

Obsah

Výzkumné stati

Elena Čipková, Michael Fuchs Hodnotenie vybraných bádateľských zručností študentov učiteľstva biológie.....	2
Markéta Machová Genetika v učebnicích biologie a přírodopisu: historie a současnost	14
Mária Slavíčková Types of Generalization Made by Pupils Aged 12–13 and by Their Future Mathematics Teachers	40
Tomáš Zadražil The Crucial Importance of Typical Discussion Roles of Pupils for the Effective Implementation of Peer Instruction in Teaching Elementary School Mathematics	53

Hodnotenie vybraných bádateľských zručností študentov učiteľstva biológie

Evaluation of Selected Inquiry Skills of Future Biology Teachers

Elena Čipková^{1,*}, Michael Fuchs¹

¹ Katedra didaktiky prírodných vied, psychológie a pedagogiky, Prírodovedecká fakulta Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovenská republika; elena.cipkova@uniba.sk

Vedecké bádanie je systematický spôsob získavania vedeckých poznatkov, ktorý pokrýva nie len využitie vedeckých metód a postupov, ale aj procesy spojené s rozvojom vedeckých poznatkov ako je napríklad kladenie si otázok, tvorivé riešenie problémov, štúdium rôznych informačných zdrojov, kritické myslenie, vedecké zdôvodňovanie, zdieľanie a obhajovanie záverov. Úspešná aplikácia vedeckého bádania vo vyučovaní prírodných vied si vyžaduje dostatočnú odbornú pripravenosť učiteľov. Táto skutočnosť zvyšuje nároky na pregraduálnu prípravu učiteľov biológie z hľadiska podpory rozvoja bádateľských zručností. V obsahu príspevku predstavujeme výsledky výskumu zameraného na zhodnotenie aktuálnej úrovne bádateľských zručností študentov učiteľstva v kombinácii s predmetom biológia na Prírodovedeckej fakulte UK v Bratislave. Výsledky naznačujú, že študenti učiteľstva biológie nemajú dostatočne rozvinuté bádateľské zručnosti, najmä zručnosti spojené s plánovaním a realizovaním experimentu.

Scientific research is a systematic way of gaining scientific knowledge. It covers not only the use of scientific methods and procedures but also processes associated with the development of scientific knowledge such as asking questions, creative problem solving, studying of various information sources, critical thinking, scientific reasoning, sharing and defending the conclusions. The successful application of scientific research in science education requires adequate professional training of teachers. This fact increases the demands on the preservice biology teachers' preparation in terms of supporting the development of inquiry skills. In this article, we present the results of research aimed at evaluating the current level of inquiry skills of student teachers in combination with the subject of biology at the Faculty of Natural Sciences, Comenius University in Bratislava. The results of the research show that future biology teachers do not have sufficiently developed inquiry skills, especially skills associated with planning and conducting an experiment.

Kľúčová slova:
bádateľské zručnosti,
pregraduálna príprava
učiteľov, biológia.

Zasláno 5/2020
Revidováno 12/2020
Přijato 12/2020

Key words:
inquiry skills, preservice
teacher preparation,
biology.

Received 5/2020
Revised 12/2020
Accepted 12/2020

1 Úvod

Nárast poznatkov v rámci jednotlivých oblastí prírodných vied ovplyvnil život spoločnosti, ktorá kladie značné požiadavky na edukačný proces. V súvislosti so spoločenskými výzvami kladenými na vzdelávanie Európska komisia predložila niekoľko odporúčaní týkajúcich sa vyučovania prírodných vied. Jedno z odporúčaní sa zameriavalo aj na implementovanie bádateľsky orientovaného vyučovania do vzdelávania žiakov a na tomto základe vzdelávať aj učiteľov (European Commission, 2007). Správa poukázala nie len na nedostatky v integrácii bádateľských postupov v edukačnom procese, ale aj potrebu podpory rozvoja bádateľských zručností v priebehu pregraduálnej prípravy učiteľov. Česká republika na potrebu kurikulárnych zmien v prírodovednom vzdelávaní reagovala už v roku 2005, zatiaľ čo Slovenská republika až v roku 2008, po vydaní správy Európskej komisie. Do národného kurikula biológie (Štátny pedagogický ústav, 2015a; Štátny pedagogický ústav, 2015b) boli zapracované požiadavky na integráciu žiackeho objavovania a bádania, ktoré umožňujú osvojiť si nielen nové vedomosti, ale aj základy spôsobilostí vedeckej práce a vytvárať pozitívne postoje k vedeckému spôsobu poznávania sveta. Okrem dôrazu na samotnú disciplínu vedy je dôraz kladený aj na integráciu vedy do rôznych oblastí ľudského snaženia a životných situácií (Roberts & Bybee, 2014).

Naplnenie cieľov prírodovedného vzdelávania si vyžaduje zmenu tradičných prístupov k praktickým aktivitám na bádateľsky orientované a pripravenosť učiteľov, ktorej v podmienkach slovenských škôl nebola a nie je venovaná dostatočná pozornosť. Podobné výsledky boli zaznamenané aj vo výskumnej sonde Stuchlíkovej (2010) v Českej republike. V rámci pregraduálnej prípravy študentov učiteľstva biológie sa predpokladá, že študenti aplikujú vedeckú prácu a získajú bádateľské zručnosti pri riešení problémov počas štúdia odborných predmetov. Didaktická príprava vo vyšších ročníkoch pregraduálneho štúdia sa preto zameriava najmä na získanie „didaktických znalostí obsahu“ (Shulman, 1986) a vedomostí o didaktickej transformácii učebného obsahu daného predmetu a jeho technologickom spracovaní (Koehler & Mishra, 2009).

2 Teoretický rámec výskumu

Bádateľsky orientované vyučovanie môžeme charakterizovať ako pedagogicky zložitý koncept, ktorého vzdelávací prístup sa zameriava na študentov a rozvoj ich kľúčových kompetencií v oblasti vedy (Linn et al., 2004; Millar, 2004; García-Carmona et al., 2017). Na základe toho môžeme bádateľské zručnosti definovať ako schopnosti, ktoré sú nevyhnutné pre realizáciu bádania (Ješková et al., 2016). V odbornej literatúre sa môžeme stretnúť s rôznymi klasifikáciami bádateľských zručností, v závislosti od toho, ktoré činnosti sa pri bádateľsky orientovanom vyučovaní považujú za podstatné. Fuhrman (1978) formuloval bádateľské zručnosti, ktoré zoskupil do štyroch skupín: a) koncepcia, plánovanie a návrh experimentu, b) realizácia experimentu, c) analýza a interpretácia a d) aplikácie. Fradd et al. (2001) predstavil schému bádateľských zručností založenú na piatich základných skupinách, z hľadiska ich uplatnenia pri jednotlivých fázach bádania, a to formulácie problému, plánovania, implementácie, záverov a prezentácie. Na túto schému nadviazali van den Berg (2013) a Balogová a Ješková (2016), ktorí jednotlivé skupiny bádateľských zručností doplnili o ďalšie elementy, ktoré majú byť v procese bádania rozvíjané (tab. 1). Na rovnakom princípe vymedzil vo svojej práci deväť bádateľských zručností aj Wenning (2007). Ide o schopnosť identifikovať problém, formulovať hypotézu, formulovať predpoklady na základe hypotézy, navrhnúť experiment, realizovať experiment, zhromažďovať, organizovať a analyzovať údaje, aplikovať číselné a štatistické metódy na podporu záverov, vysvetliť neočakávané výsledky, prezentovať výsledky experimentu, argumentovať a obhájiť výsledky experimentu pred odborným publikom. Orwat et al. (2014) publikovali schému bádateľských zručností, ktoré rozdelili do štyroch základných skupín: a) zručnosti plánovania, b) zručnosti realizácie experimentu, c) zručnosti formulovania záverov a hodnotenia výsledkov, d) zručnosti rozvíjané vo všetkých fázach bádania.

Tab. 1: Schéma bádateľských zručností (Balogová & Ješková, 2016, s. 75–76)

1. Formulácia problému a plánovanie	<p>1.1 Formulovať otázku/problém.</p> <p>1.2 Formulovať hypotézu, ktorá sa bude testovať.</p> <p>1.3 Napláňovať postup (identifikovať a definovať nezávislé a závislé premenné veličiny, vzájomný vzťah).</p> <p>1.4 Navrhnuť pozorovanie/postup meranie (aké pomôcky, aká zostava experimentu) pre každú premennú veličinu.</p> <p>1.5 Predpovedať výsledok experimentu.</p>
2. Realizácia/implementácia	<p>2.1 Manipulovať s pomôckami/softvérom.</p> <p>2.2 Pozorovať/merať.</p> <p>2.3 Zaznamenávať výsledky pozorovania a merania.</p> <p>2.4 Realizovať výpočty počas merania.</p> <p>2.5 Vysvetľovať alebo upravovať postupy.</p>
3. Analýza a interpretácia	<p>3.1 Transformovať výsledky do štandardných foriem (napr. grafy a tabuľky).</p> <p>3.2 Určovať vzťahy medzi premennými veličinami, napr. na základe grafov, tabuliek, dát v texte, funkčného predpisu.</p> <p>3.3 Určovať presnosť experimentálnych dát (identifikovať možné zdroje chýb).</p> <p>3.4 Porovnať dáta s hypotézou/predpoveďami.</p> <p>3.5 Diskutovať o obmedzeniach/predpokladoch realizovaného experimentálneho postupu.</p> <p>3.6 Zovšeobecniť výsledky.</p> <p>3.7 Formulovať nové otázky/problémy.</p> <p>3.8 Formulovať závery.</p>
4. Zdieľanie a prezentácia	<p>4.1 Zdieľať a prezentovať výsledky pred spolužiakmi.</p> <p>4.2 Diskutovať/obhajovať výsledky/argumentovať.</p> <p>4.3 Vypracovať formálnu správu/protokol o výsledkoch.</p>
5. Aplikácia a ďalšie využitie	<p>5.1 Predpovedať na základe výsledkov skúmania.</p> <p>5.2 Formulovať hypotézy na ďalšie skúmanie.</p> <p>5.3 Aplikovať experimentálne postupy na nové problémy.</p>

Wenning (2005) predstavil klasifikáciu bádateľských zručností založenú na vekovej kategórii a mentálnej úrovni žiakov. Na tomto princípe vymedzil elementárne, základné, integrované a pokročilé bádateľské zručnosti. Rozvíjanie elementárnych a základných zručností spája s objavným učením a interaktívnou demonštráciou. Integrované zručnosti ako napr. identifikovanie problému, ktorý sa bude skúmať, navrhovanie a vedenie vedeckého skúmania, komunikovanie a obhajovanie vedeckého argumentu, môžeme u žiakov rozvíjať prostredníctvom nasmerovaného bádania. Pokročilé zručnosti, medzi ktoré zaraďuje napr. riešenie komplexných reálnych problémov, syntetizovanie komplexných hypotetických vysvetlení, konštruovanie logických dôkazov, analýzu a hodnotenie vedeckých argumentov, možno rozvíjať hypotetickým skúmaním spojeným s rozvojom schopnosti aplikovať výsledky do reálneho života. Neskôr Wenning (2012) klasifi-

káciu doplnil o stredne pokročilé a kulminujúce bádateľské zručnosti. Stredne pokročilé zručnosti možno rozvíjať prostredníctvom riadeného bádania a sú spojené so zručnosťami merať, zbierať a zaznamenávať údaje, opisovať vzťahy a pod. Kulminujúce zručnosti spája s aplikáciami v reálnom svete, ktoré pozostávajú z dvoch typov riešenia problémov – riešenie problémov prezentovaných na konci kapitoly učebnice (aplikácia vedomostí na nové situácie) a vedenie autentického vyšetovania. Kulminujúce zručnosti zahŕňajú napríklad zručnosť zbierať, posudzovať a interpretovať údaje z rôznych zdrojov, tvoriť logické argumenty založené na vedeckých dôkazoch, objasniť hodnoty vo vzťahu k prírodným a občianskym právam.

Ješková et al. (2016) uvádza, že za charakteristické bádateľské zručnosti môžeme považovať tie, ktoré sú uplatňované v jednotlivých fázach bádania. Bádateľské zručnosti ale nie sú spojené len s využívaním metód a postupov prírodných vied (napríklad formulovanie hypotéz, zaznamenávanie dát, transformácia výsledkov do štandardných foriem, formulácia záverov atď.), ale aj s integráciou vedy do života. Integrácia vedy do života zahŕňa napríklad zhodnotenie dôveryhodnosti odborných zdrojov (informácií), porozumenie prvkom výskumu a stanovenie ich vplyvu na záver výskumu, ako aj zhodnotenie správneho a nesprávneho použitia informácií.

Wenning (2012) vo svojej štúdií poukazuje na opodstatnenie využívania bádateľských prístupov v edukačnom procese z hľadiska podpory prírodovednej gramotnosti, no zároveň upriamuje pozornosť na skutočnosť, že mnoho učiteľov je na ich aplikáciu nedostatočne pripravených. Schwartz a Crawford (2004) v tejto súvislosti uvádzajú, že pre efektívne využívanie bádateľského vyučovania je kľúčové, aby učitelia mali vlastné empirické skúsenosti s takýmto spôsobom výučby, ktoré by následne implementovali do svojho pedagogického pôsobenia. V praxi sa môžeme stretnúť s rôznymi modelmi aplikácie bádania do vyučovania (napr. Inquiry-Application Instructional Model), avšak ani existencia týchto modelov sama o sebe nezabezpečuje optimálny rozvoj bádateľských zručností študentov učiteľstva (Gunckel, 2011). Túto skutočnosť potvrdzujú aj niektoré výskumy (napr. Akerson et al., 2000; Ladachart & Yuenyong, 2015; Walag et al., 2020), ktoré poukázali na nedostatky v bádateľských zručnostiach učiteľov zabezpečujúcich výučbu prírodovedných predmetov na rôznych stupňoch vzdelávania. Rovnaké zistenia prezentujú aj výskumy zamerané na hodnotenie bádateľských zručností študentov učiteľstva prírodovedných predmetov. Suwono (2016) sa zameral na hodnotenie úrovne prírodovednej gramotnosti a bádateľských zručností študentov prvého a tretieho ročníka učiteľstva biológie v Indonézii. Bádateľské zručnosti študentov tretieho ročníka boli síce lepšie ako u študentov prvého ročníka, ale celkovú úroveň bádateľských zručností študentov autor vyhodnotil ako neuspokojivú, nakoľko mali problémy s analýzou a interpretáciou dát a kritickým myslením. Čipková a Karolčík (2018) zase zistili, že študenti učiteľstva biológie na Univerzite Komenského v Bratislave majú nedostatočnú úroveň bádateľských zručností, ktoré sú spojené s plánovaním a realizáciou experimentu.

Na nedostatočnú úroveň bádateľských zručností poukázal aj Čelik (2014), ktorý na základe analýzy získaných dát od študentov učiteľstva chémie zistil, že sú pomerne dobre pripravení na zabezpečenie výučby z hľadiska teoretických poznatkov. Zistenú úroveň prírodovednej gramotnosti z hľadiska implementácie vedeckého bádania vyhodnotil ako nedostatočnú. Silay a Čelik (2013) sa zamerali na porovnanie bádateľských zručností študentov učiteľstva biológie, fyziky a chémie. Na základe celkového vyhodnotenia získaných dát autori zistili priemernú úroveň bádateľských zručností a zároveň nižšiu úroveň bádateľských zručností študentov učiteľstva biológie v porovnaní so študentmi učiteľstva fyziky a chémie. Čipková et al. (2018) porovnávali úroveň prírodovednej gramotnosti študentov bakalárskeho štúdia vedeckých a učiteľských študijných programov na Prírodovedeckej fakulte UK v Bratislave. Výsledky poukázali na problémy študentov učiteľstva v oblastiach zameraných na tvorbu grafov, porozumenie prvkom výskumu a porozumenie základov štatistiky.

Erkol a Ugulu (2014) zistili, že z hľadiska úrovne bádateľských zručností študentov učiteľstva biológie nezohráva významnú úlohu vek a pohlavie študenta, ale obdobie, v ktorom sa začalo s cieľným rozvojom bádateľských zručností. Preto je potrebné žiakom a študentom čo najskôr poskytnúť príležitosti pre skúmanie a konštrukciu vedeckých tvrdení založených na dôkazoch, ale aj na následné zdôvodňovanie týchto tvrdení, či už v skupine alebo pred širšou komunitou odborníkov (Hofstein & Lunetta, 2004).

Na Slovensku a v Českej republike sa venuje pozornosť najmä problematike využitia a dopadov bádateľsky orientovaného vyučovania na základnej škole (napr. Ryplová & Řeháková, 2011; Škoda et al., 2015; Vácha & Ditrich, 2016; Rokos & Vomáčková, 2017; Kekule et al., 2017) a gymnáziu (Ješková et al., 2016; Čipková et al., 2017a; Čipková et al., 2017b; Radvanová et al., 2019). Aj v oblasti pregraduálnej prípravy študentov učiteľstva je venovaná pozornosť efektívnosti bádateľského vyučovania a postojom študentov k tomuto prístupu vo vzdelávaní. Výskum Stuchlíkovej (2010) ukázal, že študenti učiteľstva biológie PF JU sa s touto formou výuky stretli v rámci pregraduálnej prípravy len v rozsahu, ktorý možno v percentách vyjadriť číslom 20,3 %. Podľa zistení výskumu Trnu a Trnovej (2016) práve implementácia bádateľsky orientovaného vyučovania do pregraduálnej prípravy študentov učiteľstva môže zlepšiť kvalitu odborných pedagogických kompetencií študentov a zvýšiť ich motiváciu. K podobným záverom dospeli

aj Sotáková et al. (2017), ktorí zistili, že vzdelávanie študentov učiteľstva chémie pre bádateľsky orientované vyučovanie zvýšilo úroveň porozumenia študentov princípom bádateľsky orientovaného vyučovania a zároveň ovplyvnilo aj ich názory na tento prístup vo vyučovaní.

3 Cieľ výskumu a výskumné otázky

Bádateľské zručnosti prispievajú k rozvoju schopností porozumieť najúčinniejšiemu spôsobu využívania vedeckých poznatkov v každodennom živote a spoločenskej zodpovednosti (Dragoş & Mih, 2015). Snaha o integráciu bádania do vyučovacieho procesu zvyšuje požiadavky na pregraduálnu prípravu učiteľov biológie, v rámci ktorej je potrebné venovať pozornosť spôsobom, akým možno integrovať bádanie do vyučovania prírodných vied, ako aj rozvíjaniu bádateľských zručností študentov tak, aby dokázali s istotou aplikovať svoje vedomosti a zručnosti pri projektovaní a realizovaní vyučovania. Preto cieľom výskumu bolo zistiť úroveň bádateľských zručností študentov učiteľstva biológie po ukončení bakalárskeho stupňa štúdia, ktoré je zamerané najmä na získanie vedomostí z jednotlivých vedných disciplín biológie aj prostredníctvom realizácie vedeckého bádania. Na základe identifikácie nízkej úrovne bádateľských zručností možno upraviť nie len obsah štúdia odborných predmetov, ale v magisterskom stupni štúdia aj didaktickú prípravu študentov učiteľstva tak, aby si osvojili bádateľské zručnosti definované v Štátnom vzdelávacom programe biológie platnom v Slovenskej republike (Štátny pedagogický ústav, 2015c) na požadovanej úrovni. Realizáciou výskumu sme sa zamerali na zodpovedanie nasledujúcich výskumných otázok:

- Aká je úroveň bádateľských zručností študentov učiteľstva biológie po ukončení bakalárskeho stupňa štúdia?
- Majú študenti učiteľstva biológie v kombinácii s iným prírodovedným predmetom lepšie rozvinuté bádateľské zručnosti ako študenti v kombinácii so spoločenskovedným predmetom?

4 Metodológia

4.1 Výskumný súbor

Výskumný súbor tvorilo 87 študentov (76 žien a 11 mužov) na začiatku prvého ročníka magisterského stupňa štúdia učiteľstva biológie na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave. Títo študenti si zvolili dvojodborové štúdium biológie v kombinácii s predmetmi chémia ($N = 23$), matematika ($N = 3$), environmentálna výchova ($N = 1$), geografia ($N = 16$), slovenský jazyk ($N = 11$), anglický jazyk ($N = 6$), francúzsky jazyk ($N = 1$), nemecký jazyk ($N = 1$), španielsky jazyk ($N = 1$), pedagogika ($N = 4$), psychológia ($N = 5$), občianska náuka ($N = 5$), hudobná výchova ($N = 1$), telesná výchova ($N = 7$) alebo výtvarná výchova ($N = 2$). Pre potreby výskumu sme výskumný súbor rozdelili do troch skupín na základe zaradenia druhého aprobačného predmetu do vzdelávacej oblasti podľa Štátneho vzdelávacieho programu platného v Slovenskej republike (Štátny pedagogický ústav, 2015c). Prvú skupinu tvorilo 27 študentov biológie v kombinácii s predmetom STEM, ktorý je možné zaradiť do vzdelávacích oblastí Človek a príroda a Matematika a práca s informáciami (predmety chémia, matematika a environmentálna výchova). Druhú skupinu tvorilo 29 študentov biológie v kombinácii s predmetmi zameranými na oblasť komunikácie, ktoré patria do vzdelávacej oblasti Človek a komunikácia (predmety anglický jazyk, francúzsky jazyk, nemecký jazyk, slovenský jazyk, španielsky jazyk, pedagogika a psychológia). Poslednú skupinu predstavovalo 31 študentov, ktorých druhý aprobačný predmet sa zameriava na spoločnosť a výchovu. Ten je možné zaradiť do vzdelávacích oblastí Človek a spoločnosť, Umenie a kultúra, Zdravie a pohyb (geografia, občianska náuka, hudobná výchova, telesná výchova, výtvarná výchova).

Všetci študenti zapojení do výskumu absolvovali odbornú pregraduálnu prípravu z biológie, ktorá zahŕňala aj cvičenia v špeciálnych laboratóriách a terénne práce zamerané na získanie a rozvoj zručností spojených s realizáciou základných vedeckých metód a postupov pri práci v biologickom laboratóriu a teréne. Študenti učiteľstva biológie v kombinácii s prírodovednými predmetmi na rozdiel od študentov študujúcich učiteľstvo biológie v kombinácii s humanitnými predmetmi absolvovali v rámci štúdia aj laboratórne cvičenia a terénne práce z druhého aprobačného predmetu, čo vedie k predpokladu, že mali viac príležitostí pre získanie a rozvoj zručností potrebných pre aplikáciu vedeckých metód a postupov pri riešení prírodovedných problémov.

4.2 Výskumný nástroj

Jedným z najčastejšie využívaných nástrojov na zistenie úrovne bádateľských zručností je test s otvorenými alebo uzavretými položkami, prípadne ich kombináciou. Na zistenie úrovne bádateľských zručností

študentov učiteľstva biológie v kombinácii s ďalšími predmetmi sme využili výskumný nástroj v podobe testu vlastnej konštrukcie. Test obsahoval výlučne uzavreté položky, nakoľko pri ich vyhodnocovaní sa znižuje subjektívna úloha hodnotiteľa, a teda vyhodnotenie takéhoto testu môžeme považovať za objektívnejšie. Na strane druhej, získaný výsledok z testu s uzatvorenými položkami môže byť ovplyvnený možnosťou uhádnutia správnej odpovede (Karolčík, 2012). Takto koncipovaný zároveň meria len deklaratívnu úroveň bádateľských zručností a nie ich hĺbku.

Pre test vlastnej konštrukcie sme sa rozhodli z dôvodu, že sme do jeho obsahu chceli zahrnúť zručnosti, ktorých rozvíjanie požaduje Štátny vzdelávací program platný v Slovenskej republike (Štátny pedagogický ústav, 2015c). Vytvára to predpoklad, aby aj učitelia, ktorí sú zodpovední za projektovanie a realizáciu vzdelávacieho procesu, mali tieto zručnosti na primeranej úrovni. Test sa zameriaval na bádateľské zručnosti v dvoch základných oblastiach bádateľských zručností:

- a) metódy a postupy prírodných vied, ktoré sú využívané v jednotlivých fázach bádania,
- b) integrácia vedy do rôznych oblastí ľudských činností a životných situácií.

Pri konštrukcii testu sme vychádzali z odporúčaní Wenninga (2007). V prvom kroku sme v skúmaných oblastiach vymedzili súbor jedenástich konkrétnych zručností (tab. 2), ktorými by učitelia biológie mali disponovať. Výber zručností bol limitovaný aj rozhodnutím, že test bude obsahovať len uzavreté položky. Následne sme skonštruovali uzavreté položky s jednou správnou odpoveďou. Na meranie každej zručnosti sme vytvorili dve položky, ktoré zahŕňali len príklady experimentov a situácií z biológie (Burns et al., 1985; Wenning, 2007; Hegedúsová, 2010; Gormally et al., 2012; Čipková et al., 2014; Pecníková, 2018). Pri formulácii jednotlivých položiek sme sa zamerali aj na problémy, ktoré vo svojom výskume identifikovali Čipková a Karolčík (2018).

Tab. 2: Skúmané bádateľské zručnosti

Oblasť	Zručnosť
Metódy a postupy prírodných vied	formulovať hypotézu (rozlíšiť výskumnú otázku a hypotézu, definovať premenné, určiť počet premenných)
	naplánovať postup (určiť premenné veličiny, rozlíšiť nezávislé a závislé premenné veličiny, určiť závislú premennú veličinu)
	zaznamenávať výsledky pozorovania a merania (konštruovanie tabuľky a grafu, označenie osí x a y na grafe)
	transformovať výsledky do štandardných foriem (určiť vhodný graf pre grafické znázornenie dát, určiť správny graf zobrazujúci hodnoty uvedené v tabuľke)
	formulovať závery (formulovať záver na základe údajov poskytnutých v tabuľke a v grafe)
	určovať vzťahy medzi premennými veličinami (na základe grafu určiť vzťah medzi premennými)
	realizovať výpočty (matematické zručnosti/aplikovanie priamej úmernosti pri výpočte, význam štatistiky/určiť štatistickú analýzu ako najvhodnejší spôsob overenia hypotézy)
	určovať presnosť experimentálnych dát (identifikovať možné zdroje chýb pri meraní)
	Integrácia vedy do života
porozumieť prvkom výskumu a stanoviť ich vplyv na záver výskumu (hodnotiť štruktúru a veľkosť výskumnej vzorky, výber respondentov a zber dát)	
zhodnotiť správne a nesprávne použitie informácií (korektné použitie vedy pre spoločenské účely)	

Administrovaný test obsahoval celkovo 22 uzavretých testovacích položiek s jednou správnou odpoveďou (obr. 1). Pre oblasť „Metódy a postupy prírodných vied“ bolo skonštruovaných 16 položiek a pre oblasť „Integrácia vedy do života“ 6 položiek. Súčasťou tvorby výskumného nástroja bol aj predvýskum, ktorého zámerom bolo overiť zrozumiteľnosť jednotlivých položiek testu. V priebehu predvýskumu bol test administrovaný vybranej malej skupine študentov s cieľom identifikácie položiek, ktorých nevhodná formulácia by mohla viesť k nesprávnej odpovedi. Táto skupina bola z následného testovania vylúčená. Na základe údajov z predvýskumu došlo k finálnej úprave testu. Test bol administrovaný študentom na úvodnom cvičení v rámci vyučovania povinného predmetu Didaktika školských pokusov z biológie na začiatku semestra 1. ročníka magisterského štúdia. Študenti neboli vopred oboznámení o testovaní. Administrácia testu trvala 45 minút. Za správnu odpoveď bol udelený jeden bod a za nesprávnu odpoveď nula bodov.

Reliabilitu administrovaného testu sme zisťovali prostredníctvom Kuder-Richardsonovho vzorca č. 20 (KR20), ktorý je vhodný pre dichotomické položky (Kuder & Richardson, 1937). Reliabilita dosiahla hodnotu 0,573 a podľa autorov Christmann a Van Aelst (2006) môžeme administrovaný výskumný nástroj považovať za spoľahlivý. Validita testu bola zabezpečená posúdením tromi expertmi (Prokša et al., 2008).

17. Zaujíma nás, či konzumácia kávy zvyšuje krvný tlak a ak áno, či sa krvný tlak zvýši rovnako u človeka, ktorý pravidelne pije kávu alebo iné kofeínové nápoje ako u človeka, ktorý tieto nápoje vôbec nepije. Pre zistenie tejto závislosti sme uskutočnili meranie. Krvný tlak vyjadrujú dve hodnoty, a to systolický tlak (srdcový sval sa stiahne a krv je vypudzovaná zo srdca) a diastolický tlak (srdcový sval sa uvoľní a srdce sa naplňa krvou). Označte tabuľku, ktorá je vhodná pre zaznamenanie údajov.

- a) Tabuľka A
- b) Tabuľka B
- c) Tabuľka C
- d) Tabuľka D

A

	Krvný tlak [mmHg]	
	Pravidelný konzument kávy	Nekonzument kávy
Pred vypitím kávy		
Po vypití kávy		

B

	Krvný tlak [mmHg]	
	Pravidelný konzument kávy	Nekonzument kávy
Systolický tlak		
Diastolický tlak		

C

	Krvný tlak [mmHg]	
	Systolický tlak	Diastolický tlak
Pred vypitím kávy		
Po vypití kávy		

D

	Krvný tlak [mmHg]	
Pred vypitím kávy		
Po vypití kávy		

E

Krvný tlak [mmHg]		Konzument kávy	Nekonzument kávy
	Systolický tlak		
	Diastolický tlak		

Obr. 1: Ukážka testovacej položky

4.3 Analýza získaných dat

V rámci analýzy sme výskumný súbor rozdelili na tri výskumné podsúbory. Na zistenie normality sme využili Shapiro-Wilkov test. Na základe testu normality sme pre porovnanie výsledkov využili analýzu rozptylu (ANOVA), ktorá testuje, či sa priemery závislej premennej štatisticky významne líšia medzi tromi a viac skupinami. Neparametrickou alternatívou analýzy rozptylu je Kruskal-Wallisov test, ktorý testuje zhodu výberových distribučných funkcií porovnávaných súborov s tým, že kľúčovým predpokladom je nezávislosť pozorovaných hodnôt (Anděl, 2005).

5 Výsledky

5.1 Úroveň bádateľských zručností študentov

Celkové skóre, ktoré mohli študenti v teste získať, bolo 22 bodov. Maximálne dosiahnuté skóre bolo 21 bodov a minimálne 8 bodov. Medián aj priemer boli na úrovni 15 bodov ($SD = 2,99$).

Percentuálne lepšie skóre dosiahli študenti v rámci oblasti integrácie vedy do života ($I = 75 \%$), ako v oblasti metódy a postupy prírodných vied ($I = 66 \%$). Tieto zručnosti sú úzko spojené so schopnosťou jednotlivca robiť informované osobné rozhodnutia o veciach, ktoré zahŕňajú vedu (ako napr. zdravie, ochrana prostredia a pod.) a čítať, porozumieť a kriticky hodnotiť vedecké informácie publikované v časopisoch a médiách.

Z hľadiska hodnotenia jednotlivých zručností (tab. 3) dosiahli študenti najlepšie skóre pri realizácii výpočtov ($I = 97 \%$), kedy sa od nich vyžadovalo využitie matematických zručností (položka 6) a základov štatistiky (položka 11) a pri hodnotení správneho a nesprávneho použitia informácií ($I = 81 \%$). Naopak, najnižšie skóre dosiahli pri položkách zameraných na problematiku naplánovania postupu ($I = 46 \%$)

Tab. 3: Úspešnosť študentov v sledovaných oblastiach bádateľských zručností

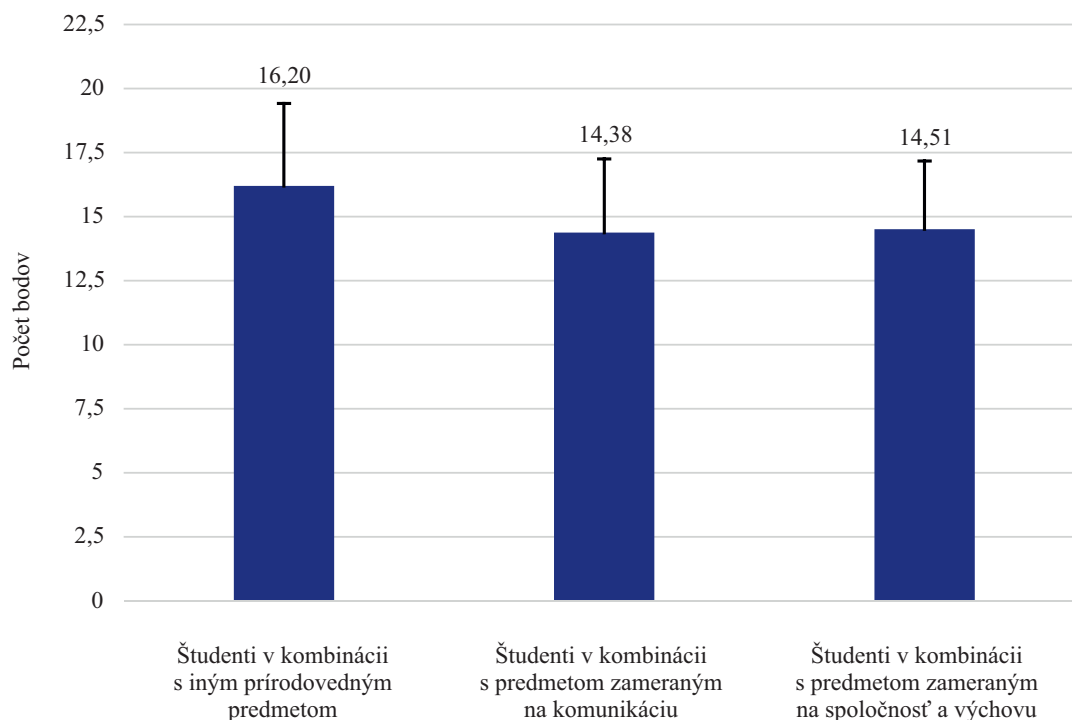
Oblasť	Zručnosť	Položka	Úspešnosť pre položku (%)	Úspešnosť pre spôsobilosť (%)	Úspešnosť pre oblasť (%)
Metódy a postupy prírodných vied	1	Naplánovať postup	3	46	46
			14	46	
	2	Formulovať hypotézu	2	79	70
			18	60	
	3	Zaznamenávať výsledky pozorovania a merania	5	89	70
			17	52	
	4	Transformovať výsledky do štandardných foriem	4	69	60
			19	51	
5	Formulovať závery	8	45	61	
		20	77		
6	Realizovať výpočty	6	97	97	
		11	98		
7	Určovať vzťahy medzi premennými veličinami	10	75	77	
		15	79		
8	Určovať presnosť experimentálnych dát	1	36	46	
		22	56		
Integrácia vedy do života	9	Zhodnotiť správne a nesprávne použitie informácií	9	77	81
			21	86	
	10	Zhodnotiť dôveryhodnosť literatúry	16	94	74
			12	53	
11	Porozumieť prvkom výskumu a stanoviť ich vplyv na záver výskumu	7	84	68	
		13	53		

a určovanie presnosti experimentálnych dát ($I = 46\%$), kedy mali študenti problém s výberom faktorov, ktoré ovplyvňujú výsledok experimentu (položka 1). Položky zamerané na naplánovanie postupu boli koncipované do podoby úloh, v ktorých študenti na základe opisu experimentu mali zvoliť závislú premennú z ponúknutých možností (položky 3 a 14). Študenti pri oboch položkách vo väčšine prípadov zvolili odpoveď, ktorá predstavovala nezávislú premennú. Získané údaje nás vedú k záveru, že študenti majú pri experimente problém s rozlíšením závislej a nezávislej premennej.

Každý z vybraných zručností v teste boli priradené dve testovacie položky. Ako vyplýva z údajov v tab. 3, pri niektorých zručnostiach sme zaznamenali značnú variabilitu medzi položkami. Ako príklad môžeme uviesť zručnosť v oblasti zaznamenávania výsledkov pozorovania a merania. V tomto prípade študenti pri položke 5 zameranej na označenie veličín v grafe dosiahli úspešnosť 89 %, zatiaľ čo pri položke 17 orientovanej na výber vhodnej tabuľky na zaznamenanie údajov z výskumu (obr. 1) dosiahli úspešnosť 52 %. Najvýraznejšiu variabilitu v rámci dvoch testovacích položiek sme zaznamenali pri zručnosti zhodnotiť dôveryhodnosť literatúry. V prvej položke (položka 16), pri ktorej mali študenti vybrať, či uvedené informácie z internetu sú dostatočne relevantné, uviedlo správnu odpoveď 94 % študentov. Tento výsledok považujeme za dobrý, nakoľko väčšina študentov dokázala kriticky zhodnotiť správnosť či nesprávnosť použitia vedeckých informácií pre spoločenské účely. Na druhú položku (položka 12) správnu odpoveď uviedlo len 53 % študentov. Študenti mali vybrať, ktorý faktor je významný z hľadiska posúdenia dôveryhodnosti textu publikovaného v časopise alebo v médiách. Na základe analýzy položky sme zistili, že študenti hodnotia dôveryhodnosť textu predovšetkým na základe prítomnosti odkazov na iné zdroje literatúry a nie na základe recenzie článku nezávislými odborníkmi.

5.2 Úroveň bádateľských zručností študentov vzhľadom na druhý aprobačný predmet

Pri analýze získaných údajov sme sa zamerali aj na porovnanie rozdielov v úrovni bádateľských zručností študentov biológie z hľadiska ich druhého aprobačného predmetu. Kým skupina študentov v kombinácii s iným prírodovedným predmetom získala v priemere 16,22 bodov ($SD = 3,21$), tak študenti v kombinácii s predmetom zameraným na spoločnosť a výchovu 14,51 ($SD = 2,63$) a skupina študentov v kombinácii s predmetom zameraným na komunikáciu 14,38 bodov ($SD = 2,90$) (graf 1). Štatistická analýza prostredníctvom Kruskal-Wallisovho testu potvrdila štatisticky významné rozdiely medzi jednotlivými skupinami pri hladine spoľahlivosti 95,0 % ($KW = 7,41$; $p = 0,025$). Následný post hoc test ukázal, že študenti učiteľstva biológie v kombinácii s iným prírodovedným predmetom riešili test štatisticky významne lepšie ako študenti učiteľstva biológie v kombinácii s predmetom zameraným na spoločnosť a výchovu a s predmetom zameraným na komunikáciu.



Graf 1: Priemerný počet bodov v podskupinách výskumného súboru

Analýza položiek zoskupených do oblasti metódy a postupy prírodných vied ($KW = 7,05$; $p = 0,029$) a integrácia vedy do života ($KW = 7,04$; $p = 0,03$) poukázala na štatisticky významné rozdiely medzi podskupinami výskumného súboru. V prípade integrácie vedy do života sme zistili, že študenti učiteľstva biológie v kombinácii s iným prírodovedným predmetom riešili položky uvedenej oblasti štatisticky významne lepšie ako študenti učiteľstva biológie v kombinácii s predmetom zameraným na spoločnosť a výchovu. Úspešnosť študentov v kombinácii s prírodovedným predmetom bola 53 %, úspešnosť študentov v kombinácii s predmetom zameraným na spoločnosť a výchovu bola 36 %. Pri oblasti metódy a postupy prírodných vied sme zaznamenali štatisticky významné rozdiely v prípade skupiny študentov učiteľstva biológie v kombinácii s iným prírodovedným predmetom a skupiny študentov učiteľstva biológie v kombinácii s predmetom zameraným na komunikáciu, ktoré boli v prospech prvej uvedenej skupiny. Študenti v kombinácii s iným prírodovedným predmetom dosiahli percentuálnu úspešnosť 56 % a študenti v kombinácii s predmetom zameraným na komunikáciu 37 %.

Pri porovnaní výsledkov riešenia položiek testu zoskupených do skúmaných zručností sme zistili štatisticky významné rozdiely medzi študentami pri dvoch skúmaných zručnostiach (tab. 4).

Tab. 4: Štatistické vyhodnotenie jednotlivých zručností

Oblasť	Zručnosť	Študenti v kombinácii s iným prírodovedným predmetom			Študenti v kombinácii s predmetom zameraným na komunikáciu			Študenti v kombinácii s predmetom zameraným na spoločnosť a výchovu			test (F/KW)	p
		I (%)	X	SD	I (%)	X	SD	I (%)	X	SD		
Metódy a postupy prírodných vied	1	48	1,52	0,51	40	1,24	0,79	44	1,42	0,56	1,57	0,456
	2*	53	1,26	0,94	36	0,62	0,78	44	0,90	0,87	3,83	0,026
	3	43	1,41	0,50	47	1,45	0,69	42	1,35	0,61	0,65	0,721
	4	43	1,19	0,56	44	1,17	0,71	45	1,23	0,69	0,06	0,946
	5	52	1,44	0,75	44	1,24	0,69	37	1,00	0,73	5,73	0,057
	6	43	1,52	0,64	44	1,55	0,57	45	1,55	0,68	0,10	0,949
	7	45	1,96	0,19	47	2,00	0,00	41	1,87	0,34	4,85	0,089
	8*	56	1,30	0,67	35	0,62	0,62	42	0,87	0,76	6,83	0,002
Integrácia vedy do života	9	47	1,56	0,51	49	1,62	0,49	37	1,26	0,68	5,16	0,076
	10	42	1,33	0,62	41	1,28	0,70	48	1,58	0,63	0,82	0,443
	11	45	1,67	0,48	45	1,66	0,48	42	1,58	0,56	0,30	0,860

* $p < 0,05$ (štatisticky významný rozdiel)

Prvá skúmaná zručnosť (zručnosť 2, položky 2 a 18), pri ktorej sme zaznamenali štatisticky významné rozdiely, sa zameriavala na problematiku plánovania postupu experimentu s ohľadom na schopnosť identifikovať závislé a nezávislé premenné veličiny ($F = 3,83$, $p = 0,026$). Následný post hoc test ukázal štatisticky významný rozdiel medzi študentmi učiteľstva biológie v kombinácii s iným prírodovedným predmetom, kde správnu odpoveď uviedlo 53 %, a skupinou študentov učiteľstva biológie v kombinácii s predmetom zameraným na komunikáciu, v ktorej správne odpovedalo 36 % opýtaných.

Druhá zručnosť (zručnosť 8) so zaznamenaným štatisticky významným rozdielom skúmala zručnosť študentov určovať presnosť experimentálnych dát s cieľom identifikácie možných zdrojov chýb ($F = 6,83$, $p = 0,002$). Položky 10 a 21 boli skonštruované do podoby úloh, pri ktorých študenti identifikovali faktory, ktoré determinovali výsledky realizovaného experimentu. Štatisticky významný rozdiel sme zaznamenali v prípade študentov učiteľstva biológie v kombinácii s iným prírodovedným predmetom ($I = 56$ %) a študentov učiteľstva biológie v kombinácii s predmetom zameraným na komunikáciu ($I = 35$ %).

6 Diskusia

Niektoré výskumy (napr. Melville et al., 2017; Duncan et al., 2010) naznačujú, že implementácia bádateľsky orientovaného vyučovania do vzdelávania je priamo závislá od bádateľských zručností učiteľa a jeho vlastných skúseností s bádáním. Rozvoj bádateľských zručností nie je možné zabezpečiť prostredníctvom ojedinele implementovaných vzdelávacích aktivít, ale systematickým a cieľovým plánovaním praktických cvičení, pri ktorých má vzdelávaný možnosť využívať metódy a postupy vedeckej práce a dostáva priestor na integráciu získaných vedeckých poznatkov do praktického života. S ohľadom na túto skutočnosť je vhodné, aby študenti učiteľstva biológie v priebehu svojej prípravy na pedagogickú prax dostali priestor na rozvíjanie bádateľských zručností prostredníctvom realizácie vedeckého bádania. Práve prakticky nadobudnuté skúsenosti s vedeckým bádáním môžu nie len rozvíjať bádateľské zručnosti študentov učiteľstva, ale aj ich postoje k takémuto spôsobu projektovania a realizácie vzdelávacieho procesu.

Výsledky realizovaného výskumu poukázali na nedostatočnú úroveň bádateľských zručností študentov učiteľstva biológie na Prírodovedeckej fakulte UK, čo potvrdzuje zistenia výskumov realizovaných v predchádzajúcom období na vzorke študentov učiteľstva prírodných vied (Silay & Çelik, 2013; Çelik, 2014; Suwono, 2016; Čipková & Karolčík, 2018). Problémy študentov sme identifikovali najmä s riešením úloh zameraných na plánovanie postupu, určovanie presnosti experimentálnych dát, transformovanie výsledkov do štandardných foriem a formulovanie záverov. Z hľadiska bádateľsky orientovaného vyučovania ide o kľúčové zručnosti a ich nízka úroveň môže negatívne ovplyvňovať implementáciu tejto koncepcie do vyučovania prírodovedných predmetov. Suwono (2016) na základe získaných výsledkov zistil, že študenti majú najväčšie problémy s interpretáciou získaných dát. Na základe nami získaných výsledkov môžeme konštatovať, že študenti učiteľstva biológie na Prírodovedeckej fakulte UK riešili úlohy spojené s formuláciou záverov na priemernej úrovni. Percentuálne najvyššie skóre sme, podobne ako Čipková a Karolčík (2018), zaznamenali pri úlohách zameraných na matematické zručnosti a pochopenie nevyhnutnosti štatistického spracovania dát.

Zistenia výskumu naznačujú, že existujú štatisticky významné rozdiely v úrovni bádateľských zručností medzi študentmi učiteľstva biológie na Prírodovedeckej fakulte UK v závislosti od druhého aprobačného predmetu. Na rozdiel od výskumu Čipkovej a Karolčíka (2018) sme zistili, že študenti učiteľstva biológie v kombinácii s iným prírodovedným predmetom dosiahli štatisticky významne lepšie výsledky v oblasti integrácie vedy do života a využívania metód a postupov prírodných vied v porovnaní so študentmi učiteľstva biológie v kombinácii s predmetom zameraným na komunikáciu a na spoločnosť a výchovu. Vyššia úspešnosť riešenia úloh u študentov učiteľstva biológie v kombinácii s iným prírodovedným predmetom môže byť ovplyvnená rozvíjaním zručností spojených s využívaním metód a postupov prírodných vied v rámci pregraduálnej prípravy v oboch študovaných odborných predmetoch. K rovnakému názoru dospeli aj Erkol a Ugulu (2014), ktorí navrhujú do pregraduálnej prípravy študentov učiteľstva biológie zaradiť prvky argumentácie, pozorovania a experimentovania, ktoré by vo väčšej miere podporili rozvoj bádateľských zručností študentov v kombinácii s humanitným predmetom.

7 Záver

Na podklade výsledkov výskumu zameraného na jedenásť vybraných bádateľských zručností z oblasti integrácie vedy do života a metód a postupov prírodných vied sme zistili niekoľko problémových oblastí z hľadiska úrovne bádateľských zručností študentov učiteľstva biológie na Prírodovedeckej fakulte UK po ukončení bakalárskeho stupňa štúdia. Za najvýraznejší problém môžeme považovať nízku úroveň zručností spojených s plánovaním postupu a určovaním presnosti experimentálnych dát. Pomerne nízku úroveň sme zaznamenali aj v zručnostiach spojených s transformáciou výsledkov do tabuľky alebo grafu a formuláciou

záverov. Na druhej strane, študenti majú pomerne dobre rozvinuté zručnosti spojené s realizáciou výpočtov, ako aj zručnosti zamerané na správne a nesprávne použitie vedeckých informácií. Príčin pomerne nízkej úrovne rozvoja skúmaných bádateľských zručností študentov môže byť viacero. Jednou z nich môže byť aj absencia vedeckého bádania a systematického plánovania, realizovania a hodnotenia bádateľských aktivít v odbornej pregraduálnej príprave študentov učiteľstva na bakalárskom stupni štúdia.

Nízka úroveň zručností spojených metódami a postupmi prírodných vied, a to najmä pri plánovaní a realizácii výskumu, pretrváva u študentov aj v magisterskom stupni štúdia (Čipková & Karolčík, 2018), ktoré je svojim obsahom zamerané na získanie didaktických zručností a poskytuje veľmi málo priestoru na rozvíjanie vlastných bádateľských zručností študentov. Práve prostredníctvom systematického rozvoja bádateľských zručností v pregraduálnej príprave môžeme docieľiť nie len zvýšenie úrovne bádateľských zručností učiteľov, ale aj podporiť ich záujem o využívanie bádania v rámci svojej budúcej praxe. Banchi a Bell (2008) zdôrazňujú, že študenti potrebujú zažiť vedu prostredníctvom priamej skúsenosti, dôsledným precvičovaním bádateľských zručností a hľadaním hlbšieho porozumenia prírodovedného obsahu prostredníctvom skúmania.

8 Limity výskumu

Musíme zdôrazniť, že dáta v našom výskume boli získané len z jednej univerzity na Slovensku, preto aj výskumnú vzorku tvoril pomerne malý výskumný súbor študentov prvého ročníka magisterského stupňa štúdia učiteľstva biológie v kombinácii ($N = 87$). To nám neumožňuje generalizovať naše zistenia pre všetkých študentov učiteľských programov biológie v kombinácii s iným predmetom na slovenských vysokých školách.

Literatúra

- Akerson, V. L., Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Influence of a reflective explicit activity-based approach on elementary teachers' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 37(4), 295–317.
- Anděl, J. (2005). *Základy matematické statistiky*. Praha: Matfyzpress.
- Balogová, B., & Ješková, Z. (2016). Analýza bádateľských aktivít. *Tvorivý učiteľ fyziky*, 8(1), 14–21.
- Banchi, H., & Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children*, 46(2), 26–29. <http://www.jstor.org/stable/43174976>
- Burns, J. C., Okey, J. R., & Wise, K. C. (1985). Development of an integrated process skill test: TIPS II. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(2), 169–177.
- Çelik, P. (2014). Classroom strategies of Turkish EFL teachers in managing cultural diversity. In P. Romanowski (Ed.), *Intercultural issues in the era of globalization* (pp. 32–46). Wydawnictwo Naukowe, University of Warsaw.
- Čipková, E., Balážová, Z., & Karolčík, Š. (2017a). Rozvíjanie prírodovednej gramotnosti žiakov gymnázia prostredníctvom bádateľského orientovaného vyučovania. *Biologie – Chemie – Zeměpis*, 26(2), 2–10.
- Čipková, E., Karolčík, Š., & Žarnovičan, H. (2014). *Bádateľsky orientované vyučovanie s využitím počítačom podporovaného prírodovedného laboratória*. Univerzita Komenského.
- Čipková, E., & Karolčík, Š. (2018). Assessing of scientific inquiry skills achieved by future biology teachers. *Chemistry – Didactics – Ecology – Metrology*, 23(1–2), 71–80. <https://doi.org/10.1515/cdem-2018-0004>
- Čipková, E., Karolčík, Š., Sládková, K., & Ušáková, K. (2018). What is the level of scientific literacy among geography students studying bachelor's studies in natural sciences?. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 27(4), 295–310. <https://doi.org/10.1080/10382046.2017.1389044>
- Čipková, E., Karolčík, Š., & Vörösová, N. (2017b). Korekcia miskoncepcií žiakov o fotosyntéze a dýchaní rastlín prostredníctvom bádateľsky orientovaného vyučovania. *Biologie – Chemie – Zeměpis*, 26(3), 24–34.
- Dragoş, V., & Mih, V. (2015). Scientific literacy in school. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 209, 167–172.
- Duncan, R., Pilitsis, V., & Piegario, M. (2010). Development of preservice teachers' ability to critique and adapt inquiry-based instructional materials. *Journal of Science Teacher Education*, 21, 81–102. <https://doi.org/10.1007/s10972-009-9153-8>
- Erkol, S., & Ugulu, I. (2014). Examining biology teachers candidates' scientific process skill levels and comparing these levels in terms of various variables. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 116(1), 4742–4747. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1019>

- European Commission. (2007). *Science education NOW: A renewed pedagogy for the future of Europe*. European Commission.
- Fradd, S. H., Lee, O., Sutman, F. X., & Saxton, M. K. (2001). Promoting science literacy with English language learners through instructional materials development: A case study. *Bilingual Research Journal*, 25(4), 417–439. <https://doi.org/10.1080/15235882.2001.11074464>
- Fuhrman, M. (1978). *Development of a laboratory structure and task analysis inventory and an analysis of selected chemistry curricula* [Unpublished master's thesis]. University of Iowa.
- García-Carmona, A., Criado, A. M., & Cruz-Guzmán, M. (2017). Primary pre-service teachers' skills in planning a guided scientific inquiry. *Science Education*, 47(5), 989–1010. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9536-8>
- Gormally, C., Brickman, P., & Lutz, M. (2012). Developing a test of scientific literacy skills (TOSLS): Measuring undergraduates' evaluation of scientific information and arguments. *CBE—Life Sciences Education*, 11(4), 364–377. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-03-0026>
- Gunckel, K. (2011). Mediators of a preservice teacher's use of the inquiry-application instructional model. *Journal of Science Teacher Education*, 22(1), 79–100. <https://doi.org/10.1007/s10972-010-9223-y>
- Hegedúsová, R. (2010). *Návrh didaktického manuálu k učivu „Život a voda“ pre 1. ročník gymnázií*. Prirodovedecká fakulta UK.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Christmann, A., & Van Aelst, S. (2006). Robust estimation of Cronbach's alpha. *Journal of Multivariate Analysis*, 97(7), 1660–1674. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2005.05.012>
- Ješková, Z., Lukáč, S., Šnajder, L., Guniš, J., Balogová, B., & Kireš, M. (2016). Hodnotenie bádateľských zručností žiakov gymnázia. *Scientia in educatione*, 7(2), 48–70. <https://doi.org/10.14712/18047106.350>
- Karolčík, Š. (2012). *Základy tvorby a využitia didaktických testov a interaktívnych cvičení vo vyučovaní geografie*. Univerzita Komenského.
- Kekule, M., Žák, V., Ješková, Z., & Kimáková, K. (2017). Gender differences when assessing the impact of inquiry-based science education. *The New Educational Review*, 48(2), 100–114. <https://doi.org/10.15804/tner.2017.48.2.08>
- Koehler, M., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60–70.
- Kuder, G. F., & Richardson, M. W. (1937). The theory of the estimation of test reliability. *Psychometrika*, 2(3), 151–160.
- Ladachart, L., & Yuenyong, Ch. (2015). Scientific inquiry as a means to develop teachers' and supervisors' scientific literacy. *Social Science Asia*, 1(1), 60–73. <https://doi.org/10.14456/ssa.2015.14>
- Linn, M. C., Davis, E. A., & Bell, P. (Eds.). (2004). *Internet environments for science education*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Melville, W., Fazio, X., Bartley, A., & Jones, D. (2017). Experience and reflection: Preservice science teachers' capacity for teaching inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 19(5), 477–494. <https://doi.org/10.1007/s10972-008-9104-9>
- Millar, R. (2004). *The role of practical work in the teaching and learning of science*. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Orwat, K., Bernard, P., & Dudek, K. (2014). Inquiry based science education – bringing theory to practice. In *Science and Technology Education for 21st Century. 9th IOSTE Symposium for Central and Eastern Europe* (pp. 225–238). Gaudeamus.
- Pecníková, K. (2018). *Hodnotenie spôsobilostí vedeckej práce žiakov*. PriF UK v Bratislave.
- Prokša, M., Held, L., Haláková, Z., Tóthová, A., Orolínová, M., Urbanová, A., & Žoldošová, K. (2008). *Metodológia pedagogického výskumu a jeho aplikácia v didaktikách prírodných vied*. Univerzita Komenského.
- Radvanová, S., Čížková, V., & Martínková, P. (2019). Hodnocení badatelského přístupu v biologii z pohledu učitelů a žáků gymnázií. *Scientia in educatione*, 10(1), 51–67. <https://doi.org/10.14712/18047106.1256>
- Roberts, D. A., & Bybee, R. W. (2014). Scientific literacy, science literacy, and science education. In N. G. Lederman, & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (pp. 559–572). Routledge.
- Rokos, L., & Vomáčková, V. (2017). Hodnocení efektivity badatelsky orientovaného vyučování v laboratorních pracích při výuce fyziologie člověka na základní škole a nižším stupni gymnázia. *Scientia in educatione*, 8(1), 32–45. <https://doi.org/10.14712/18047106.365>

- Ryplová, R., & Řeháková, J. (2011). Přínos badatelsky orientovaného vyučování (BOV) pro environmentální výchovu: Případová studie implementace BOV do výuky na ZŠ. *Envigogika*, 6(3), 1–9. <https://doi.org/10.14712/18023061.65>
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Schwartz, R. S., & Crawford, B. A. (2004). Authentic scientific inquiry as context for teaching nature of science. In L. B. Flick, & N. G. Lederman (Eds), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Science & Technology Education Library* (pp. 331–355). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5814-1_16
- Silay, I., & Çelik, P. (2013). Evaluation of scientific process skills of teacher candidates. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 106(1), 1122–1130. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.126>
- Sotáková, I., Ganajová, M., & Orosová, R. (2017). Příprava budoucích učitelů chemie pro badatelsky orientovanou výučbu. *Edukácia*, 2(1), 250–262.
- Stuchlíková, I. (2010). O badatelsky orientovaném vyučování. In M. Papáček (Ed.), *Didaktika biologie v České republice 2010 a badatelsky orientované vyučování. Sborník příspěvků semináře* (s. 129–135). Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta.
- Suwono, H. (2016). The scientific literacy level of first and third year biology student teachers: A comparative study. In *Proceedings of the 4th International Conference of Science Educators and Teachers* (pp. 1–9). Science Education Association (Thailand).
- Škoda, J., Doulik, P., Bílek, M., & Šimonová, I. (2015). The effectiveness of inquiry based science education in relation to the learners' motivation types. *Journal of Baltic Science Education*, 14(6), 791–803.
- Štátny pedagogický ústav. (2015a). *Inovovaný ŠVP pre 2. stupeň ZŠ*. Dostupné z https://www.statpedu.sk/files/articles/dokumenty/inovovany-statny-vzdelavaci-program/svp_nsv_6_2_2015.pdf
- Štátny pedagogický ústav. (2015b). *Inovovaný ŠVP pre gymnáziá so štvorročným a päťročným vzdelávacím programom*. https://www.statpedu.sk/files/articles/dokumenty/inovovany-statny-vzdelavaci-program/statny_vzdel_program_pre_gymnazia.pdf
- Štátny pedagogický ústav. (2015c). *Biológia – gymnázium so štvorročným a päťročným vzdelávacím programom*. Dostupné z https://www.statpedu.sk/files/articles/dokumenty/inovovany-statny-vzdelavaci-program/biologia_g_4_5_r.pdf
- Trna, J., & Trnová, E. (2016). Pre-service teacher experience with inquiry-based science education. In *INTED2016 Proceedings, 10th International Technology, Education and Development Conference* (pp. 6375–6381). INTED. <https://doi.org/10.21125/inted.2016.0496>
- Vácha, Z., & Ditrich, T. (2016). Efektivita badatelsky orientovaného vyučování na primárním stupni základních škol v přírodovědném vzdělávání v České republice s využitím prostředí školních zahrad. *Scientia in educatione*, 7(1), 65–79. <https://doi.org/10.14712/18047106.293>
- van der Berg, E. (2013). The PCK of laboratory teaching: Turning manipulation of equipment into manipulation of ideas. *Scientia in educatione*, 4(2), 74–92. <https://doi.org/10.14712/18047106.86>
- Walag, A. M. P., Fajardo, M. T. M., Bacarrisas, P. G., & Guimary, F. M. (2020). Are our science teachers scientifically literate? An investigation of science teachers' literacy in Cagayan de Oro City, Philippines. *Science International – Lahore*, 32(2), 179–182. Dostupné z https://www.academia.edu/42686662/Are_Our_Science_Teachers_Scientifically_Literate_An_Investigation_of_Science_Teachers_Literacy_in_Cagayan_de_Oro_City_Philippines
- Wenning, C. J. (2005). Levels of inquiry: Hierarchies of pedagogical practices and inquiry processes. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 2(3), 3–12.
- Wenning, C. J. (2007). Assessing inquiry skills as a component of scientific literacy. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 4(2), 21–24.
- Wenning, C. J. (2012). Levels of inquiry: Using inquiry spectrum learning sequences to teach science. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 5(3), 11–20.

Genetika v učebnicích biologie a přírodopisu: historie a současnost

Genetics in Czech Biology Textbooks: History and Current Perspective

Markéta Machová¹

¹ Pedagogická fakulta UK, Magdalény Rettigové 4, 116 39 Praha 1, Česká republika; marketa.machova@student.pedf.cuni.cz

Genetika je ve srovnání s ostatními biologickými obory mladou vědou – její historie se datuje k přelomu 19. a 20. století. Díky tomu je možné poměrně dobře mapovat nejen její rapidní vývoj, ale i její postupné pronikání do přírodovědného vzdělávání. Svědkem tohoto vývoje jsou především tradiční výukové materiály, učebnice přírodopisu a biologie. Vývoj kurikula tohoto oboru byl však odlišný v západních zemích a zemích bývalého „východního bloku“, kde byly tehdejší poznatky genetiky odmítnuty díky vlivu politické ideologie na vzdělávání a vědu. Ačkoli jsou specifika výuky genetiky v českých zemích často akcentována, nebyla zatím provedena hlubší analýza toho, jak moc a jakým způsobem konkrétně byla výuka modifikována, ani jak rychle se podařilo dostat genetiku zpátky v plném rozsahu do kurikula. Z výsledků práce je zřejmé, že ačkoli se již v 80. letech 20. století podařilo úspěšně doplnit moderní poznatky genetiky do učebnic i osnov, stále se i dnes potýkáme s nedostatečností formy, jakou je genetika v učebnicích prezentována. Největší bariérou je hlavně slabá návaznost učiva v rámci ročníků a nedostatečná propojenost jednotlivých poznatků do uceleného a logického celku (především nejasný způsob vzniku znaků organismu procesem genové exprese), který by vhodně navazoval na učivo jiných témat (jako rozmnožování nebo evoluce) a integroval ho do sebe.

Klíčová slova:
genetika, historie,
učebnice, sekundární
vzdělávání.

Zasláno 6/2020
Revidováno 11/2020
Přijato 12/2020

History of genetics begins at the end of 19th century, which makes it very young science field among other subdisciplines of biology. Therefore, it is possible to analyse both its evolution as a science and its growth as educational content in compulsory education. The main witnesses of this transformation, which are still accessible today, are biology textbooks. Curricular changes relating to genetics unfortunately differed between western and former Eastern Bloc countries due to the ideological impact on both science and education, with the Communist ideology largely undermining the relevance of genetics. On the other hand, the present-day Czech educational system may accentuate the relevance of genetics, yet there has been no broader analysis as to how and to what extent education might have been modified, nor how long it took to re-establish genetics in the curriculum. This work shows that even though the content of genetics was rehabilitated in textbooks and curriculum already in the 1980s, the current presentation of genetics in textbooks is still problematic. Content of textbooks related to genetics lacks coherence and it is scattered throughout several different grades. The information is not sufficiently interconnected with related topics (such as reproduction and evolution) and has not been incorporated into a coherent and logical system that both students and teachers could navigate (mainly due to unclear explanation of formation of characteristics via process of gene expression).

Key words:
genetics, history,
textbooks, secondary
education.

Received 6/2020
Revised 11/2020
Accepted 12/2020

1 Úvod

Genetika je věda velmi mladá počínající svou historií na začátku 20. století (Sturtevant, 2001). Je jednou z mála vědních disciplín, u které je dnes stále možné dohledat nejen detaily o jejím vzniku, ale i jakým způsobem se postupně integrovala do kurikula na všech stupních vzdělávání. A jedním z mála dobře zachovalých svědectví historie didaktické transformace poznatků genetiky jsou učebnice přírodopisu, potažmo biologie.

Byť učitelé přírodovědných předmětů využívají učebnice v hodinách z hlediska časové dotace v různé míře, čeští učitelé i poměrně málo (Janík et al., 2007; Sikorová & Červenková, 2007), učebnice jsou přítomny ve větší části hodin (Sikorová & Červenková, 2007). Učebnice hrají stále důležitou roli při přípravě na výuku i při výběru konkrétního obsahu učiva a zároveň slouží i jako opora pro žáky při domácí přípravě (Roseman et al., 2010; Sikorová, 2008; Vojtíš & Rusek, 2018). Odpovídají také typicky aktuálním požadavkům národního kurikula, ať už jsou tím myšleny současné RVP nebo ještě nedávno původní osnovy. Poměrně dobře tak reprezentují rozsah a typ učiva své doby a odráží i politickou situaci (Castéra et al., 2008).

Z obou těchto hledisek je učivo genetiky v učebnicích zajímavé. Rozvoj genetiky byl rapidní a zásadní nové poznatky přicházely každé desetiletí od vzniku této vědy. Učební materiály a kurikulum se tomuto

rozvoji musely pružně přizpůsobovat. Do této situace však v českých zemích výrazně zasáhla změna politického režimu po konci 2. světové války, která ovlivnila vzdělávací politiku ve všech zemích bývalého „východního bloku“ (Kolchinsky et al., 2017; Podroužek, 2011). Následkem socialistické revoluce byly kromě jiného i snahy genetiku eliminovat jako vědu i učivo (Kolchinsky et al., 2017).

V současnosti je genetika plnohodnotnou součástí národního kurikula (NÚV, 2017; VÚP, 2007). Z četných výzkumů v zahraničí i v ČR ale vyplývá, že učivo genetiky není pro žáky jen subjektivně obtížné, ale mají zásadní problémy s jeho hlubším pochopením a osvojují si tak představy o termínech i procesech spojených s genetikou, které neodrážejí současné vědecké poznání, tzv. miskoncepce (Freidenreich et al., 2011; Lewis & Kattmann, 2004; Machová, 2019; Vlčková et al., 2016). Objevují se již u žáků základních škol (Duncan & Reiser, 2007; Machová, 2019), ale detekovatelné jsou na všech stupních vyššího vzdělávání včetně VŠ (Machová & Ehler, 2019; Saka et al., 2006). Ověřování výsledků vzdělávání také ukazuje, že od druhého stupně základní školy vykazují žáci (a později i studenti) kromě mnoha mylných představ i tendenci k popisnému výkladu dědičnosti – byť jsou schopni popsat spojitost DNA se znaky organismu, princip proteosyntézy jako vzniku znaku již zvládne vysvětlit jen minimum z nich (Marbach-Ad, 2001).

V současné podobě výuky genetiky vidí výrazné překážky i učitelé – nejčastěji zmiňují abstraktnost tématu, jeho složitost z hlediska úrovně biologické organizace a množství nových pojmů (Duncan & Reiser, 2007; Knippels et al., 2005). Ze zahraničních výzkumů vyplývá, že na vině je i špatná časová souslednost nebo obsah kurikulárních dokumentů (Knippels et al., 2005; Osman et al., 2017) a také učebnice, které mají učitelé tendenci následovat (Knippels et al., 2005; Martínez Aznar & Ibáñez Orcajo, 2005). Přičemž v učebnicích se objevuje jak slabá návaznost jednotlivých částí učiva (Knippels et al., 2005; Martínez-Gracia et al., 2006; Thörne & Gericke, 2014), tak i různá míra zavádějící a deterministické prezentace učiva (Aivelo & Uitto, 2015; Albuquerque et al., 2008; dos Santos et al., 2012; Martínez-Gracia et al., 2006). Zda se tento problém týká i ČR, a může tak potenciálně ovlivňovat pochopení učiva, však zatím není zcela jasné.

Historie i současnost genetiky ve vzdělávání je tedy velmi pestrá. Poznatky genetiky přicházely během minulého století jako rychlý sled rozličných střípků, které bylo třeba postupně složit do jednoho celku. Teorie dědičnosti se rapidně aktualizovala a proměňovala, do výuky genetiky v zemích východního bloku negativně zasáhla i socialistická revoluce, po které se genetika musela rehabilitovat jak na vědeckých pracovištích, tak ve výuce základního a středního vzdělávání i přípravě učitelů (Kolchinsky et al., 2017; Matalová & Sekerák, 2004). Ani v současné době však nejsou výsledky vzdělávání z hlediska těchto poznatků žádoucí (Machová & Ehler, 2019) a kurikulární dokumenty i výukové materiály vykazují nedostatky (Janštová & Jác, 2015; Machová, 2017).

Z toho všeho pak vyplývají následující otázky:

- Kdy se učivo genetiky dostalo do vzdělávání, resp. učebnic?
- Jak rozsah a formu obsahu učiva genetiky v učebnicích poznamenala socialistická revoluce a její snaha o popírání genetických poznatků?
- Kdy se obraz genetiky v učebnicích rehabilitoval?
- Jaký je obsah a aktuálnost učiva genetiky v současných učebnicích?
- Jaký vliv mají učebnice přírodopisu (resp. biologie) na současné problémy ve výuce genetiky?

2 Stručný přehled vývoje genetiky

Před samotným zhodnocením obsahu učebnic je však nutné připojit stručnou historii vzniku genetiky jako vědy. V učebnicích se dozvíme, že zakladatelem genetiky je augustiniánský mnich působící v Brně jménem Johann Gregor Mendel¹, který se zabýval pěstováním hrachu v klášterní zahradě (Pauk et al., 1980). Historie je však trochu složitější.

S křížením organismů a vznikem hybridů se výrazněji experimentovalo již od druhé poloviny 18. století (Sturtevant, 2001). Mendel tak o desítky let později navazoval na již rozvinutý obor, který byl i v druhé polovině 19. století tak populární, že se jím zabýval i Charles Darwin (Sturtevant, 2001).

Během 19. století se také úspěšně rozvíjela cytologie – věda o buňce. Díky ní byla již v roce 1869 popsána existence DNA, tenkrát nazývané „nuclein“ (Miescher, 1871). Pozornost vědy se začala upínat k zásadní roli buněčného jádra při rozmnožování a formování organismu (Sturtevant, 2001). Následovalo odhalení chemického složení DNA a během 80. let 19. století i objev chromatinu a chromozomů (Portin, 2014).

¹V literatuře je možné setkat se jak se zápisem Johann Gregor, tak i Gregor Johann – po svém odchodu do kláštera přijal Mendel mnišské jméno Gregor, které později užíval přednostně (Orel, 2003).

V roce 1866 vyšly výsledky Mendelovy dlouholeté práce s křížením hrachu setého v díle *Versuche über Pflanzenhybriden* (Mendel, 1866). Cílem bylo najít pravidla, podle kterých vznikají hybridi během pohlavního rozmnožování, explicitně o dědičnosti se však ve své práci Mendel nijak nezmiňoval (Moore, 2001; Schwarzbach et al., 2014). Popisoval pouze hypotézy přenosu znaků mezi generacemi na základě provedených experimentů a ty nebyly označeny pozdějším termínem „zákony“ (Fairbanks & Rytting, 2001; Monaghan & Corcos, 1984).

Mendelova práce nezapadla do kontextu doby, dostala se však do evropských knihoven a byla citována v mnoha dílech, ale nebyl plně doceněn její význam (Moore, 2001; Schwarzbach et al., 2014). Mezi dalšími podobnými díly vynikala svou metodikou: vhodný výběr rostliny i sledovaných znaků, četná opakování experimentů s přítomností kontroly a hlavně důkladné matematické zhodnocení nasbíraných dat, což byl v té době nezvyklý až revoluční přístup (Dastur & Tank, 2010; Schwarzbach et al., 2014). V roce 1900 přišlo znovuobjevení Mendelova díla nezávisle na sobě třemi botaniky: Nizozemcem Hugo de Vriesem, Němcem Carl Corrensem a Rakušanem Erich von Tschermakem (Gayon, 2016). Největší osobností u zrodu genetiky a propagace mendelismu byl William Bateson, roku 1902 napsal rozsáhlou obhajobu Mendelovy práce (Gayon, 2016) a mezi lety 1902 a 1910 se svou výzkumnou skupinou v Cambridge zopakoval Mendelovy pokusy na rostlinách i živočiších (Richmond, 2001). Roku 1905 zavedl pojem „genetika“ jako označení studia dědičnosti a proměnlivosti (Bateson, 2002). Pojem Mendelovy zákony a jejich první explicitnější definice se také již začínaly postupně objevovat v literatuře a pronikaly do vysokoškolského vzdělávání (Weldon, 1902). Už v roce 1902 je zmínil i Bateson (Marks, 2008).

Mezitím byla v roce 1902 navržena tzv. chromozomální teorie dědičnosti (Sutton, 1903), označovaná v pozdější literatuře po svých dvou nezávislých objevitelích také jako Sutton-Boveriho hypotéza (Crow & Crow, 2002; Martins, 1999). Mendelem popsané alely determinující fenotyp organismu jsou dle této hypotézy nesené právě již známými chromozomy (Sutton, 1903).

Později se díky této teorii vědecké směry budoucí genetiky a tehdejší cytologie protnulý za vzniku tzv. klasické neboli Mendelovské genetiky (Gayon, 2016). Roku 1916 uvedl T.H. Morgan formulace prvních dvou tzv. Mendelových zákonů (Marks, 2008; Monaghan & Corcos, 1984). V roce 1944 bylo dokázáno, že DNA je nositelkou dědičné informace (Avery et al., 1944) a v roce 1953 byla objasněna její molekulární struktura (Watson & Crick, 1953). Tím začala éra molekulární genetiky a období mnoha dalších převratných objevů trvajících až do současnosti.

Po konci druhé světové války přichází citelná rána pro studium genetiky v tehdejší Československu – převrat v únoru 1948 přinesl změny nejen v politickém dění, ale i ve směřování vědy a náplni vzdělávání. Téhož roku byla genetika prohlášena na setkání Vsesvazové akademie zemědělských věd V. I. Lenina (tzv. VASCHNIL) v Moskvě za pseudobiologickou a protistátní vědu (Borinskaya et al., 2019). Následkem toho byla nahrazena ve školních osnovách tzv. „mičurinskou biologii“ a tyto nové sovětské osnovy určené pro všeobecně vzdělávací školy byly roku 1954 zavedeny i v tehdejší Československu (Podroužek, 2011).

Za touto velmi nešťastnou transformací stál mladý ukrajinský agronom Trofim D. Lysenko, a proto je toto učení dnes označováno jako „lysenkismus“ (Graham, 2016; Sojfer, 2005). Využil jména již zesnulého šlechtitele Ivana V. Mičurina² a prohlásil se za jeho pokračovatele navzdory tomu, že se s Mičurinem, který genetiku nijak neodsuzoval a spolupracoval s předními odborníky v oboru (Reznik & Fet, 2019; Trebichavský & Šíma, 2019), nikdy nesetkal (Goncharov & Savel'ev, 2016).

Lysenkova teorie byla vybudována na lamarkismu a úzce spojovala vlastnosti organismů s jejich prostředím (Graham, 2016). Podle Lysenka bylo možné pouhou změnou vnějších podmínek indukovat dědičnou změnu genetické informace organismu (Caspari & Marshak, 1965), například procesem tzv. „jarovizace“ (Borinskaya et al., 2019). Tyto teorie dnes někteří ruští a čínští vědci oživují s rozvojem epigenetiky (Kolchinsky et al., 2017; Reznik & Fet, 2019). Lysenkismus zacházel tak daleko, že odmítal existenci genů (Borinskaya et al., 2019) a připouštěl možnost úplné změny druhu plodiny pouze v reakci na okolní podmínky, nebo vznik živých buněk z neživé hmoty (Trebichavský & Šíma, 2019). Lysenko navíc ignoroval užití statistických metod a kontrolovaných experimentů i fakt, že snahy o replikaci jeho práce v zahraničí skončily neúspěchem (Graham, 2016).

Lysenkova propagace a aplikace údajně velmi slibných, v reálu však nefunkčních metod zvyšování výnosů hospodářských plodin se však dočkala velké pozornosti (Trebichavský & Šíma, 2019). Lysenkovo anti-Mendelovské pojetí dědičnosti si získalo oblibu u Josifa V. Stalina, který se sám s lamarkismem ztotožňoval (Borinskaya et al., 2019; Valová, 2013). Lysenkovi zastánci tak postupně získali volnou ruku v utváření školních osnov i praktik sovětského zemědělství dle učení mičurinské biologie (Borinskaya et al., 2019; Valová, 2013).

Veškerá klasická genetika upadla v Sovětském svazu definitivně v nemilost v roce 1948 (Borinskaya et al., 2019; Caspari & Marshak, 1965). Lysenkovo působení v sovětské akademii věd a jeho útoky vůči významným genetikům vedly díky jeho podpoře státním aparátem k politicky motivované devastaci

²I. V. Mičurin (1855–1935) se zabýval velmi úspěšně šlechtěním chladu odolných odrůd hlavně ovocných stromů a keřů (Reznik & Fet, 2019) a podařilo se mu vytvořit přes stovku nových kultivarů (Goncharov & Savel'ev, 2016).

výzkumu a mnohdy i samotných vědců, a to i odpůrců z jiných biologických oborů (Borinskaya et al., 2019; Kolchinsky et al., 2017; Reznik & Fet, 2019). Podobný tlak byl však vyvíjen i na československé odpůrce mičurinské biologie (Trebichavský & Šíma, 2019; Valová, 2013).

Byť se již v roce 1945 zvedla proti Lysenkovi vlna odporu mezi akademiky napříč Sovětským svazem i s výraznou podporou genetiků ze zahraničí (Borinskaya et al., 2019), Stalin držel nad Lysenkem ochrannou ruku, až do své smrti roce 1953 (Kolchinsky et al., 2017; Valová, 2013). Teprve v roce 1965 byla Lysenkovi po výrazné kritice zástupců Sovětské akademie věd odňata pozice ředitele na Genetickém ústavu a mělo dojít k odstranění jeho učení z učebnic i z kurikula sovětských škol (Caspari & Marshak, 1965; Kolchinsky et al., 2017).

Celou situaci o pár měsíců později definitivně zlomilo Mendelovské symposium v Brně k výročí 100 let od prezentace Mendelovy práce, které genetiku ve východním bloku rehabilitovalo a umožnilo jí navázat na západní poznatky (Kolchinsky et al., 2017; Sojfer, 2005). 16. února 1966 vychází Usnesení Vlády ČSSR na podporu genetiky, které ukládalo zlepšení vzdělávací činnosti v oboru (začlenění učiva do kurikula středního vzdělávání, výuku učitelů i tvorbu učebních textů pro VŠ) a taktéž směřování vědeckého výzkumu v této oblasti (Matalová & Sekerák, 2004). Jak tato rehabilitace učiva genetiky proběhla ve školní praxi, to je už předmětem detailního výzkumu učebnic.

3 Metodika

Analýza obsahu učebnic přírodopisu, potažmo biologie, vycházela z projektu diplomové práce autorky z roku 2016/2017 (Machová, 2017). V roce 2020 byla tato analýza aktualizována a rozšířena o další tituly, a to jak nově nalezená historická díla, tak nově vydané učebnice.

3.1 Analýza historických učebnic

Učebnice vydané před rokem 1989 byly analyzovány z hlediska obsahu genetiky pouze ve zjednodušené formě. Je obtížné ověřitelné, zda byly dohledány všechny vydané učebnice, některé tituly se nepodařilo získat celé. Zahnuté tituly jsou součástí seznamu literatury.

Hodnoceno bylo množství učiva v nich obsažené (v případě necelých titulů na základě náhledu obsahu knihy), zaznamenána probíraná témata a jejich pojetí a pro jaký stupeň vzdělávání byly tituly určeny. Jako referenční tituly pro srovnání obsahu učiva genetiky v České republice, potažmo Československu, sloužily digitalizované volně dostupné americké učebnice vyhledané ve webovém archivu³ pod klíčovými slovy „biology textbook“, „secondary science textbook“ a „science textbook“.

3.2 Analýza současných učebnic

Nashromážděno bylo celkem 129 titulů vydaných po roce 1989 a zaměřených na biologii a přírodopis určených přímo jako učebnice do škol nebo jako tituly k samostudiu a maturitní přípravě (viz Příloha 2). Většina titulů byla určena pro základní školy a nižší stupeň víceletých gymnázií, na vyšší stupeň gymnázií a střední školy bylo zaměřeno 45 titulů.

V 90. letech vycházely některé tituly se stejným nebo téměř identickým obsahem pod více nakladatelstvími, viz *Základy ekologie* v SPN a Fortuně (Kvasničková, 1991; Kvasničková, 2010), případně docházelo k pozdějšímu slučování některých titulů, viz původně oddělená botanika a zoologie sloučená do jednoho titulu *Přírodopis 6* od SPN (Černík et al., 2004), nebo vydání ucelených edic pod novým názvem (*Poznáváme život* od Fortuny později jako *Ekologický přírodopis*). Ačkoli obsah byl místy téměř identický, do analýzy množství obsahu učiva byly takové tituly počítány každý zvlášť (pokud byl vydán pod jiným názvem nebo nakladatelstvím).

U každé učebnice bylo zaznamenáno, pro jaký ročník a typ školy je určena, a dále množství učiva genetiky v celé knize. Dle množství obsahu byly tituly zařazovány do následujících kategorií:

- celá kniha – celý titul se věnuje pouze genetice,
- kapitola – titul obsahuje samostatnou kapitolu zaměřenou na učivo genetiky,
- úsek – v rámci učebnice se nachází víc odstavců textu pojednávajících o genetice,
- zmínka – učebnice obsahuje pouze pár větných zmínek, maximálně jeden odstavec,
- neobsahuje – učivo genetiky se v titulu nevyskytuje.

³Dostupné z <https://archive.org/>

K detailnějšímu rozboru obsahu (pojmové analýze) byly vybrány učebnice, které obsahovaly témata z oblasti genetiky (v minimální šíři několika větné zmínky), a bylo zjištěno, že jsou školami užívané i v současnosti. Užívanost byla podložena třemi zdroji: starší studií (Machová, 2017), dostupností titulů u knihkupců v roce 2019/2020 a veřejnou anketou vyhlášenou autorkou studie mezi učiteli přírodovědných předmětů na sociální síti Facebook v únoru roku 2020 (95 respondentů). Přičemž byly vyřazeny tituly se stejným obsahem vydané pod jinými názvy a použito bylo vždy jejich nejnovější dostupné vydání. Celkem bylo vybráno 22 učebnic určených pro ZŠ (resp. i nižší ročníky gymnázií) a 17 titulů pro vyšší ročníky gymnázií a SŠ (viz Příloha 2, sekce B).

Učebnice byly hodnoceny podle míry rozpracování pojmů a oblastí z učiva genetiky vybraných na základě požadavků RVP ZV (NÚV, 2017), RVP G (VÚP, 2007) a RVP pro střední odborné vzdělávání (NÚV, 2019) s důrazem na pojmy základní vyskytující se napříč všemi úrovněmi vzdělávání. Jako orientační reference nejčastějšího obsahu realizovaného učiva sloužilo 30 vybraných ŠVP pro různá česká gymnázia (osmiletá i čtyřletá), které byly digitálně dostupné na webech škol a řazené jako první v internetovém vyhledávači Google na základě klíčových slov „ŠVP gymnázium“. Obsahová validita vybraných pojmových položek byla ověřena odborníkem z oboru genetiky.

Jednotlivé sledované položky je možné pro přehlednost rozdělit do následujících kategorií:

- Obecné pojmy – dědičnost, mitóza/meióza, genetika, gen, nukleová kyselina (DNA/RNA), DNA „packaging“ (sbalení/kompaktace DNA), chromozom (a jeho struktura), diplo/haploidní organismus, genotyp/fenotyp, alela, dominance a recesivita, kodominance, heterozygot/homozygot, karyotyp, plazmid, mutace.
- Mechanismy dědičnosti – Mendelovy zákony, vazba genů, mono/polygenní dědičnost, genové interakce, populační genetika (ve formě příkladů i textového vysvětlení).
- Využití genetiky – genetika v lékařství, šlechtění, genové inženýrství (včetně klonování), další disciplíny (kriminalistika, fylogeneze, ...).
- Příklady – monohybridní křížení, dihybridní křížení, Hardy-Weinbergova rovnováha, rodokmeny.
- Historie genetiky – J. G. Mendel, T. H. Morgan.

Nezařazení objevu struktury DNA Watsonem a Crickem do vyhodnocování obsahu historických reálií v rámci kapitol genetiky bylo dané jejich malým zastoupením hlavně v učebnicích ZŠ (pouze tři tituly). Každé položce v kategorii pak bylo uděleno hodnocení podle následujícího klíče:

- uveden: pojem je zmíněn, ale není vysvětlen,
- vysvětlen: objevuje se pojem, který je stručně jednou až dvěma větami popsán a vysvětlen, přičemž vysvětlení je k pochopení podstaty konceptu dostačující,
- širěji rozveden: jsou rozvedeny a vysvětleny detaily koncepce pojmu, případně i zajímavosti nad rámec základního učiva,
- opisem: přímo daný pojem neobsahuje, ale zmiňuje daný koncept opisem
- neuveden: pojem se vůbec neobjevuje ani opisem.

U všech učebnic byla zároveň sledována faktická správnost obsahu a případné chyby nebo zavádějící formulace byly zaznamenány.

Na závěr byla provedena analýza návaznosti učiva v rámci jednotlivých edic titulů určených pro ZŠ, které jsou ve školách stále užívané a v době zpracování studie i dostupné u knihkupců. Do této kategorie spadají edice nakladatelství Scientia, Fortuna (Ekologický přírodopis a navazující titul Základy ekologie), Taktik (Hravý přírodopis), Nová škola – Duha (Čtení s porozuměním) a Nová škola, s. r. o., Fraus, Jinan, České geografické společnosti (Natura) a po dvou edicích od nakladatelství Prodos a SPN. Celkem šlo o 26 titulů, které obsahovaly alespoň několikavětnou zmínku o genetice. Sledována u nich byla reprezentace centrálního dogmatu molekulární biologie a genetiky (tedy proces vznik znaků organismů) na třech hlavních úrovních biologické organizace (molekulární, buněčné, organismální).

V rámci textu učebnic byly zjišťovány následující informace:

- lokalizace genetické (dědičné) informace v jádře buňky,
- uvedení funkcí buněčného jádra,
- uvedení funkcí DNA pro organismus,

- funkce bílkovin (a ribozomů) v těle a jejich spojení s DNA,
- vliv mutací na organismus,
- reprezentace znaků na úrovni organismu,
- propojení procesu pohlavního a nepohlavního rozmnožování s přenosem dědičných informací.

Sledované informace pak byly pro zjištění četností kódovány systémem 0/1 (je/není přítomen v daném titulu).

Kategorizace a kódování ve všech analýzách byla provedena autorkou podle předem stanovených kategoriálních kritérií. Kategorizace položek byla vždy s odstupem několika týdnů jednou zopakována pro ověření konzistence hodnocení. Ze všech získaných dat pak byly zjištěny četnosti jednotlivých prvků a zaneseny do grafů.

4 Výsledky

Přehled vývoje obsahu genetiky v učebnicích je rozdělen na několik časových období, ohraničených nejen dějinnými událostmi, ale také změnami ve směru genetického výzkumu. Postupně jsou učebnice popsány od těch nejstarších po nejmladší se zvláštním důrazem na tituly vydané od 90. let do současnosti.

4.1 Počátky genetiky v učebnicích

Vznik genetiky se datuje k roku 1900, v té době je již známá existence jádra, chromatinu, chemické složení DNA i podoba metafázových chromozomů, ale jejich vliv na životní funkce buňky není zatím jasný (Sturtevant, 2001).

Před tímto datem se genetiky ani buněčná biologie v dostupných českých dílech nevyskytovala, učebnice byly pouze výčetem druhů rostlin, živočichů, minerálů a hornin (Švácha, 1876; Zippe, 1856). Naproti tomu například americko-anglická učebnice *Text-book of elementary biology* z roku 1893 již uváděla a velmi dobře ilustrovala buněčné dělení, existenci jádra v buňkách a jeho obsah chromatin (Campbell, 1893). Ačkoli popis v knize byl z dnešního pohledu samozřejmě značně zastaralý, odpovídal tehdejšímu poznatkům.

V roce 1903 došlo ke spojení cytologie a Mendelovské genetiky postulováním chromozomální teorie dědičnosti (Sutton, 1903) a vznikla tak tzv. klasická genetická škola zabývající se přenosem dědičných vlastností (Gayon, 2016; Gericke & Hagberg, 2007).

V tomto období byly přírodní vědy na základních školách v českých zemích vyučovány v rámci tzv. přírodopytu (spojení chemie a fyziky, na středních školách dále už jako samostatné předměty) a přírodopisu, který měl výrazně popisně-systematický charakter (Koniřová, 2005).

Přesto již v roce 1909 můžeme genetiku a buněčnou biologii v českých textech najít. Zmínka o buněčném jádře a jeho významu pro dělení buněk je například v učebnici *Rostlinopis pro ústavy ku vzdělání učitelů a učitelek* (Rosický & Rosický, 1909). Ta ovšem sloužila pouze při vzdělávání na specializovaných pedagogických středních školách (ISCED 3).

Podobně učivo reflektovaly i některé americké učebnice (pro stupeň ISCED 2 a 3), které uváděly nutnost jádra pro životaschopnost buňky (Bigelow & Bigelow, 1911). Americká učebnice *Introduction to biology* pro střední školy (ISCED 3) na rozdíl od českých však už v roce 1913 popisovala Mendelovskou dědičnost znaků na morčatech, dědičnost znaků po obou rodičích, ale také vyzdvihovala možnosti eugeniky (Bigelow & Bigelow, 1913).

Od roku 1933 byl pak v českých zemích přírodopis pevně zakotven do osnov 6.–8. ročníku měšťanských škol s důrazem na fenologii – změny v přírodě během roku (Podroužek, 2011).

České učebnice z meziválečného období tzv. První republiky mají již mnohem rozmanitější rozsah učiva. Učebnice *Přírodopis pro jednorocní učebné kurzy (IV. třídy) při měšťanských školách* (ISCED 2) byla nalezena od dvou autorů, kdy v jednom případě bylo pouze uvedeno a ilustrováno buněčné dělení (Vlach & Krejčík, 1931) a ve druhém případě již nejen popsáno buněčné dělení, ale i historie Mendelovy práce, křížení rostlin hrachu, vysvětlení těchto poznatků a jejich využití v zemědělství (Pastejřík, 1936). Učebnice pro nižší ročníky genetiky neobsahovaly, například *Přírodopis pro II. třídu měšťanských škol* uvádí jen drobnou zmínku o stavbě buňky a roli jádra v řízení růstu, dělení buňky, a tím i předání dědičných vlastností (Groulík et al., 1936).

V učebnicích určených pro střední školy z období 30. let se genetiky a buněčná biologie objevovala hlavně v rámci botaniky nebo tehdejšího středoškolského rostlinopisu – popisy buněčného dělení a významu jádra najdeme v učebnicích pro vyšší třídy středních škol a učitelské ústavy (ISCED 3) (Bartušek, 1933; Řehák, 1935).

Americké učebnice z 20. let naproti tomu zaváděly genetiku a buněčnou biologii až na středních školách (ISCED 3). Učebnice *Advanced biology* věnovala genetice již velmi rozsáhlou část (Wheat & Fitzpatrick, 1929). Zaváděla pojmy gen, pro úseky chromozomu nesoucí určitý znak, popisovala všechny tři Mendelovy zákony, obsahovala i ukázky mono a dihybridního křížení, osvětlovala variabilitu potomstva na základě crossing-overu při tvorbě zárodečné linie a zmiňovala i eugeniku. Stejně jako v českých zemích byly i některé americké tituly v tomto učivu mnohem stručnější, například učebnice *Biology For Beginners* (ISCED 3) (Moon, 1926) uváděla pouze základy buněčné biologie.

Typické pro zahraniční učebnice bylo vyzdvihování eugeniky uváděné jako slibný nástroj pro vylepšení lidské rasy (Kroeber & Wolff, 1938; Wheat & Fitzpatrick, 1929). Vliv environmentálních faktorů na vývoj jedince byl značně upozadován, ačkoli byl připouštěn. Dokonce se v jednom titulu objevilo i vyjádření, že genetické faktory ovlivňují výběr prostředí, v jakém jedinec žije (tedy, že člověk přirozeně inteligentní si vybírá příjemné a kvalitní prostředí, zatímco člověk slabší vybírá prostředí horší) (Wheat & Fitzpatrick, 1929).

Tato problematika bývá spojována s tehdejší silným genetickým determinismem, který se projevoval i v učebních materiálech (Castéra et al., 2008). Geny byly chápány jako fyzické jednotky zodpovědné za vývoj znaků a je-li každý znak reprezentován nějakým neměnným a daným genem, nutně toto myšlení vede k podceňování vlivu environmentálních faktorů na jejich vývoj (Resnik & Vorhaus, 2006). Nevhodná úroveň genetického determinismu se však v různých formách objevuje ve španělských, italských, francouzských, brazilských i finských učebnicích i dnes (Aivelo & Uitto, 2015; Castéra et al., 2008; dos Santos et al., 2012; Prochazka & Franzolin, 2018) a nezdá se, že by byl prezentován v různé formě v médiích (Peters, 2014).

V akademické sféře se genetice věnoval již o dost širší prostor. Z předválečného období pochází vysokoškolská učebnice *Rostlinopis*, v jejímž pátém svazku je již popsána Mendelovská genetika, chromozomální určení pohlaví i vazba genů (Brožek, 1930).

Za dobovou zmínku stojí i to, že společným znakem učebnic zahraničních i českých vydaných v celé první polovině 20. století bylo mylné vykládání role tzv. protoplazmy (v zásadě analogické dnešní cytoplazmě (Burian, 2013)) jako živoucí hmoty umožňující všechny životní funkce a dědičnost buňky (Bigelow & Bigelow, 1911; Moon, 1926; Moon et al., 1947; Rosický & Rosický, 1909). Ačkoli v současných učebnicích se tento koncept nevyskytuje, ještě v učebnici *Botanika pro II. ročník gymnázií* z roku 1977 bychom ho našli poměrně široce popsány (Jeník et al., 1977).

4.2 Poválečné období: učebnice převratu a normalizace

Po převratu v roce 1948 došlo v Československu k centralizaci tvorby učebnic, která trvala od 50. do 80. let a byla spravována Státním pedagogickým nakladatelstvím (SPN), jež s revolucí zaniklo a jeho současný jmenovec je zcela novou firmou (Kábrtová, 2006; Průcha, 1996). V té době měl každý předmět v každém ročníku pouze jednu učebnici (Greger, 2005).

V roce 1954 byly zavedeny nové osnovy pro všeobecně vzdělávací školy v délce 10 ročníků obsahující pseudovědní učení mičurinské biologie (Podroužek, 2011) přezdívané po svém propagátorovi Trofimovi D. Lysenkovi také „lysenkismus“ (Sojfer, 2005). Jedním ze zásadních děl propagujících mičurinskou biologii v rámci vzdělávání byl titul *Základy darwinismu: učební text pro 10. postupný ročník jedenáctileté střední školy a pro pedagogické školy* (Bouček et al., 1955). Toto učivo bylo z kurikula sovětského vzdělávání a učebnic odstraněno až v roce 1965 (Caspari & Marshak, 1965; Kolchinsky et al., 2017). Později téhož roku byla Mendelovská genetika rehabilitována v rámci Mendelovského symposia v Brně (Kolchinsky et al., 2017; Sojfer, 2005) a nařízením vlády z roku 1966 byla vrácena do kurikula SŠ i do vzdělávání učitelů a podnícena byla i tvorba nových učebnic pro VŠ (Matalová & Sekerák, 2004).

Školní praxe však držela zpoždění za společenským děním. V učebnicích pro druhý stupeň základních škol z té doby není genetika běžná. Zmínky o dědičnosti a šlechtění můžeme najít například v kapitole Význam Darwinismu pro šlechtitelství, I. V. Mičurin v *Přírodopisu 9*, která vyšla poprvé roku 1965 (Pauk et al., 1972). Tedy právě v roce konání brněnského symposia, které se snažilo genetiku navrátit do vědy. Daná učebnice s touto kapitolou vyšla poté ještě v několika dalších vydáních.

Zatímco české učebnice začaly za novými poznatky genetiky zaostávat, americké středoškolské (ISCED 3) učebnice v 50. letech už zcela běžně obsahovaly kapitolu zaměřenou na klasickou genetiku často ve spojení s evoluční teorií. Vyobrazení zahrad brněnského kláštera nebo Mendela samotného následovaly diagramy hybridizace hrachu či morčat a kapitoly o významu moderní genetiky při šlechtění plodin (Curtis & Urban, 1953; Morgan, 1955; Smith, 1959).

Možná překvapivě nelze hodnotit vliv ideologie Sovětského svazu pouze negativně. Zatímco americké učebnice se již v předválečném období potýkaly s až nezdravou propagací eugeniky, která zcela neutichla ani po nešťastných událostech 2. světové války, v dostupných českých učebnicích není tento vliv nijak patrný. Ba naopak, sovětská ideologie ji ve snaze setřít třídní rozdíly velmi efektivně potlačovala a tento

trend je typický v učebnicích napříč východní Evropou (Castéra et al., 2008). Již v 50. letech najdeme v učebnici pro střední školy (ISCED 3) s názvem *Nauka o člověku* kapitoly o rovnosti ras nebo kapitoly kritizující popírání Darwinismu (Vodička et al., 1950). Nejlépe však můžeme situaci ilustrovat na úryvku z již 8. vydání učebnice *Přírodopis pro 8. ročník základních devítiletých škol* (ISCED 2) z roku 1972:

Kapitalistický společenský řád v některých imperialistických státech a fašisté na celém světě však uměle vytvářejí názor o méněcennosti některých plemen (černého a žlutého) a hlásají nerovnost lidí a národů. [...] Rasismus je vytvářen uměle a jeho úkolem je udržovat v porobě plemena a národy, které mají sloužit vládnoucím vrstvám kapitalistického společenského řádu. (Hainer et al., 1972)

Stejná učebnice také uváděla na příkladu vzdělání vliv environmentálních faktorů na formování organismu (Hainer et al., 1972). K tomu se americké učebnice z té doby stavěly nanejvýš nevhodně, některé texty i nadále uváděly lenost a kriminalitu jako zdroj nízkého IQ jedince a propagovaly sterilizační programy (Morgan, 1955). Jiné již ale představily teorii „nature and nurture“ a vyzdvihly vliv environmentálních faktorů na formování organismu (Curtis & Urban, 1953).

Technologický postup v tomto období také umožnil rozvinout poznatky buněčné biologie. Americké učebnice nově mnohem přesněji ilustrují procesy buněčného dělení a zavádí meiózu a mitózu a jejich fáze v moderním podání (Morgan, 1955). V jediné nalezené české učebnici z 50. let pro střední školy (ISCED 3) je velmi zjednodušeně uvedeno dělení buněk a stále rozvádí význam protoplazmy, genetika v ní chybí zcela (Vodička et al., 1950). Během 60. let už se ale setkáváme s detailními popisy fází buněčného dělení, deoxyribonukleové kyseliny a její stavby, zaváděním pojmů chromozom, mutace a dalších. Ve všech známých případech se ale jednalo o tituly pro střední školy (ISCED 3) (Jeník et al., 1967; Trávníček & Janda, 1965).

4.3 Učebnice od pražského jara do sametové revoluce

Od roku 1960 se zavádí dnes běžná devítiletá školní docházka (Podroužek, 2011). Genetika se také stává dostupnou širší veřejnosti díky titulům jako *Genetika* vydaná poprvé roku 1961 Československou akademií věd (Hrubý, 1961). Kniha obsahovala nejen Mendelovy zákony a křížení, ale i dosavadní poznatky o genetice různých organismů včetně člověka. V dílech určených školám ze 70. a 80. let již také není problém genetiku objevit v širší podobě. Ostatně tehdejší Učební osnovy základní školy v přírodopise v roce 1978 vyhrazovaly čtyři vyučovací hodiny pro téma Dědičnost a proměnlivost v 7. ročníku (*Učební osnovy základní školy: přírodopis pro 5.–8. ročník*, 1978). Přesto téměř všechny nalezené tituly učebnic, které téma genetiky obsahovaly, byly určeny pro gymnázia.

Nejstarší je *Botanika pro II. ročník gymnázií* z roku 1970, která později vyšla v několika dalších vydáních, která bylo možné dohledat až do roku 1981 (Jeník et al., 1977). V textu již nejsou přikládány důležité funkce buněčné protoplasmě, naopak je zdůrazněna funkce jádra a detailně i s ilustracemi popsány fáze buněčného dělení. V 70. letech také vychází *Obecná biologie pro IV. ročník gymnázií*, která obsahuje samostatnou kapitolu Dědičnost a proměnlivost, kde se objevují Mendelovské zákony a křížení (Šmarda et al., 1976).

Roku 1985 vychází *Biologie pro II. ročník gymnázií*, která již genetiku rehabilituje opravdu v plné šíři (Bašovská et al., 1985). Samostatná rozsáhlá kapitola Genetika obsahuje detaily stavby DNA, proteosyntézu, chromozomální určení pohlaví, mechanismus rekombinace, křížení (mono i dihybridismus), kvantitativní a kvalitativní znaky, mutace a populační genetiku, včetně významu genetiky a využití jejich poznatků i z hlediska etického, a to vše včetně úloh a příkladů.

Na základních školách byly dále používány tituly z 60. let, které vycházejí v dalších vydáních (například Hainer et al., 1972). Jejich popularitu ostatně dokazuje i to, že se nacházejí v knihovnách některých současných děle praktikujících učitelů, se kterými jsem se setkala během své pedagogické praxe (mezi lety 2017–2020), jako pozůstatky jejich vlastního studia. Významnou změnou však prochází titul *Přírodopis 9*, původní poslední kapitola Význam Darwinismu pro šlechtitelství, I. V. Mičurin byla změněna na Význam nauky o dědičnosti (Pauk et al., 1980). Je v rámci ní vyzdvihován a v detailu popsán život i práce Mendela (tehdy pod českým ekvivalentem jména Jan Řehoř) na křížení hrachu. Kromě zásluh „vynikajících sovětských genetiků“, které režim v minulých dekadách v zásadě vymýtil (Kolchinsky et al., 2017), je zmíněna i práce T. H. Morgana na octomilkách.

I tituly pro nižší ročníky již genetiku do určité míry obsahovaly, například *Přírodopis 7: pro 7. ročník základní školy* s prvním vydáním z roku 1982 (Fleischmann et al., 1982). Kromě zjednodušeného popisu buněčného dělení s ilustracemi obsahuje samostatnou kapitolu Dědičnost organismů, která zjednodušeně popisuje Mendelovy objevy a poměrně široce uvádí možnosti využití genetických poznatků ve šlechtění a lékařské diagnostice. Ačkoli učebnice trpí odbornými nedostatky nebo spíše přílišným zjednodušením

informací až k mírně zavádějícím formulacím, je v zásadě plně oproštěná od ideologie. Rehabilitaci Mendelova přínosu vědě také dokazuje pomocný text vydaný pro 6.–9. ročník ZŠ s názvem *Význační biologové: Výběr portrétů pro ZDŠ a školy II. cyklu*, kde je Mendel zahrnut mezi jména jako Darwin a Pasteur (Boháč, 1978).

Zatímco u nás se genetika v učebnicích pro základní školy šířeji objevila až v 80. letech, v USA můžeme najít učivo dědičnosti přítomné již v titulu pro druhý stupeň z roku 1965 (Hogg et al., 1965). Z hodnocení obsahu učebnic vydaných během 80. let 20. století určených převážně pro střední školy pak vyplývá, že stejně jako české učebnice obsahovaly učivo genetiky v širokém rozsahu, včetně procesu proteosyntézy (Lundin & McCarthy, 1989).

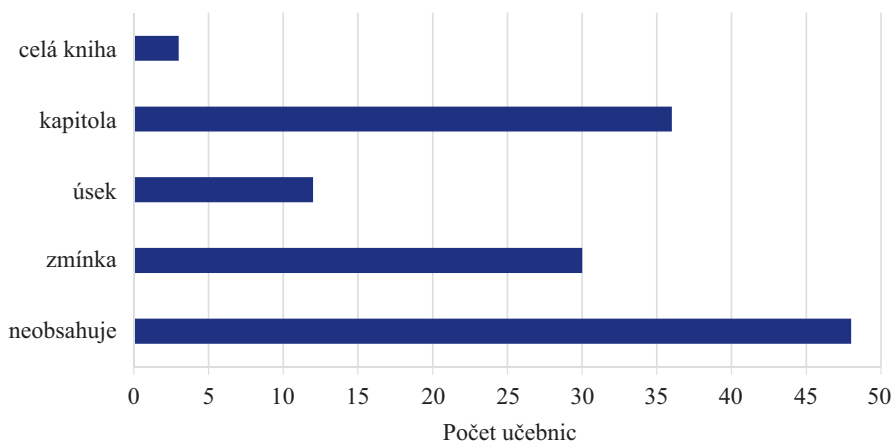
Genetika byla plnou součástí výuky na českých vysokých školách včetně pedagogických fakult a vyšly nové VŠ učebnice českých autorů zaměřené na genetiku (Matalová & Sekerák, 2004). Roku 1985 vyšla učebnice *Obecná biologie* s podtitulem *Celostátní vysokoškolská učebnice pro studenty přírodovědeckých a pedagogických fakult*, která obsahuje v zásadě všechny základy genetiky a buněčné biologie v té době dostupné (Romanovský et al., 1985). V SPN také vyšla samostatná vysokoškolská učebnice zaměřená pouze na molekulární biologii (Rosypal et al., 1983). Vyšlo i mnoho titulů pro zemědělské a lékařské fakulty, které obsahovaly učivo klasické genetiky v plné šíři – *Biologie: učebnice pro lékařské fakulty*, která vyšla i v pozdějším aktualizovaném vydání roku 2000 (Nečas et al., 1989).

Období po roce 1989 je charakterizováno překotnými a častými změnami ve vzdělávací politice. Během devadesátých let postupně vzniklo několik typů osnov a vzdělávacích programů, transformace byla zakončena v roce 2001 prvním návrhem Rámcového vzdělávacího programu základního vzdělávání (Podroužek, 2011) uzákoněném později roku 2004 (zákon č. 561/2004 Sb., o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání, tzv. Školský zákon). Všechny tyto osnovy a programy již měly (a i jejich současné verze mají) genetiku zakotvenou jako povinnou součást přírodopisu na druhém stupni základních škol. Danou oblast učiva se tak se sametovou revolucí povedlo konečně plně rehabilitovat.

Na trhu se také objevilo velmi široké spektrum nových učebnic pro stejné ročníky od různých nakladatelství – genetika se tak začala objevovat v rozličných formách a výkladech. Aby byla zajištěna kontrola obsahu a soulad učebnic s národním kurikulem, vyšel v roce 1999 postup pro udělení tzv. schvalovací doložky MŠMT (s revizí postupu platnou od roku 2003) (Greger, 2005).

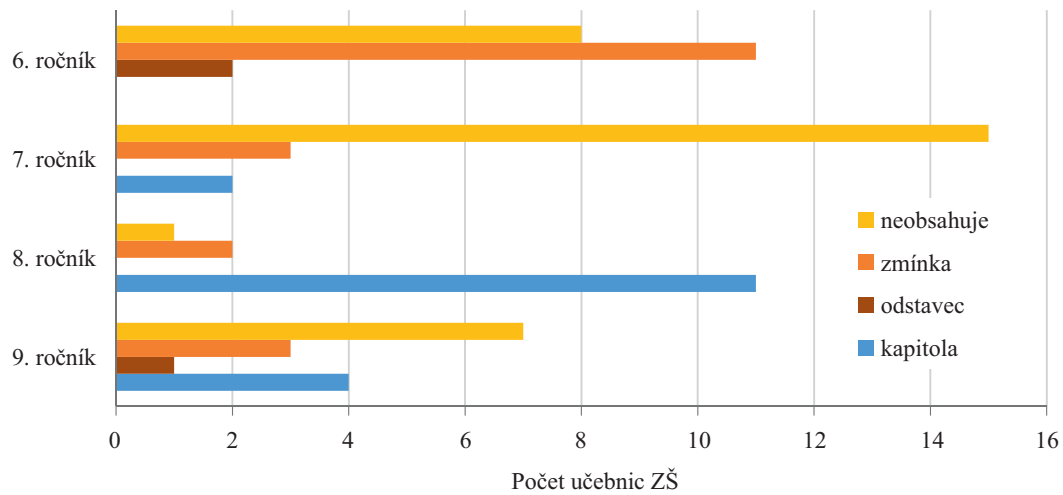
4.4 Obsah učiva genetiky v současných učebnicích

V současnosti se genetika již běžně vyskytuje v učebnicích pro základní i střední vzdělávání (ISCED 2 a 3) (viz obr. 1), v rámci kterého je rozmístěna různě i s ohledem na typ školy. Pro střední vzdělávání existují i specializované tituly zaměřené pouze na učivo genetiky.

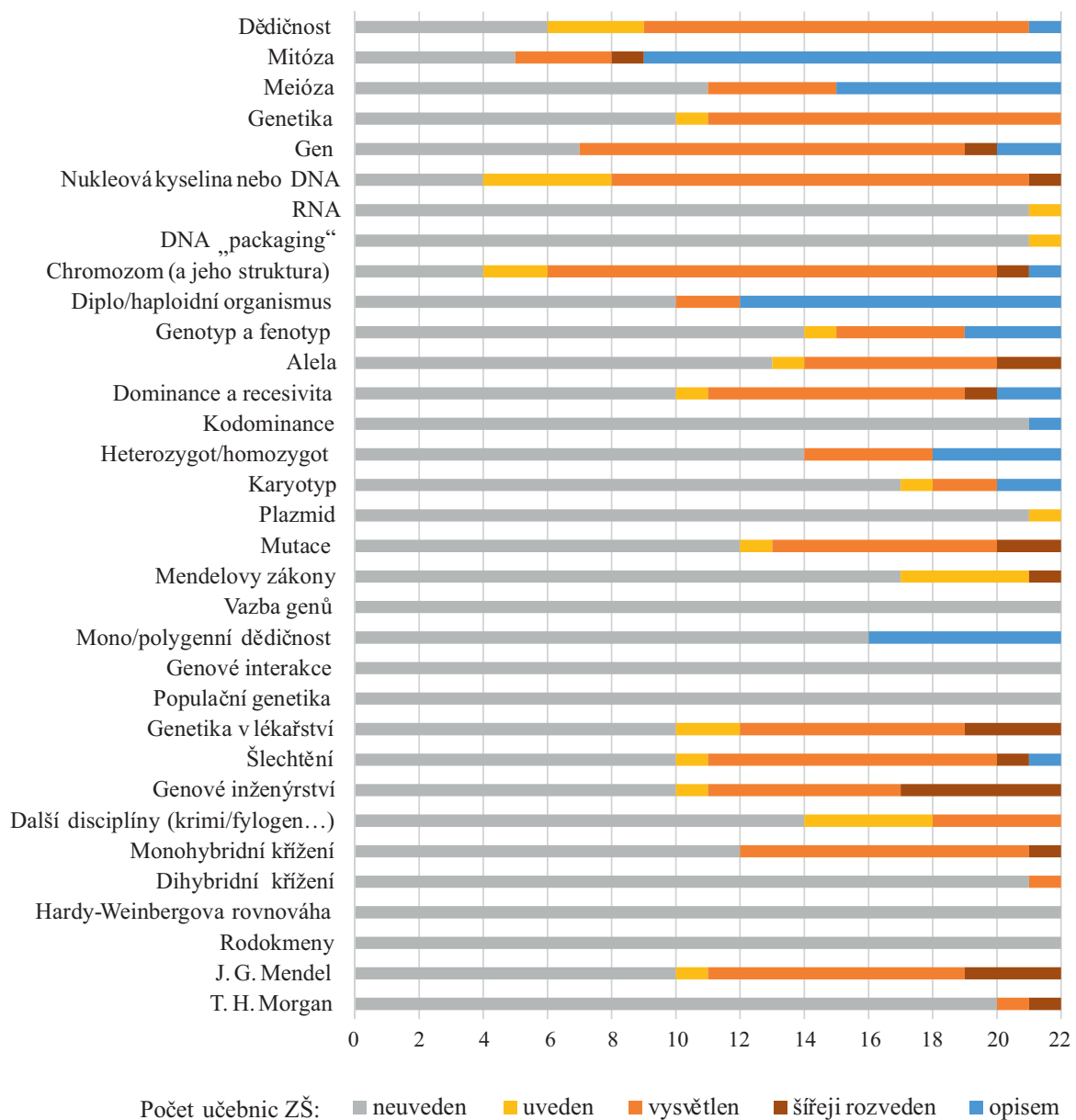


Obr. 1: Rozsah učiva genetiky v učebnicích přírodopisu a biologie pro základní i střední vzdělávání vydaných po roce 1989 ($N = 129$)

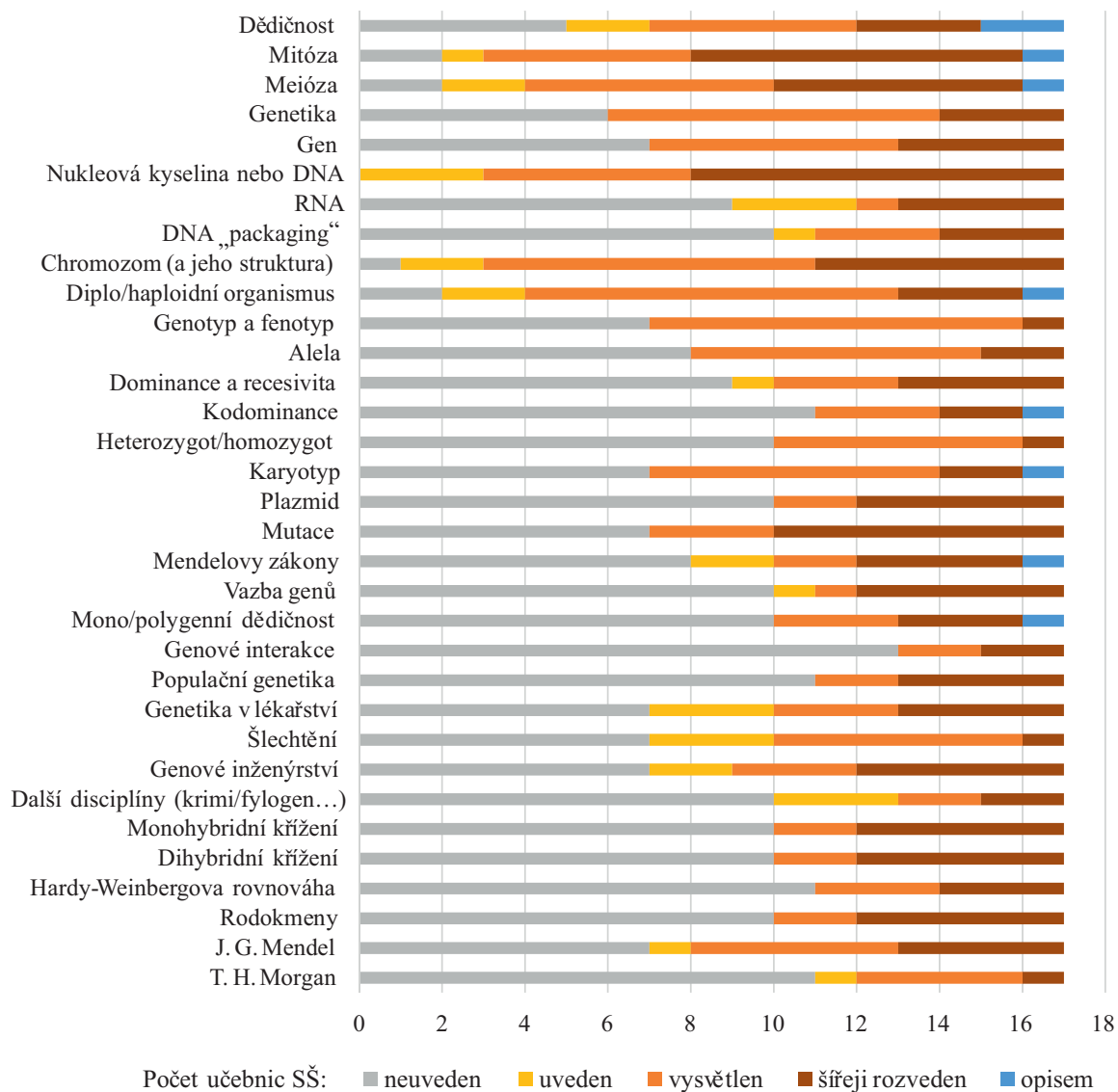
Na základních školách se genetika vyskytuje postupně od začátku 2. stupně. Analyzované učebnice určené pro ZŠ a nižší ročníky gymnázií rozmisťují učivo genetiky v rámci jednotlivých ročníků následujícím způsobem (obr. 2). V 6. ročníku se většinou objevují zmínky o genetické informaci, jejím umístění a případně i významu pro organismus v rámci učiva buňky nebo bakterií a virů. V učebnicích pro 7. ročník se genetika ve většině případů vůbec nevyskytuje (vzácně v rámci učiva úvodu botaniky – stavbě rostlinné buňky nebo rozmnožování rostlin). Většina učiva genetiky bývá situována v rámci 8. nebo 9. ročníku převážně jako součást učiva biologie člověka nebo vzácněji spojená s evoluční biologii či velmi stručně zmíněna u učiva vzniku života na Zemi.



Obr. 2: Rozložení učiva genetiky v rámci jednotlivých ročníků druhého stupně ZŠ v učebnicích přírodopisu určených pro druhý stupeň ZŠ a nižší stupeň víceletých gymnázií vydaných po roce 1989 ($N = 70$). Zahrnuté byly pouze ty učebnice, u kterých bylo specifikováno, pro který konkrétní ročník jsou určeny



Obr. 3: Analýza rozpracování pojmů a témat učiva genetiky v učebnicích určených pro ZŠ ($N = 22$)



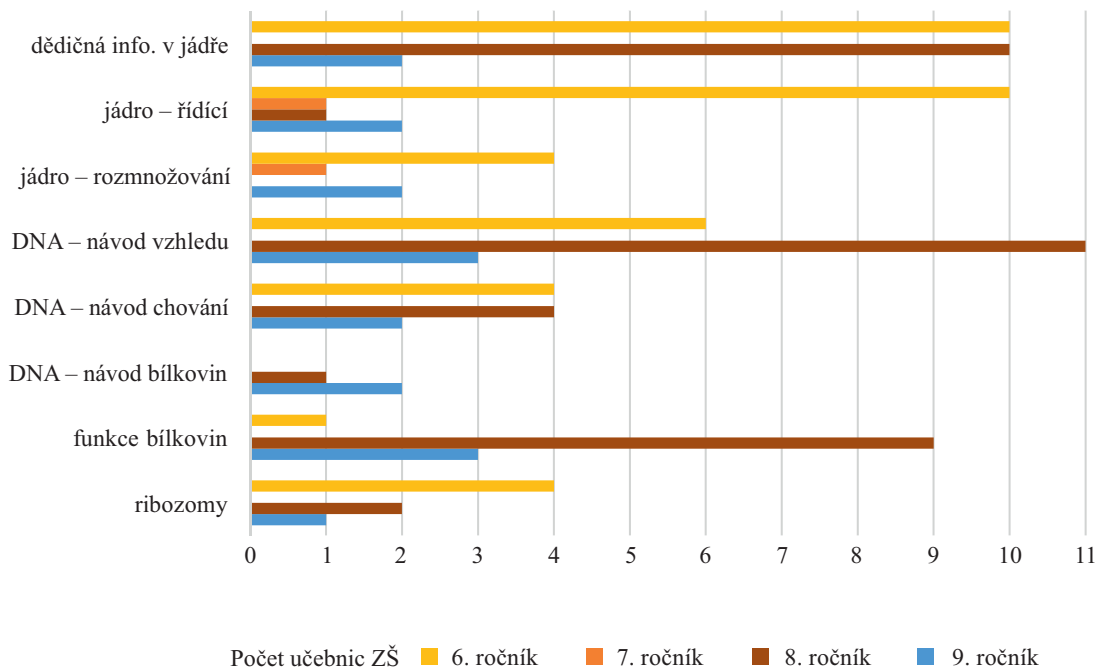
Obr. 4: Analýza rozpracování pojmů a témat učiva genetiky v učebnicích určených pro SŠ ($N = 17$)

Co se týče obsahu učiva v učebnicích pro střední a základní školy, pokud učivo genetiky obsahují (viz Příloha 2), jde již v zásadě o kompletní poznatky klasické i molekulární genetiky minulého století (viz obr. 3 a 4). Obsah učiva genetiky také odpovídá současným požadavkům RVP (viz Příloha 1) a učebnice mají doložky MŠMT.

V učebnicích určených pro základní školy je učivo typicky uváděno stručně a pouze základní pojmy jako dědičnost, DNA, gen a genetika, některé pouze opisem. V učebnicích pro střední vzdělávání je už genetice věnován mnohem větší prostor. Učivo je hlavně v titulech určených pro gymnázia velmi detailně a široce rozvedeno. Jednotlivé pojmy jsou uváděny přímo (nikoli opisem) a popsány detailněji.

Klasická mendelovská genetika je stále dominujícím prvkem (tedy příklady mono a dihybridního křížení, základní alelové interakce), ale v učebnicích se již čteně objevuje i pestřejší užití poznatků genetiky a technologie genového inženýrství s vysvětlením jeho mechanismu. Příklady mnohem běžnějšího a více rozšířeného využití genetických poznatků, jako je užití v kriminalistice nebo vědních oborech, jsou ale méně rozvedené a ani stručná podstata jejich metodiky není až na výjimky osvětlená (viz obr. 3 a 4). Především učebnice pro ZŠ často odkazují na v reálu spíše méně využívané, ale značně zpopularizované, laboratorní metody jako klonování živočichů.

Z pojmové analýzy také vyplývá, že proces buněčného dělení je s genetikou více spjat až v učebnicích pro SŠ. Samotný proces dělení buněk a jeho fáze nejsou v učebnicích pro ZŠ nijak více rozvedeny (maximálně jednoduše ilustrovány) a pojmy jako meióza a mitóza nejsou ve většině případů ani jmenovány. V učebnicích pro SŠ se již setkáme s detailním popisem procesů meiózy (včetně crossing-overu) a mitózy.



Obr. 5: Obsah učebnic pokrývající učivo centrálního dogmatu genetiky v současnosti používaných edicích učebnic přírodopisu pro druhý stupeň ZŠ a analogické ročníky víceletých gymnázií. U každého titulu ($N = 26$) bylo sledováno: zavedení rozmnožování se vztahem k přenosu dědičné informace, uvedení lokalizace dědičné informace v jádru, funkce připisované buněčnému jádru a genetické informaci (DNA), zmínění funkce bílkovin a popis ribozomů, které je pomáhají tvořit

Dále byla sledována návaznost učiva a propojování poznatků genetiky do logického systému v současnosti užívaných učebnicích pro druhý stupeň ZŠ (a analogické ročníky víceletých gymnázií) (viz obr. 5). Učebnice s pouhou zmínkou nebo odstavcem věnovaným genetice byly téměř ve všech případech určeny pro 6. ročník, naopak učebnice obsahující celou kapitulu byly určeny převážně pro ročník 8. Učebnice pro 7. ročník se v analýze až na jednu nevyskytují, neboť v nich učivo genetiky chybí.

Už z předchozí pojmové analýzy je patrné, že učebnice pro ZŠ postrádají vysvětlení převodu DNA na viditelné znaky. V širší analýze se následně ukázalo, že jen tři v současnosti užívané učebnice pro ZŠ z 26 titulů vůbec zmiňují roli DNA jako návodu na tvorbu bílkovin – *Přírodopis III* od Scientia pro 8. ročník (Dobruka et al., 1999), *Přírodopis pro 9. ročník* od Jinan a *Ekologický přírodopis pro 9. ročník* od Fortuna (Kočárek & Kočárek, 1996; Kvasničková et al., 2000).

Funkce bílkovin v učebnicích pro 6. (a 7.) ročník chyběla u všech kromě dvou titulů – *Přírodopis I* od Scientia (Dobruka et al., 1997) a *Přírodopis 6* od Prodosu (Dančák & Sedlářová, 2011). Pokud byly bílkoviny uvedeny, tak pouze jako jedna ze součástí živých soustav. Jejich funkce byla uváděna až později u učebnic pro 8. ročník, kromě titulu *Přírodopis 3 pro 8. ročník* od SPN (Černík et al., 2003), a specifikována jako stavební, resp. sloužící k růstu organismu, případně i obnovy tkání. Jako konkrétní příklad lokalizace bílkovin v těle byla u všech učebnic pro 8. ročník uvedena alespoň krevní plazma (případně i svaly, kosti nebo jiné pojivové tkáně). Samotné funkce bílkovin byly uváděny v rámci kapitol o výživě a nikoli jako součást učiva genetiky. Ve většině učebnic pro 9. ročníky byly bílkoviny zmíněny v kapitole o vzniku života na Zemi jako zásadní součást budoucích živých buněk, a to i u titulů, které jinak učivo genetiky neobsahovaly, ale opět bez propojení s dalším učivem.

Funkce jádra byly ve všech případech bodově popsány v učebnicích pro 6. ročník v rámci učiva buňky (alespoň formou, že jádro je řídicí organela), nebyly však nijak hlouběji vysvětleny tam ani v učebnicích pro vyšší ročníky, kde se často ani nevyskytovaly (zmíněny byly pouze v pětině učebnic pro 8. nebo 9. ročníky). Podobným způsobem byly začleněny i ribozomy – stručně a pouze v rámci učiva buňky jako jednotky tvorby bílkovin bez návaznosti na další učivo (tedy procesy v buňce a organismu) a bez hlubšího vysvětlení, za jakým účelem svou funkci vůbec vykonávají.

Co se týká funkcí DNA uvedených v učebnicích, převažuje stručná informace, že jde o návod pro znaky organismu. V učebnicích obsahujících celou kapitulu o genetice (pro 8. a 9. ročník) jsou tyto znaky specifikovány hlavně jako znaky vizuální než funkční. Ze 13 titulů 11 explicitně uvádělo jako příklad dědičných znaků barvu vlasů nebo očí. Učebnice tedy uvádí snadno pozorovatelný znak, který je názorný, ale už explicitně nezmiňují, že i vznik samotného vlasu nebo oka, tedy i schopnosti vidět, je geneticky podmíněn.

Pojem mutace byl zaveden v 8 učebnicích, z nichž čtyři tento pojem uváděly pouze v negativní konotaci (tzn. mutace způsobují vznik genetických onemocnění), zbylé čtyři zmiňovaly i důležitost mutací při vzniku nových znaků v evoluci. U genetických onemocnění pak chybí některé v populaci časté a také medializované typy jako laktózová intolerance nebo Leidenská mutace.

Genetika je také úzce spjatá s rozmnožováním. V rámci kapitol o lidské pohlavní soustavě genetika ale chyběla, nebo byla zmíněna jen heslovitě (např. při rozmnožování dochází k předání genů, genetika dvojčat nebo počet chromozomů člověka). I genetické určení pohlaví, pokud bylo uvedeno, bylo až v kapitole o genetice. Na druhou stranu u titulů obsahujících kapitolu zaměřenou na genetiku (celkem 13 učebnic) uvádělo vztah mezi genetickou informací a nepohlavním rozmnožováním (buněčným dělením) 9 titulů, dopad pohlavního rozmnožování na genetickou informaci potomka pak 11 titulů, čteně i s ilustrací procesů dělení.

Za zmínku pak stojí i to, že v některých titulech pro ZŠ vede zjednodušený výklad učiva k zavádějícím formulacím. Příkladem je uvádění monogenní dědičnosti u polygenních znaků (rolování jazyka a barva očí) nebo nevhodný popis recesivity a dominance genů, viz například str. 110 v *Přírodopise 8* od Frause (Pelikánová et al., 2016) a str. 106 v *Přírodopise 8: Biologie člověka* od Nové školy, s. r. o. (Drozdová et al., 2009).

5 Diskuze

Učivo genetiky se začalo v učebnicích v rámci českých zemí objevovat až během 30. let 20. století, a to jen ve vysokoškolském vzdělávání. Na základních a středních školách bylo zavedeno pouze učivo buněčné biologie (buněčné dělení a význam jádra, často pouze zmínkou) a samotná klasická genetika nebyla součástí učebních textů, až na jednu výjimku (Pastejřík, 1936). Možným důvodem bylo fenologické zaměření kurikula (Podroužek, 2011). Na druhou stranu tak díky tomu nejspíš nedocházelo k přejímání negativních zahraničních trendů, jakými byla například eugenika.

V období po 2. světové válce byla genetika v učebnicích základních škol pouze ve formě Mičurinské biologie. Až Usnesení Vlády ČSSR na podporu genetiky z roku 1966 podnítilo návrat učiva na střední a plně i vysoké školy (Matalová & Sekerák, 2004). V kurikulu základních škol se tak moderní poznatky genetiky objevují až na konci 70. let 20. století (*Učební osnovy základní školy: Přírodopis pro 5.–8. ročník*, 1978). Po této etapě však již nové učebnice z 80. let obsahovaly v té době aktuální poznatky klasické i molekulární genetiky, a to učebnice pro ZŠ i SŠ. Díla z tohoto období určená pro gymnázia nebo vysoké školy jsou i dnes stále hodnotnými a kvalitními zdroji informací o základních principech genetiky. Ačkoli měla ideologie prokazatelný vliv na šíři i obsah učiva genetiky, podařilo se toto učivo úspěšně rehabilitovat a během necelých tří dekad od zavedení sovětských osnov se učivo genetiky plně dostalo i do nových osnov pro základní vzdělávání.

Současné učebnice obsahují již všechny moderní poznatky základů genetiky. Učivo zavádí už na druhém stupni ZŠ a jeho obsah je v souladu s požadavky národního kurikula (RVP) (NÚV, 2017; VÚP, 2007), vzhledem k jeho stručnosti je širší učiva výrazně větší. Především v případě učebnic pro ZŠ a některých titulů pro střední odborné školy se zkráceným biologickým kurikulem je otázkou, nakolik je podání učiva nápomocné při plnění výstupů RVP (NÚV, 2017, 2019) (viz Příloha 1). Z analýzy v současnosti užívaných učebnic vyplývá několik zásadních problémů.

Spolu s dalšími evropskými státy sdílíme nevhodné rozložení učiva napříč ročníky (Knippels et al., 2005). Současná podoba zavádí pojem dědičná či genetická informace již v 6. ročníku. Další učivo genetiky se ale objevuje po dlouhé odmlce v 8. ročníku. Genetika člověka pouze povrchně navazuje na předchozí úvod zmíněním lokalizace jádra, ale často ani neuvádí, nebo nijak nevysvětluje funkce jádra uvedené v 6. ročníku (řízení buňky a podíl na rozmnožování). Na druhou stranu určitou návaznost na učivo rozmnožování najdeme až v polovině učebnic pro ZŠ, byť ne vždy je popis rozdílů mezi pohlavním a nepohlavním rozmnožováním dostatečně explicitní. Naprostá většina žáků na ZŠ i absolventů SŠ tak vykazuje porozumění minimálně tomu, že při pohlavním rozmnožování získává každý potomek od každého ze dvou rodičů polovinu své sady dědičné informace (Machová, 2019; Machová & Ehler, 2019). V případě nepohlavního rozmnožování už část z nich nedokáže vyjádřit, že potomek je geneticky klonem rodiče (Machová, 2019; Machová & Ehler, 2019).

Chybějící návaznost některých částí učiva není jen problémem učebnic. Rozložení učiva v učebnicích se promítá i do jeho uspořádání v ŠVP základních škol (Machová, 2019) a izolovanost učiva genetiky se projevuje i v národním kurikulu a v ŠVP škol středních (Janštvová & Jác, 2015).

V učebnicích hlavně pro ZŠ pak výrazně chybí propojení uváděných úrovní biologické organizace. Ačkoli popisují existenci DNA na buněčné úrovni a obecně i její vliv na organismus, nijak tyto dvě úrovně explicitně nespojují. Mechanismus vzniku znaků dle DNA, tedy DNA jako návod na výrobu bílkovin a jejich následné funkce v těle, není v učebnicích popsán, nebo je v textu skrytý. Na příkladu

ribozomů je také vidět, že učebnice zavádějí i pojmy, které plně nevysvětlí, ani dále nevztáhnou k dalšímu učivu. Zcela tak chybí jakákoli podpora systémového myšlení žáků, které je jednou z důležitých a žádaných schopností absolventů všeobecného vzdělávání (Gilissen et al., 2020).

Samotná povaha a funkce bílkovin jsou přitom v učebnicích pro ZŠ i SŠ popsány, ale u učebnic pro ZŠ, včetně učebnice *Základy biologie a ekologie* od Fortuny pro SŠ (Kvasničková, 2014), spíše povrchně, uvedeno je málo příkladů jejich funkcí a v naprosté většině případů nejsou ani bílkoviny součástí učiva genetiky, ale kapitol o výživě nebo vzniku a složení živých organismů.⁴ Stejně tak význam DNA v učebnicích pro ZŠ najdeme jako tvorba znaků organismu, ale chybí širší vysvětlení vlivu DNA na zachování životních funkcí (ať už pohybu, metabolismu i řízení bílkovinnými hormony a dalších) zajišťovaných během celého života organismu, nikoli pouze během utváření jeho podoby v zárodečné linii.

Učebnice, především ty pro ZŠ, tak nespojitostí informací a jejich neúplností vytváří tři zcela uměle oddělené linie učiva genetiky: (1) jádro jako řídicí organelu buňky, (2) genetickou informaci (DNA) jako návod na vlastnosti organismu a (3) bílkoviny pouze jako součást potravy a stavební materiál těla. Z takto kusých informací je pro žáka poměrně těžké sestavit esenciální trojúhelník vztahů vycházející z centrálního dogmatu molekulární biologie: „DNA–bílkovina–znak“ (Duncan et al., 2009; Knippels et al., 2005).

Učebnice pro gymnázia sice proteosyntézu (vznik bílkovin podle DNA) i funkce bílkovin rozvádějí velmi detailně, ale značně deskriptivně, což žáky snadno přehltnou novými pojmy na úkor pochopení podstaty věci. Četné miskoncepce zjištěné u studentů českých gymnázií jsou nejspíše důsledkem tohoto, neboť ač se zvládnou nové učivo namemorovat, stále postrádají schopnost jeho aplikace a propojení poznatků (Vlčková et al., 2016).

DNA přitom není pouze návodem na výrobu proteinů, má také rozsáhlé regulační funkce a ovlivňuje samotný proces genové exprese (Gayon, 2016; Portin, 2002), což často opomíjejí i zahraniční učebnice pro SŠ (Albuquerque et al., 2008; Castéra et al., 2008). Nicméně tyto poznatky je logicky obtížné zavádět v situaci, kdy žáci plně nechápou ani základ toho, k čemu DNA v jejich těle slouží.

Dá se tedy říct, že zatímco zahraničním učebnicím je vytýkáno zastaralé deterministické pojetí genetické informace (zjednodušeně „jeden gen = jeden znak“), naše učebnice především pro ZŠ ještě ani plně nedosáhly stupně, kdy je tento mechanismus dostatečně vysvětlen. To, že je řídicí funkce buňky typicky přisuzována jádru a nikoli DNA, snadno vede k tomu, že žáci ani učitelé z učebnice nemůžou explicitně vyčíst spojení mezi výrobou proteinů a DNA ani spojení s funkcemi regulace genové exprese (nebo alespoň řízení organismu výrobou hormonů bílkovinné povahy dle návodu v DNA) (Machová, 2019).

Ke správnému pochopení tohoto procesu je navíc nutná vhodná vizuální reprezentace (Marbach-Ad et al., 2008; Starbek et al., 2010). A právě kvalita a množství ilustrací se sice výrazně s lety zlepšují, ale stále vykazují četné nedostatky. Tituly vydané v 90. letech, které se dnes stále vyskytují na trhu (jako řady Scientia nebo Ekologický přírodopis od Fortuny), neprošly od prvního vydání žádnou výraznou aktualizací grafického obsahu i přesto, že dnes je možné získat kvalitní fotografie nebo schémata i bezplatně či s využitím volných licencí.⁵ Učebnice pro střední školy mají ilustrace častěji černobílé a více schematické oproti ilustracím v učebnicích pro ZŠ (Machová, 2017). Věk žáků, kterým je učebnice určena, by ale kvalitu grafického zpracování rozhodně nijak ovlivňovat neměl.

Následkem všech těchto nedostatků je pak nejspíše povrchní představa o funkcích DNA a neschopnost vyjádření jejího plného významu pro život spolu s četnou řadou miskoncepací, což jsou velmi rozšířené problémy mezi žáky ZŠ, studenty a absolventy českých středních škol (Machová, 2019; Machová & Ehler, 2019; Vlčková et al., 2016). Mylné chápání učiva genetiky je celosvětový fenomén (Lewis & Kattmann, 2004; Stern & Kampourakis, 2017), miskoncepce jsou poměrně trvalé a můžeme je najít i u studentů učitelských oborů (Dikmenli, 2010; Ozcan et al., 2012). Lze se jen domnívat, kolik jich sami nakonec přenášejí do praxe.

Řešení tohoto problému v českém prostředí by přitom na základě provedené analýzy nemuselo být příliš komplikované: především včas, jednoduše, bez přebytečných detailů a pojmů, explicitně a ideálně s ilustracemi vyjádřit spojení mezi DNA, výrobou bílkovin a jejich funkcemi v těle. Jedině na tomto základu je dnes možné budovat složitý a objemný systém dalších poznatků genetiky.

Učebnice přírodopisu a biologie by se tak po zpracování jejich nalezených nedostatků mohly stát jedním z hlavních nástrojů, jak pozitivně ovlivnit chápání základů genetiky. A to jako zdroj didakticky vhodného příkladu transformace takto důležitého učiva, který bude žákům maximálně srozumitelný, přístupný a užitečný jako rychlý návod i pro jejich učitele.

⁴Je třeba podotknout, že toto učivo je součástí RVP a vyskytuje se v rámci učiva organické chemie (VÚP, 2007).

⁵Dnes typicky běžně užívané licence Creative Commons (viz <https://creativecommons.org/licenses/?lang=cs>).

6 Závěr

Vývoj učebnic přírodopisu ušel od začátku minulého století dlouhou cestu a mnoho se z dnešního pohledu zlepšilo. Učivo genetiky se podařilo úspěšně rehabilitovat i po tvrdém zásahu v 50. letech a ještě před sametovou revolucí bylo úspěšně doplněno o všechny moderní poznatky, na základě kterých se dále rozvíjí.

Daný okruh učiva je ale stále zatížen nepříliš vhodným způsobem pojetí, které je spíše deterministické a zcela neodráží současný výklad všech funkcí genetické informace. Důrazně nevysvětluje vznik znaků organismu na základě DNA a trpí také roztržitostí napříč ročníky.

Nemůžeme spoléhat na pomalé změny kurikulárních dokumentů a učebních materiálů. Je třeba v duchu vědomí těchto chyb již dnes vzdělávat budoucí i současné učitele, aby sami toto učivo zvládli správně pojmut teoreticky i prakticky a byli schopni ho integrovat v rámci systému ostatních biologických věd a jejich poznatků a vhodně didakticky transformovat svým žákům.

Literatura

- Aivelo, T., & Uitto, A. (2015). Genetic determinism in the Finnish upper secondary school biology textbooks. *Nordic Studies in Science Education*, 11(2), 139–152. <https://doi.org/10.5617/nordina.2042>
- Albuquerque, P. M., de Almeida, A. M. R., & El-Hani, N. C. (2008). Gene concepts in higher education cell and molecular biology textbooks. *Science Education International*, 19(2), 219–234.
- Avery, O. T., MacLeod, C. M., & McCarty, M. (1944). Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types: Induction of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from pneumococcus type III. *The Journal of Experimental Medicine*, 79(2), 137–158.
- Bartušek, V. (1933). *Rostlinopis se všeobecným závěrem botaniky*. Československá grafická unie.
- Bašovská, M., Halášová, R., Nečas, O., Pastýřik, L., Trojanová, M., Šmarda, J., Boháč, I., & Stoklasa, J. (1985). *Biologie pro II. ročník gymnázií*. SPN.
- Bateson, P. (2002). William Bateson: A biologist ahead of his time. *Journal of Genetics*, 81(2), 49–58. <https://doi.org/10.1007/BF02715900>
- Bigelow, M. A., & Bigelow, A. N. (1911). *Applied biology; An elementary textbook and laboratory guide*. The MacMillan Company. Dostupné z <https://archive.org/details/appliedbiologyel00bigerich/page/n15/mode/2up>
- Bigelow, M. A., & Bigelow, A. N. (1913). *Introduction to biology: An elementary textbook and laboratory guide*. The MacMillan Company. Dostupné z <https://archive.org/details/introductiontob00bigegoog/mode/2up>
- Boháč, I., et al. (1978). *Význační biologové: Výběr portrétů pro ZDŠ a školy II. cyklu* (J. Chalašová & M. Šmídová (Eds.)). Komenium, n. p.
- Borinskaya, S. A., Ermolaev, A. I., & Kolchinsky, E. I. (2019). Lysenkoism against genetics: The meeting of the Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences of August 1948, its background, causes, and aftermath. *Genetics*, 212(1), 1–12. <https://doi.org/10.1534/genetics.118.301413>
- Bouček, B., Junger, A., Kratochvíl, V., Pospíšil, J., Meisner, J., Burian, Z., Demartini, E., Hachlová, E., & Kotrba, E. (1955). *Základy darwinismu: Učební text pro 10. postupný ročník jedenáctileté střední školy a pro pedagogické školy*. SPN.
- Brožek, A. (1930). *Rostlinopis: svazek V. – nauka o dědičnosti* (S. Prát (Ed.)). Aventinum.
- Burian, R. M. (2013). On gene concepts and teaching genetics: Episodes from classical genetics. *Science and Education*, 22(2), 325–344. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9367-y>
- Campbell, J. H. (1893). *Textbook of elementary biology*.
- Caspari, E. W., & Marshak, R. E. (1965). The rise and fall of Lysenko. *Science*, 149(3681), 275–278. <https://doi.org/10.1126/science.149.3681.275>
- Castéra, J., Abrougui, M., Nisiforou, O., Turcinaviciene, J., Sarapuu, T., Agorram, B., Calado, F., & Carvalho, G. (2008). Genetic determinism in school textbooks: A comparative study conducted among sixteen countries. *Science Education International*, 19(2), 163–184.
- Crow, E. W., & Crow, J. F. (2002). 100 Years ago: Walter Sutton and the chromosome theory of heredity. *Genetics*, 160(1), 1–4.
- Curtis, F. D., & Urban, J. (1953). *Biology in daily life*. Ginn and co. Dostupné z <https://archive.org/details/biologyindailyli00curt/mode/2up>
- Černík, V., Bičík, V., & Martinec, Z. (2004). *Přírodopis 1 pro 6. ročník: zoologie, botanika*. SPN.

- Černík, V., Bičík, V., & Martinec, Z. (2003). *Přírodopis 3 pro 8. ročník základní školy: biologie člověka se základy etologie a genetiky*. SPN.
- Dančák, M., & Sedlářová, M. (2011). *Přírodopis 6: vývoj života na Zemi – obecná biologie – biologie hub*. Prodos.
- Dastur, A., & Tank, P. (2010). Gregor Johann Mendel: The father of modern genetics. *Journal of Prenatal Diagnosis and Therapy*, 1(1), 3.
- Dikmenli, M. (2010). Misconceptions of cell division held by student teachers in biology: A drawing analysis. *Scientific Research and Essays*, 5(2), 235–247. <https://doi.org/10.5897/SRE.9000654>
- Dobruka, L. J., Cílek, V., Hasch, F., & Storchová, Z. (1997). *Přírodopis I pro 6. ročník základní školy*. Scientia.
- Dobruka, L. J., Vacková, B., Králová, R., & Bartoš, P. (1999). *Přírodopis III pro 8. ročník základní školy*. Scientia.
- dos Santos, V. C., Joaquim, L. M., & El-Hani, C.N. (2012). Hybrid deterministic views about genes in biology textbooks: A key problem in genetics teaching. *Science and Education*, 21(4), 543–578. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9348-1>
- Drozdová, E., Klinkovská, L., & Lízal, P. (2009). *Přírodopis 8: Biologie člověka*. Edice Duhová řada. Nová škola, s. r. o.
- 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>
- Duncan, R. G., Rogat, A. D., & Yarden, A. (2009). A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th–10th grades. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 655–674. <https://doi.org/10.1002/tea.20312>
- Fairbanks, D. J., & Rytting, B. (2001). Mendelian controversies: A botanical and historical review. *American Journal of Botany*, 88(5), 737–752. <https://doi.org/10.2307/2657027>
- Fleischmann, J., Linc, R., Dostál, P., & Rošická, L. (1982). *Přírodopis 7: Pro 7. Ročník základní školy*. SPN.
- Freidenreich, H. B., Duncan, R. G., & Shea, N. (2011). Exploring middle school students' understanding of three conceptual models in genetics. *International Journal of Science Education*, 33(17), 2323–2349. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.536997>
- Gayon, J. (2016). From Mendel to epigenetics: History of genetics. *Comptes Rendus – Biologies*, 339(7–8), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2016.05.009>
- Gericke, N. M., & Hagberg, M. (2007). Definition of historical models of gene function and their relation to students' understanding of genetics. *Science and Education*, 16(7–8), 849–881. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9064-4>
- 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>
- Goncharov, N. P., & Savel'ev, N. I. (2016). Ivan V. Michurin: On the 160th anniversary of the birth of the Russian Burbank. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*, 6(1), 105–127. <https://doi.org/10.1134/S2079059716010068>
- Graham, L. R. (2016). *Lysenko's Ghost: Epigenetics and Russia*. Harvard University Press.
- Greger, D. (2005). Proces schvalování učebnic v historickosrovnávací perspektivě. *Pedagogická orientace*, 15(3), 112–117.
- Groulík, J., Úlehla, J., Hampl, R., Broul, F., & Úlehla, V. (1936). *Přírodopis pro II. třídu měšťanských škol*. R. Promberger.
- Hainer, V., Hnízdo, A., Ličková, M., & Trávníček, T. (1972). *Přírodopis pro 8. ročník základních devítiletých škol (Biologie člověka)*. SPN.
- Hogg, J. C., Davis, S. G., Cross, Ju. B., Vordenberg, K. E., & Meyer, E. (1965). *Basic science for secondary schools*. D. Van Nostrand Company (Canada).
- Hrubý, K. (1961). *Genetika*. Nakladatelství Československé akademie věd.
- Janík, T., Najvar, P., Najvarová, V., & Píšová, J. (2007). Uplatnění didaktických prostředků a médií ve výuce fyziky (se zvláštním zřetelem k učebnicím). In J. Maňák, & P. Knecht (Eds.), *Hodnocení učebnic* (s. 82–97). Paido.
- 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>
- Jeník, J., Pazourek, J., Roubal, J., Střihavková, H., & Šmídová, M. (1967). *Botanika pro 1. ročník středních všeobecně vzdělávacích škol*. SPN.

- Jeník, J., Pazourek, J., Roubal, J., Střihavková, H., & Šmídová, M. (1977). *Botanika pro II. ročník gymnázií*. SPN.
- Kábrtová, J. (2006). *Vydavatelé a nakladatelé: (Shoda a rozdíl ve vydávání periodik a neperiodik)* [Bakalářská práce]. Univerzita Karlova. Dostupné z <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/download/130175067>
- 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>
- Kočárek, E., & Kočárek, E. (2000). *Přírodopis pro 8. ročník základní školy*. Jinan.
- Kolchinsky, E. I., Kutschera, U., Hossfeld, U., & Levit, G. S. (2017). Russia's new Lysenkoism. *Current Biology*, 27(19), R1042–R1047. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.07.045>
- Konířová, M. (2005). *PŘÍRODOZPYT: Soupis učebnic přírodopisu ve sbírce oddělení dějin školství Muzea Komenského v Přerově, p. o. Muzeum Komenského v Přerově, p. o., oddělení dějin školství*.
- Kroeber, E., & Wolff, W. H. (1938). *Adventures with living things: A general biology*. D. C. Heath and company.
- Kvasničková, D. (2014). *Základy biologie a ekologie* (4. vyd.). Fortuna.
- Kvasničková, D. (1991). *Základy ekologie* (3. vyd.). SPN.
- Kvasničková, D. (2010). *Základy ekologie* (3. vyd.). Fortuna.
- Kvasničková, D., Jeník, J., Tonika, J., & Froněk, J. (1996). *Poznáváme život: přírodopis s výrazným ekologickým zaměřením pro 9. ročník základní školy a nižší ročníky gymnázií*. Fortuna.
- Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: Re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26(2), 195–206. <https://doi.org/10.1080/0950069032000072782>
- Lundin, J., & McCarthy, M. (Eds.). (1989). *Secondary textbook review: Biology and life science. Grades nine through twelve*. California State Department of Education. Dostupné z https://archive.org/details/ERIC_ED315285/page/n3/mode/2up
- Machová, M. (2017). *Přehled výuky genetiky na ZŠ a gymnáziích* [Diplomová práce]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- Machová, M. (2019). Genetics in the perspective of Czech lower-secondary schools: Misconceptions and solutions. In M. Rusek, M. Tóthová, & K. Vojř (Eds.), *Project-based Education and Other Activating Strategies in Science Education XVII* (pp. 104–110). Charles University – Faculty of Education. Dostupné z https://pages.pedf.cuni.cz/pbe/files/2020/05/PBE_2019_final.pdf
- Machová, M., & Ehler, E. (2019). Revealing students' misconceptions about basics of molecular biology and genetics. In J. Fejfar, M. Fejfarová, M. Flégl, J. Husák, & I. Krejčí (Eds.), *Proceedings of the 16th International Conference Efficiency and Responsibility in Education 2019* (pp. 394–400). Czech University of Life Sciences Prague.
- Marbach-Ad, G. (2001). Attempting to break the code in student comprehension of genetic concepts. *Journal of Biological Education*, 35(4), 183–189. <https://doi.org/10.1080/00219266.2001.9655775>
- Marbach-Ad, G., Rotbain, Y., & Stavy, R. (2008). Using computer animation and illustration activities to improve high school students' achievement in molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(3), 273–292. <https://doi.org/10.1002/tea.20222>
- Marks, J. (2008). The construction of Mendel's laws. *Evolutionary Anthropology*, 17(6), 250–253. <https://doi.org/10.1002/evan.20192>
- Martínez-Gracia, M. V., Gil-Quílez, M. J., & Osada, J. (2006). Analysis of molecular genetics content in Spanish secondary school textbooks. *Journal of Biological Education*, 40(2), 53–60. <https://doi.org/10.1080/00219266.2006.9656014>
- Martínez Aznar, M., & Ibáñez Orcajo, T. (2005). Solving problems in genetics. *International Journal of Science Education*, 27(1), 101–121. <https://doi.org/10.1080/09500690410001673801>
- Martins, L. A. C. P. (1999). Did Sutton and Boveri propose the so-called Sutton-Boveri chromosome hypothesis? *Genetics and Molecular Biology*, 22(2), 261–271. <https://doi.org/10.1590/s1415-47571999000200022>
- Matalová, A., & Sekerák, J. (2004). *Genetika za železnou oponou: Její potlačování a reinstitucionalizace v Československu*. Moravské zemské muzeum.
- Mendel, J. G. (1866). Versuche über Pflanzen-Hybriden. *Verhandlungen Des Naturforschenden Vereines in Brünn*, 4, 3–47.
- Miescher, F. (1871). Über die chemische Zusammensetzung der Eiterzellen. *Medicinischem-Chemische Untersuchungen*, 4, 441–460.

- Monaghan, F., & Corcos, A. (1984). On the origins of the Mendelian laws. *Journal of Heredity*, 75(1), 67–69. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a109868>
- Moon, T. J. (1926). *Biology for beginners*. Henry Holt & Co.
- Moon, T. J., Mann, P. B., & Otto, J. H. (1947). *Modern biology*. Henry Holt & Co. Dostupné z https://archive.org/details/modernbiology00moon_0/mode/2up
- Moore, R. (2001). The “rediscovery” of Mendel’s work. *Bioscene*, 27(2), 13–24.
- Morgan, A. H. (1955). *Kinships of animals and man; a textbook of animal biology*. McGraw-Hill Book Company. Dostupné z <https://archive.org/details/kinshipsofanimal00morg/mode/2up>
- Nečas, O., Řezáčová, K., & Rytina, V. (1989). *Biologie: učebnice pro lékařské fakulty*. Avicenum/Osveta.
- NÚV. (2017). *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání*. MŠMT. Dostupné z <https://www.msmt.cz/file/43792/>
- NÚV. (2019). *RVP pro střední odborné vzdělávání*. MŠMT. Dostupné z <http://www.nuv.cz/t/rvp-os>
- Orel, V. (2003). *Gregor Mendel a počátky genetiky*. Academia.
- Osman, E., BouJaoude, S., & Hamdan, H. (2017). An investigation of Lebanese G7-12 students’ misconceptions and difficulties in genetics and their genetics literacy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(7), 1257–1280. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9743-9>
- Ozcan, T., Yildirim, O., & Ozgur, S. (2012). Determining of the university freshmen students’ misconceptions and alternative conceptions about mitosis and meiosis. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 46(January), 3677–3680. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.126>
- Pastejřík, J. (1936). *Přírodopis (užitá biologie) pro jednorocní učební kursy (IV. třídy) při měšťanských školách*. Komenium.
- Pauk, F., Augusta, J., Dvořák, J., Smolíková, L., & Vodička, A. (1972). *Přírodopis 9: Mineralogie, geologie, vývoj života* (8. vyd.). SPN.
- Pauk, F., Augusta, J., Dvořák, J., Smolíková, L., & Vodička, A. (1980). *Přírodopis 9: Mineralogie, geologie, vývoj života* (16. vyd.). SPN.
- Pelíkáňová, I., Skýbová, J., Markvartová, D., Hejda, T., Vančata, V., & Hájek, M. (2016). *Přírodopis 8: učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia – nová generace*. Fraus.
- Peters, T. (2014). *Playing God?: Genetic determinism and human freedom*. Routledge.
- Podroužek, L. (2011). Problematika vymezování a koncipování učiva přírodopisu v kurikulárních dokumentech základní školy z vývojového hlediska. *Arnica*, 1, 7–14.
- Portin, P. (2002). Historical development of the concept of the gene. *Journal of Medicine and Philosophy*, 27(3), 257–286. <https://doi.org/10.1076/jmep.27.3.257.2980>
- Portin, P. (2014). The birth and development of the DNA theory of inheritance: Sixty years since the discovery of the structure of DNA. *Journal of Genetics*, 93(1), 293–302. <https://doi.org/10.1007/s12041-014-0337-4>
- Prochazka, L. de S., & Franzolin, F. (2018). A genética humana nos livros didáticos brasileiros e o determinismo genético. *Ciência & Educação (Bauru)*, 24(1), 111–124. <https://doi.org/10.1590/1516-731320180010008>
- Průcha, J. (1996). *Alternativní školy* (2. vyd.). Portál.
- Řehák, B. (1935). *Botanika pro vyšší třídy středních škol a učitelské ústavy*. Česká grafická unie.
- Resnik, D. B., & Vorhaus, D. B. (2006). Genetic modification and genetic determinism. *Philosophy, Ethics, and Humanities in Medicine*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/1747-5341-1-9>
- Reznik, S., & Fet, V. (2019). The destructive role of Trofim Lysenko in Russian science. *European Journal of Human Genetics*, 27(9), 1324–1325. <https://doi.org/10.1038/s41431-019-0422-5>
- Richmond, M. L. (2001). Women in the early history of genetics. William Bateson and the Newnham College Mendelians, 1900–1910. *Isis; an International Review Devoted to the History of Science and Its Cultural Influences*, 92(1), 55–90. <https://doi.org/10.1086/385040>
- Romanovský, A., Činčerová, A., Čížek, F., Dvořák, P., Kaprálek, F., Kubišta, V., Nedvídek, J., Opatrný, Z., Pazourek, J., Pikálek, P., Seifert, J., Slavíková, Z., Váňa, J., & Závada, V. (1985). *Obečná biologie*. SPN.
- 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>
- Rosický, F. V., & Rosický, J. (1909). *Rostlinopis pro ústavy ku vzdělání učitelů a učitelek*. Česká grafická unie. Dostupný z <https://kramerius5.nkp.cz/view/uuid:71338181-75b5-4d35-8eb5-689dae67a100?page=uuid:d759e7f0-43d5-11ea-bc55-5ef3fc9bb22f>

- Rosypal, S., Rosypalová, A., & Vondrejs, V. (1983). *Molekulární genetiká*. SPN.
- Saka, A., Cerrah, L., Akdeniz, A. R., & Ayas, A. (2006). A cross-age study of the understanding of three genetic concepts: How do they image the gene, DNA and chromosome? *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 192–202. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9006-6>
- Schwarzbach, E., Smýkal, P., Dostál, O., Jarkovská, M., & Valová, S. (2014). Gregor J. Mendel – genetics founding father. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 50, 43–51. Dostupné z <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/124110.pdf>
- Sikorová, I., & Červenková, Z. (2007). Užívání učebnic a jiných textových materiálů ve výuce na základních školách a gymnáziích. In R. Jandová (Ed.), *Svět výchovy a vzdělávání v reflexi současného pedagogického výzkumu. Sborník z XV. konference ČAPV* [CD-ROM]. Pdf JU.
- Sikorová, Z. (2008). Role užívání učebnic jako výzkumný problém. In P. Knecht & T. Janík (Eds.), *Učebnice z pohledu pedagogického výzkumu* (s. 53–62). Paido.
- Šmarda, J., Nečas, O., Boháč, I., & D., K. (1976). *Obecná biologie: Pro IV. ročník gymnázií*. SPN.
- Smith, E. T. (1959). *Exploring biology: The science of living things* (P. F. Brandwein (Ed.)). Harcourt, Brace and Company. Dostupné z https://archive.org/details/exploringbiology00smit_0/page/n5/mode/2up
- Sojfer, V. N. (2005). *Rudá biologie: Pseudověda v SSSR*. Stilus.
- Starbek, P., Starčič Erjavec, M., & Peklaj, C. (2010). Teaching genetics with multimedia results in better acquisition of knowledge and improvement in comprehension. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26(3), 214–224. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2009.00344.x>
- Stern, F., & Kampourakis, K. (2017). Teaching for genetics literacy in the post-genomic era. *Studies in Science Education*, 53(2), 193–225. <https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1392731>
- Sturtevant, A. H. (2001). *A history of genetics*. CSHL Press.
- Sutton, W. S. (1903). The chromosomes in heredity. *The Biological Bulletin*, 4(5), 231–250. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.7458>
- Švácha, F. (1876). *Přírodopis živočišstva*. I. L. Kober.
- Thörne, K., & Gericke, N. (2014). Teaching genetics in secondary classrooms: A linguistic analysis of teachers' talk about proteins. *Research in Science Education*, 44(1), 81–108. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9375-9>
- Trávníček, T., & Janda, F. (1965). *Biologie člověka pro III. ročník středních všeobecně vzdělávacích škol, přírodovědná větev*. SPN.
- Trebichavský, I., & Šíma, P. (2019). Lysenkismus v Čechách. *Živa*, 1, 7–9. Dostupné z <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pd/pdf/lysenkismus-v-cechach.pdf>
- Učební osnovy základní školy: Přírodopis pro 5.–8. ročník*. (1978). (s. 55). SPN.
- Valová, S. (2013). *Jaroslav Kříženecký a lysenkismus v Československu v letech 1948–1965* [Bakalářská práce]. Masarykova univerzita.
- Vlach, V., & Krejčík, J. (1931). *Přírodopis pro jednoroční učební kursy (IV. třídy) při měšťanských školách*. Česká grafická unie v Praze.
- Vlčková, J., Kubiakto, M., & Usak, M. (2016). Czech high school students' misconceptions about basic genetic concepts: Preliminary results. *Journal of Baltic Science Education*, 15(6), 738–745.
- Vodička, A., Meisner, J., Vršanský, V., & Fügnerová, M. K. (1950). *Nauka o člověku: Učební text pro třetí třídu středních škol*. SPN.
- Vojtř, K., & Rusek, M. (2018). Používání učebnic chemie na základních školách v České republice: Tvorba a pilotní ověření dotazníku. In M. Rusek, & K. Vojtř (Eds.), *Project-based education and other activating strategies in science education XVI* (pp. 180–193). Department of Chemistry and Chemistry Education, Charles University. Dostupné z https://pages.pedf.cuni.cz/pbe/files/2019/07/sbornikPBE2018_wos.pdf
- VÚP. (2007). *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia*. Výzkumný ústav pedagogický v Praze. Dostupné z <http://www.nuv.cz/file/159>
- Watson, J. D., & Crick, F. H. C. (1953). Molecular structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171, 737–738.
- Weldon, W. F. R. (1902). Mendel's Laws of Alternative Inheritance in Peas. *Biometrika*, 1(2), 228. <https://doi.org/10.2307/2331488>
- Wheat, F. M., & Fitzpatrick, E. (1929). *Advanced biology*. American Book Company. Dostupné z <https://archive.org/details/ost-biology-advancedbiology00whearich/page/n5/mode/2up>
- Zippe, F. X. M. (1856). *Přírodopis pro nižší reálné školy*.

Příloha 1 Požadavky národního kurikula

Národní kurikulum ČR je od roku 2007 zavedeno v praxi ve formě Rámcového vzdělávacího programu (RVP) ve verzích pro základní školy, gymnázia a střední školy. Učivo genetiky je v těchto jednotlivých programech zahrnuto následovně (NÚV, 2017, 2007; VÚP, 2007):

Typ RVP	Učivo	Očekávané výstupy
RVP ZV	dědičnost a proměnlivost organismů – podstata dědičnosti a přenos dědičných informací, gen, křížení	<ul style="list-style-type: none">• žák vysvětlí podstatu pohlavního a nepohlavního rozmnožování a jeho význam z hlediska dědičnosti• žák uvede příklady dědičnosti v praktickém životě a příklady vlivu prostředí na utváření organismů
RVP G	molekulární a buněčné základy dědičnosti, dědičnost a proměnlivost, genetika člověka, genetika populací	<ul style="list-style-type: none">• žák využívá znalosti o genetických zákonitostech pro pochopení rozmanitosti organismů• žák analyzuje možnosti využití znalostí z oblasti genetiky v běžném životě
SŠ (obory J, H, M a L, L5)	Základy biologie – dědičnost a proměnlivost	<ul style="list-style-type: none">• žák objasní význam genetiky

Příloha 2 Seznam učebnic vydaných po roce 1989 zahrnutých v analýze

Učebnice obsahující učivo genetiky:

A) Analyzován pouze rozsah učiva

- Benešová, M. (2003). *Odmaturuj! z biologie: Průvodce středoškolským učivem biologie*. Edice Odmaturuj. Didaktis.
- Berger, J. (1994). *Biologie v otázkách*. Havlíčkův Brod: Tobiáš.
- Berger, J. (1996). *Buněčná a molekulární biologie*. Edice Učebnice pro gymnázia a střední školy. Havlíčkův Brod: Tobiáš. ISBN 80-85808-42-0.
- Berger, J. (1998). *Ekologie: učebnice pro gymnázia a střední odborné školy*. České Budějovice: KOPP. ISBN 80-7232-013-0.
- Berger, J., Petrásek, R., & Šimek, V. (1995). *Fyziologie člověka a živočichů*. Edice Učebnice pro gymnázia a střední školy. Havlíčkův Brod: Tobiáš. ISBN 80-85808-33-1.
- Cibis, N., Dobler, H., Lauer, V., Meyer, R., Schmale, E., & Strecker, H. (1996). *Člověk: učebnice biologie člověka pro gymnázia a další střední školy*. Praha: Scientia. ISBN 80-7183-031-3.
- Čabradová, V., Hasch, F., Sejpka, J., & Vaněčková, I. (2003). *Přírodopis pro 6. ročník základní školy a první víceletého gymnázia*. Plzeň: Fraus. ISBN 80-7238-211-X.
- Černík, V., Bičík, V., & Martinec, Z. (2004). *Přírodopis 1 pro 6. ročník: zoologie, botanika*. Praha: SPN. ISBN 80-7235-068-4.
- Černík, V., Hamerská, M., Martinec, Z., & Vaněk, J. (2007). *Přírodopis 6 pro základní školu: zoologie a botanika*. Praha: SPN. ISBN 978-80-7235-374-3.
- Černík, V., Martinec, Z., & Bičík, V. (1997). *Přírodopis 2 pro 7. ročník ZŠ: zoologie*. Praha: SPN. ISBN 80-85937-56-5.

- Černík, V., Martinec, Z., Vítek, J., & Vodová, V. (2010). *Přírodopis 9 pro základní školu: geologie a ekologie*. Praha: SPN. ISBN 978-80-7235-496-2.
- Dostál, P., Řeháček, Z., & Ducháč, V. (1994). *Kapitoly z obecné biologie*. Praha: SPN. ISBN 80-04-26070-5.
- Hančová, H., & Vlková, M. (1997). *Biologie v kostce I: obecná biologie, mikrobiologie, botanika, mykologie, ekologie, genetika*. Edice Maturita v kostce. Havlíčkův Brod: Fragment. ISBN 80-7200-059-4.
- Havlík, I. (1998). *Přírodopis pro 6. ročník*. Brno: Nová škola. ISBN 80-85607-77-8.
- Chalupová-Karlovská, V. (2004). *Obecná biologie: evoluce, biologie buňky, genetika s 558 řešenými otázkami*. Olomouc: Olomouc. ISBN 80-7182-174-8.
- Jelínek, J. (1996). *Biologie člověka a úvod do obecné genetiky* (2. doplněné vyd.). Olomouc: Olomouc. ISBN 80-7182-027-X.
- Jelínek, J. (1997). *Vybrané kapitoly z obecné biologie: pro střední školy gymnazijního typu*. Olomouc: Olomouc. ISBN 80-7182-047-4.
- Jelínek, J. (2011). *Biologie prokaryot, nižších a vyšších rostlin, hub*. Olomouc: Olomouc. ISBN 80-7182-026-1.
- Jelínek, J. (1993). *Biologie prokaryot, nižších a vyšších rostlin, hub*. Edice Učebnice do kapsy. Olomouc: FIN publishing. ISBN 80-85572-33-8.
- Jelínek, J., & Zicháček, V. (1996). *Biologie pro střední školy gymnazijního typu (teoretická část)*. Olomouc: FIN publishing.
- Jelínek, J., & Zicháček, V. (1996). *Biologie pro střední školy gymnazijního typu (praktická část)*. Olomouc: FIN publishing.
- Kincl, L., Kincl, M., & Jarklová, J. (2008). *Biologie rostlin pro 1. ročník gymnázií* (4. přepracované vyd.). Praha: Fortuna.
- Kislinger, F., Laníková, J., Šlégl, J., & Žurková, I. (1995). *Biologie V.: Základy obecné biologie*. Gymnázium v Klatovech.
- Kočárek, E. (2012). *Biologie člověka 2. Edice Biologie pro gymnázia*. Praha: Scientia. ISBN 978-80-86960-48-7.
- Kočárek, E., & Kočárek, E. (2000). *Přírodopis pro 8. ročník základní školy*. Úvaly u Prahy: Jinan.
- Kvasničková, D. (1991). *Základy ekologie* (3. vyd.). Praha: SPN. ISBN 80-04-26511-1.
- Kvasničková, D., Faierajzlová, V., Froněk, J., & Pecina, P. (1995). *Poznáváme život: přírodopis s výrazným ekologickým zaměřením pro 7. ročník*. Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-274-8.
- Kvasničková, D., Jeník, J., Pecina, P., Froněk, J., & Cais, J. (1995). *Poznáváme život: přírodopis s výrazným ekologickým zaměřením pro 6. ročník – 2. část*. Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-222-5.
- Kvasničková, D., Jeník, J., Tonika, J., & Froněk, J. (2002). *Ekologický přírodopis 9: pro 9. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií* (2. vyd.). Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-670-0.
- Maleninský, M., Novák, J., Švecová, M., & Toběrná, V. (2006). *Přírodopis pro 7. ročník – zoologie 2, botanika 2: učebnice pro základní školy a nižší stupeň víceletých gymnázií*. Edice Natura. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti. ISBN 80-86034-66-6.
- Maleninský, M., & Smrž, J. (1997). *Zoologie 1 – bezobratlí: učebnice pro základní školy a nižší stupeň víceletých gymnázií*. Edice Natura. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti. ISBN 80-86034-14-3.
- Maleninský, M., & Škoda, B. (1997). *Botanika 1 – bakterie, řasy, houby: učebnice pro základní školy a nižší stupeň víceletých gymnázií*. Edice Natura. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti. ISBN 80-86034-12-7.

- Maleninský, M., & Vacková, B. (2005). *Přírodopis pro 8. ročník – Člověk: učebnice pro základní školy a nižší stupeň víceletých gymnázií*. Edice Natura. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti. ISBN 80-86034-41-0.
- Mudrychová, J. (2001). *Maturitní otázky: biologie*. Třebíč: Radek Veselý. ISBN 80-86376-02-8.
- Nečásek, J. (1997). *Genetika* (2. vydání). Praha: Scientia. ISBN 80-7183-085-2.
- Novák, J. A., & Jelínek, J. (1994). *Biologie člověka a úvod do obecné genetiky*. Edice Učebnice do kapsy. Olomouc: FIN publishing. ISBN 80-85572-57-5.
- Stockley, C. (1994). *Ilustrovaný přehled biologie*. Ostrava: BLESK. ISBN 80-85606-32-1.
- Šlégl, J., Kislinger, F., & Laníková, J. (2002). *Ekologie a ochrana životního prostředí pro gymnázia*. Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-828-2.
- Švecová, M., & Toběrná, V. (1998). *Botanika 2 – vyšší rostliny: učebnice pro základní školy a nižší stupeň víceletých gymnázií*. Edice Natura. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti. ISBN 80-86034-28-3.
- Vaněčková, I., Skýbová, J., Markvartová, D., & Hejda, T. (2006). *Přírodopis 8: učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. Plzeň: Fraus. ISBN 80-7238-428-7.
- Vieweghová, T. (2019). *Přírodopis 6: Úvod od přírodopisu* (2. upravené vyd.). Brno: Nová škola – DUHA. ISBN 978-80-88285-06-9.
- Žídková, H., & Knůrová, K. (2019). *Hravý přírodopis 9: učebnice pro 9. ročník ZŠ a víceletá gymnázia*. Praha: Taktik International. ISBN 978-80-7563-205-0.

B) Analyzován rozsah učiva a provedena pojmová analýza

I. Učebnice určené pro ZŠ

- Břicháčková, E., & Francová, M. (2019). *Přírodopis 8: Savci a člověk*. Edice Čtení s porozuměním. Brno: Nová škola – DUHA. ISBN 978-80-88285-07-6.
- Cílek, V., Matějka, D., Mikuláš, R., & Ziegler, V. (2000). *Přírodopis IV pro 9. ročník základní školy*. Praha: Scientia. ISBN 80-7183-204-9.
- Černík, V., Bičík, V., & Martinec, Z. (2003). *Přírodopis 3 pro 8. ročník základní školy: biologie člověka se základy etologie a genetiky*. Praha: SPN. ISBN 85-85937-97-2.
- Černík, V., Martinec, Z., & Vodová, V. (2009). *Přírodopis 8 pro základní školy: biologie člověka*. Praha: SPN. ISBN 978-80-7235-416-0.
- Dančák, M., & Sedlářová, M. (2011). *Přírodopis 6: vývoj života na Zemi – obecná biologie – biologie hub*. Olomouc: Prodos. ISBN 978-80-7230-257-4.
- Dobruka, L. J., Cílek, V., Hasch, F., & Storchová, Z. (1997). *Přírodopis I pro 6. ročník základní školy*. Praha: Scientia. ISBN 80-7183-092-5.
- Dobruka, L. J., Vacková, B., Králová, R., & Bartoš, P. (1999). *Přírodopis III pro 8. ročník základní školy*. Praha: Scientia. ISBN 80-7183-167-0.
- Drozdová, E., Klinkovská, L., & Lízal, P. (2009). *Přírodopis 8: Biologie člověka*. Edice Duhová řada. Brno: Nová škola, s. r. o. ISBN 80-7289-111-1.
- Kantorek, J., Jurčák, J., & Froněk, J. (2008). *Přírodopis 8*. Olomouc: Prodos. ISBN 80-7230-040-7.
- Kočárek, E., & Kočárek, E. (1998). *Přírodopis pro 6. ročník základní školy*. Úvaly u Prahy: Jinan. ISBN 80-238-2077-X.
- Kočárek, E., & Kočárek, E. (2001). *Přírodopis pro 9. ročník základní školy*. Úvaly u Prahy: Jinan. ISBN 80-86491-00-5.
- Kvasničková, D., Faierajzlová, V., Froněk, J., & Pecina, P. (1997). *Ekologický přírodopis pro 8. ročník základní školy* (2. vyd.). Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-477-5.

- Linc, R., Dostál, P., & Machová, J. (1994). *Přírodopis 7 pro 7. ročník základní školy*. 4. vydání (1. vydání ve Scientia). Praha: Scientia. ISBN 80-85 827-33-6.
- Maleninský, M., Smrž, J., & Škoda, B. (2004). *Přírodopis pro 6. ročník – Botanika 1, Zoologie 1: učebnice pro základní školy a nižší stupeň víceletých gymnázií*. Edice Natura. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti. ISBN 80-86034-56-9.
- Musilová, E., Koněpotský, A., & Vlk, R. (2007). *Přírodopis 6: 1. díl – Úvod do učiva přírodopisu*. Edice Duhová řada. Brno: Nová škola, s. r. o. ISBN 80-7289-083-2.
- Navrátil, M. (2016). *Přírodopis 8: člověk*. Olomouc: Prodos. ISBN 978-80-7230-359-5.
- Pelikánová, I., Čabradová, V., Hasch, F., & Sejpka, J. (2014). *Přírodopis 6: učebnice základní školy a víceletá gymnázia – nová generace*. Plzeň: Fraus. ISBN 978-80-7489-009-3.
- Pelikánová, I., Skýbová, J., Markvartová, D., Hejda, T., Vančata, V., & Hájek, M. (2016). *Přírodopis 8: učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia – nová generace*. Plzeň: Fraus. ISBN 978-80-7489-307-0.
- Žídková, H., & Knůrová, K. (2017). *Hravý přírodopis 6: učebnice pro 6. ročník ZŠ a víceletá gymnázia*. Praha: Taktik International. ISBN 978-80-7563-069-8.
- Žídková, H., & Knůrová, K. (2018). *Hravý přírodopis 8: učebnice pro 8. ročník ZŠ a víceletá gymnázia*. Praha: Taktik International. ISBN 978-80-7563-140-4.
- Kvasničková, D., Jeník, J., Pecina, P., Froněk, J., & Cais, J. (1999). *Ekologický přírodopis pro 7. ročník základní školy – 2. část* (2. vyd.). Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-440-6.
- Kvasničková, D., Jeník, J., Tonika, J., & Froněk, J. (1996). *Poznáváme život: přírodopis s výrazným ekologickým zaměřením pro 9. ročník základní školy a nižší ročníky gymnázií*. Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-374-4.

II. Učebnice určené pro SŠ

- Benešová, M., Hamplová, H., Knotová, K., Lefnerová, P., Pfeiferová, E., Sáčeková, I., & Satrapová, H. (2013). *Odmaturuj! z biologie*. Edice Odmaturuj (2. vyd.). Didaktis.
- Bumerl, J., Hrabě, M., Novotná, J., & Pinkava, I. (1997). *Biologie 1 pro střední odborné školy*. 4. vydání (v SPN 1. vydání). Praha: SPN. ISBN 80-85937-74-3.
- Bumerl, J., Hrabě, M., Novotná, J., & Pinkava, I. (1997). *Biologie 2 pro střední odborné školy*. 4. vydání (v SPN 1. vydání). Praha: SPN. ISBN 80-85937-75-1.
- Hančová, H., & Vlková, M. (2009). *Biologie v kostce: pro střední školy*. Edice Maturita v kostce. 2. vydání. Havlíčkův Brod: Fragment. ISBN 978-80-253-0606-2.
- Jelínek, J., & Zicháček, V. (2005). *Biologie pro gymnázia (teoretická a praktická část)*. (8. vyd.). Olomouc: Olomouc.
- Kočárek, E. (2004). *Genetika: obecná genetika a cytogenetika, molekulární biologie, biotechnologie, genomika*. Edice Biologie pro gymnázia. Praha: Scientia. ISBN 978-80-86269-86-4.
- Kočárek, E. (2010). *Biologie člověka 1. Edice Biologie pro gymnázia*. Praha: Scientia. ISBN 978-80-86960-47-0.
- Kubát, K., Kalina, T., Kováč, J., Kubátová, D., Prach, K., & Urban, Z. (2003). *Botanika* (2. vyd.). Praha: Scientia. ISBN 80-7183-266-9.
- Kubišta, V. (2000). *Obecná biologie pro gymnázia: úvodní učební text pro 1. ročník gymnázií* (3. vydání). Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-714-6.
- Kvasničková, D. (2014). *Základy biologie a ekologie* (4. vyd.). Praha: Fortuna. ISBN 978-80-7373-120-5.
- Kvasničková, D. (2010). *Základy ekologie* (3. vyd.). Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-902-5.
- Novotný, I., & Hruška, M. (2008). *Biologie člověka pro gymnázia* (4. vyd.). Praha: Fortuna. ISBN 978-80-7373-007-9.

- Odstrčil, J., & Hruža, A. (2008). *Biologie pro zdravotnické školy* (5. vyd.). Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů.
- Papáček, M., Matěnová, V., Matěna, J., & Soldán, T. (2000). *Zoologie* (3. vyd.). Praha: Scientia. ISBN 80-7183-203-0.
- Šmarda, J. (2003). *Genetika pro gymnázia*. Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-851-7.
- Závodská, R. (2006). *Biologie buněk: základy cytologie, bakteriologie, virologie*. Edice Biologie pro gymnázia. Praha: Scientia. ISBN 80-86960-15-3.
- Zicháček, V. (2012). *Zoologie* (2. přepracované vyd.). Olomouc: Olomouc. ISBN 978-80-7182-291-2.

Učebnice bez učiva genetiky

- Berger, J. (1997). *Systematická zoologie*. Havlíčkův Brod: Tobiáš. ISBN 80-85808-44-7.
- Bergstedt, C., Dietrich, V., & Liebers, K. (2005). *Člověk a příroda: půda*. Edice Učebnice pro integrovanou výuku. Plzeň: Fraus. ISBN 80-7238-340-X.
- Bergstedt, C., Dietrich, V., & Liebers, K. (2005). *Člověk a příroda: voda*. Edice Učebnice pro integrovanou výuku. Plzeň: Fraus. ISBN 80-7238-337-X.
- Bergstedt, Ch., Horn, M. E., Mikelskis, H. F., Winter, R., Dietrich, V., & Liebers, K. (2005). *Člověk a příroda: Energie*. Edice Učebnice pro integrovanou výuku. Plzeň: Fraus. ISBN 80-7238-341-8.
- Braniš, M. (2004). *Základy ekologie a ochrany životního prostředí: učebnice pro střední školy* (3. aktualizované vyd.). Praha: Informatorium. ISBN 978807333024.
- Čabradová, V., Hasch, F., Sejpka, J., & Vaněčková, I. (2005). *Přírodopis 7: pro základní školy a víceletá gymnázia*. Plzeň: Fraus. ISBN 80-7238-424-4.
- Černík, V., Bičík, V., Bičíková, L., & Martinec, Z. (1999). *Přírodopis 2 – zoologie, botanika: pro 7. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií* (1. přepracované vyd.). Praha: SPN. ISBN 80-7235-069-2.
- Černík, M., Hamerská, M., Martinec, Z., & Vaněk, J. (2008). *Přírodopis 7: zoologie a botanika pro základní školy*. Praha: SPN. ISBN 978-80-7235-387-3.
- Černík, V., & Martinec, Z. (1996). *Přírodopis 1 – Botanika: 2. část*. Praha: SPN. ISBN 80-85937-06-9.
- Černík, V., & Martinec, Z. (1997). *Přírodopis 1 – Zoologie: 1. část*. Praha: SPN. ISBN 80-85937-05-0.
- Černík, V., & Martinec, Z. (1997). *Přírodopis 2 – Botanika, 2. část: pro žáky základní školy (7. ročník) a nižší ročníky víceletých gymnázií*. Praha: SPN. ISBN 80-85937-57-3.
- Černík, V., Vitek, J., & Martinec, Z. (1998). *Přírodopis 4 – mineralogie a geologie se základy ekologie: pro žáky základní školy (9. ročník) a nižší ročníky víceletých gymnázií*. Praha: SPN. ISBN 80-7235-044-7.
- Červinka, P. (2012). *Ekologie a životní prostředí: učebnice pro střední odborné školy a učiliště* (2. vyd.). Praha: Nakladatelství České geografické společnosti. ISBN 978-80-86034-97-3.
- Dančák, M., Mikulenková, H., & Ševčík, D. (2015). *Přírodopis 6: Rostliny*. Olomouc: Prodos. ISBN 978-80-7230-294-9.
- Dietrich, V., Mederow, G., Bergstedt, C., & Liebers, K. (2005). *Člověk a příroda: vzduch*. Edice Učebnice pro integrovanou výuku. Plzeň: Fraus. ISBN 80-7238-338-8.
- Dobroruka, L. J., Gutzerová, N., Havel, L., Chocholoušková, Z., & Kučera, T. Č. (2003). *Přírodopis II pro 7. ročník základní školy* (2. vydání). Praha: Scientia. ISBN 80-7183-302-9.
- Faměra, M., Dančák, M., & Kuras, T. (2017). *Přírodopis 9: Geologie – Ekologie*. Olomouc: Prodos. ISBN 978-80-7230-365-6.

- Froněk, J., Máchal, A., & Vlašín, M. (1991). *Přírodopis v sešitě: učební text pro 9. ročník základních škol*. Praha: Fortuna. ISBN 80-85298-13-9.
- Havlík, I. (1999). *Přírodopis pro 7. ročník*. Brno: Nová škola. ISBN 80-85607-98-0.
- Hedbávná, H., et al. (2015). *Přírodopis 7: 2. díl, Botanika*. Edice Duhová řada (2. aktualizované vydání). Brno: Nová škola, s. r. o. ISBN 978-80-7289-647-9.
- Chvátal, M. (2014). *Geologie: pro gymnázia*. Praha: Fortuna. ISBN 978-80-7373-124-3.
- Jakeš, P. (1999). *Geologie: učebnice pro základní školy a nižší stupeň víceletých gymnázií*. Edice Natura. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti. ISBN 80-86034-30-5.
- Janoušková, S., & Červinka, P. (2010). *Ekologie a životní prostředí: základy přírodovědného vzdělávání pro SOŠ a SOU*. Praha: Fortuna. ISBN 978-80-7373-085-7.
- Jurčák, J., & Froněk, J. (1997). *Přírodopis 6*. Olomouc: Prodos. ISBN 80-85806-47-9.
- Jurčák, J., & Froněk, J. (1998). *Přírodopis 7*. Olomouc: Prodos. ISBN 80-7230-015-6.
- Klepel, G., Bergstedt, C., Ditrich, V., & Liebers, K. (2005). *Člověk a příroda: zdraví*. Edice Učebnice pro integrovanou výuku. Plzeň: Fraus. ISBN 80-7238-339-6.
- Kočárek, E., & Kočárek, E. (1998). *Přírodopis pro 7. ročník základní školy*. Úvaly u Prahy: Jinan. ISBN 80-238-3544-0.
- Kočárek, P., Mikulenková, H., & Ševčík, D. (2016). *Přírodopis 7: Živočichové*. Olomouc: Prodos. ISBN 978-80-7230-296-3.
- Kvasničková, D., Jeník, J., Pecina, P., Froněk, J., & Cais, J. (1994). *Poznáváme život 6 – 1. část: Přírodopis s výrazným ekologickým zaměřením pro 6. ročník ZŠ (7. ročník občanské školy) a nižší ročníky gymnázií*. Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-160-1.
- Kvasničková, D., Jeník, J., Pecina, P., Froněk, J., & Cais, J. (1997). *Ekologický přírodopis 6: pro 6. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií (2. vyd.)*. Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-385-X.
- Kvasničková, D., Jeník, J., Pecina, P., Froněk, J., & Cais, J. (2004). *Ekologický přírodopis 7 – 1. část: pro 7. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií (4. upravené vyd.)*. Praha: Fortuna. ISBN 978-80-7373-057-4.
- Maleninský, M., & Novák, J. (1999). *Zoologie 2 – obratlovci: učebnice pro základní školy a nižší stupeň víceletých gymnázií*. Edice Natura. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti. ISBN 80-86034-33-X.
- Matějček, T. (2007). *Ekologická a environmentální výchova: učební text k průřezovému tématu Environmentální výchova podle Rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání*. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti. ISBN 978-80-86034-72-0.
- Matyášek, J., & Hrubý, Z. (2015). *Přírodopis 9: Geologie a ekologie*. Edice Duhová řada (3. aktualizované vyd.). Brno: Nová škola, s. r. o. ISBN 978-80-7289-741-4.
- Matyášek, J. (2019). *Přírodopis 9: Geologie a ekologie*. Edice Čtení s porozuměním. Brno: Nová škola – DUHA. ISBN 978-80-88285-13-7.
- Pelikánová, I., Čabradová, V., Hasch, F., & Sejpka, J. (2015). *Přírodopis 7: pro základní školy a víceletá gymnázia*. Plzeň: Fraus. ISBN 978-80-7489-038-3.
- Petrová, D., Žídková, H., & Knůrová, K. (2017). *Hravý přírodopis 7: učebnice pro 7. ročník ZŠ a víceletá gymnázia*. Praha: Taktik International. ISBN 978-80-7563-113-8.
- Rychnovský, B., Odstrčil, M., Popelková, P., & Kubešová, S. (2015). *Přírodopis 7: 1. díl, Strunatci*. Edice Duhová řada (2. aktualizované vyd.). Brno: Nová škola, s. r. o. ISBN 978-80-7289-646-2.
- Smrž, J., Horáček, I., & Švátora, M. (2004). *Biologie živočichů pro gymnázia*. Praha: Fortuna. ISBN 80-7168-909-2.

- Šimonová, P., Činčera, J., Jančaříková, K., & Volfová, A. (2013). *Ekologická a environmentální výchova: pro 2. stupeň ZŠ a odpovídající ročníky víceletých gymnázií*. Plzeň: Fraus. ISBN 978-80-7238-452-5.
- Šlégl, J., Kislinger, F., & Laníková, J. (2000). *Biologie IV.: Základy ekologie* (2. vyd.). Klatovy: Gymnázium Klatovy.
- Švecová, M., & Matějka, D. (2007). *Přírodopis 9 pro základní školy a víceletá gymnázia*. Plzeň: Fraus. ISBN 978-80-7238-587-4.
- Vališ, J., Ďurovič, V., & Fediuková, E. (1993). *Přírodopis 8: pro 8. ročník základní školy*. Edice Učebnice pro základní školy. Praha: SPN.
- Vieweghová, T., et al. (2019). *Přírodopis 7: Zoologie a botanika*. Edice Čtení s porozuměním. Brno: Nová škola – DUHA. ISBN 978-80-87591-97-0.
- Vilček, F., Lišková, E., Altmann, A., & Korábová, A. (1994). *Přírodopis 6: pro 6. ročník základní školy*. Praha: Scientia.
- Vlk, R., & Kubešová, S. (2014). *Přírodopis 6: 2. díl, Bezobratlí živočichové*. Edice Duhová řada (2. aktualizované vyd.). Brno: Nová škola, s. r. o. ISBN 978-80-7289-581-6.
- Zahradník, G., et al. (2005). *Člověk a příroda: Informace a komunikace*. Edice Učebnice pro integrovanou výuku. Plzeň: Fraus. ISBN 80-7238-342-6.
- Zapletal, J., Janoška, M., Bičíková, L., & Tomančáková, M. (2000). *Přírodopis 9*. Olomouc: Prodos. ISBN 80-7230-069-5.

Types of Generalization Made by Pupils Aged 12–13 and by Their Future Mathematics Teachers

Spôsoby zovšeobecňovania u žiakov vo veku 12–13 rokov a ich budúcich učiteľov matematiky

Mária Slavíčková¹

¹Katedra didaktiky matematiky, fyziky a informatiky, Fakulta matematiky, fyziky informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, Slovak Republic; slavickova@fmph.uniba.sk

This paper seeks to establish what kind of arguments pupils (aged 12–13) use and how they make their assumptions and generalizations. Our research also explored the same phenomenon in the case of graduate mathematics teachers studying for their masters' degrees in our faculty at that time. The main focus was on algebraic reasoning, in particular pattern exploring and expressing regularities in numbers. In this paper, we introduce the necessary concepts and notations used in the study, briefly characterize the theoretical levels of cognitive development and terms from the Theory of Didactical Situations. We set out to answer three research questions. To collect the research data, we worked with a group of 32 pupils aged 12–13 and 19 university students (all prospective mathematics teachers in the first year of their master's). We assigned them two flexible tasks to and asked them to explain their findings/formulas. Besides that, we collected additional (supportive) data using a short questionnaire. The supporting data concerned their opinions on the tasks and the explanations. The results and limited scope of the research indicated what should be changed in preparing future mathematics teachers. These changes could positively influence the pupils' strategies of solving not only flexible tasks but also their ability to generalize.

Key words:

generalization, algebraic thinking, functional thinking, looking for patterns.

Received 5/2020

Revised 11/2020

Accepted 12/2020

Cieľom článku je zistiť, akým spôsobom zovšeobecňujú a akými argumentami svoje zistenia podkladajú žiaci vo veku 12–13 rokov. To isté sme zisťovali aj u budúcich učiteľov matematiky, ktorý v tom čase študovali na našej fakulte. Hlavné zameranie článku je na algebraické uvažovanie, špeciálne na skúmanie vzorov a vyjadrenie zákonitosti pomocou číselných hodnôt. V tomto článku vysvetľujeme dôležité koncepty a značenia použité vo výskume, stručne charakterizujeme úroveň kognitívneho rozvoja a využité pojmy z Teórie didaktických situácií. Stanovili sme si tri výskumné otázky. Na získanie výskumných dát sme pracovali so skupinou 32 žiakov vo veku 12–13 rokov a s 19 študentmi učiteľstva matematiky. Obom skupinám sme zadali rovnaké úlohy na riešenie a požiadali sme ich o vysvetlenie riešenia, resp. vzťahu, ku ktorému sa dopracovali. Okrem toho sme krátkym dotazníkom zozbierali podporné dáta ohľadom skúmaných skupín. Výsledky sú diskutované v kontexte podobných výskumov, sú identifikované limitácie opísaného výskumu a vyvedené závery. Na základe diskusie a limitov sme sformulovali odporúčenia pre zmenu v príprave budúcich učiteľov matematiky.

Klíčová slova:

proces zovšeobecňovania, algebraické myslenie, funkčné myslenie tvorba vzorcov.

Zasláno 5/2020

Revidováno 11/2020

Přijato 12/2020

1 Introduction

We often get used to generalizing in most situations in life. Not all our generalizations are correct, and some are based on one or two preconceptions (like “all men are...”). On the other hand, generalization is also a part of mathematics education and mathematics literacy.

Generalization is a heartbeat of mathematics and appears in many forms. If teachers are unaware of its presence and are not in the habit of getting students to work at expressing their own generalizations, then mathematical thinking is not taking place. (Mason, 1996, p. 65)

Without generalization and argumentation, mathematics is just a set of rules to memorize. Nevertheless, in talking to the masters students we found out that presenting the rule and then solving “problems” with its application is one of the favorite ways of teaching mathematics in the classroom.

The importance of generalization and argumentation is essential in mathematics lessons, because

formalizing one's reasoning could lead to practical benefits such as clarity of thoughts and expressions, improved objectivity, and greater confidence. The ability to analyze others' arguments can also serve as a yardstick for when to withdraw from discussions that will most likely be futile. (Almossawi, 2016, p. 4)

If we can argue the correctness of our solution (or defend the solution of our classmate), we take responsibility for our decisions, we do not need an authority to tell us whether we are right or not, and this is an essential ability due to the fact that “in the real world of problem-solving and doing mathematics there are no answer books” (Van de Walle, Karp, & Bay-Williams, 2012, p. 37).

We have focused on algebra, particularly on functional thinking, in our paper. As Lee and Wheeler (1987, p. 44) pointed out, the abstractness of algebra is one reason for students’ problems. Algebra, as Kaput (1999, p. 134) stated, has been a route to higher mathematics but, at the same time, a barrier for many students, forcing them to take another educational direction. One of the reasons could be a big step between arithmetic to algebra. In our research, we focus on the pupil’s description of calculations and strategies for solving given tasks. Several competences are needed when students are moving from arithmetic, number handling, and computation to algebra. Kaput (1995) identified three such competencies. In this paper, we will only focus on the competence concerning the ability to describe the calculations one wants to do. It can be said in words, by abbreviations, or by a formula.

While studying the research done on generalization (like Russel et al., 2011; Van de Walle et al., 2012; Rivera & Becker, 2005, 2007; Blanton, 2008, etc) we found out that tasks requiring generalization are included in the curriculum in several countries. This is not the case with the Slovak curriculum. Therefore, we were curious whether pupils could do generalization, explanation, and argumentation without being presented with generalizing tasks in their mathematics lessons. What kind of arguments would they use (if any), how would they make their assumptions and generalizations, etc.

2 Theoretical background

Firstly, we introduce the necessary concepts and notations used in our study concerning functional thinking and ways of generalization. Secondly, the theoretical levels of cognitive development and the terms from the Theory of Didactical Situation used in our study are briefly characterized.

2.1 Generalization and reasoning

We will focus on algebraic reasoning which, according to Blanton and Kaput (2005, p. 413), can take various forms, including reasoning about operations and properties associated with numbers (like commutative property), pattern exploring and expressing regularities in numbers, generalizing regularities and operations on classes of objects (usually described as “abstract algebra”). The focus will be on exploring and expressing regularities in growing patterns.

Our study is concerned with a figure series that changes (mostly grows) according to a predictable pattern. The goal is to find relating numbers to growing pattern tasks that are visual (e.g., made with geometric figures) by asking pupils and masters students to discover the regularities involved and develop generalizations for function rules (Friel & Markworth, 2009, p. 27). According to Friel and Markworth (2009, p. 30), analyzing growing patterns should include the developmental progression of reasoning by looking at the visuals, reasoning about the numerical relationships, and then extending to the larger (or n -th) case.

Pupils can express the result in a recursive or explicit formula. By a recursive formula, we mean a form in which the description of the phenomenon is based on the previous figure in a row (for example, $a_n = a_{n-1} + 4$). By an explicit formula, we mean a formula which gives us the result directly (like $a_n = 4n + 2$). These two approaches partly define two groups of generalizers, as Becker and Rivera (2006, p. 446) describe. The first group, predominantly numerical generalizers, set up tables of values when solving growing patterns tasks. As regards solving, they are looking at numbers and trying to figure out the solution. In many cases, variables are only placeholders and by working with numerical cues, they pay little or no attention to the accompanying figural cues. The most common solving strategy of this group is trial-and-error and the answer is usually provided by a recursive formula. As Rivera and Becker (2005, p. 199) stated, “a numerical mode of inductive reasoning uses algebraic concepts and operations (such as finite differences), whereas a figural mode relies on relationships that could be drawn visually from a given set of particular instances”. The second group can be therefore characterized as predominantly figural generalizers. The solvers in this group are looking for figural clues and functional relationships among them. They usually use variables with meaning. In general, they can perceive relationships among the available cues, have a clear indication of how they interpret the figures drawn; they are better generalizers than numerical ones. Their answer is usually in an explicit formula.

As Lannin (2004, p. 217) stated, working with growing patterns could improve

two important instructional goals for high school students: first, that they can reason flexibly, using recursive and explicit reasoning when faced with the need to create a mathematical

model for a situation; and second, that they recognize the advantages and limitations of these two ways of reasoning.

Lannin (2004) suggested a broad classification of the tasks into three categories: explicit-preferred tasks, recursive-preferred tasks and flexible tasks (both recursive and explicit forms are natural for students to provide). The all have their place in mathematics education, but we will use flexible tasks here.

2.2 Categories for analyzing the level of generalization

One of the possible ways to look at the level of generalization is through Piaget's Theory of cognitive development. Piaget (1980) identified four stages of cognitive development based on the age and skills of pupils. We have used his theory in our previous research (Slavíčková & Vargová, 2019) to identify changes in an abstraction of pupils who were on the edge of the concrete operational stage and formal operational stage. This analysis was not sensitive to small differences in pupils' cognitive development. Therefore, we have been looking for another way to analyze the pupils' and masters students' cognitive development. We need a tool that can be used objectively to explain pupils' and students' difficulties with a broad range of mathematical concepts and to suggest ways that they can use to learn these concepts. The system of structural development provided by Mulligan and Mitchelmore (2009) could be helpful in this. They define individual profiles of responses as one of four broad stages of structural development:

Pre-structural stage: representations lack any evidence of mathematical or spatial structure; most examples show idiosyncratic features.

Emergent (inventive-semiotic) stage: representations show some elements of structure such as the use of units; characters or configurations is first given meaning in relation to previously constructed representations.

Partial structural stage: some aspects of mathematical notation or symbolism and/or spatial features such as grids or arrays is found.

Stage of structural development: representations clearly integrate mathematical and spatial structural features. (Mulligan & Mitchelmore, 2009, p. 42)

These stages could be useful reference points to our analysis of pupils' and masters students' work. They are not dependent on the age of respondents, and only refer to their stage of the structural development within some mathematics concepts. Therefore, we will work with them in the *a priori analysis* of our test.

The *a priori analysis* is part of G. Brousseau's Theory of didactical situations (1997). This analysis is made before the teaching unit. It is a complex analysis of the teaching unit, and it should predict as accurately as possible its course. The *a priori analysis* can be characterized as an explanatory model of students' and teachers' behavior. Its goal is to identify potential obstacles, misconceptions, mistakes, corrections and further work with these mistakes. In this analysis, knowledge prerequisites necessary for the use of the different solving strategies are essential. After the teaching unit, an *a posteriori analysis* is made. In the *a posteriori analysis*, the *a priori analysis* is compared with experience from the realized teaching unit in the classroom, and recommendations for changes are formulated.

2.3 Research questions

Individuals tend to see the same pattern differently and produce different generalizations for it. There are several studies concerning pupils' strategies of generalization at primary level (Blanton & Kaput, 2005; Blanton, 2008; etc.) or secondary/middle school (Novotná et al., 2015; Eisenmann et al., 2017; Makowski, 2020; etc.) or looking for cognitive characteristics between middle school and primary school algebraic thinking (Rivera & Becker, 2005, 2007, 2008; etc.) Due to the age and skills of the target groups, linear patterns are usually posed to pupils. There have been several studies concerning the generalization of preservice mathematics teachers but most focus on elementary preservice mathematics teachers (Van Dooren et al., 2002, 2003; Hallagan et al., 2009; Strand & Mills, 2014; etc.).

In this article, we would like to continue that work and compare pupils' and masters students' methods of generalization. Therefore, we also add a non-linear pattern for finding the general formula. We stated three research questions:

RQ1: Which strategies of generalization are used in solving flexible tasks by pupils aged 12–13?

RQ2: Which strategies of generalization are used in solving flexible tasks by prospective mathematics teachers?

RQ3: What are the main differences in preferred argumentation (or/and explanation) strategies depending on pupils' and students' knowledge and skills?

The third research question is closely related to the previous two. We posed this question to identify and summarize critical findings (or answers) for each group separately in the context of mathematical skills and knowledge. There are several reasons for looking at preferred argumentation (if any) in pupils' and masters students' work. Firstly, we use it as a support tool for analyzing the data to answer RQ1 and RQ2. Secondly, we are interested in getting a wider insight into pupils' ways of thinking. Thirdly, the data obtained could help us prepare an aspect of new research, including a teaching intervention.

3 Methodology

We worked with two groups of students. We posed them two flexible tasks for solving and arguing their findings/formulas. Both analysis *a priori* and analysis *a posteriori* were provided to find out answers to our research questions.

3.1 The sample

We worked with two different groups.

The first group comprised 32 pupils aged 12–13 in their first year at an 8-year grammar school in Bratislava. They encountered a variable as a representant of any number in a formula for finding the area of a square or a rectangle. In cooperation with their teacher, we prepared two flexible tasks to solve. Both tasks required pupils to use elements of mathematical structure such as numerical and geometrical patterns.

The second group comprised 19 prospective secondary mathematics teachers in the 1st year of their master's programme at the University.

Both groups were asked to explain their strategies of solving and generalizing. We were expecting a formal and age-appropriate way for this explanation and generalization. We were looking (separately in each group)

- whether they are predominantly numerical or figural generalizers,
- what stage of structural development according to Mulligan and Mitchelmore they were at.

3.2 The flexible tasks and additional questions

We posed two tasks, one on a linear pattern (Trapezoid table problem, inspired by Blanton, 2008) and one on an exponential one (a famous fractal – Sierpinski triangle). Both tasks are flexible; the recursive, and general formulas are easily formulated for them.

Task 1: A school has bought tables in the shape of trapezoids for the cafeteria. Two chairs are placed on the long side of the table and one chair is placed on each of the short sides. As shown below, the cafeteria staff put the tables end to end to save space. How many chairs can be placed around 3, 4, 10 and 50 tables?



Fig. 1: Trapezoid table problem illustration

Task 2: The Sierpinski triangle is constructed from an equilateral triangle by repeatedly removing smaller equilateral triangles. Start with an equilateral triangle (iter. 0), subdivide it into four smaller congruent equilateral triangles and remove the central triangle (iter. 1). Apply to each of the remaining smaller triangles (ad infinitum).



Fig. 2: Sierpinski triangle iterations

How many triangles will we have after repeating the process
a) 2 times (iter. 2), b) 3 times, c) 10 times, d) n -times?

Support data:

At the end, we asked pupils to answer additional questions concerning the tasks. We provided an on-line Google form with the following questions:

Question 1: Girl/Boy working on these tasks (mark one)

Question 2: How old are you?

Question 3a: Task one (Trapezoid table problem) was interesting/uninteresting

Question 3b: Task one (Trapezoid table problem) was for you: Easy to solve, Neither easy, nor difficult to solve, Difficult to solve

Question 3c: Justify your choice.

Question 4a: Task one (Sierpinski triangle) was interesting/uninteresting

Question 4b: Task one (Sierpinski triangle) was for you: Easy to solve, Neither easy, nor difficult to solve, Difficult to solve

Question 4c: Justify your choice.

Answers to these questions were used as additional data in the data analysis.

3.3 The data collection

The data collection was done in two lessons, one lesson per group. Both pupils and masters students worked on the aforementioned two tasks. The tasks were printed in grayscale; each pupil/student had a copy and was asked to write their workings/calculations on it. All were allowed to use calculators, rulers, pen/pencil, and as much paper as they needed (they could ask for more if needed, but no one used this option).

Due to the pupils' age, skills, and knowledge, we gave them 40 minutes for solving. We initially gave the masters students 20 minutes but several of them asked us for additional time. Finally, the students were given 30 minutes to solve the tasks.

After collecting the solutions, pupils and students were asked to answer the questions above. We assumed that 5 min would be sufficient, but in the end, we added extra minutes for pupils (due to their slow writing skills).

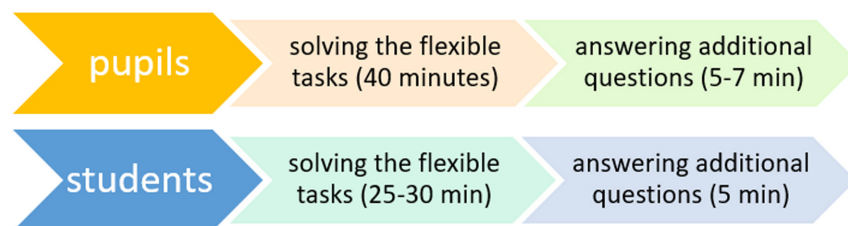


Fig. 3: Scheme of data collection in our groups

After collecting the data, students and pupils started to discuss the solutions. We monitored as observers. Unfortunately, there was not enough time at the lower secondary school for a more in-depth discussion (the data collection took longer than expected). Thus, the only supportive data we have are from the additional questions and observations.

3.4 The data analysis

Prior to assigning the tasks to pupils/students, we made part of the *a priori analysis* focus on possible strategies in the specific cognitive development of respondents first. The first task includes no variable and the far prediction is only supported by using a bigger number (50 tables in a row). The second task contains working with a variable on purpose – we wanted to know whether pupils would be able to use it in a more difficult context (they were not familiar with the powers of real numbers). Also, they could find a similarity between the tasks and therefore they could realize that the questions are practically the same.

Every provided solution was repeatedly read and analyzed in the context of the identified categories in Tab. 1. Comparison among both groups (pupils and students separately) and between them was made to find the answers to stated RQs. According to our theoretical review, we wanted to split the written solution into two main groups: figural and numerical solutions. We wanted to identify stages of structural

development inside these groups according to Mulligan and Mitchelmore (2009) as described above. We stated the categories and assumed codes to be identified in the pupils' and students' solutions.

Tab. 1: Categories for data analysis

	Numerical	Figural
Pre-structural	Counting objects can be identified in the written solution	Drawing several pictures for smaller step numbers with a corresponding figural number
Emergent	Table of values (or similar representation of counting objects with a connection to step number) Some of the provided values do not correspond with the given figure (weak connection with the figure)	Drawings indicate essential figural elements: identifying elements the figure consist of (tables and chairs, triangles) The structure of finding the next figure is evident from their drawings
Partial structural	A written description of the recursive formula The solution does not indicate use of variable, but an understanding of numerical pattern is evident (for example, it is always bigger by 3 in the next step)	A clear idea of mechanism for higher step numbers, the suggestion of formula for bigger numbers (for example, it is multiple of step number)
Structural	Correct use of variable, formula is provided (mostly recursive)	Correct use of variable, formula is provided (mostly explicit)

Using these categories, we made the *a priori analysis* of expected strategies of generalization. To be clear about pupils' and masters students' ways of thinking and whether they were motivated to solve the tasks, we used supportive data from the questionnaire.

Question 3 (concerning the trapezoid table problem) and Question 4 (concerning the Sierpinski triangle problem) were basically the same. If respondents were interested in a specific problem, we assumed a higher effort to finish the solving. We also asked about the level of difficulty according to their opinion to find out how they perceived a specific problem. This additional data was used to decide why some (if any) tasks were not solved by pupils or students, how they perceived these kinds of tasks, and whether it was worth working with these kinds of tasks or whether another type of task would be more fruitful.

4 Results

First, the *a priori analysis* is presented. Next, the results concerning ways of generalizations are divided according to the research questions.

4.1 A priori analysis

According to our literature review, we expected two main strategies of generalization – numerical and figural. Both could be subdivided into several solving strategies as shown in Tab. 1.

Solving strategies which we expected from predominantly numerical generalizers are:

S1 (pre-structural): the pupil uses the operation and procedures which can “fit” this problem; the solution lacks any evidence of noticing a mathematical structure, mostly counting the objects in the figures is used, the general formula is missing or is invalid.

S2 (emergent): the solution shows some structure (a T-chart or some other way is used to show the correspondence between the step number and the value; no or incorrect symbolization is used).

S3 (partial structural): some aspects of mathematical notation or symbolism can be found; the general formula is given mostly in a recursive form with a clear understanding of the numerical pattern.

S4 (structural): algebraic representations integrate features of mathematical structural; the correct general formula is provided (correct in the sense of their thinking though they can make numerical errors).

The strategies for predominantly figural generalizers are similar:

S5 (pre-structural): the solution lacks any evidence of spatial structure, the figure is decomposed into the elements (or basic blocks), the correct solution for smaller values of step number.

S6 (emergent): the solution shows some elements of structure such as the identification of essential figural elements; the solution for specific numbers is provided (no symbolization is present)

S7 (partial structural): some aspects of spatial features such as grids or arrays can be found; the solution given in a recursive form with a clear understanding of the figural pattern is present.

S8 (structural): provided figures integrate mathematical and spatial structural features; the correct general formula with a clear reference to the figural cues is present.

4.2 Pupils' strategies of generalization and justification

To make our analysis clearer, we split it into two parts, one for a task.

4.2.1 Trapezoid table problem, pupils' strategies

We identified four groups of strategies of solving and generalization.

G1: taking one table with 4 chairs as a unit; thus, for n tables, there are $4n$ chairs

Pupils in this group did not take into account the overlap of the tables. They looked at the first table in a row and made their conclusion concerning the number of chairs.

G2: grouping tables by two and working with new units of two joined tables (see Fig. 4)

One of the solutions is: "The 'middle table' has 6 chairs. Then there are 2 tables at the ends, therefore plus two." (12-year-old boy) There are other 4 similar explanations.

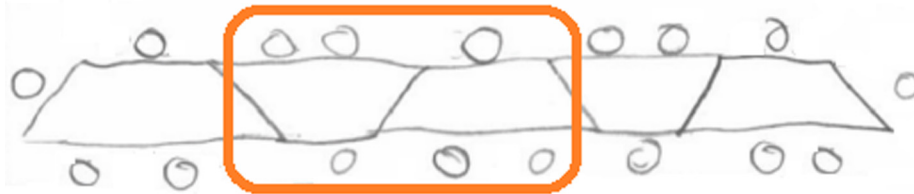


Fig. 4: Example of pupils' solution showing the "middle table"

In this group of solutions, pupils showed structural thinking – making groups of tables and constructing the solution for even numbers. It could be interesting to ask them for odd numbers to see whether they could fix the problem. Some pupils argued that if we had 50 tables, then we had to divide it by 2, then multiply by 3 and at the end add 2 (chairs). As in the G1 solution, we can identify a strong connection to the figure.

G3: decomposing and composing the structure: 5 chairs within one table, but after putting tables together, we have to remove 2 chairs; therefore, we are adding three chairs; only the recursive formula is provided

Pupils in this group showed structural thinking as they took a unit of one table and found out that we had to subtract overlapping chairs and work only with "the number of chairs at the bases of the trapezoids" and add two chairs at both ends of the table row. We can still identify the connection to the figure and the explanation within figural reasoning.

G4: counting "table by table": there are 4 chairs at the first table, 3 chairs at the 2nd, 3rd, 4th, etc. table and 4 chairs at the last table

The decomposition strategy is used. The solution is clearly described, and the process of thinking can be easily identified. But the solution is on the low level of structural development, provided only for the specific numbers with an error for 50 tables.

Inductive reasoning and an indication of an infinite process can be identified here. Structural thinking is clearly present but most of the solutions had a numerical error. The question is whether the mistake was made due to carelessness or miscounting.

Our group of pupils at the secondary school rarely used a symbolic notation, they do not understand the principle of a variable yet. To explain their solving strategy, most of the pupils drew or described by words, how it works for a smaller number of tables and chairs. Some did not explain the solution (and provided the values for specific questions only).

4.2.2 Sierpinski triangle, pupils' strategies

We identified 3 groups differing in solving strategies and generalization for this task:

G5: Multiplying the previous result by 3, but the solution only works for small numbers (it does not work for the 10th step, see Fig. 5)

The pattern was found, but as pupils were not familiar with the powers, it is not written with the notation of powers. The idea is clear, but the mathematical notation is not correct. The pupils who provided this type of solution and explanation (like in Fig. 5) are on a partial structural stage of their cognitive development.

G6: Misinterpretation of the task, counting all the triangles that could be found in the pictures with an increasing number of iterations

tam ostalo 27. ked sme to robili po 10x, vedeli sme, ze este musime
 7x vynasobit 3 = 2. Vedeli sme ze ked sme to 3x opakovali tak
 nam ich ostalo 27, tym padom aby sme dosiahli 10x, tak musime
 27. 21 a to nam da vysledok 567.

Fig. 5: Example of pupils' solution deriving the 10th power of 3¹

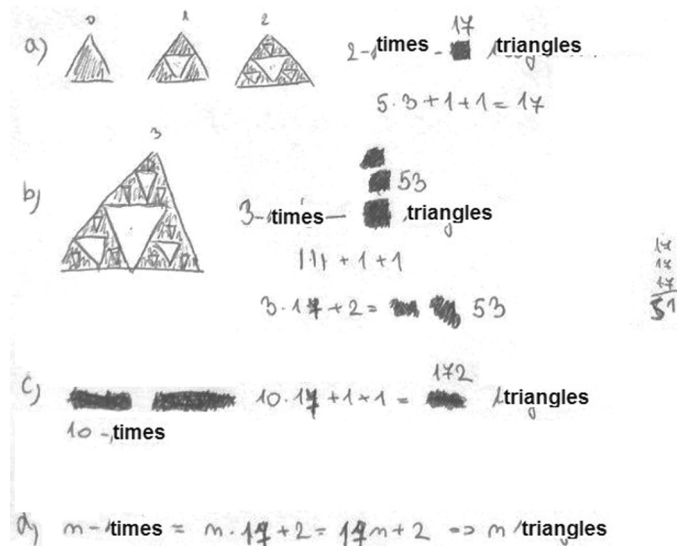


Fig. 6: Example of specific pupils' solution of task 2

Only one pupil provided this kind of solution (see Fig. 6). Some elements of structural thinking are present, therefore, the structural development is on the emergent stage.

G7: Correct solution with an understanding of repeated multiplication by 3

c) 10x rozdělíme
 kabže 10x 3 = $3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 177147$

Fig. 7: Example of pupils' solution of Sierpinski triangle problem²

An explanation was mostly based on the figural interpretation. As we can see in Fig. 7, the notation $10 \times 3 = 3^n$ is not correct, but it is an adequate notation for the cognitive development and skills of the pupils in this age. As we can see later in the counting, the idea is correct, but the mathematical representation is missing. We can conclude that these pupils have good insight into the figure and its changing. According to the method of solving and the concepts used, they are at the partial structural stage.

4.3 Students' ways of generalization and justification

By analyzing the solutions of the pre-service mathematics teachers, we have found two main strategies of solving task 1 and five groups of strategies for solving task 2.

T1a: making a T-chart and/or corresponding $n \rightarrow a_n$, the result given in the general form

This solution indicates the numerical approach. The result is derived from the numerical cues and is mostly in general form for the n -th term.

T1b: only the solution without any explanation or showing the work

¹Translation of solution: "When we did it 10-times, we knew that we had to 7-times multiply 3 = 2 (erased). We knew that when we repeated it 3-times, it was 27. Therefore, to make it 10-times, we have to do multiplication 27 times 21 and it makes the result of 567."

²Translation: 10-times divided [the triangle], therefore $10 \times 3 = \dots$

In this solution, we can only guess that students “looked and saw in the picture” the structure and how the pattern is changing. Therefore, we have put it in the graphical representation of students’ and pupils’ solutions with dash line (see Fig. 9).

T2a: general formula for the n -th term with figural reasoning

In this group, some students drew the 3rd iteration, but the majority put the answer from the first two iterations with the correct explanation by using figural reasoning. Clear structural development and the use of figural reasoning pointed to the structural development stage.

T2b: the correct solution raised from the numerical pattern (T-chart and/or corresponding $n \rightarrow a_n$) – numerical reasoning

In this group, the students made a numerical representation of the figure and derived the formula for the n -th term. Clear structural development and the use of numerical reasoning pointed to the structural development stage.

T2c: counting numbers of triangles inside the existing ones ($1 \rightarrow 1, 2 \rightarrow 4, 3 \rightarrow 9, \dots, n \rightarrow n^2$)

These students misinterpreted the task; they used the numerical approach and derived the general formula from numerical cues with no further reference to the figures.

T2d: counting all triangles possible found in a picture (similar to the pupils’ solution but without explanation or showing the calculations, a) 17, b) 53 and no solution for higher numbers or providing a general formula)

Another type of misinterpretation of the task can be identified in this group. The students have made the same calculations as the pupils did; however, they were “lazier”. They did it only for the first two sub-questions. Working exclusively with figures and counting the triangles pointed to the action level of structural development.

T2e: wrong interpretation of the task and a problem to write down the formula (recursive, or general one – Fig. 8)

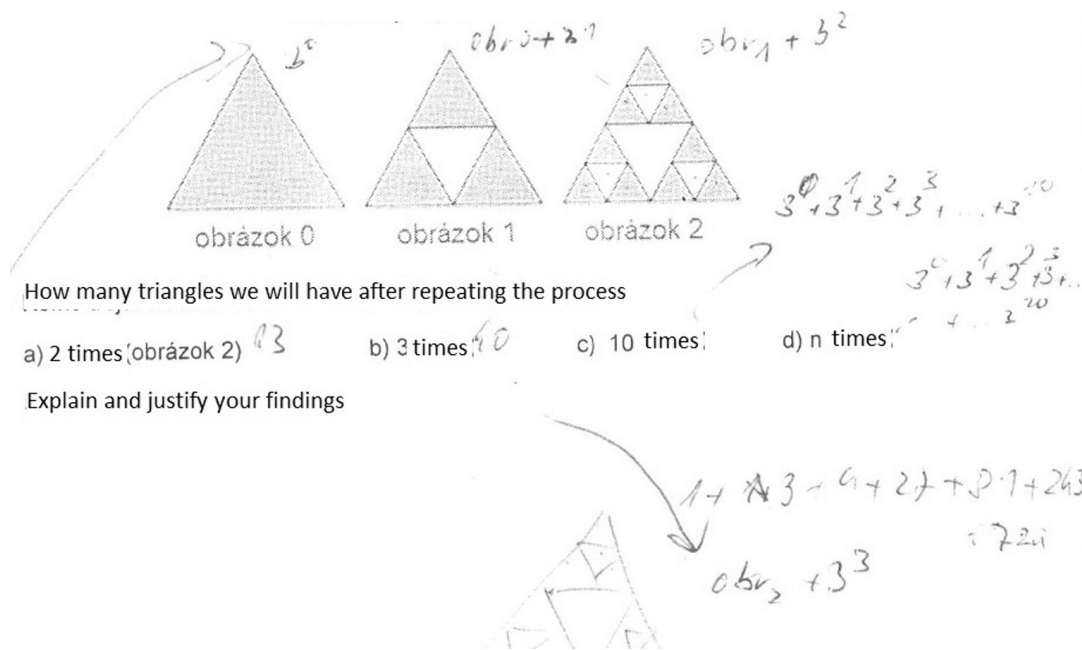


Fig. 8: Example of students’ solution

The cumulative sum of the results in the previous steps indicates two things. Firstly, the students wanted to use the mathematics they had just learned to do (sequences and sums). Secondly, they did not check the correctness of their numerical solution against the figure. They also counted with removed triangles. The answer showed students’ partial structured thinking; therefore, it corresponds with the emergent stage of structural development.

4.4 Differences within and between the groups

To answer the third research question, we have made a diagram of stated strategies in the analysis *a priori* (S1, ..., S8) and strategies of generalization of the group of pupils (G1, ..., G7) and prospective mathematics teachers (T’s).

Table 2 presents the comparison of results with our assumptions concerning strategies.

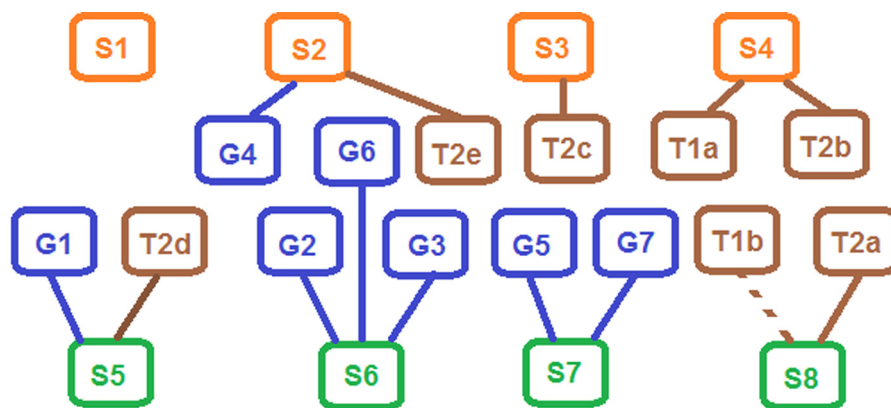


Fig. 9: Scheme of solving strategies and types of generalization (S1–S4 numerical, S5–S8 figural)

Tab. 2: Summary of findings

	Pupils of age 12–13	Preservice mathematics teachers
Strategy of generalization	Predominantly figural generalizers	Mostly numerical generalizers
Explanation	<ul style="list-style-type: none"> • explanation of the formula by showing on a figure • process of deriving the formula in a context of the given figure 	<ul style="list-style-type: none"> • the given explanation is connected to numerical cues • figural cues are not crucial to the solution
Argumentation	rarely provided; showed on few examples that it works	not provided
Stage of structural development	mostly on an emergent inventive-semiotic or a partial-structural stage	some are on the basic level of generalization (pre-structural) or emergent inventive-semiotic level;
Solving strategies	several strategies of solving were identified, mostly trial-and-error, systematic experimentation and solution drawing	the trial-and-error strategy was present quite often
Effort	tried to do their best – solutions were mostly easy to read and comprehend	tried to use higher mathematics (like infinite sum)
Other	<ul style="list-style-type: none"> • reading literacy is a problem (several of them changed the meaning of the task and answered to a different problem/question) • low level of mathematical proficiency • several cases of low mathematical self-confidence (mostly in a group of pupils, we observed that they need their teacher’s reassurance that their strategy is correct) 	

Comparing the knowledge and skills of our two groups, we can conclude that the more experience they have, the more numerical strategies of generalization they use. Secondly, the university students tried to use scientific notation, and their way of expressing got shorter. Thirdly, none tried to justify his/her generalized findings. Therefore, for our groups of pupils and students, we can conclude, there are two main differences in the preferability of generalization strategy connected to their knowledge and skills. The first difference is in a generalization strategy (numerical or figural); the second one is operating with elements from the provided context (tables, triangles). A new question arises from this finding: Is it a natural change or our educational system has a strong influence on it?

5 Discussion

To answer RQ1, which strategies of generalization are used in solving flexible tasks by the pupils of age 12–13, we identified four approaches in solving Task 1 and three approaches in solving Task 2.

Answering RQ2, we observed that even some of the masters students have little knowledge of functions and writing recursive formula in the correct form. It is clear what they wanted to say by their formulas, but they failed in the formal notification. Similarly, Breiteig and Grevholm (2006) pointed out that “students prefer to explain in rhetoric rather than in symbolic algebra”. Several studies (Rivera & Becker, 2007;

Richardson et al., 2009; Strand & Mills, 2014; etc.) indicate that pre-service mathematics teachers have strong procedural skills but they struggle to interpret and effectively use algebraic symbols, as well as to make connections between different representations.

Van Dooren et al. (2002, p. 322) found out that “nearly all students who wanted to become remedial teachers for primary and secondary education and about half of the future primary school teachers were unable to apply algebraic strategies properly or were reluctant to use them”. In addition, a comparison of “secondary school preservice teachers at the beginning and the end of their teacher training showed that there were no differences in strategy use, mostly algebraic” (2002, p. 330). Master students in our study had similar problems to apply algebraic strategies properly. Therefore, changes in the preparation of future secondary mathematics teachers are necessary.

Rivera and Becker (2005) looked at how 42 middle school students performed inductive reasoning on two algebra tasks with growing patterns. Each task contained a sequence of figural and numerical cues. They found out that “middle school students have difficulty performing generalizations because many of those who teach them are predominantly more numerical than figural” (2005, p. 201). We did not provide numerical cues in our tasks. We did not want to affect pupils’ and students’ thinking and strategy of solving. Still, our findings are similar: our preservice students are taught mostly to do their conclusions using numerical cues (algebra, mathematical analysis, etc.).

We can conclude that both groups in our study are mostly predominantly figural generalizers; using the numerical strategy, they have a strong connection to the figure. Also, they are mainly on an emergent inventive-semiotic or a partial-structural stage. Similarly to Lee and Wheeler (1987), we found the dominance of manipulation over reasoning in the provided solutions; some respondents struggled to use algebraic symbolism in a meaningful way. Lee and Wheeler studied respondents’ ability to recognize and express functional relationships (similar as we did by using dot patterns) and found out the same result as we did (see respondents’ strategies G1, G5, G6, T2c, T2d, T2e). They conclude: “Seeing a pattern was not a problem, students lacked flexibility in generating sufficient possible patterns, in selecting useful ones, and in checking their validity.” (Lee & Wheeler, 1987, p. 146)

Even though we asked the pupils and students to explain and justify the result, only a few of them did so. Pupils tried to describe their thinking and deriving formula. Some of them did not state a general claim, those who did so did not understand what it meant to justify that claim. It was not only the pupils who thought a few examples were sufficient to show that a general claim was valid. Similar results were observed in preservice mathematics teachers’ solutions. Thus, we cannot really answer RQ3 about the main differences in preferred argumentation. Most pupils explained their findings but did not argue their correctness. Makowskis’ (2020) results are close to our findings. She claims: “While the preservice mathematics teachers were willing to make a mathematical claim for patterns presented as numeric lists, they did not always have a justification.” (p. 19)

The students in our sample are predominantly numerical generalizers, they pay a little attention to the figure, and the trial-and-error strategy is often used. However, as studies show, strategies of generalization can be learned. For example, Hallagan et al. (2009, p. 203) found out that prior to their intervention, students had difficulty expressing ideas in words, writing a generalization, recognizing patterns, and explaining a strategy, but they identified significant growth in their understandings of algebraic generalizations as a result of their intervention.

6 Conclusions, limitations and implications

As for the lower secondary pupils, we can sum up that their solutions showed a strong connection to the figure; they are mostly figural generalizers. Their attitude to solving the task was high. The context was appropriate to them, and we observed strong motivation during the whole time of solving, answering additional questions, and continuous discussion after the lesson ended. The most common question while solving the tasks was, “is it correct?”. This indicates low confidence in the pupils’ ability to solve a mathematical task. Therefore, we suggest that they should be asked to work on similar flexible tasks such as the ones we used in their mathematics lesson. At the same time, more attention to argumentation and generalization is needed.

On the other hand, the preservice mathematics teachers rarely checked the correctness of their numerical solution against the figure; they are primarily numerical generalizers. We know that pupils of age 13 do not have available tools for formal proof. We did not expect it; we hoped only for drawings, numerical expressions, and an oral explanation of their thinking. But preservice mathematics teachers do have tools for formal proof which they failed to use.

The study has several limitations. Firstly, there is the size of the groups that were given by the size of the classes. Secondly, there is a lack of time for interviewing respondents to obtain more profound

feedback and more valuable data for our research. The reliance on only written solutions we consider as the biggest limitation of our study. Due to these limitations, we cannot claim general conclusions.

What do preservice teachers and others need to know to carry out instructions that support generalization and argumentation? To find an answer and build on it is the task for us as teacher educators in order to improve preservice mathematics teachers' education. Watson and Geest (2005, p. 228) suggest to provide tasks which establish working habits which may have been lost through disaffection and low expectation, develop routines of meaningful interaction, and be explicit about connections and differences in mathematics.

To sum up, more research is needed on the ability to generalize of pupils and future teachers at least in the countries whose curriculum does not include generalizing tasks. We suggest that such tasks are used in the preparation of future mathematics teachers so that their ability to generalize is enhanced and thus, they can develop this ability in their future pupils.

Acknowledgment

This research was supported by KEGA 014UK-4/2020 Promoting the education of mathematics teachers in primary and secondary schools by sharing innovative materials, forms, and teaching methods.

References

- Almossawi, A. (2016). *An illustrated book of bad arguments*. Scribe Publications.
- Becker, J. R., & Rivera, F. (2006). Establishing and justifying algebraic generalization at the sixth grade level. In J. Novotná, H. Moraová, M. Krátká, & N. Stehlíková (Eds.), *Proceedings of the 30th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (vol. 4, pp. 465–472). PME, Charles University.
- Blanton, M. L. (2008). *Algebra and the elementary classroom: Transforming thinking, transforming practice*. Heinemann.
- Blanton, M. L., & Kaput, J. J. (2005). Characterizing a classroom practice that promotes algebraic reasoning. *Journal for Research in Mathematics Education*, 36(5), 412–446. <https://doi.org/10.2307/30034944>
- Breiteig, T., & Grevholm, B. (2006). The transition from arithmetic to algebra: to reason, explain, argue, generalize and justify. In J. Novotná, H. Moraová, M. Krátká, & N. Stehlíková (Eds.), *Proceedings 30th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (vol. 2, pp. 225–232). PME, Charles University.
- Brousseau, G. (1997). *Theory of didactical situations in mathematics*. Kluwer.
- Eisenmann, P., Příbyl, J., Novotná, J., Břehovský, J., & Cihlář, J. (2017). Volba řešitelských strategií v závislosti na věku [Choice of heuristic strategies with respect to age]. *Scientia in educatione*, 8(2), 21–38. <https://doi.org/10.14712/18047106.432>
- Friel, S. N., & Markworth, K. A. (2009). A framework for analyzing geometric pattern tasks. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 15(1), 24–33. <https://doi.org/10.5951/mtms.15.1.0024>
- Hallagan, J. E., Rule, A. C., & Carlson, L. F. (2009). Elementary school pre-service teachers' understanding of algebraic generalizations. *The Mathematics Enthusiast*, 6(1), 201–206. <https://scholarworks.umt.edu/tme/vol6/iss1/16>
- Kaput, J. (1995). *A research based supporting long term algebra reform?* Paper presented at the Annual Meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (17th, Columbus, OH, October 21–24, 1995). Retrieved May 25, 2020 from <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED389539.pdf>
- Kaput, J. (1999). Teaching and learning a new algebra. In E. Fennema, & T. A. Romberg (Eds.), *Mathematics classrooms that promote understanding* (pp. 134–156). Routledge.
- Lannin, J. (2004). Developing mathematical power by using explicit and recursive reasoning. *The Mathematics Teacher*, 98(4), 216–223. <https://www.jstor.org/stable/27971686>
- Lee, L., & Wheeler, D. (1987). *Algebraic thinking in high school students: Their conceptions of generalization and justification* [Research Report]. Concordia University, Department of Mathematics.
- Makowski, M. B. (2020). The written and oral justifications of mathematical claims of middle school pre-service teachers. *Research in Mathematics Education*, advance online publication <https://doi.org/10.1080/14794802.2020.1777190>

- Mason, J. (1996). Expressing generality and roots of algebra. In N. Bernarz, C. Kieran, & L. Lee (Eds.), *Approaches to algebra. Perspectives for research and teaching* (vol. 18, pp. 65–86). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-94-009-1732-3_5
- Mulligan, J., & Mitchelmore, M. (2009). Awareness of pattern and structure in early mathematical development. *Mathematics Education Research Journal*, 21(2), 33–49. <https://doi.org/10.1007/BF03217544>
- Novotná, J., Eisenmann, P., & Příbyl, J. (2015). Impact of heuristic strategies on pupils' attitudes to problem solving. *Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science*, 8(1), 15–23.
<https://doi.org/10.7160/eriesj.2015.080103>
- Piaget, J. (1980). *Adaptation and Intelligence: Organic Selection and Phenocopy*. University of Chicago Press.
- Richardson, K., Berenson, S., & Staley, K. (2009). Prospective elementary teachers use of representation to reason algebraically. *Journal of Mathematical Behavior*, 28(2), 188–199.
<https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2009.09.002>
- Rivera, F. D., & Becker, J. R. (2005). Figural and numerical models of generalization in algebra. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 11(4), 198–203.
- Rivera, F. D., & Becker, J. R. (2007). Abduction–induction (generalization) processes of elementary majors on figural patterns in algebra. *Journal of Mathematical Behavior*, 26(2), 140–155.
<https://doi.org/10.1016/J.JMATHB.2007.05.001>
- Rivera, F. D., & Becker, J. R. (2008). Middle school children's cognitive perceptions of constructive and deconstructive generalizations involving linear figural patterns. *ZDM Mathematics Education*, 40(1), 65–82.
<https://doi.org/10.1007/s11858-007-0062-z>
- Russel, S. J., Schifter, D., & Bastable, V. (2011). Developing algebraic thinking in the context of arithmetic. In J. Cai, & E. Knuth (Eds.), *Early algebraization, advances in mathematics education* (pp. 43–69). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-17735-4_4
- Slavičková, M., & Vargová, M. (2019). Pupils stage of a cognitive development in correlation with solving algebraic tasks. In *ICERI 2019 proceeding* (pp. 7260–7268). IATED. <https://doi.org/10.21125/iceri.2019.1726>
- Strand, K., & Mills, B. (2014). Mathematical content knowledge for teaching elementary mathematics: A focus on algebra. *The Mathematics Enthusiast*, 11, 385–432.
<https://scholarworks.umt.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1307&context=tme>
- Van de Walle, J. A., Karp, K. S., & Bay-Williams, J. M. (2012). *Elementary and middle school mathematics: Teaching developmentally* (9th ed.). Pearson.
- Van Dooren, W., Verschaffel, L., & Onghena, P. (2002). The impact of preservice teachers' content knowledge on their evaluation of students' strategies for solving arithmetic and algebra word problems. *Journal for Research in Mathematics Education*, 33(5), 319–351. <https://doi.org/10.2307/4149957>
- Van Dooren, W., Verschaffel, L., & Onghena, P. (2003). Pre-service teachers' preferred strategies for solving arithmetic and algebra word problems. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 6, 27–52.
<https://doi.org/10.1023/a:1022109006658>
- Watson, A., & Geest, E. D. (2005). Principled teaching for deep progress: Improving mathematical learning beyond methods and materials. *Educational Studies in Mathematics*, 58(2), 209–234.
<https://doi.org/10.1007/s10649-005-2756-x>

The Crucial Importance of Typical Discussion Roles of Pupils for the Effective Implementation of Peer Instruction in Teaching Elementary School Mathematics

Kruciální význam typických diskuzních rolí žáků pro efektivní implementaci peer instruction ve výuce matematiky na základní škole

Tomáš Zadražil¹

¹ Department of Mathematics Education, Charles University in Prague, Sokolovská 83, Praha, Czech Republic; tomas.zadrazil@gmail.com

Studies over the past decade have indicated that Czech pupils do not have an appropriate level of mathematics comprehension and their attitudes towards this subject deteriorate over time. The article deals with a possible solution to the described problem; namely the implementation of *peer instruction*, an active learning strategy, in elementary mathematics teaching. In order to decide whether it is possible to use peer instruction as a teaching method in an elementary school environment, action research project with the properties of a mixed empirical study was performed in one eighth grade class (thirty participants) at a Czech multi-year grammar school. The main idea was to compare the results of the class before, during, and after the implementation of peer instruction. The pupils' level of understanding was monitored by normalized learning gains calculated on the basis of pre/post-testing design. Changes in the pupils' attitudes towards mathematics were mapped using continuous and pre/post-test questionnaires. In the spirit of the action research, interim data and results were regularly discussed with a group of selected pupils or experts in the field. The results show that there is a strong relationship between normalized learning gain and one of four typical roles with which pupils identify during group discussions: *passengers*, *standard discussants*, *advisors*, and *dominant speakers*. The research has also indicated that peer instruction needs to be appropriately modified to increase the passengers' activity.

Key words:
peer instruction,
education of
mathematics, elementary
school, normalized
learning gains, attitudes
towards mathematics.

Received 7/2020
Revised 10/2020
Accepted 11/2020

Studie uplynulé dekády ukazují, že čeští žáci nerozumějí matematice na očekávané úrovni a že se jejich postoje vůči tomuto předmětu s časem zhoršují. Článek se zabývá možným řešením popsání problému, a sice implementací metody aktivního učení *peer instruction* ve výuce matematiky na základní škole. Za účelem rozhodnout, zda je pomocí peer instruction možno vyučovat i v prostředí základní školy, byl v jedné třídě českého gymnázia (třicet žáků osmého ročníku) realizován akční výzkum o vlastnostech smíšené empirické studie. Hlavní myšlenkou bylo srovnání výsledků pozorované třídy před, během a po implementaci peer instruction. Úroveň porozumění žáků byla sledována pomocí normalizovaného učebního zisku vypočteného na základě designu pre/post testování. Změny žákovských postojů vůči matematice byly mapovány pomocí průběžných a pre/post dotazníků. V duchu akční studie byla průběžná data i výsledky pravidelně diskutovány se skupinou vybraných žáků nebo s odborníky na dané problematiku. Výsledky ukazují, že existuje silný vztah mezi normalizovaným učebním ziskem a jednou ze čtyř typických rolí, se kterou se žáci identifikují během skupinových diskuzí: *pasážéři*, *standardní diskutéři*, *poradci* a *dominantní řečníci*. Rovněž se ukazuje, že pro navýšení aktivity pasažérů je potřeba peer instruction vhodně modifikovat.

Klíčová slova:
peer instruction, výuka
matematiky, základní
škola, normalizovaný
učební zisk, postoje vůči
matematice.

Zasláno 7/2020
Revidováno 10/2020
Přijato 11/2020

1 Introduction

Studies of the past decade show that the attitudes of Czech pupils towards mathematics deteriorate as their school years advance and the biggest decline occurs in the second stage of primary school from sixth to ninth grade (Pavelková & Hrabal, 1988; Chvál, 2013). In general mathematics is seen as a difficult and unpopular subject (Pavelková & Hrabal, 1988). Moreover, the results of international tests (PISA2012, TIMS2007, etc.) indicate that Czech pupils' understanding of mathematical concepts is insufficient (Vondrová et al., 2015).

Professionals, politicians, and the lay public are aware of those problems, and there is an effort to deal with them; however, there is no consensus on the optimal solution. One possible way presents *active learning*, which could be defined as any instructional technique that engages students in the learning process (Prince, 2004). Based on previous studies it could be stated that active learning has a positive impact on

students' attitudes towards the subject, their content memory, and engagement in general (Prince, 2004). It could be also claimed that active learning slightly increases students' exam performance (Freeman et al., 2014) and considerably boosts their conceptual understanding (Prince, 2004; Freeman et al., 2014).

In the following section peer instruction is proposed as a possible way of alleviating above mentioned problems.

2 Peer Instruction

In 1985, it was pointed out by Halloun and Hestenes (1985) that although a great deal of college students were able to state Newton's third law, not many of them fully understood it. Their understanding was the same before and even after introductory physics courses. In fact, the courses changed almost nothing in terms of students' preconceptions about Newtonian mechanics. This discouraging conclusion led Eric Mazur (2009), a physics professor at Harvard University, to come up with his own teaching approach called peer instruction.

Peer instruction is one of the world's most known active learning strategies (connected with voting) that mainly relies on group discussions over a difficult multiple-choice conceptual question (referred to as a *ConcepTest*). The aforementioned benefits (mentioned in Introduction for active learning) are especially prominent in peer instruction (Mazur, 1997; Vickrey et al., 2015; Chien et al., 2016) especially in terms of students' exam performance and increased conceptual understanding (Mazur, 1997; Hake, 1998; Michinov et al., 2015; Chien et al., 2016; Balta et al., 2017).

Effectiveness of peer instruction is generally demonstrated through comparison of normalized learning gains of experimental and control group. Normalized learning gains are typically significantly greater within experimental groups than in control groups as was for example shown by Eric Mazur himself (Mazur, 1997; Mazur & Crouch, 2001) and as it was highlighted in several meta-analysis (Vickrey et al., 2015; Balta et al., 2017). This approach works well in subjects like physics where is possible to use the same pre/post-test in order to compute normalized learning gains because students are familiar with taught concepts. Unfortunately, especially in the education of elementary school mathematics pupils typically are not often familiar with taught concepts and therefore this approach is quite hard to apply.

Peer instruction lessons are divided into several blocks (see Fig. 1). Each block begins with a brief lecture on a selected concept or another introductory educational activity (1). During this step, formulas and other mnemonics that may distract the learners from conceptual understanding should be avoided. At the end of opening activity, a ConcepTest is posed (2), and students are given a short time to reflect upon it individually (3). Students then vote for their answers via flashcards, clickers, or an application on their personal smart devices (3). The following step is selected based on the distribution of answers obtained. If more than 70% of the answers are correct, the solution will be briefly explained by the teacher or one of the students (5). On the other hand, if less than 35% of the answers are correct, the students will be given appropriate help (6) or the problematic concept will be explained in another way (7). However,

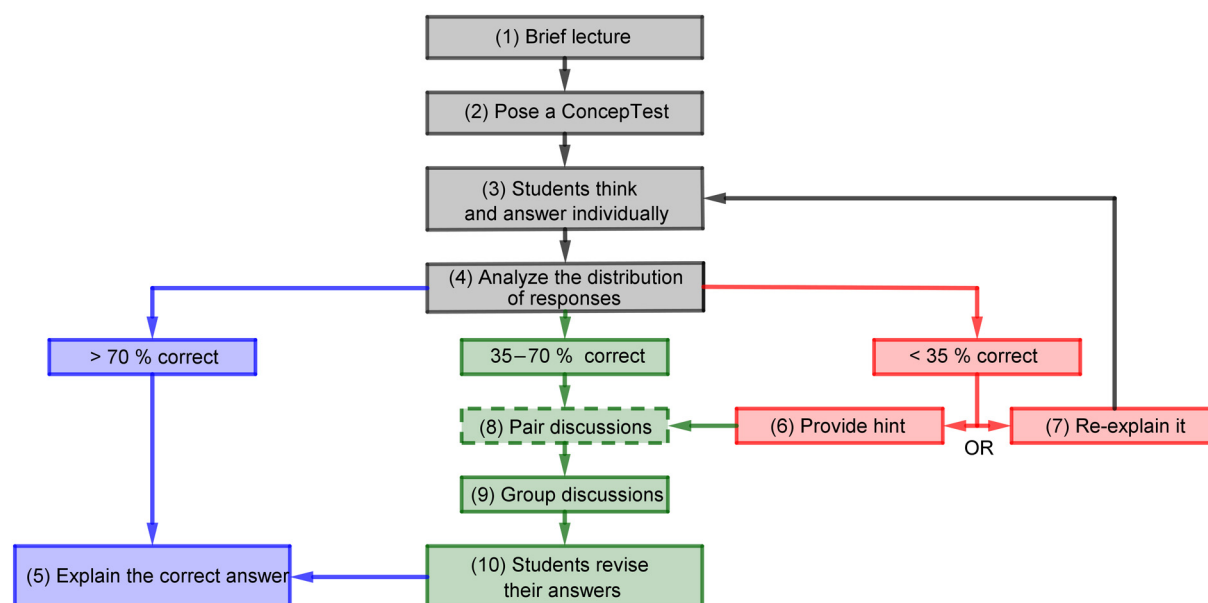


Fig. 1: Extended scheme of one block of peer instruction

the last remaining situation (35–70% of the answers are correct) is crucial for peer instruction. In this case, the students are asked to create smaller discussion groups (three to four members) to convince their peers of the validity of their answers (9). The group discussions are finished with a revised vote (10) and a subsequent explanation of the correct solution to the ConcepTest (6). In addition to the steps originally designed by Eric Mazur (1997), the extended peer instruction scheme contains a voluntary step (8), in which students are first asked to pre-discuss their answers in pairs before starting group discussions (9).

Group discussions (9) are evidently the best option here. At this step, students are encouraged by the instructor to justify – not just to merely report – their statements to peers. A student who has recently understood the concept discussed knows how to overcome its obstacles and is thus more likely to guide his peers to understanding than the instructor himself. There is also a considerably lower communication barrier among students themselves than between students and the instructor. The revised voting is therefore usually connected to a significant increase of votes in favour of the right option (Mazur, 1997; Mazur & Crouch, 2001; Pilzer, 2001; Lucas, 2009; Michinov et al., 2015; Vickrey et al., 2015). This increase has been proven as consequences of the group discussion rather than mere copies of the most common answer (Smith et al., 2009; Vickrey et al., 2015).

Even though peer instruction is now one of the most surveyed teaching strategies connected to electronic voting and there have been many studies on its implementation in STEM disciplines (Mazur & Crouch, 2001; Vickrey et al., 2015; Michinov et al., 2015; Balta et al., 2017), few examples have been realised in elementary (Chen et al., 2005) or high school education or in mathematics education (Pilzer, 2001; Lucas, 2009; Olpak et al., 2018).

Along with the benefits mentioned in the introduction, the implementation of peer instruction also poses considerable challenges which are highly relevant to this article. Peer instruction was originally designed for the purposes of college physics education and the standard physical ConcepTest deals with objects and phenomena with which students are inherently familiar. Unfortunately, this is not the case for mathematical concepts, which are usually entirely unfamiliar to students (Pilzer, 2001). Group discussions could be led by dominant group members at the expense of their peers (Lucas, 2009; Michinov et al., 2015). In such cases, the discussions will not be fruitful for everyone and this is perhaps the main reason why it is difficult to exceed a medium level of average normalized learning gain (Hake, 1998; Mazur & Crouch, 2001; Michinov et al., 2015). In addition, Chen et al.'s study (2005) pointed out that elementary school pupils could have insufficient social skills to maintain effective group discussions over ConcepTests.

3 Methodology

3.1 Purpose of the study

The main purpose of the study was to decide whether it is possible:

- a) to satisfy assumptions of peer instruction in lower secondary mathematics education (e.g., are there sufficient social skills to maintain fruitful group discussions?);
- b) to achieve similar outcomes promised by research studies on university physics peer instruction (e.g., more profound conceptual understanding, significant normalized learning gains, improvement of attitudes towards mathematics, etc.).

3.2 Research Timeline and Design

In order to answer questions a) and b), an action research project (Mertler, 2019) was carried out from the beginning of the 2018/2019 school year to the untimely end of the 2019/2020 school year (due to coronavirus), with a single class (in the following text referred as the class or our class) of thirty eighth grade participants at a Czech grammar school (ninth graders in the 2019/2020 school year). Within the class mathematics was taught by the researcher himself for the whole duration of research. The core idea of study was to compare the class before, during and after the implementation of peer instruction to itself and to global datasets (standards for tests and questionnaires from: (Pavelková & Hrabal, 1988); (Chvál, 2013); PISA2012; TIMSS2007, etc.). Fig. 2 shows a simplified scheme of our research timeline. (Numbers in curly brackets refers to Fig. 2.)

At the beginning of the very first mathematics class, questionnaires Q1 and Q2 {1} (Pavelková & Hrabal, 1988; Chvál, 2013) were assigned with connected datasets for the Czech Republic to determine the pupils' initial attitudes and motivational structures toward mathematics. During the following lesson, pupils completed a test T1 {1} aimed to gauge their initial understanding of geometric concepts (e.g. *area, perimeter, distance, median, altitude*, etc.) and argumentation skills. The very same Q1 questionnaire was assigned to the pupils four more times – after two months of classic teaching (i.e. combination

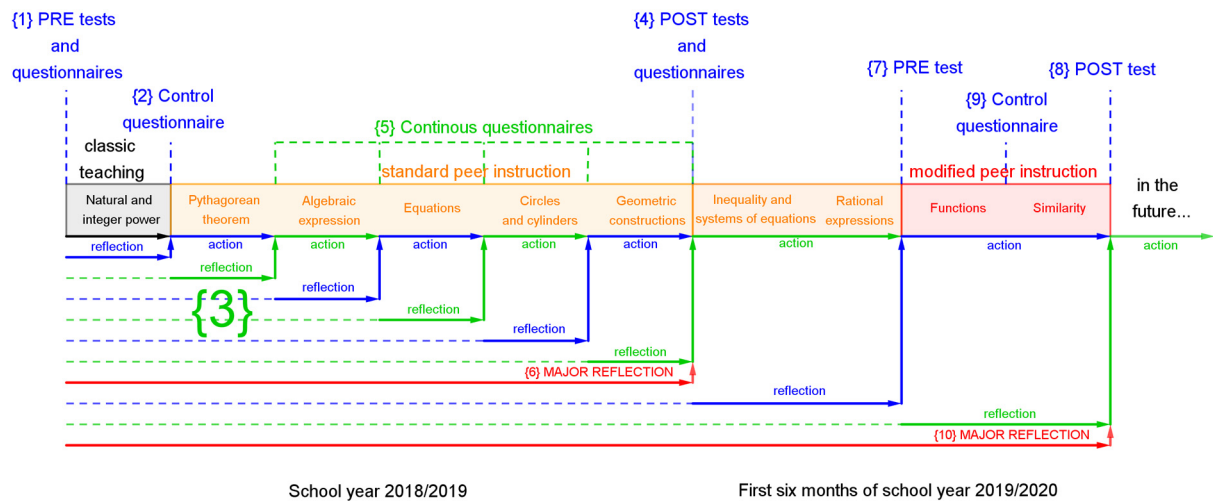


Fig. 2: Research Scheme

of lecturing and practising) {2}, after another eight months of peer instruction (in Fig. 2 referred as a period of standard peer instruction), at the end of the 2018/2019 school year {4}, and lastly, after the first sixth months of the 2019/2020 school year {9} (in Fig. 2 referred as a period of modified peer instruction, which differs from standard peer instruction by added pair discussion step as was mentioned in the description of Fig. 1). Q2 was only assigned once more at the end of the 2018/2019 school year {4}.

The argumentation-understanding T1 test was assigned to pupils once again at the end of the 2018/2019 school year {4} along with the T2 test on relevant mathematical tasks from that school year according to the Programme for International Student Assessment 2012 (PISA2012) and the Trends in International Mathematics and Science Study 2007 (TIMSS2007). Based on the results of pre-questionnaires Q1 and Q2 as well as continuous test performance during the first two months of classic teaching, the pupils were divided by cluster analysis into five characteristic groups shortly after {2}. (The initial understanding of geometric concepts and argumentation skills was quite low for the class in general; as such, the results of pre-test T1 were not included in the cluster analysis.) Resulting characteristic groups were then carefully compared to observations and experiences within the class. For example, one characteristic group consisted of pupils who had good attitudes toward mathematics and high continuous tests performance. In order to see longitudinal changes in pupils' attitudes towards mathematics, questionnaire Q3 was assigned periodically after each topic was taught {5}. To determine pupils' attitudes towards peer instruction itself, questionnaire Q4 was used from the study of Olpak et al. (2018) at the end of the 2018/2019 school year {4}. (Discussions of design, usage and results of Q1, Q2, Q3, T1 and T2 can be found later in the article.)

In the spirit of action research (Mertler, 2019), several pupils from the characteristic groups were selected to form a reflexive group {2} which met monthly from the beginning to the end of the research. The objective of the reflexive group was to discuss continuous results, experiences, and observations in order to suggest appropriate improvements to simplify and improve peer instruction implementation in lower secondary school mathematics. As can be seen in Fig. 2, the reflexive group mainly discussed the most recent topic but considered "all previous history" {3}. Meetings of the reflexive group were audiotaped, transcribed, coded, categorized and then carefully analysed through both analytic induction and comparative analysis technique. Resulting outputs of analysis together with proposals of the group were implemented immediately. One input from the reflection group was the pair discussion step (step 8 in Fig. 1). The efficacy of this modification was later checked by another pre/post-argumentation understanding test T3 (testing concept of similarity in geometry) that was assigned before {7} and after {8} the mentioned upgrade to peer instruction. Another example input from the reflexive group was preference of using own smart devices for purposes of voting over both flashcards and clickers because of sense of ownership and higher anonymity (there were being used flashcards during first month of peer instruction, clickers in first two months of the 2018/2019 school year and smart phone's application Socrative in remaining time). In addition to the periodical reflection group meetings, there were also two major reflections carefully considering everything up to that date.

Experts in the field were constantly consulted on the research design, data collected, and continuous results. The usage of the questionnaire Q2 was verified with its co-author M. Chval. Data collected on pupils' attitudes towards mathematics and their motivational structure discussed, along with research design, with the author of the questionnaire (Q1) I. Pavelkova.

3.3 Pre/post-understanding argumentation test T1

The pre/post-understanding argumentation test T1 was constructed during our pilot study in the 2017/2018 school year. At the beginning, pupils' common geometric misconceptions were carefully selected. The first version of the test addressed the concepts of *perimeter*, *area*, *distance*, *altitude*, *median*, *angle*, and *polygon*. This version was then individually assigned to ten eighth grade pupils. The obtained results were then discussed with the very same pupils who wrote the test and other faculty colleagues. Based on the feedback, the test was upgraded to its second version which was then assigned to thirty eight grade pupils (to a different class within the same school as our class). The results of the second version were once again carefully analysed and discussed with involved pupils and faculty. The test was upgraded for the second and last time. The third version was first assigned to approximately sixty eighth grade pupils (to two different classes within the same school as our class) and then as the pre/post-test to our class. Two example tasks from the T1 test were published in Zdražil (2020) and another can be seen under this paragraph.

Example task from the T1 test

Ctirad drew an ABC triangle. Subsequent measurements determined the distance of the vertex C from the side c to be 12 cm. Decide which of the following statements for the distance of the centroid T of this triangle from the vertex C is certainly true.

- a) $|CT| = 4$ cm b) $|CT| = 6$ cm c) $|CT| = 8$ cm d) another option

The option we are looking for is... because...

Normalized learning gain of individuals was then computed by the Richard Hakes (1998) formula as the ratio of actual learning gain ($\text{post}[\%] - \text{pre}[\%]$) to the maximum possible learning gain ($100\% - \text{pre}[\%]$):

$$g = \frac{\text{post}[\%] - \text{pre}[\%]}{100\% - \text{pre}[\%]}$$

The average normalized learning gain ($\langle g \rangle$) of the class itself, or other specific subgroups, was computed in the same way but with the average pre/post-test scores $[\%]$.

There are three levels of normalized learning gain:

- low normalized learning gain $g < 0.3$,
- medium normalized learning gain $0.3 < g < 0.7$,
- high normalized learning gain $g > 0.7$ (Hake, 1998).

3.4 Pre/post-understanding argumentation test T2

The pre/post-understanding argumentation test T2 was constructed in a slightly different way from the T1 test. The tasks included were primarily selected from ConcepTests that had been used with another peer instruction class during the previous 2018/2019 school year and were then modified to be open questions. The first version of this test addressed the concepts of *similarity* in geometry: the *similarity coefficient* and *theorems about the similarity of triangles* and was assigned to thirty ninth grade pupils. Once carefully analysed, the results were discussed with involved pupils and faculty colleagues. Based on feedback obtained, the test was upgraded to its second version. The second version was then assigned as the pre/post-test to our class (a month before and a month after *similarity* was taught in the class, respectively). Two example tasks can be seen under this paragraph.

Example task 01 from the T2 test

To cover a large pizza, exactly twice as many ingredients are needed as to cover a small pizza at the same coverage density. What is the ratio of the diameter of the large pizza to the diameter of the small pizza (in that order)? Explain your answer briefly.

Example task 02 from the T2 test

If we magnify a trapezoid four times (meaning each side), how many times does its area increase? Support your answer with calculations or at least briefly explain it.

3.5 Questionnaire Q1

The questionnaire Q1 from Pavelková and Hrabal (1988) consists of 5-points Likert scales (specified towards mathematics): *popularity, difficulty, importance, my talent, my motivation, my diligence, my interest, boredom*. It also contains a short survey on motivational structure.

3.6 Questionnaire Q2

The Q2 questionnaire is based on Osgood’s semantic differential technique and works with 13 evaluative bipolar 7-point scales and 16 evaluated concepts: game, future, counting, technic, truth, formulas, life, peers, mathematics, duty, me, geometry, theory, discussion, school, world, and teacher (of mathematics). An example of evaluation form for concept mathematics can be seen in Fig. 3.

		<i>very</i>				<i>slightly</i>				<i>slightly</i>				<i>very</i>			
1.	usefull	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	useless
2.	slow	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	fast
3.	strong	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	weak
4.	monotone	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	various
5.	young	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	old
6.	faraway	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	nearby
7.	beautiful	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	ugly
8.	passive	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	active
9.	deep	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	airy
10.	boring	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	interesting
11.	flexible	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	firm
12.	narrow	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	wide
13.	simple	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	:	---	difficult

Fig. 3: Example of evaluation form for concept mathematics from the questionnaire Q2

In addition to the usual descriptive analysis, the Euclidean distances of the evaluated concepts were calculated in the case of the Q2 questionnaire. Moreover, four dimensions for each of the evaluated concepts were also computed as mean values of ratings on corresponding scales (in terms of their negative – positive orientation):

- Dimension of evaluation: useful–useless, monotone–various, beautiful–ugly, boring–interesting:

“Within this dimension, we look at the assessed concepts from the point of view of a certain subjective evaluation, it is an assessment of the concept at first based on our primary evaluation (the so-called ‘good’ or ‘evil’ concept). This factor captures our first emotional attitude to the concept under consideration (‘as we like it’).” (Pöschl, 2005, p. 13)
- Dimension of activity: slow–fast, young–old, passive–active, firm–flexible:

“This factor is characterized by adjectives associated with movement, active change, dynamics, and variability over time.” (Pöschl, 2005, p. 13)
- Dimension of potency: strong–weak, nearby–faraway, airy–deep, narrow–wide

“Within the dimension of potency, we look at the assessed concepts from the point of view of a certain static stress (force, measure, distance, weight, hardness, . . .). This factor could, in a certain approximation, be compared to the parallels of energy that must be expended to change a certain state).” (Pöschl, 2005, p. 13)
- Dimension of difficulty: simple–difficult

For example, if a pupil rated mathematics: 7 on useful–useless, 4 on monotone–various, 2 on beautiful–ugly, 5 on boring–interesting; the rating was then recounted into 1 on useless–useful, 4 on monotone–various, 5 on ugly–beautiful, 5 on boring–interesting and the dimension of evaluation was stated as $\frac{1+4+5+5}{4} = 3.75$.

3.7 Questionnaire Q3

Fig. 4 contains the first part of the continuously assigned questionnaire Q3, and the evaluation axes for the educational activities used. Pupils were asked to place each of the ten items on both axes after each of the topics were taught.

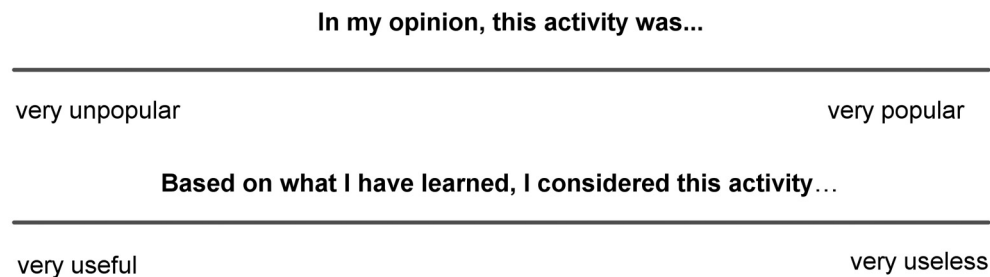


Fig. 4: Dominance–Effort model

In the second part of this questionnaire, pupils had to evaluate the topic in the same way as the concepts in questionnaire Q2 (see Fig. 3). Dimensions of evaluation, activity, potency, and difficulty were computed in the same way as questionnaire Q2 in order to follow changes in pupils' perception of mathematics and their attitudes over time and the topics addressed.

3.8 Questionnaire Q4

The questionnaire Q4 was originally connected to the article by Olpak et al. (2018) and was used without changes at the end of the 2018/2019 school year in order to state pupils' attitudes towards peer instruction itself. It consists of 25 questions grouped into three categories of pupils' evaluations regarding the peer instruction method, the ConcepTests, and the group discussion step.

4 Results

4.1 Relationship between normalized learning gain of individuals and their typical roles in group discussions with peers

Results presented in section 4.1 are based mainly on data collected during the 2018/2019 school year and were already presented in Tab. 1 and Fig. 5, 6 and 7 (Zadrazil, 2020).

4.1.1 Average normalized learning gain of the class

There was on average a medium normalized learning gain (Hake, 1998) for the class $\langle g \rangle = 0.49 \pm 0.22$. This result was in agreement with other studies, because the medium value of the average normalized learning gain is typical for peer instruction courses (Hake, 1998; Mazur & Crouch, 2001; Michinov et al., 2015).

4.1.2 Relationship between normalized learning gain and pupils' typical roles during group discussions

The prime assumption was that there should be a relationship between which characteristics group a pupil belonged to and his or her normalized learning gain, but such a relationship was not found. However, it was clear that five out of eight participants with the lowest normalized learning gain were pupils who had low test performance and bad attitudes toward mathematics and that the remaining three pupils were opposite to the other five in all of the characteristics (interviews with both pupils and their parents showed that these three pupils had preferred to learn by memorizing and mastering problem solving algorithms rather than by thinking or truly understanding. In other words, not everyone was willingly to switch from simply memorizing to a deeper understanding, which demands more energy to do so). Based on the results of the pre-test T1, questionnaires Q1 and Q2, and continuous test performance during first two months of classic teaching, the participants were divided into five characteristic groups, as was mentioned in the methodology section.

Another assumption raised from relevant literature was that group discussions could be led by dominant group members at the expense of their peers (Lucas, 2009; Michinov et al., 2015). A relationship was therefore expected between pupils' typical roles during group discussions and the normalized learning

gains obtained. An opportunity to classify typical roles was granted by the nature of peer instruction itself. Pupils group discussions could be carefully observed by an instructor (Mazur, 1997; 2009). During approximately six months of observation (within the class there were discussed 63 ConcepTests which corresponds to approximately 350–400 minutes of careful overt participant structured observation) four characteristic roles were identified:

- R1: Pupils who were initially called *statistics* (Zadražil, 2020) were renamed to *passengers* (Garcia-Souto, 2020). Members of this role usually changed their answer after the group discussion to the most common one or that of the most dominant peer within their group (usually in role R3). After the end of the group discussion, these pupils typically started to cross the class (if free movement was allowed) in order to get an idea of the most common answer to the actual ConcepTest. The reflexive group itself suggested that amongst *passengers* also could be found pupils who only pretended to make an effort to solve the problem without an actual need to do so. There were nine R1 members in total.
- R2: These pupils attended group discussions and behaved in an expected manner for which they were called *standard discussers*. They listened to their peers and participated actively in group discussions. There were twelve R2 members in total.
- R3: This final group consists of two subgroups – pupils who could be called *overwhelming speakers* (R3+) and those who could be called *advisors* (R3–). Overwhelming speakers usually launched the discussion and issued minor interruptions the whole time. Other group members, with the exception of advisors or other overwhelming speakers, usually remained quiet and listened silently. Advisors acted quite differently from overwhelming speakers. They listened carefully to their peers and then came up with their own questions, comments, or clarifications. It was clearly desirable to have an overwhelming speaker and an advisor complement each other in the same group. The reason why overwhelming speakers and advisors formed the R3 role together was because both were typically good mathematical thinkers who actively worked in order to solve the ConcepTests posed during group discussions, although there was a difference in their need to dominate the discussion (overwhelming speakers practically always dominated over the discussion whereas advisors did not feel such a need). Moreover, there were situations forcing advisors to change their role to overwhelming speakers and vice versa. For example, in a group discussion with more overwhelming speakers, it was typical that some of them switched to advisors in favour of more dominant peers. On the other hand, in a group discussion of only passengers and advisors some advisors were forced to become more dominant overwhelming speakers. There were nine R3 members: four overwhelming speakers (R3+) and five advisors (R3–).

After first four months of observation there were only 7 pupils with unclear membership to the concrete role but there was still a plenty of time (i.e. around two hours of careful structured observation targeting mainly these seven pupils during twenty one remaining group discussions) to classify them properly. Observation was aimed to selected pupils' behaviour, their activity and both their verbal and nonverbal communication during group discussions. Brief records out of observation were transcribed into researcher's diary and continuously compared with other records.

Membership of concrete individuals to the concrete role was presented to the reflexive group, carefully discussed then confirmed, specified or changed based on given feedback (there were only two pupils out of thirty with unclear membership, who will be discussed later). Tab. 1 shows the dominance – effort model for typical pupil roles during group discussions. Standard discussers (R2) could be found somewhere between R3– and R3+ (in the third column) because they switched between these two roles during group discussions in terms of asserting dominance.

Tab. 1: Dominance – Effort model

	Weak effort to solve ConcepTests	Strong effort to solve ConcepTests
Weak need to dominate discussions	Passengers (R1)	Advisors (R3–)
Strong need to dominate discussions	–	Overwhelming speakers (R3+)

Average normalized learning gains $\langle g \rangle$ were once again computed for each group from R1 to R3 separately. Passengers achieved a small normalized learning gain $\langle g \rangle = 0.22 \pm 0.11$, standards discussers achieved a medium normalized learning gain $\langle g \rangle = 0.49 \pm 0.11$ and overwhelming speakerstogether with advisors achieved a high normalized leaning gain $\langle g \rangle = 0.75 \pm 0.12$. The difference between each pair of roles R1–R3 was found statistically significant ($p < 0.01$) by the Mann–Whitney U-test ($U = 0$ against $U_{001} = 11$ for R1 against R3, $U = 4$ against $U_{001} = 14$ for R1 against R2, $U = 3$ against $U_{001} = 21$ for R2 against R3).

4.1.3 Relationship between normalized learning gain, pupils' typical discussion roles and test performances

There was a medium correlation ($r = 0.53$) between normalized learning gain and continuous test performance during eight months of peer instruction as can be seen in Fig. 5. It is also clearly visible that almost everyone in the R3 role had a better total score than the test median (indicated by horizontal orange line). On the other hand, almost every member in the R1 role scored below the test median. Standard discussers (R2) achieved a total score somewhere between R1 and R3. Continuous tests always consisted of three classic and two conceptual questions; therefore, it can be stated that there was a relationship between degree of pupils' cognitive activity during group discussions and their continuous test performance.

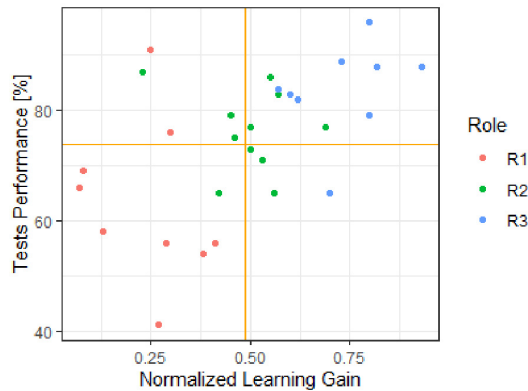


Fig. 5: Relationship between normalized learning gains and continuous test performance

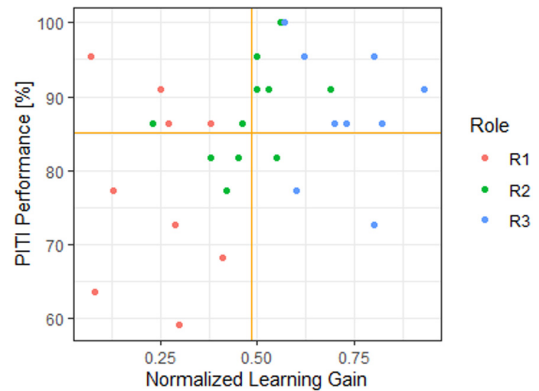


Fig. 6: Relationship between PITI performance and normalized learning gain

As was mentioned in the methodology section (the T2 test), the selection of tasks (from the PISA2012 and the TIMSS2007 relevant to the subjects taught) was assigned in two waves to the participants by the end of the 2018/2019 school year. The total performance from the PISA2012 and the TIMSS2007 (called PITI performance in Fig. 6) was then computed as the total success rate from both of those tests. As can be seen in Fig. 6, there was a relationship between membership of roles R1–R3 and PITI performance, although it was not as clear as it was for the previous case of continuous test performance.

A greater number of pupils in the R3 role scored better than the median PITI rate (indicated by the orange horizontal line). Most of the R2 group performed close to the median. Although there were four *passengers* who scored better than the median, the remaining five obtained the worst scores.

4.1.4 Relationship between normalized learning gain, pupils' typical roles during group discussions and willingness to change answers

In general, it was nearly impossible to determine pupils' true performance from the step of individual thinking over ConcepTests or during group discussions. For this reason, *pupils' willingness to change their answers* (simply put, *changeability*) was defined as the ratio of the total sum of answers that the individual changed after group discussions to the total number of group discussions that he or she attended.

Fig. 7 shows the relationship between a membership to a concrete role and changeability c of individuals. The greatest changeability $c = 0.48 \pm 0.09$ involved passengers followed by standard discussers with

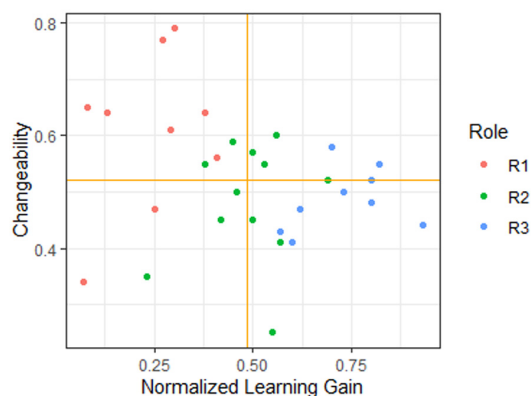


Fig. 7: Relationship between changeability and normalized learning gain

$c = 0.34 \pm 0.08$, then advisors together with overwhelming speakers (R3) with $c = 0.35 \pm 0.07$. There was a statistically significant difference between passengers and R3 ($p < 0.004$) and between passengers and standard discussers ($p < 0.027$) confirmed by the sequence of t-tests. The difference between R2 and R3 ($p > 0.592$) was clearly not significant. All combined, high willingness to change answers is one of the characteristic attributes of passengers.

Together with findings from 4.1.2 and 4.1.3, the high changeability of passengers confirms the fact that there could be pupils (passengers) who follow their dominant peers (overwhelming speakers) through group discussions (Lucas, 2009; Michinov et al., 2015). This is not fruitful for the passengers (because of low cognitive activity), therefore these pupils achieved a low normalized learning gain (Hake, 1998; Crouch & Mazur, 2001; Michinov et al., 2015).

4.1.5 Roles R1–R3 from the viewpoint of pupils' activity during group discussions and their mathematical skills perceived by the class

Although membership of individuals to the concrete roles R1–R3 was discussed with the reflection group, there was a need to confirm it once more within the entire class, as there were two pupils, marked in Fig. 8 as OS01 (overwhelming speaker 01) and PA05 (passenger 05), who may have belonged to another role in the opinion of many pupils in the reflection group (this two pupils may acted differently if group discussions were observed by the researcher). Concretely, OS01 should belong to standard discussers and PA05 to overwhelming speakers. (Please note that their initially indicated roles remain unchanged within this article because of their medium learning gains and researcher's opinion to their role, although the latter titles are probably more suitable.)

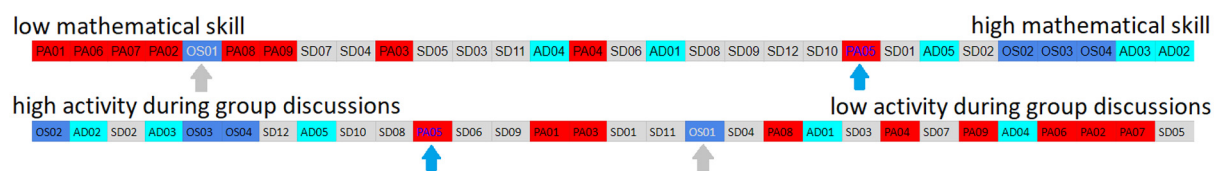


Fig. 8: Pupils mean marks of mathematical skill and activity during group discussions

In order to obtain the opinion of the whole class, the pupils were asked to evaluate their peers in terms of their mathematical skill (on a 7-point scale from low to high) and activity during group discussions (another 7-point scale from high to low). These two scales were included in the extended Q1 questionnaire that was assigned to the class after the first six months of the 2019/2020 school year (i.e., after fourteen months of peer instruction).

Please note that in the Czech Republic it is not standard for pupils to be asked by their teacher to evaluate each other in any way. Therefore, sixteen months was established as the “waiting period” to let the pupils and teacher get to know each other better in order for more pupils to feel comfortable sharing opinions of their peers with the teacher.

Even after sixteen months, four pupils refused to evaluate their peers and many others used only the positive half of both evaluation scales or 3 to 5 points from the scales. For this reason, each pupil's evaluation of his or her all peers was then recounted individually in sense of the following three marks:

- -1 for the worst rated third (by concrete individual),
- 0 for the medium rated third (by concrete individual),
- +1 for the highest rated third (by concrete individual).

All marks for perceived mathematical skill and perceived activity during group discussion were then assigned to the corresponding individuals (two mean marks for every pupil). The first line of Fig. 8 shows a sequence of pupils by mean marks of perceived mathematical skill from lowest to highest. Similarly, the second line of Fig. 8 shows another sequence of pupils ranked by mean marks of perceived activity during group discussions from highest to lowest. Passengers (red in Fig. 8) were perceived by their peers as the ones with the lowest mathematical skill and lowest activity during group discussions. Overwhelming speakers and advisors were exactly opposite to passengers with the highest perceived mathematical skill and activity during group discussions. Standard discussers were evaluated as medium on both scales.

It could be said that individual memberships to roles R1–R3 were confirmed by the class, although there were two pupils who were evaluated differently from other members who shared their role. The overall evaluation of these pupils agreed more with the opinion of doubtful members of the reflection group than with the earlier membership ascribed by the researcher himself.

4.2 Effectiveness of added pair discussion step in context of roles R1–R3

It was already mentioned in the methodology section that after eight months of teaching by classic *peer instruction*, the pair discussion step was added before the group discussion step. This modification was designed mainly for two reasons: to solve the problem of the inactivity of passengers during group discussions over ConcepTests, and to give pupils additional preparation time for group discussions. Modified peer instruction was then implemented at the beginning of the 2019/2020 year and was used until the school year unexpectedly ended in March because of coronavirus.

After six months of modified peer instruction the added pair discussion step was discussed within the reflection group. Based on the obtained feedback, the pair discussion step was generally perceived as positive and useful. Maybe popular amongst the pupils, however, was there any difference in effectiveness? To answer this question, the pre/post-test T3 was assigned a month before and a month after similarity was taught in the class as was described in the methodology section.

4.2.1 Average normalized learning gain of the whole class for the second time

Once again, on average there was a medium, nearly high, normalized learning gain (Hake, 1998) for the whole class $\langle g \rangle = 0.65 \pm 0.32$. This learning gain was higher than the previous one for the T1 test ($\langle g \rangle = 0.49 \pm 0.22$) and the difference was statistically significant ($p < 0.025$).

4.2.2 Relationship between normalized learning gain and concrete role membership

For the T2 test, passengers achieved a medium normalized learning gain $\langle g \rangle = 0.59 \pm 0.32$ which was valued as statistically greater than the one previously obtained $\langle g \rangle = 0.22 \pm 0.11$ ($U = 11$ against $U_{001} = 11$). Standards discussers achieved again a medium normalized learning gain $\langle g \rangle = 0.64 \pm 0.36$, but this value was not significantly greater than before $\langle g \rangle = 0.49 \pm 0.11$ ($U = 57$ against $U_{05} = 37$). Finally, overwhelming speakers with advisors achieved once more a high normalized learning gain $\langle g \rangle = 0.71 \pm 0.27$ which was quite close to the previous one $\langle g \rangle = 0.75 \pm 0.12$ ($U = 40$ against $U_{05} = 17$). The difference between each pair of roles (R1–R3) was now found statistically insignificant ($p > 0.05$; $U = 31$ against $U_{05} = 17$ for R1 against R3, $U = 49$ against $U_{05} = 26$ for R1 against R2, $U = 51$ against $U_{05} = 26$ for R2 against R3). In other words, there was a great improvement in normalized learning gains and passengers were the most improved in this category.

Results in sections 4.2.1 and 4.2.2 imply that the added pair discussion step may raise the effectiveness of peer instruction in sense of normalized learning gains because it grants pupils an additional opportunity to speak and therefore raises cognitive activity, especially in the case of passengers.

4.3 Changes in pupils' attitudes towards mathematics

The data and the conclusions contained in section 4.3 were carefully discussed with experts in the field and the creator of the Q1 questionnaire, I. Pavelková, during the second major reflection.

4.3.1 Perceived popularity and difficulty of mathematics across time

To track the development of pupils' attitudes across time, the extended questionnaire Q1 was assigned to the class at the beginning of the 2018/2019 school year (EC00), after two months of classic teaching (EC01), at the end of the 2018/2019 school year (EC02), and in the first half of the 2019/2020 school year (EC03). The questionnaire was composed of eight 5-point Likert scales as described in section 3.1.

The obtained results for items: *popularity*, *difficulty* and *my motivation* can be viewed in Tab. 2, 3, 4, in that order. In addition to the data of the class, reference standards for Q1 from (Pavelková & Hrabal, 1988) for the eighth grade and grammar schools are also included in each of the tables.

Tab. 2: Perceived popularity of mathematics

	Mean	Lower quartile	Upper quartile
Standards for eighth grade	2.9	2.6	3.3
Standards for grammar schools	2.8	2.5	3.0
EC00	2.1	2.0	3.0
EC01	2.4	2.0	3.0
EC02	2.5	2.0	3.0
EC03	2.3	2.0	3.0

In Tab. 2, where 1 means very popular and 5 is very unpopular, it can be seen that popularity of mathematics within the class remained constant across time.

In Tab. 3, where 1 means “very difficult” and 5 on the other hand is “quite easy”, the difficulty of mathematics within the class rose steeply during the first year of peer instruction. It rose even beyond the standards for both eighth graders and grammar schools. However, it decreased to standard level after another six months of modified peer instruction. This trend can be explained by several reasons. In the middle of the 2019/2020 school year the class was more used to peer instruction. Secondly, because of the obvious pressure, there were fewer ConcepTests in continuous tests during the last six months of modified peer instruction based on the first major reflection. Concretely, there were two ConcepTests out of five tasks in every continuous test during the 2018/2019 school year, and then there was only one ConcepTest out of five tasks in the 2019/2020 school year.

Tab. 3: Perceived difficulty of mathematics

	Mean	Lower quartile	Upper quartile
Standards for eighth grade	2.5	2.2	3.7
Standards for grammar schools	2.4	2.1	3.8
EC00	3.1	3.0	3.0
EC01	2.7	2.0	3.0
EC02	1.8	1.0	2.0
EC03	2.4	2.0	3.0

In Tab. 4, where 1 means that a pupil is very motivated and 5 means he or she is quite unmotivated, it is clear that pupils’ motivation toward mathematics remained constant.

Tab. 4: Perceived motivation within mathematics

	Mean	Lower quartile	Upper quartile
Standards for eighth grade	2.5	2.2	2.8
Standards for grammar schools	2.8	2.5	3.0
EC00	2.5	2.0	3.0
EC01	2.8	2.0	3.0
EC02	2.8	2.0	3.0
EC03	2.6	2.0	3.0

These results indicate that peer instruction may improve in good constellation pupils’ attitudes towards mathematics because of following reasons:

- “In principle, the medium degree of difficulty of the school subject (compared to the reference standard) can be considered optimal. Its increase is positive only if it does not reduce the motivation of pupils and the popularity of the subject and if the requirements of the teacher are valuable in terms of pupils’ development.” (Pavelková & Hrabal, 1988, p. 27)
- “Our pupils’ relationship to mathematics deteriorates during schooling. A more significant decline occurs at the beginning of the second stage of primary school. In secondary school, this relationship will not change on average, but this trend continues.” (Chvál, 2013, p. 68)
- According to oral statement of I. Pavelková during the second major reflection, difficulty plays a key role in the issue of pupils’ attitudes towards the subject.

In case of the class, the detected significant decrease mentioned by Chvál (2013) was not detected; pupils’ motivation and the perceived popularity of mathematics remained constant within the class although the perceived difficulty of the subjects was significantly rising.

4.3.2 Pupils’ attitudes towards mathematics across time in terms of the semantic differential

It was difficult to track changing attitudes towards mathematics (using only questionnaire Q1) and simultaneously distinguish the roles (R1–R3) because of the low sensitivity of Q1. To solve this problem, questionnaire Q3 was used periodically during the 2018/2020 school year along with the pre/post-questionnaire Q2. In these questionnaires, the perceived good or evil of mathematics was given an average rating on 4 seven-point scales, as described in Section 3.6. The higher the value of the dimension of evaluation, the better mathematics is perceived.

Although mathematics was evaluated in the pre/post-questionnaire Q2 in the context of another 15 concepts and in the Q3 questionnaire separately, it is possible to at least observe a trend in the evaluation dimension. Based on the pre/post-Q2 questionnaire the dimension of evaluation from the class equalled 5.59 and then 5.33. Although there was a slight decrease in this dimension, both obtained values were still higher than the standard for elementary schools (4.76) and grammar schools (4.12).

Fig. 9 illustrates trends in the dimensions of evaluation for the whole class and for the roles R1–R3 from the pre-questionnaire Q2 at the beginning of the 2018/2019 school year to the post-questionnaire Q2 at the end of the 2018/2019 school year. It is clear that passengers perceived mathematics as worse the more there was abstraction in it and that their attitudes towards mathematics was worse than any other of the other pupils. Once again, passengers were shown to be the biggest obstacle to overcome in order to effectively implement peer instruction and improve attitudes towards mathematics.

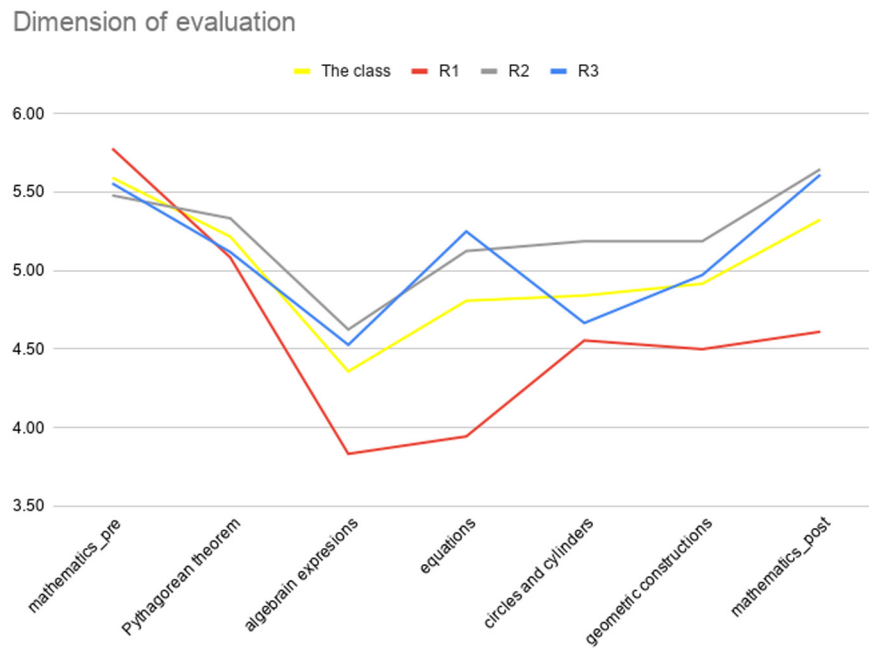


Fig. 9: Trends in pupils' attitudes

4.4 The easiest way to improve social skills is to practise them

It has been pointed out that peer instruction effectiveness relies mainly on group discussions over ConcepTests. The scheme of classic peer instruction in Fig. 1 shows that it is good to discuss ConcepTests as the success rate climbed from 35% to 70%. The following ConcepTest was included in the T1 test and was already published by Zdražil (2020).

Example task 03 from the T1 test

Choose the correct statement from a)–d) about pentagons (1) and (2) on the connected picture. Then briefly justify your answer.

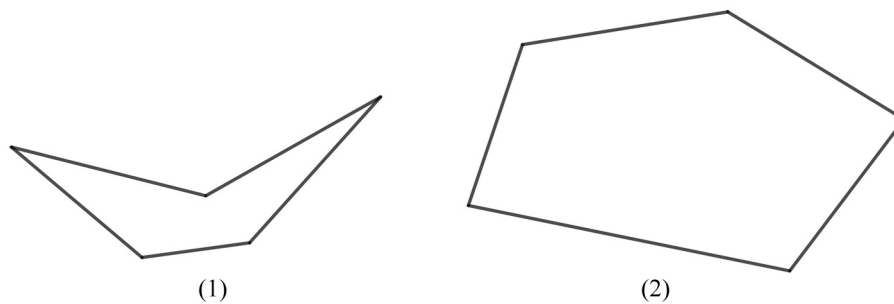


Fig. 10: Connected picture

- a) The sum of the interior angles of pentagon (1) is greater than the sum of the interior angles of pentagon (2).
- b) **The sum of the interior angles of pentagon (1) is equal to the sum of the interior angles of pentagon (2).**
- c) The sum of the interior angles of pentagon (1) is less than the sum of the interior angles of pentagon (2).
- d) It is impossible to decide which option from (a)–(c) is correct without concrete measuring.

Tab. 5 (which was not published) shows pupils' typical responses to this task. It is important to note that although the majority of pupils chose the correct option, b), not many of them justified it correctly (semi-peer instruction eighth grade class mentioned in Tab. 5 was taught by peer instruction in combination with classic teaching during pilot study in the 2017/2018 school year). In other words, pupils could think incorrectly even if they chose the correct answer; therefore, discussion is needed to prove their thought processes. In other words, in an elementary school environment it could be fruitful to let pupils discuss every ConcepTest even in the case of a high initial success rate during the first round of voting.

Tab. 5: Pupils' answers 603 to the example task 03 from the T1 test

	Three classic eighth grade classes (<i>N</i> = 86)	A semi-peer instruction eighth grade class (<i>N</i> = 30)	The peer instruction class (<i>N</i> = 30)
"Each pentagon consists of three triangles."	2% (2)	20% (6)	47% (14)
"Each pentagon consists of a triangle and a quadrilateral."	0% (0)	0% (0)	7% (2)
"The sums are equal because there must be some rule."	30% (26)	30% (9)	33% (10)
"Both sums are equal to 360 degrees."	10% (9)	37% (11)	10% (3)
"The second pentagon has more obtuse angles."	15% (13)	13% (4)	3% (1)
"The first pentagon has a non-convex angle."	5% (4)	0% (0)	0% (0)
"It could not be decided without measuring."	3% (3)	0% (0)	0% (0)
No answer	34% (29)	0% (0)	0% (0)

There is another reason to let pupils discuss in groups over even the simplest questions. A study by Chen et al. (2005) previously warned of pupils' insufficient social skills to maintain a fruitful group discussion over ConcepTest in physics. The easiest way to improve social skills is to practise them.

In Fig. 11 and 12, the response process (in terms of accuracy) is shown for a sequence of two consecutive ConcepTests targeting the same concept with graded difficulty. Q1 is the answer to the first question in the first vote, Q1' the answer to the first question in revised voting, and Q2 is the answer from the first vote of the follow-up ConcepTest.

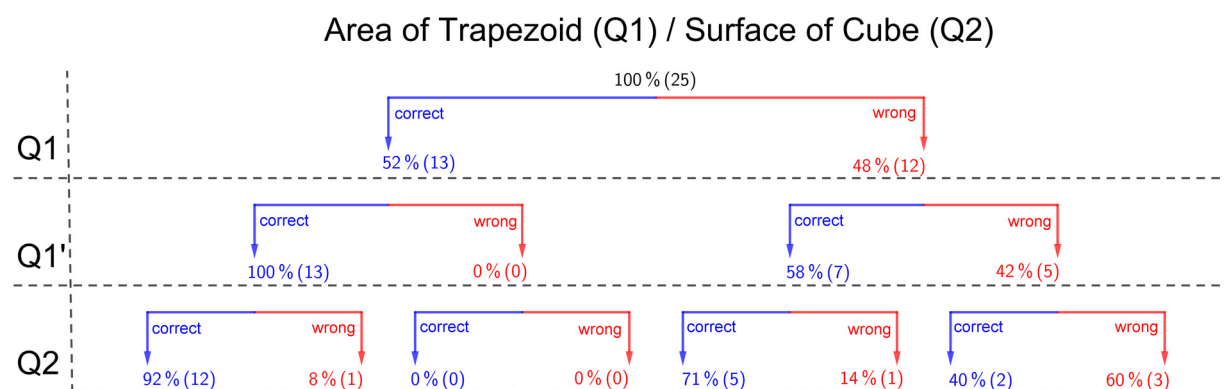


Fig. 11: Schema of response process for sequence of two ConcepTests

Circles (Q1) / Perimeter of Trapezoid (Q2)

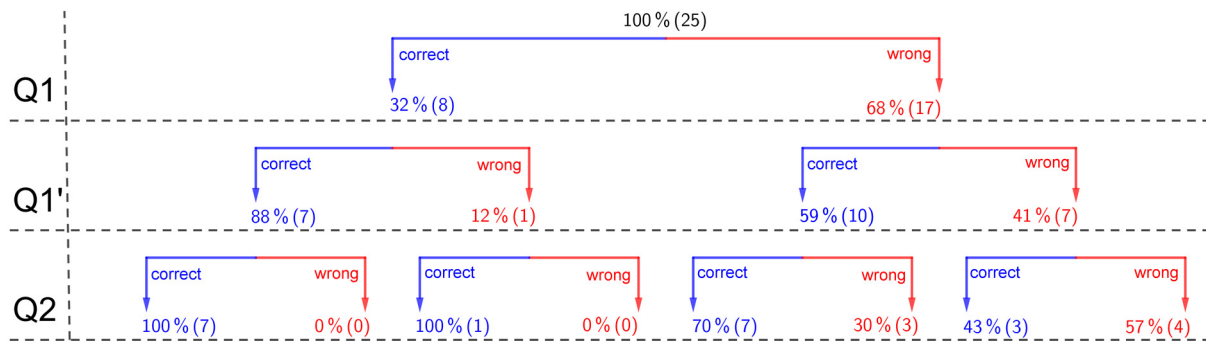


Fig. 12: Schema of response process for sequence of two ConceptTests

It is evident that in both cases approximately 70% of pupils who corrected their answer (if it were wrong the first time) were able to use the knowledge they gained in the discussion to correctly determine the answer to the follow-up question. It can also be stated that most pupils who kept the correct answer even after the group discussion answered correctly even in the case of a follow-up task. These findings are in agreement with Smith et al. (2009).

In other words, yes, group discussion can lead pupils from an initially wrong answer to a true understanding of the problem – not just a mere copy of the most common option and, yes, it is desirable to let pupils discuss every ConceptTest even in the case of a high initial success rate during the first round of voting.

5 Discussion

Studies showed (Hake, 1998; Mazur & Crouch, 2001; Michinov et al., 2015) that for peer instruction courses, a medium value (Hake, 1998) of normalized learning gain is typical. Although there was a statistically significant improvement ($p < 0.025$) between two measurements, a medium value of normalized learning gain was achieved twice by the class (see Tab. 6).

Tab. 6: Overall table

	The class	Passengers	Standard discussers	Overwhelming speakers and Advisors
Test T1	$\langle g \rangle = 0.49 \pm 0.22$	$\langle g \rangle = 0.22 \pm 0.11$	$\langle g \rangle = 0.49 \pm 0.11$	$\langle g \rangle = 0.75 \pm 0.12$
Test T2	$\langle g \rangle = 0.65 \pm 0.32$	$\langle g \rangle = 0.59 \pm 0.32$	$\langle g \rangle = 0.64 \pm 0.36$	$\langle g \rangle = 0.71 \pm 0.27$
Changeability	$c = 0.40 \pm 0.12$	$c = 0.48 \pm 0.09$	$c = 0.34 \pm 0.08$	$c = 0.35 \pm 0.07$

A relationship was found between pupils' typical roles during group discussions and normalized learning gain. Four typical roles of pupils were identified based on sixth months of observation and feedback from the reflexive group – passengers (R1), standard discussers (R2) and advisors along with overwhelming speakers (R3). Members of each of these groups were then characterized by their effort to constructively solve the ConceptTests posed and their need to dominate discussions.

Passengers were typically the most willing to change their answers. They achieved low normalized learning from the T1 test and a medium normalized learning gain from the T2 test. The improvement for passengers between these two tests was statistically significant ($p < 0.001$) and therefore implies that the addition of the pair discussion step could boost passengers' activity. The improvement between T1 and T2 test was not so significant for standard discussers nor was it significant for advisors and overwhelming speakers who achieved in that order a medium and a high normalized learning gain in the case of both tests.

A relationship was also established between group membership and pupils' test performance. The presented findings connected with normalized learning gains are all in agreement with other studies (Lucas, 2009; Michinov et al., 2015) that group discussions could be led by dominant group members at the expense of their partners. These dominant members (overwhelming speakers) profited the most from the group discussions along with advisors.

The perceived difficulty of mathematics rose significantly in the class after implementation of peer instruction; however, there was not a significant decrease detected in the perceived popularity of mathematics mentioned by Chval (2013) nor was there a decrease of pupils' motivation in mathematics. However, it was clear that passengers' attitudes towards mathematics were worse than those of any other role and that their attitudes decreased with greater abstraction in mathematics.

It was shown that pupils could think incorrectly even if they chose the correct answer; therefore, discussion is needed to prove their thought processes. In other words, in an elementary school environment it could be fruitful to let pupils discuss every ConcepTest even in the case of a high initial success rate during the first round of voting. In agreement with Smith et al. (2009), it was also demonstrated that approximately 70% of pupils who corrected their answer (if it were wrong the first time) were able to use the knowledge they gained in the discussion to correctly determine the answer to the follow-up question.

6 Limitations

The quality of the action research depends on the quality of the story being told. Although the main mission of action research is to achieve positive change for a specific group in a specific constellation, there is also a demand to find a general model, theory, or universal modification (Mertler, 2019). The general conclusions of the research presented in this article came from the data collected on a relatively small sample of 30 pupils of a single eighth grade class. The researcher himself was personally involved as the math teacher of the class.

An attitude evaluation depends on the current situation within the class and the mood of pupils. Therefore, attitude was repeatedly measured by different questionnaires (Q1, Q2 and Q3).

Pupils were initially assigned to the roles R1–R3 by the researcher himself. To minimize errors of subjectivity, the reflection group were asked to confirm or alter proposed memberships of every pupil. Because of remaining disagreement, the pupils of the whole class were asked to evaluate each other in terms of their perceived mathematical skill and activity during group discussions. After this, there were only two pupils whose role during group discussions remained unclear.

Values of dimension of evaluation computed for taught topics did not have the same telling value as values computed in context of the whole questionnaire (Q2) and were therefore only used to track trends in pupils' attitudes towards mathematics (mathematics is evaluated in context of other fifteen concepts in Q2 – not separately as in Q3).

There was far more time between the pre/post-tests T1 than the pre/post-tests T2. In addition, the T1 test targeted more familiar mathematics topics it also contained more previously tested concepts. For this reason, the normalized learning gain of the T2 test is less objective than the normalized learning gain of the T1 test. However, the T2 test was only intended to track changes in differences between discussion roles to determine learning gains after the added pair discussion step was applied to peer instruction.

7 Conclusion

Sixteen months of action research on the implementation of peer instruction in elementary school mathematics has shown that it is possible:

- a) to satisfy assumptions of peer instruction in lower secondary mathematics education (e.g., sufficient social skills of pupils to maintain fruitful group discussions) and
- b) to achieve similar outcomes that were promised by research studies of peer instruction in physics or university level education (e.g., profound conceptual understanding, significant normalized learning gains, improved attitudes towards mathematics, etc.).

However, the concrete constellation of a class and the natural needs of its pupils raised obstacles that needed to be addressed through adequate thoughtful modification of peer instruction. Although it is not clear what exactly leads pupils to identify themselves with one of the four typical roles during group discussions, it is clear that there is a strong relationship between membership to a certain role and the positive impact of peer instruction.

Passengers are pupils who benefits the least from peer instruction (their attitudes towards mathematics decreases and their learning gains are quite low) and must therefore be identified and involved in group discussions as much as possible.

A possible solution presented in this article is the paired discussion step which can be added before the group discussion step to grant pupils more time and an additional opportunity to discuss ConcepTests (even the easiest one in order to practise social skills).

The presence of passengers is independent from the teaching method used although they are easier to detect in an active learning environment (Garcia-Souto, 2020). Our research also implies that a possible cure to “the passengers’ problem” could be provided by feedback from a reflection group. This feedback is tailored to a specific constellation and is therefore very effective in this concrete situation.

Acknowledgment

This work was financially supported by the project GA UK 680119 and by Charles University Research Centre program No. UNCE/HUM/024. In accordance with ethical requirements for pedagogical research, the data and results contained herein are published with the informed consent of the legal representatives of the minor participants.

I would like to thank my pupils, especially the members of the reflection group, without whose direct participation, opinions, and comments there would be no results suitable for publication. I would also like to thank Jarmila Robová and Isabela Pavelková for their critical notes and comments towards results published in this article.

References

- Balta, N., Michinov, N., Balyimez, S., & Ayaz, F. M. (2017). A meta-analysis of the effect of peer instruction on learning gain: Identification of informational and cultural moderators. *International Journal of Educational Research*, 86, 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2017.08.009>
- Chen, Y. F., Liu, C. C., Yu, M. H., Chang, S. B., Lu, Y. C., & Chan, T. W. (2005). Elementary science classroom learning with wireless response devices implementing active and experiential learning. In *IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education (WMTE'05)* (pp. 96–103). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WMTE.2005.22>
- Chien, Y. T., Chang, Y. H., & Chang, C. Y. (2016). Do we click in the right way? A meta-analytic review of clicker-integrated instruction. *Educational Research Review*, 17, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.10.003>
- Chvál, M. (2013). Změna postojů českých žáků k matematice během školní docházky [Changing attitudes of Czech pupils towards mathematics during school attendance]. *Orbis scholae*, 7(3), 49–71. <https://doi.org/10.14712/23363177.2015.13>
- Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American journal of physics*, 69(9), 970–977. <https://doi.org/10.1119/1.1374249>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Garcia-Souto, M. P. (2020). Assessing and giving feedback to students working in teams: A staff perspective of the IPAC assessment methodology, In L. G. Chova, A. L. Martínez, & I. C. Torres (Eds.), *INTED2020 Proceedings* (pp. 4416–4416). IATED. <https://doi.org/10.21125/inted.2020>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043–1055. <https://doi.org/10.1119/1.14030>
- Lucas, A. (2009). Using peer instruction and i-clickers to enhance student participation in calculus, *PRIMUS*, 19(3), 219–231. <https://doi.org/10.1080/10511970701643970>
- Mazur, E. (1997). *Peer instruction: A user's manual*. Prentice Hall.
- Mazur, E. (2009). Farewell, lecture. *Science*, 323(5910), 50–51. <https://doi.org/10.1126/science.1168927>
- Mertler, C. A. (2019). *Action research: Improving schools and empowering educators*. SAGE Publications, Incorporated.
- Michinov, N., Morice, J., & Ferrières, V. (2015). A step further in Peer Instruction: Using the Stepladder technique to improve learning. *Computers & Education*, 91, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.09.007>
- Olpak, Y. Z., Baltaci, S., & Arican, M. (2018). Investigating the effects of peer instruction on preservice mathematics teachers' achievements in statistics and probability. *Education and Information Technologies*, 23(6), 2323–2340. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9717-3>

- Pavelková, I., & Hrabal, V. (1988). *Jaký jsem učitel?: Metody získávání poznatků o vlastní vzdělávací činnosti* [What kind of teacher am I?: Methods of gaining knowledge about my own educational activities]. Státní pedagogické nakladatelství.
- Pilzer, S. (2001). Peer instruction in physics and mathematics. *PRIMUS*, 11(2), 185–192. <https://doi.org/10.1080/10511970108965987>
- Pöschl, R. (2005). *Vnímání významu matematiky a fyziky středoškolskými studenty* [Perception of the meaning of mathematics and physics by high school students]. [Diploma thesis. Charles University.] https://kdf.mff.cuni.cz/vyzkum/materialy/vnimani_vyznamu_M_a_F.pdf
- Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223–231. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>
- Smith, M. K., Wood, W. B., Adams, W. K., Wieman, C., Knight, J. K., Guild, N., & Su, T. T. (2009). Why peer discussion improves student performance on in-class concept questions. *Science*, 323(5910), 122–124. <https://doi.org/10.1126/science.1165919>
- Vickrey, T., Rosploch, K., Rahmanian, R., Pilarz, M., & Stains, M. (2015). Based implementation of peer instruction: A literature review. *CBE – Life Sciences Education*, 14(1), es3. <https://doi.org/10.1187/cbe.14-11-0198>
- Vondrová, N., Rendl, M., Havlíčková, R., Hříbková, L., Páchová, A., & Žalská, J. (2015). *Kritická místa matematiky základní školy v řešeních žáků* [Critical points of elementary school mathematics in pupils' solutions]. Karolinum.
- Zadrazil, T. (2020). Relationship between normalized learning gains of individuals and their typical role in group discussions with peers. In L. G. Chova, A. L. Martínez, & I. C. Torres (Eds.), *INTED2020 Proceedings* (pp. 3218–3227). IATED. <https://doi.org/10.21125/inted.2020>

Scientia in educatione

*Vědecký recenzovaný časopis pro oborové didaktiky
přirodovědných předmětů a matematiky
Scientific Journal for Science and Mathematics Educational Research*

Vydává nakladatelství Karolinum – <http://www.scied.cz>

Vedoucí redaktorka (Pedagogická fakulta, Univerzita Karlova)

prof. RNDr. Naďa Vondrová, Ph.D.

Redakce (Univerzita Karlova)

prof. RNDr. Hana Čtrnáctová, CSc.

RNDr. Martina Kekule, Ph.D.

prof. RNDr. Jarmila Novotná, CSc.

PhDr. Martin Rusek, Ph.D.

RNDr. Lenka Pavlasová, Ph.D.

Mezinárodní redakční rada

prof. RNDr. Pavel Beneš, CSc. (Univerzita Karlova)

Dr. John Carroll (Nottingham Trent University, Great Britain)

doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc. (Univerzita Karlova)

assoc. prof. Robert Harry Evans (University of Copenhagen, Denmark)

RNDr. Eva Hejnová, Ph.D. (Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem)

doc. PhDr. Alena Hošpesová, Ph.D. (Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích)

Dr. Paola Iannone (University of East Anglia, Norwich, Great Britain)

prof. Dr. Rainer Kaenders (Rheinische Friedrich-Wilhelms-Uni. Bonn, Germany)

RNDr. Alena Kopáčková, Ph.D. (Technická univerzita v Liberci)

PhDr. Magdalena Krátká, Ph.D. (Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem)

PaedDr. Svatava Kubíková, CSc. (Ostravská univerzita v Ostravě)

prof. RNDr. Ladislav Kvasz, DSc. (Univerzita Karlova)

prof. Dr. Martin Lindner (Martin Luther University Halle-Wittenberg, Germany)

prof. RNDr. Danuše Nezvalová, CSc. (Univerzita Palackého v Olomouci)

dr. hab. Małgorzata Nodzyńska (Uniwersytet Pedagogiczny, Krakow, Poland)

prof. Dr. Gorazd Planinšič, Ph.D. (Univerza v Ljubljani, Slovinsko)

RNDr. Vladimír Přívratský, CSc. (Univerzita Karlova)

doc. RNDr. Jarmila Robová, CSc. (Univerzita Karlova)

prof. Bernard Sarrazy (Université Bordeaux, France)

dr. hab. prof. UR Ewa Swoboda (Uniwersytet Rzeszowski, Poland)

doc. Dr. Andrej Šorgo (University in Maribor, Slovenia)

doc. RNDr. Vasilis Teodoridis, Ph.D.

Adresa redakce

Pedagogická fakulta, Univerzita Karlova, Magdalény Rettigové 4, 116 39 Praha 1

e-mail: scied@pedf.cuni.cz

Pokyny pro autory jsou uvedeny na

<http://ojs.pedf.cuni.cz/index.php/scied/about/submissions#authorGuidelines>.

Sazbu v systému L^AT_EX zpracoval Ing. Miloš Brejcha, Vydavatelský servis, Plzeň.

Logo navrhl Ivan Špírk.

Redaktorka a jazyková korektorka Mgr. Zdeňka Janušová