rozwoju, ale ich liczebność jest determinowana przede wszystkim wielkością opadów - komary do rozmnażania się wymagają wilgotnego środowiska.

Malaria wywołwana przez zarodźca (*Plasmodium*) przenoszonego przez komary z rodzaju *Anopheles* (widliszek) to choroba tropikalna – w roku 2018 93% przypadków malarii miało miejsce w regionie afrykańskim [World Health Organization 2020b]. Jednak do końca XIX wieku endemiczne epizody malarii nie były rzadkością również w Europie, zwłaszcza w Niemczech. Obecnie w Niemczech nadal występują wszystkie komary zdolne do wywoływania malarii (sześć gatunków *Anopheles*), jednak dzięki pojawieniu się leku na malarię (chininy) oraz działalności człowieka (obniżenie wód gruntowych) rodzima malaria w Europie zniknęła. Obecnie pasożyty malarii są najczęściej importowane do Europy przez turystów z tropików, infekcje są szybko leczone i pasożyty nie są dalej przenoszone. Jednak z powodu globalnego ocieplenia wraz ze wzrostem temperatur w Europie rosną obawy o nawrót malarii [Becker 2008]. Szczególnie, że wraz z ociepleniem klimatu przydatność klimatu dla malarii zmienia się. Tę przydatność oblicza się na podstawie temperatury, opadów i wilgotności – czynników mających wpływ na liczebność i cykl żywieniowy *Anopheles*. Obecnie na obszarach górskich Afryki (≥ 1500 metrów n.p.m.), przydatność klimatu dla malarii wciąż rośnie ze średnią 29,9% w latach 2012–2017 w stosunku do lat 50. XX wieku [Watts et al. 2019].

Gorączka denga to wirusowa choroba zakaźna, odmiana gorączki krwotocznej (obok żółtej febry i eboli). Szacuje się, że każdego roku występuje od 100 do 400 milionów infekcji w Azji, Ameryce Środkowej i Południowej, Afryce i Australii [World Health Organization 2020a]. Od 1990 r. co dekadę liczba przypadków dengi podwaja się. Oprócz globalnej mobilności, jednym z potencjalnych czynników powodujących tak gwałtowny wzrost zachorowań są zmiany klimatyczne [Hales et al. 2002]. Kiedyś gorączka denga stanowiła poważne zagrożenie w południowej Europie np. w 1928 roku zachorowało na nią około 650 tys. mieszkańców Aten i Pireusu [Halstead, Papaevangelou 1980]. Obecnie klimat środkowej Europy nie jest optymalny dla jej patogenu, jednak wzrost temperatury i zwiększona mobilność populacji znacząco sprzyjają występowaniu epidemii tego arbowirusa [Becker 2008]. Głównymi wektorami dengi są komary *Aedes aegypti* i *Aedes albopictus*.

Stopień zagrożenia wynikającego z tego jak szybko i łatwo rozprzestrzenia się dana choroba można określić z pomocą tzw. „pojemności wektorowej”. Jest to średnia dzienna częstość kolejnych przypadków, w podatnej populacji, wynikającej z pojedynczego zakażenia – czyli ile kolejnych zakażeń wywoła jedno pojedyncze zakażenie. Obecnie pojemność wektorowa dengi w porównaniu ze średnią z lat 1950 - 1954 rośnie (7,2% dla *A. aegypti* i 9,8% dla *A. albopictus*). Co więcej, 9 z 10 najbardziej odpowiednich lat wystąpiło po 2000 roku. Zatem zdolność przenoszenia chorób wzrosła zarówno w przypadku dengi jak i malarii [Watts et al. 2019].

Chikungunya to choroba wirusowa przenoszona przez komary *A. aegypti* i *A. albopictus*, występująca głównie w Afryce, Azji i na subkontynencie indyjskim. Jednak poważny wybuch epidemii w 2015 roku dotknął także kilku krajów obu Ameryk. Chikungunya nie występuje endemicznie w Europie, większość przypadków to zakażenia podróżni. Niemniej *A. albopictus* jest obecny w południowej i środkowej części Unii Europejskiej i wciąż się rozprzestrzenia. Daje to niebezpieczną mieszankę – bo gdy warunki środowiskowe

(np. z powodu zmian klimatu) okazałyby się sprzyjające, to na obszarach występowania *A. albopictus* przywleczone z zewnątrz przypadki wirerii mogłyby spowodować lokalną transmisję wirusa [European Centre for Disease Prevention and Control 2020]. Nie jest to niemożliwe, na co wskazują wydarzenia z roku 2007 we włoskim regionie Emilia-Romania. Odnotowano tam ponad 250 przypadków gorączki chikungunya [Angelini et al. 2007]. Z kolei w latach 2010, 2014 i 2017 we Francji również pojawiły się przypadki zachorowań, wirusy zostały przywleczone z Indii i Afryki. Natomiast w 2017 r. w regionie Lazio we Włoszech potwierdzono 270 infekcji przywiezionym z Azji wirusem chikungunya [European Centre for Disease Prevention and Control 2020].

Biorąc pod uwagę prawdopodobne scenariusze zmian klimatycznych zidentyfikowano obszary, na których warunki klimatyczne mogą być odpowiednie do przenoszenia wirusa chikungunya. Przewiduje się wzrost tego ryzyka dla Europy Zachodniej (np. Francji i krajów Beneluksu) w pierwszej połowie XXI wieku, a od połowy stulecia dla środkowych części Europy (np. Niemcy), natomiast do końca XXI wieku najwyższe ryzyko przenoszenia przewiduje się dla Francji, północnych Włoch i Europy Środkowo-Wschodniej [Fischer et al. 2013].

Żółta febra to choroba wirusowa przenoszona przez komary z rodzaju *Aedes* i *Haemagogus*. Czterdzieści siedem krajów w Afryce oraz Ameryce Środkowej i Południowej jest endemicznych dla żółtej febrы, albo ma regiony endemiczne dla żółtej febrы. Żółta febra jest chorobą o dużym wpływie i wysokim stopniu zagrożenia, która może się rozprzestrzeniać na całym świecie i stanowi potencjalne zagrożenie dla globalnego bezpieczeństwa zdrowotnego [World Health Organization 2019]. Przekonujących argumentów o istotnym wpływie ocieplenia klimatu na aktywność komarów-wektorów dostarczają analizy historycznych epidemii żółtej febrы (9 epidemii w latach 1793 – 1878) w południowej części Stanów Zjednoczonych. Wektor *Aedes aegypti* to owad miejski, rozmnaża się w małych zbiornikach wodnych takich jak rynny, fontanny, beczki itp. Funkcjonuje w zakresie temperatur 20°- 39°C. Poniżej 0°C i gdy temperatura przekracza 41°C dorosłe osobniki giną - komar nie przeżywa zimy, więc cykl zostaje przerwany. Badania wykazały wzrost aktywności gryzienia komarów ze wzrostem wilgotności względnej z 60% do 96%. Autorzy zwrócili uwagę na wyjątkowo intensywny epizod El Niño w sezonie 1877-78, zatem poprzedzający epidemię (El Niño to zjawisko pogodowe i oceaniczne, polegające na utrzymywaniu się ponadprzeciętnie wysokiej temperatury na powierzchni wody w strefie równikowej Pacyfiku). W środkowych i południowych Stanach Zjednoczonych po pojawieniu się El Niño zima jest łagodna, wiosna przychodzi wcześniej, lato jest ciepłe i wilgotne – co może bardzo przyczynić się do zwiększenia populacji komarów i wzrostu ich aktywności w okresie letnim. Następuje również przedłużenie aktywnego sezonu komarów późną wiosną i wczesną jesienią [Diaz, McCabe 1999]. Ocieplenie klimatu w południowych Stanach Zjednoczonych wynikające ze zjawiska El Niño, niosące za sobą wybuchy epidemii żółtej febrы ma charakter przejściowy. Nie powoduje długofalowo zmiany klimatu, ponieważ na zmianę z El Niño występują warunki neutralne oraz La Niña (przeciwieństwo zjawiska El Niño). Jednak ten schemat doskonale obrazuje wpływ ocieplenia na występowanie i rozwój ognisk zakaźnych chorób wektorowych - z tą jednak różnicą, że ocieplenie klimatu jest stałe i nieodwracalne.

Na przykładzie zjawiska El Niño możemy już teraz zobaczyć, jak może wyglądać sytuacja w przyszłości. El Niño przynosi warunki pogodowe, które odbiegają od typowych dla konkretnej pory roku na danym obszarze. (...) Mogą to być na przykład ekstremalnie wysokie temperatury lub (ekstremalnie wysokie) opady. Patrząc na te krótkotrwałe zmiany pogody, możemy zaobserwować efekty El Niño, jak przypadki gorączki denga, czy wybuch cholery w Peru. Widzimy, że wiele chorób występuje w ścisłym związku z tym zjawiskiem, dlatego można użyć El Niño jako pewnego prognostyku tego, co nas czeka w przyszłości i na jego przykładzie wyciągnąć wiele wniosków – Jonathan Alan Patz

Gorączka wywoływana przez wirus Zika występuje głównie w regionach tropikalnych i subtropikalnych. Wektorami tego wirusa są komary z rodzaju *Aedes*, głównie *Aedes aegypti*. Infekcja wirusem Zika jest niebezpieczna w czasie ciąży, może powodować szereg wad rozwojowych i powikłań, z poronieniem włącznie. Obecnie nie ma dostępnej szczepionki przeciw temu wirusowi [World Health Organization 2018].

W latach 2015-2016 w Brazylii doszło do dwóch fal zakażeń wirusem Zika [de Oliveira et al. 2017], natomiast od grudnia 2019 do lutego 2020 roku zidentyfikowano 579 nowych podejrzeń przypadków zakażenia [Casas and Human Rights Watch 2020]. Mimo iż przenoszenie wirusa wykryto prawie wyłącznie w tropikach, dystrybucja głównych wektorów sięga w regiony o klimacie umiarkowanym. Okazuje się, że dwa popularne gatunki komarów klimatów umiarkowanych, *Aedes albopictus* i *Aedes detritus* (*Ochlerotatus detritus*) były kompetentne dla wirusa Zika. Oszacowano mapy ryzyka transmisji wirusa poza obecnie obserwowany zakres w południowych stanach USA, południowych Chinach i południowych krajach Europy. W przyszłych scenariuszach klimatycznych symuluje się wzrost ryzyka transmisji w Europie południowej i wschodniej, północnych Stanach Zjednoczonych i umiarkowanych regionach Azji (północne Chiny, południowa Japonia) [Blagrove et al. 2020]. W południowo-wschodniej Francji 1 października 2019 roku potwierdzono pierwszy przypadek **lokalnie nabytej** (czyli takiej, która nie została przywieziona z zagranicy przez turystów) choroby wirusa Zika. Natomiast 21 października zgłoszono drugi przypadek, w bliskim sąsiedztwie pierwszego, co wzmacnia hipotezę o transmisji wektorowej za pośrednictwem występującego na tym terenie *A. albopictus*. Jest to zarazem pierwszy udokumentowany przypadek transmisji wirusa Zika w Europie. Na szczęście warunki środowiskowe (ze względu na jesienne ochłodzenie) nie sprzyjają obecnie ciągłemu przenoszeniu [European Centre for Disease Prevention and Control 2019].

Podsumowując, rozszerzenie zasięgu dwóch kluczowych wektorów *Aedes aegypti* i *Aedes albopictus* spowodowało powiększenie populacji zagrożonej roznoszonymi przez te komary chorobami – dengą, żółtą febrą, chikunguną oraz Ziką. Niesie to ryzyko epidemii tych chorób w europejskich miastach. W związku z tym globalny nadzór i podejmowane wysiłki w celu złagodzenia ryzyka rozprzestrzeniania się tych wirusów muszą uwzględniać efekty niestąbnącego rozprzestrzeniania się wektorów-komarów [Kraemer et al. 2019].

Gorączka doliny Rift - RVF (Rift Valley Fever) to choroba wirusowa przenoszona przez komary, najczęściej z rodzaju *Aedes* i *Culex* a także *Anopheles* i *Mansonia* w zależności od regionu. Choroba występuje głównie w Afryce Subsaharyjskiej u zwierząt domowych oraz u ludzi. Przenoszenie się z osoby na osobę nie zostało udokumentowane [Centers for Disease Control and Prevention 2021c, 2021b]. Ogniska RVF są najczęściej związane z latami niezwykle obfitych opadów i powodzi, ponieważ pozwalają one wykluczyć więcej komarów rozprzestrzeniających chorobę [Centers for Disease Control and Prevention 2021b].

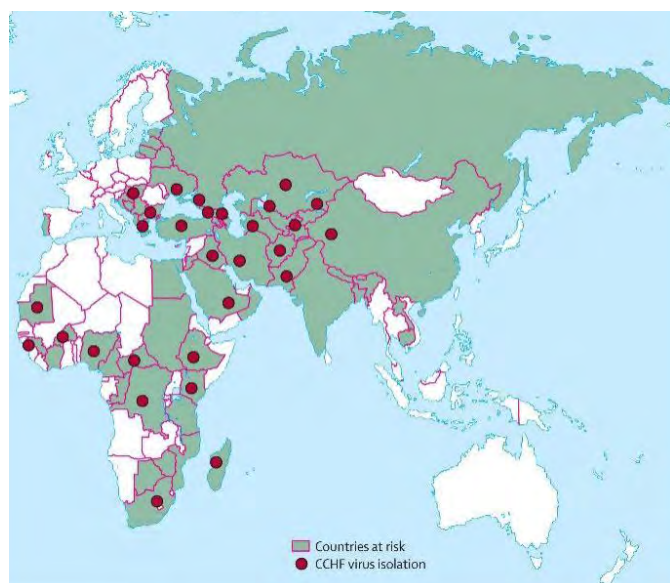
Nie obserwowano zachorowań zwierząt i ludzi poza Afryką (głównie Wschodnią i Południową) aż do 1977 roku, kiedy RVF pojawiła się na w północnej części kontynentu – w Egipcie. Od tego momentu pojawiło się zagrożenie rozprzestrzenienia choroby na kraje europejskie [Gliński 2019]. Zachorowania owiec i ludzi zdiagnozowano w Rumunii i Monako w 1996 r., we Włoszech w 1998 r., w Rosji w 1999 r. oraz w Izraelu i Francji w 2000 r. W roku 2000 RFV wystąpiła na Półwyspie Arabskim, a w 2003 r. notowano przypadki zachorowań ludzi w USA [Gliński, Kostro 2009]. Rozprzestrzenianiu choroby sprzyja zarówno globalizacja handlu zwierzętami, jak migracje zwierząt oraz przesunięcia granicy występowania wektorów wirusa RVF na północ. Transmisja choroby w Europie jest ściśle uzależniona od obecności zwierząt wrażliwych na zakażenie oraz siedlisk komarów-wektorów wirusa RVF. Okazało się, że europejskie rasy owiec są wrażliwe na zakażenie. Spośród 50 gatunków komarów, które mogą przenieść wirus RVF w Europie występują *Culex pipiens* i komar tygrysi *Aedes albopictus*. Obecność tego ostatniego stwierdzono w Albanii, Grecji, Chorwacji, we Francji, w Monako, Czarnogórze, we Włoszech, w Słowenii i Hiszpanii [Gliński 2019]. Ocieplenie klimatu może przyczynić się do zasiedlenia przez *Aedes albopictus* nowych terenów leżących na północy Europy [Roiz et al. 2011].

Gorączka Zachodniego Nilu jest wirusową zoonozą czyli chorobą zwierząt, infekuje przede wszystkim dzikie, wędrowne ptaki różnych gatunków, natomiast ssaki są żywicielami raczej przypadkowymi. Wektorami wirusa są żywiące się krwią muchówki (między innymi komary *Culicidae*), rzadko kleszcze. Dzikie ptaki zarażają się na zimowiskach w Afryce, następnie importują patogen do Europy. Jeśli obecność wirusów mogących się namnażać we krwi ptaków jest wysoka, patogen może być przenoszony na ludzi przez komary. Główną rolę w przenoszeniu zakażeń na ludzi odgrywają komary z rodzaju *Culex*, *Anopheles* czy *Culiseta*, które często plagowo występują w regionach zurbanizowanych [Samorek-Salamonowicz, Niczyporuk, Wijaszka 2008].

W latach 1996 i 1997 w Rumunii, w okolicach Bukaresztu około 400 osób zostało zarażonych wirusem gorączki Zachodniego Nilu, a 31 osób zmarło. Rozszerzenie zasięgu tego wirusa było początkowo ograniczone do Afryki, Azji, południowej Francji, Europy Wschodniej, Rumunii i Izraela. W 1999 roku pierwsze infekcje wirusowe odnotowano w Nowym Jorku w USA. W krótkim czasie wirus rozprzestrzenił się na cały kontynent północnoamerykański. W 2003 roku prawie wszystkie stany w USA zostały dotknięte chorobą i prawie 10 000 osób zostało zarażonych, z czego 264 zmarło [Becker 2008; Centers for Disease Control and Prevention 2003]. W ciągu ostatnich kilku lat coroczne ogniska Gorączki Zachodniego Nilu miały miejsce w wielu innych miejscach, co stanowi dowód ciągłej transmisji. Obecnie jest to najbardziej rozpowszechniony, spośród przenoszonych przez stawonogi, wirus na świecie. Temperatura otoczenia, wielkość opadów atmosferycznych oraz różnice w ekologii i wrażliwości gatunku komara mają wpływ na transmisję wirusa. Przewidywane jest również przedłużenie sezonu transmisyjnego. Ponieważ modele pokazują, że oczekuje się kontynuacji obecnych trendów zmian klimatycznych, ważne jest, aby wzmocnić kontrolę wirusa i zwiększyć odporność populacji. **Aby zapewnić wyższą gotowość na sytuacje epidemiczne, każda ocena przyszłego przenoszenia wirusa powinna uwzględniać wpływ zmieniającego się klimatu** [Paz 2019].

Dla rozprzestrzeniania się niektórych chorób przenoszonych przez wektory kluczowe jest spełnienie pewnych warunków w cyklu życia tych wektorów takich, jak m.in. czas. Na przykład, rozprzestrzenianie się wirusa Zachodniego Nilu jest silnie skorelowane z migracją jego gospodarzy, czyli ptaków, w poszukiwaniu pożywienia, która z kolei zależy od poziomu opadów i temperatury. Jest to bardzo skomplikowany system powiązanych ze sobą czynników. Brak migracji ptaków lub przesunięcie jej w czasie w związku z czynnikami klimatycznymi może w niektórych przypadkach powodować wygaśnięcie choroby lub wręcz przeciwnie – zwiększenie liczby zachorowań, zmiany w gatunkach mogą również przyczyniać się do mutacji. To wszystko jest dość złożone. Myślę więc, że nadal istnieje ogromna niepewność co do tego, jak zmiana klimatu wpłynie na choroby zależne od wielu czynników, takie jak wirus Zachodniego Nilu – John Balbus

Krymsko-kongijska gorączka krwotoczna to jedna z najpoważniejszych odzwierzęcych chorób wirusowych, które występują u ludzi. Jej wirus utrzymuje się w naturze poprzez przenoszenie przez kleszcze z rodziny *Ixodidae*. Za główne wektory przenoszące wirusa na ludzi oraz dzikie i domowe zwierzęta, uważa się jednak kleszcze z rodzaju *Hyalomma*.



Rysunek 2. Rozmieszczenie wirusa krymsko-kongijskiej gorączki krwotocznej [Ergönül 2006]

Choroba występuje w Europie Wschodniej, szczególnie w byłym Związku Radzieckim, w całym regionie Morza Śródziemnego, w północno-zachodnich Chinach, Azji Środkowej, Europie Południowej, Afryce, na Bliskim Wschodzie i na subkontynencie indyjskim [Belobo et al. 2021; Centers for Disease Control and Prevention 2021a]. Zasięg geograficzny tego wirusa jest najbardziej rozległy wśród wirusów mających wpływ na ludzkie zdrowie i przenoszonych przez kleszcze. Jest również drugim, po wirusie dengi, najbardziej rozpowszechnionym ze wszystkich ważnych z medycznego punktu widzenia wirusów przenoszonych przez stawonogi (rys. 2) [Ergönül 2006].

Częstość zachorowań na krymsko-kongijską gorączkę krwotoczną bez wątpienia wzrasta. Czynniki powodujące ekspansję wirusa to wzrost liczby kleszczy, rosnąca ekspozycja zwierząt i ludzi oraz zmiany klimatyczne [Belobo et al. 2021]. Obserwowano spadek liczby przypadków zachorowań na Ukrainie ostrych, długich zimach i przeciwnie – wzrost liczby zachorowań w Turcji po kilku latach wyższej temperatury w kwietniu. Te same zmiany w częstości zachorowań mogą być efektem wynikających z działalności człowieka zmian środowiskowych, zmieniających liczebność zwierzęcych nosicieli kleszczy (np. zajęcy) [Ergönül 2006].

Kleszczowe zapalenie mózgu to choroba ośrodkowego układu nerwowego wywoływana przez wirusa, którego nosicielem pośrednim są kleszcze. Żywicielami wirusa są głównie małe gryzonie, w mniejszym stopniu różne gatunki ssaków dzikich i domowych (np. lisy, nietoperze, zające, jelenie, dziki, owce, bydło, kozy, psy), natomiast ludzie są żywicielami przypadkowymi [European Centre for Disease Prevention and Control 2021b]. Wirus kleszczowego zapalenia mózgu jest istotnym problemem w Europie i Azji. W Unii Europejskiej zgłaszanych jest około 2500 przypadków rocznie, 95% z nich wymaga hospitalizacji, 40–50% ma długotrwałe następstwa, a mniej więcej co setny pacjent umiera [Zeman 2019]. Większość przypadków zakażenia występuje w okresie wiosennym i jesiennym, co koreluje z najwyższą aktywnością kleszczy w tych porach roku. W ostatnich latach obserwuje się rozszerzanie zasięgu występowania choroby oraz powstawania nowych terenów endemicznych wirusa. Może on wynikać częściowo z rosnącej świadomości i wykrywalności zakażeń, rozprzestrzeniania się kleszczy na nowe obszary, a także zwiększenia ich populacji. Bezsprzecznie kierunek obserwowanych zmian klimatycznych, łagodniejsze zimy oraz cieplejsze lato, ułatwiają kleszczom przeżycie. Ocieplenie klimatu wydaje się najbardziej prawdopodobnym czynnikiem napędzającym okresową zmienność długości czasu sezonowego występowania i nasilenia zakażeń wirusem kleszczowego zapalenia mózgu [Zeman 2019].

Borelioza (choroba z Lyme) jest wielonarządową chorobą wywoływaną przez bakterie *Borrelia burgdorferi*, przenoszone przez kleszcze *Ixodes*. Choroba ta jest jedną z najczęstszych chorób odkleszczowych w Polsce. Borelioza z Lyme lokuje się także na pierwszym miejscu wśród chorób zawodowych przenoszonych przez wektory, ponieważ ponad 90% jej przypadków odnotowano u pracowników leśnictwa i łowiectwa oraz rolników. Częstotliwość zachorowań na choroby odkleszczowe jest zależna od wielu czynników, z których najważniejszymi są zmiany klimatyczne wpływające na zasięg bytowania wektorów, rozwój turystyki i styl życia związany z aktywnymi formami wypoczynku [Kmieciak, Ciszewski, and Szewczyk 2016]. Zmiana klimatu i sposobu użytkowania gruntów będą mieć wpływ na przyszłą dynamikę zachorowań na boreliozę w poszczególnych regionach. Przy czym ocieplenie klimatu prawdopodobnie spowoduje wzrost ryzyka w Europie Północnej, a przekształcenie lasów w tereny rolnicze ograniczy je w Europie Południowej [Li et al. 2019].

Wpływ na ekosystemy

Bezpośredni efekt wywoływany przez zmianę klimatu na rozprzestrzenianie się chorób zakaźnych jest istotny, ale postępujące zmiany globalnych warunków pogodowych niosą także inne zagrożenia. Zmiana klimatu powoduje zmiany barier ekologicznych stanowiących naturalne ograniczenia dla rozprzestrzeniania się gatunków, ale bariery te są przełamywane też w wyniku działalności człowieka. Związki między klimatem, pogodą a ekosystemami i działalnością ludzi są bardzo skomplikowane, a każde naruszenie równowagi w tych obszarach ma daleko idące konsekwencje, z których nie wszystkie zostały zbadane. Ludzie oraz ich gospodarka są częścią ekosystemu, tak samo jak mikroorganizmy chorobotwórcze, a zachowanie ludzi może wpływać na rozwój chorób nie tylko na drodze zakażeń, ale też poprzez różnego rodzaju wpływ na środowisko.

Związek między zmianą klimatu a pojawiającymi się chorobami jest stosunkowo prosty. Zmiana klimatu daje patogenom nowe możliwości ekspozycji na żywiciela, który nigdy wcześniej nie był narażony na ich działanie. Dzieje się to na dwa sposoby. Po pierwsze, zmiana klimatu jest jednym z głównych bodźców do migracji gatunków. Jeżeli dany obszar staje się zbyt ciepły, zbyt zimny, zbyt wilgotny, zbyt suchy to w naturalny sposób gatunki go zamieszkujące zaczynają się przemieszczać do innych obszarów. Z drugiej strony w miarę ich przemieszczania się, dochodzi również do przekształcenia istniejących ekosystemów. Zatem skutkiem zmiany klimatu jest nie tylko to, że patogeny wchodzą w kontakt z nowymi gospodarzami na nowych obszarach, ale także powstanie na tych obszarach w wyniku napływu nowych gatunków nowych struktur ekologicznych, co zwiększa szanse przeniesienia chorób w nowych ekosystemach – Daniel Brooks

Jedną z konsekwencji globalnego ocieplenia jest nasilenie występowania gwałtownych zjawisk pogodowych jak susze, huragany, powodzie itp. Konsekwencją takich kataklizmów między innymi jest niedostatek żywności, szczególnie dotkliwy w krajach rozwijających się. Takie sytuacje sprzyjają częstszej konsumpcji dzikich zwierząt wobec braku innych źródeł pożywienia. Pojawia się coraz więcej targów, na których przetrzymywane są dzikie gatunki zwierząt. Targi te są miejscami ułatwiającymi spotkania zwierząt dzikich i hodowlanych oraz ludzi. W takich okolicznościach łatwo może dojść do przełamania międzygatunkowego i w efekcie pojawienia się nowej choroby zakaźnej. Patogeny, których nosicielami są dzikie zwierzęta mają szansę na wykorzystanie nowego gospodarza, jakim często staje się człowiek, a którego układ odpornościowy nie jest przygotowany.

W czasach postępującej globalizacji i rozwoju gospodarki ludzie dla prowadzenia swojej działalności potrzebują coraz więcej przestrzeni i zasobów. Sposobem na ich zapewnienie jest zajmowanie nowych terenów, dotychczas będących środowiskiem życia dzikich gatunków roślin i zwierząt. Jest to również reakcja na zmianę klimatu powodującą, że wiele zamieszkałych dotąd obszarów staje się niezdatnymi do życia. Problemem przyszłości będzie pustynnienie i wyjąławianie ziem uprawnych, susze oraz zaburzenie stosunków wodnych, w tym wzrost poziomu morza.

Wraz ze zmianą klimatu będziemy obserwować znacznie większą migrację ludzi m.in. z powodu suszy i nadmiernie wysokich temperatur, szczególnie w miejscach takich jak Bliski Wschód, gdzie temperatury mogą być tak wysokie, że ludzie po prostu nie będą mogli już tam żyć, a dodatkowo wraz ze spadkiem opadów nie da się tam wyprodukować dla nich odpowiedniej ilości pożywienia[...]Ileokroć następuje migracja ludzi, sprzyja to rozprzestrzenianiu się chorób zakaźnych[...]Często to ludzie przenoszą patogeny, więc nie tylko komary czy kleszcze, ale transmisja z człowieka na człowieka i wszelkie zmiany naszego sposobu życia sprzyjają przenoszeniu chorób zakaźnych – David O. Carpenter

Ingerencja człowieka w nowe siedliska ma wiele konsekwencji. Zaburzenia w ekosystemie zmuszają zasiedlające je organizmy do przystosowania się do nowych warunków, lub do migracji. Sytuacja ta stwarza szansę do zwiększenia częstotliwości kontaktu między ludźmi i gatunkami hodowlanymi, istotnymi dla gospodarki i zapewnienia żywności, a gatunkami dzikimi. Podobnie jak w przypadku wspomnianych już targów, prowadzi to do zwiększenia możliwości wystąpienia kontaktu z dotychczas nieznanymi patogenami.

Jeżeli ociepla się klimat, człowiek jest w stanie zająć nowe terytoria. Wówczas pojawiają się człowiek wraz ze swoim ekosystemem, jeżeli chodzi o patogeny ludzkie czy patogeny zwierzęce czy patogeny, które adoptowały się do współżycia z ludźmi. Tylko te patogeny są wprowadzane do nowych ekosystemów, gdzie mogą być przenoszone na zwierzęta – Aneta Afelt

Innym wymiarem bezpośredniej relacji między zmianami klimatu a rozprzestrzenianiem się chorób zakaźnych jest wpływ tych pierwszych na ludzkie zachowania. Jak do tego dochodzi? Ocieplenie klimatu może prowadzić do zmiany stylu życia mieszkańców, zmieniając wzorce ekspozycji na choroby zakaźne. Więcej ciepłych dni, to więcej czasu spędzanego na zewnątrz, czasu narażenia na kontakt z wektorami chorób zakaźnych jak komary czy kleszcze, tym samym zwiększa się szansa zakażenia patogenem. Z drugiej strony jednak, zmniejszony jest czas przebywania wspólnie w zamkniętych pomieszczeniach co z kolei spowalnia transmisję patogenu, zmniejsza możliwość wzajemnego zarażania się i wybuchu lokalnych epidemii.

Haczyk polega na tym, że zachowanie ludzi w dużej mierze determinują takie czynniki jak temperatura, a w mniejszym stopniu także dostępność światła dziennego. Latem, gdy spędzamy dużo czasu na zewnątrz, ryzyko przenoszenia się chorób jest mniejsze, ponieważ osoby zarażone i te, które mogą ulec zarażeniu, rzadziej przebywają ze sobą w bliskim kontakcie fizycznym czy w zamkniętej przestrzeni. Zimą, kiedy częściej przebywamy w pomieszczeniach zamkniętych i dystans między osobami zakażonymi i niezakażonymi jest mniejszy, choroby zakaźne przenoszą się znacznie łatwiej na tak ograniczonej przestrzeni. Częstsze przebywanie w pomieszczeniach zamkniętych zimą sprzyja transmisji chorób. Nie jest to bezpośrednio zależne od temperatury, ale jest pośrednią konsekwencją zmiany zachowania ludzi pod wpływem temperatury – Andrew Dobson

Wpływ zmiany zachowania ludzi niesie czasem nieprzewidywalne konsekwencje. Przykładem może być epidemia chikunguny, która wybuchła w 2004 roku w Kenii, podczas suszy [Chretien et al. 2007]. Spodziewanym skutkiem suszy jest zanik płytkich zbiorników wodnych, będących środowiskiem życia larw komarów, przenoszących chorobę. Powinno to więc doprowadzić do spadku liczebności organizmów wektorowych. Pomimo tego jednak zaobserwowano wzrost liczby zachorowań. Było to wynikiem reakcji ludności na suszę – gromadzono więcej wody w pobliżu domów, co przyciągnęło więcej komarów w zamieszkałe okolice [Orłowska et al., 2021].

W 2004 roku w Kenii chikungunya pojawiła się podczas suszy, co nie miało sensu. To było dla nas zaskoczeniem. Natura zawsze wydaje się być o krok przed nami pod wieloma względami i rzuca nam nieoczekiwane rezultaty – Stephen Higgs

Choroby przenoszone przez wektory w Polsce

Polska jest krajem położonym w umiarkowanej strefie klimatycznej. Obecnie nie występuje tutaj poważne zagrożenie ze strony chorób zakaźnych, jednak w przyszłości ta sytuacja może ulec zmianie. Prognozowane zmiany klimatyczne w Polsce mogą postępować według dwóch scenariuszy. Jeden z nich zakłada spadek liczby opadów, natomiast drugi – wzrost liczby opadów. Wystąpienie większej ilości opadów zwiększy zasięg chorób przenoszonych przez komary poprzez stworzenie dogodnych warunków dla ich rozmnażania.

Widzimy systematyczny wzrost temperatury powietrza w Polsce i to bardzo znaczący, natomiast niestety widzimy spadek wysokości opadów, czyli realizuje się ten bardziej suchy wariant zmiany klimatu w rejonie Polski czy Europy Środkowej, w południowej części basenu Morza Bałtyckiego[...]Co gorsze jeszcze, może się zmienić w ogóle rytm występowania opadów – **Mirosław Miętus**

Zasięg chorób przenoszonych przez wektory w Polsce jest badany przez Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy. Istnieje duże zagrożenie chorobami przenoszonymi przez kleszcze, ale pojawiają się także inne, nowe zagrożenia.

Zostało udowodnione, że w związku ze zmianami klimatycznymi mogą pojawiać się nowe czynniki zakaźne, które wcześniej nie były odnotowywane. (...) Na przykład występowanie niektórych gatunków bakterii z rodzaju Vibrio w wodach Bałtyku. Takie badania były przeprowadzone w ramach projektu realizowanego przez Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH-PIB w Warszawie. Uzyskane wyniki potwierdziły występowanie m.in. przecinkowca Vibrio vulnificus i Vibrio parahaemolyticus w Bałtyku, które mogą stanowić potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzi. Wzmożone występowanie tych bakterii jest skorelowane z ocieplaniem się wód morskich, szczególnie w czasie wyjątkowo gorących lat, zmianą – **Renata Matuszewska**

Wraz ze zwiększaniem się temperatury i wilgotności istnieje ryzyko, że Polska znajdzie się w strefie występowania chorób tropikalnych, a także chorób, których wektorami są komary. Problemem jest także to, że polskie społeczeństwo nie jest przygotowane na epidemie chorób zakaźnych. Ze względu na dogodne warunki środowiskowe, nasz kraj, przed COVID-19, nie doświadczał dotąd poważnych zagrożeń epidemicznych, przez co pojawienie się nowych chorób może być szczególnie problematyczne dla służb i mieszkańców. Doświadczenie kolejnych fal pandemii COVID-19 dobitnie zwróciło uwagę na ten problem.

Najważniejsze wnioski

System klimatyczny Ziemi wykazuje wielopoziomowe zależności ze sferą działalności człowieka. Zmiana klimatu powoduje migrację gatunków, a te przenosząc się na nowe obszary wchodzą w kontakt z nowymi, podatnymi żywicielami. Sprzyja to tworzeniu nieznanych dotąd struktur ekologicznych, które zwiększają szanse przenoszenia chorób w ekosystemach. Postępująca zmiana klimatu powoduje wzrost temperatury i zwiększenie liczby ciepłych dni. Stąd pojawiają się nowe zakresy temperatur korzystne dla organizmów

będących gospodarzami niektórych patogenów. Agresywna ingerencja człowieka w naturalne ekosystemy naraża nas i naszą gospodarkę na kontakt z nieznanymi jeszcze patogenami [Orłowska et al. 2021].

To, jak istotny jest wpływ zachowań ludzi na transmisję choroby zakaźnej, jest widoczne zwłaszcza w kontekście trwającej obecnie pandemii. Pozwoliła ona na zaobserwowanie skutków globalnego transportu i podróży, a także skutków obciążenia systemów opieki zdrowotnej. Negatywne skutki zmian klimatu dotyczą także służby ochrony zdrowia. W przypadku wystąpienia ekstremalnych zjawisk pogodowych, następuje zwiększenie ryzyka wybuchu epidemii chorób zakaźnych, na przykład w wyniku zanieczyszczenia wód pitnych jako konsekwencji powodzi.

Pojawienie się COVID-19 warto odebrać jako pewnego rodzaju ostrzeżenie – w przyszłości istnieje ryzyko pojawiania się kolejnych, nieznanych dotąd chorób wywoływanych przez patogeny, których dotychczasowymi nosicielami były dzikie gatunki zwierząt.

Brakuje jeszcze danych, by stwierdzić jednoznacznie genezę COVID-19. Prawdopodobnie epidemia ta ma korzenie w dalekowschodnim zwyczaju spożywania zwierząt dzikich gatunków, co zwiększa możliwości ewolucji patogenów i tym samym pojawienie nowych.

Wirus SARS-CoV-2 w pierwotnym żywicielu ma duży potencjał do zmian ekologicznych, choć dzieje się to w sposób przypadkowy. Jeśli jednak pojawia się kolejny gatunek, który może zostać potencjalnym żywicielem i następuje przeniesienie wirusa na tego żywiciela, ta zmienność automatycznie zwiększa się u nowego żywiciela – Walter Boeger

Co możemy zrobić?

Wszelkie działania pro-klimatyczne mają potencjał do zmniejszania zagrożenia chorobami, w tym chorobami przenoszonymi wektorowo.

Powinniśmy zacząć myśleć o łagodzeniu negatywnych skutków nie tylko samej zmiany klimatu, ale też wszystkich innych problemów, z którymi obecnie się borykamy. Dlatego zamiast zajmować się chorobami niezależnie od kwestii związanych ze zrównoważonym rozwojem, takich jak zmiana klimatu, użytkowanie gruntów lub zanieczyszczenie środowiska, powinniśmy szukać rozwiązań, które równocześnie będą sprzyjać ograniczeniu rozprzestrzeniania się chorób zakaźnych i wspierać zrównoważony rozwój – Jason Rohr

Naukowcy koncentrują się także na rozwoju sposobów przewidywania kierunków transmisji patogenów. Pozwoli to szybciej i lepiej reagować na wczesne stadia ewentualnych przyszłych epidemii. W wielu ośrodkach naukowych opracowywane są też rozwiązania wspierające służby publiczne takie, jak interaktywne platformy lub protokoły postępowania.

Przykładem postępowania w sytuacji zagrożenia wystąpieniem nowych chorób zakaźnych jest Protokół DAMA, opracowany przez zespół prof. Daniela Brooksa:

D (Discover) - Odkrywaj: wciąż nie wiemy wystarczająco dużo o miejscu, w którym mieszkamy.

A (Assess) - Oceń: musimy rozpoznać, gdzie są potencjalne patogeny.

M (Monitor) - Monitoruj: miej oczy otwarte na patogeny przenoszące żywiciela.

A (Adapt) - Dostosuj się: unikaj proaktywnego podejścia do środków mogących ułatwić pojawienie się nowych patogenów [Brooks et al. 2019].

Takie podejście pozwala odpowiednio wcześniej rozpoznać ryzyko i wprowadzić środki zaradcze. Może posłużyć do stworzenia krajowych programów nadzoru nad chorobami, które można wdrożyć na dowolną skalę - od lokalnej do międzynarodowej, w każdym kraju i regionie. Tak, jak w przypadku chorób niezakaźnych, zapobieganie jest bardziej opłacalne niż reagowanie w sytuacjach kryzysowych.

Wiemy, jakie zagrożenie stwarzają patogeny i możemy podjąć działania już teraz w celu jego zmniejszenia, zanim się ono zmaterializuje. To trochę tak jak z profilaktyką chorób np. zawału serca. Lekarze mówią nam – schudnij, nie pal ani nie pij alkoholu, unikniesz zawału. Jeśli jednak nie posłuchamy zaleceń lekarzy profilaktyków i dojdzie do zawału, to wówczas pomoc nam może już tylko chirurg, który przeprowadzi kosztowną i ryzykowną operację, po której już nigdy nie odzyskamy pełni zdrowia. Która z tym opcji jest bardziej opłacalna z punktu widzenia ograniczonych budżetów państw? – Daniel Brooks

Istotne są także działania edukacyjne i informacyjne skierowane do społeczeństwa. Istnieje też szereg zaleceń wynikających z idei zrównoważonego rozwoju, które są wskazywane zarówno przez WHO, ONZ oraz wiele organizacji pozarządowych, jak i rządy państw. Zwrócenie uwagi na zdrowotny aspekt zmiany klimatu może przyczynić się do zwiększenia motywacji do pracy przynoszącej korzyści całemu ekosystemom.

Należy zmienić sposób komunikowania ludziom zagadnień związanych ze zmianą klimatu tak, by przedstawiać to zjawisko także jako zagrożenie dla ich zdrowia. Stawką w walce ze zmianą klimatu jest już nie tylko ratowanie niedźwiedzi polarnych na dalekiej północy, ani zachowanie bioróżnorodności czy ochrona środowiska, ale także zdrowie publiczne, ich zdrowie, które jest zagrożone w związku z rozprzestrzenianiem się chorób zakaźnych, któremu zmiana klimatu sprzyja. Warto mówić głośno o tym, że zmiana klimatu to stan zagrożenia zdrowia, nie tylko zagrożenie dla niedźwiedzi polarnych, bioróżnorodności i środowiska. To kryzys zdrowotny – Jonathan Alan Patz

Źródła

Angelini, R et al. 2007. "Chikungunya in North-Eastern Italy: A Summing up of the Outbreak." *Weekly releases (1997-2007)* 12(47): 3313. <http://www.eurosurveillance.org/content/10.2807/esw.12.47.03313-en> (August 5, 2020).

Baker, Rachel E. et al. 2019. "Epidemic Dynamics of Respiratory Syncytial Virus in Current and Future Climates." *Nature Communications* 10(1): 1-8. <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-019-13562-y>.

Becker, Norbert. 2008. "Influence of Climate Change on Mosquito Development and Mosquito-Borne Diseases in Europe." *Parasitology Research* 103(SUPPL. 1).

Belobo, Jean Thierry Ebogo et al. 2021. "Worldwide Epidemiology of Crimean-Congo Hemorrhagic Fever Virus in Humans, Ticks and Other Animal Species, a Systematic Review and Meta-Analysis" ed. Michael R. Holbrook. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 15(4): e0009299. <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pntd.0009299> (April 23, 2021).

Casas, Ximena, and Human Rights Watch. 2020. "New Zika Cases in Brazil Overshadowed by Covid-19." *Health Care Access, Women's Rights*. <https://www.hrw.org/news/2020/05/28/new-zika-cases-brazil-overshadowed-covid-19>.

Centers for Disease Control and Prevention. 2021a. "Crimean-Congo Hemorrhagic Fever (CCHF) | CDC." <https://www.cdc.gov/vhf/crimean-congo/index.html> (April 21, 2021).

———. 2021b. "Rift Valley Fever." <https://www.cdc.gov/vhf/rvf/index.html> (April 10, 2021).

———. 2021c. "Transmission | Rift Valley Fever |." <https://www.cdc.gov/vhf/rvf/transmission/index.html> (April 10, 2021).

———. 2021d. "What Is Rift Valley Fever? | Rift Valley Fever |." <https://www.cdc.gov/vhf/rvf/about.html> (April 10, 2021).

———. "West Nile Virus 2003 Final Human Data." 2003. https://wwwn.cdc.gov/arbovet/Maps/ADB_Diseases_Map/index.html.

Chretien JP, Anyamba A, Bedno SA, Breiman RF, Sang R, Sergon K, Powers AM, Onyango CO, Small J, Tucker CJ, Linthicum KJ. Drought-associated chikungunya emergence along coastal East Africa. *Am J Trop Med Hyg*. 2007 Mar;76(3):405-7. PMID: 17360859.

Diaz, Henry F., and Gregory J. McCabe. 1999. "A Possible Connection between the 1878 Yellow Fever Epidemic in the Southern United States and the 1877-78 El Niño Episode." *Bulletin of the American Meteorological Society* 80(1): 21-27.

Duszyński, Jerzy & Afelt, Aneta & Ochab-Marcinek, Anna & Owczuk, Radosław & Pyrc, Krzysztof & Rosińska, Magdalena & Rychard, Andrzej & Smiatacz, Tomasz. (2020). Zrozumieć COVID-19 OPRACOWANIE ZESPOŁU DS. COVID-19 PRZY PREZESIE POLSKIEJ AKADEMII NAUK.

ECDC. 2020. "Autochthonous Transmission of Chikungunya Virus in EU/EEA, 2007-2017." *European Centre for Disease Prevention and Control*. <https://www.ecdc.europa.eu/en/all-topics-z/chikungunya-virus-disease/surveillance-and-disease-data/autochthonous-transmission>.

- Ergönül, Önder. 2006. "Crimean-Congo Haemorrhagic Fever." *Lancet Infectious Diseases* 6(4): 203–14. <http://infection.thelancet.com> (April 23, 2021).
- European Centre for Disease Prevention and Control. 2019. "Epidemiological Update: Second Case of Locally Acquired Zika Virus Disease in Hyères, France." *Epidemiological update*. <https://www.ecdc.europa.eu/en/news-events/epidemiological-update-second-case-locally-acquired-zika-virus-disease-hyeres-france>.
- . 2021. "Factsheet about Tick-Borne Encephalitis (TBE)." *Fact sheet*. <https://www.ecdc.europa.eu/en/tick-borne-encephalitis/facts/factsheet>.
- . "Rapid Risk Assessment: Zika Virus Disease in Var Department, France." *Risk assessment*: 2019. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/rapid-risk-assessment-zika-virus-disease-var-department-france>.
- Gliński, Z. 2019. "Gorączka Doliny Rift Zagroza Europie." *Życie weterynaryjne* 94(8): 547–53.
- Gliński, Zdzisław, and Krzysztof Kostro. 2009. "Gorączka Doliny Rift." 84(11): 885–88.
- Hales, Simon, Neil De Wet, John Maindonald, and Alistair Woodward. 2002. "Potential Effect of Population and Climate Changes on Global Distribution of Dengue Fever: An Empirical Model." *Lancet* 360(9336): 830–34.
- Halstead, S. B., and G. Papaevangelou. 1980. "Transmission of Dengue 1 and 2 Viruses in Greece in 1928." *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 29(4): 635–37. <http://www.ajtmh.org/content/journals/10.4269/ajtmh.1980.29.635> (August 4, 2020).
- Jones, Kate E. et al. 2008. "Global Trends in Emerging Infectious Diseases." *Nature* 451(7181): 990–93.
- Karesh, James W, Col A Robert Mazzoli, and Shannon K Heintz. 2018. "Ocular Manifestations of Mosquito-Transmitted Diseases." *MILITARY MEDICINE* 183: 450. https://academic.oup.com/milmed/article-abstract/183/suppl_1/450/4960044/.
- Kmieciak, Wioletta, Marcin Ciszewski, and Eligia M. Szewczyk. 2016. "Choroby Odkleszczowe w Polsce- Występowanie i Trudności Diagnostyczne." *Medycyna Pracy* 67(1): 73–87. <http://medpr.imp.lodz.xn--plpracapogldowa-eOb> (May 29, 2021).
- Kraemer, Moritz U.G. et al. 2019. "Past and Future Spread of the Arbovirus Vectors *Aedes Aegypti* and *Aedes Albopictus*." *Nature Microbiology* 4(5): 854–63. <http://dx.doi.org/10.1038/s41564-019-0376-y>.
- Li, Sen et al. 2019. "Lyme Disease Risks in Europe under Multiple Uncertain Drivers of Change." *Environmental health perspectives* 127(6): 67010. <https://doi.org/10.1289/EHP4615> (May 28, 2021).
- Lowen, Anice C., and John Steel. 2014. "Roles of Humidity and Temperature in Shaping Influenza Seasonality." *Journal of Virology* 88(14): 7692–95.
- Marchant, P. et al. 2007. "Could British Mosquitoes Transmit *Falciparum* Malaria?" *Parasitology Today* 14(9): 344–45.
- de Oliveira, Wanderson Kleber et al. 2017. "Infection-Related Microcephaly after the 2015 and 2016 Zika Virus Outbreaks in Brazil: A Surveillance-Based Analysis." *The Lancet* 390(10097): 861–70.
- Paz, Shlomit. 2019. "Effects of Climate Change on Vector-Borne Diseases: An Updated Focus on West Nile

- Virus in Humans." *Emerging Topics in Life Sciences* 3(2): 143–52. /emergtoplifesci/article/3/2/143/219709/ Effects-of-climate-change-on-vector-borne-diseases (April 28, 2021).
- Roiz, David et al. 2011. "Climatic Factors Driving Invasion of the Tiger Mosquito (*Aedes Albopictus*) into New Areas of Trentino, Northern Italy." *PLoS ONE* 6(4). /pmc/articles/PMC3078124/ (April 19, 2021).
- Samorek-Salamonowicz, Elzbieta, Jowita Samanta Niczyporuk, and Tadeusz Wijaszka. 2008. "Wirus Zachodniego Nilu - Zagrożenie Dla Zdrowia Publicznego." *Medycyna Weterynaryjna* 64(12): 1368–70.
- Singh, David E. et al. 2020. "Evaluating the Impact of the Weather Conditions on the Influenza Propagation." *BMC Infectious Diseases* 20(1): 1–14.
- Spiteri, G., B. Sudre, A. Septfons, and J. Beauté. 2017. "Surveillance of Zika Virus Infection in the EU/EEA, June 2015 to January 2017." *Eurosurveillance* 22(41): 1–7.
- Sundell, Nicklas et al. 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(January): 59–63.
- Tantillo, G. M., M. Fontanarosa, A. Di Pinto, and M. Musti. 2004. "Updated Perspectives on Emerging Vibrios Associated with Human Infections." *Letters in Applied Microbiology* 39(2): 117–26.
- Watts, Nick et al. 2019. "The 2019 Report of The Lancet Countdown on Health and Climate Change: Ensuring That the Health of a Child Born Today Is Not Defined by a Changing Climate." *The Lancet* 394(10211): 1836–78.
- Weber, Thomas P., and Nikolaos I. Stilianakis. 2008. "Inactivation of Influenza A Viruses in the Environment and Modes of Transmission: A Critical Review." *Journal of Infection* 57(5): 361–73.
- World Health Organization. 2018. "Zika Virus." *Key facts*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/zika-virus>.
- . 2019. "Yellow Fever." *Key facts*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/yellow-fever>.
- . 2020a. "Chikungunya." *Home/Health topics*. https://www.who.int/health-topics/chikungunya#tab=tab_1.
- . 2020b. "Dengue and Severe Dengue." *Newsroom/Fact sheets/Detail*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue> (July 28, 2020).
- . 2020c. "Malaria." *Newsroom/Fact sheets/Detail*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malaria> (July 28, 2020).
- Zeman, Petr. 2019. "Prolongation of Tick-Borne Encephalitis Cycles in Warmer Climatic Conditions." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(22). /pmc/articles/PMC6888212/ (April 26, 2021). <https://www.cebm.net/covid-19/do-weather-conditions-influence-the-transmission-of-the-coronavirus-sars-cov-2/>



**Krajowy Ośrodek
Zmian Klimatu**
Instytut Ochrony Środowiska
Państwowy Instytut Badawczy

Krajowy Ośrodek Zmian Klimatu
Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Chmielna 132/134
00-805 Warszawa

kozok@ios.edu.pl

<https://ios.edu.pl/osrodki/krajowy-osrodek-zmian-klimatu/>



Sfinansowano ze środków
Narodowego Funduszu
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej