

# Moderné biotechnológie v školskom vzdelávaní z pohľadu zahraničných výskumných šetrení

## Modern biotechnology in school education from the perspective of foreign research

 Michaela Horniaková<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Pedagogická fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Žižkovo nám. 5, 779 00 Olomouc; michaela.horniakova01@upol.cz

Predložená prehľadová štúdia sa zaoberá zahraničnými výskumami v oblasti vzdelávania, ktoré skúmajú znalosti vo väzbe na prekoncepty a miskoncepty respondentov o moderných biotechnológiách. Cieľom štúdie je teda poskytnúť komplexný prehľad existujúcich zahraničných výskumov týkajúcich sa primárne poznatkov a predovšetkým prekonceptov a miskonceptov v danej oblasti. Štúdia sa zameriava na analýzu zahraničných výskumov od roku 2000 po rok 2023. Výskumy boli vyhľadávané v databázach Web of Science a Scopus na základe kľúčových pojmov/slov. Analyzuje v relevantných výskumoch sledované ciele, využité metódy, výsledky výskumov a ich odporúčania pre budúcnosť. Z výsledkov zahraničných výskumov je zrejmé, že žiaci majú minimálne znalosti o moderných biotechnológiách, navyše im chýba konceptové porozumenie biotechnológií ako celku. V závere sa štúdia sústreďuje na zhodnotenie práce s prekonceptami žiakov v súvislosti s výsledkovou časťou prehľadovej štúdie. Poukazuje na teóriu, ktorá sa prekonceptami žiakov priamo zaoberá a v nadväznosti na ňu predkladá možný prístup, ktorý je využiteľný pri práci s prekonceptami a k náprave miskonceptov žiakov práve v prírodovednom vzdelávaní. Táto prehľadová štúdia môže slúžiť ako základ pre ďalšie výskumy alebo vývoj pedagogických stratégií zameraných na zlepšenie vyučovania biotechnológií a pochopenie prekonceptov a miskonceptov nie len u žiakov.

**Klíčovú slova:**  
prírodovedné  
vzdelávanie,  
biotechnológie,  
prekoncepty,  
miskoncepty,  
konceptuálna zmena.

Zasláno 3/2024  
Revidováno 8/2024  
Přijato 10/2024

The present review study examines foreign educational research that explores knowledge in relation to respondents' preconceptions and misconceptions about modern biotechnology. Thus, the aim of the study is to provide a comprehensive overview of existing foreign research that focuses primarily on knowledge and, in particular, on preconceptions and misconceptions in this area. The study focuses on the analysis of foreign research from 2000 to 2023. The research was carried out in the Web of Science and Scopus databases using key words/terms. It analyses the objectives of the research, the methods used, the results of the research and its recommendations for the future. The results of the international research show that students' knowledge of modern biotechnology is minimal and that they lack a conceptual understanding of biotechnology as a whole. In conclusion, the study focuses on the evaluation of students' pre-conceptual work in the context of the results section of the review study. It highlights the theory that deals directly with students' preconceptions and then proposes a possible approach that can be applied to work with preconceptions and to address students' misconceptions specifically in science education. This review study can serve as a basis for further research or the development of pedagogical strategies aimed at improving the teaching of biotechnology and the understanding of preconceptions and misconceptions, not only among students.

**Key words:**  
science education,  
biotechnology,  
preconceptions,  
misconceptions,  
conceptual change.

Received 3/2024  
Revised 8/2024  
Accepted 10/2024

## 1 Úvod

V prírodovednom vzdelávaní je práca s abstraktnými pojmami (konkrétne v oblasti moderných biotechnológií), ktoré sú pre žiakov častokrát ťažko uchopiteľné, veľmi dôležité. Žiaci majú taktiež často vytvorené nesprávne prekoncepty (miskoncepty), ktoré je nevyhnutné rekonštruovať. Preto je podstatné zistiť, ako žiaci o danom fenoméne premýšľajú. Diskusia o moderných biotechnológiách a ich dôsledkoch sa stáva čoraz bežnejšou, avšak nedostatok posilnenia kritického myslenia žiakov a nedostatok identifikácie ich prekonceptov a miskonceptov je stále problémom. Mylné predstavy môžu byť pevne zakorenené v mysliach študentov a môžu sa výrazne líšiť od správneho chápania danej problematiky. Oprava týchto mylných predstáv je kľúčová pre dosiahnutie požadovaných vzdelávacích výsledkov.

## 2 Žiacke predporozumenie

### 2.1 Prekoncepty

Výskumy o žiackych prekonceptoch a ich roly v procese výučby sa stali jednou z najdominantnejších oblastí pedagogického výskumu minimálne v posledných piatich desaťročiach, a to už od 70. rokov 20. storočia, kedy sa začalo so skúmaním predvýučbových predstáv študentov o rôznych prírodovedných obsahoch (Duit & Treagust, 2003; Wisch et al., 2018).

V predkladanej štúdií chápeme *prekoncepty* podľa Slavíka et al. (2017), ktorí rozlišujú dve úrovne zdieľania obsahu: *intersubjektívnu* a *subjektívnu*. Pre *intersubjektívne* zdieľanie daného obsahu je používaný termín *význam* (koncept, pojem, skript) a pre *subjektívne* chápanie obsahu sú používané termíny *predstava*, *presvedčenie* a *prekoncept*. Tým, že sa subjektívne chápanie obsahu konkretizuje v daných výrazoch, priraduje sa mu určitý význam (Slavík et al., 2017, s. 154). Prekoncept je teda subjektívne chápanie obsahu daného oboru žiakom, ktoré vzniklo pred inštruktážou (*pre-instructional conceptions*) o danom fenoméne (Duit & Treagust, 2003; Slavík et al., 2017). Na identifikáciu konceptov žiakov/študentov sa využívajú rôzne typy výskumných nástrojov. Ucelený pohľad priniesol výskum Gurel et al. (2015), ktorí urobili analýzu 273 výskumov zaoberajúcich sa identifikáciou žiackych konceptov so záverom, že: 53 % výskumov využívalo ako nástroj rozhovor; 34 % testy s otvorenou odpoveďou (*open-ended tests*); 32 % testy s výberom odpovede (*multiple-choice tests*); 9 % dvoj-úrovňový konceptový test (*two-tier multiple conceptual tests*); 3 % troj-úrovňový konceptový test (*three-tier multiple conceptual tests*); 1 % štvor-úrovňový konceptový test (*four-tier multiple conceptual tests*) a 9 % nástrojov používalo iný spôsob.

### 2.2 Miskoncepty

Prekoncepty nájdeme v odbornej literatúre pod rôznymi označeniami. Nájdeme však aj označenie pre prekoncepty, ktoré nie sú v súlade s vedeckými vysvetleniami javov (Duit & Treagust, 2003) a to mení ich označenie ako miskoncepty (Clement et al., 1989). Prekoncepty sa teda ako miskoncepty označujú vtedy, keď sú v rozpore s vedeckými konceptmi (Posner et al., 1982; Nakleh, 1992; Trowbridge & Wandersee, 1994; Sneider & Ohadi, 1998; Mandíková & Trna, 2011; Gurel et al., 2015). Často sa tento pojem chápe ako zastrešujúci termín pre zle pochopené žiacke (študentské) predstavy, ktoré sú ustálené, rozšírené, odolné voči odstráneniu a často krát bránia v procese učenia (Vlčková et al., 2016). V zahraničnej literatúre sú často označované aj ako alternatívne koncepty (napr.: Duit & Treagust, 2003).

Charakteristickým znakom miskonceptov je, že vedú k nesprávnym vysvetleniam javov, interpretáciám alebo riešeniam problémových situácií. Podľa Smitha et al. (1993) sú miskoncepty: (a) vychádzajúce z predchádzajúcich predstáv; (b) stabilné a odolné voči zmene; (c) brzdiace budúce učenie a (d) je potrebné ich nahradiť vedeckými koncepciami. Miskoncepty zohrávajú kľúčovú úlohu v rušení žiaka pri porozumení vede a sú spojené s nesprávnym porozumením, nesprávnou komunikáciou, nesprávnym vzdelávaním a nesprávnym uplatňovaním dobre zavedených princípov (Nussbaum & Novick, 1982). Tekkaya (2002) uvádza, že miskoncepty môžu vzniknúť z rôznych skúseností, ktoré si žiaci často vzájomne prenášajú. Tieto miskoncepty môžu mať svoje korene aj v bežných každodenných skúsenostiach. Miskoncepty sú v myslí žiaka pevne zakotvené a podporené jeho osobnou skúsenosťou, emotívnym zážitkom alebo väzbou na ďalšie prekoncepty alebo miskoncepty (Kireš et al., 2016). Vznikajú aj v prípade, keď žiaci spoja nové naučené koncepty s predchádzajúcimi, primitívnejšími predstavami. Náprava miskonceptov, ktoré sa nachádzajú v mysliach žiakov, je kľúčový aspekt pri dosahovaní výsledkov výučby.

## 3 Biotechnológie a ich miesto vo vzdelávaní

Všeobecne sa termínom *biotechnológie* označuje každá aplikácia „vedy a techniky na živé organizmy, ... s cieľom zmeniť živé alebo neživé materiály na výrobu tovarov a k využitiu pre služby“. (OECD, 2012, s. 156) Oblasť biotechnológií, ktorá sa označuje ako moderné biotechnológie (pozri napr. Clark & Pazdernik, 2012) sa oproti tradičným biotechnológiám, do ktorých zaraďujeme napríklad šľachtenie alebo kvasenie (o ktorých sú zmienky spred mnoho tisícročí), objavuje len nedávno medzi rokmi 1960–1980 (Clark & Pazdernik, 2012). Ide o časť biotechnológií využívajúcich genetické manipulácie ako nástroj zmeny. Jedná sa napríklad o genetické inžinierstvo alebo taktiež klonovanie DNA. Drobník (2008) ďalej uvádza, že za základný kameň moderných biotechnológií je považovaná práve metóda rekombinantnej DNA. K tomu sa prikláňajú aj Clark & Pazdernik (2012), ktorí pokladajú manipuláciu s DNA, predovšetkým s cieľom tvorby rekombinantnej DNA, za základ moderných biotechnológií. V dnešnej dobe, keď je tok informácií z každej strany obrovský, je obzvlášť dôležité mať validné informácie, najmä ak ide o tak do určitej miery kontroverzný fenomén, akým sú moderné biotechnológie.

Rozvoj moderných biotechnológií je nezastaviteľný. Je to jedna z najrýchlejšie sa rozvíjajúcich oblastí vedy s vplyvom na celú spoločnosť. Genetické inžinierstvo sa dá nazvať revolučnou silou, ktorá otvára vo svete nové možnosti. Diskusia o jeho výhodách alebo nevýhodách je čoraz bežnejšia (Kooffreh et al., 2021). Je potrebné zapojiť kritické myslenie tvárou v tvár veľkému množstvu informácií, ktoré prichádzajú z rôznych častí okolia. Biotechnológie podľa Samani et al. (2011) možno považovať skôr za vedeckú ako sociálnu tému, ale napriek tomu sa jej venuje značná pozornosť v domácich mainstreamových médiách, ktoré spôsobujú časté miskoncepty a tým pádom neprispievajú ku konštruktívnej diskusii. Už pred vyše 30 rokmi médiá napríklad rozsiahlo informovali o genetickom inžinierstve, pričom vedcov často vykresľovali stereotypnými obrazmi ako rigidných, ľahostajných a nesympatických jedincov (Dawson & Soames, 2006). Napriek tomu stále viac chýba posilnenie kritického myslenia študentov a rozpoznanie ich prekonceptov a miskonceptov o danej téme (Kidman, 2010). Biotechnológie na príklade technológií DNA sa často vnímajú s vysokou mierou rizika podobne ako iné technológie zahŕňajúce napríklad chemické látky, jadrovú energiu, rádioaktívny odpad a elektromagnetické polia (Welser, 1991). Problém môže byť napríklad aj s povedomím o využívaní geneticky modifikovaných potravín. V ich prípade mnohé štúdie odmietajú pravdepodobnosť významných zdravotných rizík spojených s ich konzumáciou. To ale automaticky neznamená, že sa zmení postoj k nim a mylné predstavy o nich (Lopez & Carrau, 2002; Prokop et al., 2007). Náprava mylných predstáv, ktoré študenti majú je veľmi dôležitá pre dosiahnutie požadovaných študijných výsledkov. Dawson a Schibeci (2003, s. 66) si kladú veľmi dôležitú otázku: „*Ak majú učebné osnovy prírodovedných predmetov pripraviť žiakov na to, aby sa stali občanmi, môžeme tejto oblasti prírodných vied naďalej venovať nedostatočnú pozornosť?*“ Vytvára sa tak priestor na zisťovanie toho, čo žiaci skutočne vedia/nevedia. Okrem toho, mať správne koncepty o akomkoľvek jave je najdôležitejšou schopnosťou na prijímanie správnych rozhodnutí v každodennom živote (Harms, 2002).

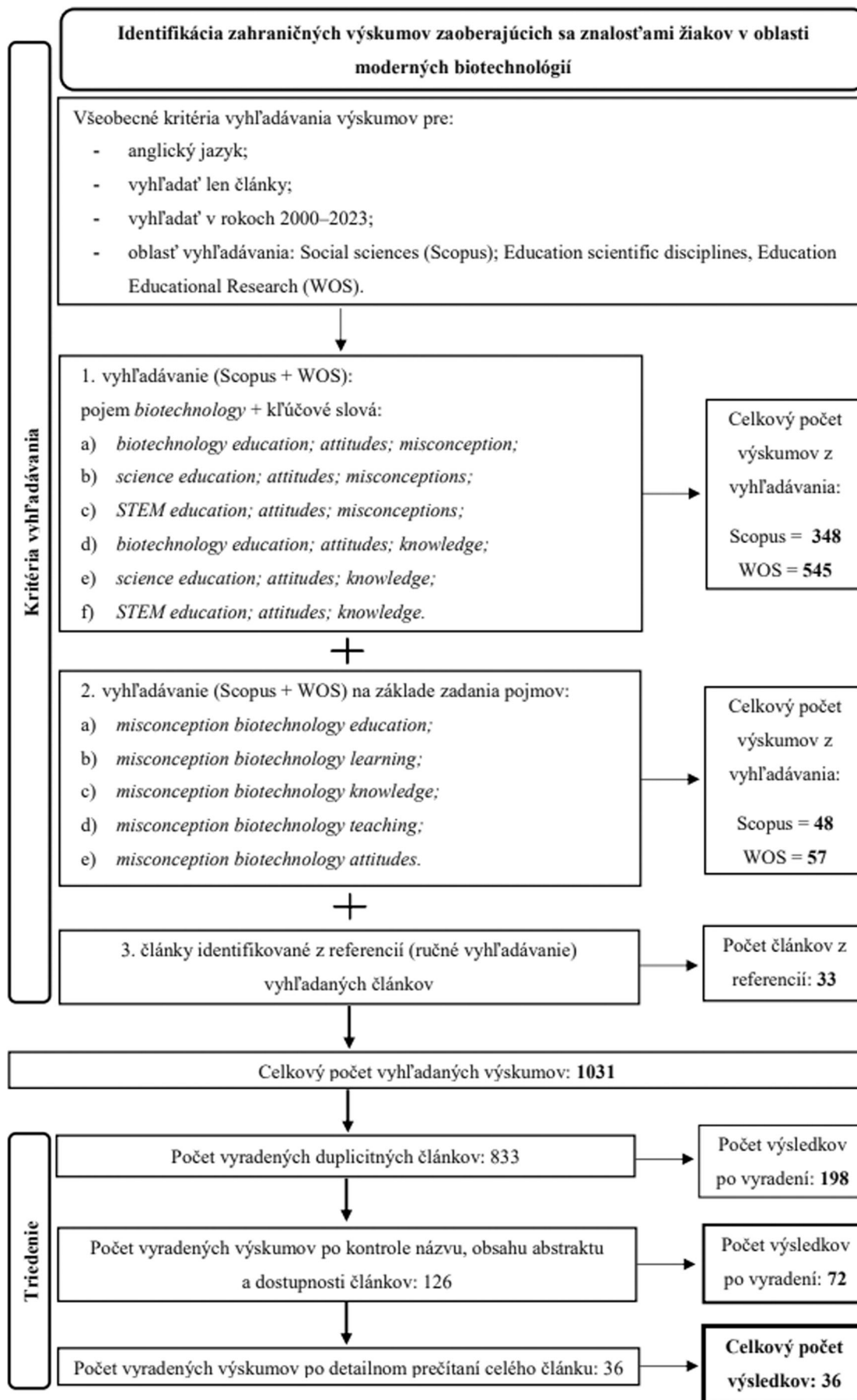
## 4 Ciele a výskumné otázky štúdie

Prehľadová štúdia si kladie za cieľ poskytnúť komplexný prehľad zahraničných výskumov zaoberajúcich sa identifikáciou znalostí respondentov z oblasti vzdelávania o biotechnológiách, s konkrétnym zameraním práve na prekoncepty a miskoncepty o moderných biotechnológiách (pozri kapitola 3). Na základe položených otázok (pozri nižšie) nás najmä zaujímalo, akými prekonceptami a najmä miskonceptami o danom fenoméne disponujú respondenti. Následne, keďže v tuzemskej výskumnej sfére chýbajú výskumy zaoberajúce sa prekonceptami a miskonceptami žiakov o biotechnológiách (chýbajú výskumy zaoberajúce sa aj inými skupinami respondentov), je čiastkovým cieľom aj poukázať na to, o čom v Českej republike oproti zahraničiu nemáme povedomie. Štúdia si stanovuje 5 výskumných otázok:

- VO1: Aké ciele si kladú výskumy z oblasti vzdelávania zaoberajúce sa identifikáciou znalostí respondentov o moderných biotechnológiách?
- VO2: Na akú skupinu respondentov sú výskumy z oblasti vzdelávania zaoberajúce sa identifikáciou znalostí respondentov o moderných biotechnológiách najčastejšie zamerané?
- VO3: Aké metódy identifikácie prekonceptov a miskonceptov v oblasti moderných biotechnológií sú vo výskumoch z oblasti vzdelávania najčastejšie využívané?
- VO4: Aké výsledky prinášajú výskumy z oblasti vzdelávania zaoberajúce sa identifikáciou znalostí respondentov o moderných biotechnológiách?
- VO5: Aké limity a odporúčania uvádzajú výskumy z oblasti vzdelávania zaoberajúce sa identifikáciou znalostí respondentov o moderných biotechnológiách?

## 5 Metodika

Prehľadová štúdia vychádza z výskumov zameraných primárne na analýzu žiackych znalostí (prekonceptov a miskonceptov) v oblasti moderných biotechnológií. Výskumy obsahujú taktiež výsledky v oblasti postojov, pokiaľ sa daný výskum zameriava na ich vplyv na znalosti, pretože znalosti v danej oblasti sú často spájané s tým, aký postoj k nim daný respondent zaujíma (pozri Príloha 1). Výber výskumov do prehľadovej štúdie bol realizovaný na základe postupu popísanom v *The PRISMA statement* (Moher et al., 2009). Databázy, ktoré boli zvolené pre vyhľadávanie výskumov, boli databáza Scopus a databáza Web of Science (WOS). Konkrétny postup vyhľadávania výskumov je uvedený vo forme diagramu (obr. 1).



**Obr. 1:** Diagram metodiky vyhľadávania výskumov pre prehľadovú štúdiu podľa *The PRISMA statement* (Moher et al., 2009)

## 6 Výsledky

Vo výsledkovej časti sú zodpovedané položené výskumné otázky predloženej prehľadovej štúdie.

### 6.1 Ciele kladené vo výskumoch (VO1)

Prehľadová štúdia je zameraná primárne na výskumy zaoberajúcimi sa znalosťami študentov ohľadne moderných biotechnológií (pozri kapitola 3). Do moderných biotechnológií zaraďujeme podkategórie ako je genetické inžinierstvo, geneticky modifikované organizmy alebo klonovanie. Keďže primárny cieľ štúdie je analýza výskumov, ktoré sa zaoberajú študentskými znalosťami v daných oblastiach, všetkých 36 analyzovaných výskumov si kladie za cieľ zistiť, aké je porozumenie resp. znalosti študentov v oblasti moderných biotechnológií.

Pri analyzovaní výskumov týkajúcich sa znalostí sa výskumy zaoberajú taktiež postojovým hľadiskom (23 výskumov / 64 %). Spojenie výskumu znalostí a postojov je najbežnejšie spájaný výskumný cieľ štúdií (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Dawson & Soames, 2006). Výskumy pojednávajú o vplyve znalostí na postoje a vice versa (viď vyššie) alebo taktiež o vplyve biotechnologického vzdelávania (napr. kurzu, inštruktáží, prednášok) na znalosti a postoje študentov (napr. Dawson & Soames, 2006; Bigler & Hanegan, 2011).

### 6.2 Výber respondentov vo výskumoch (VO2)

Výskumy zaoberajúce sa primárne znalosťami študentov v oblasti moderných biotechnológií sa sústreďujú prevažne na tri skupiny respondentov v oblasti vzdelávania. Prvou sú respondenti druhého stupňa základnej školy (prevažne 8. a 9. ročník), a odpovedajúcich ročníkov viacročných gymnázií a stredných škôl (prevažne 3. a 4. ročník) a odpovedajúcich ročníkov viacročných gymnázií (tzn. rok štúdia 8–12 v anglosaskom systéme vzdelávania). V našom prostredí sú to teda žiaci/študenti od približne 15 do 18 rokov (napr. Harms, 2002; Meerah et al., 2012; Walker, 2021). Znalosťami študentov ZŠ/SŠ v oblasti moderných biotechnológií sa zaoberá 18 výskumov (50 %).

Druhú skupinu respondentov tvoria študenti vysokých škôl. Touto skupinou respondentov sa zaoberá 13 výskumov, čo predstavuje 36 % (napr. Bal et al., 2007; Lamanauskas & Makarskaitė-Petkevičienė, 2008; Duda et al., 2021).

Treťou skupinou respondentov sú učitelia základných alebo/a stredných škôl. Z celkového počtu 36 výskumov sa touto skupinou respondentov zaoberá 9 výskumov, čo predstavuje 25 % (napr. Mohapatra et al., 2010; Acarli, 2016; Jiménez-Salas et al., 2017).

Výskumy taktiež hodnotia viaceré skupiny respondentov v jednom výskumnom šetrení ako napríklad kombináciu žiakov/študentov ZŠ/SŠ a študentov VŠ (1 výskum; Usak et al., 2009), alebo skupinu žiakov/študentov ZŠ/SŠ spolu vo výskume s učiteľmi na ZŠ/SŠ (3 výskumy; Dawson & Soames, 2006; Mohapatra et al., 2010; Alanazi, 2021).

### 6.3 Metódy identifikácie žiackych prekonceptov a miskonceptov (VO3)

Vo všeobecnosti sú diagnostické metódy na identifikáciu žiackych prekonceptov nástroje hodnotenia, ktoré sa zaoberajú trvalými alebo opakujúcimi sa ťažkosťami pri učení, ktoré zostávajú nerozriešené a sú príčinou ťažkostí pri učení. Inými slovami, tieto nástroje ukazujú rozpor medzi tým, čo chceme, aby naši študenti vedeli alebo sa naučili, a tým, čo skutočne vedia alebo sa naučili (Gurel et al., 2015).

Na identifikáciu žiackych prekonceptov sa využívajú rôzne metódy, medzi ktoré patria napríklad rozhovory, testy s otvorenou otázkou, testy s výberom odpovede alebo konceptové testy. Čo sa týka identifikácie znalostí (prekonceptov a miskonceptov) v oblasti biotechnológií, najčastejšie využívanou metódou na identifikáciu sú testy. Testy (samostatne alebo v kombinácii) využíva 32 z 36 výskumov, čo predstavuje 89 %. Testy vo výskumoch obsahujú napríklad uzavreté otázky (napr. Veličković et al., 2015; Wisch et al., 2018; Walker, 2021) aj otvorené otázky (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Mollett & Cameron, 2016; Wisch et al., 2018) alebo otázky formou určenia pravdy/lži (Casanoves et al., 2015). Taktiež napríklad zatvorené otázky, ktorých odpoveď má študent odôvodniť (Wisch et al., 2018), poprípade určiť istotu svojej odpovede (*Certainty of Responde Index*; method from Hasan et al., 1999) (Duda et al., 2020a; Duda et al., 2020b). Medzi často využívaný nástroj na zistenie znalostí je forma päťbodového Likertovho biotechnologického vedomostného dotazníka *Biotechnology Knowledge Questionnaire* (BKQ) so 16 položkami, ktoré vypracovali Prokop et al. (2007). Položky v danom dotazníku hodnotia znalosti o aplikáciách biotechnológií v rôznych oblastiach, ako sú napríklad živočíšne a rastlinné biotechnológie alebo samotná aplikácia biotechnológií. Položky sú hodnotené od 1 (rozhodne nesúhlasím) po 5 (rozhodne súhlasím). Validita dotazníka bola zistená prostredníctvom recenzie tromi odborníkmi v oblasti genetiky a biologického vzdelávania. Na základe ich pripomienok a návrhov boli vykonané revízie. Reliabilita dotazníka BKQ bola

stanovená prostredníctvom koeficientu Cronbachovo  $\alpha = 0,69$ . Úplná verzia dotazníka je na požiadanie k dispozícii u autorov (Prokop et al., 2007, s. 898). K BKQ bol taktiež vypracovaný dotazník zameraný na postoje k biotechnológiám s využitím Likertových škál: *Biotechnology Attitude Questionnaire* (BAQ) s 37 položkami (Erdogan et al., 2012). BAQ sa zaoberá vzťahom respondentov ku konzumácií GMO, aplikácií genetického inžinierstva, vierou ľudí v riziká a následné regulácie genetickej modifikácie, právom ľudí na zásah do životného prostredia prostredníctvom GMO, obavami o narušenie životného prostredia, ale taktiež aj využitím genetickej modifikácie v medicíne (Erdogan et al., 2012). Reliabilita dotazníka BKQ stanovená prostredníctvom koeficientu Cronbachovo je  $\alpha = 0,76$ . BKQ a BAQ využívajú aj ďalšie výskumy ako Özel et al. (2009); Usak et al. (2009); Erdogan et al. (2012); Meerah et al. (2012) alebo Alanazi (2021).

Ďalšia forma využívaného testu je *Biotechnology Instrument for Knowledge Elicitation* (BIKE), ktorý sa skladá z 35 položiek zložených z otázok vyžadujúcich krátku odpoveď, otázky na určenie pravdivosti výroku, otázky s otvorenou odpoveďou a otázky, kde je potrebné zadať odôvodnenie svojej odpovede (Wisch et al., 2018). Tento výskumný nástroj bol vytvorený Witzig et al. (2014). Výskumný nástroj je pevne opretý o literárnu rešerš, je spoľahlivý a poskytuje položky s rôznou obťažnosťou. Autori uvádzajú, že jeho výhodou je skúmanie študentského chápania, uvažovania a koncepčného porozumenia biotechnológiám, namiesto zisťovania len správnosti odpovede (Witzig et al., 2014, s. 677–678).

Druhou najčastejšou metódou zberu dát je rozhovor (napr. individuálne pološtrukturované interview; pološtrukturované interview ohniskových skupín). Túto metódu zvolilo 13 výskumov (36 %). Výskumy využívajú aj možnosť kombinácie metód. Najčastejšie kombinujú testy a rozhovory, popr. diskusie medzi študentami alebo ohniskové skupiny (10 výskumov / 28 %; napr. Harms, 2002; Dawson & Soames, 2006; Dawson, 2007). Ďalšou výskumnou metódou na identifikáciu žiackych prekonceptov sú písomné práce študentov (3 výskumy / 8 %; Dawson, 2007; Acarli, 2016; Anderton & Ronald, 2018), ako napríklad *draw-and-write method* a *word association test* (Acarli, 2016).

## 6.4 Výsledky výskumných šetrení (VO4)

Výsledky výskumov podľa obsahu rozdeľujeme do hlavnej kategórie biotechnológie a jej 3 častí: genetické inžinierstvo, geneticky modifikované organizmy (genetically modified organisms; GMO) a klonovanie. Výsledková časť približuje znalosti študentov či už vo forme prekonceptov alebo miskonceptov, a taktiež v závislosti od výskumu aj postoje a ich vplyv na znalosti a naopak.

### Biotechnológia

Výskumy, ktoré prezentujú poznatky o biotechnológiách u rozdielnych skupín respondentov narážajú na rôzne výsledky výskumných šetrení. Casanoves et al. (2015) napríklad uvádzajú, že pri biotechnologických znalostiach sú poznatky žiakov veľmi variabilné a záleží na téme (časti), ktorá je skúmaná. K tejto časti výsledkov zaoberajúcej sa všeobecne biotechnológiami patria okrem moderných biotechnológií aj tradičné biotechnológie ako napríklad fermentácia. Paš et al. (2019) vo svojom výskume analyzujú výsledky z rôznych typov gymnázií. Najviac správnych poznatkov a aj pozitívnych postojov preukazovali študenti z bio-technických gymnázií a zo všeobecných gymnázií. Študenti mali taktiež signifikantne lepšie znalosti o tradičných biotechnológiách ako o moderných. Čo sa týka tradičných biotechnológií, Duda et al. (2020a) zistili, že z pojmov z oblasti technológie kvasenia bolo 41 % žiakov zaradených do kategórie, že poznajú pojmy; 25 % žiakov nepozná pojmy a 34 % má miskoncepty. V pojmoch týkajúcich sa fermentačných produktov 32 % žiakov pojmy pozná, 34 % nepozná pojmy a 34 % má miskoncepty. Z údajov v oboch prípadoch vyplýva, že je stále pomerne vysoký počet žiakov, ktorí majú miskoncepty. V rovnakom výskume autori uvádzajú, že respondenti nemajú konceptové porozumenie a nerozumejú konceptu ako celku. Ku konceptuálnemu porozumeniu je možné dôjsť zaradením napríklad vzdelávacieho kurzu na danú problematiku. Výskum Dawson a Soames (2006) zaoberajúci sa zaradením kurzu na tému biotechnológií zistil, že po prebehnutí kurzu sa po štúdiu biotechnológií zvýšil počet uvedených správnych príkladov na 647 (priemer 4,6) z 387 správnych príkladov (priemer 2,8) pred kurzom, čo predstavuje celkový nárast o 67 %. Uvádzajú však, že medzi jednotlivými študentmi boli značné rozdiely. Úspešne rekonštruované žiacke miskoncepty, ktoré sa týkali DNA replikácie, DNA manipulácie, DNA a jej roly v bunke a dedičnosti DNA boli preukázané vo výskume Wisch et al. (2018), kde študenti univerzít absolvovali taktiež kurz k danej problematike. Vo výskume Alanazi (2021) údaje z dotazníkového prieskumu ukazujú, že existujú štatisticky významné rozdiely vo vedomostiach a postojoch medzi žiakmi vyššieho sekundárneho vzdelávania. Spomedzi žiakov týchto troch ročníkov preukázali najväčšie vedomosti žiaci 12. ročníka. Naopak vo výskume Usak et al. (2009) pri porovnaní študentov stredných škôl a študentov vysokých škôl je trend vekovo „opačný“. Rozdiel medzi vedomosťami študentov stredných a vysokých škôl o biotechnológiách ukazuje, že stredoškôláci majú viac vedomostí ako študenti z univerzít, pokiaľ

ide o takmer všetky položky vo výskume. Výskum Usak et al. (2009) sa v oblasti znalosti biotechnológií zameriava prevažne na moderné biotechnológie, väčšina stredoškôľakov aj vysokoškôľakov vedela, že moderné biotechnológie sú spojené napríklad so zmenami DNA, ktoré by mohli viesť k zvýšeniu produktivity organizmov (Usak et al., 2009).

Biotechnológie sa podľa údajov z literatúry rozdeľujú na podkategórie ako červené biotechnológie, ktoré sa využívajú v lekárstve; biele (sivé) biotechnológie, ktoré sa využívajú v priemyselnej výrobe a zelené biotechnológie, ktoré sa využívajú v poľnohospodárstve (Atmojo et al., 2018). Výskumníci zaoberajúci sa znalosťami začínajúcich učiteľov v oblasti vyššie spomínaných kategórií zistili, že najnižšie priemerné skóre je 17,5 % v červenom biotechnologickom koncepte, zatiaľ čo najvyššie priemerné skóre je v koncepte zelenej biotechnológie s percentuálnym podielom 30,56 % (Atmojo et al., 2018). Vo výskume porovnávajúcom skupiny študentov a učiteľov Alanazi (2021) zistil, že medzi učiteľmi a študentami neboli štatisticky významné rozdiely, pokiaľ ide o ich vedomosti o biotechnológiách; niektorí učitelia zdôraznili, že biotechnológie považujú za veľmi dôležitý fenomén pre vedecký aj ekonomický pokrok. Avšak z výsledkov vyplýva, že vedomosti o biotechnológiách sa zdajú byť obmedzené u študentov aj učiteľov. Výskum Mohapatra et al. (2010) uvádza, že mnohí učitelia a študenti si nie sú vedomí napríklad toho, že rastliny upravené na produkciu proteínov s pesticídnymi vlastnosťami môžu ovplyvniť necieľové druhy; že geneticky modifikované plodiny uvoľnené do životného prostredia by interagovali s rozmanitosťou biotopov; že by sa zhoršila úrodnosť pôdy a ovplyvnila ekosystém a že transgénne rastliny odolné voči vírusom môžu viesť k novým vírusovým ochoreniam. V porovnaní skupín chlapcov a dievčat Usak et al. (2009) zistili, že chlapci vykazujú o niečo pozitívnejší postoj k biotechnológiám v porovnaní s dievčatami bez ohľadu na úroveň ich vzdelania. Toto zistenie potvrdzuje aj Maes et al. (2018) – chlapci sa v téme orientovali lepšie ako dievčatá a starší študenti vedeli o trochu viac o komerčnom statuse GMO, ale znalosti boli v celku limitované. To viedlo k výsledku, že študenti majú veľmi limitované poznatky na to, aby mohli robiť informované rozhodnutia k danej problematike.

Limitované znalosti v oblasti biotechnológií potvrdilo aj mnoho ďalších výskumov. Výskum Duda et al. (2020b) u univerzitných študentov zaoberajúci sa rastlinnými biotechnológiami uviedol nesprávne konceptové porozumenie „fungovania“ rastlín (konceptuálne pochopenie stavby rastlín – definovanie, mechanizmy, negatívny aspekt, ...). Nesprávne pojmy používalo okolo 41 % univerzitných študentov. Výskum realizovaný na Slovensku (Prokop et al., 2007) uvádza, že tretina z 1116 vysokoškôľakov nemá žiadne povedomie, či porozumenie biotechnológiám. Výskum Walker (2021) uvádza problém študentov (11–14 rokov) popísať biotechnológie ako také. Správna odpoveď bola len u jedného študenta. Síce ešte v ďalších dvoch prípadoch študenti uviedli správne odpovede, ale neskôr tvrdili, že ich poznatky ovplyvnili kontextové informácie z výskumu (Walker, 2021, s. 796).

Výsledky výskumu Dawson a Schibeci (2003) uvádzajú, že žiaci vo veku 15 rokov nevedia uviesť ani jeden príklad biotechnológií (20–30 %) a rovnako aj v tomto výskume im chýba porozumenie konceptu ako celku. Nie sú napríklad schopní rozlíšiť klonovanie organizmu a genetické inžinierstvo a taktiež je pre nich mätúci rozdiel medzi genetickou manipuláciou a šľachtením (Dawson & Schibeci, 2003 s. 65–66) V ďalšom výskume Dawson (2007) 88 % žiakov (15–18 rokov) taktiež nevedelo čo biotechnológie sú. V písomnom prieskume len približne tretina žiakov 10. ročníka (34 %) a 12. ročníka žiakov (36 %) uviedla správny príklad biotechnológií. Najčastejšie sa vyskytujúce príklady (v klesajúcom poradí) vo všetkých skupinách ročníkov sa týkali medicínskeho využitia, environmentálneho využitia, poľnohospodárstva a geneticky modifikovaných potravín (Dawson, 2007).

V správnych príkladoch biotechnológií uvádzajú respondenti najmä klonovanie (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Fonseca et al., 2012b; Acarli, 2016); geneticky modifikované potraviny (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Mohapatra et al., 2010); využitie vo výskume (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Van Lieshout & Dawson, 2016) a všeobecne genetické inžinierstvo (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Fonseca et al., 2012b). Medzi príkladmi sa taktiež vyskytlo kvasenie ako príklad tradičných biotechnológií (napr. Veličković et al., 2015; Acarli, 2016; VanLieshout & Dawson, 2016). Veľké zastúpenie mala taktiež medicínska oblasť, kde sa vo výsledkoch vyskytlo všeobecné využitie v medicíne (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Fonseca et al., 2012b). Vo výskume Van Lieshout a Dawson (2016) 24 % žiakov neuviedlo žiadny iný príklad biotechnológií súvisiacich s ľudským zdravím okrem výroby inzulínu alebo genetickej manipulácie všeobecne. V danom výskume 76 % respondentov (15–18 rokov) dokázalo pred vyučovaním (konceptu biotechnológií) uviesť aspoň jeden príklad aplikácie biotechnológií súvisiacich s ľudským zdravím. Čo sa týka konkrétnych príkladov na medicínske využitie, najčastejšie bola spomínaná tvorba inzulínu, využitie pri liečbe rakoviny (napr. Fonseca et al., 2012b; Van Lieshout & Dawson, 2016), génová terapia alebo rast svalov a náhrada kože (napr. Acarli, 2016; Van Lieshout & Dawson, 2016).

Z pohľadu vzťahu k biotechnológiám sú výsledky rôzne. Walker (2021) uvádza, že pozitívny vzťah má 49 % respondentov (15–18 rokov). Vplyv postoja na vedomosti a vice versa je preukázaný v značnom počte výskumov. Pozitívny vzťah uviedli taktiež aj Fonseca et al. (2012b) a vo výskume Cavanagh et al. (2005) uviedlo približne 74 % respondentov (15–18 rokov), že v oblasti biotechnológií prevažujú benefity

nad rizikom. Avšak vo výskume Kooffreh et al. z roku 2021 len 20 % respondentov (15–18 rokov) uvádza pozitívny vzťah. Naopak, respondenti nesúhlasia, že by biotechnológie zlepšili niečo pre spoločnosť, čo odzrkadľuje aj fakt, že 50 % respondentov vôbec nepomyslelo na ich využitie v medicíne (Kooffreh et al., 2021). Negatívny vzťah bol taktiež preukázaný vo výskume Mohapatra et al. (2010).

Vo výskume Van Lieshout a Dawson (2016) autori rozdelili v písomných prácach študentské odpovede na odpovede s kognitívnym komponentom (poznatok) 43 %, afektívnym komponentom (pocit) 57 % a behaviorálnym komponentom (praktické využitie) 33 % (Van Lieshout & Dawson, 2016). Pokiaľ negatívny postoj študentov klesá, ich úroveň vedomostí o danej téme sa zvyšuje (napr. Bal et al., 2007; Črne-Hladnik et al., 2012; Paš et al., 2019). Na druhej strane, vnímanie etiky, obavy a všeobecné pochybnosti o genetickej modifikácii významne korelujú len so znalosťami modernej biotechnológie: neexistuje významná korelácia medzi postojmi v týchto oblastiach a znalosťami tradičnej biotechnológie (Paš et al., 2019).

Miskoncepty respondentov ohľadne biotechnológií pochádzajú z oblastí ako napríklad využitie v doprave (mechanika) alebo z oblastí rádioaktivity. Študenti si tieto oblasti spájajú s biotechnológiami, a preto v nich následne vidia riziko („*Perception of personal health risks.*“). Autori uvádzajú, že je to v nedostatku nie len faktických znalostí študentov, ale aj v dôsledku nevedomosti ohľadom praktického využitia biotechnológií (Šorgo & Ambrožič-Dolinšek, 2010; Veličković et al., 2015, s. 7–9). Uvádzaným príkladom miskonceptu v oblasti biotechnológií v ďalšom výskume bola aj elektronika („*... something that is electronic*“ – niečo elektronické) (Walker, 2021, s. 796). Miskoncepty prináša aj téma biopalív. Biopalivá spadajú do oblasti bielych biotechnológií, kde sa využívajú živé bunky a/alebo enzýmy na vytváranie priemyselných produktov, ako je vývoj a výroba nových zlúčenín a výroba obnoviteľnej energie. V tejto oblasti si respondenti napríklad myslia, že keď elektrárne používajú takto vyrobené biopalivá, tak neprodujú CO<sub>2</sub> ako taký a má teda iné chemické vlastnosti ako CO<sub>2</sub> uvoľňovaný elektrárnami využívajúcimi fosilne palivá (Atmojo et al., 2018).

## Genetické inžinierstvo

Pri časti výsledkov z oblasti genetického inžinierstva sa taktiež vyskytuje veľmi výrazný nedostatok znalostí. Na limitované vedomosti poukazujú napríklad Bal et al. (2007) alebo Suryanti et al. (2018), ktorí vo výsledkoch svojich šetrení uvádzajú, že študenti VŠ, ktorí sa zúčastnili „genetického kurzu“ a/alebo „kurzu genetického inžinierstva“ (Bal et al., 2007) a študenti „biologického programu“ (Suryanti et al., 2018) nevedia ani aké typy enzýmov sa využívajú pri genetickom inžinierstve a ani ich funkciu. Čo sa týka odpovedí na základné biologické otázky, študenti univerzity (konkrétne „biologického programu“) majú problém s odpoveďou, pretože napríklad nevedia ani stavbu buniek. Tento výsledok potvrdil výskum Suryanti et al. (2018), kde autori uvádzajú, že v prípade správnej odpovede bola nutnosť poznať stavbu rastlinnej a živočíšnej bunky. Často vyskytujúci sa jav je, že študenti správne odpovede hádajú alebo vedia správnu odpoveď, avšak nevedia ju odôvodniť. Správnych odôvodnení svojich odpovedí je v tomto prípade menej ako správnych odpovedí ako takých (Suryanti et al., 2018). Vo výsledkoch sa najčastejšie vyskytuje využitie v medicíne alebo vo výskume (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Cavanagh et al., 2005). Ďalej napríklad využitie v poľnohospodárstve (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Cavanagh et al., 2005). Ako príklad genetického inžinierstva bolo často uvádzané aj klonovanie, kde bola hlavným príkladom klonovaného organizmu ovca Dolly, vyskytli sa však aj príklady klonovania nepotravinových zvierat (tzv. domácich miláčikov) alebo ľudí (Dawson & Schibeci, 2003; Bal et al., 2007).

Čo sa týka vzťahu respondentov ku genetickému inžinierstvu, výskum Bal et al. (2007) preukázal, že 11 % univerzitných študentov tvrdí, že by určite a 42 %, že by pravdepodobne prevážili benefity nad rizikami a 3,5 % respondentov uviedlo, že určite prevažuje riziko. Fonseca et al. (2012b) vo výskume uvádzajú, že študenti (15–18 rokov) nevidia nijaké zvlášť podstatné riziká využitia genetického inžinierstva, keďže študenti sa naučili, že mikroorganizmy sa používajú na výrobu inzulínu a rastových látok, ktoré zlepšujú zdravie a životný štýl. Po štúdiu biotechnológie boli študenti menej pozitívne naladení na procesy zahŕňajúce zvieratá (Fonseca et al., 2012b).

Výskum Suryanti et al. (2018) uvádza, že najviac miskonceptov majú univerzitní študenti o koncepte genetického inžinierstva ako takom. Hlavný problém vidia v tom, že si študenti koncept nevedia spojiť s reálnym životom. Dawson a Schibeci (2003) tvrdia, že aj medzi mladšími študentmi je značný zmätok v tom, čo predstavuje genetické inžinierstvo. Štvrtina 15 ročných žiakov všeobecného vzdelávania (23,3 %; 250) nevedela uviesť ani príklad genetického inžinierstva. Vo výskume Dawson a Soames (2006) okrem toho mnohí študenti (15–16 rokov) uviedli príklady selektívneho šľachtenia, melóny bez semien a paradajky ako príklady genetickej modifikácie. Medzi ďalšie miskoncepty patrí napríklad názor, že hygiena predchádza genetickým poruchám (Casanoves et al., 2015) a oplodnenie in vitro ako príklad genetického inžinierstva (Dawson & Soames, 2006). Okrem toho v skupine od 15 do 18 rokov študenti uviedli, že geneticky modifikované organizmy obsahujú veľa nebezpečných chemikálií. Niektorí študenti napríklad uviedli, že konzervačné látky a chemické spracovanie potravín sú taktiež príkladmi genetického inžinier-



stva (napr. Dawson & Soames, 2006; Prokop et al., 2007; Usak et al., 2009). Ako oblasť miskonceptov sa vyskytovala napríklad aj kriminalistika, kde študenti označili ako najväčší prínos pre človeka práve využitie pri riešení zločinov (odtlačky prstov) (napr. Cavanagh et al., 2005, s. 125).

## Geneticky modifikované organizmy (GMO)

Väčšina respondentov súhlasí, že by sa genetické inžinierstvo mohlo použiť na zlepšenie stavu plodín a že genetická modifikácia môže zvýšiť výživovú kvalitu a/alebo chuť GM produktov. Myslia si ale aj to, že geneticky modifikované potraviny môžu mať nepriaznivý účinok na zdravie ľudí (napr. Prokop et al., 2007, Fonseca et al., 2012a; Kooffreh et al., 2021).

Najčastejšie sa vyskytujúca oblasť výsledkov výskumov GMO boli geneticky modifikované potraviny (GMF). Čo sa týka jedenia GMF, vo výskume Maes et al. (2018), ktorý sa zaoberal študentami od 12–18 rokov (druhý stupeň) na vzorke 4002 respondentov na 126 školách (Flandry; Belgicko), boli mladší žiaci (13–14 rokov) viac odhodlaní konzumovať GMF ako starší (17–18 rokov). Vo výskume Dawson (2007) percento žiakov 9. ročníka, ktorí vedeli definovať geneticky modifikované potraviny, bolo veľmi nízke – iba 4 % (sedem žiakov) uviedlo, že bola zmenená DNA. Žiaci 10. ročníka (25 % správnych odpovedí) a 12. ročníka (28 % správnych odpovedí) už vedeli lepšie definovať GMF. Študenti 12. ročníka študujúci biologické vedy s najväčšou pravdepodobnosťou uvádzali všeobecne akceptovanú definíciu (31 %). V prípade uvádzania príkladov boli najčastejšie správne odpovede kukurica, repka olejná a sója (Dawson, 2007). Respondenti však často nevedeli dať príklad na GMF a ich zdôvodnenia etických postojov žiakov, ako aj písomné odpovede v testoch ukázali slabo rozvinuté schopnosti zdôvodňovať svoje rozhodnutia (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Dawson & Soames, 2006; Prokop et al., 2007; Van Lieshout & Dawson, 2016). Ďalej je vo výsledkoch výskumov uvádzané, že respondenti (študenti stredných škôl a univerzít) si uvedomujú potenciálne riziká pre životné prostredie pri poľnohospodárskej výrobe a využití GMF (napr. Dawson & Soames, 2006; Bal et al., 2007). Študenti základných, stredných škôl, ale aj univerzít preukazujú nevoľu pri kúpe GMF a veria v negatívny vplyv na ľudské zdravie a taktiež na prírodu (napr. Bal et al., 2007; Usak et al., 2009). K tomu sa pridávajú aj učitelia (Šorgo & Ambrožič-Dolinšek, 2010), ktorí vyjadrili nesúhlas s GMO práve vtedy, keď išlo o GMO ako o modifikované potraviny. Naopak ale vo výskume Van Lieshout a Dawson (2016) študenti 10. ročníka chlapčenskej školy neprejavili jasný nesúhlas s geneticky modifikovanými potravinami a vyjadrili naopak dôveru k ich výrobe. Tento pozitívny vzťah ku GMO môže byť výsledkom toho, že študenti mali za sebou biotechnologický kurz ako vstup k zoznámeniu sa s DNA (Van Lieshout & Dawson, 2016). Čo sa týka vzťahu učiteľov ku GMO, vo výskume Šorgo & Ambrožič-Dolinšek (2010, s. 148) sa preukázalo, že sa učitelia obávajú najmä možných neznámych vplyvov GMO, uvedomujú si dôležitosť vzdelávania o GMO a uznávajú dôležitosť spoločensko-vedných otázok pri vytváraní individuálnych hodnotových systémov budúcich učiteľov o GMO.

Miskoncepty ohľadne GMO sú medzi respondentami, okrem už vyššie spomínaných, aj také, že GMO uvádzajú ako vždy veľkostne väčšie (Casanoves et al., 2015), často vyskytujúci sa príklad je napríklad zelenina, ovocie a paradajky (Dawson & Schibeci, 2003; Dawson & Soames, 2006). Rozšírený miskoncept u stredoškolských, ale aj vysokoškolských študentov na základe výskumov je chybná predstava, že po konzumácii GMF sa modifikované gény (z požívanej potravy) dostanú medzi ľudské gény alebo môžu zničiť ľudské gény (danej osoby, ktorá potravu požila) (napr. Prokop et al., 2007; Usak et al., 2009; Casanoves et al., 2015). Wisch et al. (2018) uvádza výber konkrétnych miskonceptov, medzi ktorými nájdeme aj miskoncept uvádzajúci, že GMO sú nebezpečné pre dojčatá.

## Klonovanie

Samostatne v oblasti klonovania bol najčastejší príklad klonovaného organizmu ovca Dolly (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Dawson & Soames, 2006). Ďalej sa často vyskytovali príklady zvierat a nepotravinárskych výrobkov, klonovanie rastlín, ľudí, domácich miláčikov, mikroorganizmov alebo potravín (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Dawson & Soames, 2006; Bal et al., 2007; Dawson, 2007). Študenti (15–18 rokov) nevedeli správne definovať alebo uviesť správny príklad klonovania, pričom žiaci 12. ročníka (obor biologických vied) mali najčastejšie uvedenú všeobecne akceptovanú definíciu (37 %) a príklad (77 %). Hoci približne tri štvrtiny opýtaných žiakov 8. ročníka (78 %) spomenuli kopírovanie alebo vytváranie kópie niečoho, len malá časť uviedla, že klonovanie zahŕňa vytváranie geneticky identickej kópie (7 %) (Dawson, 2007).

## 6.5 Limity a odporúčania výskumných šetrení (VO5)

Jedno z odporúčaní, ktoré výskumy uvádzajú, ale taktiež je všeobecne platné pri realizácii akýchkoľvek výskumných šetrení, je, že pre kvalitné výsledky je potrebná dostatočná vzorka – nie je vhodné mať len jednu školu, malú veľkosť, jedno pohlavie a podobne. Obmedzuje to zovšeobecniteľnosť zistení

(napr. Van Lieshout & Dawson, 2016). Čo sa týka odporúčaní z rôznych krajín (napr. Saudská Arábia, Indonézia, Austrália, Slovensko a ďalšie), v ktorých sa výskumy realizovali, tak panuje prevažne zhoda na potrebe zaradenia témy biotechnológií do národného kurikula. Výskumy uvádzajú, že je nevyhnutné zvýšiť informovanosť žiakov a študentov na školách. Saudský národný prírodovedný rámec by mal v rámci saudských učebných osnov uznať potrebu zvýšenia informovanosti študentov prírodných vied o biotechnológiách (Alanazi, 2021). Taktiež v rámci zaraďovania predmetov do výuky prevažuje značný nedostatok predmetov, ktoré by mohli potenciálne rozoberať témy týkajúce sa biotechnológií. Taktiež autori výskumov považujú za dôležité, aby sa vedomosti v tejto oblasti prepájali nielen s príslušnými vednými oblasťami ale aj so skúsenosťami študentov. To znamená zamerať sa napríklad na sociálny rozmer predstáv (spomienky z detstva, vplyv médií, ...). Pre vzdelávacie účely je potrebné zaoberať sa sociálnym rozmerom koncepcií, ako aj ich kognitívnymi aspektmi. Mali by taktiež byť do výuky zahrnuté niektoré kľúčové vedecké trendy, ktoré sa pravidelne objavujú v médiách, medzi nimi aj moderné biotechnológie (napr. Dawson & Schibeci, 2003; Prokop et al. 2007; Alanazi, 2021). Informovanosť a osveta o biotechnológiách a ich vplyv v rôznych oblastiach by sa mala zvýšiť medzi študentmi stredných škôl, aby sa zlepšili vedomosti a ich lepšie pochopenie (Bal et al., 2007; Prokop et al., 2007; Kooffreh et al., 2021). Ako tvrdí Cavanagh et al. (2005), 87,2 % respondentov uvádza, že ani verejnosť nemá dosť informácií. Taktiež sa vyskytuje potreba riešiť najmä sociálne a etické otázky súvisiace s touto témou (Črne-Hladnik et al., 2012). Toto sú aspekty, ktoré žiakov najviac zaujímajú a ktorými sa radi zaoberajú. Zamerať sa na morálne posudzovanie ľudských činov, ktoré možno hodnotiť ako morálne dobré alebo zlé. Platí to najmä v biotechnologickom vzdelávaní, kde do hry nevyhnutne vstupujú postoje a emócie (Harms, 2002; Črne-Hladnik et al., 2012). Črne-Hladnik et al. (2012) uvádzajú, že by navyše prírodovedné obory mali spolupracovať aj s psychológiou a sociológiou. Taktiež výskumy uvádzajú, že ak majú študenti rozhodovať o biotechnológiách na základe informácií, musia sa naučiť taktiež explicitne vyjadriť svoje myšlienky (Črne-Hladnik et al., 2012). S cieľom podporiť občiansku a pracovnú angažovanosť by mali vzdelávacie inštitúcie poskytovať príležitosti žiakom (napr. stredoškólakom) tvoriť aspoň základné povedomie (Walker, 2021).

Učítelia prírodovedných predmetov si tiež musia byť vedomí nesprávnych predstáv alebo nedostatočného pochopenia, ktoré môžu mať žiaci o biotechnológiách. Avšak nie všetci učítelia prírodovedných predmetov rozumejú moderným biotechnológiám. Pre učiteľov prírodovedných predmetov, ktorí ukončili vlastné vzdelávanie pred rozvojom génových technológií a klonovania, môže byť prínosom odborný rozvoj alebo postgraduálne štúdium (Dawson & Schibeci, 2003; Cavanagh et al., 2005).

Atmojo et al. (2018) uvádzajú, že študenti nechápu predložené koncepty (celky), nevedia analyzovať predložené otázky a nechajú sa pomýliť. Taktiež biotechnologické časti v učebniciach, ktoré používajú učítelia, majú často nesprávne informácie. Na základe výsledkov výskumu uvádzajú autori päť spôsobov, ako zlepšiť porozumenie a zvládnutie prírodovedného pojmu: (1) poskytnutie príležitostí žiakom, aby vyjadrili svoje nápady a myšlienky o preberanej látke alebo študovanom materiáli; (2) kladenie otázok a diskusia o súvisiacom materiáli, ktorý má nesprávny pojem, kým nenájdu spôsob, ako prekonať nesprávne chápanie a identifikovať pôvodné porozumenie; (3) vykonávanie experimentálnych činností s cieľom dokázať koncept; (4) používanie veľkého množstva literatúry, ako sú knihy a články z výskumov ako referencie pri vyučovaní a (5) používanie vhodných metód a modelov vo výučbe v súlade s učebnými materiálmi z oblasti prírodných vied (Atmojo et al., 2018, s. 5; vlastný preklad autorov). Učítelia /inštruktori by preto mali zvážiť doplnenie formátu prednášky o rôzne aktívne stratégie vyučovania/učenia, ktoré povzbudia študentov, aby si uvedomili svoje nepochopenie (Duda et al., 2020b).

## 7 Implikácie prehľadovej štúdie pre prácu s prekonceptami v oblasti moderných biotechnológií v školskej výučbe prírodopisu a biológie

V 80. rokoch 20. storočia došlo vo výskumoch zaoberajúcich sa prístupmi v oblasti konceptuálnej zmeny k rastu štúdií žiackych myšlienkových štruktúr (prekonceptov, príp. miskoneptov). Nárast skúmania (prekonceptov) privádza k otázke: „Ako žiacke aktuálne myšlienkové štruktúry interagujú s novými predkladanými konceptami?“, čo smeruje k tvorbe ucelenej Teórie konceptuálnej zmeny, ktorá sa na danú otázku bude snažiť nájsť odpoveď (Chi et al., 1994; Duit & Treagust, 2003). Teória konceptuálnej zmeny (*Theory of Conceptual Change*; Posner et al., 1982; Strike & Posner, 1982; Hewson, 1992; Duit & Treagust, 2003) sa zaoberá žiackym (resp. ľudským) procesom, na základe ktorého žiak mení svoje centrálné koncepty pod vplyvom nových myšlienok/informácií (nekompatibilných s jeho vlastnými).

Tým, že učenie je chápané ako racionálna aktivita, ktorá závisí na podpore a akceptácii myšlienok, ktoré sú zrozumiteľné, prijateľné a racionálne, stáva sa skúmaním/objavovaním (*inquiry*). Pri téme, ako je GMO, je veľmi dôležitá oblasť „prijatia“ danej informácie, čo súvisí aj s emóciami. Žiaci si vytvárajú názory jednak na základe dostupných informácií/dôkazov, ale aj na základe postoja a akceptácie danej

témy. Výskum Šorgo & Ambrožič-Dolinšek (2010) vo výsledkoch výskumu ukázal, že postoje, rozhodnutia a akceptácia GMO nie sú založené len na vedeckých faktoch a formálnom zdôvodnení (vedomostiach), ale skôr na neformálnom zdôvodnení. Takže samotné pridávanie nových informácií do prednášok nestačí, preto by mali prevziať aktívnu úlohu pri vytváraní vlastných názorov práve aktéri výučby s cieľom vytvoriť diskusiu na túto tému, ktorá by prešla od neformálneho k formálnemu uvažovaniu založenému na vedeckých faktoch (Šorgo & Ambrožič-Dolinšek, 2010, s. 149).

Pri pohľade na výsledky výskumu však môžeme konštatovať, že respondenti majú príliš málo informácií o daných javoch na to, aby sa mohli zaoberať niekedy dosť kontroverznými otázkami. Nielen že disponujú minimálnym množstvom správnych prekonceptov, ale disponujú značnými miskonceptami, ktoré im bránia v ďalšom učení a vo vedení fundovanej diskusie. Z výskumov vyplýva, že je viac ako nutné pracovať so žiackymi miskonceptami v danej oblasti a snažiť sa o ich nápravu. Na to, aby u žiakov mohla prebehnúť konceptuálna zmena, musí u žiakov v prvom rade dôjsť k silnej nespokojnosti s ich aktuálnymi konceptami v jeho mysli. V takýchto situáciách vznikajú v mysli žiakov konceptuálne konflikty medzi ich vlastným a novým konceptom (Tekkaya, 2002). Väčšina respondentov sa však o biotechnológiách na školách vôbec neučila. Najviac vedomostí majú respondenti, ktorí sa (buď) aktívne zaujímajú o danú oblasť a/alebo téma im je blízka. Avšak to, že respondenti majú správne predstavy o jednom pojme (napr. biotechnológia), neznamená, že správne uvažujú o genetickom inžinierstve alebo klonovaní. Veľmi často sú tieto pojmy respondentmi striktne oddelené ako navzájom nesúvisiace. Pri konceptuálnej zmene je nutné, aby novo predložený koncept bol zrozumiteľný (*intelligible*), hodnoverný (priateľný; *plausible*) a/alebo prínosný (plodný; *fruitful*) (Duit & Treagust, 2003). Pokiaľ nový koncept spĺňa tieto podmienky, je pravdepodobné, že konceptuálna zmena nastane. „Vyučovanie je chápané ako vytváranie didaktických situácií, v ktorých sa žiakom dostáva príležitosť (re)konštruovať – vytvárať, modifikovať, zdokonaľovať – svoje doterajšie znalosti“ (Janík, 2009, s. 653). Preto je potrebné zaradiť aspoň nejaké základné informácie o tomto fenoméne napríklad do školských osnov. Medzi danými novými konceptami však môže nastať rivalita/konflikt (Duit & Treagust, 2003). Toulmin (1972 v Posner et al., 1982; Duit & Treagust, 2003) tento stav nazýva „konceptuálna ekológia“ (*conceptual ecology*), čo je súbor žiackych epistemologických presvedčení, ktoré sprostredkujú/riadia proces konceptuálnej zmeny. U žiaka dochádza k porovnávaniu zrozumiteľnosti, hodnovernosti a prínosu nových konceptov a následne prichádza k rozhodnutiu, či novým konceptom nahradí celý svoj aktuálny koncept alebo len jeho časť. Učiteľ by mal pomáhať žiakovi vidieť zmysel v obsahu a psychodidakticky im ho priblížiť. Fenomén moderných biotechnológií je v mnohých oblastiach veľmi diskutabilný a vzbudzuje v žiakoch veľa otázok. Dotýka sa aj emocionálnej stránky, ktorá hrá veľkú úlohu pri akceptovaní predloženej informácie žiakovi. Existujú však presvedčivé dôkazy, že explicitné vyučovanie biotechnologických obsahov zlepšuje akceptáciu, porozumenie a znižuje neistotu v danej oblasti (Maes et al., 2018). V oblasti biotechnologického vzdelávania je veľmi dôležité zistiť a hlavne pochopiť prekoncepty a miskoncepty študentov. Výuka, ktorá vedie ku konceptuálnej zmene u žiaka by mala byť zameraná na vytváranie situácií, problémov alebo aktivít, ktoré vyvolajú u žiakov kognitívne konflikty. Prispôsobenie výučby na základe porozumenia žiackych myšlienok je obzvlášť dôležité v prírodovedných disciplínach (Witzig et al., 2013; Suryanti et al., 2018). Organizácia výučby by taktiež nemala zabúdať na odhaľovanie „obranných opatrení“ žiakov, ktoré im bránia v prijatí nového konceptu (Posner et al., 1982). Čím viac bude žiak nespokojný s jeho aktuálnym konceptom, tým pravdepodobnejšie môže dôjsť k nahradeniu jeho aktuálneho konceptu novým konceptom (Posner et al., 1982; Duit & Treagust, 2003).

Jedným zo spôsobov, ktorý je využívaný na štruktúraciu učebného prostredia, ktoré podporuje aktívne učenie, zmysluplné vyučovanie a umožňuje študentom revidovať miskoncepty a konštruovať nové – správne porozumenie, je Model didaktickej rekonštrukcie (*The Model of Educational Reconstruction*; Kattmann et al., 1997; Jelemenská et al., 2003; Van Dijk & Kattmann, 2007; Kattmann, 2009; Duit et al., 2012; Slavík et al., 2007). Tento model je založený práve na Teórii konceptuálnej zmeny a poskytuje pedagogický rámec pre dosiahnutie konceptuálnej zmeny u študentov. Kladie dôraz na vytváranie učebných materiálov a aktivít, ktoré sú zamerané na podporu konceptuálnej zmeny. Prekoncepty žiakov nie sú v danom modeli chápané ako prekážky, ale ako predpoklady pre učenie, ktoré vychádzajú z každodenných skúseností žiakov. Prekonceptom je potrebné najskôr porozumieť, aby bolo následne možné na ne nadviazať. Zatiaľ čo transformácia obsahu je zameraná na prechody (transformačné prechody) obsahu medzi objektívnou – intersubjektívnou – subjektívnou realitou, v ktorých musí byť zachovaný význam a zmysel obsahu, rekonštrukcia následne znamená daný obsah rekonštruovať tak, aby bol prínosný pre kvalitu učebného prostredia. Transformácia obsahu nesie svoj pôvod v kontexte transmisívnej výučby a rekonštrukcia obsahu v konštruktivistickom poňatí výučby (Slavík et al., 2017).

Model teda v sebe zahŕňa tri dôležité oblasti a) výskum žiackych predstáv (*empirical study of students' pre-scientific conceptions*); b) objasnenie oborového obsahu (*clarification of science subject matter*); c) štruktúraciu učebného prostredia (*design and evaluation of learning environment*) (Kattmann et al., 1997; Kattmann, 2009; Duit et al., 2012). Výskum žiackych predstáv v sebe zahŕňa štúdium žiackeho pred-

inštruktážneho porozumenia (prekoncepty, prípadne miskoncepty), kedy je potrebné porozumieť chápaniu žiakov, ktoré je využívané v procese učenia (Duit et al., 2012; Jáč et al., 2019). Objasnenie oborových predstáv zdôrazňuje kľúčové oborové poznatky (vedecký obsah) v snahe rekonštruovať obsah príslušného vedného oboru, ktorý je potrebný elementarizovať pre potreby školskej praxe (Kattmann et al., 1997; Kattmann, 2009; Duit et al., 2012; Jáč et al., 2019). Štruktúrácia učebného prostredia tvorí výsledok objasnenia žiackych a oborových predstáv. Obsah je teda rekonštruovaný pre potrebu školskej výučby. Výučba, ktorá je založená na modely didaktickej rekonštrukcie, by tak mala smerovať k rekonštrukcií žiackych predstáv (*conceptual reconstruction*) (Kattmann et al., 1997; Kattmann, 2009; Duit et al., 2012; Jáč et al., 2019).

Dôležitým aspektom modelu je jeho rekurzívny charakter, kedy sa všetky tri oblasti navzájom podmieňujú a podporujú. Prácu so žiackymi predstavami môžu ovplyvniť výskumy oborových predstáv a znalosti žiackych predstáv môžu ovplyvniť pochopenie oborových obsahov (Kattmann, 2009; Jáč et al., 2019). Dieťa si na základe svojich skúseností, rozumových schopností a možností vytvára predstavu, ktorá vychádza zo spojenia viacerých prekonceptov. V priebehu výučby žiacke prekoncepty prichádzajú do kontaktu s novými informáciami a ideami a pod ich vplyvom prichádza k ich modifikácií. Ak informácie o danej problematike dávajú zmysel, môže to dieťaťu taktiež pomáhať pri riešení úloh (Posner et al., 1982; Haverlíková, 2013). Pre žiakov je však dôležité aj ak ich prekoncepty sú funkčné a využiteľné v praxi (Ozgur, 2013). Žiak postupne získava nové informácie a poznatky, ktoré sú pokročilejšie než jeho pôvodné prekoncepty. Postupne sa od týchto prekonceptov upúšťa a nahradzuje ich vo svojich vedomostných štruktúrach vedeckými konceptmi (Held et al., 2011). Tento prístup preklenuje priepasť medzi predchádzajúcimi vedomosťami študentov a vedeckými koncepciami a podporuje novú generáciu informovaných a inovatívnych myslí v tejto dynamickej oblasti.

## 8 Záver

Prehľadová štúdia poskytuje komplexné hodnotenie výskumu primárnych vedomostí respondentov o biotechnológiách (VO1). Vzhľadom na súčasnú kontroverznosť témy biotechnológie je nevyhnutné pristupovať k informáciám kriticky a zvažovať ich pravdivosť, najmä s ohľadom na rôzne médiá. Na kritické myslenie, diskusiu a vytvorenie vlastného názoru je nevyhnutné mať dostatočné vedomosti o danej téme. Etické a morálne aspekty biotechnológií, ako napríklad genetické inžinierstvo, sú v tejto oblasti podstatnou premennou. Preto sa väčšina skúmaných výskumov zameriava na kombináciu vedomostí a postojov respondentov. Problematická oblasť biotechnológií sa dotýka všetkých úrovní spoločnosti a vyžaduje si pozornosť nielen na základných, stredných a vysokých školách, ale aj u učiteľov (VO2). Najčastejšou metódou zberu údajov je použitie samostatného výskumného nástroja vo forme testu alebo v kombinácii s rozhovorom (VO3). Výsledky štvrtej výskumnej otázky (VO4) ukazujú, že respondenti majú vo všeobecnosti nedostatočné vedomosti o biotechnológiách. Často chýba komplexné pochopenie problematiky, čo otvára priestor pre ďalší výskum a prácu na zlepšenie pochopenia problematiky, najmä v kontexte podpory konštruktívnej diskusie. Nedostatok vedomostí a pochopenia v oblasti genetického inžinierstva sa odráža aj v nedostatočnej schopnosti obhájiť vlastný postoj k tejto téme. Obmedzenia a odporúčania (VO5), ktoré vyplynuli z uskutočneného výskumu, sa zameriavajú najmä na začlenenie témy biotechnológií do národných učebných osnov, zabezpečenie ďalšieho vzdelávania pedagógov a zvýšenie informovanosti o tejto problematike v triedach. Učitelia musia vypracovať stratégie na odstránenie nesprávnych predstáv a mylných názorov žiakov a študentov. Je nevyhnutné pochopiť ich názory a pracovať s týmito poznatkami. Identifikovaním prekážok v mysliach žiakov a študentov môžeme vytvoriť ciele a účinné vyučovacie stratégie, ktoré podporia proces konceptuálnej zmeny.

## Podakovanie

Podakovanie patrí RNDr. Martinovi Jáčovi, Ph.D., za podporu a poskytnuté rady počas výskumu a spracovania rukopisu.

## Podpora výskumu

Výskum je podporený z Grantového fondu dekana Pedagogickej fakulty Univerzity Palackého v Olomouci pod číslom GFD\_PdF\_2023\_06.

## Literatúra

- Acarli, D. S. (2016). Determining prospective biology teachers' cognitive structure in terms of "Biotechnology". *Journal of Baltic Science Education*, 15(4), 494–505. <https://doi.org/10.33225/jbse/16.15.494>
- Alanazi, F. H. (2021). Saudi students' and science teachers' knowledge of and attitudes towards biotechnology. *Journal of Biological Education*, 57(1), 196–213. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1884584>
- Anderton, B. N., & Ronald, P. C. (2018). Hybrid thematic analysis reveals themes for assessing student understanding of biotechnology. *Journal of Biological Education*, 52(3), 271–282. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1338599>
- Atmojo, I. R. W., Sajidan, S., Sunarno, W., Ashadi, A., & Nugraha, D. A. (2018). The profiles of pre-service elementary teachers (PETs) in biotechnology using RCB. In D. Suparmi & D. A. Nugraha (Eds.), *International Conference on Science and Applied Science*, 2014(1). <https://doi.org/10.1063/1.5054467>
- Bal, Ş., Samancı, N. K., & Bozkurt, O. (2007). University students' knowledge and attitude about genetic engineering. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(2), 119–126. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75383>
- Bigler, A. M., & Hanegan, N. L. (2011). Student content knowledge increases after participation in a hands-on biotechnology intervention. *J Sci Educ Technol*, 20, 246–257. <https://doi.org/10.1007/s10956-010-9250-7>
- Casanoves, M., González, Á., Salvadó, Z., Haro, J., & Novo, M. (2015). Knowledge and attitudes towards biotechnology of elementary education preservice teachers: the first Spanish experience. *International Journal of Science Education*, 37(17), 2923–2941. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1116718>
- Cavanagh, H., Hood, J., & Wilkinson, J. (2005). Riverina high school students views of biotechnology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 8(2), 1–7.
- Clark, D. P., & Pazdernik, N. J. (2012). *Biotechnology*. Elsevier.
- Clement, J., Brown, D. E., & Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: Finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education*, 11(5), 554–565. <https://doi.org/10.1080/0950069890110507>
- Črne-Hladnik, H., Hladnik, A., Javornik, B., Košmelj, K., & Peklaj, C. (2012). Is judgement of biotechnological ethical aspects related to high school students' knowledge? *International Journal of Science Education*, 34(8), 1277–1296. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.572264>
- Dawson, V. (2007). An exploration of high school (12–17 year old) students' understandings of, and attitudes towards biotechnology processes. *Research in Science Education*, 37(1), 59–73. <https://doi.org/10.1007/s11165-006-9016-7>
- Dawson, V., & Schibeci, R. (2003). Western Australian school students' understanding of biotechnology. *International Journal of Science Education*, 25(1), 57–69. <https://doi.org/10.1080/09500690210126720>
- Dawson, V., & Soames, C. (2006). The effect of biotechnology education on Australian high school students' understandings and attitudes about biotechnology processes. *Research in Science & Technological Education*, 24(2), 183–198. <https://doi.org/10.1080/02635140600811569>
- Drobník, J. (2008). *Biotechnologie a společnost*. Karolinum.
- Duda, H. J., Wahyuni, F. R. E., & Setyawan, A. E. (2020a). Misconception of the biology education students on the concepts of fermentation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(4), p. 042006. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/4/042006>
- Duda, H. J., Wahyuni, F., & Setyawan, A. E. (2020b). Plant biotechnology: Studying the misconception of biology education students. In B. Purnama (Ed.), *International Conference on Science and Applied Science*, 2296(1). <https://doi.org/10.1063/5.0030449>
- Duda, H. J., Wibowo, D. C., Wahyuni, F. R. E., Setyawan, A. E., & Subekti, M. R. (2021). Examines the misconceptions of students biology education: health biotechnology. *Pedagogika*, 142(2), 182–199. <https://doi.org/10.15823/p.2021.142.10>
- Duit, R., Gropengiesser, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction — A framework for improving teaching and learning science. In D. Jorde & J. Dillon (Eds.), *Science education research and practice in Europe* (pp. 13–37). SensePublishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2)
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- Erdoğan, M., Özel, M., BouJaoude, S., Lamanauskas, V., Uşak, M., & Prokop, P. (2012). Assessment of preservice teachers' knowledge and attitudes regarding biotechnology: Across-cultural comparison. *Journal of Baltic Science Education*, 11(1), 78–93. <https://doi.org/10.33225/jbse/12.11.78>

- Fonseca, M. J., Costa, P., Lencastre, L., & Tavares, F. (2012a). Disclosing biology teachers' beliefs about biotechnology and biotechnology education. *Teaching and Teacher Education*, 28(3), 368–381. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2011.11.007>
- Fonseca, M. J., Costa, P., Lencastre, L., & Tavares, F. (2012b). Multidimensional analysis of high-school students' perceptions about biotechnology. *Journal of Biological Education*, 46(3), 129–139. <https://doi.org/10.1080/00219266.2011.634019>
- Gurel, D. K., Eryilmaz, A., & McDermott, L. C. (2015). A review and comparison of diagnostic instruments to identify students' misconceptions in science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(5), 988–1008. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1369a>
- Harms, U. (2002). Biotechnology education in schools. *Electronic Journal of Biotechnology*, 5(3), 5–6.
- Hasan, S., Bagayoko, D., & Kelley, E. L. (1999). Misconceptions and the certainty of response index (CRI). *Physics Education*, 34(5), 294–299. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/34/5/304>
- Haverlíková, V. (2013). *Alternatívne predstavy žiakov vo fyzikálnom poznávaní*. FMFI UK.
- Held, L., Žoldošová, K., Orolínová, M., Juricová, I., & Kotuľáková, K. (2011). *Výskumne ladená koncepcia prírodovedného vzdelávania (IBSE v slovenskom kontexte)*. Typi Universitatis Tyrnaviensis.
- Hewson, P. W. (1992). Conceptual change in science teaching and teacher education [Paper presentation]. Research and Curriculum Development in Science Teaching, under the auspices of the National Center for Educational Research, Documentation, and Assessment, Ministry for Education and Science, Madrid, Spain. [https://www.researchgate.net/publication/253300170\\_Conceptual\\_change\\_in\\_science\\_teaching\\_and\\_teacher\\_education](https://www.researchgate.net/publication/253300170_Conceptual_change_in_science_teaching_and_teacher_education)
- Chi, M. T., Slotta, J. D., & De Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and instruction*, 4(1), 27–43. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90017-5)
- Jáč, M., Kopecká, J., Morris, M., & Vránová, O. (2019). *Didaktické kazuistiky výuky prírodopisu a biologie*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Janík, T. (2009). Obecná didaktika. In J. Průcha et al., *Pedagogická encyklopedie* (pp. 169–183). Portál.
- Jelemenská, P., Sander, E., & Kattmann, U. (2003). Model didaktickej rekonštrukcie: Impulz pre výskum v odborových didaktikách. *Pedagogika*, 53(2), 190–201.
- Jiménez-Salas, Z., Campos-Góngora, E., González-Martínez, B. E., Tijerina-Sáenz, A., Escamilla-Méndez, A. D., & Ramírez-López, E. (2017). Basic-education mexican teachers' knowledge of biotechnology and attitudes about the consumption of genetically modified foods. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 45(5), 396–402. <https://doi.org/10.1002/bmb.21058>
- Kattmann, U. (2009). Didaktická rekonstrukce: učiteľské vzdelávaní a reflexe výuky. In T. Janík et al., *Možnosti rozvíjení didaktických znalostí obsahu u budoucích učitelů* (pp. 17–32). Paido.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Kidman, G. (2010). What is an 'interesting curriculum' for biotechnology education? Students and teachers opposing views. *Research in Science Education*, 40, 353–373. <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9125-1>
- Kireš, M., Ješková, Z., Ganajová, M., & Kimáková, K. (2016). *Bádatelské aktivity v prírodovednom vzdelávaní. Časť B*. Štátny pedagogický ústav.
- Kooffreh, M. E., Ikpeme, E. V., & Mgbado, T. I. (2021). Knowledge, perception, and interest regarding biotechnology among secondary school students in Calabar, Cross River State, Nigeria. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 49(4), 664–668. <https://doi.org/10.1002/bmb.21507>
- Lamauskas, V., & Makarskaitė-Petkevičienė, R. (2008). Lithuanian university students' knowledge of biotechnology and their attitudes to the taught subject. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 4(3), 269–277. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75349>
- Lopez, R. C., & Carrau, J. G. (2002). *The GMO Regulation in the EU and the Commercial Conflict with the United States* [Paper presentation]. EAAE Congress 'Exploring Diversity in the European Agri-Food System', Zaragoza, Spain.
- Maes, J., Bourgonjon, J., Gheysen, G., & Valcke, M. (2018). Variables affecting secondary school students' willingness to eat genetically modified food crops. *Research in Science education*, 48(3), 597–618. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9580-4>
- Mandíková, D., & Trna, J. (2011). *Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky*. Paido.
- Meerah, T. S. M., Harail, M. F. A., & Halim, L. (2012). Malaysian secondary school students' knowledge and attitudes towards biotechnology. *Journal of Baltic Science Education*, 11(2), 153–163. <https://doi.org/10.33225/jbse/12.11.153>

- Mohapatra, A. K., Priyadarshini, D., & Biswas, A. (2010). Genetically modified food: Knowledge and attitude of teachers and students. *Journal of Science Education and Technology*, 19, 489–497. <https://doi.org/10.1007/s10956-010-9215-x>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The PRISMA Group (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLOS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Mollett, J., & Cameron, A. (2016). Making a case for epistemological access in biotechnology education in Southern Africa. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 20(3), 234–243. <https://doi.org/10.1080/18117295.2016.1222118>
- Nussbaum, J., & Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional science*, 11, 183–200. <https://doi.org/10.1007/BF00414279>
- Nakleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191–196. <https://doi.org/10.1021/ed069p191>
- OECD (2012). *OECD Factbook 2013: Economic, Environmental and Social Statistics*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/factbook-2013-en>
- Özel, M., Erdogan, M., Usak, M., & Prokop, P. (2009). High school students' knowledge and attitudes regarding biotechnology applications. *Kuram Ve Uygulamada Egitim Bilimleri*, 9(1), 321–328. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/high-school-students-knowledge-attitudes/docview/236990425/se-2>
- Ozgur, S. (2013). The persistence of misconceptions about the human blood circulatory system among students in different grade levels. *International Journal of Environmental and Science Education*, 8(2), 255–268. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1008604.pdf>
- Paš, M., Vogrinc, J., Raspor, P., Udovč Knežević, N., & Čehovin Zajc, J. (2019). Biotechnology learning in Slovenian upper-secondary education: Gaining knowledge and forming attitudes. *Research in Science & Technological Education*, 37(1), 110–125. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1491473>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Prokop, P., Lešková, A., Kubiátko, M., & Diran, C. (2007). Slovakian students' knowledge of and attitudes toward biotechnology. *International Journal of Science Education*, 29(7), 895–907. <https://doi.org/10.1080/09500690600969830>
- Samani, M. C., Amin, L., & Rezali, N. I. (2011). Using media to educate public on biotechnology. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 15, 2360–2364. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.04.108>
- Slavík, J., Janík, T., Najvar, P., & Knecht, P. (2017). *Transdisciplinárny didaktika: o učiteľskom sdílení znalostí a zvyšovaní kvality výuky naprieč oborami*. Masarykova univerzita.
- Smith, C. A., Haynes, K. N., Lazarus, R. S., & Pope, L. K. (1993). Search of the “hot” cognitions: attributions, appraisals, and their relation to emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 65(5), 916–929. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.65.5.916>
- Sneider, C. I., & Ohadi, M. M. (1998). Unraveling students' misconceptions about the earth's shape and gravity. *Science Education*, 82(2), 265–284. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199804\)82:2%3C265::AID-SCE8%3E3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199804)82:2%3C265::AID-SCE8%3E3.0.CO;2-C)
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1982). Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education*, 4(3), 231–240. <https://doi.org/10.1080/0140528820040302>
- Suryanti, D., Sinaga, P., & Surakusumah, W. (2018). Improvement of students' environmental literacy by using integrated science teaching materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 306(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/306/1/012031>
- Šorgo, A., & Ambrožič-Dolinšek, J. (2010). Knowledge of, attitudes toward, and acceptance of genetically modified organisms among prospective teachers of biology, home economics, and grade school in Slovenia. *Biochemistry and molecular biology education*, 38(3), 141–150. <https://doi.org/10.1002/bmb.20377>
- Tekkaya, C. (2002). Misconceptions as barrier to understanding biology. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 23(23), 259–266.
- Trowbridge, J. E., & Wandersee, J. H. (1994). Identifying critical junctures in learning in a college course on evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), 459–473. <https://doi.org/10.1002/tea.3660310504>
- Usak, M., Erdogan, M., Prokop, P., & Ozel, M. (2009). High school and university students' knowledge and attitudes regarding biotechnology: A Turkish experience. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 37(2), 123–130. <https://doi.org/10.1002/bmb.20267>

- Van Dijk, E. M., & Kattmann, U. (2007). A research model for the study of science teachers' PCK and improving teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 23(6), 885–897. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2006.05.002>
- Van Lieshout, E., & Dawson, V. (2016). Knowledge of, and attitudes towards health-related biotechnology applications amongst Australian year 10 high school students. *Journal of Biological Education*, 50(3), 329–344. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1117511>
- Veličković, V., Jović, M., Nalić, E., Višnjić, A., Radulović, O., Šagrić, Č., & Ćirić, M. (2015). Knowledge, attitudes toward, and acceptability of genetic modification among Western Balkan University students of life sciences (AGREE Study). *Journal of the American college of Nutrition*, 35(2), 150–162. <https://doi.org/10.1080/07315724.2014.1003115>
- Vlčková, J., Kubiátko, M., & Usak, M. (2016). Czech high school students' misconceptions about basic genetic concepts: Preliminary results. *Journal of Baltic Science Education*, 15(6), 738–746. <https://doi.org/10.33225/jbse/16.15.738>
- Walker, J. T. (2021). Middle school student knowledge of and attitudes toward synthetic biology. *Journal of Science Education and Technology*, 30(6), 791–802. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09919-y>
- Welsler, J. R. (1991). An industrial perspective on biotechnology issues. *Food Technology*, 45(4), 102–109.
- Wisch, J. K., Farrell, E., Siegel, M., & Freyermuth, S. (2018). Misconceptions and persistence: Resources for targeting student alternative conceptions in biotechnology. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 46(6), 602–611. <https://doi.org/10.1002/bmb.21176>
- Witzig, S. B., Freyermuth, S. K., Siegel, M. A., Izci, K., & Pires, J. C. (2013). Is DNA alive? A study of conceptual change through targeted instruction. *Research in Science Education*, 43(4), 1361–1375. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9311-4>
- Witzig, S. B., Rebello, C. M., Siegel, M. A., Freyermuth, S. K., Izci, K., & McClure, B. (2014). Building the BIKE: Development and testing of the biotechnology instrument for knowledge elicitation (BIKE). *Research in Science Education*, 44, 675–698. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9398-x>

## Príloha 1

Súpis analyzovaných výskumov v programe MS Excel vzhľadom na prvé 3 výskumne otázky prehľadovej štúdie. Boli sledované ciele výskumov primárne zaoberajúce sa znalosťami, ktoré sú najčastejšie spájané s postojovou zložkou respondentov; respondenti a využité metódy. V prvom stĺpci tabuľky je vypísaná oblasť v ktorej boli výskumy realizované.



Krajina výskumu	CIEĽ		RESPONDENTI		METÓDY		
	Znalosti	Postoje	Ziaci/študenti na ZS/SS	Učítelia na ZS/SS	Testy (napr. konceptové, viduálne, skupinové, ohniskové skupiny)	Rozhovory (napr. indi-viduálne, skupinové, ohniskové skupiny)	Pisomné práce
Nemecko	Harms, 2002						
Austrália	Dawson & Schibeci, 2003	Dawson & Schibeci, 2003	Harms, 2002 Dawson & Schibeci, 2003		Dawson & Schibeci, 2003	Harms, 2002	
Austrália	Cavanagh et al., 2005		Cavanagh et al., 2005				
Austrália	Dawson & Soames, 2006	Dawson & Soames, 2006	Dawson & Soames, 2006		Dawson & Soames, 2006	Dawson & Soames, 2006	
Turecko	Bal et al., 2007	Bal et al., 2007	Bal et al., 2007				
Austrália	Dawson, 2007		Dawson, 2007				
Slovensko	Prokop et al., 2007	Prokop et al., 2007	Prokop et al., 2007		Prokop et al., 2007 (BKQ)	Dawson, 2007	Dawson, 2007
Litva	Lamanauskas & Makarskaite-Petkeviciene, 2008	Lamanauskas & Makarskaite-Petkeviciene, 2008			Lamanauskas & Makarskaite-Petkeviciene, 2008		
Turecko	Özel et al., 2009	Özel et al., 2009	Özel et al., 2009		Özel et al., 2009 (BKQ)		
Turecko	Usak et al., 2009	Usak et al., 2009	Usak et al., 2009		Usak et al., 2009 (BKQ)		
India	Mohapatra et al., 2010	Mohapatra et al., 2010	Mohapatra et al., 2010		Mohapatra et al., 2010		
Slovensko	Sorgo & Ambrožič-Dolinšek, 2010	Sorgo & Ambrožič-Dolinšek, 2010			Sorgo & Ambrožič-Dolinšek, 2010		
USA	Bigler & Hanegan, 2011	Bigler & Hanegan, 2011	Bigler & Hanegan, 2011		Bigler & Hanegan, 2011	Bigler & Hanegan, 2011	
Libanon, Slovensko, Litva,	Erdogan et al., 2012	Erdogan et al., 2012	Erdogan et al., 2012		Erdogan et al., 2012 (BKQ)		
Turecko	Črme-Hladnik et al., 2012	Črme-Hladnik et al., 2012	Črme-Hladnik et al., 2012		Črme-Hladnik et al., 2012		
Slovensko	Fonseca et al., 2012a	Fonseca et al., 2012a			Fonseca et al., 2012a		
Portugalsko	Fonseca et al., 2012b	Fonseca et al., 2012b	Fonseca et al., 2012b		Fonseca et al., 2012b		
Portugalsko	Meerah et al., 2012	Meerah et al., 2012	Meerah et al., 2012		Meerah et al., 2012		
Malajzia							
Španielsko	Casanoves et al., 2015	Casanoves et al., 2015	Casanoves et al., 2015		Casanoves et al., 2015		
Balkan	Velickovic et al., 2015	Velickovic et al., 2015	Velickovic et al., 2015		Velickovic et al., 2015		
Turecko	Acarli, 2016	Acarli, 2016			Acarli, 2016		Acarli, 2016
Afrika	Mollett & Cameron, 2016		Mollett & Cameron, 2016		Mollett & Cameron, 2016	Mollett & Cameron, 2016	
Austrália	Van Lieshout & Dawson, 2016	Van Lieshout & Dawson, 2016	Van Lieshout & Dawson, 2016		Van Lieshout & Dawson, 2016	Van Lieshout & Dawson, 2016	
USA	Jiménez-Salas et al., 2017	Jiménez-Salas et al., 2017			Jiménez-Salas et al., 2017		
USA	Anderton & Ronald, 2018	Anderton & Ronald, 2018	Anderton & Ronald, 2018		Anderton & Ronald, 2018	Anderton & Ronald, 2018	Anderton & Ronald, 2018
Indonézia	Atmojo et al., 2018	Atmojo et al., 2018	Atmojo et al., 2018		Atmojo et al., 2018	Atmojo et al., 2018	
Belgicko	Maes et al., 2018	Maes et al., 2018	Maes et al., 2018		Maes et al., 2018		
Indonézia	Suryanti et al., 2018	Suryanti et al., 2018	Suryanti et al., 2018		Suryanti et al., 2018		
USA	Wisch et al., 2018	Wisch et al., 2018	Wisch et al., 2018		Wisch et al., 2018 (BIKE)		
Slovensko	Paš et al., 2019	Paš et al., 2019	Paš et al., 2019		Paš et al., 2019		
Indonézia a	Duda et al., 2020a	Duda et al., 2020a	Duda et al., 2020a		Duda et al., 2020a	Duda et al., 2020a	Duda et al., 2020a
Indonézia b	Duda et al., 2020b	Duda et al., 2020b	Duda et al., 2020b		Duda et al., 2020b	Duda et al., 2020b	Duda et al., 2020b
Indonézia	Duda et al., 2021	Duda et al., 2021	Duda et al., 2021		Duda et al., 2021	Duda et al., 2021	Duda et al., 2021
Saudská Arábia	Alanazi, 2021	Alanazi, 2021	Alanazi, 2021		Alanazi, 2021	Alanazi, 2021	Alanazi, 2021
Nigéria	Kooffreh et al., 2021	Kooffreh et al., 2021	Kooffreh et al., 2021		Kooffreh et al., 2021	Kooffreh et al., 2021	Kooffreh et al., 2021
USA	Walker, 2021	Walker, 2021	Walker, 2021		Walker, 2021	Walker, 2021	Walker, 2021