

Marta Kolodziej-Sobocińska

MIGRACJE ZWIERZĄT ZWIĄZANE ZE ZMIANAMI KLIMATYCZNYMI A NOWE CHOROBY

1. Wstęp

W 1979 roku naukowcy z całego świata spotkali się na pierwszej Światowej Konferencji Klimatycznej w Genewie, w czasie której zwrócili uwagę na niepokojące trendy w zmianach klimatu i uzgodnili konieczność pilnych działań, aby tym zmianom zapobiec. Na kolejnych spotkaniach, takich jak: Szczyt Ziemi w Rio w 1992 roku, podpisanie Protokołu z Kioto w 1997 roku, a później Porozumienia Paryskiego w 2015 roku, naukowcy wskazali na niewystarczające postępy w zapobieganiu katastrofie klimatycznej (Ripple, Wolf, Newsome, Barnard, Moomaw, 2020). Ryzyko związane ze zmianami klimatycznymi ma daleko idące konsekwencje dla społeczeństw na całym świecie (np.: zdrowotne lub ekonomiczne), dlatego czynnik ten należy umieścić wysoko wśród zjawisk wpływających na szanse przetrwania naszego gatunku. Naukowcy od lat próbują przewidzieć możliwe konsekwencje zmian klimatu. Szacuje się, że do 2100 roku średnia globalna temperatura wzrośnie o 1,0–3,5°C, co spowoduje wiele niekorzystnych zmian na kuli ziemskiej, a wśród nich zwiększenie prawdopodobieństwa wystąpienia chorób przenoszonych przez migrujące kręgowce. Dotyczy to głównie chorób rozprzestrzeniających się drogą pokarmową, takich jak: włośnica, toksoplazmoza lub bąblowica (Pozio, 2020), czy przenoszonych przez bezkręgowce, np. komary i kleszcze, będące wektorami m.in. anaplazmozy, babeszjozy, malarii, boreliozy, dirofilariozy (Genchi i Kramer, 2020; Morand, Owers, Waret-Szkuta, McIntyre, Baylis, 2013; Morand i Walther, 2020; Omazic i in., 2019).

Do prognozowania i przewidywania zmian klimatycznych i ich skutków na Ziemi niezbędne stało się wypracowanie odpowiednich narzędzi. Jednym z nich jest modelowanie globalnych systemów klimatycznych (Bartlow i in., 2019), którego początki sięgają 1960 roku i opierają się na modelach prognoz pogody (Sellers, 1969). Większość z wczesnych modeli bazowała wyłącznie na danych dotyczących atmosfery. Powstawały jednak również pionierskie modele, wychytujące obieg prądów atmosferycznych i oceanicznych (Bryan, 1969). Obecnie nazywane są one „modelami ogólnego obiegu” (ang. „*general circulation models*”, GCM). Wraz z rozwojem możliwości obliczeniowych oraz poprawą naszego rozumienia wielu procesów, GCM poczyniły ogromny postęp w symulowaniu

ZMIANA KLIMATU

procesów klimatycznych. Używane wcześniej systemy ewoluowały i obecnie uwzględnia się w nich czynniki fizyczne, jak: wiatr, chmury, powierzchnia lądów, oceanów lub lodu oraz takie jak np. chemia atmosfery czy roślinność oraz ich wzajemne interakcje (Bartlow i in., 2019; Flato, 2011). Kolejny wielki postęp w modelowaniu globalnych systemów klimatycznych to zintegrowanie tych danych z wpływem działalności człowieka (Calvin i Bond-Lamberty, 2018). Nowoczesne systemy zapewniają również możliwość symulacji istotnych czynników biologicznych, np. dynamiki wegetacji roślin, składników abiotycznych (np. temperatura) oraz czynników antropogenicznych (np. stopień urbanizacji, zaludnienie). Zwiększa to potencjał kompleksowego modelowania obserwowanego ocieplenia klimatu, a także ekstremalnych zjawisk pogodowych oraz zagrożenia wystąpienia chorób w warunkach wzrostu liczebności populacji (Bartlow i in., 2019).

Cykle życiowe pasożytów oraz transmisja patogenów na ludzi, zwierzęta domowe, a także dzikie, są nierozdzielnie związane z warunkami klimatycznymi. Procesy te są złożone i często trudne do udowodnienia. Mimo to w ostatnich latach zainteresowanie tym problemem znacznie wzrosło, co jest widoczne m.in. w dużo większej liczbie prowadzonych badań i publikowanych pracach naukowych, porównując lata 90. XX wieku z pierwszą dekadą XXI wieku (Altizer, Ostfeld, Johnson, Kutz, Harvell, 2013).

Niniejszy rozdział przedstawia tylko część dostępnej wiedzy, subiektywnie wybranej i opracowanej przez autorkę. Mam nadzieję, że to opracowanie skłoni czytelników do refleksji, jak znaczący i różnorodny wpływ na nasze życie mają zmiany klimatyczne, do których sami doprowadziliśmy i których poważne i często nieodwracalne konsekwencje odczuwamy obecnie.

2. Sytuacja klimatyczna w Europie a zagrożenie chorobami

Europa doświadcza zróżnicowanych skutków zmian klimatycznych (Semenza, Suk, Estevez, Ebi, Lindgren, 2012). Regionalne zróżnicowanie warunków geograficznych, ekologicznych, demograficznych i społeczno-ekonomicznych wpływa na różną podatność regionów Europy na zmieniające się warunki środowiskowe i klimatyczne. Prognozy średniej rocznej temperatury i średnich opadów przewidują istotne ogólne zmiany, z nieproporcjonalnie cieplejszymi zimami na północy i cieplejszymi latami na południu (Giorgi, Bi, Pal, 2004). Temperatura otoczenia i wielkość opadów wpływają na choroby przenoszone drogą pokarmową (Semenza, Herbst, i in., 2012) oraz choroby przenoszone przez wektory¹ (Semenza i Menne, 2009) poprzez: 1) wpływ na przeżywalność nosicieli, tempo ich reprodukcji, przydatność do hodowli, rozmieszczenie i liczebność;

¹ Wektory chorób to organizmy, które są przekaźnikami patogenów (tzw. biologiczni pośrednicy, żywi przekaźnicy); głównie są to stawonogi: muchy, komary, wszy, pchły,

2) intensywność i czasowy wzorzec aktywności gatunków wektorowych (m.in. częstość ukąszenia) oraz 3) wskaźniki rozwoju, przeżywalności i rozmnażania patogenów w obrębie gatunków wektorowych. Zatem prognozowane zmiany klimatyczne mogą zmienić zasięgi występowania chorób przenoszonych przez bezkręgowce będące wektorami.

Globalne średnie temperatury wzrosły w porównaniu z czasami przedindustrialnymi o ok. 1°C, ale w Europie wzrost ten był bardziej wyraźny i wyniósł aż 1,2°C. Przewiduje się, że średnie temperatury w Europie w latach 2080–2100 wzrosną nawet o 5,5°C w porównaniu ze średnimi temperaturami z lat 1961–1990 (Semenza, Herbst, i in., 2012). Ekstremalne zjawiska klimatyczne, np. fale upałów, zdarzają się w Europie średnio dwa razy częściej niż pod koniec XIX wieku, a liczba upalnych dni wzrosła nawet trzykrotnie (Della-Marta, Haylock, Luterbacher, Wanner, 2007). Prognozy wskazują, że Europa będzie nadal doświadczać wzrostu częstotliwości, intensywności i czasu trwania ekstremalnie wysokich temperatur (Semenza, Herbst, i in., 2012).

3. Zmiany klimatu w kontekście występowania chorób zakaźnych w Europie

W pierwszej dekadzie XXI wieku przeprowadzono kompleksowe badania sondażowe, pytając krajowych ekspertów ds. chorób zakaźnych z 30 krajów Europejskiego Obszaru Gospodarczego (ang. „*European Economic Area*”, EEA) o obecne i prognozowane wzorce występowania w ich krajach chorób zakaźnych związanych ze zmianami klimatu oraz możliwości radzenia sobie z nimi (Semenza, Suk, i in., 2012). Respondenci wskazali, że zmiany klimatyczne wpływają głównie na choroby przenoszone przez: 1) wektory (86% odpowiedzi), 2) żywność (70%), 3) wodę (68%) i 4) gryzonie (68%). Ponadto większość specjalistów wskazała, że potrzebne są usprawnienia instytucjonalne w zakresie: 1) trwających programów nadzoru (83%), 2) współpracy z sektorem weterynaryjnym (69%), 3) zarządzania ogniskami chorób występujących u zwierząt (66%), 4) krajowego monitorowania i kontroli chorób zakaźnych „wrażliwych” na zmiany klimatu (64%), 5) opracowania systemu świadczeń zdrowotnych podczas wybuchu epidemii (61%) oraz 6) pomocy diagnostycznej w czasie epidemii (54%) (Semenza, Suk, i in., 2012). W tabeli 2.1. przedstawiono listę chorób, na które mogą mieć wpływ zmiany klimatu. Większość z nich jest związana z rozprzestrzenianiem się gatunków żywicielskich i/lub wektorowych na nowe tereny, które wcześniej nie mogłyby być zasiedlone m.in. ze względu na niekorzystne warunki klimatyczne.

Eksperci EEA odpowiadali też na pytanie: „Na jakie choroby zakaźne najbardziej wpłyną Twoim zdaniem zmiany klimatu w Twoim kraju?” W odpo-

kleszcze. Poprzez wędrówkę i kontakt z otoczeniem przenoszą groźne drobnoustroje na inne organizmy.

ZMIANA KLIMATU

Tabela 2.1. Choroby zakaźne występujące w Europie, na które mogą mieć wpływ zmiany klimatu

Rodzaj choroby	Nazwa choroby (rodzaj wektora)	Rodzaj patogenu
<i>Przenoszone przez wektory</i>	Borelioza (kleszcze) Gorączka krwotoczna krymsko-kongijska (kleszcze) Anaplazmoza (kleszcze) Gorączka Q (kleszcze) Odkleszczowe zapalenie mózgu (kleszcze) Tularemia (komary, kleszcze) Gorączka Denga (komary) Malaria (komary) Gorączka Zachodniego Nilu (komary) Gorączka Chikungunya (komary) Leiszmanioza (muchówki, Moskity) Gorączka Doliny Rift (komary, muchy)	Bakterie z rodzaju <i>Borrelia</i> Wirus CCHFV (Crimean-Congo Hemorrhagic Fever Virus) Bakteria <i>Anaplasma fagocytophilum</i> Bakterie z rodzaju <i>Coxiella</i> Wirus TBE (Tick-Borne Encephalitis) Bakteria <i>Francisella tularensis</i> Wirus Dengi Pierwotniaki z rodzaju <i>Plasmodium</i> Wirus WNV (West Nile Virus) Wirus Chikungunya Wiciowce z rodzaju <i>Leishmania</i> Wirus RVFV (Rift Valley Fever Virus)
<i>Przenoszone przez gryzonie</i>	Zakażenia hantawirusami Dżuma	Wirusy z rodziny <i>Bunyaviridae</i> Bakteria <i>Yersinia pestis</i>
<i>Przenoszone drogą pokarmową</i>	Toksoplazmoza Włośnica Bąblowica Fascjoloza	Pierwotniak <i>Toxoplasma gondii</i> Nicienie z rodzaju <i>Trichinella</i> Tasiemiec <i>Echinococcus multilocularis</i> lub <i>E. granulosus</i> Przywra <i>Fasciola hepatica</i>
<i>Przenoszone przez wodę</i>	Kampylobakterioza Cholera Kryptosporydioza Zakażenia enterowirusami Giardioza / Lamblioza Leptospiroza Zakażenia rotawirusami Zakażenia norowirusami Salmonelloza Neglerioza	Bakterie z rodzaju <i>Campylobacter</i> Bakteria <i>Vibrio cholerae</i> Pierwotniak <i>Cryptosporidium parvum</i> Enterowirusy Pierwotniak <i>Giardia intestinalis</i> Bakterie z rodzaju <i>Leptospira</i> Wirusy z rodziny <i>Reoviridae</i> Wirusy z rodziny <i>Caliciviridae</i> Bakterie z rodzaju <i>Salmonella</i> Pierwotniak <i>Naegleria fowleri</i>

Źródło: (Pozio, 2020; Semenza, Suk, i in., 2012)

wiedziach wskazano na cztery choroby przenoszone przez wektory zwierzęce, na które zmiany klimatyczne w Europie mogą wpłynąć najbardziej: borelioza z Lyme i odkleszczowe zapalenie mózgu (KZM) przenoszone przez kleszcze, leiszmanioza przenoszona przez muchówki i zakażenia hantawirusami przenoszone przez gryzonie. Dodatkowo eksperci oszacowali, jakie – według nich – te choroby wykazą trendy rozprzestrzeniania się w przyszłości w ich krajach. Czy zmienią: 1) zasięg geograficzny, 2) sezonowość występowania, 3) wysokość n.p.m., na której będą występowały, 4) szerokość geograficzną lub 5) zmiany nie będą obserwowane. Praktycznie wszystkie kraje europejskie z wyjątkiem Włoch, Grecji, Malty, Irlandii i Islandii wskazały na możliwą ekspansję boreliozy z Lyme w związku z czekającymi Europę zmianami klimatycznymi; w przypadku leiszmaniozy i infekcji hantawirusowych również głównie kraje Europy południowej nie wskazały na możliwy wpływ zmian klimatu na rozprzestrzenianie tych chorób. Jest to spójne z wcześniej opisanymi danymi, że kraje północnej Europy oraz państwa nadbałtyckie są potencjalnie najbardziej zagrożone nowymi chorobami. To właśnie na ich terytoriach mogą pojawić się choroby przenoszone przez zwierzęta, które w wyniku ocieplenia klimatu poszerzają swoje zasięgi w kierunku północnym. Zachodzące zmiany panujących tam warunków coraz częściej umożliwiają przetrwanie w tych rejonach gatunków wektorowych i samych patogenów. W tych analizach eksperci z Polski wskazali głównie na rozprzestrzenienie się w Polsce chorób odkleszczowych. Uznali, że zmiany dotyczące rozprzestrzenienia się boreliozy z Lyme i KZM będą dotyczyć zmian zasięgu geograficznego tych chorób, wysokości n.p.m., szerokości geograficznej i sezonowości występowania (Semenza, Suk, i in., 2012). Już teraz możemy zauważyć, że przy łagodnych, bezśnieżnych zimach kleszcze przenoszące te choroby są obserwowane niemal przez cały rok.

4. Północna Europa jako region najbardziej narażony na choroby związane ze zmianami klimatu

W północnych regionach Europy szczególnie wyraźnie widoczne są – wywołane ociepleniem klimatu – zmiany w populacjach pasożytów, ich żywicieli oraz gatunków wektorowych. Obecnie w tej części kontynentu rozprzestrzeniają się pasożyty, które wcześniej nie były w stanie tam przetrwać, a co za tym idzie – pojawiają się nowe choroby (Deksne i in., 2020). Wiele z nich, oprócz zwierząt dzikich może zarażać zwierzęta domowe i ludzi. Nie można wykluczyć, że wykrywanie nowych patogenów ma również związek z większym zainteresowaniem badaczy i większą świadomością społeczeństwa. Ważne jest, aby na bieżąco szacować ryzyko rozprzestrzeniania się oraz skutki pojawiania się nowych patogenów np. u zwierząt domowych i gospodarskich, a monitoring i eliminacja tych chorób jest ważna nie tylko ze względu na zdrowie publiczne, ale również z powodów ekonomicznych. W północnych regionach Europy zwierzęta łowne

ZMIANA KLIMATU

stanowią znaczący udział w diecie ludzi, dlatego monitoring chorób odzwierzęcych powinien obejmować zarówno zwierzęta hodowlane, jak i dzikie (Olsen i in., 2019). Przykładem takiej choroby jest toksoplazmoza wywoływana przez pierwotniaka *Toxoplasma gondii* – uznana za jedną z najważniejszych, poza włośnicą (*Trichinella* spp.) i bąblowicą (*Echinococcus multilocularis*), chorób pasożytniczych Europy (Bouwknegt i in., 2018). Pasożyt ten występuje bardzo powszechnie u zwierząt łownych konsumowanych w Europie północnej i krajach nadbałtyckich (Deksne i in., 2020).

Zdarza się, że zasięg danego gatunku pasożyta zmienia się „niezgodnie z naszymi oczekiwaniami”; jest tak w przypadku *Trichinella nativa* – typowo zimnolubnego, arktycznego gatunku włośnia, który występuje w Skandynawii i krajach nadbałtyckich, ale w ostatnich latach, „wbrew” oczekiwanym trendom związanym z ociepleniem klimatu, został wykryty na południe od jego dotychczasowego zasięgu, czyli m.in. w Polsce i w Niemczech u lisa oraz dzika (Bilska-Zając i in., 2017; Chmurzyńska i in., 2013). Świadczy to o dużych zdolnościach adaptacyjnych patogenów.

Europa północna znajduje się pod wpływem silnych zmian klimatycznych, przez co zwiększa się presja patogenów na żyjące tam renifery. Jednym z przykładów tego zjawiska jest wywoływana przez nicienia *Elaphostrongylus rangiferi* choroba – elafostrogilozja. Jej rozprzestrzenianie się jest zależne od temperatury i ślimaków będących żywicielami pośrednimi pasożyta (Handeland i in., 2019). Objawy kliniczne obejmują ataksję i niedowład kończyn tylnych. Zaobserwowano, że ciepłe lata na początku lat 70. XX wieku były przyczyną wystąpienia dużych ognisk elafostrogilozji w Finnmarku (północna Norwegia) ze śmiertelnością reniferów szacowaną nawet na 22% (Halvorsen, Andersen, Skorping, Lorentzen, 1980). W 2018 roku wykryto nietypowe ognisko elafostrogilozji u reniferów w centralnej części Norwegii – objawy choroby wystąpiły we wszystkich grupach wiekowych, a dodatkowo choroba pojawiła się w środku lata, gdy typowo występuje ona na początku zimy (Davidson, Mørk, Holmgren, Oksanen, 2020). Można przypuszczać, że zmieniający się obraz epidemiologiczny i kliniczny tej choroby jest związany z coraz częściej występującymi nietypowymi zjawiskami pogodowymi, np. falami upałów. Oprócz zagrożonego zdrowia i dobrostanu reniferów, nowe ogniska elafostrogilozji mają duże znaczenie kulturowe dla tradycyjnego wypasania reniferów oraz dla nielicznych populacji dzikich reniferów zamieszkujących tundrę (Deksne i in., 2020).

Innym pasożytem zagrażającym reniferom jest przenoszony przez komary nicieniec *Setaria tundra*. Pasożyt ten, powodujący zapalenie otrzewnej u cieląt reniferów, pojawił się na terenach wypasu reniferów najprawdopodobniej w latach 60. XX wieku wraz z migracją saren do północnej Fennoskandii (Laaksonen i in., 2010). Wykazano, że prawdopodobieństwo wybuchu epidemii *S. tundra* jest wysokie, gdy wystąpią po sobie dwa kolejne ciepłe lata ze średnią temperaturą VI–VIII powyżej 14°C, co umożliwi rozwój pasożyta w komarach będących wektorem tej choroby (Laaksonen i in., 2010). Jest to kolejny dowód na to, że

nietypowe zjawiska pogodowe, takie jak cieplejsze lata na północy Europy, a dodatkowo migracje ssaków przenoszących nowe choroby, mają duży wpływ na rozprzestrzenianie i utrzymanie się chorób na nowych terenach.

5. Migracje zwierząt a zmiany klimatyczne i transmisja chorób

Migracje dzikich zwierząt często odbywają się na bardzo długie dystanse. Jest to behawioralna strategia wielu gatunków, umożliwiającą im m.in. lepszy dostęp do zasobów pokarmowych, zmniejszanie ryzyka drapieżnictwa, czy unikanie chorób i pasożytów (Altizer i in., 2013; Rickbeil i in., 2019). Strategia ta nabiera szczególnego znaczenia dla zwierząt, które żyją na terenach, gdzie widoczne są skutki zmian klimatycznych, a zwierzęta migrujące są szczególnie narażone na te zmiany, w wyniku których zmieniają się zarówno zasięg jak i czas ich wędrówek (Hickling, Roy, Hill, Fox, Thomas, 2006). Zmiany fenologiczne wywołane zmianami klimatycznymi wpływają na wzorce przemieszczania się gatunków, a w konsekwencji na dynamikę występowania chorób w danym środowisku (Altizer i in., 2013). Ocieplenie klimatu pozwala zwierzętom na zasiedlanie terenów na większej wysokości nad poziomem morza oraz coraz bliżej biegunów Ziemi (Hickling i in., 2006). Wydłużenie drogi migracji może mieć korzystny wpływ, ponieważ pozwala zmniejszyć przenoszenie patogenów lub pozwala uniknąć zarażenia pasożytami w czasie długiej wędrówki przez tereny, gdzie np. dany patogen lub jego żywiciel nie występują; z drugiej strony dalekie wędrówki wymagają dużych nakładów energetycznych i osłabiają m.in. reakcje odpornościowe zwierząt na patogeny, co może powodować wyższą śmiertelność osobników chorych i słabych, jak również zwiększa ryzyko zarażenia się nowymi patogenami (Altizer, Bartel, Han, 2011; Teitelbaum, Huang, Hall, Altizer, 2018). Z kolei łagodniejsze zimy mogą powodować skracanie lub zaprzestanie migracji, ponieważ zwierzęta są w stanie znaleźć pokarm i przeżyć cały rok na tym samym terenie w sprzyjającym im klimacie. W konsekwencji może to powodować wzrost poziomu zarażenia patogenami m.in. przez kumulację form inwazyjnych w środowisku, ich większą przeżywalność przy wyższych temperaturach zimą czy większe zagęszczenia populacji żywicieli sprzyjające transmisji chorób (Altizer i in., 2011; Bartlow i in., 2019). Strategia unikania pasożytów poprzez migracje jest typowa np. dla populacji reniferów, jednak zmniejszenie pokrywy lodowej spowodowanej ociepleniem klimatu sprawiło, że zwierzęta te znacznie ograniczyły coroczne migracje, a to doprowadziło do wzrostu transmisji pasożytów żołądkowo-jelitowych (Rose, Hoar, Kutz, Morgan, 2014).

W ostatnich latach pojawiła się ciekawa hipoteza „śledzenia środowiska” (ang. „*environmental tracking*”), zgodnie z którą migracja żywicieli umożliwia pasożytom „odnalezienie” środowiska sprzyjającego transmisji przez cały rok (Teitelbaum i in., 2018). Stoi ona w sprzeczności z wcześniejszymi hipotezami wskazującymi na „ucieczkę” żywicieli od pasożytów w czasie migracji. W celu

ZMIANA KLIMATU

zweryfikowania tej hipotezy przeanalizowano kompleksowo pasożyty występujące u 93 gatunków kopytnych wykazujących 3 strategie: migracyjną, koczowniczą i osiadłą. Okazało się, że najwyższą różnorodność pasożytów stwierdzono u gatunków migrujących, nawet gdy wzięto pod uwagę inne czynniki wpływające na zarażenie, takie jak: szerokość geograficzna lub wielkość ciała (Teitelbaum i in., 2018). Tłumaczy się to większą ekspozycją gatunków migrujących na różnorodne patogeny, z którymi mogą mieć potencjalny kontakt w czasie długotrwałych wędrówek na duże odległości, jak również tym, że wędrówki zwierząt kopytnych często odbywają się w dużych stadach (wykazano, że migrujące gatunki kopytnych żyją w większych grupach niż gatunki osiadłe), co dodatkowo zwiększa możliwość transmisji chorób. Dane te skłaniają do dalszych badań, szczególnie w kontekście możliwości transmisji patogenów przez dziko żyjące gatunki migrujące na zwierzęta hodowlane, również te przeznaczone do konsumpcji przez ludzi.

Nie tylko migracje zwierząt kopytnych wpływają na rozprzestrzenianie chorób w środowisku. Ważnym aspektem jest pojawianie się na nowych terenach zoonoz, czyli groźnych dla ludzi chorób odzwierzęcych przenoszonych przez ssaki drapieżne. Bąblowica wielojamowa wywoływana przez tasiemca *Echinococcus multilocularis* jest niezwykle groźną dla ludzi chorobą – 90% przypadków bąblowicy po 10 latach od postawienia diagnozy bez leczenia kończy się śmiercią. Choroba ta występuje na półkuli północnej i jest przenoszona przez takie drapieżniki jak: lisy, jenoty, wilki, szakale, psy będące żywicielami ostatecznymi, wydalającymi do środowiska jaja, które są bardzo odporne na warunki środowiska, np. niską temperaturę. Larwy tasiemca mogą być natomiast obecne m.in. w gryzoniach, będących źródłem zarażenia dla drapieżników. Obecnie zasięg tej choroby przesuwa się na północ Europy. Koniec XX i początek XXI wieku to okres szerokiego badania bąblowicy w Europie. Po raz pierwszy odnotowano ją w latach 80. w krajach Europy Środkowej: Austrii, Francji, Niemczech, Szwajcarii (Kern i in., 2003). Wiele badań skupia się na rezerwuarze tej choroby u dzikich zwierząt, drogami transmisji i przyczynami pojawiania się jej na nowych terenach. W Polsce bąblowicę stwierdzono pierwszy raz u lisów w 1994 roku (Malczewski, Rocki, Ramisz, Eckert, 1995). Na początku XXI wieku pasożyt był już notowany w Danii, a obecnie występuje endemicznie w krajach nadbałtyckich (Deksne i in., 2020). Ostatnie doniesienia z lat 2011 i 2014 dokumentują obecność bąblowca wielojamowego również w Szwecji. W Norwegii i Finlandii do tej pory bąblowicy nie stwierdzono (Wahlström, Enemark, Davidson, Oksanen, 2015). Często za pojawienie się nowej choroby w środowisku odpowiada niestety człowiek; w 1999 roku bąblowiec pojawił się na Svalbardzie. Przypuszczalnie został tam zawleczony przez towarzyszące ludziom psy oraz zarażone gryzonie, które znalazły się w transporcie zaopatrzenia dla stacji polarnej. Rozważany jest też scenariusz, że pasożyta zawlokły na Svalbard migrujące lisy polarne (Knapp i in., 2012).

Groźne dla ludzi choroby odzwierzęce są często przenoszone przez gatunki, które zasiedlają nowe tereny. Mogą to być gatunki inwazyjne ssaków drapieżnych, np. jenoty, szopy lub norki amerykańskie, które są żywicielami wielu patogenów

powodujących niebezpieczne zoonozy, a ich ekspansja na kontynencie europejskim wpływa nie tylko na rodzimą florę i faunę, ale również zagraża zdrowiu człowieka (Otranto i Deplazes, 2019). Innym przykładem jest szakal złocisty – nowy, lecz nieinwazyjny gatunek w faunie Polski, który pojawił się w naszym kraju w 2015 roku i rozprzestrzenił się obecnie na północ i zachód Europy (Kowalczyk, Kołodziej-Sobocińska, Ruczyńska, Wójcik, 2015). Ten drapieżnik jest żywicielem prawie 200 gatunków pasożytów, w tym wielu groźnych dla zdrowia człowieka, wywołujących m.in.: leiszmaniozę, giardiozę, alariozę, bąblowicę, włośnicę, toksokarozę, sparganozę (Gherman i Mihalca, 2017).

Ważną rolę w przenoszeniu chorób odgrywają również migrujące ptaki przenoszące pasożyty krwi, m.in. ptasią malarię. Pierwotniak *Plasmodium relictum* wywołujący tę chorobę u ptaków jest uznany za jeden z dziesięciu najgroźniejszych gatunków inwazyjnych na świecie (Deksne i in., 2020). Opisano wiele gatunków zarodźców malarii; obecnie obserwuje się pojawianie się części z nich w Europie północnej – nawet blisko koła podbiegunowego (Loiseau i in., 2012). Ptaki migrujące są rezerwuarami tej choroby i stanowią źródło występowania nowych jej ognisk w czasie ich wędrówek. Wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się możliwość przetrwania tego pasożyta na terenach, które wcześniej były „za zimne”, by przetrwały tam np. komary przenoszące malarię. Dane o występowaniu ptasiej malarii w rejonie arktycznym w ostatnich siedmiu dekadach wskazały, że w czasie obserwowanego w tym czasie wzrostu temperatury średnio o 1°C częstość występowania tej choroby wzrosła nawet trzykrotnie (Garamszegi, 2011). Malaria występuje nie tylko u ptaków, ale jest najczęściej występującą na świecie chorobą zakaźną, na którą zapada rocznie ponad 200 milionów osób, z czego kilka milionów umiera. W transmisji tej choroby bardzo ważną rolę odgrywają gatunki wektorowe – komary.

Prowadzenie badań nad dynamiką występowania chorób u gatunków wędrownych oraz wpływem zmian klimatu na te procesy jest bardzo ważne, aby móc przewidzieć ryzyko występowania chorób zarówno u dzikich zwierząt, jak i ludzi w przyszłości (Altizer i in., 2011).

6. Choroby przenoszone przez wektory

Na podstawie dostępnych danych wiadomo, że zmiany klimatu zachodzące w poszczególnych latach oraz – w dłuższym okresie – obserwowane między dekadami, mają bezpośredni wpływ na epidemiologię chorób przenoszonych przez wektory. Z kompleksowego przeglądu literatury (prawie 1300 publikacji) wynika, że znaczenie chorób przenoszonych przez wektory wzrasta głównie w północnych szerokościach geograficznych i jest związane z ekspansją gatunków wektorowych oraz kręgowców, których zasięgi rozprzestrzeniają się na północ (Omazic i in., 2019). W ostatnich 15 latach znacząco wzrosła liczba publikacji naukowych dotyczących zmian klimatu w kontekście rozprzestrzeniania się chorób, co

ZMIANA KLIMATU

wskazuje na wzrost zainteresowania tym problemem na świecie, szczególnie że wiele z tych chorób to zoonozy, czyli choroby przenoszone ze zwierząt na ludzi. Za choroby „wrażliwe” na zmiany klimatu (ang. „*climate-sensitive infections*”; CSI) jest uznawanych wiele chorób o zróżnicowanych drogach transmisji, wśród nich te przenoszone przez wektory (Omazic i in., 2019). Są wśród nich m.in.: choroba niebieskiego języka – wirusowa choroba domowych i dzikich przeżuwaaczy przenoszona przez muchówki z rodzaju *Culicoides* (kuczmany) (Samy i Peterson, 2016), a także fascjoloza – wywoływana przez motylicę wątrobową pasożytnicza choroba, dotycząca zarówno domowe, jak i dzikie zwierzęta, w której przenoszenie są zaangażowane ślimaki z rodziny błotniarkowatych (Limnaeidae) (Cruz-Mendoza, Quiroz-Romero, Correa, Gomez-Espinoza, 2011). W obu przypadkach wyższe temperatury pozwalają na zasiedlanie przez gatunki wektorowe nowych, wcześniej niedostępnych z powodu zbyt niskich temperatur, terenów oraz na przetrwanie patogenów w bardziej sprzyjających im warunkach klimatycznych.

Najbardziej znanym wektorem przenoszenia chorób są komary jednak inne gatunki wektorowe, takie jak kleszcze, muchówki czy pchły odgrywają również bardzo ważną rolę w przenoszeniu chorób. Występowanie komarów jest silnie uzależnione od warunków środowiska, tj. temperatury czy wilgotności (Bartlow i in., 2019). Rozszerzenie zasięgów występowania komarów jest spowodowane cieplejszymi zimami w północnych szerokościach geograficznych, a ich dalsza ekspansja będzie najprawdopodobniej miała miejsce w przyszłości z powodu postępujących zmian klimatycznych (Rochlin, Ninivaggi, Hutchinson, Farajollahi, 2013). Kompleksowe modelowanie przyszłych zmian klimatycznych, środowiskowych i migracyjnych pomaga w oszacowaniu dynamiki chorób przenoszonych przez wektory (Bartlow i in., 2019). Wspomniana wcześniej malaria, jak również Gorączka Zachodniego Nilu są doskonałymi przykładami, jak ocieplenie klimatu może wpływać na rozprzestrzenianie się chorób przenoszonych przez wektory i na zdrowie publiczne (Ferraguti i in., 2020). Gorączkę Zachodniego Nilu wywołuje wirus Zachodniego Nilu (ang. „*West Nile Virus*”; WNV). Pierwotnym rezerwuarem WNV są ptaki, a wirus jest przenoszony na inne ptaki i ssaki (w tym ludzi) przez komary. Po raz pierwszy został wykryty w latach 30. XX wieku w Ugandzie, a od lat 90. obserwuje się coraz częstsze ogniska choroby również w Europie (Ferraguti i in., 2020). W 2018 roku odnotowano znaczny wzrost liczby przypadków w Europie – aż 1500 zachorowań u ludzi, w tym 180 przypadków śmiertelnych (Zannoli i Sambri, 2019). Dużą rolę w przenoszeniu Gorączki Zachodniego Nilu – oprócz komarów – odgrywają ptaki migrujące z Europy do Afryki i z powrotem. W Polsce przeciwciała przeciwko WNV stwierdzono u dzikich ptaków, koni i ludzi, nie stwierdzono jednak materiału genetycznego samego wirusa. Na podstawie ponad 7 tysięcy przebadanych próbek przeciwciała stwierdzono u 13,3% przebadanych ptaków, 0,3% koni i 33,3% pacjentów Kliniki Chorób Zakaźnych i Neuroinfekcji Akademii Medycznej w Białymstoku (Niczyporuk i in., 2015).

Kolejną chorobą przenoszoną przez komary, a dotyczącą głównie psy, ale również ludzi i dzikie drapieżniki jest dirofilarioza – choroba wywoływana przez nicienie należące najczęściej do dwóch gatunków: 1) *Dirofilaria repens* umiejscawiająca się przede wszystkim pod skórą zarażonych żywicieli i 2) bardziej patogenna *Dirofilaria immitis* osiedlająca się w sercu (Otranto i Deplazes, 2019). Jeszcze do niedawna choroba występowała w Europie przede wszystkim w basenie Morza Śródziemnego, jednak w ostatnich latach rozprzestrzeniła się w kierunku wschodnim i północnym, powodując znaczny wzrost liczby stwierdzanych przypadków zachorowań u ludzi; np. na Ukrainie w latach 1996–2012 odnotowano prawie 1500 przypadków ludzkiej dirofilariozy (Sałamatin i in., 2013). Obecnie jedynymi krajami, gdzie tej choroby jeszcze nie stwierdzono, jest Wielka Brytania, Szwecja, Dania i Belgia (Capelli i in., 2018). W Polsce autochtoniczną dirofilariozę stwierdzono po raz pierwszy w 2009 roku u psów i w 2010 u ludzi (Cielecka i in., 2012; Demiaszkiewicz, Polanczyk, Pyziel, Kuligowska, Lachowicz, 2009). Kompleksowe badania psów w całej Polsce przeprowadzone kilka lat później wykazały obecność psów zarażonych dirofilariozą we wszystkich województwach, a odsetek zarażonych zwierząt osiągał nawet ponad 25% w woj. mazowieckim (Demiaszkiewicz i in., 2014). Obserwowane rozprzestrzenianie się tego pasożyta w Europie może być spowodowane m.in. ekspansją dzikich ssaków drapieżnych, np. szakali, czy takich gatunków inwazyjnych jak szopy i jenoty, które zasiedlając nowe tereny przenoszą „swoje” patogeny lub włączają się w cykle życiowe patogenów wcześniej obecnych na danym terenie. Kolejnym powodem rozprzestrzeniania się dirofilariozy może być ekspansja komarów, które przy korzystniejszych warunkach środowiskowych i klimatycznych, tj. łagodnych zimach, mogą zasiedlać szerokości geograficzne wcześniej dla nich niedostępne z powodu zbyt niskich temperatur (Capelli i in., 2018; Otranto i Deplazes, 2019).

Bardzo ważnymi wektorami przenoszącymi choroby są kleszcze. Wywoływana przez bakterie z rodzaju *Borrelia* – borelioza, wirusowe odkleszczowe zapalenie mózgu (KZM), czy niezwykle groźna dla psów pierwotniacza choroba – babeszjoza, to szeroko rozpowszechnione choroby, które z powodu ocieplenia klimatu i m.in. łagodniejszych zim w naszej strefie klimatycznej, stwarzają coraz więcej problemów i występują praktycznie przez cały rok, gdyż brak mroźnych i śnieżnych zim nie ogranicza występowania kleszczy i transmisji chorób nawet w miesiącach zimowych. Za wzmożone przenoszenie chorób odkleszczowych odpowiada również synchronizacja występowania różnych form rozwojowych kleszczy, tj. larw czy nimf, które biorą udział w ich rozprzestrzenianiu. Synchronizacja występowania w tym samym czasie larw i nimf jest obserwowana w czasie łagodnych zim, a to w konsekwencji zwiększa nie tylko transmisję, ale też chorobotwórczość (wirulencję) zakażeń odkleszczowych (Altizer i in., 2013).

Ciekawe wyniki przyniosło badanie wpływu anomalii klimatycznych wywołanych przez El Niño na pojawianie się ognisk chorób przenoszonych przez

ZMIANA KLIMATU

wektory, m.in. gorączki Denga, malarii, infekcji hantawirusowych (Morand i in., 2013). Mniej zbadane są natomiast skutki oscylacji północnoatlantyckiej (ang. „*North Atlantic Oscillation*”; NAO) na występowanie chorób, ale spróbowano oszacować ten związek dla 13 chorób zakaźnych występujących w Europie w ciągu ostatnich 50 lat (Morand i in., 2013). Taką zależność udowodniono w przypadku 11 badanych chorób, takich jak: zakażenia adenowirusowe, hantawirusowe i enterowirusowe, odra, zapalenie opon mózgowych, gorączka Q, zapalenie żołądka i jelit, tularemia, schigelloza, dur brzuszny i zapalenie wątroby typu A (Morand i in., 2013). Badania te potwierdziły, że anomalie klimatyczne mogą mieć znaczące konsekwencje dla zdrowia publicznego w Europie.

7. Podsumowanie

Podsumowując, można stwierdzić, że najnowsze badania i dostępne dane potwierdzają, że ocieplenie klimatu może mieć bezpośredni wpływ na patogeny, głównie poprzez wpływ na ich przeżycie w środowisku oraz ekspansję gatunków żywicielskich i wektorowych, a dane o anomaliach i zmianach klimatycznych mogą być przydatne do opracowywania systemów wczesnego ostrzegania w celu lepszej kontroli i zarządzania epidemiami. Epidemiologia chorób zakaźnych podlega ciągłym fluktuacjom w odpowiedzi na zmiany środowiskowe i zmieniające się interakcje między żywicielami, gatunkami rezerwuarnymi, wektorowymi oraz samymi patogenami. W grupie chorób odzwierzęcych pojawiających się na nowych terenach patogeny przenoszone przez wektory zmieniają się szybciej wraz ze zmianami klimatu i potencjalnie mają bardziej złożoną epidemiologię. Migracje, wędrówki, inwazje i ekspansje gatunków na nowe tereny – wcześniej niedostępne z powodu niesprzyjających warunków klimatycznych – wpływają na dynamikę transmisji chorób oraz skutkują wprowadzaniem nowych – przywleczonych wraz z przemieszczającymi się zwierzętami – patogenów do środowiska. Problem nowych chorób odzwierzęcych jest ściśle związany z pojawianiem się gatunków żywicielskich, rezerwuarnych i wektorowych w miejscach, gdzie wcześniej nie były one w stanie przeżyć ze względu na nieodpowiednie warunki środowiskowe lub klimatyczne. Obserwowane zmiany klimatyczne i działania związane z ich ograniczeniem powodują, że badania nad chorobami „wrażliwymi” na zmiany klimatu stają się ważną dziedziną nauki.

Naukowcy wciąż jednak niewiele wiedzą, jak patogeny i ich potencjalni żywiele będą w przyszłości reagować na zmiany klimatyczne. Jeszcze mniej wiadomo jak ocieplenie klimatu będzie wpływać na ewolucję układów patogen-żywiciel. Dodatkowym kluczowym wyzwaniem jest przewidzenie, jak interakcje warunki klimatyczne – choroby wpłyną na ludzi – ich zdrowie, warunki ekonomiczne itp. Przesiedlenia ludności, konflikty społeczne, spadek jakości wody i żywności, a do tego przyroda, z jednej strony niszczona, a z drugiej zmieniająca

się w kontekście pojawiania się nowych patogenów – to wszystko wpłynie prawdopodobnie na rozprzestrzenianie się nowych i nieznanych chorób zakaźnych nawet w wysoko cywilizowanych społeczeństwach. Należy mieć świadomość, że żyjemy w czasach, gdy dynamika zmian klimatycznych jest trudna do przewidzenia; tak samo trudno jest przewidzieć, jakie choroby i kiedy pojawią się w Europie, w Polsce i jakie skutki społeczne to wywoła. Jedynie, czego można być pewnym, to to, że stanie się to na pewno... już się staje.

Bibliografia

- Altizer, S., Bartel, R., Han, B. A. (2011). Animal Migration and Infectious Disease Risk. *Science*, 331(6015), 296–302. doi:10.1126/science.1194694
- Altizer, S., Ostfeld, R. S., Johnson, P.T.J., Kutz, S., Harvell, C.D. (2013). Climate Change and Infectious Diseases: From Evidence to a Predictive Framework. *Science*, 341(6145), 514–519. doi:10.1126/science.1239401
- Bartlow, A.W., Manore, C., Xu, C., Kaufeld, K.A., Del Valle, S., Ziemann, A., . . . Fair, J.M. (2019). Forecasting Zoonotic Infectious Disease Response to Climate Change: Mosquito Vectors and a Changing Environment. *Veterinary Sciences*, 6(2), 40. doi:10.3390/vetsci6020040
- Bilska-Zajac, E., Rózycki, M., Chmurzyńska, E., Antolak, E., Próchniak, M., Gradziel-Krukowska, K., . . . Cencek, T. (2017). First case of *Trichinella nativa* infection in wild boar in Central Europe-molecular characterization of the parasite. *Parasitology Research*, 116(6), 1705–1711. doi:10.1007/s00436-017-5446-6
- Bouwknegt, M., Devleeschauwer, B., Graham, H., Robertson, L.J., van der Giessen, J.W. B., Euro, F. B. P. W. P. (2018). Prioritisation of food-borne parasites in Europe, 2016. *Eurosurveillance*, 23(9), 28–38. doi:10.2807/1560-7917.es.2018.23.9.17-00161
- Bryan, K. (1969). Climate and the Ocean Circulation: III. The Ocean Model. *Monthly Weather Review*, 97(11), 806–827. doi:10.1175/1520-0493(1969)097<0806:ca-toc>2.3.co;2
- Calvin, K., Bond-Lamberty, B. (2018). Integrated human-earth system modeling-state of the science and future directions. *Environmental Research Letters*, 13(6), 063006. doi:10.1088/1748-9326/aac642
- Capelli, G., Genchi, C., Baneth, G., Bourdeau, P., Brianti, E., Cardoso, L., . . . Silaghi, C. (2018). Recent advances on *Dirofilaria repens* in dogs and humans in Europe. *Parasites & Vectors*, 11, 663. doi:10.1186/s13071-018-3205-x
- Chmurzyńska, E., Rózycki, M., Bilska-Zajac, E., Nockler, K., Mayer-Scholl, A., Pozio, E., . . . Karamon, J. (2013). *Trichinella nativa* in red foxes (*Vulpes vulpes*) of Germany and Poland: Possible different origins. *Veterinary Parasitology*, 198(1–2), 254–257. doi:10.1016/j.vetpar.2013.07.034
- Cielecka, D., Żarnowska-Prymek, H., Masny, A., Sałamatina, R., Wesolowska, M., Gołab, E. (2012). Human dirofilariasis in Poland: the first cases of autochthonous infections with *Dirofilaria repens*. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 19, 445–450.

ZMIANA KLIMATU

- Cruz-Mendoza, I., Quiroz-Romero, H., Correa, D., Gomez-Espinoza, G. (2011). Transmission dynamics of *Fasciola hepatica* in the Plateau Region of Mexico. Effect of weather and treatment of mammals under current farm management. *Veterinary Parasitology*, 175(1–2), 73–79. doi:10.1016/j.vetpar.2010.09.034
- Davidson, R.K., Mørk, T., Holmgren, K.E., Oksanen, A. (2020). Infection with brainworm (*Elaphostrongylus rangiferi*) in reindeer (*Rangifer tarandus* ssp.) in Fennoscandia. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 62(1), 24. doi:10.1186/s13028-020-00524-4
- Deksne, G., Davidson, R., Buchmann, K., Karssin, A., Kirjusina, M., Gavarane, I., . . . Jokelainen, P. (2020). Parasites in the changing world – ten timely examples from the Nordic-Baltic region. *Parasite Epidemiology and Control*, 10, e00150. doi:10.1016/j.parepi.2020.e00150
- Della-Marta, P.M., Haylock, M.R., Luterbacher, J., Wanner, H. (2007). Doubled length of western European summer heat waves since 1880. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 112(D15). doi:D1510310.1029/2007jd008510
- Demiaszkiewicz, A.W., Polańczyk, G., Osińska, B., Pyziel, A.M., Kuligowska, I., Lachowicz, J., Sikorski, A. (2014). Prevalence and distribution of *Dirofilaria repens* Railliet et Henry, 1911 in dogs in Poland. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 17(3), 515–517. doi:10.2478/pjvs-2014-0075
- Demiaszkiewicz, A.W., Polańczyk, G., Pyziel, A.M., Kuligowska, I., Lachowicz, J. (2009). The first foci of dirofilariosis of dogs evoked by *Dirofilaria repens* Railliet et Henry, 1911 in central Poland. [Pierwsze ogniska dirofilariozy psów wywołanej przez *Dirofilaria repens* Railliet et Henry, 1911 w centralnej Polsce.]. *Wiadomości Parazytologiczne*, 55(4), 367–370.
- Ferraguti, M., Heesterbeek, H., Martinez-de la Puente, J., Jimenez-Clavero, M.A., Vazquez, A., Ruiz, S., . . . Figuerola, J. (2020). The role of different *Culex* mosquito species in the transmission of West Nile virus and avian malaria parasites in Mediterranean areas. *Transboundary and Emerging Diseases*. doi:10.1111/tbed.13760
- Flato, G.M. (2011). Earth system models: an overview. *WIREs Climate Change*, 2(6), 783–800. doi:10.1002/wcc.148
- Garamszegi, L.Z. (2011). Climate change increases the risk of malaria in birds. *Global Change Biology*, 17(5), 1751–1759. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02346.x
- Genchi, C., Kramer, L.H. (2020). The prevalence of *Dirofilaria immitis* and *D. repens* in the Old World. *Veterinary Parasitology*, 280, 108995. doi:https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.108995
- Gherman, C.M., Mihalca, A.D. (2017). A synoptic overview of golden jackal parasites reveals high diversity of species. *Parasites & Vectors*, 10(1), 419–419. doi:10.1186/s13071-017-2329-8
- Giorgi, F., Bi, X., Pal, J. (2004). Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: climate change scenarios (2071–2100). *Climate Dynamics*, 23(7), 839–858. doi:10.1007/s00382-004-0467-0
- Halvorsen, O., Andersen, J., Skorpning, A., Lorentzen, G. (1980). Infection in reindeer with the nematode *Elaphostrongylus rangiferi* Mitskevich in relation to climate and distribution of intermediate hosts. *Proceedings of the International Reindeer/Caribou Symposium*, 2(B), 449–455.
- Handeland, K., Davidson, R.K., Viljugrein, H., Mossing, A., Meisingset, E.L., Heum, M., . . . Isaksen, K. (2019). *Elaphostrongylus* and *Dictyocaulus* infections in Norwegian wild reindeer and red deer populations in relation to summer pasture altitude and

Marta Kołodziej-Sobocińska *Migracje zwierząt związane ze zmianami klimatycznymi...*

- climate. *International Journal for Parasitology-Parasites and Wildlife*, 10, 188–195. doi:10.1016/j.ijppaw.2019.09.003
- Hickling, R., Roy, D.B., Hill, J.K., Fox, R., Thomas, C.D. (2006). The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology*, 12(3), 450–455. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01116.x
- Kern, P., Bardonnnet, K., Renner, E., Auer, H., Pawlowski, Z., Ammann, R.W., . . . Kern, P. (2003). European echinococcosis registry: Human alveolar echinococcosis, Europe, 1982–2000. *Emerging Infectious Diseases*, 9(3), 343–349. doi: 10.3201/eid0903.020341
- Knapp, J., Staebler, S., Bart, J.M., Stien, A., Yoccoz, N.G., Drögemüller, C., . . . Deplazes, P. (2012). *Echinococcus multilocularis* in Svalbard, Norway: Microsatellite genotyping to investigate the origin of a highly focal contamination. *Infection, Genetics and Evolution*, 12(6), 1270–1274. doi:https://doi.org/10.1016/j.mee-gid.2012.03.008
- Kowalczyk, R., Kołodziej-Sobocińska, M., Ruczyńska, I., Wójcik, J.M. (2015). Range expansion of the golden jackal (*Canis aureus*) into Poland: first records. *Mammal Research*, 60(4), 411–414. doi:10.1007/s13364-015-0238-9
- Laaksonen, S., Puseenius, J., Kumpula, J., Venalainen, A., Kortet, R., Oksanen, A., Hoberg, E. (2010). Climate Change Promotes the Emergence of Serious Disease Outbreaks of Filarioid Nematodes. *EcoHealth*, 7(1), 7–13. doi:10.1007/s10393-010-0308-z
- Loiseau, C., Harrigan, R.J., Cornel, A.J., Guers, S.L., Dodge, M., Marzec, T., . . . Sehgal, R. N.M. (2012). First Evidence and Predictions of *Plasmodium* Transmission in Alaskan Bird Populations. *Plos One*, 7(9), e44729. doi:10.1371/journal.pone.0044729
- Malczewski, A., Rocki, B., Ramisz, A., Eckert, J. (1995). *Echinococcus multilocularis* (Cestoda), the Causative Agent of Alveolar Echinococcosis in Humans: First Record in Poland. *The Journal of Parasitology*, 81(2), 318–321. doi:10.2307/3283945
- Morand, S., Owers, K.A., Waret-Szkuta, A., McIntyre, K.M., i Baylis, M. (2013). Climate variability and outbreaks of infectious diseases in Europe. *Scientific Reports*, 3, 1774. doi:177410.1038/srep01774
- Morand, S., Walther, B.A. (2020). The accelerated infectious disease risk in the Anthropocene: more outbreaks and wider global spread. *bioRxiv*, 2020.2004.2020.049866. doi:10.1101/2020.04.20.049866
- Niczyporuk, J.S., Samorek-Salamonowicz, E., Lecollinet, S., Pancewicz, S.A., Kozdrun, W., Czekaj, H. (2015). Occurrence of West Nile Virus Antibodies in Wild Birds, Horses, and Humans in Poland. *Biomed Research International*, 2015, 234181. doi:23418110.1155/2015/234181
- Olsen, A., Berg, R., Tagel, M., Must, K., Deksné, G., Enemark, H.L., . . . Jokelainen, P. (2019). Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* in domestic pigs, sheep, cattle, wild boars, and moose in the Nordic-Baltic region: A systematic review and meta-analysis. *Parasite Epidemiology and Control*, 5, e00100. doi:10.1016/j.parepi.2019.e00100
- Omazic, A., Bylund, H., Boqvist, S., Hogberg, A., Bjorkman, C., Tryland, M., . . . Albiñ, A. (2019). Identifying climate-sensitive infectious diseases in animals and humans in Northern regions. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 61(1), 53. doi:5310.1186/s13028-019-0490-0

ZMIANA KLIMATU

- Otranto, D., Deplazes, P. (2019). Zoonotic nematodes of wild carnivores. *International Journal for Parasitology-Parasites and Wildlife*, 9, 370–383. doi:10.1016/j.ijppaw.2018.12.011
- Pozio, E. (2020). How globalization and climate change could affect foodborne parasites. *Experimental Parasitology*, 208. 107807. doi:10780710.1016/j.exppara.2019.107807
- Rickbeil, G.J.M., Merkle, J.A., Anderson, G., Atwood, M.P., Beckmann, J.P., Cole, E.K., . . . Middleton, A. D. (2019). Plasticity in elk migration timing is a response to changing environmental conditions. *Global Change Biology*, 25(7), 2368–2381. doi:10.1111/gcb.14629
- Ripple, W.J., Wolf, C., Newsome, T.M., Barnard, P., Moomaw, W.R. (2020). World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *Bioscience*, 70(1), 8–12. doi:10.1093/biosci/biz088
- Rochlin, I., Ninivaggi, D.V., Hutchinson, M.L., Farajollahi, A. (2013). Climate Change and Range Expansion of the Asian Tiger Mosquito (*Aedes albopictus*) in Northeastern USA: Implications for Public Health Practitioners. *Plos One*, 8(4). e60874. doi: e6087410.1371/journal.pone.0060874
- Rose, H., Hoar, B., Kutz, S.J., Morgan, E.R. (2014). Exploiting parallels between livestock and wildlife: Predicting the impact of climate change on gastrointestinal nematodes in ruminants. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 3(2), 209–219. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2014.01.001
- Sałamatin, R.V., Pavlikovska, T.M., Sagach, O.S., Nikolayenko, S.M., Korniyushin, V.V., Kharchenko, V.O., . . . Golab, E. (2013). Human dirofilariasis due to *Dirofilaria repens* in Ukraine, an emergent zoonosis: Epidemiological report of 1465 cases. *Acta Parasitologica*, 58(4), 592-598. doi:10.2478/s11686-013-0187-x
- Samy, A.M., Peterson, A.T. (2016). Climate Change Influences on the Global Potential Distribution of Bluetongue Virus. *Plos One*, 11(3). e0150489. doi: e015048910.1371/journal.pone.0150489
- Sellers, W.D. (1969). A Global Climatic Model Based on the Energy Balance of the Earth-Atmosphere System. *Journal of Applied Meteorology*, 8(3), 392–400. doi:10.1175/1520-0450(1969)008<0392:agcmbo>2.0.co;2
- Semenza, J.C., Menne, B. (2009). Climate change and infectious diseases in Europe. *Lancet Infectious Diseases*, 9(6), 365–375. doi:10.1016/s1473-3099(09)70104-5
- Semenza, J.C., Herbst, S., Rechenburg, A., Suk, J.E., Hoser, C., Schreiber, C., Kistemann, T. (2012). Climate Change Impact Assessment of Food- and Waterborne Diseases. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(8), 857–890. doi:10.1080/10643389.2010.534706
- Semenza, J.C., Suk, J.E., Estevez, V., Ebi, K.L., Lindgren, E. (2012). Mapping Climate Change Vulnerabilities to Infectious Diseases in Europe. *Environmental Health Perspectives*, 120(3), 385–392. doi:10.1289/ehp.1103805
- Teitelbaum, C.S., Huang, S., Hall, R.J., Altizer, S. (2018). Migratory behaviour predicts greater parasite diversity in ungulates. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 285(1875). 20180089. doi:2018008910.1098/rspb.2018.0089
- Wahlström, H., Enemark, H.L., Davidson, R.K., Oksanen, A. (2015). Present status, actions taken and future considerations due to the findings of *E. multilocularis* in

Marta Kołodziej-Sobocińska *Migracje zwierząt związane ze zmianami klimatycznymi...*

two Scandinavian countries. *Veterinary Parasitology*, 213(3), 172–181. doi:<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.07.037>

Zannoli, S., Sambri, V. (2019). West Nile Virus and Usutu Virus Co-Circulation in Europe: Epidemiology and Implications. *Microorganisms*, 7(7). 184. doi:[10.3390/microorganisms7070184](https://doi.org/10.3390/microorganisms7070184)