

PIOTR TRYJANOWSKI, ANNA EKNER

*Instytut Biologii Środowiska  
Wydział Biologii UAM  
Umultowska 89, 61-614 Poznań  
E-mail: ptasiek@amu.edu.pl  
          aekner@amu.edu.pl*

## ZMIANY KLIMATYCZNE: KONSEKWENCJE DLA GATUNKÓW I EKOSYSTEMÓW

### WSTĘP

Ostatnio ukazuje się coraz więcej prac opisujących reakcję gatunków i ekosystemów na globalny wzrost temperatury. Prac jest już tak wiele, że możliwe jest wykonywanie meta-analiz w skali całego globu (ROSENZWEIG i współaut. 2008). Stają się one tym bardziej popularne, że są, w przeciwieństwie do skomplikowanych modeli fizycznych czy analiz fizyko-chemicznych, łatwo zrozumiałe, a ich wyniki często są komentowane na łamach gazet codziennych i szeroko wykorzystywane w edukacji ekologicznej (IPCC 2007, ROSENZWEIG i współaut. 2008).

Liczne prace, później wykorzystywane do interpretacji wpływu zmian klimatycznych na życie poszczególnych gatunków i ekosystemów, początkowo były projektowane, a nawet prowadzone w innych celach, takich jak: monitoring populacji ptaków migrujących,

czy analizy demograficzne. Dziś jednak wiadomo, że badania takie jak wcześniej wspomniane, mają ogromne znaczenie, ponieważ dzięki nim można określić długoterminowe zmiany w układach biologicznych oraz oszacować przewidywane zmiany w przyszłości.

Ze względu na ogrom literatury przedmiotu szczególnie zainteresowanych Czytelników zmuszeni jesteśmy odesłać do ostatniej pracy podsumowującej kierunek i siłę zmian u organizmów żywych wywołanych zmianami klimatu (ROSENZWEIG i współaut. 2008, (Ryc. 1). Obszerniejszy materiał znaleźć można w ostatnim raporcie IPCC (2007, rozdziały 1 i 4). Poniżej zaś przedstawiamy przykłady zależności pomiędzy zmianami temperatury, a wielkością populacji, rozmieszczeniem oraz fenologią roślin i zwierząt, oraz ich konsekwencjami dla ekosystemów.

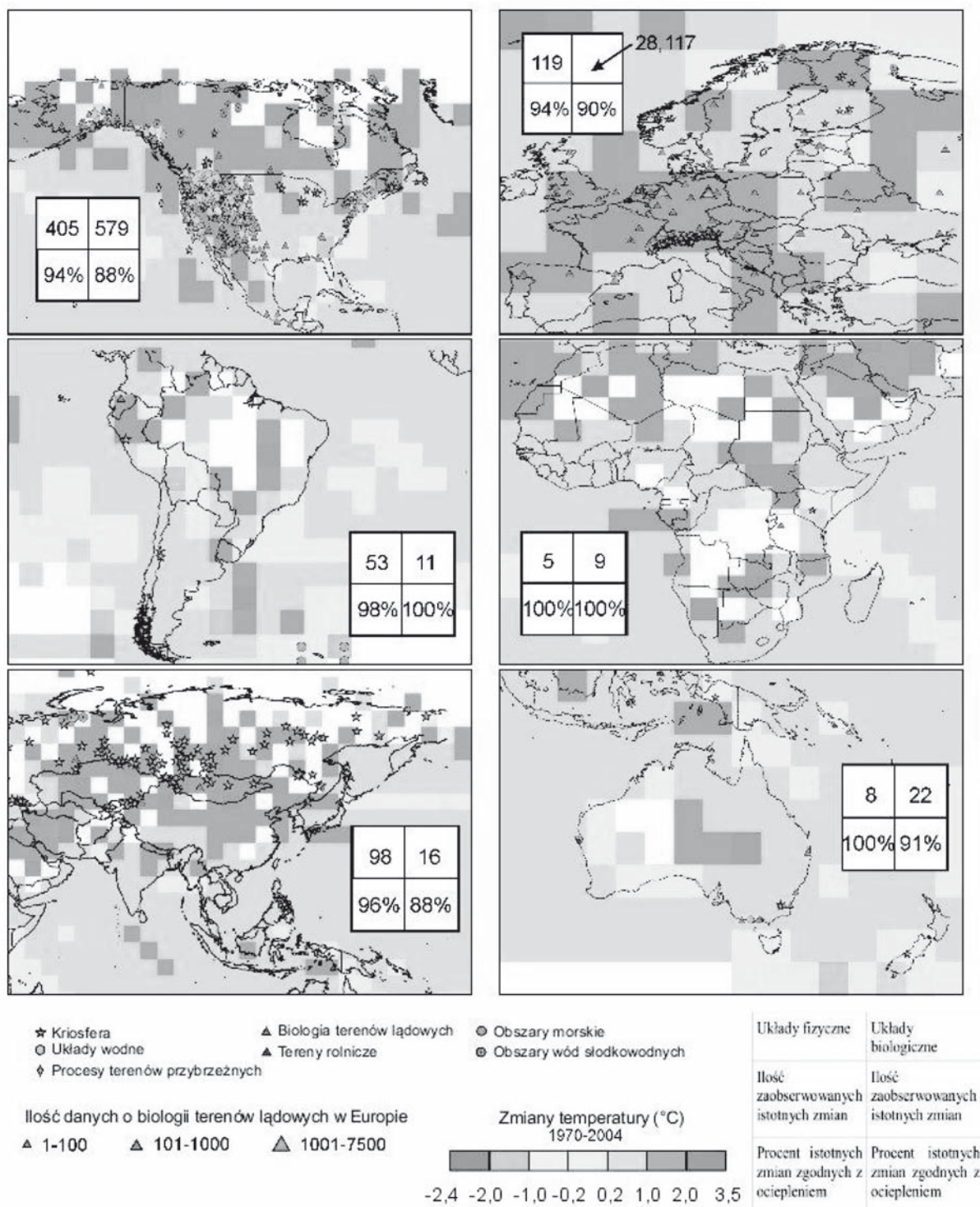
### REAKCJE POPULACJI NA ZMIANY KLIMATYCZNE

Ocieplenie klimatu ma szeroki wpływ na populacje organizmów dziko żyjących. Klimat wpływa na liczebność populacji, wzorce rozmieszczenia organizmów, jak i charakterystyki poszczególnych osobników. W związku z tym zrozumienie tego problemu jest bardzo istotne, gdyż może ono pomóc w ochronie przyrody oraz zarządzaniu jej zasobami. Jednakże, ocena wpływu pogody i klimatu na populacje bywa czasami trudna, gdyż czynniki, zarówno meteorologiczne, jak i klimatyczne

nie zawsze oddziałują w sposób bezpośredni. Ponadto, zmiany w populacjach mogą być maskowane poprzez inne, zakłócające czynniki, takie jak różnorodność pokrycia terenu, czy też jego użytkowanie (SPARKS i TRYJANOWSKI 2005).

#### ZMIANY LICZEBNOŚCI POPULACJI

Większość dostępnych danych populacyjnych odnosi się do zwierząt, a przykłady zdo-



Ryc. 1. Lokalizacja istotnych zmian zachodzących w układach fizycznych (śnieg, lód, zamrożony ląd, układy wodne i tereny przybrzeżnych) oraz w układach biologicznych (na terenach lądowych, morskich oraz słodkowodnych) Ziemi, na tle zmian temperatury powietrza w latach 1970–2004.

Dla obszarów zaznaczonych na biało nie posiadano wystarczających danych do analizy (wg ROSENZWEIG i współaut. 2008, zmieniona).

minowane są przez analizy populacji ptaków (S THER i współaut. 2004).

Zasadniczo zaproponowane zostały dwie hipotezy wyjaśniające, w którym okresie w ciągu roku zmiany klimatyczne będą miały największy wpływ na fluktuacje w liczebności populacji. Pierwsza z hipotez zakłada, że wahania te są znacznie silniejsze w sezonie niełęgowym, ponieważ, z uwzględnieniem zależności od zagęszczenia, warunki pogodowe determinują liczbę ptaków, która przetrwa w tym krytycznym dla nich okresie. Natomiast druga mówi o tym, że roczna zmienność liczebności populacji zależna jest od pogody występującej podczas sezonu lęgowego, gdyż wpływa ona na liczbę nowych osobników w kolejnych latach.

#### DEMOGRAFIA

Zmiany liczebności populacji wynikają ze zmian jej struktury demograficznej, relacji pomiędzy ilością narodzin i śmierci osobników tworzących populację lokalną. Stąd, wpływ zmian klimatu powinien być stosunkowo łatwy do przewidzenia. Jednakże, warunki pogodowe oraz czynniki klimatyczne bardzo rzadko oddziałują na tempo urodzin i śmierci osobników w sposób bezpośredni. S THER i współaut. (2004) wykazali, że wielkość zmian struktury demograficznej zależy od tego, jak duży jest wpływ zagęszczenia. Ponadto, w wielu przypadkach zmiany klimatu mogą oddziaływać na sam charakter zależności od zagęszczenia. W celu pełnego wyjaśnienia wpływu zmian klimatu na populację, poprzez jej parametry demograficzne, potrzeba przeprowadzić jeszcze kilka dobrych, długoterminowych badań.

Przykładem już zrealizowanych analiz są prace prowadzone w południowej Polsce (TRYJANOWSKI i współaut. 2005), w których analizowano demografię populacji lokalnej bociana białego oraz sposób zajmowania przez niego nowych terenów lęgowych. W przeciągu ostatniego wieku zwiększył się zasięg występowania tego gatunku na terenach położonych wyżej nad poziomem morza, jednakże czynnik warunkujący tą cechę wydaje się być złożony. Bocian biały wykazuje biologiczne zdolności do zajmowania rejonów górskich, podąża on także za odpowied-

nimi habitatami oraz podlega oddziaływaniu zmian klimatu. Stwierdzone zostało również, że czynniki klimatyczne przyczyniły się do wytworzenia nowych siedlisk odpowiednich dla bocianów oraz nowych możliwości zdobywania przez nie pożywienia. W tym przypadku wpływ zmian klimatycznych jest wyraźnie złożony.

#### BIOMETRIA

Prawdopodobieństwo zajmowania nowych terenów może być związane z cechami morfologicznymi organizmu, takimi jak rozmiar ciała. Z kolei, na tą cechę wpływać może temperatura, głównie u zwierząt stałocieplnych, u których podstawowy metabolizm uzależniony jest od ich masy. Z danych paleontologicznych uzyskano zaskakujące przykłady, ukazujące bardzo szybkie zmiany rozmiarów ciała ssaków, które często poprzedzały ich wyginiecie. Dzięki temu można przyjąć, że rozmiary ciała zwierząt stałocieplnych zmieniają się w czasie w stały i logiczny sposób, co jest bardzo istotne z punktu widzenia ewolucji. Teoretycznie, zmiany klimatu mogą wpływać na morfologię ptaków i ssaków w różny sposób. Reguła Bergmanna mówi, że taksony żyjące w ciepłym klimacie z reguły są mniejsze od tych, zamieszkujących regiony zimniejsze. Jeżeli teoria ta jest słuszna, zwierzęta wraz ze wzrostem średniej temperatury powinny stawać się coraz mniejsze, co zostało potwierdzone w badaniach nad ptakami i ssakami (m.in. YOM-TOV 2003). Jednakże, zmiana temperatury otoczenia może modyfikować dostępność pożywienia. Z kolei, jeżeli czynnik ten wzrasta, zwiększać powinny się także rozmiary ciała organizmów (m. in. TRYJANOWSKI i współaut. 2006).

Bardzo interesujące badania, z wykorzystaniem 25 gatunków ssaków, zostały przeprowadzone w Danii. W ciągu 175 lat, długość ciała gatunków o małych rozmiarach wzrosła, dużych zmalała, natomiast gatunków pośrednich pozostała niezmienną (SCHMIDT i JENSEN 2003). Spowodowane to mogło być zwiększoną fragmentacją habitatów. Zgodnie z teorią wysp, zwierzęta o średnich wymiarach radzą sobie z tym lepiej, niż te od nich większe i mniejsze.

#### ZMIANY W EKOSYSTEMACH: SKŁAD ZBIOROWISK ROŚLINNYCH I UGRUPOWAŃ ZWIERZĄT

Wahania liczebności populacji, jej zasięgu, a nawet cechy poszczególnych osobni-

ków mogą wpływać na jej strukturę społeczną, która, z kolei, może być modyfikowana



przez zmiany klimatyczne. Ponadto, rezultatem szybkich zmian klimatycznych mogą być zmiany w całych ekosystemach. W Holandii, VISSER i HOLLEMAN (2001) określili tempo rozwoju jaj motyla piędzika przedzimka (*Operophtera brumata*) oraz wypuszczania pąków dębu w odpowiedzi na zmiany temperatury. Wykazali oni słabą synchronizację między tymi dwoma procesami. Przykład ten wskazuje, że czasem zmienność temperatury (w tym wartości ekstremalne) może bardziej wpływać na interakcje gatunków, a nawet poziomów troficznych w ekosystemie, niż zmiany jej średniej wartości. Fluktuacje takie mogą

również oddziaływać na lokalne populacje ptaków, żywiących się larwami motyli, takimi jak sikory czy muchołówki, które, z kolei, reagować mogą w zupełnie inny sposób (BOTH i VISSER 2001, BOTH i współaut. 2006).

Zmiany klimatyczne mogą wpływać na gatunki nie tylko w sposób bezpośredni, ale także pośrednio poprzez oddziaływanie na zmiany liczebności ofiar, drapieżników, oraz ich siedlisk. Ponadto, co warto szczególnie podkreślić, wiele gatunków, zwłaszcza dużych zwierząt, reaguje na czynniki środowiskowe z opóźnieniem (SÆTHER i współaut. 2004).

## ZMIANY ZASIĘGÓW

Gatunki charakteryzują się określonym progiem tolerancji względem wody/wilgotności i temperatury, dzięki czemu sposób ich rozprzestrzeniania zależy od klimatu. Niedawno, jako odpowiedź na zmiany klimatyczne, zanotowano przemieszczanie się roślin i zwierząt w kierunku biegunów oraz terenów położonych wyżej nad poziomem morza (GATES 1993). Można spodziewać się podobnych reakcji organizmów na aktualnie zachodzące ocieplenie się klimatu.

Jednakże, czynniki wpływające na rozprzestrzenianie się gatunków działają w sposób kompleksowy i przesunięcie zasięgu ich występowania zachodzi raczej w sposób skokowy. Ponadto, tempo zmian zasięgu ich występowania bardzo różni się pomiędzy oraz wewnątrz gatunków o różnych zdolnościach do rozprzestrzeniania się. Gatunki migrujące należą do najlepiej zbadanych, jednak często cechują się one znacznymi fluktuacjami na terenach lęgowych, co powoduje trudności w określeniu długoterminowych zmian zasięgu ich występowania. Jest to łatwiejsze dla osiadłych gatunków zwierząt oraz dla roślin, których populacje wykazują znacznie wolniejsze proces wymierania i kolonizacji. Pomimo tak wielkiej różnorodności i złożoności, istnieje znaczący dowód na to, że przemieszczanie się gatunków w XX w., w kierunku pół biegunowych oraz na wyższe wysokości, występuje w szerokim zakresie grup taksonomicznych oraz rejonów geograficznych i w odpowiedzi na ocieplenie klimatu (WALTHER i współaut. 2002, PARMESAN i YOHE 2003, IPCC 2007, SMITH i współaut. 2008, ROSENZWEIG i współaut. 2008).

## ROZPRZESTRZENIANIE SIĘ ORGANIZMÓW NA INNE SZEROKOŚCI GEOGRAFICZNE

Istnieją gatunki, które wcześniej skolonizowały regiony „zimne”, takie jak ukwiały w Zatoce Monterey, oraz porosty i motyle w Europie, podczas gdy zasięg występowania niektórych arktycznych gatunków skurczył się. Wiele jest przykładów na przemieszczanie się organizmów na różne szerokości geograficzne. PARMESAN i YOHE (2003) wykazali, że 80% z 434 badanych gatunków zmieniły sposób swojego rozmieszczenia w XX w., przemieszczały się one w odpowiedzi na zachodzące zmiany klimatyczne. Dla gatunków występujących w Morzu Północnym, z północną lub południową granicą zasięgu występowania, połowa wykazywała przesunięcie tej granicy wraz z ociepleniem, natomiast wszystkie, poza jednym przypadkiem, rozprzestrzeniły się w kierunku północnym. Ponadto, wykazano że gatunki ryb, które przesunęły swój zasięg występowania, cechowały się szybszym cyklem rozwojowym oraz mniejszymi rozmiarami ciała.

Rozprzestrzenianie się na różne szerokości geograficzne zostało zaobserwowane także u wielu gatunków roślin. Znaczna ilość zbiorowisk arktycznych i tundrowych została zastąpiona przez drzewa oraz krzewy karłowate. W Holandii (TAMIS i współaut. 2005), Wielkiej Brytanii oraz Norwegii, w porównaniu z okresem sprzed 30-tu lat, coraz częściej zaczęły pojawiać się gatunki roślin termofilnych. Jednakże obecność tradycyjnych zimnolubnych roślin nie zmniejszyła się.

ROZPRZESTRZENIANIE SIĘ NA INNE WYSOKOŚCI  
NAD POZIOM MORZA

Istnieje wiele dowodów na przemieszczanie się roślin na tereny położone na innych wysokościach. Wyższe temperatury oraz dłuższy okres wzrostu stworzyły korzystne warunki dla niektórych roślin oraz spowodowały ich rozprzestrzenienie się na rejony wyższe. W Alpach, w ciągu ostatnich 60-ciu lat gatunki świerka i sosny wyemigrowały na piętro wyższe, subalpejskie, natomiast subalpejskie krzewy rosną teraz na szczytach gór. Podobne przemieszczenia gatunków zanotowano także na Alasce, w Skandynawii, w rejonie śródziemnomorskim, Nowej Zelandii i Bułgarii (m.in. PEÑUELAS i BOADA 2003).

Endemicznym roślinom górskich zagrażają migrujące w górę konkurencyjne gatunki, które mogą je zastąpić. Zmiany w strukturach roślinności, na przykład ich bogactwie, rozchodzą się od regionu do regionu, a nawet

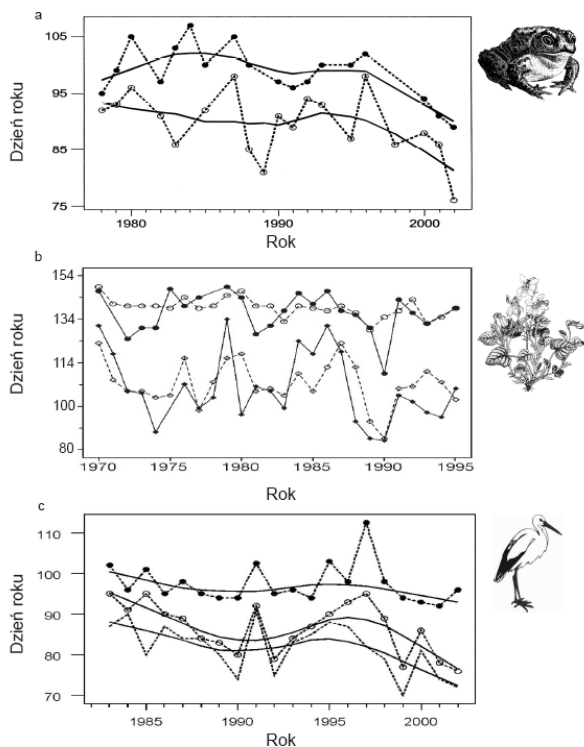
wewnątrz jednego regionu w sposób łańcuchowy. Podczas gdy w jednych miejscach różnorodność roślin wzrasta, w innych maleje. Przykłady wzrostu bogactwa roślin zanotowane zostały w Alpach, Pirenejach, Skandynawii, Bułgarii, Górach Ural, Chile i Australii (m.in. KULLMAN 2003, IPCC 2007).

Wzrost liczebności jest z reguły charakterystyką bardziej wrażliwą na zmiany klimatu niż śmiertelność. Wzrost reprodukcji na skraju zasięgu ekspansji rozprzestrzeniających się drzew jest bardziej gwałtowny, niż wzrost śmiertelności wycofujących się roślin. W konsekwencji, przy użyciu tych samych metod, wykrycie zmian zasięgu występowania organizmów na terenach „ustępujących” może zabrać kilka dekad więcej, niż na terenach ekspansji. Natomiast zmiany we wzroście i reprodukcji należą do najbardziej podstawowych odpowiedzi drzew na zmiany środowiskowe.

ZWIĄZANE Z KLIMATEM INWAZJE, WYMIERANIA ORAZ TWORZENIE SIĘ NOWYCH  
ZBIOROWISK

Z powodu wspomnianych zmian zasięgów występowania, nierodzące gatunki, pochodzące z terenów sąsiadujących, mogą stać się nowym elementem biotopu. Przykładem

mogą być ciepłolubne, wodne gatunki, które zaczęły pojawiać się na terenach Śródziemnomorskich oraz w okolicach Morza Północnego (WALTHER i współaut. 2002), a także cie-



Ryc. 2. Przykład analizy polskich danych fenologicznych:

a) czas składania skrzeku przez żabę trawną *Rana temporaria* (kółka puste) oraz ropuchę szarą *Bufo bufo* (kółka pełne) w Polsce, b) czas kwitnienia fiołka leśnego *Viola reichenbachiana* (□) oraz kasztanowca *Aesculus hippocastanum* (●) w Wielkiej Brytanii (linie ciągłe, symbole pełne) oraz w Polsce (linie przerywane, symbole puste), c) czas przylotu bociana białego *Ciconia ciconia* do Polski (średni – kółka pełne, trzeciego zaobserwowanego osobnika – kółka puste, pierwszego zaobserwowanego osobnika – linie bez kółek) (wg TRYJANOWSKIEGO i współaut. 2003, 2004).

plolubne rośliny, emigrujące z ogrodów na otaczające je tereny. Inwazje spowodowane zmianami klimatycznymi mogą także obejmować migracje niechcianych sąsiadów, wywołujących różne choroby. Przykładem jest ekspansja chorób przenoszonych przez komary, spowodowana wzrostem temperatury na terenach wyżynnych w Azji, Wschodniej Afryce oraz Ameryce Łacińskiej (IPCC 2007).

Nie wszystkie gatunki potrafią migrować z szybkością nadążającą za zmianami klimatycznymi, przez co trudno im dogonić klimat najbardziej dla nich odpowiedni. Przystosowanie się do nowego wywieru na nie ogromna presja. Fragmentacja habitatów wzmacnia selekcję poprzez ograniczenie puli genetycznej, na skutek zmniejszenia przechodzenia genów od populacji sąsiadujących. Z tego powodu istnieje prawdopodobieństwo,

że rośliny nie będą zdolne zaadaptować się do przewidywanej szybkości zmian klimatycznych. Wszystko to może mieć negatywny wpływ na przetrwanie i dostosowanie roślin, co w konsekwencji może zmniejszać szanse ich występowania.

Tempo wymierania i migracji różni się pomiędzy poszczególnymi gatunkami. W odpowiedzi na zmiany klimatu mogą tworzyć się zupełnie nowe zgrupowania roślinne. Zmiany mogą dotyczyć także składu i struktury danych zbiorowisk. Biorąc pod uwagę przewidywane gwałtowne tempo zmian klimatycznych, powinniśmy postrzegać klimat jako kluczową siłę napędową przyszłych układów zbiorowisk roślinnych. Zrozumienie rodzaju potencjalnego wpływu zmian klimatu pozwoli z większą dokładnością przewidzieć zmiany, jakie mogą zajść w przyszłości.

## FENOLOGIA

Przedstawione w ostatnim czasie dowody wpływu zmian klimatycznych na cechy biologiczne zdominowane są przez przykłady fenologiczne (m.in. PARMESAN i YOHE 2003, ROSENZWEIG i współaut. 2008). W klimacie charakteryzującym się zmianami sezonowymi, zarówno zwierzęta, jak i rośliny cechują się wyraźnymi cyklami, które są relatywnie łatwe do określenia. Zwane są one fenofazami. Większość z nich jest w bardzo istotny sposób zależna od temperatury. W związku z czym bezpośrednio zmiany temperatury, na przykład w okresie ocieplania klimatu, będą pociągać za sobą bezpośrednio zmiany poszczególnych faz.

Większość danych fenologicznych nie była zbierana z zamiarem wykorzystania ich jako wskaźników zmian klimatycznych, ale raczej w innych celach, takich jak oszacowanie wpływu zmian środowiskowych na fenologię, klimatu na rolnictwo, czy prowadzenie monitoringu środowiska.

Przykładem jest szybsze kwitnienie kasztanowca w odpowiedzi na wzrost temperatury w Wielkiej Brytanii i w Polsce (TRYJANOWSKI i współaut. 2006). Silnie skorelowana ze zmianą temperatury był także czas składania skrzeku przez żabę trawną (*Rana temporaria*) (TRYJANOWSKI i współaut. 2003) oraz czas migracji skowronka (*Alauda arvensis*) (TRYJANOWSKI i współaut. 2002). Produktywność niektórych gatunków ptaków większa była u osobników gniazdujących wcześniej (m.in. bocian biały, *Ciconia ciconia*, TRYJANOWSKI

i współaut. 2004). Przykłady te (Ryc. 2) jasno pokazują, że zmiany temperatury mogą wpływać na fenologię różnych organizmów. Ponadto, odpowiedzi tych organizmów mogą być bardzo różnorodne i zmieniać się w czasie (SPARKS i TRYJANOWSKI 2007).

Bardzo dużo prac fenologicznych przeprowadzonych zostało na półkuli północnej. Przykładem jest analiza zmian fenologicznych 385 roślin w okolicach Oxfordu w Anglii, która wykazała, że pierwszy dzień ich kwitnienia, w porównaniu z poprzednimi 4 dekadami, w ostatniej przypadła o 4,5 dnia wcześniej (FITTER i FITTER 2002). Metaanaliza ponad 100 tysięcy różnych badań, przeprowadzonych w Europie, pokazała że kraje cechujące się wyższym wzrostem temperatury doświadczają bardziej znaczących zmian fenologicznych (MENZEL i współaut. 2006). Brak informacji o oddziaływaniach w niektórych częściach Ziemi związany jest raczej z brakiem danych, niż z nie występowaniem oddziaływań (ROSENZWEIG i współaut. 2008).

FITTER i FITTER (2002) wykazali, że rośliny jednoroczne charakteryzowały się większymi zmianami fenologicznymi, niż wieloletnie. Podobnie jak rośliny zapylane przez owady, w stosunku do wiatropylnych. Z kolei, u ptaków migrujących większe zmiany zachodziły u migrantów krótkodystansowych, niż odlatujących na zimowiska w tropikalnej Afryce (TRYJANOWSKI i współaut. 2002). Ponadto, w porównaniu z kręgowcami, prawdopodobnie



mocniejszą odpowiedzią cechują się rośliny oraz zwierzęta bezkręgowce.

BOTH i współpracownicy (2006) opisali spadek liczebności muchołówki żałobnej (*Ficedula hypoleuca*) w Holandii, jako konsekwencję niedopasowania fenologii przylotu z zimowisk w Afryce, z coraz szybciej zmieniającą się florą i fauną (źródłem pokarmu) na legowiskach. Ale oprócz takich negatywnych przykładów, trzeba wspomnieć, że niektóre gatunki organizmów niewątpliwie odnoszą

korzyści ze zmian fenologicznych. Rozmnażanie niektórych organizmów ograniczone jest przez niską temperaturę, gdyż w takich warunkach niezdolne są one do przeprowadzenia pełnego cyklu rozwojowego. Rozluźnienie tzw. wąskiego gardła temperaturowego może indukować zwiększone rozprzestrzenianie się organizmów, zarówno na inne tereny geograficzne, jak i rejony położone wyżej nad poziomem morza, co zostało już opisane powyżej.

#### UWAGI KOŃCOWE

Oszacowanie zmian, zarówno liczebności populacji danego gatunku, rozprzestrzenienia, czy ich fenologii opiera się na danych długoterminowych. Do niedawna pozyskiwanie takich danych było rzadkością, jednak ostatnio zaczęto doceniać ich potencjał i wartość. Często imponujące dane zbierane były przez amatorów (zapiski przylotów ptaków, pojawów owadów, czy kwitnienia roślin), a nawet osoby nie zainteresowane badaniami przyrodniczymi (np. analizy fotografii gazetowych). Dziś już wiem, że takie historyczne zapiski mogą powiedzieć nam sporo o sposo-

bach i tempie rozprzestrzenienia się gatunków, zmian ich liczebności i czasu występowania.

Do niedawna naukowcy skupiali się głównie na dowodach świadczących o zmianie klimatu. Ważne jest jednak, aby kontynuować te badania w celu określenia miejsc, w jakich zmiany te już zachodzą oraz wykorzystywać je jako sygnał ostrzegawczy, który winien być wykorzystany m. in. przez działaczy na rzecz ochrony przyrody oraz polityków, w których gestii leży podejmowanie decyzji.

#### SPECIES AND ECOSYSTEMS RESPONSE TO CLIMATE CHANGE

##### Summary

There is a rapid growth of literature detailing the response of species to the global increases in temperature. Since 1860, when global records began, the mean air temperature of the Earth has risen significantly, over the 20th century the increase has been  $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$ , with increases reported as greater in the northern than in the southern

hemisphere. Many biological and physical systems had already been affected by climate change. As a consequence, many long-term data sets collected for other purposes, such as population monitoring, have been investigated to see if they contain any evidence of climate responses.

#### LITERATURA

- BOTH C., VISSER M. E., 2001. *Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long distance migrant bird*. Nature 411, 296-298.
- BOTH C., BOUWHUIS S., LESSELLS C. M., VISSER M. E., 2006. *Insufficient responses to climate change cause population declines in a long-distance migratory bird*. Nature 441, 81-83.
- FITTER A. H., FITTER R. S. R., 2002. *Rapid changes in the flowering time in British plants*. Science 296, 1689-1691.
- GATES D. M., 1993. *Climate change and the biological consequences*. Sinauer Associates Inc. Sunderland, Massachusetts.
- IPCC, 2007. *Working Group II Report "Impacts, Adaptation and Vulnerability"*. Cambridge University Press, Cambridge.
- KULLMAN L., 2003. *Recent reversal of Neoglacial climate cooling trend in the Swedish Scandes as evidenced by mountain birch tree-limit rise*. Global Planet. Change 36, 77-88.
- MENZEL A., SPARKS T., ESTRELLA N., KOCH E., AASA A., AHAS R., ALM-KÜBLER K., BISSOLLI P., BRASLAVSKA O., BRIEDE A., CHMIELEWSKY F., CREPINSEK Z., 2006. *European phenological response to climate change matches the warming pattern*. Global Change Biol. 12, 1969-1976.
- PARMESAN C., YOHE G., 2003. *A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems*. Nature 421, 37-42.
- PEÑUELAS J., BOADA M., 2003. *A global change-induced biome shift in the Montseny Mountains (NE Spain)*. Global Change Biol. 9, 131-140.

- ROSENZWEIG C., KAROLY D., VICARELLI M., NEOFOTIS P., WU Q., CASASSA G., MENZEL A., ROOT T. L., ESTRELLA N., SEGUIN B., TRYJANOWSKI P., LIU C., RAWLINS S., IMESON A., 2008. *Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change*. Nature 453, 353–358.
- SÆTHER B.-E., SUTHERLAND W. J., ENGEN S., 2004. *Climate influences on avian population dynamics*. Adv. Ecol. Res. 35, 185–209.
- SCHMIDT N. M., JENSEN P. M., 2003. *Changes in mammalian body length over 175 years – adaptations to a fragmented landscape?* Conservation Ecol. 7, 6. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol7/iss2/art6>
- SMITH B., AASA A., AHAS R., BLENCKNER T., CALLAGHAN T., DE CHAZAL J., HUMBORG C., JÖNSSON A. M., KELLOMÄKI S., KULL A., LEHIKONEN E., MANDER Ü., NÖGES P., NÖGES T., ROUNSEVELL M., SOFIEV M., TRYJANOWSKI P., WOLF A., 2008. *Climate-related change in terrestrial and freshwater ecosystems*. [W:] *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. BACC Author Group, Springer-Verlag, Berlin, 221–308.
- SPARKS T. H., TRYJANOWSKI P., 2005. *The detection of climate impacts: some methodological considerations*. Int. J. Climatol. 25, 271–277.
- SPARKS T., TRYJANOWSKI P., 2007. *Patterns of spring arrival dates differ in two hirundines*. Clim. Res. 35, 159–164.
- TAMIS W. L. M., VAN’T ZELFDE M., VAN DER MEIJDEN R., GROEN C. L. G., UDO DE HAES H. A., 2005. *Ecological interpretation of changes in the Dutch flora in the 20th century*. Biol. Conserv. 125, 211–224.
- TRYJANOWSKI P., KUŹNIAK S., SPARKS T., 2002. *Earlier arrival of some farmland migrants in western Poland*. Ibis 144, 62–68.
- TRYJANOWSKI P., RYBACKI M., SPARKS T., 2003. *Changes in the first spawning dates of common frogs and common toads in western Poland in 1978–2002*. Ann. Zool. Fennici 40, 459–464.
- TRYJANOWSKI P., SPARKS T. H., PTASZYK J., KOSICKI J., 2004. *Do White Storks Ciconia ciconia always profit from an early return to their breeding grounds?* Bird Study 51, 222–227.
- TRYJANOWSKI P., SPARKS T., PROFUS P., 2005. *Uphill shifts in the distribution of the white stork Ciconia ciconia in southern Poland: the importance of nest quality*. Diversity Distrib. 11, 219–223.
- TRYJANOWSKI P., SPARKS T., RYBACKI M., BERGER L., 2006. *Is body size of the water frog Rana esculenta complex responding to climate change?* Naturwissenschaften 93, 110–113.
- VISSER M. E., HOLLEMAN, L. J. M., 2001. *Warmer springs disrupt the synchrony of Oak and Winter Moth phenology*. Proc. R. Soc. London B 268, 289–294.
- WALTHER G. R., POST E., CONVEY P., MENZEL A., PARMESAN C., BEEBEE T. J. C., FROMENTIN J.-M., HOEGH-GULDBERG O., BAIRLEINET F., 2002. *Ecological responses to recent climate change*. Nature 416, 389–395.
- YOM-TOV Y., 2003. *Body sizes of carnivores commensal with humans have increased over the past 50 years*. Funct. Ecol. 17, 323–327.