

# Biologický korespondenční seminář



## Biozvěst

Ročník 5

Série 4

## Milé řešitelky, milí řešitelé,

další ročník Biozvěstu vrcholí poslední sérií. Zatímco vy statečně bojujete, my pro vás již máme přichystané odměny, které budou slavnostně předány během vyhlášení výsledků na květnové expedici do Orlických hor. I v poslední sérii se můžete těšit na pestrou paletu úloh. Seriál o historii biomů zakončíme povídkami o dobách ledových a meziledových, v praktické úloze se budete moci podívat na nejroztodivnější zvířátka z mechu a v dalších úlohách probádáte rezistenci k antibiotikům, evoluci listu a zákony dědičnosti.

### Jak řešit

Veškeré pokyny k řešení semináře získáte na internetové stránce Biozvěstu

<http://www.biozvest.arach.cz>

(nebo zadejte „Biozvěst“ do Google). Na stránce také naleznete přihlášku, kterou vyplňte. Úlohy Vám budeme zasílat automaticky na e-mailovou adresu uvedenou v přihlášce. Pokud budete chtít ukončit odběr novinek o Biozvěstu, napište nám e-mail.

Dále se k nám můžete připojit prostřednictvím Facebooku, skupina „Biozvěst“, kde lze probírat aktuality a diskutovat dle libosti.

<https://www.facebook.com/groups/175384482597684/>

**Vaše řešení úloh nám pošlete na adresu:**

[biozvest@gmail.com](mailto:biozvest@gmail.com)

Nejpraktičtější formou řešení bude prostý text v e-mailu, ale přijímáme veškeré formáty příloh. Každou úlohu pište do samostatného e-mailu a v předmětu uveďte

**Ročník-Série-Úloha-Jméno\_Příjmení,**

např. **5-3-1-Bioslav\_Biomilný** v případě první úlohy třetí série aktuálního ročníku.

**Uzávěrka 4. série: pondělí 14. 5. 2018 o půlnoci.**

Vyhodnocení Vašich řešení dostanete e-mailem.

Nelekejte se, když Vám přijdou úlohy na první pohled příliš těžké, ponořte se do informačních zdrojů a uvidíte, že na vše lze někde nalézt odpověď. Dobré tipy k řešení naleznete také na stránce Biozvěstu v sekci „Návody“. Není nutné, abyste kompletně vyřešili všechny úlohy a asi se to ani nikomu nepodaří, stačí odeslat libovolně velký fragment. Oceníme, pokud přiložíte jakékoli připomínky (např. úloha byla příliš lehká/těžká, nesrozumitelná, nudná), úlohy se pokusíme tvořit k Vaší maximální spokojenosti.

Veškeré dotazy či připomínky směrujte na adresy

[biozvest@gmail.com](mailto:biozvest@gmail.com) či [vosolob@natur.cuni.cz](mailto:vosolob@natur.cuni.cz) (na druhé adrese máte větší šanci na rychlé zodpovězení otázky), nebo na e-mailové adresy autorů konkrétních úloh. Kontakty naleznete na webu Biozvěstu.

*Držíme vám palce při řešení úloh..*

*Václav Bočan a Stanislav Vosolobě*

## Úloha 1: Antibiotická rezistence

Autor: Kristýna Minářová

Počet bodů: 14

Při léčbě infekcí se potýkáme především s rezistencí bakterií k antibiotikům. Jejich výskyt narůstá nejen u pacientů dlouhodobě hospitalizovaných či dokonce v intenzivní péči, ale i u lidí přicházejících z domova. Problém se nejpálčivěji týká lidských patogenů, jako jsou *Staphylococcus aureus* nebo *Klebsiella pneumoniae*. Nicméně ani běžné zoonozy (tedy nemoci, které jsou na člověka přenášeny od zvířat), které se v nemocnicích nevyskytují často, nejsou ušetřeny. Díky tomu můžeme s rostoucími obavami sledovat přibývající rezistenci na cefalosporiny a chinolony u takových bakterií, jakými jsou *Salmonella enteritidis* nebo *Campylobacter jejuni*. Proto se v následující úloze pokusíme porozumět tomu, jak rezistence vzniká a jak by se dramatické tempo jejího nárůstu dalo teoreticky zpomalit.

1. Prvním a zároveň neúčinnějším antibiotikem byl penicilin. Penicilin patří do skupiny  $\beta$ -laktamových antibiotik. Napište, na jakém místě bakteriální buňky  $\beta$ -laktamy působí?
2. Bakterie se pochopitelně antibiotikům brání, seč jim síly stačí. Proto se již poměrně záhy po objevení penicilinu objevily i první rezistence. Víte, jak se jmenuje enzym, který je za rezistenci k penicilinu zodpovědný a co s antibiotikem udělá, aby přestalo působit? Vysvětlete zkratku ESBL.
3. Pro boj s bakteriemi ovšem nemáme jen  $\beta$ -laktamy. Vzhledem k rozmanitému účinku antibiotik na bakteriální buňku existuje mnoho strategií, jak se s antibiotikem vypořádat. Zkuste vymyslet mechanismy rezistence na jiná antibiotika, která nespádají do skupiny  $\beta$ -laktamů.
4. Hlavním důvodem nárůstu rezistentních bakterií je neustále se zvyšující koncentrace antibiotik v prostředí. Jaké všechny důvody mohou za takovým nárůstem stát? Všeobecně se za vznik rezistencí volá k zodpovědnosti nadměrné užívání antibiotik jak v humánní, tak veterinární medicíně. Antibiotika se také musí někde z něčeho vyrábět a pacient zpravidla není poslední destinací antibiotika v rámci ekosystému. Popište konkrétně alespoň šest problémů současného světa, které mají za vinu kontaminaci prostředí antibiotiky.

## Úloha 2: Kdo? S kým? Jak? Proč? Aneb vztahy mezi alelami

Autor: Kateřina Kubíková

Počet bodů: 21

Genetika – tedy věda zabývající se dědičností i proměnlivostí organismů a jejími příčinami – je poměrně rozmanitý obor s mnoha odvětvími, který nám nejen pomáhá odpovídat na řadu odvětvých otázek o životě, ale nachází praktické využití v celé škále lidských činností od šlechtitelství, přes medicínu, až po genetické inženýrství. My se v této úloze zaměříme na jednu její část, a to na základní souvislosti mezi genotypem a fenotypem – tedy pokusíme se osvětlit něco málo z principů dědičnosti a ukážeme si mimo jiné to, jaké všechny vztahy mezi alelami jednoho ale i více genů existují, jak se navenek projevují a proč tomu tak je.

- Úplně na začátek si ujasníme některé základní genetické pojmy, na které v této úloze narazíme nebo s nimi budeme přímo dále pracovat. Vysvětlete rozdíl mezi tím, kdy hovoříme o genu a kdy o alele, a stručně popište, co znamenají pojmy: heterozygot, homozygot, genotyp a fenotyp.
- Teď už se můžeme podívat na základní typy intragenových interakcí – tedy interakce mezi alelami téhož genu. Dělíme je na první pohled jednoduše na úplnou dominanci, neúplnou dominanci a kodominanci.
  - Ukažte na reálných či hypotetických příkladech a popište, jaký je rozdíl mezi kodominancí a neúplnou dominancí?
  - A jak je to s krevní skupinou AB u lidí ze systému určení krevních skupin ABO? Určete, zda je mezi alelami  $I^A$  a  $I^B$  vztah kodominance nebo neúplně dominance, a navrhnete, jak by vypadala situace v krvi člověka skupiny AB (s genotypem  $I^A I^B$ ), kdyby šlo o opačný vztah.
- Když se nad tím zamyslíme ještě trochu víc, ukáže se ale, že určení typu dědičnosti nemusí být vždycky tak úplně jednoduché. Záleží totiž na úrovni, na které fenotypový projev genu studujeme. Například v genu pro hemoglobin může dojít k mutaci, která vede ke změně aminokyseliny na 6. pozici v  $\beta$ -řetězci z kyseliny glutamové na valin. Podle toho, zdali se budeme dívat na primární strukturu řetězce globinu, počet krvinek normálního tvaru, projev anemie či odolnost vůči malárii, dospějeme k jinému typu intragenové interakce. Rozhodněte, o jaký typ dědičnosti se jedná u všech čtyř zmiňovaných úrovní (fenotypových projevů) daného příkladu a určete, která alela je z daného úhlu pohledu dominantní a která recesivní. Napište, jaké onemocnění zmiňovaná mutace způsobuje. Najděte nebo vymyslete a podobně popište další obdobný příklad.
- Někdy se navíc může stát, že výsledek křížení na první pohled neodpovídá ani jednomu z výše zmiňovaných typů intragenových interakcí. To si ukážeme na následujícím příkladu. Při experimentu byly kříženy hledíky (*Antirrhinum* sp.) se zelenými (green) a zlatavými (gold) listy. Jednotlivá křížení dala vzniknout následujícím počtům dospělých potomků:
  - green  $\times$  green  $\rightarrow$  197 green,
  - gold  $\times$  gold  $\rightarrow$  135 gold a 67 green,
  - gold  $\times$  green  $\rightarrow$  108 gold a 103 green.
 Jaké jsou genotypy odpovídající jednotlivým fenotypům – jedná se o homozygoty či heterozygoty? Jaký je teoretický štěpný poměr v případě druhého křížení (gold  $\times$  gold) a čím si ho vysvětlujete?
- Jen málokteré znaky ale ovlivňuje pouze jeden gen. Pokud je za jeden znak odpovědný větší počet genů, i mezi jejich alelami je často tvořena jakási „hierarchie“ – pak hovoříme o intergenových interakcích – tedy vztazích mezi alelami různých genů. Mějme dvě čisté linie libovolného organismu s genotypy ve sledovaných genech AABB a aabb. Pokud je zkřížíme, získáme uniformní potomstvo s genotypem AaBb a tedy i vzájemně stejnými fenotypovými projevy daných genů. Křížení těchto potomků mezi sebou, respektive poměry fenotypů v další generaci (tzv. F2), nám pomůže určit vztahy mezi jednotlivými alelami těchto dvou zkoumaných genů. Přiřaďte k sobě označení a popis intergenové interakce a příslušný F2 fenotypový štěpný poměr.

**Označení interakce:**

- Recesivní epistáze
- Dominantní epistáze
- Zdvojená recesivní epistáze (kodominance)
- Dvojitá dominantní epistáze
- Inhibice

**F2 štěpný poměr**

12 : 3 : 1

9 : 7

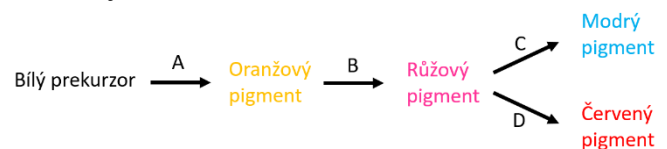
9 : 3 : 4

13 : 3

15 : 1

**Popis interakce**

- Musí být přítomna dominantní alela obou genů, aby vznikl odlišný fenotyp.
  - Dominantní alela jednoho genu a recesivně homozygotní stav ve druhém genu má fenotypový dopad, který je nadřazený fenotypům ostatním.
  - Dominantní alela jednoho genu znemožní jakýkoli projev alel druhého genu.
  - Stejný fenotypový projev nastane, pokud je přítomna alespoň jedna dominantní alela alespoň jednoho genu.
  - Recesivně homozygotní stav v jednom genu znemožní jakýkoli projev alel druhého genu.
- Intergenové interakce v praxi si ukážeme na jednom příkladu. U imaginární rostliny je barva květů určena čtyřmi nezávisle kombinujícími geny A, B, C, D, z nichž každý kóduje jeden enzym katalyzující příslušný krok (reakci) v biosyntetické dráze tvorby pigmentů. Recesivní mutace těchto genů způsobí abnormální enzymy, které příslušnou reakci katalyzovat neumí. Biosyntetická dráha výroby pigmentů je znázorněna na obr. 1.



Obr. 1: Příklad biosyntetické dráhy pro otázku č. 6.

- Jaká bude relativní četnost fialových rostlin (současná tvorba modrého a červeného pigmentu) v potomstvu při křížení rostlin  $AaBbCCdd \times AabbCcDD$ ? Jaké jsou barvy rodičovských rostlin, pokud jsou genotypy křížení  $AaBbCCdd \times AabbCcDD$ ?
  - Určete intergenové vztahy mezi alelami dvojic genů C-D a A-B.
  - Nyní si představme, že enzym D je navíc zodpovědný za rovnoměrnou lokalizaci pigmentů v květu. U recesivních homozygotů se pigment hromadí jen na vnějších okrajích korunních lístků, zatímco zbytek květu je bílý. Vypište všechny nové fenotypy květu, které umožní rozšířená funkce enzymu D. Jaká by v tom případě byla relativní četnost rostlin s květy modrými jen na okrajích v potomstvu při křížení rostlin s genotypy  $AaBbCcdd \times AabbCcDd$ ?
- Jak ale zjistíme, zda jeden znak nebo dokonce stejný mutantní fenotyp je zapříčiněn mutacemi v jednom, nebo více různých genech? Představte si, že máte před sebou dvě rostliny ze dvou různých čistých linií, které mají stejný fenotypový projev (například stejnou barvu květů odlišnou od

divokých rostliny) zapříčiněný recesivní mutací. Jak bychom velmi jednoduše mohli získat základní představu o tom, zda by se mohlo jednat o recesivní mutace postihující tentýž gen, nebo jde o recesivní mutace různých genů? Napište též, jak se tato analýza označuje, a zkuste vymyslet alespoň jedno omezení (kdy ji použít nemůžeme, za jakých okolností nám může dávat falešné výsledky, co může výsledek ovlivnit, ...).

- b. Co tyto geny obecně kódují, popřípadě zajišťují? Doporučují použít nějakou genovou či proteinovou databázi.
- c. V jakém vztahu je s KNOX geny?

### Úloha 3: Evoluce listu

Autor: Radek Vítek

Počet bodů: 17

List je rostlinný orgán, který má v dnešní době nespočet podob, tvarů a funkcí. Od klasického asimilačního listu lípy přes lapací listy masožravých rostlin až po ochranné útvary známé jako trny. Z listů jsou také odvozeny plodolisty, samičí výtrusné listy, a také některé další květní části. V době vzniku suchozemských rostlin listy, jak je známe dnes, vůbec neexistovaly. Bylo třeba dlouhé doby a dostatku evolučních hrátek, abychom dnes mohli slyšet šum listoví ve větru.

1. Listem můžeme nazvat jen orgán, který patří cévnatým rostlinám. U jiných skupin hovoříme o „listech“ jakožto o strukturách se stejnou funkcí, popřípadě tvarem. Zkuste najít 3 listům podobné struktury u 3 různých skupin a uveďte, čím se liší od pravých listů (zaměřte se na struktury s asimilační funkcí, popište jejich strukturu, typ pletiv, vaskularizaci atd.).
2. První suchozemské rostliny vypadaly dost jednoduše. Jednalo se o holé, více či méně větvené stonky nesoucí sporangia, žádné struktury podobné listům bychom na nich nenašli. Dnes však můžeme listy rozdělit na 2 skupiny, které jsou na sobě evolučně nezávislé, mikrofyly (lycophyly) a makrofyly (euphyly). Podrobně oba popište (u jakých skupin je najdeme, jejich morfologii, tvar, velikost atd.).
3. Obě struktury ovšem musely vzniknout v evoluci postupnými kroky. Jako první se zaměříme na mikrofyly, u nichž se předpokládá vznik na základě enační teorie.
  - a. Popište, jakými kroky listy podle této teorie vznikaly.
  - b. Najdete i příklad jiné teorie, která vysvětluje vznik mikrofyly?
4. U makrofyly se přikláníme k telomové teorii.
  - a. Který vědec za touto teorií stojí a na čem je tato teorie založena?
  - b. Popište, jaké postupné kroky vedly ke vzniku tohoto listu (můžete uvádět i anglické termíny).
5. Pokud se podíváme na evoluční strom skupin nesoucích makrofyly, zjistíme, že vznikly nezávisle vícekrát.
  - a. Kolikrát makrofyly vznikly? Hovoříme v tomto případě o homologii, nebo o homoplázii a proč?
  - b. Jak je tomu u mikrofyly?
6. V evoluci se tedy musely vyvinout geny, které řídí vznik a vývoj listů v apikálním meristému stonku. Obecně pak spadají do genové rodiny ARP, která spadá do superrodiny MYB. Do ARP patří několik homologů jednoho genu, který je důležitý pro vývoj listového primordia.
  - a. Uveďte 2 homology genu patřícího do ARP rodiny.

### Úloha 4 (experimentální): Neviditelní

Autor: Jakub Hradečný

Počet bodů: 12

V této praktické úloze se budeme zabývat nenápadnými obyvateli naší přírody, kteří se kolem nás vyskytují ve vysokých počtech, aniž bychom o nich měli ponětí. Zaměříme se blíže na faunu obývajících mechy pocházející z různých biotopů, a zkusíme se podívat na to, zdali se mezi sebou vybrané biotopy liší. Mechy představují pro organismy extrémní prostředí, a to zejména kvůli tomu, že mechové společenstvo může procházet občas úplným vyschnutím, na což je velmi dobře adaptován mech, a proto se tomu musely přizpůsobit i zde žijící organismy. Některé z těchto organismů dotáhly svou odolnost tak daleko, že zvládnou přežít třeba vakuum nebo silné UV záření.

Předem musím upozornit, že k vypracování této úlohy je potřeba pracovat s mikroskopem. Zcela dostačující by měl být světelný mikroskop, maximální potřebné zvětšení 400×. Předpokládám, že k vypracování úlohy vám bude umožněno, po konzultaci s vyučujícími, použít mikroskopy na vaší škole. Své výsledky prosím zašlete v protokolu ve formě .pdf doplněné o vhodné fotografie a grafy.

Zvolte si minimálně tři rozdílné biotopy (např.: louka, jehličnatý les, smíšený les), ze kterých budete odebírat vzorky mechu. Na každé lokalitě seberte minimálně 3 vzorky mechu o velikosti 10 cm<sup>2</sup>. Zajímá nás fauna obývajících mechy v různých biotopech a snažíme se objasnit, jestli se mezi sebou vybrané biotopy nějak liší. I když se v naší práci nezabýváme rozdíly v biotě různých druhů mechu ze stejné lokality, doporučuji vám vybírat pro srovnání buď jeden druh mechu na lokalitu, anebo tři rozdílné druhy mechu na každé lokalitě (a porovnat je mezi sebou). Hlavně nezapomeňte závěrečný protokol doplnit o fotografie vzorků a biotopu, ze kterého jste vzorky odebírali, a ideálně i o vědecký název sebraného mechu (to je hodně obtížné, ale můžete se pokusit alespoň do řádu či čeledi, není to však povinné).

Nyní k metodice sběru: 10 cm<sup>2</sup> mechu očistěte od velkých organických nečistot a uložte ho do papírového sáčku. Takto postupujte se všemi vzorky. Doma nechte vzorky vyschnout – nedávejte je však nad topení, nechte je vyschnout pozvolna při pokojové teplotě.

Připravte si filtrační aparaturu sestávající z vhodné velké síty (ideálně by neměly propadat kousky mechu), do kterého ještě vložíte jednu vrstvu z dvouvrstevného toaletního papíru (ta slouží hlavně k zachycení nečistot, nemusí být použita, pokud máte dostatečně husté síto – nezapomeňte do protokolu popsat a vyfotit vámi použitou aparaturu). Síto postavte na Petriho misku (nebo podobnou nádobu), položte do něj vysušený mech a večer ho přelijte 50 ml vody. Ráno odeberte vzorek vody z nádoby pod sítem, mikroskopujte jej a zodpovězte níže uvedené otázky. Hustota organismů by se měla pohybovat v řádu jednotek na použitých 50 ml, takže je nutné prohlížet minimálně pět či více preparátů z každého vzorku. Nezapomeňte,

že pro věrohodné porovnání vzorků mezi sebou je nutné porovnávat z každého vzorku stejné množství vody. Úloha cílí hlavně na skupinu Metazoa (živočichové), jednobuněčné organismy, které nepochybně uvidíte, můžete ignorovat, popřípadě je uvést jen jako zajímavost v protokolu. Organismy stačí určovat pouze na úrovni kmene!

Výsledky zpracujte ve formě protokolu doplněné vhodnými fotografiemi mechů (popřípadě i organismů vyfotografovaných skrze mikroskop) a grafy. Při zpracování protokolu se snažte postupovat tak, aby byly informace ucelené a aby protokol měl „hlavu a patu“. Hodnotit se bude také formální stránka protokolu.

1. Jaké živočišné kmene se vám podařilo pozorovat ve vzorku? A jaké bylo početní zastoupení jedinců z každého kmene ve vzorku? A mezi vzorky z jedné lokality?
2. Liší se mezi sebou výrazně množství jedinců z každého kmene mezi jednotlivými lokalitami? Zkuste navrhnout, jaké faktory prostředí mohou způsobovat případné rozdíly.
3. Jak nazýváme organismy, v nichž se v průběhu jejich života značně mění obsah vody?

### Úloha 5: Historický vývoj biomů v závěru čtvrtohor

Autor: Stanislav Vosolsobě

Počet bodů: 15

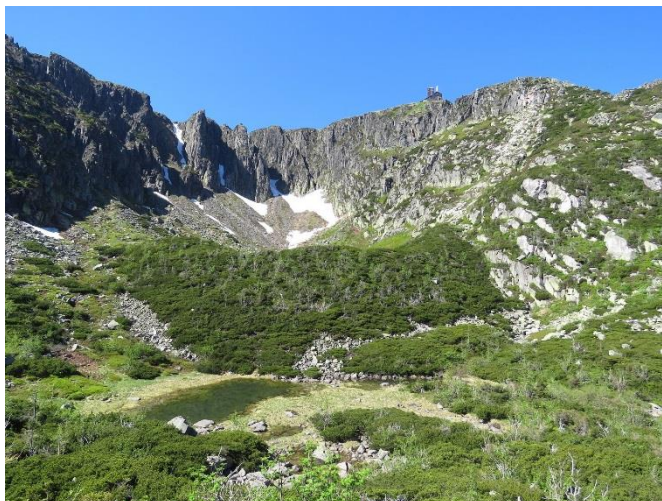
V minulém seriálu jsme naše povídání ukončili popisem příchodu ledových dob ve čtvrtohorách. Čtvrtohory a zejména období od konce poslední doby ledové jsou klíčové pro pochopení současného stavu naší přírody, proto jim nyní věnujeme samostatnou kapitolu.

#### *Doba ledová je doba ledová*

Již od 18. století znepokojovaly geology podivuhodné **bludné balvany** tvořené skandinávskými horninami, které jsou rozsety po severním Německu či Polsku. Alpské geology zase fascinovaly **zbytky morén** v alpských údolích hluboko pod čely současných ledovců. A i na našem území si můžeme všimnout **říčních teras**, které indikují historické změny v sedimentačních/erozních poměrech v okolí řek. Jediným uspokojivým vysvětlením všech těchto jevů mohla být existence **dávného zalednění** Evropy, o kterém se začalo uvažovat od třetiny 19. století. Zpočátku byly postulovány čtyři taková zalednění, dnes již máme spolehlivé důkazy, že takovýchto cyklů bylo více než deset.

Chladná období nazýváme **glaciály** (trvaly okolo 100 tisíc let) a teplejší **interglaciály** (trvaly okolo 20 tisíc let). Glaciál začíná pozvolným ochlazováním, které je důsledkem příčin, jež jsme rozebírali minule. Ochlazování má za následek nárůst **ledovců** jak v **horách**, tak ledovců **kontinentálních** v polárních oblastech. Zatímco dnes máme kontinentální ledovce pouze v Antarktidě, Grónsku a na některých severských ostrovech, v době ledové se začaly rozvíjet ledovce například i ve **Skandinávii** a dorostly zde do několikakilometrových výšek, přičemž se postupně rozšířily až do střední Evropy. Naše území však již zůstalo pustošeno ledovcem ušetřeno, pouze v předminulé době ledové se ledovec dostal na naše hranice do Slezska a částečně přetekl přes Lužické hory. V poslední době ledové, která byla méně drsná, dokonce čelo ledovce zůstalo jen zhruba

v polovině severního Německa a Polska. Horské ledovce v dobách ledových se dostávaly v Alpách hluboko do podhůří Lokální zalednění se vyskytovalo i u nás na Šumavě, v Jeseníkách a v Krkonoších a zbyly po něm typicky tvarované ledovcové kotle (kary) v závěrech horských údolí, v místech, kde ležel ledovec, který pomalu stékal do údolí (obr. 2). V místech, kde končil, zanechal morénu, tedy val z kamení, které předtím vytrhal ze dna karu. Drobné náznaky sněžných ktlů (tedy ne zcela dokonale vytvořených karů) se v poslední době zkoumají dokonce i v Jizerských horách.



Obr. 2: Dokonale modelovaný kar Sněžných jam v Krkonoších. Jsou dobře patrné dvě morény, jedna v místě fotografování, druhá uprostřed snímku, které umožnily vznik karových jezer.

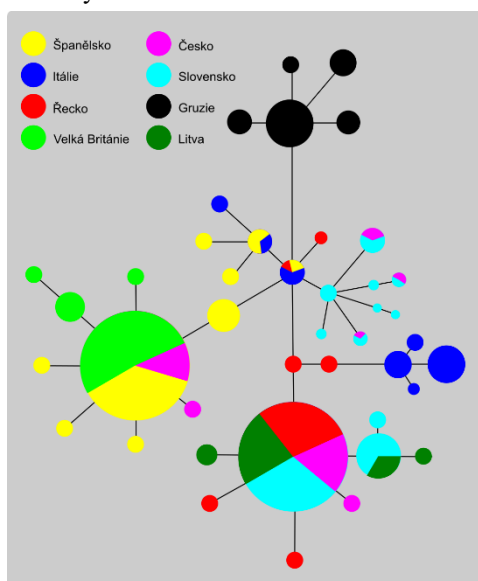
1. Obrovský kontinentální ledovec v posledním glaciálním maximu tedy doputoval ze Skandinávie až do střední Evropy na 52. rovnoběžku. Ve Skandinávii, na 65. rovnoběžce, byl ledovec tlustý až tři kilometry. Jak tlustý ledovec mohl být třeba v místech v okolí 65° s. š. a 2° z. d.? A nebo v místech okolo souřadnic 65° s.š. a 75° v.d.? Případné odlišnosti mezi tloušťkami podrobně zdůvodněte.
2. Poutání obrovské vodní masy v ledovcích mělo taktéž za následek pokles hladiny oceánů o zhruba 100 metrů, což vedlo k vynoření šelfových částí oceánu a mnoho dnes izolovaných ostrovů bylo propojeno s pevninou. To umožnilo snadnou migraci organismů na území, která jsou dnes ostrovy. Uveďte příklad nějakého druhu, který se v poslední době ledové rozšířil na území, které je dnes odděleno mořem. Kudy migrace probíhala?

#### *Klima doby ledové*

Jak ale vypadala krajina doby ledové ve střední Evropě? Přestože průměrná teplota byla tehdy o několik stupňů nižší, neznamená to, že by zde byla naprostá ledová pustina. Drsnější byly především zimy, ale v létě byl hlavním faktorem, který ovlivňoval naši přírodu, **nižší úhrn srážek**. Protože bylo celkově chladněji, byl i nižší výpar vody z oceánu a tudíž celkově méně přišlo. Takže dobu ledovou si musíme představit jako období **chladnější**, ale především výrazně **sušší**. V letním období pak mohl chlad působit nárazově, když k nám vanul vzduch ze severského ledovce, který končil nedaleko za našimi hranicemi. Kombinace těchto faktorů je nepříznivá zejména pro rozvoj stromové vegetace a proto se uvažuje, že u nás bylo převážně **bezlesí**, což je potvrzeno i nálezy fosilního pylu z rašelinišť.

Lesní a teplomilná společenstva tedy v době ledové musela střední Evropu opustit a stáhnout se do glaciálních **refugií**, jejichž existenci předpokládáme na **Balkáně**, **Apeninském** a **Pyrenejském** poloostrově. Tehdy i zde bylo chladněji a místo mediterránního klimatu zde bylo klima bližší našemu. Vyšší vlhkost daná Středozezemním mořem v kombinaci se členitým reliéfem zde zajistily dostatečnou pestrost biotopů, která umožnila přežití většiny Evropských druhů.

3. Po skončení doby ledové probíhal opačný proces, postupná rekolonizace Evropy druhy z refugií. Historické události můžeme výtečně rekonstruovat genetickými metodami, když porovnáváme genetickou příbuznost populací napříč Evropou. Porovnáváním sekvencí určitého úseku DNA můžeme genetickou variabilitu v rámci areálu rozdělit do haplotypů. Haplotyp je jedna varianta sekvence určitého genu či třeba celé mitochondriální DNA. Když se v sekvenci objeví nějaká mutace, vzniká nový haplotyp. Pokud používáme geny mitochondriální, chloroplastové či ty, co jsou na chromosomu Y, nalezneme v každém jedinci jen jeden haplotyp (uvedené geny se dědí buď jen od matky, nebo od otce) a tudíž genetická vzdálenost daná počty mutací mezi haplotypy odpovídá i pořadí oddělování konkrétních mateřských či otcovských linií, z čehož můžeme odvozovat, kdy se od sebe různé populace odštěpily. Na obr. 3 vidíte haplotypovou síť rostliny *Bioslavia biophila*, která se do Evropy dostala před několika sty tisíci lety z Kavkazu. Bioslav vzorkoval populace po celé Evropě a na každé lokalitě odebral vzorky z většího množství jedinců a u všech sekvenoval konkrétní úsek DNA. Každé kolečko diagramu reprezentuje odlišnou sekvenci (haplotyp), čárami jsou spojeny ty nejpodobnější a délka mezi nimi reprezentuje počet mutací. Velikost koleček odpovídá počtu jedinců, u kterých byl daný haplotyp nalezen a zároveň je vyznačena i proporce jeho zastoupení na různých lokalitách. Pokuste se odvodit, jak probíhal vývoj evropské populace tohoto druhu. Zejména se pokuste zjistit, kde byla glaciální refugia tohoto druhu a jakým způsobem rekolonizoval Evropu po skončení doby ledové. Druh nemá žádné výraznější přizpůsobení pro dálkový transport semen a je opylován hmyzem.

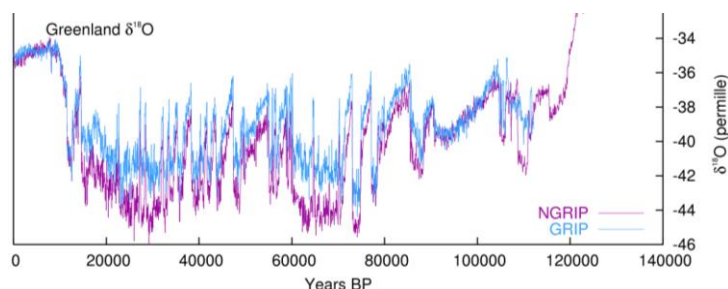


Obr. 3: Haplotypová síť rostliny *Bioslavia biophila*.

4. Občas se stává, že se haplotypové sítě odvozené na základě mtDNA či genů z chromosomu Y odlišují. Jak je to možné a co to vypovídá o daném druhu?

*Jak vypadala naše příroda v glaciálu?*

Naše klima bylo tedy sušší s výraznými mrazy. To vedlo k tomu, že **exponovaná místa**, jako třeba kopce a skály, nebyly pokryty vegetací a díky silným větrům, které vyrovnávaly velké letní teplotní rozdíly mezi ledovci a nezaledněnými plochami, docházelo k extrémní **větrné erozi**. Prach z obrušujících se útesů se poté usazoval v níže položených pánvích v Polabí či na Moravě a vytvářel eolické (tedy větrné) sedimenty, známé jako **spraše**, které vytvářejí až mnohametrové vrstvy. Díky tomu, že spraš pochází ze surové horniny a je velmi jemná, je skvělým zdrojem **minerálních látek**. Ty se v době ledové navíc ze sprašových vrstev **nevypalchovaly**, protože bylo méně srážek. Kombinací chladu, sucha a dostatku živin se rozvíjelo společenstvo **sprašové stepi**, které dnes v Evropě nenalezneme. Tento biotop byl diametrálně odlišný od dnešní **severské tundry**, která se vyznačuje poměrně vysokou **vlhkostí** (léto na severu je totiž výrazně chladnější než to naše v době ledové a proto je v tundře minimální odpar), což vede k **vypalchování** minerálních kationtů ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) a postupnému **okyselování** půdy. Půda sprašové stepi byla naproti tomu **zásaditá**. Spíše než mechy zde proto dominovaly traviny a byliny, jako třeba merlíky, pelyněk či chrpa, tedy takové, které dnes nalezneme spíše na opuštěném poli, než v tundře.



Obr. 4: Průběh poslední doby ledové. Svísá osa odpovídá teplotě, na vodorovné ose jsou roky (BP = before present).

Na obr. 4 je z grafu teploty (respektive na teplotě závislém poměru izotopů kyslíku v grónském ledovci) zřejmé, že poslední doba ledová začala zhruba před 100 tisíci lety a svého maxima – nejchladnějších teplot – dosáhla asi před 30 tisíci lety. V této době vrcholila také akumulace spraše. I v rámci doby ledové byla však řada epoch teplejších. Během nich se na bohatých sprašových sedimentech začala vytvářet bohatší společenstva, v půdě se hromadil **humus** a vznikaly **černozemní** půdy, pro něž je charakteristické zachování minerálních látek ve svrchním horizontu. Poté, co se znovu **ochladilo**, byly černozemě opět **převáty** sprašemi a v geologickém profilu tak máme doklad o teplých obdobích ve formě tmavých pruhů ve světlejších vrstvách surové spraše. Z období dočasného zmírnění doby ledové pocházejí i naše nejproslulejší pravěké nálezy „lovců mamutů“ z Věstonic. Jsou staré 20–30 tisíc let, kdy rozvinutá sprašová step poskytovala dostatek obživy pro obří **mamuty**.



koexistovaly vedle sebe, aniž by se negativně ovlivňovaly? Je plno otevřených otázek, které možná zodpoví budoucí objevy...

S akumulací našeho poznání se mění také pohled na vývoj přírody. Původní hypotézy vykreslovaly glaciál jako drsnou dobu, kdy teplomilnější vegetace **kompletně** ustoupila na jih, holocén naopak jako období se **souvislým** zalesněním naší krajiny. Dnes se toto pojetí výrazně relativizuje, protože se nacházejí doklady, že teplomilnější druhy (včetně stromů) mohly i v glaciálech přežívat v chráněných horských údolích, například v Karpatech. I naše glaciální krajina ale nebyla zřejmě čistě bezlesá, ale měla spíše **parkový charakter** s mozaikou otevřených prostor, křovin i skupin větších stromů. Podobné krajiny nalézáme dnes ve střední Asii, například v předhůří Altaje na obr. 7. Je zde sušší kontinentální klima a drsné zimy, přesto je v krajině velká pestrost různých biotopů a izolované lesní celky nalezneme třeba v údolích řek či na závětrných místech.



Obr. 7: Krajina ve střední Asii může být analogií k naší době ledové.

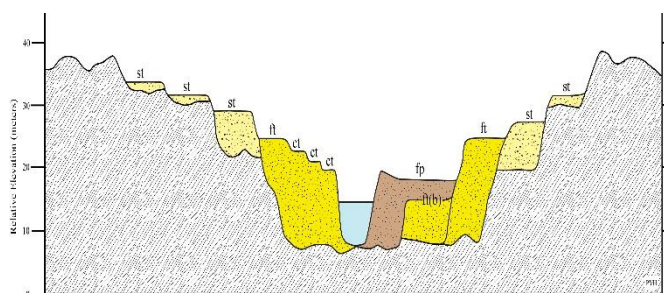
Podobně „černobílá“ nebyla ani krajina v době poledové. Novodobé teorie zahrnují kromě klimatu i vliv velkých býložravců (pratur, divoký kůň, zubr), kteří mohli i v krajině s velkým potenciálem lesní vegetace udržovat mozaiku nelesních ploch. A i samotný přirozený prales je mnohem světlejší, než jsou dnešní kulturní lesy. V pralese dochází k významnému rozrůznění stromového patra na solitérní velmi staré stromy, které zástinem, odebráním vlhkosti i mechanicky (opadem větví) ve svém okolí brání růstu semenáčků. Po pádu stromu se vytvoří poměrně velké bezlesí, které se postupně zapojuje křovinami. Dokonce pro nejsušší části našeho území (Poohří) se předpokládá, že rozsáhlejší relikty glaciální stepi vydržely až do nástupu zemědělství. Řešení „lesní“ či „stepní“ otázky patří k nejdůležitějším problémům soudobé paleoekologie.

7. I v dnešní krajině je mnoho býložravců – srnců a jelenů, a ti jsou dnes dokonce přemnožení. Čím se způsob jejich pasivy liší od velkých býložravců a proč nedokážou vytvářet či udržovat plochy bezlesí?

#### Proměny sedimentačních poměrů v krajině

Kromě ukládání spraší a přímých dokladů o činnosti ledovců nám o situaci v dobách ledových a meziledových vypovídají systémy **říčních teras**. Ty nalezneme podél skoro každé řeky v mírném pásmu. Představte si krajinu **doby ledové**: horské oblasti jsou bez lesa, mrazem se zde rozpadá suť, v nejvyšších polohách reliéf dokonce erodují ledovce a v nížinách se ukládá spraš, jejíž vegetační kryt je poměrně řídký. Když přijde dešť,

dochází k obrovské erozi, řeky s proměnlivým průtokem jsou kalné a v podhorských oblastech, kde se jejich tok zpomaluje, řeky **ukládají** obrovská kvanta materiálu. Pak se změní klima. Nastane **doba meziledová**, ustane mrazová eroze, krajina se zalesní a přestanou se ukládat sprašové sedimenty. Celoplošná eroze v krajině je **minimální**, řeky jsou průzračné a velice vodnaté, protože častěji prší. Nejvýznamnější eroze probíhá tedy přímo podél vlastního toku řek. Ty se postupně svými meandry **zařezávají** do usazenin z doby ledové a **odnášejí** je do moře. Zpravidla je eroze tak silná, že se řeky zahlubí až pod úroveň, na které tekly před začátkem předchozí doby ledové a zařiznou se až do podloží, čímž se stále prohlubuje dno údolí. Postupným prohlubováním údolí se tok řeky zrychluje a méně meandruje, proto zpravidla nedojde vždy ke zcela kompletnímu odnosu sedimentů z doby ledové, nýbrž spíše jen k jeho proříznutí v užším pásmu. Tento proces probíhá cyklicky stovky tisíc let, až se vytvoří systém **teras** (obr. 8), kde každá plošina odpovídá dnu údolí na konci jedné doby ledové.



Obr. 8: Typický profil říčních teras.

8. Nyní vrcholí doba meziledová, nicméně například v Polabí se archeologové k některým sídlištím lidí z období neolitu musí prokopávat silnou vrstvou zeminy, často i několik metrů pod úroveň současné hladiny řeky. Podrobně zdůvodněte, je-li to v souladu s výše popsaným schématem.

#### Změny klimatu v jiných k zeměpisných pásmech

Výrazná změna biotů nepostihla pouze oblasti mírného klimatického pásu, kam se rozšiřoval ledovec. Možná ještě mnohem dramatičtější proměny zaznamenaly **tropické oblasti**. Díky globálně suššímu klimatu se výrazně omezil rozsah tropických deštných lesů a i zde existovala omezená **refugia** trvale vlhkého deštného lesa. Významné změny klimatu postihovaly i **aridní** biotopy, například v Africe, kde se dnes rozkládá Sahara. Ta byla v době glaciálního maxima ještě **sušší** než dnes, ale naopak od konce doby ledové, s vrcholem v období Atlantiku, byla Sahara zelenou **savanou** s mnoha jezery. K rozsáhlé **aridizaci** Sahary i Arábie došlo po roce 3000 př. n. l. v důsledku klimatických změn. Podle nových hypotéz byla jedním z klíčových faktorů finální **desertifikace** (přeměny v poušť) i poměrně intenzivní **pastva**, neboť Sahara byla velice hustě osídlena lidmi.

9. Dohleďte, kde se nacházela refugia amazonských tropických pralesů v době ledové. Čím se tyto oblasti vyznačují v dnešní době? Na základě tohoto rysu se usuzuje, že se v těchto místech nacházela refugia, nicméně jejich prokázání není zdaleka tak podrobné, jako u těch evropských, takže se možná názory ještě v budoucnu budou měnit.

