

**ANDRZEJ MIKULSKI**ORCID 0000-0002-8631-1875  
Uniwersytet Warszawski**BARBARA PIETRZAK**ORCID 0000-0001-5446-6277  
Uniwersytet Warszawski

## 9.2. Wpływ zmiany klimatu na osobniki, populacje, gatunki

Rosnące temperatury oddziałują na organizmy bezpośrednio i pośrednio. Zmiany obecnie zachodzą szybko, a wiele organizmów nie może przemieścić się w bardziej dogodne miejsce ani nie ma czasu na przystosowanie się do zmienionych warunków. Konsekwencją tych zjawisk są lokalne ekstynkcje.

### CZY WIESZ, ŻE ?

Wskutek zmiany klimatu sosna zwyczajna, świerk pospolity, modrzew europejski oraz brzoza brodawkowata będą występować zdecydowanie rzadziej na obszarze Polski.

### ZMIANA KLIMATU POWODUJE PRZESUWANIE SIĘ ZASIĘGÓW GATUNKÓW

Każdy organizm na Ziemi ma unikalną **niszę ekologiczną**, a więc zdefiniowany zespół warunków środowiskowych, w jakich może funkcjonować. Każdy klimat umożliwia funkcjonowanie różnym zestawom (zespołom) organizmów, dla których warunki te są korzystne. Zmiana klimatu oznacza *de facto* przesunięcia obszarów, na których można spotkać konkretny zestaw organizmów, w stronę biegunów lub wyżej, w ekosystemach górskich. Prowadzi to do przesunięcia się w przestrzeni zasięgu gatunków i ich zespołów – zmiany takie obserwujemy już teraz.

### DEFINICJA

**NISZA EKOLOGICZNA** – wielowymiarowa przestrzeń zdefiniowana przez zakresy wartości parametrów środowiskowych (np. temperatury, ilości docierającego światła, dostępnego pokarmu lub budulca, zagęszczenia drapieżników lub konkurentów); nisza ekologiczna wyznacza warunki umożliwiające przeżycie osobnika (nisza potencjalna) lub opisuje warunki, jakich doświadcza on w trakcie życia (nisza realizowana).

Dla zainteresowanych:

[www.naukawpolsce.pl](http://www.naukawpolsce.pl)

**Ocieplenie klimatu oznacza zmiany dla gospodarki leśnej**

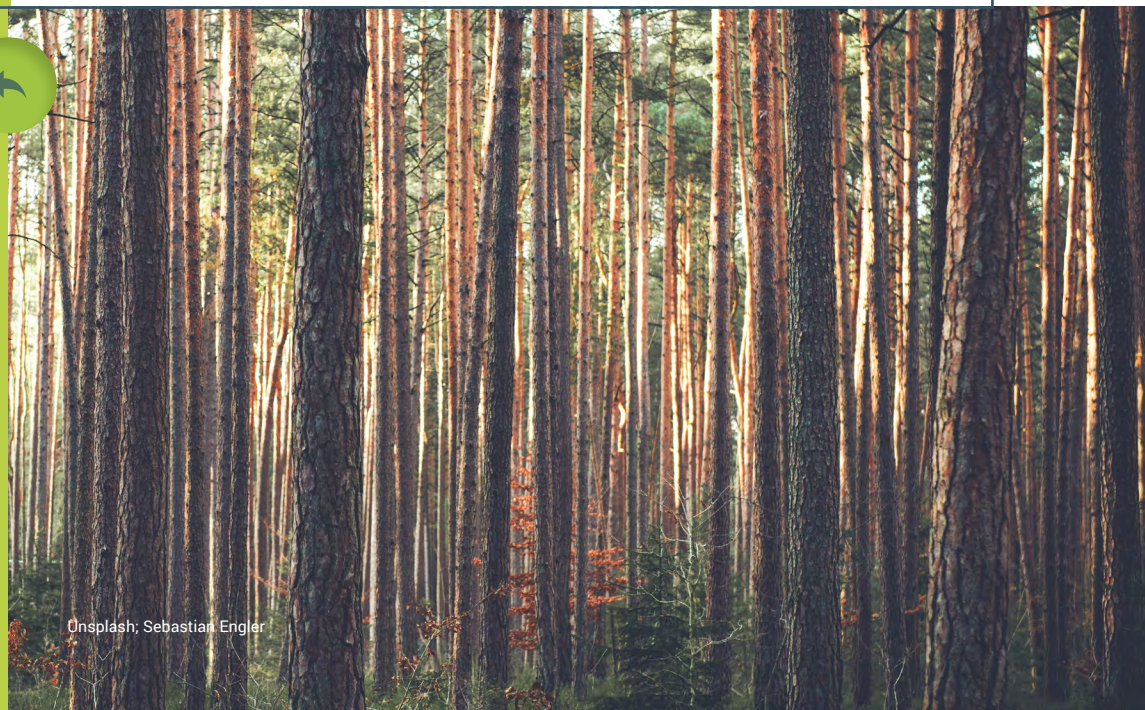
**Naukowcy z PAN prognozują: za kilkadziesiąt lat z polskich lasów może zniknąć 75% gatunków drzew**

oraz

[www.pap.pl](http://www.pap.pl)

**Pomidor na Giewoncie.**

**Coraz więcej roślin zdobywa szczyty gór**



## TEMPO ZMIAN UTRUDNIA ADAPTACJĘ SYSTEMÓW BIOLOGICZNYCH

Każda populacja ma w pewnym zakresie potencjał przystosowania się do zmiany warunków środowiskowych. Adaptacja taka nie jest jednak szybka. Przesuwanie się zasięgów gatunków w przestrzeni także nie jest procesem prostym i szybkim. Na przykład naturalny cykl wymiany gatunków w lesie trwa od kilkudziesięciu do stu kilkudziesięciu lat. Zbyt szybkie zmiany warunków środowiskowych mogą pociągać za sobą masową i długotrwałą degenerację ekosystemów wraz z ekstynkcją tworzących je populacji. Możliwość przesuwania zasięgów ku biegunom jest ograniczona także m.in. przez odmienną długość dnia i nocy na różnych szerokościach geograficznych. Część populacji nie jest też w stanie przenieść się na inne obszary, bo niezbędne warunki nie występują w zasięgu możliwej dla nich migracji. Tak dzieje się na przykład w przypadku ekosystemów raf koralowych, wrażliwych na podwyższenie temperatury i obniżenie pH.

## ZMIANA KLIMATU WPŁYWA NA POPULACJE TAKŻE POŚREDNIO

Temperatura jest czynnikiem wpływającym na aktywność życiową i wiele cech organizmów. U licznych gatunków gadów i ryb to temperatura inkubacji jaj decyduje o płci nowo narodzonych osobników. Ocieplenie może więc zmienić naturalne proporcje między samcami i samicami, zaburzając funkcjonowanie populacji.

Jak wiesz z podrozdziału 2.3., szybkie zakwaszanie oceanów wiąże się ze spadkiem dostępności jonów wodorowęglanowych, niezbędnych do życia wszelkich organizmów wykorzystujących węglan wapnia do budowy zewnętrznych szkieletów, począwszy od mikroskopijnych planktonowych otwornic po kilkusetkilogramowe małże przydacznie (*Tridacna*) i koralie rafotwórcze. Może to doprowadzić do wyginięcia wielu takich organizmów.

Podnoszenie się poziomu wody w oceanach towarzyszące ociepleniu klimatu powoduje destabilizację i postępującą degradację ekosystemów związanych z brzegiem morskim. Prowadzi na przykład do zniszczenia (zalania) przymorskich torfowisk i lasów namorzynowych oraz ekstynkcji wielu bytujących tam populacji.

## ZMIANA KLIMATU POCIĄGA ZA SOBĄ EKSTYNKCJĘ GATUNKÓW

Z powodu szybkości zmiany klimatu wiele populacji nie jest w stanie przystosować się do nowych warunków ani przemieścić do zastępczych siedlisk. Jest to jedna z przyczyn utraty bioróżnorodności w skali zarówno globalnej, jak i lokalnej. Często trudno stwierdzić, czy gatunek jest zagrożony, czy zanikł w wyniku zmiany klimatu, lub też czy doprowadziły do tego inne skutki działań człowieka. Niemniej, bez wątpienia klimatyczny komponent ekstynkcji gatunków jest coraz częściej zauważalny i opisywany w literaturze naukowej.



Dla zainteresowanych:  
ziemianarozdrozu.pl

**Ocieplenie klimatu zabija  
Wielką Rafę Koralową**

CZY WIESZ, ŻE ?

Szczurzynek koralowy (*Melomys rubicola*) to pierwszy ssak, o którym doniesiono, że wymarł bezpośrednio w wyniku obecnej zmiany klimatu. Spotykany był tylko na wysepce Bramble Cay między Australią a Nową Gwineą. Jego siedlisko zostało zniszczone przez podnoszący się poziom mórz.



**ANDRZEJ MIKULSKI**ORCID 0000-0002-8631-1875  
Uniwersytet Warszawski**BARBARA PIETRZAK**ORCID 0000-0001-5446-6277  
Uniwersytet Warszawski

## 9.3. Różnorodność biologiczna a funkcjonowanie ekosystemów

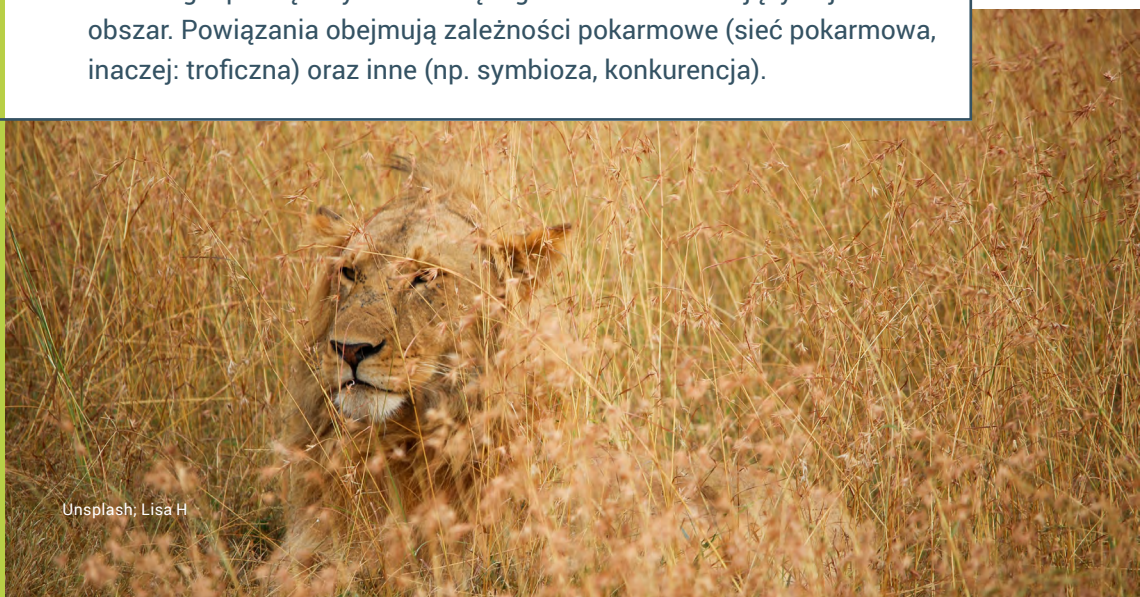
Organizmy żywe powiązane są ze sobą siecią różnych zależności. Dlatego nawet pozornie niewielkie zmiany – na przykład lokalna ekstynkcja tylko jednego z setek gatunków – mogą prowadzić do przebudowy całych ekosystemów.

### RÓŻNORODNOŚĆ BIOLOGICZNĄ MOŻNA ANALIZOWAĆ NA RÓŻNYCH POZIOMACH ORGANIZACJI ŻYCIA

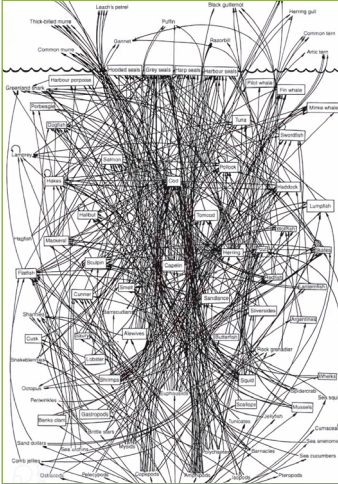
Różnorodność biologiczna potocznie jest utożsamiana z **różnorodnością gatunkową**, czyli liczbą gatunków występujących na jakimś terenie, od drobnego fragmentu siedliska do całej biosfery. Termin ten ma jednak dużo szersze znaczenie. Różnorodność może dotyczyć **zróżnicowania genetycznego populacji** i odgrywać bardzo ważną rolę w ich trwałości – populacje o dużym zróżnicowaniu genetycznym są zazwyczaj bardziej odporne na zaburzenia i mogą przetrwać dłużej, skuteczniej adaptując się do zmian środowiska. Zróżnicowanie biologiczne możemy też analizować w odniesieniu do większych zespołów organizmów, takich jak **biocenozy**. Wówczas szczególnie ważna jest **różnorodność funkcjonalna**, definiowana przez zależności pomiędzy organizmami tworzącymi biocenozę (np. pewne owady pełnią funkcje zapylaczy, inne destruktorów, tzn. biorą udział w rozkładzie martwej materii organicznej, lub są pokarmem dla większych zwierząt). Zazwyczaj bardziej zróżnicowane gatunkowo biocenozy charakteryzują się większą różnorodnością funkcjonalną, mają większą produktywność i są bardziej odporne na zaburzenia.

#### DEFINICJA

**BIOCENOZA** – biologiczna część ekosystemu. Wyróżnialny funkcjonalnie ogół powiązanych ze sobą organizmów zasiedlających jeden obszar. Powiązania obejmują zależności pokarmowe (sieć pokarmowa, inaczej: troficzna) oraz inne (np. symbioza, konkurencja).



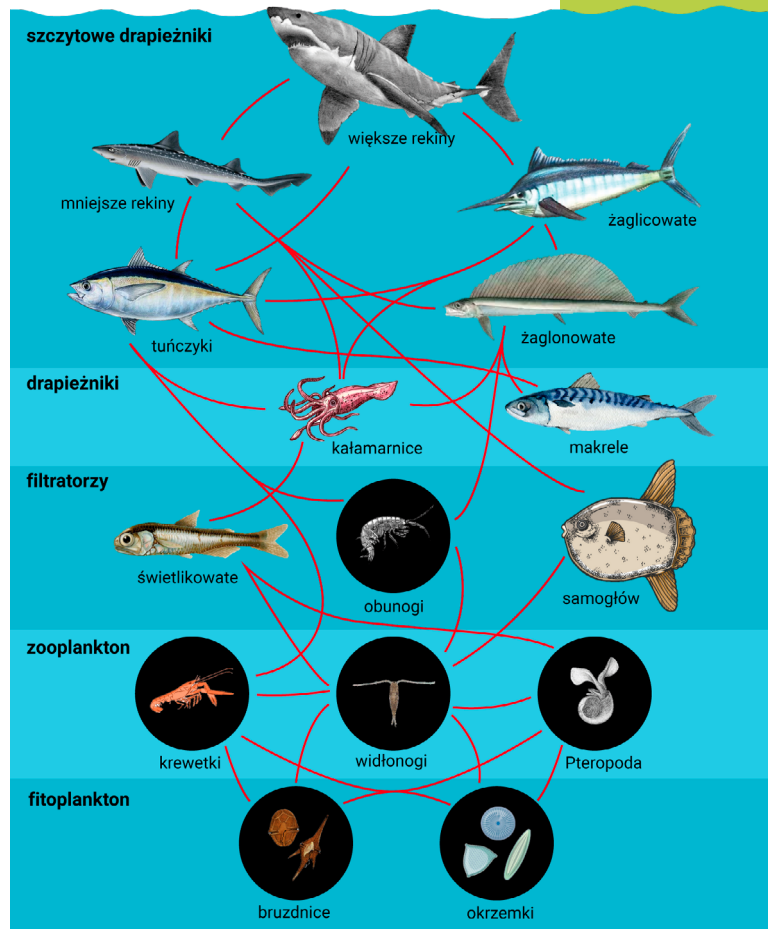
a)



**Ilustracja 9.3.1.a. i b.** Biocenoza oceaniczna. Obie ilustracje przedstawiają uproszczoną sieć powiązań pokarmowych między tworzącymi biocenozę organizmami.

**Źródła:** (a) Encyclopaedia Britannica, 2010; (b) IMMA/Prof. David Lavigne, NSERC.

b)



### PYTANIE DO REFLEKSJI

Zapoznaj się z obiema ilustracjami 9.3.1. i wskaż organizmy pełniące w biocenozie oceanicznej funkcje: producentów, roślinożerców, planktonożerców, rybożerców. Czy potrafisz prześledzić istniejące między nimi sieci wzajemnych zależności?

### UTRATA BIORÓŻNORODNOŚCI MOŻE PROWADZIĆ DO DESTABILIZACJI EKOSYSTEMÓW

Widoczne zaburzenie stanu ekosystemu dokonuje się często nagle, po przekroczeniu pewnego progu nasilenia zmian środowiskowych lub ekstynkcji gatunków niezbędnych dla jego prawidłowego funkcjonowania. Może to być zanik kilku gatunków pełniących w ekosystemie podobną funkcję (należących do tzw. gildii; niektóre funkcje pełnione przez owady zostały opisane powyżej) lub zanik jednego gatunku, niezbędnego dla przebiegu najważniejszych procesów w ekosystemie (ilustracje 9.3.2a. i b. oraz 9.3.3a. i b.). Gatunek taki nazywamy **gatunkiem zwornikowym** lub **kluczowym** (*keystone species*). Nazwa pochodzi od środkowego elementu łuku architektonicznego – jego usunięcie powoduje zawalenie się konstrukcji.

**GATUNEK ZWORNIKOWY (KLUCZOWY)** – ma nieproporcjonalnie do swej liczebności duży wpływ na zespół organizmów, w którym występuje. Utrzymując pod kontrolą liczebność populacji innych gatunków, które w innym przypadku zdominowałyby zespół, lub odgrywając zasadniczą rolę w przetrwaniu wielu innych gatunków, wspiera utrzymanie lokalnej różnorodności biologicznej. Gatunkami zwornikowymi są na przykład koralie rafowe, bóbr, wydra morska, wilk.

### DEFINICJA

a)



### BEZ WILKÓW

Jelenie z rozrastającej się, nieregulowanej przez drapieżców populacji, zjadły wierzby, topole i krzewy, które zapobiegały erozji brzegów rzek. Ptakom zabrakło miejsc na gniazda. Z nagrzwanych słońcem, niezacienionych strumieni o wyerodowanych brzegach zniknęły ryby i bezkręgowce.

Młode osiki z północnych dolin parku, gdzie zimują jelenie, nie miały szansy dorosnąć.

Rozrosła się nieograniczana przez konkurentów populacja kojotów, które polują głównie na małe ssaki, w tym norniki i inne gryzonie. Zabrakło pożywienia dla lisów, borsuków, łasic i ptaków drapieżnych.

Dominuje roślinność nieleśna, której zdolność do retencji wody i do magazynowania węgla są znacznie mniejsze niż roślinności leśnej.

KONSEKWENCJE DLA KLIMATU

b)



### Z WILKAMI

Jeleni jest o połowę mniej. Strach przed drapieżnikami utrzymuje je z dala od brzegów strumieni (są bezpieczniejsze wyżej, na zalesionych stokach dolin).

Siewki osiki nie są już tak intensywnie wyjadane, osikowe gaje porastają doliny.

Wierzby, topole i inne rośliny zaczęły stabilizować brzegi strumieni, pomagając przywrócić naturalny przepływ wody. Ich gałęzie zacieniają wodę, a wśród gałęzi goszczą ptaki.

Obfitość pożywienia, przede wszystkim wierzb, umożliwiła wzrost populacji bobrów. Dzięki budowanym przez nie tamom powstają małe zbiorniki i rozlewiska, zasiedlane przez owady, ryby, płazy, ptaki i małe ssaki.

Resztkami z wilczych posiłków żywią się padlinożercy: bieliki, orły, kruki, sroki, niedźwiedzie i nieliczne teraz kojoty.

Dominują naturalne ekosystemy leśne, stanowiące znaczący magazyn węgla, które też na etapie intensywnego wzrostu szybko go magazynują. Jednocześnie taki krajobraz ma większą zdolność retencji wody, a drzewa – dzięki wyższej ewapotranspiracji niż rośliny zielne – przywracają więcej wody do lokalnego obiegu, schładzając jednocześnie mikroklimat.

KONSEKWENCJE DLA KLIMATU

**Ilustracja 9.3.2a. i b.** Reintrodukcja wilka jako szczytowego drapieżcy wywołała w Parku Yellowstone kaskadę zmian. W 1926 roku wybito tam ich ostatnią watahę; reintrowduowano je w 1995 roku.

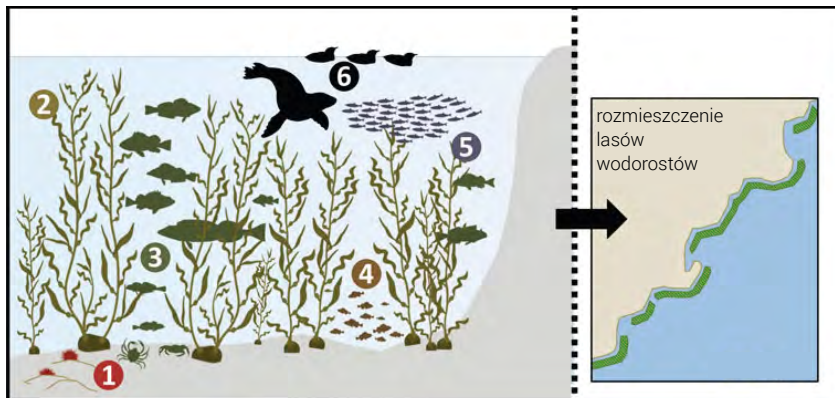
**Dane za:** National Geographic, 2010; Ripple i Beschta, 2012; Beschta i Ripple, 2016. Ilustracja Fernando G. Baptista, Amanda Hobbs.

**Ewapotranspiracja** – parowanie terenowe obejmujące łącznie procesy parowania i transpiracji, czyli transportowania wody przez rośliny i jej parowania z ich nadziemnych części. Ewapotranspiracja ze stanowiska roślinności jest tym większa, im większa jest łączna powierzchnia liści w przeliczeniu na jednostkę powierzchni.

### PYTANIE DO REFLEKSJI

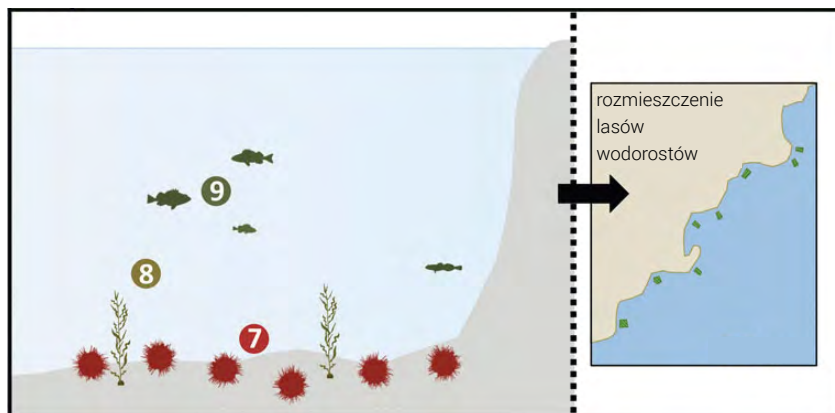
Porównaj stany tego ekosystemu przedstawione na obu ilustracjach 9.3.2. i wypisz gatunki, których liczebność zmieniła się po reintrodukcji wilka. Jaką rolę odgrywa w tym ekosystemie każdy z nich?

### a) WYDRY OBECNE



(1) Wskutek drapieżnictwa wydr morskich populacja jeżowców składa się z małych osobników, pochowanych w szczelinach i na większych głębokościach. (2) Liczebność roślinożernych jeżowców kontrolowana jest przez wydry, dlatego lasy wodorostów rozrastają się bujnie. (3) Dzięki dostępności pokarmu roślinnego i przestrzeni do życia w postaci lasów wodorostów występuje tu wiele gatunków z nimi związanych. (4) To siedlisko jest ważnym miejscem żerowania młodych ryb, co może pozytywnie wpływać na liczebność większych ryb (3). (5) Małe gatunki (np. śledź) mogą wykorzystywać wodorosty do tarła. (6) Dzięki dużej produktywności środowiska liczne są również inne duże drapieżniki (ssaki morskie i ptaki).

### b) WYDRY NIEOBECNE, DOMINACJA JEŻOWCA



(7) Uwolnione spod presji drapieżców jeżowce osiągają duże rozmiary i rozprzestrzeniają się równomiernie. (8) Lasy wodorostów, wskutek ich wyżerania przez jeżowce, zanikają. (9) Innych konsumentów nie ma lub są nieliczni.

Nigdy do końca nie wiadomo, ile i jakie gatunki można usunąć z ekosystemu, nie powodując drastycznych skutków. Usunięcie każdego elementu osłabia system i czyni go podatniejszym na zaburzenia. Zubożony ekosystem może więc często funkcjonować w miarę prawidłowo do momentu, kiedy zmiana warunków środowiskowych nie wytrąci go ze stanu równowagi.

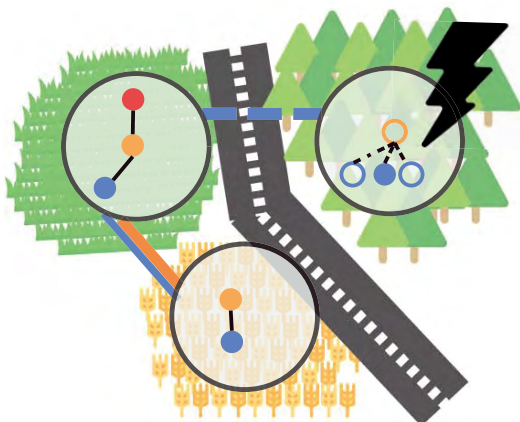
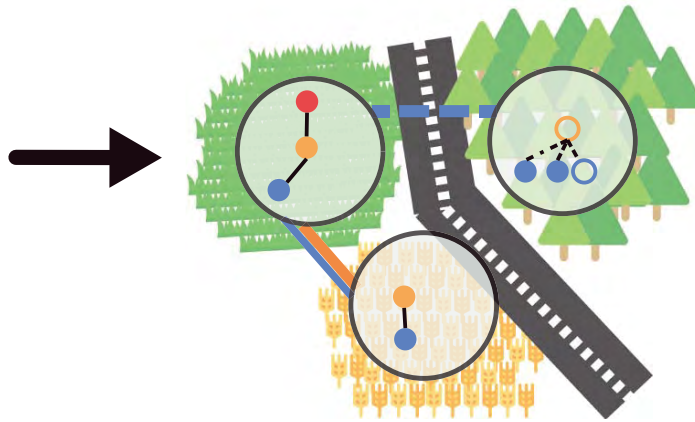
**Hipoteza wypadających nitów** (*rivet popping hypothesis*) znakomicie obrazuje problem podatności ekosystemów na ekstynkcję gatunków. Jej twórcy, Paul i Anne Ehrlich, powołują się na przykład samolotu, którego konstrukcja spojona jest nitami. Nie wszystkie są niezbędne, aby samolot w normalnych warunkach spełniał swoją funkcję. Usuwanie kolejnych nitów nie wywołuje widocznych skutków dopóty, dopóki pogarszające się warunki środowiskowe nie naruszają osłabionej konstrukcji lub dopóki nie usunie się zbyt wielu nitów, aby była ona stabilna nawet w warunkach optymalnych.

**Ilustracja 9.3.3a. i b.** Porównanie biocenozy zdominowanej przez wydry morskie i jeżowce. Zniknięcie z biocenozy wydry morskiej (jeszcze w XX wieku były one celem polowań ze względu na futra) prowadzi do dominacji jeżowców, co pociąga za sobą drastyczne zmiany.

**Źródło:** Szpak i in., 2013.

#### PYTANIE DO REFLEKSJI

Przyjrzyj się uważnie obu ilustracjom 7.3.3., a następnie zastanów się i odpowiedz na pytanie, czy w omawianym ekosystemie gatunkiem zwornikowym jest dominujący producent (roślina), główny roślinożerca czy szczytowy drapieżnik?

a) **PODCZAS ZAKŁÓCENIA****ODBUDOWA PO ZAKŁÓCENIU**

Ekosystemy intensywnie zarządzane często są uproszczone troficznie. Bariery między nimi utrudniają przemieszczanie się osobników, szczególnie tych z wyższych poziomów troficznych. Ograniczanie występowania naturalnych zakłóceń, na przykład okresowych pożarów, zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia zakłóceń znacznie poważniejszych. Ubóstwo gatunkowe i bariery dla rozprzestrzeniania się spowalniają odbudowę biocenoz po zakłóceniach.

b) **PODCZAS ZAKŁÓCENIA****ODBUDOWA PO ZAKŁÓCENIU**

W ekosystemach, w których zezwala się na zachodzenie naturalnych procesów, sieci troficzne są złożone: funkcjonują producenci, roślinożercy i szczytowi drapieżcy. Jeśli zapewni się połączenia między siedliskami, mogą oni swobodnie się przemieszczać, odbudowując lokalne biocenozy po niewielkich zakłóceniach.

**Ilustracja 9.3.4a. i b.** Odbudowa po zakłóceniach (a) ekosystemów intensywnie zarządzanych i (b) ekosystemów, w których zachodzą naturalne procesy

**Na podstawie:** Perino i in., 2019.



zakłócenie



sieć troficzna



dyspersja



producenci



roślinożercy



szczytowi drapieżcy

**PYTANIE DO REFLEKSJI**

Wskutek zmiany klimatu występują częściej ekstremalne zjawiska pogodowe. Jak Twoim zdaniem, można – uwzględniając procesy przedstawione na obu ilustracjach 9.3.4. – zwiększyć odporność ekosystemów na takie zakłócenia?