

OPEN ACCESS



PODPORA KOHERENCE VE VÝUCE BIOLOGIE A PŘÍRODOPISU: ÚVOD DO VYUŽITÍ JO-JO STRATEGIE V ČR

Promoting Coherence in Biology
Education: Introduction of Yo-Yo
Strategy in the Czech Republic

MARKÉTA MACHOVÁ, Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta, Katedra biologie
a environmentálních studií, marketa.machova@student.pdf.cuni.cz; MARIE-CHRISTINE
KNIPPELS, Utrecht University, Freudenthal Institute, m.c.p.j.knippels@uu.nl

Abstract

Today's biology curriculum at levels ISCED 2 and 3 consists of many topics like genetics, evolution, and ecology that are on the one hand very important and help students to understand complex processes that shape the environment around them, but on the other hand, are also difficult to comprehend. The main problem with these topics is that processes within their scope occur on multiple levels of biological organization that also interact among themselves in diverse ways. The biology curriculum and textbooks introduce levels of organization (molecules, cells, tissues, organisms, populations, etc.) and describe the characteristics and functions of entities at each level (like cells and their organelles). Unfortunately, in the case of the Czech Republic and other European countries, they do not sufficiently promote the connections among the levels of biological organization and concepts and processes on, and across, the levels, and therefore, they lack coherence in the presented information. This lack of coherence then easily results in misunderstandings by students of scientific concepts (like respiration or heredity). To cope with these problems, there are currently many strategies that help to promote students' coherent understanding of biological phenomena. One of them is the Yo-Yo Strategy, that helps students to define, connect and navigate among the levels of biological organization. In the paper, we discuss how to start using this teaching and learning method successfully in class in order to influence positively students' understanding of even very abstract biological topics.

Klíčová slova

úrovně biologické organizace, koherence, výukové strategie, Jo-jo strategie, biologické vzdělání

Keywords

levels of biological organization, coherence, Yo-Yo Strategy, biology education

ÚVOD

Biologické vzdělání na úrovních ISCED 2 a 3 typicky rozděluje všechny poznatky biologie do několika ostře definovaných témat (Malcová & Janštová, 2018). Ty se pak vyučují jako postupně za sebou řazené celky, kdy příbuzná témata jsou často oddělená velkými časovými intervaly (Šorgo & Šiling, 2017; Strand & Boes, 2019). Tento způsob výuky pomáhá studentům soustředit se na specifické části přírodních procesů a jejich činitele (zvláště na jednotlivé druhy rostlin a zvířat, stavbu vnitřních orgánů, faktory životního prostředí apod.) a studovat jejich vlastnosti více do hloubky. Na druhou stranu ale žáci i učitelé následně selhávají, když mají vysvětlit vztahy mezi těmito jednotlivými částmi přírodního prostředí a definovat základní koncepce přírodních procesů, které tyto

entity utváří a svými vlastnostmi výrazně ovlivňují (Akçay, 2017; Ricca, 2012; Šorgo & Šiling, 2017).

Mnoho přírodních jevů, které nás denně obklopují, je přitom velmi komplexních – od dýchání a trávení, po fotosyntézu, vývoj ekosystémů a dědičnost znaků. Tyto jevy vznikají na základě vzájemné interakce mnoha přírodních entit nebo i interakce více procesů, do kterých jsou tyto entity začleněny, a to na více úrovních biologické organizace (od konkrétních metabolických drah k celé živé buňce, po vztahy jednotlivých organismů v rámci populace) (Knippels, 2002; Knippels & Waarlo, 2018; Kuhn, 1999). Aby bylo možné takové přírodní jevy pochopit, musí student využívat informace z různých tematických celků kurikula

na různých úrovních biologické organizace a ty analyzovat a propojovat. Toto už přirozeně vyžadují některé tematické celky jako evoluční biologie, genetika nebo ekologie.

Českému kurikulu biologie a přírodopisu ale dominují především témata zoologie, botaniky, geologie a biologie člověka (Malcová & Janštová, 2018), která jsou v učebnicích tradičně značně deskriptivní a cílí spíše na znalost systému a popis vlastností organismů než na jejich vzájemné vztahy mezi sebou a prostředím v rámci různých komplexních přírodních procesů (Hlaváčová, 2017). Přílišná popisnost byla ale zjištěna i u učebnic nizozemských, které jednotlivá témata kurikula přírodních věd více integrují a v ČR typický systematický přístup k řazení učiva využívají méně (Verhoeff et al., 2008).

Samozřejmě, že není možné porozumět složitým přírodním procesům bez toho, abychom se dostatečně seznámili s entitami, které je tvoří a jsou do nich zapojené (redukcionistický přístup). Na druhou stranu je zásadní nevyhýbat se přístupu holistickému, neboť pouze znalost částí zapojených do sledovaných přírodních procesů a jevů nám neumožňuje pochopit význam, podstatu a chování procesů na všech jejich úrovních biologické organizace (Lewis, 2016; Ricca, 2012).

Proto současné trendy přírodovědného vzdělávání hledají způsoby jak tyto dvě potřeby propojit a umožnit studentům osvojit si metakognitivní schopnost známou jako systémové myšlení (systems thinking) (Gilissen et al., 2020; Verhoeff et al., 2018). Cílem podpory této schopnosti je rozvíjet koherentní, hlubší a uvědomělé pochopení přírodních procesů. A to tak, že studentům v rámci výuky umožníme skrz samostatnou práci aktivně zkoumat komplexní přírodní procesy a regulovat tím i proces vlastního učení (Knippels & Waarlo, 2018).

KOHERENCE V BIOLOGICKÉM VZDĚLÁVÁNÍ A JEJÍ DŮLEŽITOST

Onou žádoucí koherencí je v tomto případě chápáno vytváření logických spojitostí mezi jednotlivými úseky kurikula a umožnit tak studentům s ohledem na jejich věk (a tím i kognitivní schopnosti) pochopit rozličné aspekty přírodních procesů a jevů (Roseman et al., 2010). Jinými slovy můžeme mluvit také o konceptuální koherenci (conceptual coherence), což je kognitivní schopnost studenta nalézt a ustavit smysluplné vztahy mezi již naučenými koncepty (Ummels et al., 2015). Obě tyto definice popisují stav, kdy je student nejen schopný si komplexnější přírodní procesy vcelku představit, ale i posoudit, jakou roli v rámci těchto procesů hrají jejich jednotlivé části a jak tyto části proces ovlivňují. To umožňuje studentovi aplikovat získané vědecké poznatky v rámci nových problémových situací nejen ve výuce, ale i v reálném životě (Roseman et al., 2010; Ummels et al., 2015).

Jelikož je tento pedagogický problém značně abstraktní, může být poměrně těžké v celé šíři pochopit důležitost koherence v biologickém (a v zásadě celém přírodovědném) vzdělávání. Lépe pochopit, co může její nedostatek ve výuce přírodovědných předmětů způsobit, nám může pomoci příklad z praxe první autorky (upravený přepis z výuky na pražské střední škole na podzim roku 2019):

Studentům druhého ročníku SŠ byla učitelem položena otázka: „Proč vlastně dýcháme?“

Na jednoduchou otázku přišla jednoduchá odpověď třídy: „Abychom neumřeli.“

Učitel: „Správně. Proč bychom umřeli?“

Student: „Protože... bychom prostě umřeli. Potřebujeme kyslík, abychom přežili.“

Učitel: „Ano, správně. Na co potřebujeme ten kyslík?“

Studenti začali být zmatení a nechápavě se po sobě

ohlížet, než někdo nahlas odpověděl: „Abychom mohli dýchat?“

Učitel pokračoval: „Ano, ale proč nedýcháme místo toho nějaký jiný plyn? Proč je právě kyslík tak důležitý?“

Většina studentů zcela zmlkla, jen pár z nich se pokusilo o další odpověď: „No... ten kyslík pak jde do tkání, krev ho roznáší do našich orgánů.“

Učitel: „Správně, ale k čemu tam je?“

A takto pokračoval dialog třídy a učitele dál a dál. Odpovědi se začaly rychle točit v kruhu a na počáteční otázku studenti stále nenacházeli uspokojivé řešení. Jedna studentka se po chvíli dokonce tak dopálila, až začala křičet, že je to přeci úplně jedno a důležité je jenom vědět, že když přestaneme dýchat, tak prostě umřeme.

Autorka však po svých tehdejších studentech nechtěla nic složitějšího než na základě znalostí z povinně absolvovaného základního vzdělání odvodit následující: „Kyslík je součástí procesu výroby energie v mitochondriích buněk. Díky této energii může organismus vykonávat své základní životní funkce a přežít.“ Tento závěr měli studenti odvodit z informací, se kterými se všichni měli seznámit v rámci jednotlivých témat přírodopisu na druhém stupni základních škol. Jak ale potvrzují i četné zahraniční studie, tuto schopnost syntézy znalostí studenti skutečně velmi často postrádají (Šorgo & Šiling, 2017; Ummels et al., 2015; Waheed & Lucas, 1992).

V případě buněčného dýchání by studenti měli zvládnout propojit informace v kurikulu zakotvených témat jako fotosyntéza (a respirace), buněčná biologie (organely eukaryotické buňky) a biologie člověka (dýchání, funkce krve, energetický metabolismus a hospodaření s energií). Z těchto témat studenti samozřejmě již mnoho informací zapomněli, nebyli ale zároveň ani schopní uvědomit si základní princip všim tímto učivem prostupující – proč vš-

bec dýchají. A stejné problémy v rámci tohoto tématu vykazují i studenti v zahraničí (Verhoeff et al., 2008; Waheed & Lucas, 1992).

Přičemž vezmeme-li v úvahu obsah učiva v učebnicích biologie a přírodopisu spolu s učivem a společnými cíli národního kurikula (NÚV, 2017), je zcela zřetelné, že tento problém není důsledkem nedostatku informací v rámci daných témat, ale neschopností studentů propojit získané poznatky a chápat, jak jsou jednotlivé entity na různých úrovních biologické organizace (organely, orgány, organismy atd.) do daných přírodních procesů zapojeny (Strand & Boes, 2019; Verhoeff et al., 2008). Nízká úroveň schopnosti syntézy a aplikace znalostí se ostatně projevuje u českých žáků a studentů v rámci mezinárodních testování TIMSS, kde si studenti sice vedou dobře v úlohách vyžadujících prokázání znalostí, ale hůře v úlohách problémových cílicích na uvažování a aplikaci (Mandíková & Tomášek, 2017). To vše pak poukazuje právě na možný nedostatek koherence mezi jednotlivými částmi kurikula.

Podobná zjištění, kdy studenti selhávají v syntéze znalostí, můžeme najít i v rámci dalších biologických témat (stejně jako v chemii nebo fyzice), a to od genetiky a buněčné biologie po cykly chemických prvků, např. uhlíku (Düsing et al., 2019; Šorgo & Šiling, 2017; Verhoeff et al., 2008). V případě tématu genetiky bylo zjištěno, že studenti mají nejen problém vidět vznik znaku jako komplexní proces převodu návodu z DNA na proteiny, ale mají často problém i správně popsat a vysvětlit jednotlivé entity zapojené do tohoto procesu (nepochopení pojmů jako DNA, chromozom, alela, znak, ale i konceptu dědičnosti) (Duncan & Reiser, 2007; Knippels et al., 2005; Šorgo & Šiling, 2017; Strand & Boes, 2019; Vlčková et al., 2016).

Někdo by mohl oponovat, že uvedené příklady jsou abstraktní, založené na velmi odborných vědeckých poznacích a nejde tak o učivo přímo využitelné v běžném lidském životě. Potom si ale můžeme uvést také příklad v posledních letech populárních očistných kúr neboli „detoxů“. Prodejci nabízí různé, i velmi finančně nákladné přípravky, které mají své uživatele zbavit nebezpečných chemických látek, které se jim během života nashromáždily v těle. Popularita těchto diet a přípravků poukazuje na to, že ačkoli valná většina lidí prošla základním přírodovědným vzděláním, nemají ucelenou představu o procesu zpracování tělem přijatých látek. Onu tzv. „detoxikaci“, tedy rozklad složitějších nebo potenciálně škodlivých molekul na látky jednodušší a tělu neškodné, provádí jejich játra zcela běžně. A pokud by tyto metabolické dráhy selhávaly, člověku by pomohla jedině jednotka intenzivní péče, ale rozhodně ne „zelené smoothie“. Přičemž toto je stále stejná ukázka důležitosti koherence v přírodovědném vzdělávání jako v případě genetiky nebo buněčného dýchání.

TYPY KOHERENCE S OHLEDEM NA ÚROVNĚ BIOLOGICKÉ ORGANIZACE

Výše zmíněné příklady poukazují na dvě zásadní vlastnosti koherence – nejde pouze o propojování jednotlivých entit zapojených v přírodních procesech v rámci jedné úrovně biologické organizace (horizontální koherence), ale také propojování procesů a struktur v rámci více různých stupňů biologické organizace (vertikální koherence) (Knippels & Waarlo, 2018). Přičemž uvedení a popis úrovní biologické organizace najdeme v současném RVP ZV (NÚV, 2017) i v učebnicích, a následně je zcela přirozeně využívají i učitelé ke kategorizaci jevů, se kterými v hodinách pracují.

Úrovně biologické organizace umožňují svět kolem nás rozdělit a kategorizovat tak, aby bylo možné popsat jak vlastnosti jednotlivých částí přírodních systémů, tak jejich dynamiku (Brooks, 2019). Úrovně vychází z určité přírodní hierarchie, ale jejich konečné definice jsou dané dohodou. Ustavení těchto úrovní pak umožňuje sledovat pohyb hmoty a narůstající komplexitu v přírodě a spolu s tím i postupný vznik i zcela nových vlastností přírodních entit na vyšších úrovních organizace (Schneeweiß & Gropengießer, 2019), což je jev známý pod termínem emergence (Gilissen et al., 2020; Verhoeff et al., 2018).

Jednoduše řečeno, emergence popisuje stav, kdy detailním popisem všech částí určitého přírodního systému nejsme schopni vysvětlit chování a procesy v systému se odehrávající (Kuhn, 1999). Známým příkladem je lidská mysl – jedno jak precizně a detailně popíšeme vlastnosti atomů v lidském mozku nebo funkce našich nervových buněk, tyto informace nebudou dostačující na to, abychom dle nich plně vysvětlili, jak přesně funguje naše paměť a kognitivní procesy, které jsou součástí vyšší hierarchie tohoto systému. Proto jsou úrovně biologické organizace tak důležité pro pochopení světa kolem nás, jelikož některé zásadní jevy můžeme obsáhnout, pouze pokud jsme schopni efektivně se orientovat jak v částech této hierarchické struktury, tak vnímat ji jako jeden provázaný celek.

Druhy úrovní biologické organizace se mezi jednotlivými autory a diskutovanými tématy liší, ale v rámci biologického vzdělávání nejčastěji rozlišujeme několik základních úrovní, kterými jsou přírodní jevy popisovány (Schneeweiß & Gropengießer, 2019). V RVP ZV v rámci oboru Přírodopis jsou například zavedeny kategorie buňky, tkání, orgánů a organismu (NÚV, 2017). V odborných publikacích o vzdělávání v rámci oboru biologie se pak

nejčastěji využívají následující úrovně (Schneeweiß & Gropengießer, 2019):

- molekulární
- buněčná
- tkáň
- orgány
- organismy
- populace

Méně se pak užívají úrovně organel, společenstev, ekosystémů a biosféry. V rámci různých témat biologie a přírodopisu je pak kladen různý důraz na jednotlivé úrovně, ale nejčastěji jsou zdůrazňovány molekulární, buněčná a úroveň organismu (Schneeweiß & Gropengießer, 2019).

Studenti by měli být schopní přiřadit procesy a koncepty k jednotlivým úrovním biologické organizace a chápat, jak jsou tyto koncepty propojeny v rámci dané jedné úrovně – horizontální koherence (Knippels & Waarlo, 2018). Například očekáváme, že studenti nejen popíší buněčné organely, ale také porozumí tomu, jak jednotlivé organely interagují mezi sebou a pomáhají tak udržovat základní životní funkce buňky (Verhoeff et al., 2008). Zároveň by měli ale umět své znalosti aplikovat na pro ně nový případ. Student, který porozumí principu vzniku bílkoviny dle návodu v DNA, by měl také zvládnout vysvětlit vliv mutace na funkci proteinu nebo pochopit princip fungování RNA vakcíny.

Jelikož se ale mnoho přírodních procesů odehrává napříč více úrovněmi, je třeba, aby si studenti osvojili i to, čemu říkáme vertikální koherence, což je právě schopnost uvažovat v rámci více úrovní biologické organizace (Jördens et al., 2016; Knippels & Waarlo, 2018). K ukázce nám stačí rozšířit již uvedený příklad z oboru genetiky. Samotná molekula DNA znaky netvoří, ale činí tak procesem genetické exprese proteinů, které mají různé funkce na úrovních buněk, tkání i orgánů a vznik znaků tak

ovlivňují přímo jako stavební nebo signální jednotky (např. ve formě hormonů). Student by tak měl být veden k pochopení, že v případě chyby na úrovni DNA může v důsledku dojít na vyšších úrovních k poškození základních životních funkcí organismu nebo i vzniku nového znaku (byť ve většině případů se mutace ani neprojeví). Co se zdá na první pohled jako jednoduchý vztah DNA-znak, je ve skutečnosti komplexní proces na různých úrovních biologické organizace od neviditelné molekuly, po mikroskopické buňky a tkáň, až k okem viditelnému projevu organismu.

Dá se ale uvést celá řada příkladů témat biologického kurikula, jejichž učivo prochází skrz více úrovní biologické organizace, jako:

- evoluce – od molekulární úrovně mutací, po změny ve znacích jedinců, až ke genetickému driftu v rámci celých populací
- ekologie – chemické složení půd ovlivňuje růst jednobuněčných organismů i rostlin a skrz ně ovlivňuje celé populace včetně těch živočišných v rámci daného biotopu
- fotosyntéza a respirace – metabolické dráhy na úrovni buněk ovlivňují následně skrz tkáň fungování celého organismu

Na základě výzkumů již víme, že studenti jsou sice schopní uvést příklady úrovní biologické organizace, ale mají problém uvažovat právě v jejich rámci – vidět a reflektovat, jakým způsobem jsou propojené jednotlivé entity a procesy, které se na těchto úrovních vyskytují (Jördens et al., 2016; Verhoeff et al., 2008; Vlčková et al., 2016).

Přiřazení určité entity ke správné úrovni biologické organizace je důležité pro pochopení jednotlivých po sobě jdoucích fází procesu, kterého se entita účastní, ale je to stále pouze polovina kognitivního procesu, který musí student zvládnout. Hlavním úkolem je dokázat pojmut přírodní procesy na všech úrovních biologické organizace a onen vhléd a hlubší pochopení komplexity daného procesu pak využít při řešení nového problému.

PROČ JE PODPORA KOHERENCE TAK KOMPLIKOVANÁ?

Propojení znalostí, které se student již naučil, by se nemuselo zdát jako těžký úkol, nicméně výzkumy poukazují na to, že v praxi se toto děje spíše zřídka (Jördens et al., 2016; Verhoeff et al., 2008). Základní přírodovědné vzdělání studenty seznamuje s částmi přírodních systémů (metabolismus buňky, funkce orgánů atd.), uvádí jednotlivé hlavní úrovně biologické organizace (buňka, tkáň, organismus, populace atd.) a také předává určité pochopení toho, že entity v přírodě jsou velmi komplexně propojené. Bohužel, onen samotný rozvoj horizontální i vertikální koherence učiva je z mnoha následujících důvodů komplikovaný:

Učitelé používají úrovně biologické organizace často zcela automaticky bez toho, aby je pro své studenty explicitně odlišovali (Knippels & Waarlo, 2018; Schneeweiß & Gropengießer, 2019): jakožto profesionálové v oboru mají učitelé již zažitě potřebné znalosti a schopnosti, které jim umožňují velmi jednoduše přecházet z jedné úrovně na druhou v rámci probíraného tématu. Snadněji si uvědomují hierarchii úrovní a vztahy mezi nimi a snadněji tak opomenou, že jejich studenti tyto schopnosti zatím nemají. Pokud tedy úrovně biologické organizace ve výuce nedostatečně odlišují a málo zdůrazňují,

studenti se v probíraném tématu mohou snadno začít ztrácet.

České učebnice přírodopisu nedostatečně propojují jednotlivá témata, vztahy mezi nimi uvádějí pouze vágně v rámci některých témat (jako ekologie nebo evoluce) (Janštová & Jáč, 2015): například kapitoly o dýchací soustavě v rámci biologie člověka neuvádějí buněčné dýchání, a naopak, buněčná biologie a rozmnožování nejsou dostatečně spjaty s genetikou a tak dále (Machová, 2021). Takové opomíjení vztahů mezi tématy studentům k jejich propojení samozřejmě nepomáhá (Knippels, 2002; Knippels et al., 2005).

Vynechání některých částí přírodních systémů v učebnicích: v zahraničí (Knippels, 2002; Knippels & Waarlo, 2018), ale i v ČR (Machová, 2021) se toto týká například genetiky, kdy české učebnice pro druhý stupeň ZŠ často vůbec neuvádějí proteiny jako mediátory vzniku dědičných znaků, což následně neumožňuje efektivně vysvětlit a pochopit proces dědičnosti (Machová, 2021). Podobně ani RVP důsledně nezdůrazňuje všechny úrovně biologické organizace a jejich vztahy v rámci tohoto tematického celku (Janštová & Jáč, 2015). A to je pouze jeden z příkladů.

Nedostatečná podpora provázanosti částí kurikula: slabá koherence národního kurikula byla již u studentů zjištěna jako jedna z příčin povrchního chápání vědeckých konceptů (Gardner et al., 2014). Ačkoli RVP ZV například klade důraz na mezipředmětové vztahy, chybí v rámci něj praktické metodické pokyny, jak tyto vztahy efektivně navázat. Učivo i cíle samotné jsou orientovány spíše na terminologii a popis přírodních jevů než vysvětlení jejich podstaty (NÚV, 2017). To pouze reflektuje převahu morfológico-systematického řazení výuky v české praxi (patrnou i v ŠVP (Hlaváčová, 2017; Rokos & Holec, 2019; Vágnerová et al., 2018)). Pro integrovanou nebo

ekologickou výuku není v ČR ani dostatek materiálů, pro ZŠ je dostupná jen jedna řada učebnic ekologicky zaměřených s názvem „Ekologický přírodopis“ od nakladatelství Fortuna a jedna řada integrovaná s názvem „Člověk a příroda“ od nakladatelství Fraus (Hejnová, 2011; Hlaváčová, 2017). Učitelé si tak musí sami hledat nejvhodnější cestu, jak dosáhnout jednotlivých vzdělávacích cílů a propojit v rámci nich dotčené obory kurikula. To je ale problém i s ohledem na nedostatečnou VŠ přípravu učitelů právě z hlediska možností integrované výuky a obecně prohlubování mezipředmětových vztahů (Hejnová, 2011).

Pro učitele je pak logicky těžké podporovat koherenci v rámci vyučovaných témat, když jim chybí didaktická podpora jak vhodně představit přírodní jevy jako systém propojených entit tak, aby stále přítom i dostatečně vysvětlili vlastnosti jednotlivých entit do systému zapojených (jako anatomii, fyziologii nebo taxonomii). A právě proto byly již vyvinuty některé nové strategie výuky, které by s tímto měly pomoci.

VYUŽITÍ JO-JO STRATEGIE K PODPOŘE KOHERENCE VE VÝUCE PŘÍRODOPISU A BIOLOGIE

Jedním ze způsobů, jak podpořit koherenci ve výuce, je opatrné užívání hierarchických úrovní biologické organizace. Využití k tomu můžeme přístup zvaný Jo-jo strategie, navržený Knippels (Knippels, 2002; Knippels & Waarlo, 2018). Tato strategie cílí na explicitní rozlišování úrovní biologické organizace, spolu souvisejících jevů a procesů na těchto úrovních a schopnost uvažování napříč celou hierarchickou strukturou úrovní.

Klíčovým výstupem této metakognitivní schopnosti je, že si student dokáže celistvě vizualizovat konkrétní přírodní proces a v rámci hierarchické struktury úrovní biologické organizace, kde se daný proces manifestuje, se pohybovat nahoru a dolů úroveň po úrovni, stejně jako se pohybuje jo-jo klouzající na provázku nahoru a dolů podle pohybu hráčovy ruky. Studenti by měli zvládnout pochopit jak vztahy ve vertikálním směru (mezi úrovněmi), tak i horizontálně (mezi procesy a koncepty – pojmy – na jedné úrovni).

Jo-jo strategii je možné aplikovat na množství komplexních témat, která pokrývají více úrovní biologické organizace, ale primárně byla navržena a testována na tématu genetiky (Knippels, 2002; Knippels & Waarlo, 2018). Pokud chce učitel tuto strategii využít ve svých hodinách, měl by se řídit několika následujícími kroky (jako příklad bude užito právě učivo genetiky):

- definovat cíle výuky a znalosti a schopnosti potřebné k jejich dosažení (v případě genetiky bude cílem nejspíš něco ve smyslu: „studenti jsou schopni vysvětlit, co je dědičnost a jak funguje, analyzovat novou problémovou situaci se vztahem k dědičnosti a využít k jejímu řešení znalosti a schopnosti získané v rámci výuky“)
- identifikovat úrovně biologické organizace, které se daných výukových cílů týkají, a analyzovat, jaké konceptuální pochopení by měli studenti získat na každé z dotčených úrovní (horizontální koherence, např. na molekulární úrovni vědět, jakým způsobem funguje kódování proteinů v DNA, jakým způsobem dochází k tvorbě proteinů dle návodu apod.)
- analyzovat vztahy mezi koncepty na různých úrovních (vertikální koherence) v rámci jevu, se kterým chceme pracovat (např. organismy předávají DNA potomkům během procesu reprodukce, každá buňka obsahuje DNA, která

se kopíruje do dceřiných buněk během mitózy, DNA sama o sobě je velká molekula sloužící jako návod na další typy molekul zvané proteiny, tyto molekuly ovlivňují vznik znaků organismu atd. – tímto jsme pokryli už tři úrovně biologické organizace)

- vytipovat úroveň organizace, která je žákům už dostatečně známá (typicky se jedná o úroveň organismu), a na této úrovni začít s výukou tématu
- na této úrovni pak podle definovaných výukových cílů ustavit zastřešující návodnou otázku, ta by měla studentům dát motiv k ponoření se do tématu a poskytnout výuce příběhovou linii (pokud budeme vyučovat genetiku, půjde pravděpodobně o nějaký všeobíhající problém genetiky jako: „Co způsobuje, že vypadáme jako naši rodiče?“ nebo „Jak vlastně vznikají znaky našeho těla?“)
- jelikož je zastřešující návodná otázka typicky velmi komplexní, rozdělujeme ji na dílčí problémy, které je nejprve třeba prozkoumat a vyřešit, aby bylo nakonec možné plně zastřešující otázku odpovědět, přičemž je třeba se v případě těchto dílčích otázek vždy držet stanovené zastřešující otázky (pokud chceme např. porozumět, jak funguje dědičnost, bude třeba zjistit, jak jsou naše znaky v těle kódovány, jak se přenášejí z rodičů na potomky, jak se tento kód překládá atd.)

Když je tato báze výuky připravená – tedy cíle výuky, identifikace úrovní, které sledované téma pokrývá, a vztahy mezi koncepty k nim vztaženými – a je ustavena zastřešující návodná otázka, je možné přistoupit k přípravě jednotlivých vyučovacích hodin. Opět je třeba následovat několik jednoduchých kroků:

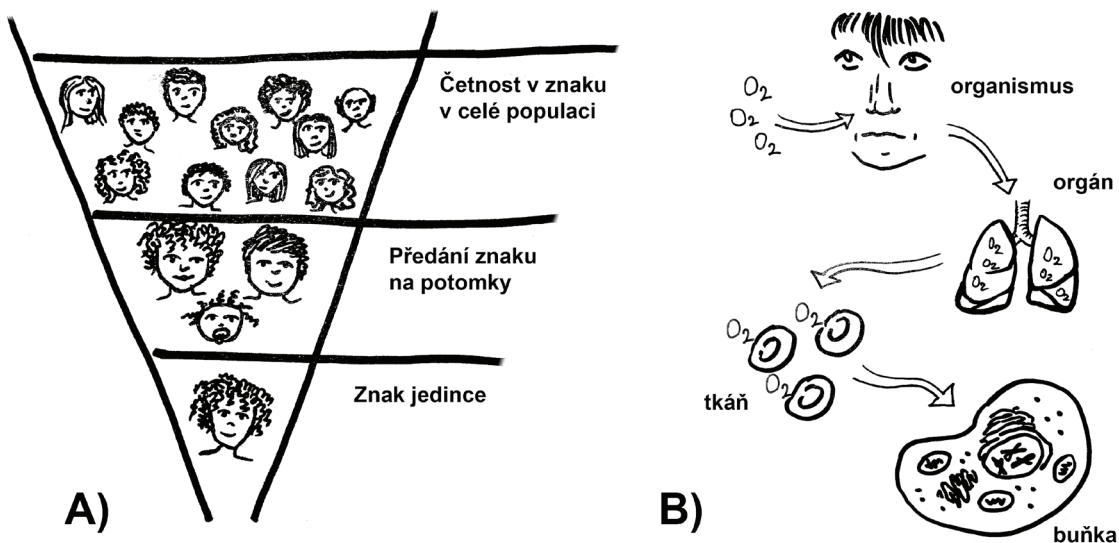
- začínáme od studentům známé úrovně biologické organizace a v rámci ní stanovujeme první dílčí otázku, která zodpovídá jen část ce-

lého problému – doslova začínáme zastřešující otázku porcovat na části – podotázky, které využíváme jako výchozí body pro sestavení konkrétních aktivit v hodinách nebo jako samotná témata hodin (v genetice na úrovni organismů vidíme již samotné znaky, ale nevíme zatím ani jak se do organismu dostaly, proto jednou z prvních podotázek by mělo logicky být: „jak dědíme znaky?“, což pokrývá úroveň organismu a buněk ve smyslu gamet, které dědičnou informaci přenášejí)

- během výuky využíváme vizuální reprezentace úrovní biologické organizace, abychom studentům pomohli efektivně se orientovat v hierarchické struktuře (ale i ve svých myšlenkách) a přiřazovat jednotlivé koncepty a problémy konkrétním úrovním (např. je možné připravit si jednoduchý hierarchický diagram, nakreslit jednotlivé úrovně na tabuli a pomoci studentům přiřadit k nim v hodině probírané procesy i pojmy) (viz Obr. 1)
- studenti by měli mít možnost samostatně pracovat na různých úkolech doplněných celotřídní diskuzí, obrazovou reprezentací, poznámkami učitele, učebnicemi a dalšími výukovými materiály tak, aby s touto dopomocí došli k odpovědi na danou dílčí podotázku (je třeba, aby studenti pracovali vždy alespoň část hodiny samostatně pouze s dopomocí učitele, a museli tak aktivovat a využít své znalosti a schopnosti)
- po skončení všech cvičení by měla přijít fáze reflexe, kdy učitel spolu se studenty zhodnotí, zda se jim podařilo na základě práce zodpovědět dílčí podotázku a jak velkou část zastřešující návodné otázky tím již zodpověděli, tedy i jakou část konkrétního přírodního procesu již zvládli pojmut (např. „Víme již, jakým způsobem se genetická informace dědí a jak moc tento proces vysvětluje vznik znaků organismu?“)
- na základě zjištění, jaká část zastřešující návodné otázky byla již zodpovězena, stanoví učitel

se studenty novou dílčí podotázku (ať už jako problém na celou další vyučovací hodinu, nebo pouze další aktivity), která by měla umožnit ponořit se více do hloubky sledovaného problému (tedy pokročit na další úroveň biologické organizace ve směru nahoru nebo dolů v rámci hierarchie, např. ve chvíli, kdy zodpovíme, jak

se na úrovni organismů a buněk genetická informace přenáší, můžeme klesnout na úroveň buněčnou a molekulární, na druhou stranu v ekologii budeme spíše z úrovně organismu stoupat na úroveň populace v rámci populační dynamiky apod.)



Obr. 1 Ukázka vizualizace hierarchické struktury vybraných přírodních procesů (dědičnosti a dýchání).

Tímto způsobem umožníme studentům projít všemi úrovněmi hierarchie odshora dolů a naopak. Po každém kroku (ať už přestupu na další úroveň, nebo dokončené aktivitě) je třeba provést reflexi – studenti by měli zhodnotit výsledky práce a stanovit, zda se jim dostatečně podařilo stanovenou dílčí podotázku zodpovědět. S postupným přechodem na další a další úrovně biologické organizace by se

tak pochopení studentů a jejich vhléd do sledovaného problému měly prohlubovat. Poté, co studenti obsáhnou všechny dotčené úrovně studovaného jevu, očekáváme dosažení plného pochopení konceptu.

V té chvíli je vhodné využít aktivity, které umožní studentům nově nabyté schopnosti a znalosti aplikovat v novém kontextu (např. v rámci ge-

netiky je možné nechat studenty pracovat s problematikou GMO, tedy jak může změna predispozic vlivem indukované mutace změnit chování, schopnosti nebo vzhled organismů). Aktivita by měla studentům umožnit lépe objevit spojitosti mezi jednotlivými úrovněmi biologické organizace a posílit jejich uchopení hierarchické struktury úrovní i samotného sledovaného jevu.

Pokud to časová dotace dovolí, je vhodné aktivitu rozšířit tak, aby měli studenti možnost obsáhnout všechny úrovně biologické organizace a postupně se jimi propracovat nahoru do nejvyšších pater a opět ještě jednou zase zpátky dolů tak, aby si koherentní chápání daného jevu ještě více upevnili (v případě genetiky projít si proces tvorby znaku od DNA k organismu a zase zpátky od viditelných znaků organismu k jejich kódu v DNA).

Celý tento proces se tak dá shrnout do dvou fází: počáteční didaktické transformace tématu (definování učiva a cílů, jejich přiřazení jednotlivým úrovním biologické organizace a identifikace jejich vztahů) a aktivní pedocentrické výukové a učební strategie.

Při využití této strategie je vhodné pamatovat, že by vyučující měl:

- klesat a stoupat v rámci hierarchie úrovní biologické organizace pomalu, jednu úroveň po druhé (bez jejich vynechávání) a reflektovat postup se studenty
- projít všemi úrovněmi odspoda nahoru nebo naopak alespoň jednou, aby studenti mohli opravdu koherentně pojmut studovaný jev
- explicitně poukazovat na vztahy mezi jednotlivými úrovněmi, nové učivo vždy vztahovat ke kontextu studovaného jevu
- věnovat alespoň jednu vyučovací jednotku aplikaci nového učiva a nabytých schopností v novém kontextu tak, aby studenti v rámci

úlohy pracovali se všemi úrovněmi biologické organizace, kterých se sledovaný jev týkal

Tento postup umožňuje studentům nejen prozkoumat sledovaný přírodní proces do rozumné hloubky, ale také zřetelně vidět, jak jsou jednotlivé části procesu vzájemně propojené. Získají tím také dostatek času zopakovat si nové informace a prohloubit své porozumění problematice během fáze reflexe. To jim umožní, aby se v úrovních biologické organizace a procesech v rámci správně zorientovali a neztráceli ani později.

JAK ZAČÍT S PODPOROU KOHERENCE VE VLASTNÍ TŘÍDĚ?

Samozřejmě, že využívání nových komplexních strategií ve výuce vyžaduje nejen pochopení jejich principu nebo integraci nových metod, ale především osvojení si určitého nového způsobu uvažování. V tomto případě je to schopnost uvědomělého myšlení v rámci úrovní biologické organizace. To není úkol nijak jednoduchý. Abychom vyučujícím pomohli začít pomalu a postupně toto uvědomění budovat a spolu s tím i vést studenty k více koherentnímu porozumění přírodních procesů, uvádíme zde několik komponentů využívaných v rámci Jo-jo strategie, které je možné užít zvláště jako odrazový můstek pro další komplexnější práci ve výuce:

Vždy berte v úvahu existenci úrovní biologické organizace: Jakmile se svými studenty projdete úvodem do jednotlivých úrovní, používejte je v rámci všech dalších nových témat, která budete probírat. Snažte se se studenty začínat od úrovní jim známých (typicky organismy) a od nich postupně pokračujte krok po kroku v hierarchii na další úroveň, aniž byste je využívali hned všechny naráz. Výklad doprovázejte kresbou nebo modely, které popisují

jednotlivé úrovně a jejich pořadí (pyramidová schémata, jednoduché hierarchické nebo síťové struktury) (Knippels, 2002).

Nechte studenty, aby si sami zkusili najít vztahy mezi entitami v rámci přírodních systémů (využijte přístup aktivního učení): Poskytněte studentům aktivity, které vyžadují použití již získaných znalostí k formování vztahů v rámci přírodních procesů (může jít o vztahy organismů v rámci potravních sítí, vzájemnou regulaci orgánů v těle nebo tok chemických látek v prostředí vizualizovaný za pomoci myšlenkových map) (Düsing et al., 2019). Pomáhejte jim zorientovat se v tom, jak propojit dříve získané informace a najít vztahy mezi různými přírodními procesy, ale nechte je výraznou část hodiny pracovat samostatně.

Nebojte se uvádět příklady (i kontroverzních) společensko-vědních problémů ve výuce: Příklady toho, jak vědecké poznatky zasahují do běžného života, jako GMO, rozličná onemocnění, testování léků a kosmetiky na zvířatech nebo globální oteplování pomáhají studentům propojit získané poznatky s jejich životními zkušenostmi a vidět užitek těchto poznatků v praktických aplikacích. Společensko-vědní problémy často vychází z komplexních interakcí mezi přírodními systémy (člověka jako systém nevyjímaje) a pomáhají studentům si tak důležité vztahy v přírodě lépe představit.

Plně pochopit přírodní procesy a jevy vyžaduje, aby studenti znali a uměli popsat jejich části, stejně jako je zvládnout mezi sebou efektivně propojit a analyzovat, jakým způsobem jsou v procesech zapojeny a jak fungují (Ricca, 2012). Následně by studenti měli být i schopni tyto znalosti využít v pro ně nových situacích. Například při setkání se s novým typem genetického onemocnění by měli být schopni představit si, jaké úrovně biologické organizace stojí za danou poruchou, analyzovat a argumento-

vat, zda a proč by mohlo jít o poruchu dědičnou, jak může být poškozený znak ovlivněný na úrovni DNA a jak se poškození nejspíš zhruba formuje na úrovni buněk a tkání. To by je mělo navést k pochopení využitelnosti specifických typů léčby a medicínských zákroků určených ke zmírnění potíží nebo jejich odstranění. Podobně jako by na základě porozumění procesu replikace virů spolu se znalostí jejich stavby měli být schopni vysvětlit důvody využívání specifických ochranných prostředků nebo metod prevence infekčních onemocnění.

Koherence v přírodovědném vzdělávání umožňuje studentům vnímat celistvé principy přírodních jevů kolem sebe. To zásadně napomáhá pochopení toho, jak svět kolem nich funguje a jak je možné ať už v dobrém, nebo ve zlém přírodní jevy kolem sebe ovlivňovat. Získat schopnost koherentního pochopení přírodních procesů je velmi obtížné, ale každý drobný úspěch v tomto směru studentům pomáhá orientovat se ve skutečných životních situacích a lépe se v nich rozhodovat.

ZÁVĚR

Asi všem nám někdy učitelé říkali, že v biologii je vše propojené. Což shrnuje myšlenku koherence jako zcela zásadní součásti výuky přírodních věd. 21. století staví naše studenty před mnoho nových výzev a problémů, jejichž řešení vyžaduje právě nejen znalosti přírodních věd, ale i schopnost vyhodnotit informace z více různých témat, oborů a zdrojů a propojit je do logického celku.

K tomu, aby se orientovali ve světě, už našim studentům nestačí jen poznat a popsat součásti přírodních systémů (redukcionistický pohled), ale musí také umět porozumět tomu, jak tyto součásti interagují a utváří chování komplexních přírodních systémů i ještě složitějších přírodních jevů jimi

ovlivněných (holistický pohled). Přičemž by nakonec měli být schopni i aplikovat toto porozumění přírodním systémům v nové problémové situaci ve vlastním životě, nejen v rámci příkladů a problémů, kterým již jednou čelili v rámci školní výuky.

Zvládnout si osvojit koherentní konceptuální porozumění může být sice velmi náročné, ale přesto je velmi důležité tuto schopnost u studentů během školní výuky podporovat. Činit tak můžeme právě díky přístupům, jako je Jo-jo strategie, nebo jedno-

duše širším a častějším užitím problémových úloh založených na praktických společensko-vědních problémech. Ačkoli část našich studentů třeba ani nezvládne osvojit si tuto schopnost, každé i sebe-menší zlepšení jejich kognitivních schopností a jiných dovedností nutných k řešení problémových úloh jim umožní v budoucnu mnohem lépe využítovat ono společné základní přírodovědné vzdělání, které jsme jim kdysi poskytli.

Literatura

- AKÇAY, S. (2017). Prospective elementary science teachers' understanding of photosynthesis and cellular respiration in the context of multiple biological levels as nested systems. *Journal of Biological Education*, 51(1), 52–65. <https://doi.org/10.1080/00219266.2016.1170067>
- BROOKS, D. S. (2019). A New Look at 'Levels of Organization' in Biology. *Erkenntnis*. <https://doi.org/10.1007/s10670-019-00166-7>
- DUNCAN, R. G., & REISER, B. J. (2007). Reasoning Across Ontologically Distinct Levels: Students' Understandings of Molecular Genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 938–959. <https://doi.org/10.1002/tea.20186>
- DÜSING, K., ASSHOFF, R., & HAMMANN, M. (2019). Students' conceptions of the carbon cycle: identifying and interrelating components of the carbon cycle and tracing carbon atoms across the levels of biological organisation. *Journal of Biological Education*, 53(1), 110–125. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1447002>
- GARDNER, A. L., BYBEE, R. W., ENSHAN, L., & TAYLOR, J. A. (2014). Analyzing The Coherence Of Science Curriculum Materials. *Curriculum & Teaching Dialogue*, 16(1/2), 65–86.
- GILISSEN, M. G. R., KNIPPELS, M. C. P. J., & VAN JOOLINGEN, W. R. (2020). Bringing systems thinking into the classroom. *International Journal of Science Education*, 1–28. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1755741>
- HEJNOVÁ, E. (2011). Integrovaná výuka přírodovědných předmětů na základních školách v českých zemích – minulost a současnost. *Scientia in Educatione*, 2(2), 77–90. <https://doi.org/10.14712/18047106.24>
- HLAVÁČOVÁ, L. (2017). Systematický přístup prezentace učiva přírodopisu/biologie. *Biologie. Chemie. Zeměpis*, 26(3), 40–44. <https://doi.org/10.14712/25337556.2017.3.6>
- JANŠTOVÁ, V., & JÁČ, M. (2015). Teaching Molecular Biology at Grammar Schools: Analysis of the Current State and Potential of its Support. *Scientia in Educatione*, 6(1), 14–39. <https://doi.org/10.14712/18047106.145>
- JÖRDENS, J., ASSHOFF, R., KULLMANN, H., & HAMMANN, M. (2016). Providing vertical coherence in explanations and promoting reasoning across levels of biological organization when teaching evolution. *International Journal of Science Education*, 38(6), 960–992. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1174790>
- KNIPPELS, M. C. P. J. (2002). *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education: The yo-yo learning and teaching strategy* [Utrecht University]. <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/219>

- KNIPPELS, M. C. P. J., & WAARLO, A. J. (2018). Development, uptake, and wider applicability of the yo-yo strategy in biology education research: A reappraisal. *Education Sciences*, 8(3), 129. <https://doi.org/10.3390/educsci8030129>
- KNIPPELS, M. C. P. J., WAARLO, A. J., & BOERSMA, K. T. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39(3), 108–112. <https://doi.org/10.1080/00219266.2005.9655976>
- Kuhn, R. W. (1999). Biological organization—A new look at an old problem. *BioScience*, January, 51–57. <https://doi.org/10.1525/bisi.1999.49.1.51>
- Lewis, P. A. (2016). Systems, structural properties, and levels of organisation: The influence of Ludwig Von Bertalanffy on the work of FA Hayek. In L. Fiorito, S. Schealli, & C. E. Suprinyak (Eds.), *Research in the History of Economic Thought and Methodology* (Vol. 34A, pp. 125–159). Emerald. <https://doi.org/10.1108/S0743-41542016000034A005>
- MACHOVÁ, M. (2021). Genetika v učebnicích biologie a přírodopisu: historie a současnost. *Scientia in Educatione*, 11(2), 14–39. <https://doi.org/10.14712/18047106.1729>
- MALCOVÁ, K., & JANŠTOVÁ, V. (2018). Jak jsou hodnoceny jednotlivé obory biologie žáky 2. stupně ZŠ a nižšího gymnázia? *Biologie Chemie Zeměpis*, 27(1), 23–34. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14712/25337556.2018.1.3>
- MANDÍKOVÁ, D., & TOMÁŠEK, V. (2017). Výsledky českých žáků v šetření TIMSS 2015. *MATEMATIKA–FYZIKA–INFORMATIKA*, 26(5), 349–361.
- NŮV. (2017). *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání*. MŠMT. <https://www.msmt.cz/file/43792/>
- RICCA, B. (2012). Beyond Teaching Methods: A Complexity Approach. *Complicity: An International Journal of Complexity and Education*, 9(2), 31–51. <https://doi.org/10.29173/cmplct17985>
- Rokos, L., & Holec, J. (2019). *Podkladová studie: Vzdělávání o živé a neživé přírodě – přírodopis, biologie a geologie*. NŮV. https://www.researchgate.net/profile/Lukas_Rokos2/publication/334805730_Podkladova_studie_k_revizi_ramcovych_vzdelavacich_programu_v_oblasti_vzdelavani_o_zive_a_nezive_prirode_Jak_budeme_ucit_prirodopis_biologii_a_geologii_v_pristich_letech/links/5d4195d7
- ROSEMAN, J. E., STERN, L., & KOPPAL, M. (2010). A method for analyzing the coherence of high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(1), 47–70. <https://doi.org/10.1002/tea.20305>
- SCHNEEWEISS, N., & GROPENGIESSER, H. (2019). Organising levels of organisation for biology education: A systematic review of literature. *Education Sciences*, 9(3), 207. <https://doi.org/10.3390/educsci9030207>
- ŠORGO, A., & ŠILING, R. (2017). Fragmented knowledge and missing connections between knowledge from different hierarchical organisational levels of reproduction among adolescents and young adults. *Center for Educational Policy Studies Journal*, 7(1), 69–91.
- STRAND, S., & BOES, K. E. (2019). Drawing a link between genetic inheritance and meiosis: A set of exercises for the undergraduate biology classroom. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 20(2). <https://doi.org/10.1128/jmbe.v20i2.1733>
- UMMELS, M. H. J., KAMP, M. J. A., DE KROON, H., & BOERSMA, K. T. (2015). Promoting Conceptual Coherence Within Context-Based Biology Education. *Science Education*, 99(5), 958–985. <https://doi.org/10.1002/sce.21179>
- VÁGNEROVÁ, P., BENEDIKTOVÁ, L., & KOUT, J. (2018). Kritická místa ve výuce přírodopisu – jejich identifikace a příčiny. *Arnica*, 8(1), 56–62. https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/33907/1/Arnika_2018_1-7_Vagnerova-Benediktova-Kout-web.pdf
- VERHOEFF, R. P., KNIPPELS, M. C. P. J., GILISSEN, M. G. R., & BOERSMA, K. T. (2018). The theoretical nature

of systems thinking. Perspectives on systems thinking in biology education. *Frontiers in Education*, 3(40), 31–51. <https://doi.org/10.3389/feduc.2018.00040>

VERHOEFF, R. P., WAARLO, A. J., & BOERSMA, K. T. (2008). Systems modelling and the development of coherent understanding of cell biology. *International Journal of Science Education*, 30(4), 543–568. <https://doi.org/10.1080/09500690701237780>

VLČKOVÁ, J., KUBIATKO, M., & USAK, M. (2016). Czech high school students' misconceptions about basic genetic concepts: Preliminary results. *Journal of Baltic Science Education*, 15(6), 738–745.

WAHEED, T., & LUCAS, A. M. (1992). Understanding interrelated topics: photosynthesis at age 14 +. *Journal of Biological Education*, 26(3), 193–199. <https://doi.org/10.1080/00219266.1992.9655272>