

Šesté hromadné vymírání druhů

SOUČASNÁ ZTRÁTA DRUHOVÉ DIVERZITY

MARKÉTA ŠTEKRTOVÁ



Vhodné pro:

střední školy
vyšší stupně gymnázií

Témata:

Historie hromadných vymírání druhů | současná ztráta
druhovité diverzity a její příčiny | antropogenní vlivy

Milé studentky, milí studenti,

do rukou se Vám dostala příručka, která Vás provede problematikou šestého hromadného vymírání druhů (současné ztráty druhové diverzity). Tato příručka se snaží Vám a Vaším pedagogům představit co nejnovější data o aktuálním stavu biodiverzity. Zjednodušeně prezentuje výsledky výzkumů zabývajících se příčinami úbytku druhů a ohlíží se za vymíráními, s nimiž jsme se v historii setkali.

V této příručce Vás nečekají žádné úkoly. Vaším jediným úkolem je přečíst si následující řádky, které Vám pomohou pochopit, proč je pro nás téma úbytku druhů tak důležité. Příručka Vám poslouží jako nadstavbová kapitola k učebnici biologie, kde tato problematika není dostatečně zpracována. V průběhu čtení si zapisujte otázky, které Vás napadnou, v závěru si je pak můžete společně se spolužáky a vyučujícím zodpovědět.

Vážení pedagogové,

tato příručka Vám ve výuce poslouží jako učebnice k tématu o šestém hromadném vymírání. Téma je v současné době spíše nadstavbové, proto je na Vás, jak ho zařadíte do výuky. Příručku můžete procházet se studenty společně nebo můžete sestavit sadu otázek a studenty nechat příručku prostudovat samostatně. V textu jsou používány různé zdroje dat, článků z renomovaných časopisů a knih, které naleznete vypsane v bakalářské práci, k níž byla příručka sestavena. Doplnující informace a podrobnosti naleznete také v textu práce. Na konec příručky byl vepsán seznam odkazů na webové stránky a publikace vztahující se k tématu.

Práce s příručkou je velmi intuitivní. Data byla zpracována tak, aby byla pro studenty snadno pochopitelná. Infografika doplňuje výklad a slouží k demonstraci sledovaných jevů. Příručku můžete použít při výuce na střední škole a při drobných úpravách i na druhém stupni základních škol.

Ať Vám příručka slouží!

autorka
Brno 2022

OBSAH

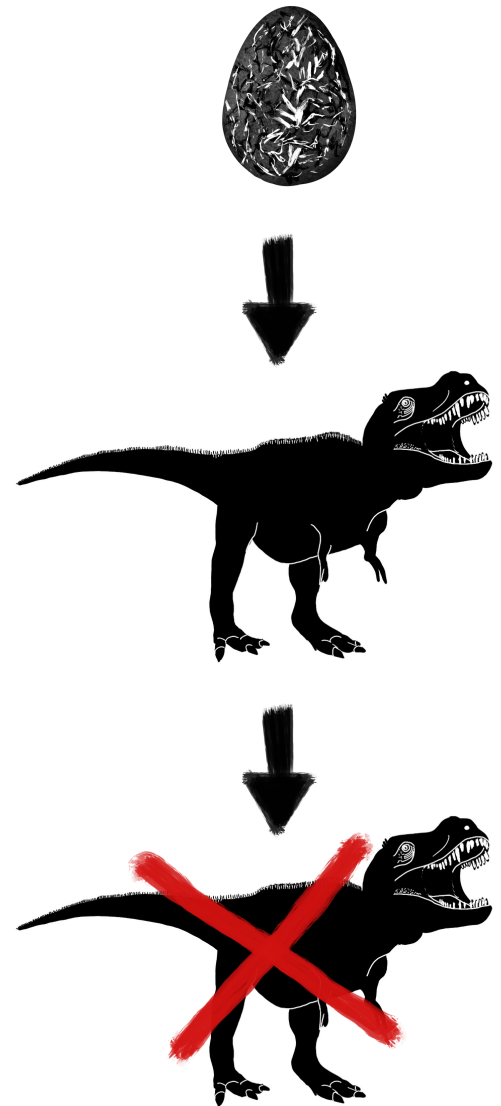
| | |
|---|-----------|
| 1. Základní procesy biogeografie | 4 |
| 2. Hromadná vymírání v geologické historii | 5 |
| 3. Vymírání megafauny | 9 |
| 4. Šesté hromadné vymírání druhů | 10 |
| Living Planet Index..... | 11 |
| Červený seznam IUCN..... | 12 |
| Biodiverzita - druhově bohaté oblasti..... | 15 |
| Příčiny současné ztráty biodiverzity..... | 16 |
| Změny biotopů..... | 17 |
| Invaze..... | 19 |
| Patogeny a onemocnění..... | 21 |
| Nadměrné využívání zdrojů..... | 22 |
| Klimatická změna..... | 24 |
| Znečištění..... | 27 |
| Shrnutí | 28 |
| Odkazy | 29 |

Evoluce, imigrace, extinkce

ZÁKLADNÍ PROCESY BIOGEOGRAFIE

Druhy se nepřetržitě vyvíjejí a současně i zanikají. Vznik nového druhu označujeme jako **speciace**. Druh může vznikat štěpením jednoho druhu na více druhů, křížením či transformováním na zcela nový druh. Stabilita populace je dána stálým přísunem nových jedinců (**imigrace**), kteří populaci geneticky obohatí a přispějí k větší biodiverzitě uvnitř ekosystémů.

Dalším neméně důležitým procesem je vymírání (neboli **extinkce**). Jedná se o konečný osud každého organismu. Vymírání může být pozorováno uvnitř jedné konkrétní populace či na úrovni druhů.



Při zkoumání změn početnosti druhů je nutné vědět, kolik druhů organismů rozeznáváme, popřípadě kolik se jich mohlo v námi sledovaném období vyskytovat.

Historická vymírání jsou vyhodnocována na základě **fosilních záznamů** (schránek bezobratlých, ulit, listů, kostí a dalších struktur). Podle nich se pak odhaduje početnost a druhová diverzita.

Celkový počet druhů na Zemi stále ještě nebyl s jistotou stanoven, a proto se údaje z různých zdrojů liší.

Lidstvo v současné době popisuje 2,3 milionů druhů organismů (*Catalogue of Life*). Předpokládá se, že se na Zemi vyskytuje přibližně 8,7 milionů druhů eukaryotických organismů (Mora et al. 2011). Většina z nich stále nebyla popsána.

Co to je?

HROMADNÉ VYMÍRÁNÍ

Pojem "hromadné vymírání druhů" bývá používán v případě, že je zaznamenán úbytek více než 75 % všech žijících druhů za dobu zpravidla kratší než 2 miliony let. Úbytek druhů je doprovázen obrovskou ztrátou globální biodiverzity.

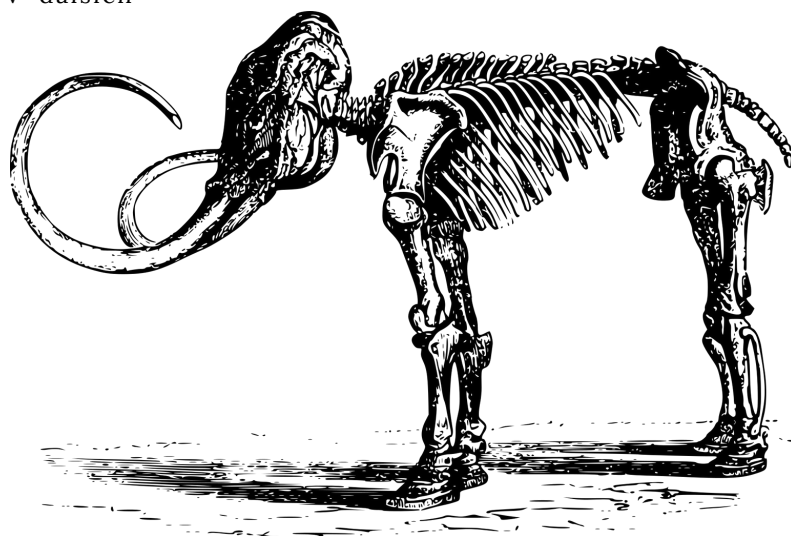
Obecně platí, že k hromadnému vymírání dochází tehdy, když **míra vymírání** přesáhne tzv. **míru vymírání v pozadí**. Ta představuje míru vymírání, která je pozorovatelná za běžných, ničím neakcelerovaných, podmínek. Na to, jaká je aktuální míra vymírání, se podíváme v dalších kapitolách.

**TISÍCE AŽ
MILIONY LET**

doba trvání

> 75 %

vymřelých druhů



Hromadná vymírání mohou mít několik příčin, které jsou souhrnně popsány ve dvou hypotézách: **Teorie Červené královny** (představil ji Van Valen v roce 1973) a **teorie Dvorního šaška** (s ní přichází Barnosky v roce 1999).

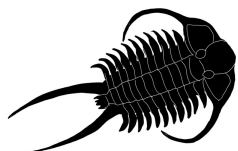
Teorie Červené královny předpokládá, že se organismy musí stále vyvíjet, aby udržely krok se změnami prostředí (**působením druhů** žijících v jejich okolí).

Organismy vymírají v případě, že nedokáží včas a účinně zareagovat. Van Valen odkazuje na Červenou královnu v knize *Za zrcadlem a co tam Alenka našla* (Lewis Carroll). Ta Alence říká: "Nyní běžíš, abys zůstala na stejném místě."

Teorie Dvorního šaška považuje za hlavní působící faktory na evoluci organismů **abiotické podmínky** a jejich náhlé změny (změny klimatu).

Kolik vymřelo druhů?

VELKÁ PĚTKA VYMÍRÁNÍ



ordovik - silur
před 443 miliony lety

86 %
všech druhů



konec devonu
před 359 miliony lety

75 %
všech druhů



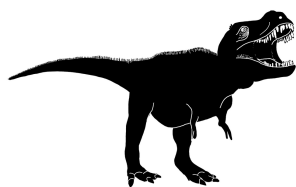
perm - trias
před 251 miliony lety

96 %
marinních druhů



trias - jura
před 200 miliony lety

80 %
všech druhů



konec křídly
před 65 miliony lety

76 %
všech druhů

Za dobu **farenozoika** (posledních přibližně 540 milionů let) bylo na Zemi zaznamenáno 5 hromadných vymírání označovaných jako tzv. **Velká pětka vymírání**.

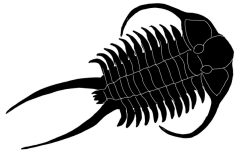
Hromadná vymírání se vázala na významné události geologické historie Země, jako projevy náhlé změny abiotických podmínek. Na hranici dvou geologických period docházelo k výměně bioty.

Vymírání byla následována novým rozvojem druhů.

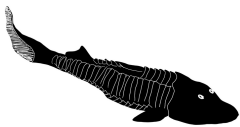
Pravděpodobně nejznámějším je vymírání z konce křídly, které vyhubilo dinosaury. Největší bylo permské vymírání, jinak označované jako *Matka všech vymírání* či *Velké vymírání*.

Co bylo příčinou hromadných vymírání?

VELKÁ PĚTKA VYMÍRÁNÍ



ordovik - silur
před 443 miliony lety



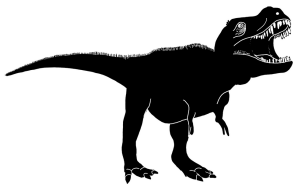
konec devonu
před 359 miliony lety



perm - trias
před 251 miliony lety



trias - jura
před 200 miliony lety



konec křídý
před 65 miliony lety

ochlazení vyústilo v dobu ledovou, poklesla hladina oceánů; ohroženy organismy šelfových moří stejně jako hlubokomořské druhy nezvyklé na zvýšený přísun kyslíku

vulkanická aktivita v oblasti Sibiřských trapů; kolísání klimatu a hladiny oceánů; impakty vesmírných těles; zvyšování koncentrace oxidu uhličitého

rychlé vymírání; vulkanismus v oblasti Sibiřských trapů -> vysoká koncentrace oxidu uhličitého (2000 ppm); průměrná teplota vyšší až o 8 °C

vulkanismus spojený s rozpadem Pangey; impakty vesmírných těles

dopad asteroidu Chicxulub (poloostrov Yucatán); vulkanismus v Dekkanských trapech

Sibiřské trapy - velmi rozsáhlá magmatická provincie s velkými plochami vylitých čedičových láv a obrovským množstvím uvolněného uhlíku (v řádech milionů kubických metrů) byla nejvíce aktivní na přelomu permu a triasu.

Dekkánské trapy - koncem křídý vulkanicky aktivní oblast na území dnešní Indie (aktivita spuštěna pravděpodobně dopadem asteroidu Chicxulub).

Asteroid Chicxulub - impakt vesmírného tělesa stále nebyl potvrzen jako příčina vymírání na konci křídý. S teorií přichází Louis Walter Alvarez v 80. letech 20. století. Globální následky impaktu asteroidu Chicxulub dokládá přítomnost iridiové vrstvy v nálezích na různých místech světa.

ppm - parts per million (417 ppm pro 2022)

Co bylo příčinou hromadných vymírání?

VELKÁ PĚTKA VYMÍRÁNÍ

Každé hromadné vymírání bylo jedinečnou událostí, jež ve většině případů vznikala kombinací více působících faktorů. Změna abiotických podmínek, na niž se organismy nedokázaly rychle adaptovat, končila úhynem velkého množství marinních i terestrických druhů.

Co bylo v geologické historii Země sledováno? Atmosféra a hydrosféra fungující jako jeden celek vždy dokázala, že ve chvíli, kdy dochází v jednom z dílčích systémů k razantním změnám, ovlivní to i procesy druhého. Vulkanismus doprovázený uvolňováním velkého množství skleníkových plynů měl vliv na klima celé Země. Zvyšující se globální teplota a navyšování koncentrace prvků pohlcovaných oceánem (oxidy dusíku, oxid siřičitý, ...) způsobily mimo jiné jeho acidifikaci. Bezokyslíkaté oblasti vznikající v oceánech nedovolily existenci mnoha organismů. Biota se reakcí na zvyšující se teplotu stěhovala od rovníku do vyšších zeměpisných šířek.

(Tento odstavec si pamatujte a vraťte se k němu, až si přečtete, co se děje nyní)



Sehrála v historických vymíráních hlavní roli náhoda? Pravděpodobně ne. Mnoho organismů mělo vlivem geologických změn a změn podmínek uvnitř i vně populací roztržštěné areály. Navíc, jak dnes víme, většina druhů má malé areály a lze se domnívat, že tomu nebylo v minulosti jinak.

Z teorie ostrovní biogeografie je známo, že druhy s menšími areály více reagují na jakoukoliv změnu vnějšího prostředí. Zvýšenou náchylnost tehdy žijících druhů k disturbancím můžeme vnímat za jednu z hlavních příčin velkého úbytku druhů.

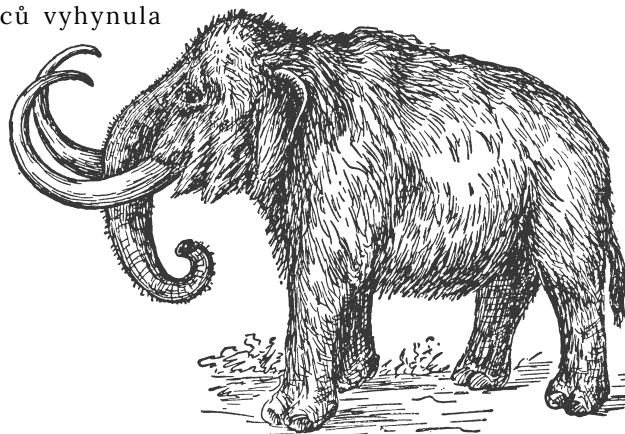
První vymírání způsobené člověkem?

VYMÍRÁNÍ MEGAFAUNY

Za první vymírání, na kterém se podílel člověk, lze považovat vymírání megafauny na konci pleistocénu, během kterého vyhnulo cca **38 % druhů velkých savců**.

Klima se na konci pleistocénu oteplovalo a zvlhčovalo, což mělo vliv na tehdy žijící organismy. Ubývalo míst vhodných pro pastvu a rozvíjely se lesy. Populace druhů byly velmi roztržštěné v závislosti na přítomnosti zdrojů potravy. Stejně tak člověk byl ostrůvkovitě rozšířen již téměř po celém světě. Lidstvo sice bylo stále v počátcích svého rozvoje, ale současně bylo velmi mobilní a vymýšlelo nové **nástroje k lovu**.

Lidé se stávali predátory lovicími převážně velké býložravce a právě to je vnímáno jako hlavní příčina úbytku megafauny před 12 000 lety (řada savců vyhnula už v průběhu posledního glaciálu). Na území Severní Ameriky v té době zcela **vymírá kůň, mamut, mastodont** či **divoký velbloud**.



Paul Martin v roce 2005 představil **teorii nadměrného lovu** (*overkill hypothesis*). Ta předpokládá, že za vyhynutím velkých obratlovců stojí člověk. Upozorňuje, že úbytek druhů přímo koreluje s příchodem člověka na Madagaskar a do Severní a Jižní Ameriky.

Teorie byla podpořena zkoumáním úbytku druhů v Tasmanii, ke kterému došlo již před 41 000 lety s příchodem člověka.

12 000

*let od vymírání
megafauny*

38 %

*vyhynulých druhů
velkých savců*

V Eurasii se teorie naopak neprokázala. Lze předpokládat, že zde druhy vyhnuly kvůli probíhajícím **změnám klimatu**.

megafauna - označení pro organismy, které mají zpravidla více než 44 kg

Co se děje dnes?

6. HROMADNÉ VYMÍRÁNÍ

Člověk je hlavním faktorem působícím na krajinnou sféru Země. Na antropogenní vliv na přírodu upozornili už v roce 2000 Crutzen a Stoermer, kteří novou epochu, do níž Země působením člověka vstoupila, označili **antropocén** (věk člověka). Lidská činnost je označována za příčinu současné celosvětové ztráty druhové diverzity vedoucí k vymírání některých rostlinných i živočišných druhů.

Dal by se ale současný úbytek druhů označit za hromadné vymírání? A lze ho srovnávat s vymíráními velké pětky? Odpověď na obě otázky je ano i ne. Vymírání, ke kterému dnes dochází, může být označováno za hromadné vymírání v případě, že posuzujeme **rychlost** s níž druhy ubývají. Je až **několika násobně vyšší**, než by měla za běžných podmínek být. Během 20. století mělo vyhnout přibližně 9 druhů obratlovců, na místo toho vymřelo 198 druhů. Co to ale znamená? Kdyby při běžné rychlosti vymírání mělo vymřít 198 druhů, trvalo by to 800-10 000 let, nikoliv 100 let.

Pro rychlost vymírání bývá používána jednotka **E/MSY** (*extinctions per million species-year*). Doslovně tedy popisuje, kolik druhů z milionu vymře za rok, či kolik druhů z 10 000 vymře za 100 let.

Dalším velmi důležitým termínem je **rychlost vymírání v pozadí** (angl. *background extinction rate*). Znázorňuje, jakou rychlostí by za běžných podmínek

198

vyhynulých druhů obratlovců za 20. století

20x

víc než mělo za běžných podmínek vyhnout

Procento vymřelých druhů zatím **nedosahuje míry vymírání velké pětky**. Zde je ale nutné říct, že velká vymírání v historii trvala statisíce až miliony let.

Otázkou tedy zůstává, k jak velkým ztrátám druhů může dojít, jestli si současné vymírání udrží svou rychlost a jak dlouho bude trvat, než množství vymřelých druhů dosáhne hodnot velké pětky.



docházelo k úbytku druhů. Barnosky (2011) tuto rychlost stanovil na 2 E/MSY. Za 100 let by tedy měly vymřít 2 druhy na 10 000 druhů. Jak již víme, tato rychlost byla ve 20. století překročena.

Data: Living Planet Index

6. HROMADNÉ VYMÍRÁNÍ

Index živé planety (tzv. Living Planet Index, LPI) slouží jako ukazatel globálního stavu biodiverzity, a to na základě dat sesbíraných při pozorování **populačních změn obratlovců**.

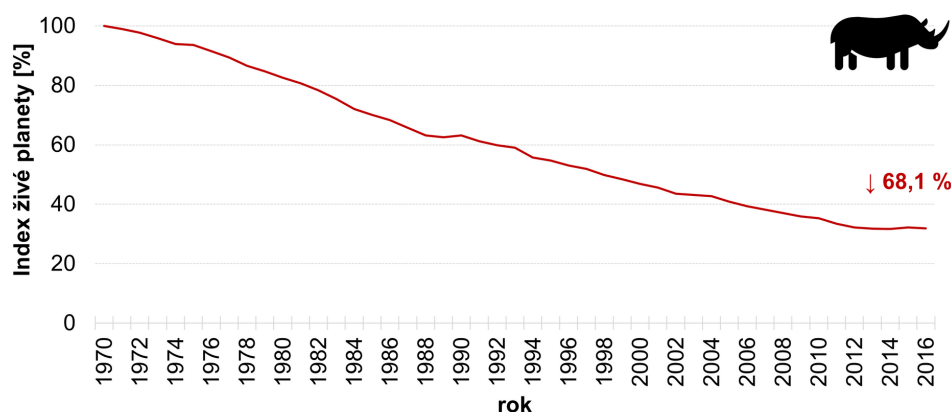
Living Planet Index je pouze orientačním ukazatelem biodiverzity. Při pozorování jednoho druhu můžeme totiž zaznamenat velké rozdíly mezi dvěma populacemi téhož druhu (jedna může ubývat, zatímco druhá přibývat a když tato data zprůměrujeme, nezískáme vypovídající hodnotu ani o jedné z nich). Pro globální měřítko platí, že za posledních bezmála **50 let** klesly populace sledovaných obratlovců průměrně o **68 %** (platí pro 20 811 populací 4 392 druhů obratlovců).

68 %

globální populační úbytek obratlovců

93 %

populační úbytek obratlovců Latinské Ameriky a Karibiku



zdroj dat: WWF 2020

Globální populační úbytek obratlovců je roven 68 %, což ale **neplatí pro jednotlivé regiony světa**. Nejblíže je tomu Afrika, kde je úbytek roven 64 %. Evropa má nejnižší zaznamenaný úbytek - 23 % (na konci 80. let zde došlo dokonce k nárůstu). Nejstrmější pokles o 93 % byl zaznamenan v Latinské Americe a Karibiku.



Data: Červený seznam IUCN

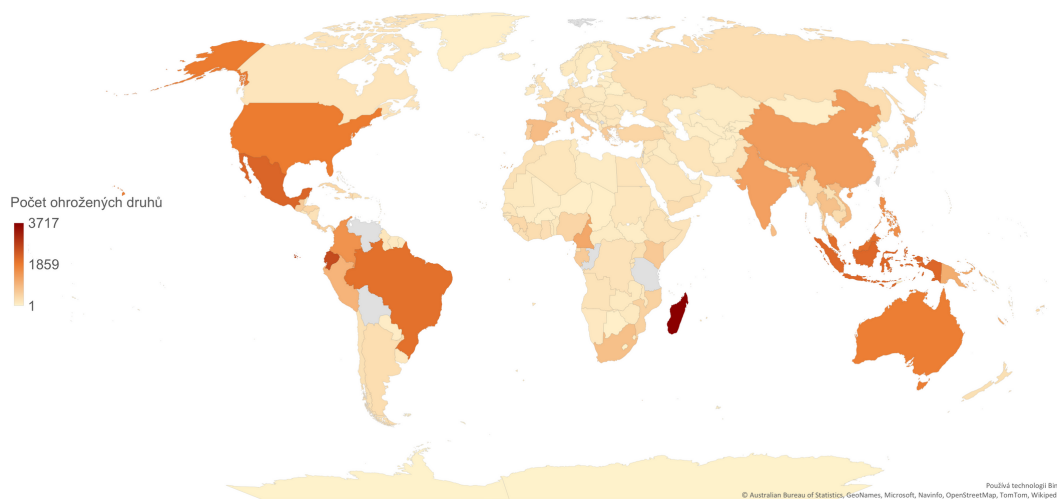
6. HROMADNÉ VYMÍRÁNÍ



Pro vyhodnocení aktuálních dat o vymírání, a především ohroženosti druhů, slouží databáze Červeného seznamu ohrožených druhů (angl. IUCN Red List) vydávaného Světovým svazem ochrany přírody (angl. International Union for Conservation of Nature; IUCN). Ten v současné době poskytuje informace o cca **142 500 druhích**. Data IUCN jsou volně dostupná a standardizují jaký status daný organismus má. V databázi lze dohledat informace o velikosti populace daného druhu, jeho nárocích na životní prostředí, geografickém rozšíření (mapy s areály nejsou dostupné pro všechny druhy) a v případě, že je druh ohrožený, tak i příčinu ohrožení. Přestože databáze usiluje o pokrytí všech skupin organismů, většina v ní dostupných dat popisuje terestrickou (suchozemskou) faunu.

Druhy se dělí do **9 kategorií** dle stupně ohroženosti založených na 5 kritériích. Ta posuzují rychlost snižování početnosti populace, velikost areálu, fragmentaci populace či areálu a životaschopnost populace. Za ohrožené druhy lze považovat druhy spadající do 3 kategorií: *kriticky ohrožený, ohrožený a zranitelný druh*.

Z dat IUCN vyplývá, že v současné době je napříč všemi skupinami organismů více než **40 000 ohrožených druhů**, což představuje cca **28 % druhů**, které jsou v databázi IUCN popsány. Většina rovníkových států Jižní Ameriky a Asie má více než 2000 druhů, které by mohly být klasifikovány jako ohrožené. Madagaskar je na prvním místě v celkovém počtu ohrožených druhů (3 717), následován Ekvádorem (2 608), Mexikem (2 219), Indonésií (2 168), Malajsií (2 056) a Brazílií (2 040). Česká republika se řadí na 133. místo se 126 ohroženými druhy (data zpracována v **obrázku**).



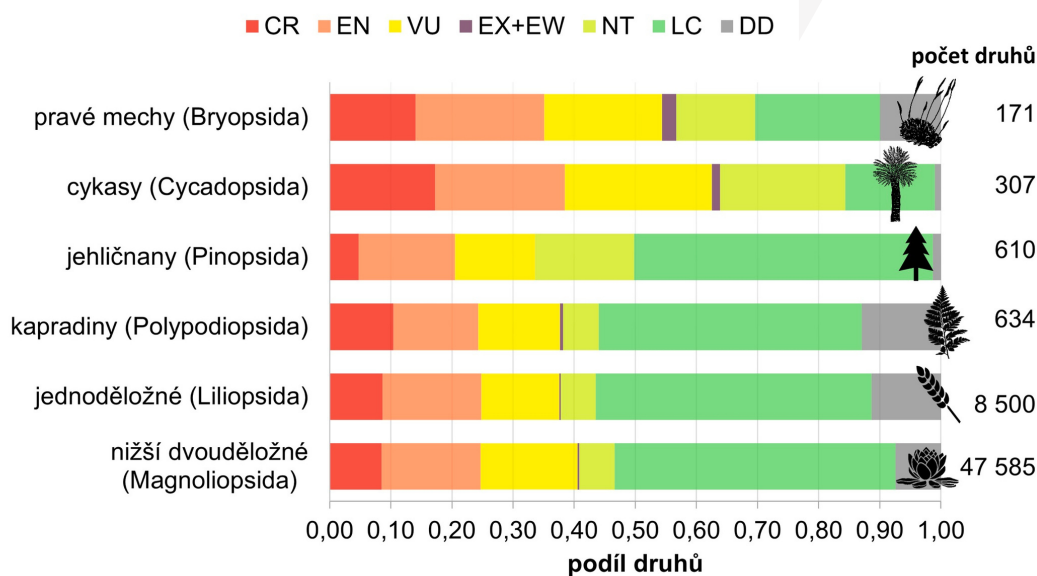
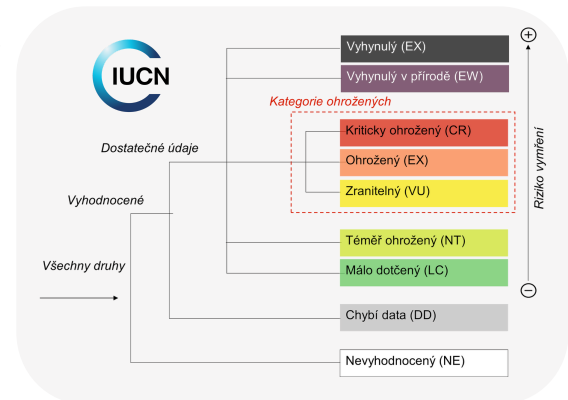
zdroj dat: IUCN 2022a

Data: Kolik evidujeme ohrožených druhů rostlin?

6. HROMADNÉ VYMÍRÁNÍ

Obrázek zobrazuje podíl počtu druhů v jednotlivých kategoriích Červeného seznamu IUCN pro vybrané třídy **rostlin**. V grafu můžeme pozorovat nižší dvouděložné rostliny, jednoděložné rostliny, kapradiny, jehličnany, cykasy a pravé mechy - skupiny Vám dobře známe z hodin biologie.

Cykasy (*Cycadopsida*) jsou třída s největším podílem ohrožených druhů. **63 % druhů cykasů** lze klasifikovat jako **ohrožené** druhy, což vypovídá o tom, jak velké riziko extinkce této málopočetné třídy hrozí. Cykasy by se daly zařadit do skupiny označované jako tzv. živoucí fosilie, protože svého největšího rozmachu dosáhly již na přelomu jury a křídy. Vlivem klimatické změny u nich v minulosti dokonce došlo k diverzifikaci, za níž stálo rozšiřování tropického a subtropického pásu způsobené navyšováním globální teploty. V současné době skupina ale také podléhá masovému vymírání. Podobně na tom je třída pravé mechy (*Bryopsida*), kde je ohroženo 93 druhů (~ 54 %).



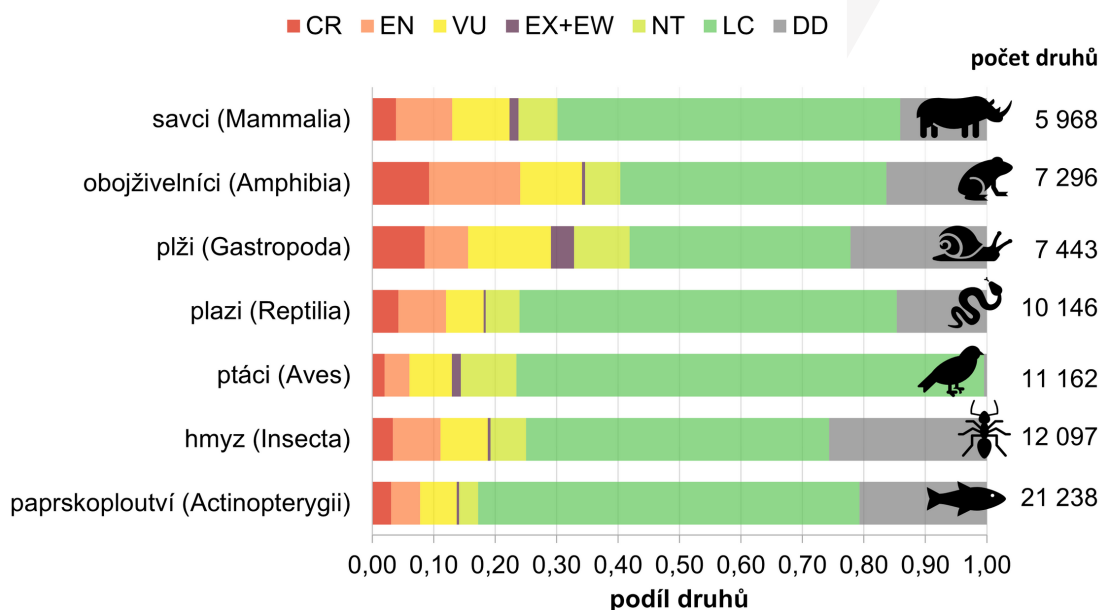
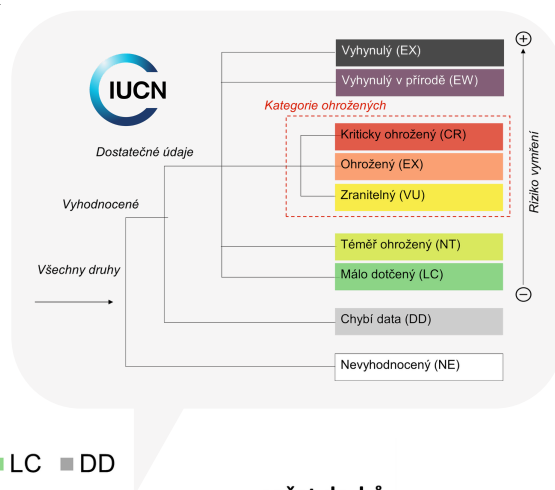
zdroj dat: IUCN 2022a

Data: Kolik evidujeme ohrožených druhů živočichů?

6. HROMADNÉ VYMÍRÁNÍ

Hlavní třídy živočichů byly zpracovány v grafu zobrazujícím podíl počtu druhů v jednotlivých kategoriích Červeného seznamu IUCN. Setkáme se zde se skupinou paprskoploutví, hmyz, ptáci, plazi, plži, obojživelníci a savci. Plži (*Gastropoda*) mají největší podíl vymřelých druhů (~ 3 %), zatímco největší podíl ohrožených druhů mají obojživelníci (*Amphibia*) – až 34 % obojživelníků hrozí vážné úbytky populací. Proč právě populace těchto tříd jsou v největším ohrožení?

Nicolai a Ansart (2017) se zabývali otázkou úbytku terestriálních zástupců plžů (*Gastropoda*), jejichž existence se přímo odvíjí od podmínek prostředí (stejně tomu platí i u obojživelníků). Životní cyklus plžů, hlavně ve vyšších zeměpisných šířkách, je ohrožen kvůli nestálosti sněhové pokrývky, zvyšujícím se teplotám, extrémním jevům počasí (povodně, požáry, hurikány), fragmentacím areálů a izolacemi populací od ostatních zástupců.



zdroj dat: IUCN 2022a

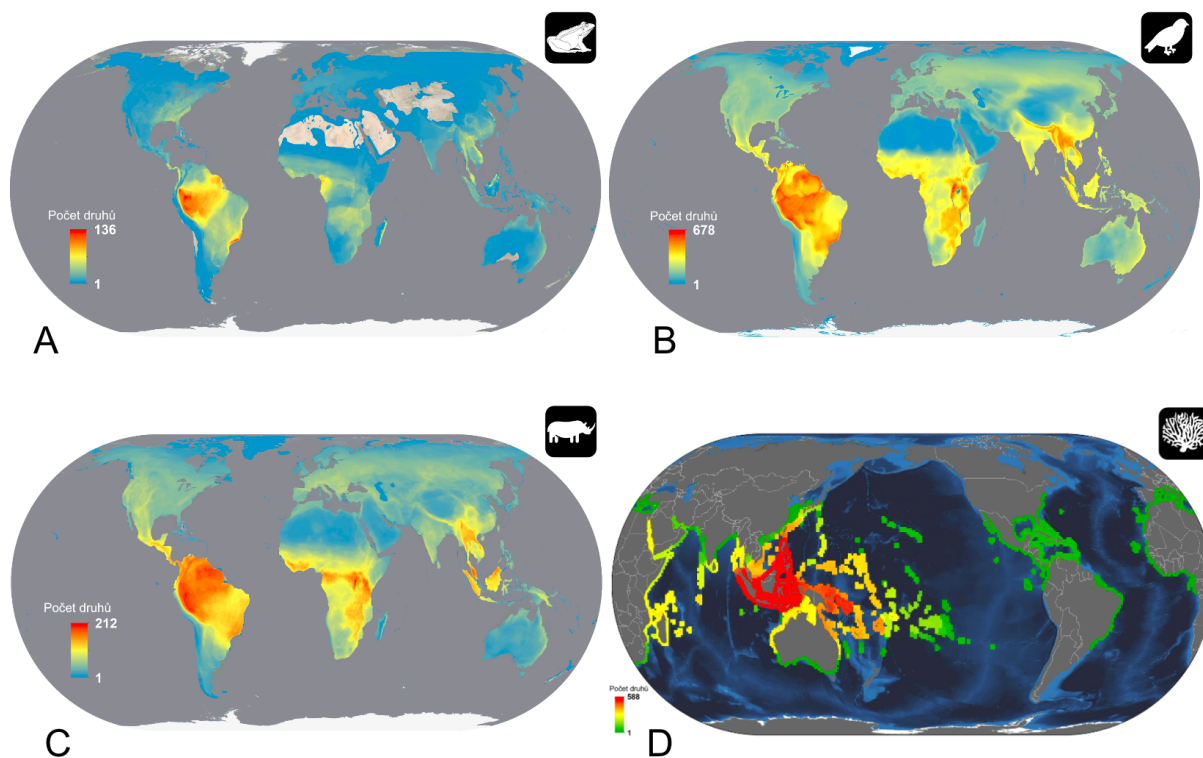
Které oblasti jsou druhově bohaté?

BIODIVERZITA

Představili jsme si databázi IUCN a kategorie ohroženosti druhu. Nyní se podívejme, jaké oblasti světa jsou druhově nejbohatší, protože právě tato území jsou v největším ohrožení, jak se dozvíme v dalších kapitolách.

Nejlépe pozorovatelným a nejnápadnějším jevem v biogeografii je snižující se biodiverzita od rovníku k pólům. Tento fenomén, jinak známý jako **latitudinální gradient diverzity**, platí pro většinu taxonů. Nejvíce druhů proto může být nalezeno v rovníkových oblastech. Na **obrázku** je možno pozorovat globální druhovou diverzitu obojživelníků (A), ptáků (B), savců (C) a korálů (D).

Místa s vysokou diverzitou bývají popisována jako **horké skvrny biodiverzity** (angl. *biodiversity hotspots*). Tato místa jsou zkoumána ať už pro jejich druhovou bohatost, endemismus či důležitost pro další evoluci organismů.



BIODIVERSITYMAPPING.ORG 2022

Jaké jsou hlavní příčiny?

SOUČASNÁ ZTRÁTA BIODIVERZITY

Antropogenní vlivy na životní prostředí: změna ve využívání krajiny, podpora šíření invazivních druhů a patogenů, nadměrné čerpání některých zdrojů, hubení klíčových druhů v ekosystémech a znečištění krajiny - to vše má za následek **ztrátu druhové diverzity**. Tím se podrobně zabývá zpráva *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), na kterou navázala v roce 2019 *Globální hodnotící zpráva o biologické rozmanitosti a ekosystémových službách* (IPBES 2019). A my si nyní probereme podrobně jednotlivé kategorie. Na **obrázku** můžeme pozorovat hlavní antropogenní vlivy a jejich působení na vybrané ekosystémy.

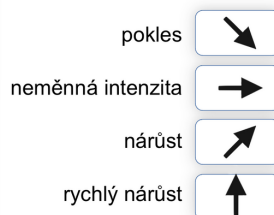
| | | změny biotopu | klimatické změny | invazivní druhy | nadměrné využívání | znečištění |
|---------------------------------|--------------------------------------|---------------|------------------|-----------------|--------------------|------------|
| lesy | boreální | ↗ | ↑ | ↗ | → | ↑ |
| | temperátní | ↘ | ↑ | ↑ | → | ↑ |
| | tropické | ↑ | ↑ | ↑ | ↗ | ↑ |
| suché obl. | temperátní travinné ekosystémy | ↗ | ↑ | → | → | ↑ |
| | mediteránní ekosystémy | ↗ | ↑ | ↑ | → | ↑ |
| | tropické travinné ekosystémy, savany | ↗ | ↑ | ↑ | → | ↑ |
| | pouště | → | ↑ | → | → | ↑ |
| sladké vody (vnitrozem.) | ↑ | ↑ | ↑ | → | ↑ | |
| pobřežní vody | ↗ | ↑ | ↗ | ↗ | ↑ | |
| mořské | ↑ | ↑ | → | ↗ | ↑ | |
| ostrovní | → | ↑ | → | → | ↑ | |
| horské | → | ↑ | → | → | ↑ | |
| polární | ↗ | ↑ | → | ↗ | ↑ | |

5 hlavních faktorů působících na vybrané ekosystémy. Tabulka popisuje intenzitu působení jednotlivých faktorů na ekosystémy během 20. století a současný vývoj působení (dále zpracováno).

intenzita působení faktorů během 20. století



aktuální trendy působení faktorů



MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT 2005

Jaké oblasti jsou nejohroženější a proč?

ZMĚNY BIOTOPŮ

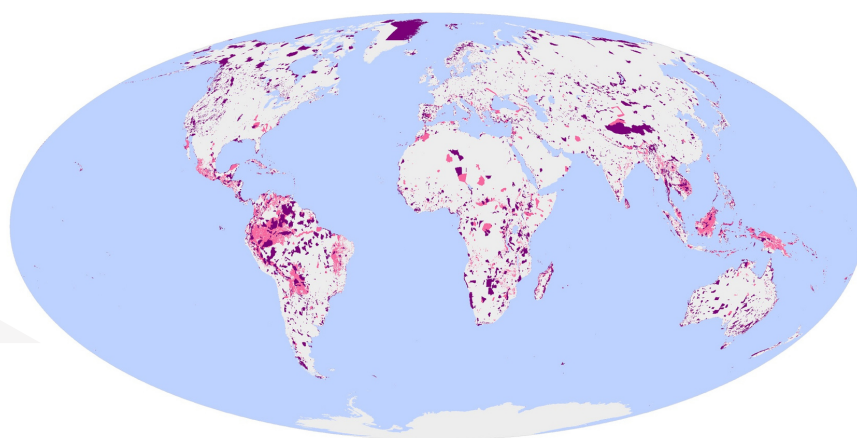
Za posledních bezmála 60 let bylo změněno cca **32 % pevniny**. Sledovány byly především změny v zastavěných oblastech, orné půdě, lesích, pastvinách, neobhospodařovaných travinných a křovinných společenstvech a v oblastech s řídkou až žádnou vegetací. Obecně platí, že především okolo rovníku dochází k úbytku primárních lesů na úkor zemědělsky obdělávaných půd, zatímco v severních zeměpisných šířkách v posledních letech lesy spíše přibývaly. V tropických a subtropických oblastech je typický výskyt plantáží (monokultury jedné plodiny), které v roce 2020 tvořily cca 3 % všech lesů na Zemi, což odpovídá asi 131 milionům ha.

Nejohroženějšími oblastmi jsou biotopy nacházející se v **hotspotech biodiverzity**. Jak již víme, oblasti bohaté na rostlinné a živočišné druhy se nacházejí převážně v tropickém a subtropickém pásu. Hotspoty s velkým výskytem vzácných a endemických druhů nyní zaznamenávají **větší degradaci ekosystémů a narušování stability** uvnitř ekosystémů než zbylé oblasti světa. A to i přesto, jak důležité jsou pro globální biodiverzitu. Na **obrázku** si můžete prohlédnout, jaké biotopy patří mezi kriticky ohrožené.

terestrické kriticky ohrožené biotopy:

10,1 % pravděpodobně kriticky ohrožená stanoviště

5,1 % potenciálně kriticky ohrožených stanovišť



■ pravděpodobně

■ potenciálně

■ neznámý stav

BRAUNEDER et al. 2018

32 %

pevniny změněno mezi lety 1960 a 2019

16x

větší území než je ČR zabíraly v roce 2020 plantáže (rovno rozloze severovýchodních států Evropy)



*Fragmentace biotopů***ZMĚNY BIOTOPŮ**

Změny využití krajiny ničí biotopy druhů, ale současně vytváří stanoviště pro jiné druhy (například synantropní druhy se přímo vážou na blízkost člověka). Zaměřme se proto nyní na větší problém, který můžeme pozorovat i v ČR. Stále se rozrůstající lidská populace **využívá větší část zemského povrchu než kdy dřív**. Zatím platí, že například města se vyskytují ostrůvkovitě. Jakákoliv činnost člověka (odlesňování, výstavba měst, pozemních komunikací, plotů apod.) dělí krajinu na menší části, tzv. fragmenty. **Fragmentace krajiny** je problém především pro druhy, které se hůře šíří. Ale i pro druhy s dobrou schopností šíření mohou být některé překážky vybudované člověkem nepřekonatelné. Populace druhu jsou následkem fragmentace odděleny od zdrojů potravy a potenciálních partnerů.

Migrace a disperze, jež by propojovala jednotlivé izolované populace, je přitom zásadní pro přežití druhů a jejich evoluci. Z ostrovní biogeografie je navíc známo, že čím větší území, tím větší počet druhů a naopak. Organismů je na menším území méně a současně jsou **náchylnější k jakýmkoliv disturbancím**. Výzkumy zabývající se vlivem fragmentace biotopů ukázaly, že kdyby na biotopy působilo jen roztříštění původního území výskytu, k velkým úbytkům uvnitř populací by nedocházelo. Na druhy ale působí abiotické a biotické vlivy okolního prostředí. Změny klimatu, lov, znečištění, invazní druhy a příchod kompetice schopných druhů vytváří silný selekční tlak na populace a může zapříčinit jejich extinkci.

Jeden takový výzkum (HADDAD *et al.* 2015) probíhal po dobu 35 let na 5 kontinentech (v Brazílii, USA, Austrálii, Francii a na Borneu). Za sledované období byl zaznamenán pokles diverzity působením fragmentace u skupin ptáků, členovců a rostlin.



*Vetřelci z okolí***INVAZE**

Jedinečnost bioty v různých částech světa je nezpochybnitelná. Rozdíly mezi druhy Afriky a Austrálie jsou více než znatelné. Druhy se na kontinentech **vyvíjely izolovaně**, oddělené od okolí **geograficko-ekologickou bariérou**. Izolovaně žijící druhy jsou adaptované na místní abiotické a především biotické podmínky. Staly se tak nachylnějšími vůči případným disturbancím. Invaze sužují ostrovní, méně pak kontinentální druhy. Příčinou snadnějšího šíření invazních druhů je především od prvních zámořských objevitelských cest v 16. století člověk.

Odstraní-li se geograficko-ekologická bariéra, propojí se dvě zpočátku oddělené bioty. K tomu dochází, když je **překonána překážka** (antropogenní šíření druhů) anebo když je **překážka odstraněna** (např. výstavba Suezského průplavu).

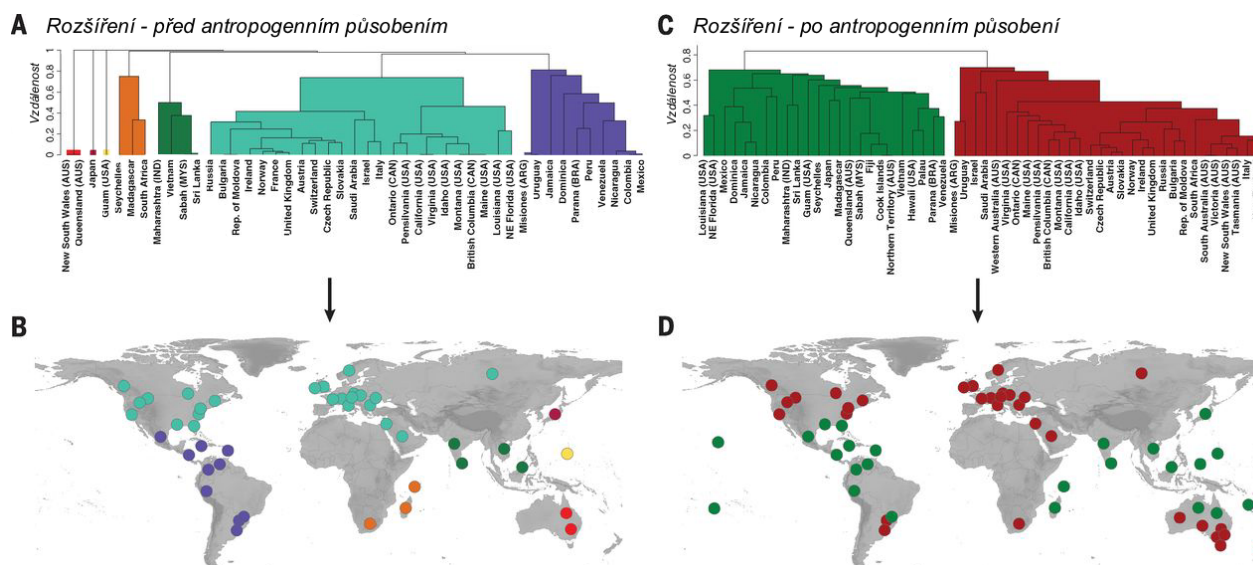
Dobře známým příkladem invaze je **příchod nepůvodních druhů do Austrálie**. Příkladem druhů introdukovaných do Austrálie převážně z Evropy je králík divoký, zdivočelý pes dingo, liška obecná či ropucha obrovská. Každý z těchto druhů měl a stále má nedozírné následky na australskou biotu. Králíci spásají obrovské plochy vegetace, což způsobuje ohrožení mnohých druhů rostlin. Negativní vliv mají ale i na ostatní drobné savce, kteří jsou závislí na stejném zdroji potravy a kompetici o své místo uvnitř společenstva většinou prohrávají (takto vyhynul například bandikut králíkovitý).



*Homogenizace světové bioty***INVAZE**

Globalizace, vysoká mobilita lidstva a zrychlení transportu mezi místy umožňuje snadnější disperzi všech druhů počínaje spory hub konče velkými obratlovci. Prolínání biot geograficky vzdálených míst má za následek **homogenizaci světové bioty**. Bioty různých částí světa si začínají být stále více podobné. Do ekosystémů jsou introdukovány druhy, které mají podobné nároky, jako ve společenstvech již přítomné druhy. Nově přichozí druh proto může vytlačit druh původní (kompetitivní vyloučení). Obecně platí, že ve společenstvech začíná převládat **několik dobře přizpůsobivých druhů** (většinou kosmopolitnějšího rozšíření), **což snižuje celkovou druhovou diverzitu společenstva**. Mnoho živočišných druhů vymírá v důsledku predace, zatímco rostliny jsou vůči invazím odolnější.

Z praxe: Capinha et al. (2015) zkoumal globální homogenizaci populací suchozemských druhů plžů (*Gastropoda*) napříč všemi kontinenty (vyjma Antarktidy). Když byly uvažovány pouze původní areály druhů, bylo možné mapu světa rozdělit do několika biogeografických oblastí, které obývaly různé druhy plžů (**obrázek: A, B**). Když však byly uvažovány i nepůvodní výskytu způsobené lidskou činností, bylo možné vymezit pouze dvě oblasti lišící se klimatickými podmínkami (**obrázek: C, D**), tropické a mimotropické oblasti (mírný až polární pás). Disperze pro druhy není díky člověku překážkou, proto je jejich rozšíření podmíněno pouze charakterem podnebí. Při výzkumu Capinha et al. (2015) vycházel z původního rozšíření plžů před rokem 1500 n. l. (předpokládá, že se jednalo převážně o původní oblasti výskytu) a navazuje na něj současným antropogenně podpořeným rozšířením druhů. Upozorňuje na to, že dříve platilo, že si společenstva vzdálená více než 6 500 km nebyla druhově příliš podobná (nad 11 000 km už vůbec). V současné době se tento trend oslabil a nezáleží na tom, jak si jsou druhy vzdálené, protože podobnosti mezi populacemi jsou patrné i na vzdálenost 19 000 km.



CAPINHA et al. 2015

Nemoci se nešíří pouze mezi lidmi

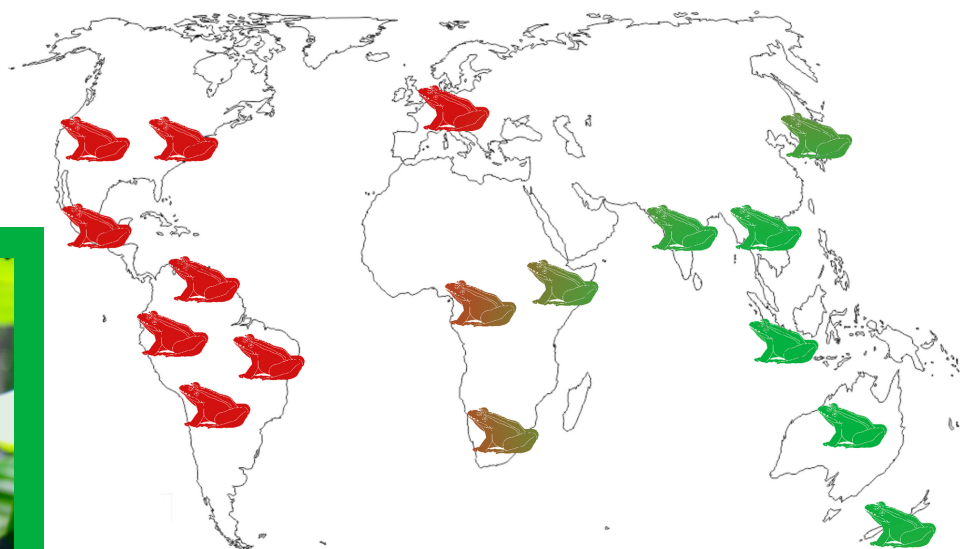
PATOGENY A ONEMOCNĚNÍ

S nově příchozími druhy a snadnější disperzí dochází i k **lepšímu šíření patogenů**, na něž původní populace druhů většinou nemají potřebné adaptace. Šíření nemocí má negativní vliv například na obojživelníky. *Atelopus panamský* je v současné době veden jako kriticky ohrožený druh. Není známo, kolik jedinců ve volné přírodě ještě zbývá. Populace atelopuse byly zasaženy chytridiomykózou, plísňovým onemocněním způsobeným houbou *Batrachochytrium dendrobatidis*, která narušuje správnou funkčnost kůže obojživelníků a ohrožuje je tak na životě. Šíření plísně rodu *Batrachochytrium* je globální problém postihující populace velkého počtu druhů obojživelníků. Počet zaznamenaných nálezů obojživelníků s tímto onemocněním se mezi rokem 2014 a 2019 zněkolikanásobil.

Pandemie nemocí mohou postihovat všechny druhy a člověk není výjimkou. Nám dobře známým příkladem je globální šíření koronaviru SARS-CoV-2.



r. *Atelopus*



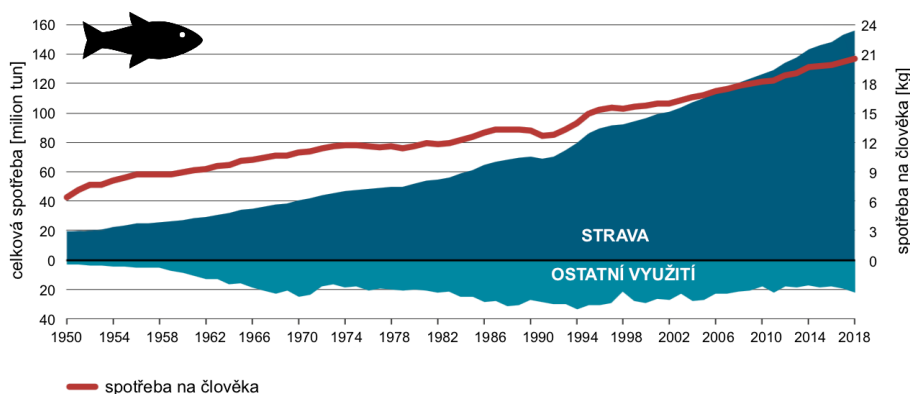
Rybolov

NADMĚRNÉ VYUŽÍVÁNÍ ZDROJŮ

Se zvětšující se lidskou populací narůstají nejen územní nároky, ale současně stoupá i spotřeba zdrojů. Kromě běžných zdrojů (chov hospodářských zvířat a pěstování plodin) člověk ve velkém využívá i přírodní zdroje. Posčítají-li se následky dílčích způsobů čerpání, lze mluvit o **globálních důsledcích nadměrného využívání přírodních zdrojů**. V ohrožení se ocitají málopočetné skupiny vzácných druhů (důvodem je např. trofejový lov, chov exotických druhů jako domácích mazlíčků, čínská medicína) nebo intenzivní využívání běžných druhů, které může vést až k vyčerpání jejich populací (např. rybolov).

Rybolovu by měla být věnována pozornost kvůli tomu, jak **velký tlak na ekosystémy** vytváří. Přímo ovlivňuje početnost lovených organismů. Problémem je také to, že rybolov probíhá **neustále a bez přerušení** umožňujícího obnovu populací druhů. *Organizace OSN pro výživu a zemědělství* vydala v roce 2020 zprávu zabývající se aktuálním stavem světového rybolovu akvakultury. Ve zprávě upozorňuje na to, že každým rokem stoupá množství vylovených či odchovaných organismů a přímo to koreluje se stoupající početností lidstva. **Graf** zobrazuje vývoj spotřeby na člověka a zároveň stoupající celkovou spotřebu. Vyjma zvýšené spotřeby se také zvětšuje množství oblastí ovlivněných intenzivním rybolovem (větším než 100 t). Největší úbytky populací jsou pozorovatelné **v oblastech tropů**, na něž v současné době působí nejen rybolov, ale i změny klimatu. Ryby jsou loveny i v **sladkovodních řekách**, především v subtropických a tropických oblastech.

Na rybolovu je závislý opravdu celý svět, a proto se předpokládá, že světová produkce by k roku 2030 mohla dosáhnout 204 milionů t (což je o 15 % víc než v roce 2018). Lovené mořské a sladkovodní druhy jsou nenahraditelnou součástí potravního řetězce uvnitř ekosystémů. Organismy mohou být predátory, stejně tak jako kořistí či potravou, a proto je jejich přítomnost uvnitř společenstev nenahraditelná. Převyčerpáním těchto zdrojů by nedošlo pouze k úbytku lovených druhů, ale výsledkem by byl kolaps celých ekosystémů. Naším úkolem je nalézt způsob, jak učinit rybolov udržitelnějším.



FAO 2020

Příklady nadměrného využívání druhů

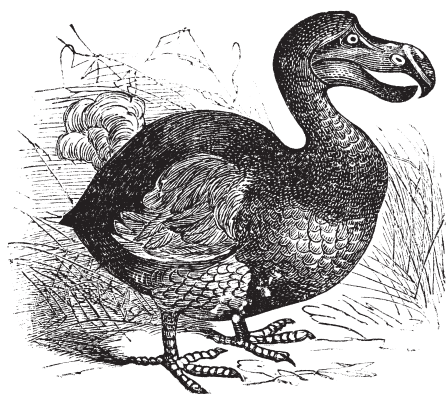
NADMĚRNÉ VYUŽÍVÁNÍ ZDROJŮ

Velké čerpání zdrojů člověkem nemělo v historii, a nemá ani nyní, pozitivní vliv na populace druhů. Jak dopadá druh, jehož početnost je dlouhodobě snižována lovem? Některé druhy vyhynou, jiné podléhají dalším selekčním tlakům. Příkladem může být dronte mauricijský (jinak známý jako pták dodo), alka velká, nosorožec tuonosý severní, bizon americký či želva sloní, buď zcela vyhynulé druhy nebo druhy ohrožené vyhnutím.

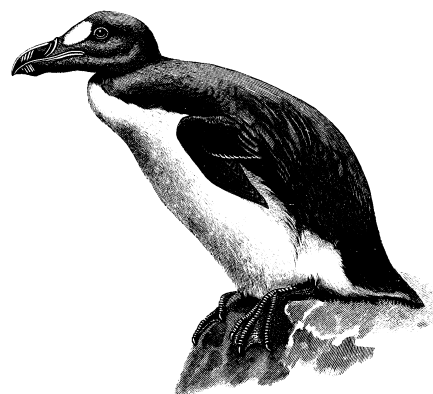
Dronte mauricijský by mohl být jmenován ikonou vymírání způsobeného člověkem. Pravděpodobně každý alespoň jednou za život viděl obrázek robustního ptáka s typicky zaobleným zobákem. Dodo obýval ostrov Mauricius v Indickém oceánu, kde byl také endemitem. Přestože lze zvýšený lov s příchodem člověka považovat za jednu z příčin jeho vyhynutí v druhé polovině 17. století, pravděpodobnější je, že druh vyhynul kvůli kompetici s domestikovanými druhy introdukovanými člověkem do mauricijské bioty.

Alka velká je pták jehož poslední jedinec zahynul rukou člověka (na ostrově Eldey u Islandu v polovině 19. století). Alka obývala pobřežní oblasti skalnatých ostrovů severního Atlantiku. Na pevnině působila poněkud nemotorně, to z ní činilo snadnou kořist. Alka byla lovena námořníky, kteří zde zastavovali a ptáky využívali jako zdroj potravy a paliva (z tuku). Na populace ptáků současně působila změna klimatu. Alky se ocitly v ohrožení a nedokázaly tak vyrovnávat populační ztráty, což vedlo k jejich vyhynutí.

Nosorožec tuonosý severní, jehož poslední zástupce samčího pohlaví zemřel 19. března 2018, se blížil k extinkci již v druhé polovině 20. století. Nosorožci byli dlouhodobě cílem pytláků, především pro své rohy, což ukazuje, jakým problémem je černý trh s živočichy, slonovinou apod. S úhynem posledního samce je druh považován za vyhynulý, přestože žijí ještě dvě samice.



dronte mauricijský (Raphus cucullatus)



alka velká (Pinguinus impennis)

Zvyšování globální teploty

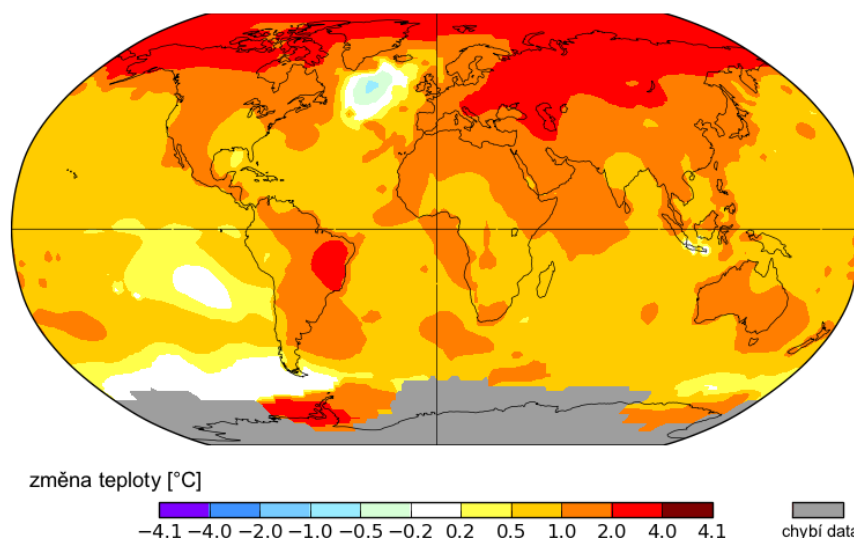
KLIMATICKÁ ZMĚNA

Aktuální klimatická změna antropogenního původu není hlavní příčinou úbytku druhů, umocňuje ale ztrátu druhové diverzity. Protože klimatická změna je sama o sobě velké téma, kterému jsou věnovány celé publikace (viz *Atlas klimatické změny*), nyní se budeme věnovat spíše jejím dopadům na biodiverzitu. Během roku 2021 a na začátku roku 2022 vyšly již 3 hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu IPCC (následky jsou zpracovány v druhé z nich).

Prvním následkem, a pravděpodobně nejzásadnějším, je **globální zvýšení průměrné teploty**, které je pozorovatelné i na **obrázku**. Ten porovnává průměrně teploty za období 1880 až 1950 a 2010 až 2020. Mezi těmito obdobími byl zaznamenán **globální nárůst teploty o 1 °C**. Z obrázku je patrné, že kontinenty se ohřívají rychleji než oceány a zároveň se planeta otepluje především ve vyšších zeměpisných šířkách v oblastech pólů. Nejohroženější ekosystémy jsou tedy polární, horské a pobřežní.

Kryosféra je ukazatelem zdravé planety a případné **odtání polárních čepiček** nejenom zvýší světovou hladinu moří, ale umocní již probíhající oteplování. Světlý led odráží sluneční záření má totiž albedo větší než tmavý oceán, který paprsky naopak pohlcuje. **Uvolnění velkých velkého objemu vody** z odtávajících ledovců může mít zásadní vliv na globální cirkulaci či organismy a lidské populace obývající oblasti zásobené vodou z každoročně odtávajících sněhů a ledů. **Hladina světového oceánu** se reakcí na odtávání ledovců mezi rokem 2003 a 2019 zvedla o 14 mm.

Netaje pouze led, ale i **permafrost** ve vyšších nadmořských a zeměpisných šířkách severní polokoule. Půda, jejíž teplota je za běžných podmínek po dobu více než dvou let pod bodem mrazu, je obrovskou **zásobárnou uhlíku**, který je táním uvolňován.



GISTEMP TEAM 2022, LENSSEN et al. 2019

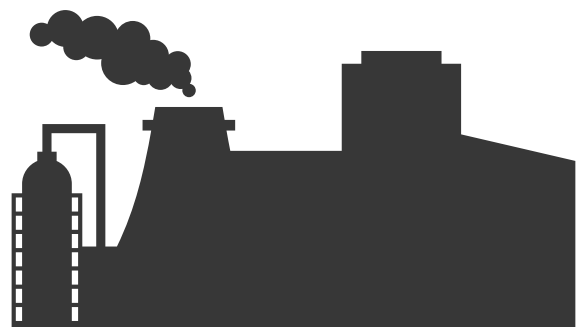
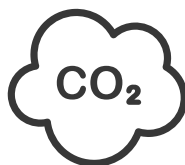
Skleníkové plyny, acidifikace a pokles kyslíku v oceánech

KLIMATICKÁ ZMĚNA

Zvyšování koncentrace skleníkových plynů v reakci na antropogenní činnost bylo již prokázáno. Spalování fosilních paliv, výroba cementu a změny ve využívání půd nejen v tropických oblastech, jsou považovány za hlavní faktory podílející se na navyšování jejich koncentrace. Skleníkový efekt je důležitý proces udržující stálou teplotu na zemském povrchu. Zvyšující se koncentrace oxidu uhličitého, methanu, oxidu dusného a vodních par ale narušují rovnováhu celého systému. V současné době terestriální ekosystémy pohlcují až **3,4 Gt uhlíku ročně**. Právě z těchto ekosystémů se zvyšujícím se globálním oteplováním namísto pohlcovačů začínají stávat zdroje uvolňovaného oxidu uhličitého. Příkladem může být narůstající četnost požárů porostů, úhyn stromů a již zmíněné tání permafrostu.

Acidifikace životního prostředí způsobená spadem oxidu dusíku, oxidu siřičitého a sulfanu z atmosféry má za následek **úhyn lesních porostů** a jejich **oslabení vůči patogenům**. Acidifikace a zvyšování teploty mořské vody zase **hubí marinní ekosystémy** a způsobuje **bělení korálů**. Korálové útesy jsou důležitým stavebním prvkem moří a současně chrání pobřeží před působením velkých vln. Zabraňují erozi a odnosu sedimentů z pobřežních oblastí, což chrání ekosystémy v těsné blízkosti moří (mangrovové lesy).

Už v minulosti byly v mořích pozorovány **bezokyslíkaté oblasti**, které vedly k velkému úbytku druhů (například vymírání na přelomu permu a triasu). Za posledních 50 let byl zaznamenán pokles kyslíku v oceánech a pobřežních vodách vlivem zvyšující se globální teploty. Teplejší oceán váže menší množství kyslíku a vytváří tak bezokyslíkaté (hypoxické) oblasti, pro některé druhy neobyvatelné. Dalším problémem je **eutrofizace** (obohacování vod o živiny) především kvůli používání dusíkatých hnojiv. Zvýšené množství živin způsobuje přemnožení řas v horních vrstvách vodního sloupce a vyčerpání kyslíku v hloubkách. Obdobný trend byl pozorován i napříč sladkovodními jezery v mírném pásu.



Následky

KLIMATICKÁ ZMĚNA

Shrňme si tedy, co představuje hlavní následky klimatické změny. Za hlavní projevy antropogenně vyvolané změny klimatu jsou považovány stále častější **extrémní jevy počasí** a také přímé působení klimatické změny na ekosystémy. Mezi hlavní důsledky patří například **bělení korálů** způsobené navyšující se teplotou a acidifikací oceánů, úbytek druhů jako následek zvyšující se četnosti vln veder a sucha, zvětšení ploch postižených požáry a snížení odolnosti pobřežních ekosystémů vůči bouřím. Mezi již prokázané změny, oproti předešlým rokům, se řadí například **posun v nástupu ročních období** (Severní Amerika a Evropa), **přesun přibližně poloviny druhů do vyšších nadmořských výšek a vyšších zeměpisných šířek** či lokální úhyn druhů zapříčiněný navyšující se četností vln veder. Pozorovány byly také **první extinkce druhů** následkem klimatické změny. Například ropucha zlatá (*Bufo periglenes*), obojživelník původně z Kostariky, vyhynula z důvodu ztráty přirozeného prostředí vlivem působících klimatických změn a již zmíněnému onemocnění likvidujícím populace obojživelníků.



Ekosystémy v ohrožení

ZNEČIŠTĚNÍ

Znečištění životního prostředí má bezpochyby vliv na všechny ekosystémy. Zvýšená produkce odpadu, používání hnojiv v zemědělství, spalování fosilních paliv, uvolňování mikroplastů – to je jen zlomek toho, jak se polutanty dostávají do světových půd, vody a ovzduší.

Mnoho států světa se nyní snaží přejít od lineární ekonomiky k **cirkulární ekonomice** (oběhovému hospodářství), která by měla snížit spotřebu přírodních zdrojů a zároveň prodloužit jejich setrvání v oběhu. Především méně vyspělé státy světa neumí s odpadem zacházet a protože se jedná povětšinou o země v těsné blízkosti moří, odpad se snáze dostává do světových oceánů, kde ohrožuje živočichy. **Plastový odpad** je vypravován z moří na pláže, které jsou důležitým místem pro životní cyklus karet a kožatek. Hrozbu představují pro mláďata snažící se dostat ze snůšek zpět do moře a překážky ve formě plastových odpadků jsou pro ně častokrát nepřekonatelné. Plasty nejsou problémem pouze na plážích, ale i v mořích, kde igelitové pytlíky mohou být zaměňovány za potravu (za medúzy) či mohou být přijímány formou mikroplastů a dostávat se tak do oběhu živin uvnitř ekosystémů.

Problematiku **eutrofizace** jsme si již představili. S měnícím se klimatem a extrémními změnami v množství srážek se bude zvyšovat i působení nadměrného obohacování vodních zdrojů živinami, především v jihovýchodní Asii, jižní části Evropy a severovýchodní části USA. Nadměrný přísun dusíku nepůsobí selektivně, ale **zatěžuje celé ekosystémy**.

Obdobně závažným tématem zapříčiněným zvýšenou zemědělskou produkcí je **používání pesticidů**. Pesticidy ohrožují všechny skupiny organismů. Především hmyz (opylovače), obojživelníky, ptáky a ryby. O závadnosti pesticidů se ví už dlouho, a tak mnoho pesticidů bylo nahrazeno novými, méně invazivními. Nedá se ale předpokládat, jak budou organismy reagovat na nově zavedené prostředky při zvětšujícím se působení klimatické změny.



Co jsme se naučili?

SHRNUTÍ

Šesté hromadné vymírání druhů (současná ztráta druhové diverzity) je nebezpečné svou rychlostí. Ubývají druhy napříč všemi skupinami, s nimiž se v hodinách biologie setkáváme. My jsme se primárně zaměřili na úbytky v populacích fauny. Můžeme si povšimnout, že současné vymírání do jisté míry kopíruje vymírání, ke kterým docházelo v geologické historii Země. Příčiny, které za nimi stály a postihovaly světovou biotu, byly dříve vyvolávány mimořádnými událostmi (impakty vesmírných těles, vulkanismus apod.). Dnes jsou tyto změny primárně antropogenního původu, ovšem následky začínají být pozorovatelné taktéž v globálním měřítku.

Jako hlavní příčiny současného úbytku druhů jsme si představili: změny biotopů, invaze, globálně se šířící patogeny a onemocnění, nadměrné využívání přírodních zdrojů člověkem a vliv klimatické změny a znečištění (půd, vod a ovzduší).

Proč je pro nás téma úbytku druhů tak důležité? Biodiverzita je zásadní pro zachování funkčnosti ekosystémů a udržuje celý svět v rovnováze. Musíme si uvědomit, že všemi aktivitami závisíme na dobře fungujících ekosystémech. Příroda pro nás není pouze místem k rekreaci, získáváme z ní potravu, léčiva a také paliva. Dojde-li ke kolapsu světových ekosystémů, nedá se předpokládat, jaký vliv to bude mít v budoucnu na lidskou populaci.

Pokud byste měli zájem rošířit své znalosti o problematice šestého hromadného vymírání druhů, na další stránce naleznete odkazy na internetové a knižní zdroje, ze kterých se můžete dozvědět více informací (na své si přijdou studenti i vyučující).

Děkuji Vám, že jste věnovali čas této příručce a přeji Vám hodně štěstí a úspěchů v dalším studiu!

autorka

Pro studenty i učitele

ODKAZY

● IUCN databáze

Procházejte databázi ohrožených druhů. Sledovat můžete druhy, o nichž se zrovna učíte. (Dostupné z: <https://www.iucnredlist.org/>)

● ŽIVA 5/2021

Dočtěte se víc o vymírání druhů v čísle Živy 5/2021 (věnuje se mu celé číslo). Dozvíte se například o extinkci hub, obojživelníků a členovců. Autoři Vám představí i historii vymírání. (Dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/2021-5/>)

● Šesté vymírání - nepřírozený příběh (2014)

Rozšířte svou knihovnu o knihu Elizabeth Kolbert zabývající se 6. hromadným vymíráním. Autorka navštěvuje různá místa světa a ukazuje důkazy o současných a historických vymíráních. Knihu ocení učitelé i studenti. (ISBN 978-80-7364-052-1)

● Khan Academy - Natural selection - EXTINCTION

Ovládáte-li angličtinu na středoškolské úrovni, pusťte si sérii videí zaměřenou na vymírání a jeho roli v evoluci organismů. (Dostupné z: <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/natural-selection>)

● ATLAS KLIMATICKÉ ZMĚNY - Fakta o klimatu

Dozvěďte se víc o klimatické změně. Publikace Atlas klimatické změny, či webové stránky Fakta o klimatu díky infografice skvěle ukazují nejnovější data o klimatu a klimatické změně. (ISBN 978-80-88212-36-2, Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/>)

● Zprávy IPCC a IPBES

Pro učitele: přečtěte si nejnovější poznatky ve zprávách o klimatické změně (Mezivládní panel pro klimatickou změnu, IPCC - 2021/2022) a o současných trendech úbytku biodiverzity (Mezivládní panel OSN pro biodiverzitu a ekosystémové služby, IPBES - 2019). (Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/>; <https://ipbes.net/>)

● Antropocén (2020)

Pro učitele: Petr Pokorný a David Storch v roce 2020 vydali knihu Antropocén. Tato sbírka textů mimo jiné představuje vliv člověka na biotu - problematiku řeší odborníci z různých oborů. (ISBN 978-80-200-3129-7)