

# ORIENTAČNÍ BĚH NAPŘÍČ SKUPINAMI ORGANISMŮ – VÝUKOVÝ BLOK O SESTAVOVÁNÍ A ČTENÍ EVOLUČNÍCH STROMŮ

OPEN ACCESS



## Navigating among Animals and Plants—Educational Activities on Construction and Reading of Evolutionary Trees

KLÁRA KOUPILOVÁ, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra  
botaniky, [koupilova.klara@gmail.com](mailto:koupilova.klara@gmail.com)

### ABSTRACT

*Evolutionary trees are among the most useful tools in biology, therefore, students should be taught how to correctly interpret them. Using tree-like diagrams to depict relationships among organisms is easily understandable, but students often struggle with interpretations of particular graphical forms of trees. Based on my literature review of the most common problems, I prepared a series of educational activities for Czech upper secondary school students. The series introduces basic principles of construction and interpretation of evolutionary trees and also addresses common mistakes.*

*To prepare the educational series, I reviewed practical activities focused on evolution that have already been published, but that are designed for older students (usually for biology majors) and written in English. Therefore, I adapted and simplified suitable activities for my target group of students. Specifically, I prepared several practical activities and included them in an educational series of 4 × 45 minutes. If needed, most of the activities can also be used separately or the series can be reduced to its first half. The activities are designed with an emphasis on the active role of students who will work with different sources of information, try to construct their own evolutionary trees and interpret existing ones. I tested the series at an upper secondary school and it proved to be easily applicable, effective and appealing, based on feedback from the students.*

## Klíčová slova

*evoluční strom, kladogram, evoluce, klasifikace, střední škola*

## Keywords

*evolutionary tree, cladogram, evolution, classification, upper secondary school*

## ÚVOD

Evoluční tematika pomáhá propojovat dílčí poznatky ve výuce biologie a poskytuje organizační rámec pro znalosti o biologické diverzitě (Baum & Offner, 2008; Offner, 2001). Naneštěstí právě téma evoluce bývá ve výuce pojato pouze jako soupis evolučních teorií (např. Lamarck vs. Darwin) a dále je převážně zaměřeno na mikroevoluční procesy jako přírodní výběr, zatímco opomíjí makroevoluční procesy jako vznikání a zanikání druhů, rozvětňování evolučních linií apod. (Catley, 2006; Meir, Perry, Herron & Kingsolver, 2007). Takovým přístupem přicházíme o možnost efektivního využití evolučního rámce při výuce o jednotlivých druzích. Evoluční organizační rámec si můžeme představit jako stromové schéma, vystopovatelné zpět až k Darwinově knize *O původu druhů* (1859) s metaforou stromu života, na kterém se ze společných předků postupně odvětvují jednotlivé druhy jako stále menší a menší větvičky z původního kmene. Schopnost uvažovat o evoluci pomocí stromových schémat se v anglické literatuře označuje jako „tree-thinking“ („stromové myšlení“) a je považováno za klíčovou dovednost pro orientaci v biologii (Baum, Smith, & Donovan, 2005; Baum & Offner, 2008).

Důležitým příkladem stromových schémat jsou evoluční stromy (fylogenetické stromy, kladogramy apod.), které zobrazují hypotézy o evolučních vztazích mezi organismy. Správná interpretace evolučních stromů je podstatná nejen pro odborníky a studenty v biologických oborech (O'Hara, 1997; Catley & Novick, 2008), ale i pro širší veřej-

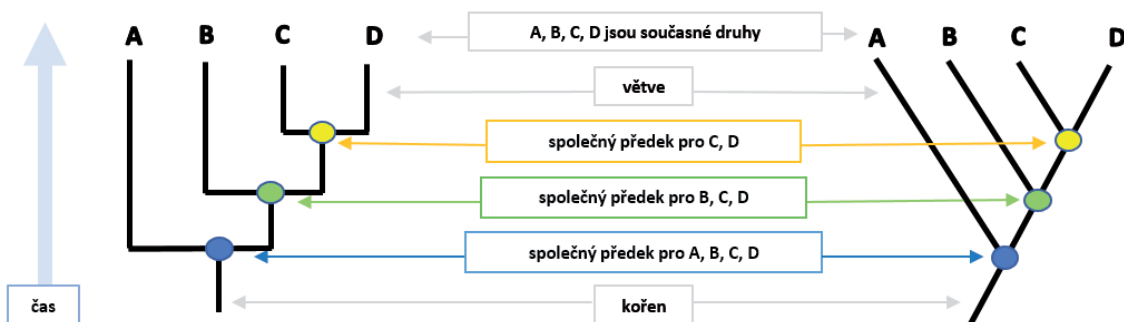
nost, protože se evoluční stromy čím dál tím častěji objevují v popularizačních knihách (např. Dawkins, 2004) nebo v přírodovědných muzeích a zoologických zahradách (MacDonald & Wiley, 2012). Bohužel se ukazuje, že správné chápání evolučních stromů nelze považovat za samozřejmost, jelikož středoškolští žáci i vysokoškolští studenti mají s jejich čtením nemalé problémy (Catley, Phillips, & Novick, 2013; Halverson, 2011; Kummer, Whipple & Jensen, 2016; Meir, Perry, Herron & Kingsolver, 2007).

Na první pohled nemusí být zřejmé, čím může být interpretace evolučních stromů náročná. Základní myšlenka evolučního stromu, tj. zobrazení vztahů mezi organismy pomocí rozvětňující se struktury, je jednoduše pochopitelná, ale konkrétní grafické zobrazení může představovat značnou komplikaci (Novick & Catley, 2007; Novick, Catley, & Funk, 2010; Novick, Shade, & Catley, 2011; Novick, Stull, & Catley, 2012). Jedním z častých problémů je nepochopení skutečnosti, že větve stromu lze v uzlech otočit, aniž by se změnila informace obsažená v hierarchii odvětvování, která je potřebná pro určení příbuznosti zobrazených organismů (Dees, Momsen, Niemi & Montplaisir, 2014; Kummer, Whipple & Jensen, 2016; Meir, Perry, Herron & Kingsolver, 2007; Novick & Catley, 2013). Další chyb se studenti dopouští kvůli teleologickému uvažování, tedy představě, že evoluce má určitý cíl, ke kterému všechny druhy směřují (Sandvik, 2008; Kummer, Whipple & Jensen, 2016). Toto uvažování může být dále zvýrazněno použitím grafiky stromů s jednou výrazně dominantní větví směřující k dru-

hu, který je obecně vnímaný jako „dokonalejší“ (typicky člověk mezi lidoopy) (Novick & Catley, 2007).

Na základě prostudování nejčastějších problémů, se kterými se žáci a studenti potýkají při čtení evolučních stromů, jsem vytvořila ucelený výukový blok pro středoškolské žáky českých škol, který jednak představuje obecné principy konstrukce a čtení evolučních stromů, a jednak cíleně předchází častým omylům. Při přípravě materiálů jsem se inspirovala širokým spektrem praktických cvičení publikovaných v zahraniční literatuře, která jsou

ovšem určená převážně pro vysokoškolské studenty biologických oborů, proto bylo potřeba úlohu adaptovat a zjednodušit pro zvolenou cílovou skupinu. V konkrétní rovině se jedná o sérii praktických cvičení, která tvoří výukový blok v délce 4 × 45 minut. Většinu cvičení lze podle potřeby využít také samostatně nebo lze rozsah bloku omezit na jeho první polovinu. Důraz je kladen na aktivní zapojení žáků, kteří si během bloku sami vyzkouší práci s různými zdroji informací, vlastní konstrukci jednoduchých evolučních stromů a interpretaci předložených existujících stromů.



Obr. 1 Dvě nejčastější formy evolučního stromu s popiskami jednotlivých prvků. Současné druhy jsou umístěny na koncích větví, zatímco poslední společní předci jsou v uzlových bodech. Strom s hranatými větvemi („bracket“, vlevo) je významově shodný s diagonálním stromem s vidličnatými větvemi („ladder“, vpravo). Zdroj: autorka.

## TEORETICKÁ VÝCHODISKA

### Evoluční stromy

Evoluční stromy<sup>1</sup> jsou rozvětřující se stromové diagramy, které ilustrují vědecké hypotézy o evolučních vztazích mezi organismy (Brower, 2015).

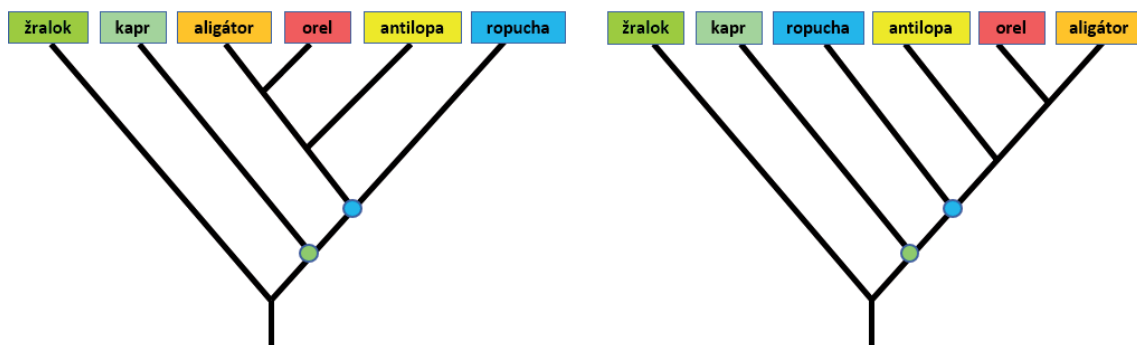
<sup>1</sup> Ve výukovém bloku používám obecné označení evoluční strom, namísto přesnějších termínů fylogenetický strom nebo kladogram. Označení jsem zvolila proto, aby bylo možné blok použít i pro mladší žáky a nezatěžovat je odbornými termíny. Navíc použití těchto termínů není v literatuře jednotné, viz diskuze Brower (2015).

Evoluční stromy lze zakreslit různým způsobem, jednotlivé nákresy se ovšem skládají ze stejných prvků (Obr. 1). Na koncových větvích se nacházejí současné druhy nebo jiné taxonomické jednotky. Místa rozvětřování, tj. uzly, reprezentují posledního společného předka linií, které se z něho vyvinuly a nachází se tedy za rozvětřením. Čas plyne od kořene ke koncovým větvím, tj. dole jsou předci a nahoře současné druhy. Na větvích stromů mohou také být zapsané znaky, které charakterizují druhy či skupiny druhů. V ideálním případě by se mělo

jednat právě o znaky, na jejichž základě byla sestavena daná hypotéza o vztazích v rámci zkoumané skupiny druhů.

Abychom z evolučního stromu vyčetli příbuznost mezi konkrétními druhy, potřebujeme určit jejich posledního společného předka. Druhy jsou si tím příbuznější, čím pozdějšího (recentnějšího) posledního společného předka mají. Při čtení

evolučních stromů je tedy potřeba soustředit se na relativní pořadí rozvětvení větví stromu a najít nejrecentnější uzel, který vede k vybraným druhům, jejichž příbuznost nás zajímá. To znamená, že pořadí rozvětvení nese klíčovou informaci, ale grafická forma stromu může snadno vést k mylné interpretaci, pokud čtenář čte pouze konce větví bez respektování vnitřní struktury stromu (Obr. 2) (Baum, Smith & Donovan, 2005).



Obr. 2 Dva evoluční stromy, které zachovávají stejný význam, ale vizuálně se liší kvůli protočení větví v uzlech. Tyto stromy demonstrují interpretační chybu „reading the tips“, tj. čtení konců větví bez respektování vnitřní struktury stromu. Chybu lze snadno objevit na základě otázky: Kterému druhu je aligátor příbuznější, kaprovi nebo ropuše? Prostorová blízkost popisku kapra a aligátora na levém stromu snadno vede k chybné interpretaci, zatímco jejich vzdálenost na pravém stromu by k tomuto závěru nevedla. Doplněná (v elektronické verzi v barvě modré a zelené) kolečka poukazují na pozici posledních společných předků, a tedy na správnou interpretaci, že aligátor je příbuznější ropuše. Zdroj: autorka.

## Nejčastější problémy při interpretaci evolučních stromů

Chyby při interpretaci evolučních stromů lze rámcově rozdělit do dvou skupin: první se týká percepčních chyb souvisejících s vnímáním grafické formy, druhá obsahuje chyby odvozené z hlubšího neporozumění evolučním principům (Kummer, Whipple & Jensen, 2016).

Z percepčních chyb (Tab. 1) se žáci nejčastěji potýkají se špatným určením příbuznosti druhů na základě blízkosti či vzdálenosti popisků na nákrese, ale bez respektování pořadí rozvětvení. Chyba se v literatuře označuje jako „reading the tips“ a je častá především u mladších studentů (Obr. 2) (např. Meir, Perry, Herron & Kingsolver, 2007; Kummer, Whipple & Jensen, 2016). Druhá častá chyba se projevuje při čtení diagonálního stromu s jednou výraznou větví (Obr. 1, vpravo), což vede k mylné představě, že například druh na jejím

konci se nemění nebo je předkem odvětvujících se druhů apod. (Meir, Perry, Herron & Kingsolver, 2007). Tato chyba je někdy vysvětlována jako vliv gestalt principů (gestalt psychologie), kvůli kterým vnímáme souvislou linii jako jedinou entitu (Novick & Catley, 2007). Mezi chyby percepčního charakteru patří také nesprávné čtení času, tj. nepocho-

pení orientace stromu či pozice jeho kořene (Meir, Perry, Herron & Kingsolver, 2007). Dále dochází také k nepochopení významu jednotlivých prvků stromu, např. když je jeden současný druh považován za předka jiného současného druhu, „contemporary descent“ (Meir, Perry, Herron & Kingsolver, 2007; Dees, Momsen, Niemi & Montplaisir, 2014).

Tab. 1 Percepční chyby související s grafickou formou stromu. Reference jsou pouze příkladové, nepředstavují vyčerpávající seznam.

Pojmenování chyby v literatuře	Popis chyby	Příklady studií
<i>reading the tips; tip proximity; spatial proximity</i>	čtení konců větví („tips“) bez respektování vnitřní struktury stromu; na základě vnímané blízkosti popisků je usuzováno na příbuznost	(Meir, Perry, Herron & Kingsolver, 2007; Halverson, 2011; Novick & Catley, 2013; Dees, Momsen, Niemi & Montplaisir, 2014; Kummer, Whipple & Jensen, 2016)
<i>node counting</i>	počet uzlů mezi druhy určuje stupeň příbuznosti	(Meir, Perry, Herron & Kingsolver, 2007; Halverson, 2011; Novick & Catley, 2013; Dees, Momsen, Niemi & Montplaisir, 2014; Kummer, Whipple & Jensen, 2016)
<i>branch length</i>	délka větví spojující druhy určuje stupeň příbuznosti	(Halverson, 2011; Kummer, Whipple & Jensen, 2016)
<i>counting synapomorphies</i>	počet sdílených odvozených znaků (synapomorfí) určuje stupeň příbuznosti	(Dees, Momsen, Niemi & Montplaisir, 2014)
<i>good continuation; straight line equals no change;</i>	zdánlivě dominantní větev má odlišný význam, např. druh na jejím konci se nemění nebo je předkem odvětvujících se druhů apod.	(Meir, Perry, Herron, & Kingsolver, 2007; Halverson, 2011; Novick & Catley, 2013)
<i>incorrect mapping of time</i>	nesprávné čtení času, např. záměna vertikálního a horizontálního rozměru	(Meir, Perry, Herron, & Kingsolver, 2007)
<i>contemporary descent</i>	jeden současný druh je považován za předka jiného současného druhu	(Meir, Perry, Herron & Kingsolver, 2007; Dees, Momsen, Niemi & Montplaisir, 2014)

Tab. 2 Chyby související s hlubším nepochopením evolučních principů. Reference jsou pouze příkladové, nepředstavují vyčerpávající seznam.

Pojmenování chyby v literatuře	Popis chyby	Příklady studií
<i>ladder thinking</i>	teleologický přístup k evoluci, např. představa, že druh „výše“ na stromu je pokročilejší, případně že některé druhy jsou primitivní a jiné odvozené	(Kummer, Whipple & Jensen, 2016)
<i>similarity equals relatedness</i>	příbuznost je odvozovaná na základě vnější podobnosti druhů; tato chyba je často spojená s následující	(Kummer, Whipple & Jensen, 2016)
<i>prior knowledge; external insights</i>	předchozí znalosti o konkrétních druzích nebo představy o jejich evoluci převáží nad informací obsaženou na evolučním stromě	(Halverson, 2011; Novick & Catley, 2013; Dees, Momsen, Niemi & Montplaisir, 2014)

Nejčastější chybou, která vychází z nepochopení samotných evolučních principů (Tab. 2), je teleologický přístup k evoluci, tj. představa, že evoluce druhů směřuje k nějakému určitému cíli a druhy postupně „šplhají“ nahoru, „ladder thinking“ (Kummer, Whipple & Jensen, 2016). Studenti pak mají tendenci popisovat některé druhy jako primitivní a jiné jako pokročilé na základě počtu nahromaděných nových znaků, případně na základě pozice na stromu vlevo vs. vpravo, protože čtení zleva doprava evokuje větší pokročilost druhů vpravo (Baum, Smith & Donovan, 2005; Baum & Offner, 2008). Uvažování v lineárních řadách od primitivních k pokročilým druhům (např. mech, kapradina, jinan, dub) je pro studenty snazší než pochopení skutečnosti, že např. evoluční linie mechu a dubu se od bodu divergence vyvíjely stejnou dobu, prošly tedy stejným „množstvím“ evoluce, i přestože mechy morfologicky stále více připomínají předpokládaného společného předka s duby (Omland, Cook & Crisp, 2008).

Středoškolští žáci (Catley, Phillips & Novick, 2013) mají tendenci dělat velmi podobné chyby jako vysokoškolští studenti (Novick & Catley, 2013). Středoškolští žáci pouze častěji používají argumentaci založenou na vnější podobnosti druhů (například ještěrka a krokodýl vs. pták) nebo předchozích znalostech o daných druzích a ignorují informace zobrazené na evolučních stromech (Catley, Phillips & Novick, 2013). Tyto výsledky poukazují na poměrně rozšířené nepochopení významu sdílené evoluční historie druhů a na potřebu seznámit žáky s evolučními stromy jakožto relevantním zdrojem informací. Pedagogové mají v zásadě dvě výukové možnosti, kterými žákům problematiku přiblížit: žáci mohou analyzovat již existující strom, nebo mohou konstruovat vlastní strom na základě předložených informací. Pochopení evolučních stromů se zlepšuje výrazně více během aktivní konstrukce stromů než během jejich analyzování (Eddy,

Crowe, Wenderoth & Freeman, 2013), zřejmě díky tomu, že jsou žáci nuceni uvažovat o významu jednotlivých prvků stromu z evolučního hlediska a nepovažují evoluční stromy za abstraktní diagramy (Baum & Offner, 2008).

## NAVRŽENÝ VÝUKOVÝ BLOK

### Celková charakteristika výukového bloku

Čtyřhodinový výukový blok o evolučních vztazích mezi organismy se skládá z dílčích úloh, které na sebe volně navazují. Důraz je kladen na aktivní zapojení žáků, kteří si vyzkouší vědecké metody (v přiměřeně zjednodušeném provedení) a seznámí se s grafickým zobrazením evolučních vztahů, tj. s evolučními stromy. Ideálním provedením je výuka ve dvou 90minutových vyučovacích (dohromady první a druhá jednotka, pak dohromady třetí a čtvrtá jednotka), případně lze blok vyučovat i po jednotlivých 45minutových jednotkách.

Cílovou skupinou jsou žáci středních škol libovolného ročníku. Pro tento blok nejsou potřeba konkrétní předchozí znalosti či dovednosti k tématu evoluce, nejedná se ovšem o první úvod do evoluce, a proto blok předpokládá alespoň základní povědomí o tom, že organismy se vyvíjí, druhy se štepí a zanikají apod. V případě potřeby lze omezit rozsah bloku na jeho první polovinu, která je koncipovaná jako potenciálně samostatný celek a je vhodná i pro méně pokročilé žáky.

Po většinu času budou žáci pracovat ve skupinách po dvou až čtyřech žácích, pouze v závěrečné části budou pracovat samostatně. Důležitou částí bloku je prezentování a „obhajování“ řešení úloh, které si skupiny zvolí, proto je z časových důvodů vhodné pracovat nanejvýš se sedmi až osmi skupi-

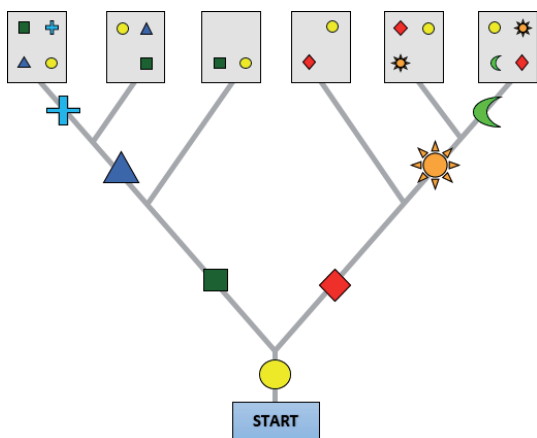
nami (v praxi tedy například rozdělit žáky na dvojice v půlených třídách a na čtveřice ve třídách nad dvacet žáků).

## Popis jednotlivých částí

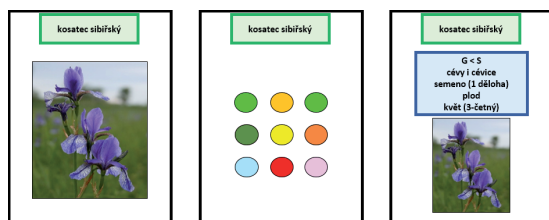
První výuková jednotka je inspirovaná aktivitou „Great Clade Race“ („Velký závod kládů“) (Goldsmith, 2003) a je zaměřena jako aktivizační a měla by probudit zájem žáků o celý blok. Principem je přirovnání evoluční historie k orientačnímu běhu, během kterého závodníci probíhají kontrolními stanicemi, kde získají otisk razítka s abstraktním symbolem. Různí závodníci volí různou trasu a nabírají tedy různou kombinaci razítek. Na základě jejich záznamových karet s razítka lze rekonstruovat, jakou trasou proběhli, a dokonce podle několika zadaných pravidel rekonstruovat i celou mapu orientačního závodu (Obr. 3). Následně lze závod-

níky roztrždit do skupin podle toho, která razítka mají společná, tj. kterými stanicemi prošli. V analogii s evolucí pak stanice a razítka představují znaky organismů získané během jejich evoluční historie. Podle sdílených znaků, respektive podle sdílené trasy evolučního „běhu“, lze vytvořit přirozenou klasifikaci a zakreslit evoluční historii na stromové schéma.

Druhá výuková jednotka začíná kratším úkolem, který má za cíl převést žáky od analogie závodníků k reálným organismům a jejich evoluci. Zde se pracuje s kartami živočichů, na kterých jsou sepsané jejich významné evoluční znaky. Žáci mají za úkol rekonstruovat evoluční strom živočichů (Obr. 2) podle karet se znaky, resp. podle souhrnné tabulky, kam jsou znaky přepsané. Úloha je volně odvozená z příkladového cvičení v on-line učebnici Principles of Biology (Bear et al., 2016). V průběhu je zdůrazňována analogie



Obr. 3 Úvodní úloha bloku, adaptovaná podle „Great Clade Race“. Šest karet závodníků umístěných na rekonstruované mapě celého orientačního závodu. Barevné symboly na mapě vyznačují kontrolní stanice, kde závodníci získávají razítko příslušného symbolu na své karty. Zdroj: autorka.



Obr. 4 Karty inspirované úlohou „Botanical Phylo-Cards“. Žáci nejprve pracují jenom s fotografiemi rostlin, následně se schematizovanou ilustrací molekulárních dat (barevná kolečka) a v posledním kroku také s anatomickými a fyziologickými znaky rostlin. Zkratky: G = gametofyt, S = sporofyt. Zdroj fotografie: Asio otus, CC BY-SA 3.0, [cit. 20. 11. 2018]. Dostupné z <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1003629>; následně vytvoření karet: autorka.

mezi abstraktními znaky na kartách závodníků a anatomickými či jinými znaky, z nichž lze vyčíst evoluční historii živočichů. Závěr této vyučovací jednotky pak žákům demonstruje, jak vypadají skutečné evoluční stromy zpracované vědci a jak z nich zpětně odvodíme potřebné informace.

Třetí vyučovací jednotka je inspirovaná komplexní aktivitou „Botanical Phylo-Cards“ (Gibson & Cooper, 2017) a jejím cílem je porovnat různé zdroje informací, které lze použít při rekonstruování evolučních vztahů. Žáci nejprve pracují s fotografiemi rostlin (vnější podobnost), následně se schematizovanou ilustrací molekulárních dat a v posledním kroku také s anatomickými a fyziologickými znaky rostlin (Obr. 4). Důležitým bodem úlohy je porovnat, které znaky nesou důležitou evoluční informaci (např. relativně konzervativní typ cévních svazků nebo rozmnožování pomocí spor/semén/květu/plodu). Na závěr mají žáci za úkol zakreslit vztahy mezi vytvořenými skupinami rostlin ve formě evolučního stromu.

Čtvrtá vyučovací jednotka rekapituluje a dále rozvíjí téma interpretace evolučních stromů, které se již objevilo v druhé vyučovací jednotce. Nejvíce času je věnováno samostatné práci žáků, kteří si pomocí testových otázek („multiple choice“) vyzkouší své pochopení problematiky. Otázky ověřují, zda žáci na základě jednoduchých evolučních stromů identifikují posledního společného předka druhů, určí nejpříbuznější druhy a zhodnotí příbuznost skupin druhů, dále vyčtou znaky charakteristické pro vybrané druhy. Testové úlohy jsou inspirované výzkumem Kummer, Whipple & Jensen (2016) a Baum, Smith & Donovan (2005).

Podrobný popis průběhu vyučovacích jednotek je k nalezení v elektronických přílohách na webových stránkách časopisu <https://doi.org/10.14712/25337556.2020.1.2> (Příloha 1. Přípra-

vy pro pedagogy), stejně jako potřebné doprovodné materiály (Příloha 2. Prezentace, pracovní listy a karty), všechno v editovatelných formátech i v pdf k tisku.

## VYZKOUŠENÍ VÝUKOVÉHO BLOKU V PRAXI

Výukový blok jsem použila na semináři z biologie během své praxe na čtyřletém gymnáziu ve Středočeském kraji (21. a 28. března 2018). Tento seminář „Obecná biologie“ je volitelný pro žáky třetího ročníku, probíhá v rozsahu 90 minut za týden a navštěvují ho žáci z různých paralelních tříd (3A, 3B, 3C, 7SPA). Blok proběhl ve dvou 90minutových seminářích, každého se zúčastnilo 10 žáků. Pro reflexi vyučování jsem použila krátký dotazník pro žáky, který se skládal ze dvou částí – subjektivního hodnocení vyučování a ověření získaných znalostí (Příloha 3. Dotazník pro žáky). Příloha 3 obsahuje kromě zadání dotazníku také přehled všech odpovědí žáků a ukázky sestavených evolučních stromů.

## ZHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ PRO JEDNOTLIVÉ ČÁSTI BLOKU

Na základě dotazníků i na základě samotného průběhu se první výuková jednotka osvědčila, žáky zaujala a splnila tedy svůj motivační cíl. V gymnaziální skupině žáků zároveň nebyl problém s převedením analogie (orientační běh, abstraktní symboly) do konkrétního biologického jevu (evoluční vztahy mezi organismy, společná historie, sdílené znaky), takže i obsahový cíl byl splněn. Nicméně někteří žáci se mohou zdráhat pracovat v hodině biologie s nebiologickými či fiktivními objekty, i když jejich používání má dlouhou tradici (Burns,



1968; Sokal, 1983; Byrd, 2000; Burks & Boles, 2007; Lampert & Mook, 2015) a případné zdráhání studentů je zpravidla lehce překonáno. Druhým místem možných problémů je závěrečná diskuze, kdy pedagog v případě potřeby může diskuzi více usměrňovat žádaným směrem od analogie k evoluci. Dalším problémem může být skutečnost, že ze zadání žáci odvodí pouze pořadí rozvětvo- vání cest, ale nemají žádnou informaci o strano- vé orientaci, tj. např. jestli je čtvercová kontrolní stanice napravo nebo nalevo od první křížovky. Na evolučních stromech je pravo-levá orientace irelevantní, a proto je vhodné například zdůraz- nit, že rekonstruujeme trasu závodníků, tj. pořadí kontrolních stanic a křížovek, spíše než reálnou prostorovou mapu závodu.

Pro úspěšnou realizaci druhé vyučovací jed- notky je výhodné, aby probíhala v těsném závěsu za úlohou s orientačním během, aby pedagog mohl průběžně připomínat vzájemnou podobnost. V této fázi výuky ještě nemají žáci jasnou představu, jak vypadá vědecký evoluční strom, proto lze očekávat různorodé formy nákre- su. Problematické jsou pou- ze nákre- sy, které inklinují k linearitě, protože se žáci více soustředí na akumulování znaků a nedokreslují linie druhů do stejné úrovně (jak by měli podle vzor- u cílové rovinky v orientačním běhu). Tento pro- blém se vyskytoval méně v pozdějších fázích bloku, takže lze předpokládat, že následující části dokážou tento problém vyřešit. Dále je potřeba kontrolovat zakreslení tří živočichů „výše“ na stromě (orel, ali- gátor, antilopa), které lze zakreslit s různě oriento- vanými větvemi (pouze grafický rozdíl se stejným významem), ale může zde také dojít k obsahové chybě (špatné pořadí rozvětvení).

Třetí vyučovací jednotka je podstatně nároč- nější než dvě předchozí. Tato část byla také hod- nocena mírně hůře než předchozí, což může být částečně dané použitím méně známých a méně

atraktivních rostlin (Strgar, 2007). Náročnost je daná také tím, že vyžaduje, aby žáci postupně upra- vovali hypotézy, které vytvářejí v dílčích úkolech na základě jednotlivých zdrojů dat. Formulování a úpravy hypotéz mohou být náročné především pro žáky, kteří nejsou zvyklí na badatelsky orien- tovanou výuku, která se ovšem při výuce evoluč- ních principů dobře osvědčuje (Perry et al., 2008; Novick & Catley, 2016). Použití molekulárních dat také představuje náročnější prvek, ale ukazuje se jako výhodné pro výuku – pro žáky bývá snazší přijmout „nesměrovanost“ vývoje molekulárních znaků, což omezí uvažování v termínech „primitivních“ a „odvozených“ druhů na základě snadno pozorovatelných vnějších znaků (Meisel, 2010).

Čtvrtá vyučovací jednotka upozorňuje na po- měrně široké spektrum percepčních i konceptuál- ních chyb, kterých by se žáci mohli při interpretaci dopouštět. Úspěšnost žáků dopadla podle očekávání, tj. větší problémy se vyskytovaly u obtížnějších otázek vyžadujících vyhodnocení vztahů (oproti jed- nodušší identifikaci prvků), stejně jako v jediném středoškolském výzkumu se srovnatelnou obtížností otázek (Catley, Phillips & Novick, 2013). Žáci také váhali nad relativně jednoduchou první otázkou, zřejmě kvůli její formulaci – část žáků podle svých vlastních slov považovala odpověď „žádná z před- chozích možností není správně“ za nouzové řeše- ní a raději volila pozitivně formulované odpovědi. Z organizačního hlediska doporučuji nepodcenit čas, který žáci potřebují na vyplnění testových úloh (zvláště mají-li vyplňovat také zdůvodnění svých rozhodnutí) i na společnou kontrolu odpovědí.

## ZÁVĚR

Ačkoli se evoluční stromy objevují stále častěji v odborných biologických publikacích i v popula- rizačních médiích (Novick & Catley, 2007; Catley

& Novick, 2008; MacDonald & Wiley, 2012), není jejich interpretace ani zdaleka jednoduchá a samozřejmá (Kummer, Whipple & Jensen, 2016). Navržený výukový blok poskytuje vhodnou příležitost, jak připravit žáky na interpretaci vědeckých výsledků na konkrétním příkladu evolučních stromů.

Výukový blok umožňuje žákům vyzkoušet si vlastní konstrukci evolučních stromů a následně také interpretaci existujících stromů. Při vyučování na gymnáziu se ukázalo, že výukový blok dobře předchází mnoha problémům spojeným s grafickou podobou stromů, např. čtení popisků na koncích větví zleva doprava bez respektování vnitřní struktury stromu (Kummer, Whipple & Jensen, 2016). Výukový blok také úspěšně demonstruje, na základě kterých zdrojů dat je vhodné posuzovat příbuznost druhů, tj. například potlačuje tendenci žáků řídit se vnější podobností druhů nebo předchozími znalostmi o daných druzích (Catley, Phillips & Novick, 2013). Relativně málo prostoru ve výukovém bloku je věnováno teleologickému myšlení,

kvůli kterému žáci často uvažují o určitých druzích jako o pokročilejších, nebo naopak primitivnějších (Sandvik, 2008; Kummer, Whipple & Jensen, 2016). Na toto téma by bylo vhodné navázat další výukou, jelikož přesahuje možnosti prezentovaného bloku.

Při testové výuce na gymnáziu bylo lépe hodnocené první 90minutové vyučování (první a druhá vyučovací jednotka), které můžu doporučit pro středoškolské žáky všech ročníků a všech zaměření. Druhé vyučování (třetí a čtvrtá vyučovací jednotka) je náročnější, protože se zaměřuje na méně známé a méně oblíbené rostliny, navíc používá i relativně abstraktní molekulární data. Proto bych tyto části doporučila především pro pokročilejší žáky. Efektivita výukového bloku se pochopitelně sníží, pokud se použije pouze jeho první polovina, ale i tak poskytne relevantní náhled do problematiky a zachová si motivační funkci.

### Prohlášení

Článek vychází ze závěrečné práce autorky (Koupilová, 2019), která byla obhájena na KUDBi PŘF UK v Praze 7. 2. 2019.

### Elektronické přílohy

<http://bichez.pedf.cuni.cz/archiv/article/91>

<https://doi.org/10.14712/25337556.2020.1.2>

Příloha 1. Přípravy pro pedagogy

Příloha 2. Prezentace, pracovní listy a karty

Příloha 3. Dotazník pro žáky

### Literatura

BAUM, D. A., & OFFNER, S. (2008). Phylogenies & tree-thinking. *The American Biology Teacher*, 70(4), 222–229.

<https://doi.org/10.2307/30163248>

BAUM, D. A., SMITH, S. D., & DONOVAN, S. S. (2005). The tree-thinking challenge. *Science*, 310(5750), 979–980.

<https://doi.org/10.1126/science.1117727>

BEAR, R., RINTOUL, D., SNYDER, B., SMITH-CALDAS, M., HERREN, C., & HORNE, E. (2016). *Principles of biology*. Kansas: New Prairie Press. Získáno z <https://newprairiepress.org/textbooks/1>

- BROWER, A. V. (2015). What is a cladogram and what is not? *Cladistics*, 32(5), 573–576. <https://doi.org/10.1111/cla.12144>
- BURKS, R. L., & BOLES, L. C. (2007). Evolution of the chocolate bar: a creative approach to teaching phylogenetic relationships within evolutionary biology. *The American Biology Teacher*, 69(4), 229–237. [https://doi.org/10.1662/0002-7685\(2007\)69\[229:EOTCBA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1662/0002-7685(2007)69[229:EOTCBA]2.0.CO;2)
- BURNS, J. M. (1968). A simple model illustrating problems of phylogeny and classification. *Systematic Biology*, 17(2), 170–173. <https://doi.org/10.1093/sysbio/17.2.170>
- BYRD, J. J. (2000). Teaching outside the (cereal) box. *The American Biology Teacher*, 62(7), 508–511. <https://doi.org/10.2307/4450959>
- CATLEY, K. M. (2006). Darwin's missing link - a novel paradigm for evolution education. *Science Education*, 90(5), 767–783. <https://doi.org/10.1002/sce.20152>
- CATLEY, K. M., & NOVICK, L. R. (2008). Seeing the wood for the trees: an analysis of evolutionary diagrams in biology textbooks. *BioScience*, 58(10), 976–987. <https://doi.org/10.1641/B581011>
- CATLEY, K. M., PHILLIPS, B. C., & NOVICK, L. R. (2013). Snakes and eels and dogs! Oh, my! Evaluating high school students' tree-thinking skills: an Entry point to understanding evolution. *Research in Science Education*, 43(6), 2327–2348. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9359-9>
- DARWIN, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.68064>
- DAWKINS, R. (2004). *The ancestor's tale: a pilgrimage to the dawn of evolution*. Boston: Houghton Mifflin.
- DEES, J., MOMSEN, J., NIEMI, J., & MONTPLAISIR, L. (2014). Student interpretations of phylogenetic trees in an introductory biology course. *CBE Life Sciences Education*, 13(4), 666–676. <https://doi.org/10.1187/cbe.14-01-0003>
- EDDY, S. L., CROWE, A. J., WENDEROTH, M., & FREEMAN, S. (2013). How should we teach tree-thinking? An experimental test of two hypotheses. *Evolution: Education and Outreach*, 6(13). <https://doi.org/10.1186/1936-6434-6-13>
- GIBSON, J. P., & COOPER, J. T. (2017). Botanical Phylo-Cards: a tree-thinking game to teach plant evolution. *The American Biology Teacher*, 79(3), 241–244. <https://doi.org/10.1525/abt.2017.79.3.241>
- GOLDSMITH, D. W. (2003). The Great Clade Race. *The American Biology Teacher*, 65(9), 679–682. [https://doi.org/10.1662/0002-7685\(2003\)065\[0679:TGCR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1662/0002-7685(2003)065[0679:TGCR]2.0.CO;2)
- HALVERSON, K. L. (2011). Improving tree-thinking one learnable skill at a time. *Evolution: Education and Outreach*, 4(1), 95–106. <https://doi.org/10.1007/s12052-010-0307-0>
- KOUPILOVÁ, K. (2019). Orientační běh napříč skupinami organismů – nový výukový blok o evolučních vztazích mezi organismy a jejich reprezentaci pomocí evolučních stromů (závěrečná práce ČŽV). Univerzita Karlova, Praha.
- KUMMER, T. A., WHIPPLE, C. J., & JENSEN, J. L. (2016). Prevalence and persistence of misconceptions in tree thinking. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 17(3), 389–398. <http://dx.doi.org/10.1128/jmbe.v17i3.1156>
- LAMPERT, E., & MOOK, J. (2015). Modeling with nonliving objects to enhance understanding of phylogenetic tree construction. *The American Biology Teacher*, 77(8), 587–599. <https://doi.org/10.1525/abt.2015.77.8.5>
- MACDONALD, T., & WILEY, E. O. (2012). Communicating phylogeny: evolutionary tree diagrams in museums. *Evolution: Education and Outreach*, 5(1), 14–28. <https://doi.org/10.1007/s12052-012-0387-0>
- MEIR, E., PERRY, J., HERRON, J. C., & KINGSOLVER, J. (2007). College Students' Misconceptions

- About Evolutionary Trees. *The American Biology Teacher*, 69(7), 71–76. [https://doi.org/10.1662/0002-7685\(2007\)69\[71:CSMAET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1662/0002-7685(2007)69[71:CSMAET]2.0.CO;2)
- MEISEL, R. P. (2010). Teaching tree-thinking to undergraduate biology students. *Evolution: Education and Outreach*, 3(4), 621–628. <https://doi.org/10.1007/s12052-010-0254-9>
- NOVICK, L. R., & CATLEY, K. M. (2013). Reasoning about evolution's grand patterns: college students' understanding of the tree of life. *American Educational Research Journal*, 50(1), 138–177. <https://doi.org/10.3102/0002831212448209>
- NOVICK, L. R., & CATLEY, K. M. (2007). Understanding phylogenies in biology: the influence of a Gestalt perceptual principle. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13(4), 197–223. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.13.4.197>
- NOVICK, L. R., & CATLEY, K. M. (2016). Fostering 21st-century evolutionary reasoning: teaching tree thinking to introductory biology students. *CBE Life Sciences Education*, 15(4), 1–12. <https://doi.org/10.1187/cbe.15-06-0127>
- NOVICK, L. R., CATLEY, K. M., & FUNK, D. J. (2010). Characters are key: the effect of synapomorphies on cladogram comprehension. *Evolution: Education and Outreach*, 3(4), 539–547. <https://doi.org/10.1007/s12052-010-0243-z>
- NOVICK, L. R., SHADE, C. K., & CATLEY, K. M. (2011). Linear versus branching depictions of evolutionary history: implications for diagram design. *Topics in Cognitive Science*, 3(3), 536–559. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2009.01077.x>
- NOVICK, L. R., STULL, A. T., & CATLEY, K. M. (2012). Reading phylogenetic trees: the effects of tree orientation and text processing on comprehension. *BioScience*, 62(8), 757–764. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.8.8>
- O'HARA, R. J. (1997). Population thinking and tree thinking in systematics. *Zoologica Scripta*, 26(4), 323–329. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6409.1997.tb00422.x>
- OFFNER, S. (2001). A universal phylogenetic tree. *The American Biology Teacher*, 63(3), 164–171. [https://doi.org/10.1662/0002-7685\(2001\)063\[0164:AUPT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1662/0002-7685(2001)063[0164:AUPT]2.0.CO;2)
- OMLAND, K. E., COOK, L. G., & CRISP, M. D. (2008). Tree thinking for all biology: The problem with reading phylogenies as ladders of progress. *BioEssays*, 30(9), 854–867. <https://doi.org/10.1002/bies.20794>
- PERRY, J., MEIR, E., HERRON, J. C., MARUCA, S., & STAL, D. (2008). Evaluating two approaches to helping college students understand evolutionary trees through diagramming tasks. *CBE Life Sciences Education*, 7(2), 193–201. <https://doi.org/10.1187/cbe.07-01-0007>
- SANDVIK, H. (2008). Tree thinking cannot taken for granted: challenges for teaching phylogenetics. *Theory in Biosciences*, 127(1), 45–51. <https://doi.org/10.1007/s12064-008-0022-3>
- SOKAL, R. R. (1983). A phylogenetic analysis of the Caminalcules. I. The data base. *Systematic Zoology*, 32(2), 159–184. <https://doi.org/10.2307/2413279>
- STRGAR, J. (2007). Increasing the interest of students in plants. *Journal of Biological Education*, 42(1), 19–23. <https://doi.org/10.1080/00219266.2007.9656102>