



Transformace obsahu ve třídě: vliv detailů výuky na žákovské porozumění strukturu vědecké znalosti

JIŘÍ KOHOUT, VÁCLAV STACKE, MARKÉTA KUBERSKÁ,
PETRA KONEČNÁ, PAVEL MASOPUST, VĚRA FERDIÁNOVÁ,
PAVEL MENTLÍK, JAN SLAVÍK

Abstrakt: *Cílem studie je v kontextu historického vývoje didaktiky analyticky vysvětlit teoretický konstrukt transformace obsahu včetně struktury jeho podpojmů, zdůvodnit jeho operacionalizaci pro výzkum vztahů mezi vyučováním a učením prostřednictvím sémanticko-logických sítí (S-L sítí) a demonstrovat aplikační potenciál tohoto přístupu replikací ve výuce fyziky, geografie a matematiky. Cílem výzkumu bylo popsat a vysvětlit důvody, které způsobily potíže žáků v porozumění vědeckým schémátům během transformací obsahu ve třídě.*

Metody: *Pro analýzu vztahů mezi vyučováním a učením prostřednictvím vzdělávacího obsahu byla použita modifikovaná metodika 3A rozšířená o kognitivní vrstvu. Metodologickým východiskem analýzy je komparace S-L sítí tří základních dimenzí obsahové transformace: vědecké schéma, tematizace vědeckého obsahu ve vzdělávacím prostředí a reprezentace mentálních schémat žáků při řešení problémů.*

Výsledky: *Teoretické konstrukty a jejich metodologická operacionalizace byly ověřeny replikací ve vzdělávacích oborech fyzika, geografie a matematika. V každém z těchto oborů umožnily vysvětlovat vliv detailů výuky na změny ve struktuře žákovské znalosti s ohledem na specifický obsah daného oboru.*

Závěry: *Prokázalo se, že i detailní momenty S-L struktury, v praxi obtížně zachytitelné, mohou mít silný vliv na žákovské porozumění struktuře vědecké znalosti. Přitom byly úspěšně replikovány teoretické a metodologické konstrukty. Získané poznatky mohou sloužit k bezprostřední podpoře vzdělávací praxe v příslušných oblastech učiva.*

Klíčová slova: *transformace obsahu, sémanticko-logická síť, detaily výuky, hloubková struktura výuky, mocné znalosti*



1. ÚVOD

Transformace obsahu je koncept odvozený z pomyslné vzdálenosti mezi obsahem žákovské zkušenosti a obsahem poznání v kulturních oborech. Proto má být kulturní obsah transformován, aby mohl být žákům přiblížen (srov. Dewey, 1902/1990; Young, 2007, 2008). To je klíčový vzdělávací úkol jak pro tvůrce kurikulárního programu, tak pro učitele (Gericke et al., 2018; Deng, 2021). V evropských studiích o vzdělávání má tato myšlenka dlouhou tradici a z různých hledisek se jí věnuje více přístupů (Bernstein, 1971, 1990, 1999; Schwab, 1973; Chevallard, 1985; Duit et al., 2012; Gericke et al., 2018). Jejich základní funkce je však stejná: objasnit vzdělávací transformace obsahu mezi kulturou a žáky. Deng (2007, 2021) vyložil historii a současné přínosy tohoto přístupu, Deng (2007) a Kansanen (2009) vysvětlili jeho vazby na Shulmanův (1986, 1987) koncept *didaktických znalostí obsahu* (*pedagogical content knowledge*) a Savelliiová (2016) jej aktualizovala pro moderní výuku založenou na technologiích.

Konstruktu *transformace obsahu* zaměřuje pozornost na celý rozsah vzdělávacího zprostředkování obsahu mezi kulturou a jednotlivcem. Proto patří do rámce teorie a výzkumu kurikula (Savelli, 2016; Gericke et al., 2018). Má však též významný epistemologický kontext. Lze jej totiž chápat nejenom transmisivně (jako přiblížení kulturou získaných znalostí běžné lidské zkuše-

nosti), ale též z opačné, konstruktivistické perspektivy: jako rozvíjení lidské zkušenosti směrem ke kulturnímu poznání. Z tohoto syntetického hlediska k transformaci přistupujeme v našem příspěvku.

Ve shodě s Gerickem et al. (2018) a Dengem (2021) tvrdíme, že konstruktu transformace má transdisciplinární povahu. Může přispívat k řešení obecných otázek rozvoje lidského poznání vzděláváním, protože zahrnuje *objektivizační stránku* – intersubjektivně sdílený obsah interpretovaný z reálně existujících jevů (např. skutečnost, že na pravidlech sčítání či násobení se lidé shodují bez ohledu na individuální rozdíly v subjektivním stavu myslí nebo emocí; Kvasz, 2022). Podle citovaných autorů (Gericke et al., 2018; Deng, 2021) proto může být užitečný pro operacionalizaci a rozvoj Youngova konceptu „mocných znalostí“ – *powerful knowledge* (srov. Young, 2007, 2008, 2013, 2015). O něm v *Pedagogice* v návaznosti na Bernsteina pojednal Dvořák (2017). Zde jej zvláště zmiňujeme proto, že náš příspěvek se po obecnějším úvodu zaměří na transformace obsahu přírodních věd a matematiky, které mají nejbližší k Youngově pojetí „mocných znalostí“.

Hodnota a síla mocných znalostí se může během vzdělávacích transformací rozměňovat a oslabovat. K omezení tohoto rizika potřebuje školní praxe teoretickou a výzkumnou podporu (Young, 2008; Gericke et al., 2018; Deng, 2021). Deng (2021,



s. 1669–1670) ji konkretizuje výzvou rozvíjet „modely a rámce, které mohou učitelům poskytnout pokyny a podporu v jejich úsilí analyzovat a otevírat potenciál obsahu, aby žáci získali rozmanité příležitosti ke kultivaci svých sil nebo schopností“. Ve smyslu této výzvy zde nabízíme model obsahové transformace, jehož smyslem je přispět k hlubšímu pochopení transformačního procesu na mikroúrovni školní třídy: při komunikaci v učebním prostředí výuky nebo při řešení učebních úloh žáky. Právě na této mikroúrovni se rozhoduje o úspěchu všech transformačních dimenzí (srov. Buty et al., 2004; Gericke et al., 2018). Proto až do této hloubky by měl být konstrukt transformace vyložen a operacionalizován pro výzkum a jeho praktické aplikace. Odpovídá to Youngovu (2008, s. 14) požadavku prozkoumat „pedagogizaci“ mocných znalostí.

V české pedagogice se badatelské postupy v tomto směru rozvíjejí z pozice tzv. obsahového přístupu k výzkumu vyučování a učení (Slavík & Janík, 2012; Slavík et al., 2017a). Dlouhodobým cílem obsahového přístupu je teoreticky podložit takovou metodologii zkoumání výuky, která umožní analyzovat a hodnotit transformace obsahu na všech úrovních (srov. Slavík et al., 2017a, 2021; Gericke et al., 2018; Deng, 2021). V této stati se zaměřujeme na transformace obsahu ve školní třídě se zvláštním ohledem na detaily výuky. Detaily výuky jsou ty momenty v učebním prostředí výuky, které ne-

sou dílčí informací o struktuře vědecké znalosti a mají potenciál ovlivnit kvalitu žákovského učení a porozumění, ačkoli v průběhu výuky může jejich vliv uniknout učitelské pozornosti. Cílem výzkumu je odhalit jejich působnost a přinést o ní poznatky využitelné pro zvyšování kvality výuky.

Náš přístup je založen na Bernsteinově (1990, 1999) předpokladu, že podmínkou síly vědeckého poznání jsou sémanticky a logicky koherentní struktury jeho obsahu (S-L struktury) zasazené do explanačních rámců vědních disciplín. S-L struktury jsou výsledkem komplexního vývoje a kumulace znalostí během dlouhé kulturní historie, v níž byly rozvíjeny vědecké disciplíny (Young, 2007, 2008). Jsou proto velmi vzdálené přirozené každodenní zkušenosti a nemohou být žákům snadno přístupné. Jak však již dávno poznamenal Dewey (1902/1990), struktury vědeckých disciplín vznikaly ze základů běžné zkušenosti abstrakcemi významů a logickým uspořádáním. Z tohoto důvodu musí existovat bazální epistemické souvislosti mezi obsahovými strukturami běžné zkušenosti a strukturami vědecké znalosti obsahu. Od tohoto základu se odvíjí proces postupných vzdělávacích transformací.

Předpokladem pro zkoumání transformací je definování operačního rámce, v němž je možné identifikovat souvislosti i podstatné rozdíly mezi běžnými zkušenostmi a vědeckými poznatky. K tomu nám slouží často



užívaný a diskutovaný konstrukt *schéma* (Bartlett, 1932; Goodman, 1968; Prawat, 1996; Ghosh & Gilboa, 2014; Boutyline & Soter, 2021). Schéma, intersubjektivně ukotvené ve svém kulturním kontextu, definuje hranice rozsahu S-L struktury v ohnisku transformace a určuje identitu transformovaného obsahu. Jedná se tedy o klíčovou analytickou jednotku pro přiřazování a řetězení různých stavů transformace obsahu mezi vědou, kurikulárním programem, výukou a učením. Schéma obsažené ve zkušenosti jedince se obvykle označuje jako *mentální schéma* (srov. Rumelhart & Norman, 1981; Thevenot, 2017; Slavík et al., 2017a). Vztah mezi intersubjektivně sdílenými schématy v diskurzu vědy a mentálním schématem žáků je klíčovým vztahem pro vyučování a učení.

To jsou předpoklady pro teoretickou interpretaci našeho modelu obsahové transformace. Aplikaci tohoto teoreticko-metodologického rámce ilustrujeme na příkladu výzkumu ve školních předmětech fyzika, zeměpis a matematika. V něm podrobně analyzujeme vliv výuky na transformace mentálních schémat žáků reprezentovaných způsobem řešení učebních úloh. Prostřednictvím mikroanalýzy učebního prostředí, postupů řešení žáků a rozhovorů se žáky a učiteli se snažíme objasnit problémy, které komplikují rozvoj mentálních schémat a brání žákům v hlubším pochopení vědeckého obsahu.

2. TEORETICKÁ VÝCHODISKA

Duit et al. (2012, s. 16) stručně charakterizují pohyb obsahu mezi vědou a zkušeností žáků jako „analytický proces [...] transformace lidského poznání (kulturního dědictví), stejně jako znalostí specifických pro danou oblast, do znalostí pro vzdělávání, které přispívají k formování (*Bildung*) mladých lidí“. Savelliová (2016, s. 100) specifikuje tři základní aspekty tohoto procesu, které jsou předmětem zkoumání v tradici evropských didaktických studií:

- I. zprostředkování – *mediace* – obsahu v celém rozsahu lidské kultury;
- II. vnější transformace z kultury do kurikulárního programu;
- III. vnitřní transformace v učebním prostředí výuky.

V českém prostředí se pro tyto aspekty vžila pojmenování *ontodidaktická transformace* (II), *psychodidaktická transformace* (III), *kognitivní transformace* (III) (Slavík et al., 2017a; Janík, 2018). Pro I tedy užíváme pojem *mediace* a III je rozlišeno do dvou pojmů. Rozlišením psychodidaktické a kognitivní transformace je posílen ohled k osobní epistemologii žáků. To má teoretické a metodologické důsledky pro výuku i výzkum učení. O nich pojednáme v následujících oddílech tohoto textu. Návaznost mezi kroky transformační řady bude vysvětlena konceptem *duální mediace obsahu* a zachování identity vědecké znalosti obsahu během vzdělávacích transformací bude



vysvětleno prostřednictvím konceptu *izomorfismus*.

2.1 Duální mediace je založená na transformaci obsahu

Slovo *obsah* znamená, že něco existuje v něčem nebo prostřednictvím něčeho. Pojem „obsah“ se tedy vztahuje na vše, co považujeme za potenciálně určitelné, aniž bychom to přímo specifikovali, např. obsah zkušenosti, obsah pojmu, obsah obrazu, znalost obsahu. Obsah je potencialita, která může být objasněna určením významu, konceptualizací.¹ Příkladem je odpověď na otázky „O čem přemýšlíš?“, „Co vidíš?“ nebo „Co děláš?“ vyžadující konceptualizaci nebo názornou prezentaci obsahu zkušenosti. Tím se nabízí východisko pro dynamické a otevřené chápání vzdělávacího obsahu, které poskytuje podporu kreativnímu přístupu k vyučování a učení.

Aktuální vědomý stav individuální zkušenosti charakterizovaný určitým obsahem se nazývá *intencionální stav* (Searle, 2004; Jacob, 2019).² Intencionální stav může být exteriorizován: reprezentován slovy nebo jinými symbolickými výrazy (kresbami, gesty)

a posuzován podle věrohodnosti jeho reprezentace za daných okolností, typicky při hodnocení ve školní třídě.

Obsah zkušenosti v intencionálním stavu může být mezi lidmi sdílen *mediací*. Mediace kulturního obsahu, jak vysvětlil Vygotsky (1978), je duální: je prováděna lidmi, ale nemůže být realizována bez instrumentů, které se každý kulturní novic musí naučit používat, aby se mohl integrovat do kultury a rozvíjet se v ní. Kulturní instrumenty uchovávají obsah zkušenosti v materiální podobě, takže je možné se k ní opakovaně vracet a rozpracovávat ji, nebo ji sdílet mezi lidmi prostřednictvím reprezentace a konceptualizace (Kvasz, 2022). Konstrukt *duální mediace* podle Danielse (2015, s. 35) poskytuje sociokulturní model „dynamické souhry mezi diskurzy a jinými artefakty, mentálními reprezentacemi a vzorci neurologické aktivity při formování lidského myšlení“. Prostřednictvím duální mediace se obsah stává „aktivním obsahem“ sociokulturního učení (Fisherman, 2012, s. 164).

Aktivní obsah, vyvinutý ve vědě a dalších specializovaných oblastech, se začleňuje do zkušeností žáků epistemickými operacemi během vyučování

¹ Toto pojetí je blízké Aristotelovu relačnímu chápání substance či materie jako „určitelné neurčitosti“ – jako něčeho, co je předpokladem a možností pro určení, ale samo je neposkytuje (Aristoteles, *Metafyzika*, [1029a], [1042a]; srov. Ainsworth, 2020; Britannica, 2020).

² Například myšlenka, že Caesar překročil Rubikon, že třikrát tři je devět, nebo víra, že existují mimozemšťané, jsou intencionální stavy (Searle, 2004, s. 112–113). Intencionální stav je „o něčem“ (Dennett, 1995, 1996), takže jeho „intencionální reprezentace jsou vždy charakterizovány určitými, a ne jinými aspekty“ (Searle, 2004, s. 117). Jsou tedy (relativně) odlišitelné ($A \neq B$) od všeho ostatního, zaměnitelné ($A = B$, $A \approx B$) se vším ekvivalentním a srovnatelné se vším podobným podle určitého klasifikačního pravidla.



a učení. Ty se promítají do neuronální úrovně a způsobují kognitivní (epistemické, konceptuální) změny (Fisher-
man, 2012; Slavík et al., 2021; srov. Searle, 2004). Přitom se obsah transformuje: prochází různými způsoby své existence mezi kulturními nástroji a zkušeností jednotlivých lidí. Například obsah matematické operace sčítání u prvňáčka se transformuje mezi manipulacemi na prstech, zápisem součtu a přemýšlením o něm.

2.2 Transformace obsahu je založena na izomorfismu

Myšlenka transformace obsahu předpokládá, že obsah X a obsah Y z něj transformovaný jsou modální alternativy existence identického obsahu, takže mohou být řazeny do stejného operačního a hodnotícího rámce. Pojem *obsahová transformace* tedy reprezentuje takové přiřazení mezi různými mody existence obsahu (jevy), pro něž může být zdůvodněna interpretační shoda navzdory mnoha pozorovaným rozdílům. S tím souvisí informační shoda: v příslušném ohledu lze pro tyto jevy učinit stejná rozhodnutí. Pokud jsou například kuličky počítadla nebo prsty (X) interpretovány jako číselné jednotky (Y), pak operace s nimi nesou informaci sčítání a odčítání. Pro tento typ transformace je užíván termín *izomorfismus*³

(Hofstadter, 2012, s. 9, 49; srov. Hestenes, 2006, s. 10).

Faktickou podmínkou izomorfismu je vzájemná korespondence ve struktuře interpretovaného obsahu X a Y: jednotlivé části struktury X korespondují s částmi struktury Y tehdy, když ve svých strukturách hrají ekvivalentní roli (Hofstadter, 2012, s. 71; srov. Hestenes, 2006, s. 9–10). Z toho lze odvodit, že určení izomorfismu vede ke specifikaci *významu*. Například dvě skvrny nakreslené v horní třetině oválu odpovídají očím v lidské tváři a jsou oporou pro ekvivalentní soudy (srov. Wittgenstein, 1953, s. 194). Analogicky znak „+“ ve struktuře zápisu součtu odpovídá akci seskupení.

Specifikace významů v transformaci obsahu závisí na *interpretačním a vysvětlujícím rámci: kontextu*. Například interpretace významů slov v cizojazyčném textu závisí na znalosti příslušného jazyka. Hofstadter (2012, s. 49) v tomto smyslu mluví o *dvouúrovňové korespondenci*. Jednak „vertikální“ korespondence mezi výrazy a významy, jednak „horizontální“ korespondence mezi pravdivými výroky a teorémy v příslušném kontextu. Obě úrovně korespondence jsou od sebe neoddělitelné: interpretace obsahu (významů) může být odvozena pouze z relevantního kontextu, ale tento kontext je konstituován prostřednictvím významů neustále ověřovaných opakovanými

³ Původem z řeckého *morfé* – tvar, podoba nebo podstata – a *izos* – shodný. Užití tohoto termínu pro transformaci v didaktickém smyslu je funkčně obdobné, ale nikoli stejné jako v matematické terminologii.



interpretacemi a interakcí mezi lidmi v běžné kulturní praxi (srov. Bohm, 1987).⁴

Významovou a logickou provázanost obsahových komponent, která je nutnou podmínkou dvouúrovňové korespondence, zde nazýváme *S-L struktura*. S-L struktura vysvětluje vztah mezi *deduktivní, analytickou* stránkou uvažování, a její *induktivní* stránkou, založenou na pozorování a syntetických úsudcích (de Jong, 2010; Slavík et al., 2015). Toto spojení je klíčové pro tvorbu učebních úloh, které efektivně reprezentují S-L struktury oboru.

Ze vzájemné závislosti obou rovin korespondence a z jejich závislosti na běžné praxi odvodíme dva základní typy izomorfismů nezbytné ve vzdělávací praxi: operační izomorfismus a instrumentální izomorfismus (Slavík et al., 2017a, s. 102–106).⁵ Ve vzdělávací praxi je operační a instrumentální izomorfismus nutnou, ale obvykle nezápadnou podmínkou výuky a učení.

Vyniká však, když jeho aplikace narazí na překážky během transformace obsahu. Ty jsou přirozeným průvodcem výuky a učení, protože vyplývají z normativity vzdělávacího procesu určené požadavky kurikula (srov. Scheffler, 1995; Fisherman, 2012). Kurikulum normativně určuje podmínky a meze pro uznání správnosti transformovaného obsahu: které postupy nebo řešení jsou (ještě) přijatelně izomorfní, které nejsou. Z normativity vyplývají tři základní podmínky pro aplikaci izomorfismů ve vzdělávací praxi: *obsahová identita, přírůstek znalostí, rekonstrukce zkušenosti*.

4. Nárok na obsahovou identitu podmiňuje rozhodování o míře volnosti při hodnocení shod a rozdílů mezi vědeckými znalostmi obsahu a jejich transformacemi, a to jak při konstrukci výukových úloh, tak při řešení těchto úloh žákem. Přitom je třeba vzít v úvahu mnoho situačních proměnných: věk žáků, kvalitu jejich předchozích zna-

⁴ Hofstadter (2012, s. 58, 457) uvádí příklad vzájemné závislosti dvou rovin korespondence inspirovaný Fregem: počítání kapek stékajících po okně, když prší. Na úrovni sémantické korespondence v interpretačním kontextu matematiky je kapka jednotkou. Musí také platit logická korespondence pro matematický kontext, tj. pravidla operace sčítání. Tato pravidla však ztrácejí platnost, když se dvě kapky spojí do jedné. To je výzva přehodnotit kontextový rámec pro praktické operace s obsahem – namísto počítání kapek spočítat objem vody v nich. Změna rámce v praxi vede k zásadní změně instrumentů a souvisejících znalostí: kromě tužky a papíru též pipeta a odměrka, spolu se znalostmi fyziky a dovednostmi je používát.

⁵ *Operační izomorfismus* vysvětluje sémantické propojení subjektivní, intersubjektivní a objektivní modality transformovaného obsahu. Například propojení intencionálního stavu vnímání světla subjektem s intersubjektivně sdíleným slovem „světlo“ v určitém jazyce a se skutečně vnímaným světlem Slunce nebo lampy. Operační izomorfismus vychází z možnosti opakovaně přiřadit k témuž pojmu určitý moment zkušenosti, tj. určitý intencionální stav, a shodnout se přitom s druhými lidmi (srov. Strawson, 1966, s. 105–106 aj.) – např. „spočetl jsem dvě a dvě a vyšlo mi čtyři – je to správné?“. *Instrumentální izomorfismus* vysvětluje konsenzus významové shody mezi vnějšími objekty: na jedné straně mezi jevy a jejich symbolickou reprezentací (např. skutečný kůň a slovo „kůň“), na druhé straně mezi různými reprezentacemi identického obsahu (např. synonyma, překlad z jednoho jazyka do druhého nebo matematická rovnice).

lostí, jejich motivaci k učení, specifické vzdělávací potřeby a limity atd.

5. Požadavek na přírůstek znalostí vede učitele k překlenutí rozdílu mezi aktuálním obsahem zkušeností žáků a aktivním obsahem výuky a učení. Fisherman (2012, s. 165–166) s odkazem na Vygotského (1978) charakterizuje dvě podmínky pro přírůstek znalostí: *zvnitřnění* sociálně zprostředkovaných interakcí s obsahem a *zónu nejbližšího vývoje*. Podmínkou přírůstku znalostí je tedy internalizace sociokulturních aktivit s obsahem v zóně nejbližšího vývoje, tj. na takové úrovni obtížnosti, při které může být individuální kognitivní růst stimulován sociokulturním učením.
6. Požadavek na rekonstrukci zkušenosti vede učitele k hodnocení míry a kvality změny zkušenosti žáka aktivním obsahem. Tomuto požadavku odpovídají teorie *konceptuální (epistemické, kognitivní) změny* založené na dvou základních Piagetových kognitivních principech – asimilaci a akomodaci (srov. Vosniadou & Brewer, 1987; Derry, 1996; Dole & Sinatra, 1998).

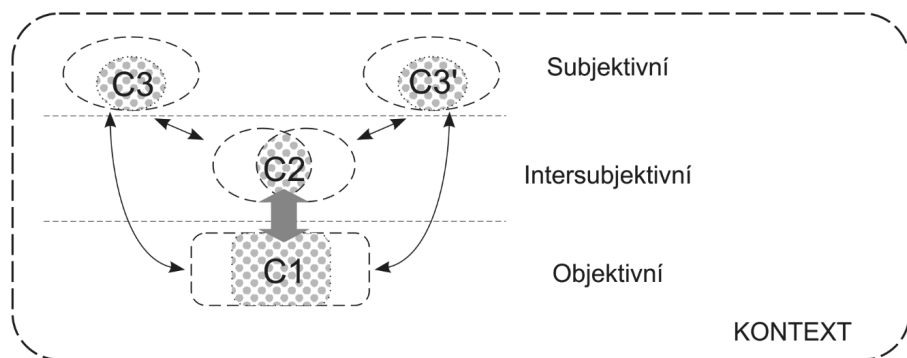
2.3 Mikroanalytický model transformace obsahu

Komplexní model obsahové transformace by měl zahrnovat všechny

transformační úrovně mezi kulturou, výukou a žákovskou myslí. Naším záměrem v tomto příspěvku je zaměřit se pouze na mikrostrategickou úroveň systému, tj. na obsahové transformace ve školní třídě. Tato úroveň je reprezentována mikroanalytickým modelem, který zahrnuje vzdělávací obsah a dva klíčové aktéry: učitele a žáka. Model pochází již od Herbarta (1776–1841) a pod názvem „didaktický trojúhelník“ nebo „pedagogický trojúhelník“ se plodně uplatňuje až do současnosti (srov. Kansanen & Meri, 1999; Kansanen, 2003; Hopmann, 2007; Goodchild & Sriraman, 2012; Gericke et al., 2018).

V současné době je základní podoba tohoto modelu interpretována nebo rozšiřována různými způsoby (Hopmann, 2007; Goodchild & Sriraman, 2012; Ruthven, 2012; Schönfeld, 2012; Stenberg et al., 2014; Gericke et al., 2018). Všechny diskuse a úpravy však zachovávají klíčové prvky: žáka, učitele a vzdělávací obsah. Problém tradičního pojetí tohoto modelu spočívá v tom, že vede k separaci explanačních perspektiv: tzv. *mind-world*, *knowing-doing* nebo *subject-society problem* (srov. Prawat, 1996).⁶ Tato separace znemožňuje teoreticky konzistentní výklad. Proto jsme navrhli alternativní model (Slavík

⁶ Prawat (1996), navazující na Deweyho (1925/1981), nabízí jako sjednocující hledisko *představu*. O představu jako o základní analytickou jednotku obsahové transformace se opírá též koncepce didaktické rekonstrukce Kattmanna a jeho školy (Duit et al., 2012). Jak jsme zdůvodnili jinde (Janík & Slavík, 2009; Slavík et al., 2017a) teoretický problém s jednotící funkcí představy spočívá v časové a místní lokalizaci představy v psychice subjektu. Proto pojem „představa“ (na rozdíl od pojmů „obsah“, „význam“) neposkytuje uspokojivé vysvětlení pro transformace mezi subjektivní, intersubjektivní a objektivní dimenzí existence obsahu.



Obr. 1. Tři základní způsoby existence obsahu v kontextu kultury a přírody (podle Slavík & Janík, 2012; Slavík et al., 2017a; Janík et al., 2020)

& Janík, 2012; Slavík et al., 2017a; Janík et al., 2020). Je založen na jediné explanační perspektivě: obsahové. Vychází z předpokladu, že jak subjektivní držení obsahu, tak jeho intersubjektivní sdílení závisí na objektivní existenci obsahu ve smyslově přístupných jevech. Proto rozlišujeme tři způsoby či dimenze existence obsahu: *subjektivní*, *intersubjektivní*, *objektivní* (Slavík et al., 2017a, 2021; Janík et al., 2020).⁷

Obsah může být uchopen pouze v interakci všech tří dimenzí. V interakci subjektivní, intersubjektivní a objektivní existence je obsah vyjasňován a stává se intersubjektivně přístupným během duální mediace prostřednictvím instrumentálních reprezentací. Instru-

menty zprostředkovávají strukturální jednotky obsahu (významy, koncepty) a tím „překlenují propast mezi individuálními nervovými systémy“ (Bloomfield, 1946, s. 15). Z tohoto interaktivního hlediska mizí separační problém, protože konstituování významů prostřednictvím obsahových transformací probíhá na spojnicích zdánlivých polarit (*mind-world*, *knowing-doing*, *subject-society*) v reálných interakcích mezi lidmi. Vzájemná závislost tří způsobů existence obsahu (označených C1, C2, C3) je znázorněna výše pomocí diagramu (obr. 1; tečkovaná oblast = určitelný obsah, přerušovaná čára = přípustné meze interpretační variability při zachování identity obsahu). Rozdíl mezi

⁷ Subjektivní existence obsahu vyplývá ze skutečnosti, že obsah je vtělen v mozku, uložen v paměti a je přístupný myšlení, představivosti a vyjadřování jednotlivce prostřednictvím internalizovaných kulturních nástrojů. Intersubjektivní existence obsahu je zakotvena v kultuře a jejích specializovaných disciplínách: je uchována v kulturních instrumentech a je zajištěna konsensem a sdílením významů v komunikaci a spolupráci mezi jednotlivci. Objektivní existence obsahu je prezentována v jevech a je předpokladem jeho intersubjektivního uchopení a subjektivní interpretace.

dvěma subjektivními způsoby uchopování obsahu (C3, C3') odpovídá rozdílu mezi učitelem a žákem v klasickém triadickém modelu:

- C1 – objektivní (co je vnímatelné),
- C2 – intersubjektivní (co je vyjádřitelné a srozumitelné pomocí nástrojů),
- C3 – subjektivní (co je myslitelné a představitelné),
- KONTEXT: interpretační a vysvětlující rámec.

V souladu s koncepcí sociálního realismu a jeho inspirátory, jako je Durkheim (srov. Young, 2008; Barrett & Rita, 2014; Dvořák, 2017) považujeme objektivní existenci obsahu (C1) za podmínku reciprocit perspektiv (srov. Schütz, 1953) v sociálním sdílení znalostí (C3 – C2 – C3'). Šipky na obrázku 1 představují transformace obsahu založené na izomorfismech a dvouúrovňové korespondenci. Obousměrná šedá šipka představuje instrumentální izomorfismus mezi fyzickou existencí objektu (C1) a jeho symbolickou reprezentací řečí, písmem nebo zobrazením (C2). Spojnice C3–C1 a C3–C2 představují operační izomorfismus. Intersubjektivní sdílení obsahu je znázorněno průnikem klasifikačních tříd (C2, C1). Ten reprezentuje významovou shodu – konsenzus mezi C3,

C3'. Naopak rozdílnost mínění mezi C3, C3' je vyjádřena světlou plochou uvnitř přerušované čáry.

Tento model, jak bylo uvedeno, je založen na didaktickém trojúhelníku žák–obsah–učitel. Na rozdíl od něj však chápe obsah jako sjednocující moment, který prostřednictvím konceptu transformace „překlenuje mezery“ a umožňuje vyhnout se separačnímu problému (srov. Prawat, 1996; Bloomfield, 1946). Zobecňuje vztah žák–učitel jako setkání dvou lidí s různými zkušenostmi (C3–C3'), včetně žáků, a zdůrazňuje klíčovou roli reprezentace obsahu prostřednictvím nástrojů (C2–C1).⁸

2.4 Schéma a jeho S-L struktura–rámec pro zkoumání transformace obsahu ve třídě

Obrázek 1 schematicky znázorňuje klíčové prvky a procesy transformace obsahu ve třídě. V běžné praxi probíhají všechny transformační procesy intuitivně, ale jejich kroky lze dobře pozorovat a analyzovat jako fáze (potenciálně) izomorfního přiřazování mezi různými způsoby reprezentace obsahu. Například přiřazení mezi

⁸ V souladu s Hopmannem (2007) a tradicí německé didaktiky (viz Deng, 2021, s. 1659–1661) považujeme vztah mezi C1 – látkou (*Inhalt*) a C2 – významem (*Gehalt*) utvářeným v intersubjektivních interakcích za klíčový moment ve výuce a učení. V něm „význam vyvstává v procesu učení, založeném na setkání jedinečného jedince s danou látkou“ (Hopmann, 2007, s. 116). Dodejme, že podmínkou takového „vyvstávání významu“ je komunikace mezi lidmi. Nejenom mezi učitelem a žákem, ale mezi žáky navzájem, jak vyplývá ze zobecnění C3–C3'. Tím se učení může stát tvořivým a kognitivně aktivizovaným procesem (srov. Alexander, 2006; Klieme et al., 2001).



průběhem žákova řešení učební úlohy a jeho opravami učitelem nebo spolužáky. Hodnocení izomorfismů v aktuální situaci je založeno na shodě ve struktuře mezi obsahem X a obsahem Y, zatímco rozhodnutí o ne/přijatelnosti odchylek vyžaduje toleranci („stupně volnosti“). Součástí učitelského umění je citlivě zvažovat požadavky na strukturální soulad i přípustnou toleranci rozdílů mezi obsahem vědeckého poznání a jeho proměnami.

Pokud chceme zkoumat transformační procesy, v praxi převážně intuitivní, je nutné se opřít o nějakou analytickou jednotku. Využijeme k tomu tradiční konstrukt *schéma*, s oporou v klasické Rumelhartově (1980) interpretaci schémat jako prostředků konceptualizace a porozumění.⁹ V našem textu se nechceme zabývat značnou variabilitou v podrobnostech teoretického pojetí schémat nebo jejich terminologické alternativy – modelů (srov. Derry, 1996; Prawat, 1996). Pojem *schéma* považujeme za vhodný explanační rámec pro mikroanalytické zkoumání obsahové transformace ve třídě (srov. Buty et al., 2004, s. 578). Odpovídá mu Goodmanovo (1968) vysvětlení schématu jako rodiny (generického rámce) sémanticko-logicky

seskupených označení (konceptů) reprezentujících určitou oblast reality – sféru. V tomto smyslu koncept schématu zdůrazňuje *identitu, reprodukovatelnost a přetrvávání určité obsahové struktury během kulturního i osobního rozvoje*.

Relativní kulturní stabilita schématu v průběhu dějin nepřímou vypoovídá o kulturní síle či „moci“ příslušné znalosti obsahu. Z hlediska vzdělávání lze funkční jednotky obsahu kurikula chápat jako schémata, která prokázala svou kulturní hodnotu, a proto „stojí za učení“. Boutyline a Soter (2021, s. 736) považují tento kurikulární typ schématu za deklarativní součást kultury. Na rozdíl od automatických a převážně implicitních kulturních schémat (např. genderové nebo rasové stereotypy) jsou tato schémata, zakotvená v učebních osnovách, explicitní a podléhají záměrnému učení.

V rámci schématu se rozlišuje mezi „kognitivním obsahem (reprezentacemi) a operacemi na něm prováděnými (algoritmy)“ (ibid., s. 732). Schémata tedy nejsou jen statickými skripty nebo rámci, ale dynamickými paměťovými a transformačními uzly intelektuálních a psychomotorických operací pro interakce se světem a pro řešení problémů

⁹ Ačkoli konstrukt „schéma“ prošel během mnoha desetiletí svého vývoje mnoha kritickými diskusemi, zachovává si svou platnost a vysvětlující roli (srov. Strawson, 1959; Quine, 1960; Goodman, 1968; Davidson, 1973–1974; Henderson, 1994; Ghosh & Gilboa, 2014; Boutyline & Soter, 2021). Je to termín běžný ve filozofii (Lynch, 1997; Henderson, 1994;), kulturní sociologii (DiMaggio, 1997; Hunzaker & Valentino, 2019; Boutyline & Soter, 2021), psychologii a kognitivní vědě (Bartlett, 1932; Rumelhart, 1980; McVee et al., 2005; Ghosh & Gilboa, 2014). Ve vzdělávacím kontextu je spojen především s různými konstruktivistickými přístupy a teoriemi kognitivní (konceptuální, epistemické) změny (srov. Posner et al., 1982; Derry, 1996; Prawat, 1996).



(srov. Derry, 1996; McVee et al., 2005). Definují a organizují cestu transformace obsahu mezi vědeckými znalostmi, zkušenostmi žáků a jejich vývojem k relevantním znalostem obsahu.

Schémata, individuálně uchovávaná v paměti, jsou aktualizována a realizována prostřednictvím činností, které ji reprezentují. Takové potenciálně realizovatelné schéma v individuální zkušenosti se nazývá *mentální schéma* (srov. Thevenot, 2017). Subjekt má znalost obsahu, pokud během obsahových transformací jeho mentální schéma udržuje funkční vztahy mezi intersubjektivně sdíleným schématem (v disciplínách nebo kulturních oblastech) a jeho sférou v lidské instrumentální praxi (viz obr. 1). *Mít určité mentální schéma tedy znamená mít potenciál vykonávat odpovídající činnosti* (srov. Godman, 1988). Jinými slovy: mít určité mentální schéma znamená mít potenciál řešit třídu úloh relevantních pro toto schéma a porozumět jim v nezbytném rozsahu.¹⁰ V tomto smyslu je mentální schéma hypotetickým konstruktem pro vysvětlení míry úspěšnosti při řešení dané třídy úloh. Třídu úloh relevantních pro indikaci a verifikaci hypotetického mentálního schématu nazýváme relevantní úlohy: *R-úlohy*.

Klíčovou úlohou mentálních schémat v kultuře je nejen organizovat intencionální aktivity subjektů, ale zejména zajistit intersubjektivní porozumění v interakci a komunikaci. Bez předpokladu sdílení mentálních schémat by nebylo možné vysvětlit existenci sdíleného jazyka (*public language*) nebo sdíleného světa (srov. Searle, 2004, s. 189–191). Proto mentální schémata (i přes vysoký stupeň intersubjektivní variability) musí mít nějaký společný invariant. Základem takového invariantu je sémanticko-logická struktura. Nazvali jsme ji ve zkratce *S-L struktura*. S-L struktura je způsob pravidelného uspořádání sémantických, logicky souvisejících prvků obsahu schématu propojených vzájemně a s vhodným kontextem (srov. Peregrin, 1997, 2000). Z tohoto hlediska je schéma systém, který může být spojen s jinými (souřadnými) schématy a je součástí nadřazeného systému: kontextu (srov. Rumelhart, 1980, 1984). *S-L struktura mentálního schématu je hypotetický konstrukt, který vysvětluje pravidelnost při řešení (učebních) úloh.*¹¹

S-L struktura je hypotetický konstrukt, který lze interpretovat na základě analýzy úkolové situace a kulturních praktik, které tuto situaci řeší. Interpre-

¹⁰ Například mentální schéma pro sčítání nebo násobení je reprezentováno provedením vhodných výpočtů, včetně přemýšlení o nich a mluvení o nich, nebo jejich opravy. Podobně mentální schéma tenisové hry je vyjádřeno dovedností hrát tenis a komunikovat o něm.

¹¹ Pokud je S-L struktura funkční, pak činnosti, které jsou organizovány touto strukturou, jsou úspěšné, protože vhodně integrují subjektivní, intersubjektivní a objektivní dimenzi obsahu. To je důvod pro jejich opakování, pro pravidelnost. Tato pravidelnost, jakkoli flexibilní, je nezbytnou podmínkou reciprocity perspektiv v intersubjektivní interakci a komunikaci. Typickým příkladem jsou struktury a pravidla jazyka.



tovaná S-L struktura může být reprezentována ve formě grafu (s uzly a hranami), obvykle chápaného volněji jako dvou/trojrozměrná síť vzájemně propojených konceptů, které představují určité složky obsahu a souvisejících operací. Takový grafický záznam interpretovaný z řešení určité úkolové situace, resp. úlohy, nazýváme sémanticko-logická síť: zkráceně *S-L síť*. S-L síť je nástrojem pro operacionalizaci – jejím prostřednictvím je možné ověřit předpoklady o S-L struktuře mentálních schémat reprezentovaných během řešení R-úloh.

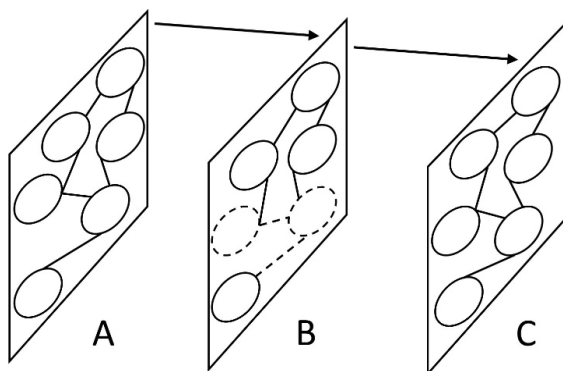
Ve výuce jsou S-L struktury reprezentované během aktivit nezbytnou podporou interakce žáků s učitelem nebo mezi sebou navzájem. Učitel se při komunikaci se žáky a při konstrukci učebních úloh spoléhá na odhad současného stavu mentálních schémat žáků odvozený z pozorování jejich vnějších projevů. Učitel se přitom snaží diagnostikovat vzdálenost mezi obsahem dosavadních zkušeností žáků a S-L strukturami vědeckých schémat zastoupených v učebních úlohách. Je-li tato snaha úspěšná, žáci nacházejí dostatečnou podporu k vyplňování informačních mezer v úlohách a mohou tyto úlohy s porozuměním řešit.

2.5 Transformace obsahu prostřednictvím S-L struktur v učebních úlohách

Richter (2012, s. 1975) charakterizuje učební úlohy jako „aktivní rozhraní mezi žáky a informacemi nabí-

zenými v učebním prostředí“, která „stimulují žákovskou odezvu na učivo, čímž žáky podněcují k intenzivnímu zapojení do předmětu vzdělávání“. Učební úlohy jsou výsledkem didaktické transformace obsahu kulturního poznání do záměrně fragmentované formy, která nese neúplné informace a vybízí k doplnění a strukturaci obsahu – k řešení úlohy. Úloha je konstruována tak, aby proces jejího řešení vedl žáky k učení a zároveň ověřoval jejich dosavadní znalosti obsahu.

Transformace obsahu během řešení učební úlohy mají vést k takovému kognitivnímu uchopení obsahu, které s odkazem na Seidla a Puhla (2007) můžeme nazvat Wittgensteinovým termínem „přehledné znázornění“ (Wittgenstein, 1953, § 122). Přehledné znázornění je založené na „vidění souvislosti“, jehož je dosaženo aktivním úsilím nahlížet, organizovat a doplňovat obsah do úplné koherentní formy (Wittgenstein, 1953; Seidl & Puhl, 2007). V teoriích a modelech konceptuální změny (Wellman, 1990; Schommer, 1990) tomu odpovídají kritéria *koherence* (uplatňovat strukturální vztahy mezi koncepty) a *kauzálně explanatorního rámce* (užívat hierarchické struktury konceptů k explanacím). Pokud má konstrukce učební úlohy vést žáky k „přehlednému znázornění“, musí být založena na S-L strukturách. Řešení pak má vést ke třem výše uvedeným podmínkám vzdělávací transformace: *obsahová identita, přírůstek znalostí, rekonstrukce zkušenosti*.



Obr. 2. Princip transformace mezi (A) S-L strukturou vědeckého obsahu, (B) učební úlohou a (C) jejím správným řešením žákem

Princip této transformace je znázorněn na obrázku 2. S-L struktura vědeckého schématu (A) je učitelem transformována do učební úlohy (B). Ta vynechává některé prvky nebo vztahy S-L struktury (znázorněné přerušovanou čarou), které musí žák kreativně doplnit na základě svých znalostí obsahu. Výsledkem správného řešení je S-L struktura (C), která uspokojivě odpovídá původnímu vědeckému schématu a splňuje podmínky: obsahová identita poznání byla zachována, žák se naučil něco nového nebo upevnil znalosti a rozvinul nebo upevnil poznání S-L struktur ve své mysli.

Z těchto tří podmínek vyplývá, že obsahová transformace vědeckého schématu do třídy R-úloh má za cíl modelovat způsob vědeckého myšlení tak, aby učební úlohy a postupy pro jejich řešení byly přinejmenším v souladu se souborem relevantních experi-

mentů nebo ve větší míře s faktickými situacemi, které mohou být studovány v relevantním obsahovém rámci výzkumem a badatelskými postupy objevování (Buty et al., 2004; Artigue, 1992). Současně je třeba zvážit, do jaké míry mohou žáci úlohu provést s ohledem na své vlastní znalosti a informace dostupné ve třídě.

Při řešení učební úlohy žák postupně užívá příslušné složky vlastního mentálního schématu. Tímto způsobem transformuje obsah: přemýšlí o něm nebo si ho představuje, uvádí prvky jeho struktury do smysluplných vztahů a reprezentuje tento proces ve svých aktivitách. Reprezentace obsahu žákem se odehrává v určitém ohraničeném prostoru aktivit, který Fauconnier a Turner (2002, s. 40–41) nazvali *mentálním prostorem*. Charakterizovali jej jako dynamický klaster smysluplně propojených obsahových



reprezentací tvořených subjektem během myšlení a komunikace za účelem pochopení určitého obsahu nebo řešení úloh s ním souvisejících. *Konceptová integrace* je hlavním prostředkem a cílem vytváření mentálního prostoru (ibid.). Konceptová integrace (*blending*) je syntetická dimenze obsahové transformace: propojuje různé obsahové prvky do smysluplných kontextů, konstruuje S-L struktury a prostřednictvím tvůrčích aktivit propojuje různé mentální prostory a schémata do nových vztahů.

Prostředkem konceptové integrace je *představa a imaginace*.¹² Podle Currieho a Ravenscrofta (2011) je představa protějškem (*counterpart*) vnímání, konceptů a faktických operací, protože může mít stejný obsah (tedy stejnou S-L strukturu). To lze vysvětlit odkazem na kulturní nástroje. *Obsah se v představě stává vědomým a je konkretizován prostřednictvím internalizovaných kulturních nástrojů, které zabezpečují spojení mezi představou a její realizací v akci, nebo mezi představou a sdílením jejího obsahu v komunikaci* (srov. C2 na obrázku 1). Například věta je reprezentována představou jejího vyslovení nebo její realizace. Stupeň závislosti takového procesu na racionálním, vědomém rozhodování nazval Pylyshyn (1989, 1999) *kognitivní penetrabilitou*. Operace jsou kognitivně penetrabilní

do té míry, v jaké je možné racionálně uchopit jejich obsah prostřednictvím konceptů a navrhopat jejich alternativy (Pylyshyn, 1989, 1999; Currie & Ravenscroft, 2011). Kognitivní penetrabilita představ je podmínkou pro vědomou exteriorizaci a medializaci obsahu.

Kognitivně penetrabilní operace v mentálním prostoru jsou prezentovány např. v písemném nebo verbalizovaném postupu řešení úloh, jsou žákem ukázány v korekcích tohoto postupu nebo mohou být interpretovány z výběru odpovědi v testu, pokud je tento výběr podroben podrobné didaktické analýze. Operace v mentálním prostoru jsou obsahově vymezeny příslušným mentálním schématem. Jejich reprezentace při řešení úloh mohou být přiřazeny vyučovanému schématu prostřednictvím S-L sítí. Vycházíme přitom z předpokladu, že učební úlohy mají být konstruovány tak, aby měly logicky a významově správná řešení a aby jejich chybná řešení mohla být vysvětlena. Za těchto podmínek může být každá varianta jejich řešení (správná i chybná) reprezentována ve formě S-L sítě. S-L síť může být interpretována z konkrétního řešení, zaznamenána a kriticky porovnána s jinými variantami řešení. Přitom je možné ukázat, které uzly nebo hrany chybí, jsou

¹² Prawat (1996, s. 223–224) poukázal na Deweyho (1933/1986a, 1938/1986b) pojetí představ, které „podněcují a řídí operace“ a zároveň slouží jako médium mezi myslí a světem nebo mezi lidmi. Mentální schémata (např. jazykové struktury) se prostřednictvím imaginace promítají do plánování děje a jeho realizace (např. vyslovení určitého přání nebo přesvědčení a následně jeho praktická realizace). Dítě, které se teprve učí počítat, potřebuje silnou oporu v imaginaci, aby zvládlo numerické operace (Budínová & Janík, 2021).

nadbytečné nebo špatně uspořádané, a na základě toho hledat lepší řešení.

Tento postup, typický pro práci učitele ve třídě, je obvykle prováděn učiteli intuitivně. Výzkum by měl popsat a vysvětlit jejich intuitivní postupy s cílem přispět ke zlepšení kvality výuky. V následujícím textu uvádíme metodiku a názorné příklady takto koncipovaného výzkumu založeného na didaktické analýze obsahových transformací ve školní třídě. Oborově specifické analýzy jsou věnovány fyzice, geografii a matematice, ale ilustrativní příklady využití S-L sítí v analýze lze zobecnit na všechny vzdělávací disciplíny, přinejmenším v přírodovědných oborech nebo v matematice. Zřejmě však i nad jejich rámec, protože všechny lidské činnosti jsou srozumitelné a mají dobrý smysl jen tehdy, dokážeme-li interpretovat jejich významovou strukturu a rozpoznávat jejich logické souvislosti.

Jsmo přesvědčeni, že výzkum založený na mikroanalýze obsahové transformace ve třídě otevírá přístup k detailnímu zkoumání jednoho z klíčových vzdělávacích problémů: *vztahu mezi žákovskou znalostí obsahu a rozvojem psychického potenciálu žáků pro hluboké myšlení*. Hluboké myšlení je založeno na schopnosti analyzovat a abstrahovat, promýšlet složitější sémantické a logické souvislosti, precizně zdůvodňovat své soudy a úsudky s oporou o prokazatelná fakta, vést racionální dialog (srov. Young, 2008, 2013, 2015). To jsou nároky, které nesou prázdnost či bezobsažnost myšlení. Je však legitimní se

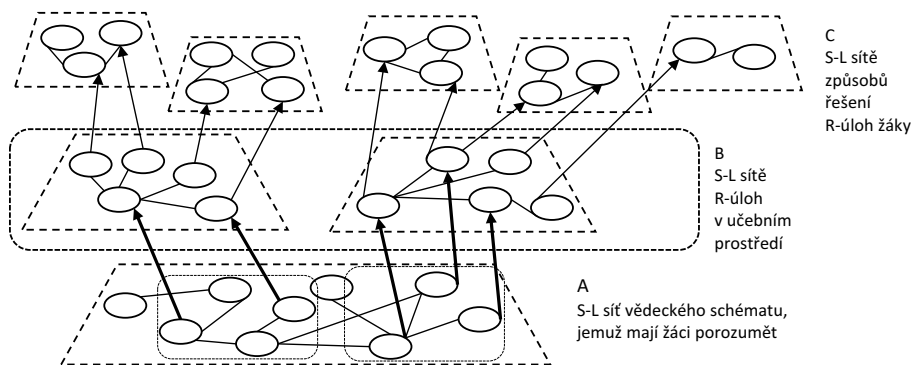
ptát a zdůvodněně rozhodovat o tom, „kolik“ a „jakého“ obsahu vzdělávání je nutné k jejich splnění v jednotlivých etapách vzdělávací dráhy.

3. METODOLOGIE

Cílem našeho výzkumu je analyzovat a vysvětlit vliv obsahových transformací ve výuce na mentální schémata žáků reprezentovaná ve způsobu, jakým řeší učební úlohy. Přitom ověřujeme platnost výše analyticky vysvětlených konstruktů jejich replikací v různých výukových situacích a ve třech rozdílných vzdělávacích oborech (Slavík et al., 2017a, 2017b; Yin, 2014). Interpretujeme faktickou podobu obsahových transformací z komunikace a dalších vnějších projevů učitelů a žáků při výuce a učení. Přitom čerpáme ze tří interpretačních perspektiv, resp. tří dimenzí transformace obsahu:

- Vědecká schémata, která jsou obsahem výuky a porozumění jim je cílem výuky.
- Tematizace vědeckého obsahu v učebním prostředí (zadáání úloh a komunikace související s jejich řešením).
- Reprezentace mentálních schémat žáků při řešení učebních úloh.

Každá ze tří dimenzí je reprezentována popisem faktů. Z jejich analytického srovnání odvozujeme interpretaci transformačních procesů. Jeho základem je S-L síť vědeckého schématu. V souvislosti s ní porovnááme S-L síť tematizované v řešení učebních úloh a související komunikaci. Prostřednictvím S-L sítí reprezentujeme



Obr. 3. Diagram hloubkové struktury výuky: od S-L sítí vědeckého schématu k R-úlohám (tučné šipky) a od R-úloh k žákovským řešením (slabé šipky)

jak relativně statickou strukturu obsahové znalosti, tak její dynamickou realizaci při řešení úloh. Reprerentaci, která porovnává dva nebo více relativně statických stavů transformovaného obsahu, nazýváme *diagram S-L struktury*. Reprerentaci, která ukazuje proces transformace obsahu během řešení učebních úloh a porovnává jejich alternativy (buď ekvivalentní, nebo lepší a horší), nazýváme *vývojový diagram S-L struktury*. Vývojový diagram umožňuje analyzovat způsob, jakým je S-L struktura mentálního schématu konstruována během specifických postupů řešení učebních úloh.

V našich výkladech předpokládá-

me, že při realizaci kurikula ve třídě učitel uspořádává a koriguje obsahové transformace. Přitom musí brát ohled na izomorfismy mezi třemi výše uvedenými dimenzemi obsahové transformace: A – vědecká schémata, B – tematizace vědeckého obsahu v učebním prostředí, C – reprerentace mentálních schémat žáků při řešení učebních úloh. Všechny tři dimenze lze tedy vnímat jako vzájemně propojené vrstvy, které dohromady tvoří pomyslnou „hloubku“ obsahových proměn ve výuce. Její schematické znázornění pomocí S-L sítí nazýváme Diagram hloubkové struktury výuky – HSV diagram (obr. 3).¹³

¹³ V našich předcházejících textech v rámci metodiky 3A (Janík et al., 2013; Slavík et al., 2017a, 2017b) užíváme diagram hloubkové struktury výuky se zvlášť vyčleněnou cílovou (kompetenční) vrstvou. V tomto případě ztotožňujeme cílovou vrstvu s kognitivní vrstvou a přesouváme ji do „povrchové“ úrovně dostupné přímému pozorování, takže *cíl považujeme za způsob existence obsahu vědeckého schématu v mysli (v mentálním schématu) žáka*. Opíráme se přitom o cílový nárok na „powerful knowledge“. Z jejího zvládnutí by měly vyplývat obecnější cíle odvoditelné ze způsobu mentálních aktivit provádějících získávání „mocných znalostí“.



Obrázek znázorňuje diferenciaci různých vrstev. Pro snadnější orientaci v dalším výkladu je pojmenujeme. Rovinu vědeckého schématu (A), která je zdrojem pojmů, budeme nazývat *konceptovou vrstvou*. Rovinu učebního prostředí (B), ve kterém jsou vědecké pojmy tematizovány v komunikaci, budeme nazývat *tematickou vrstvou*. Nakonec rozlišujeme rovinu řešení problémů (C), kde jsou vlastnosti mentálního schématu žáka a procesu učení reprezentovány *kognitivní vrstvou*.

Provázanost mezi vrstvami hlubkové struktury výuky, která vyplývá z požadavku na zachování identity vědeckého obsahu během jeho transformací, se nazývá *integrita výuky* (Slavík et al., 2017a; Janík et al., 2018). Nárok na integritu výuky považujeme za klíčový faktor, který ovlivňuje profesní chování učitele při realizaci kurikula. Integrita výuky je komplexní proměnná, která podmiňuje kvalitu výuky. Její složitost je důvodem problémů s interní validitou výzkumů účinku učebního prostředí na kognitivní změny žáků.¹⁴ Proto zakládáme náš výzkum na kvalitativním srovnání *apriorní* analýzy s *aposteriorní* analýzou (srov. Laborde, 1997). Jedná se o kvalitativní srovnání a komplexní analýzu pozorovaných hodnot pěti hlavních proměnných (I–V), které reprezentují tři výše uve-

dené transformační dimenze (A, B, C) a charakterizují průběh a výsledky transformací obsahu ve třídě:

- vědecká schémata (transformační dimenze A);
- stav mentálních schémat žáků reprezentovaný řešením R-úloh před pozorovanou výukou (transformační dimenze C, první stupeň: C1);
- transformace obsahu v pozorovaném učebním prostředí reprezentovaná popisem interakcí a komunikace ve výuce a učení (transformační dimenze: B1);
- stav mentálních schémat žáků reprezentovaný řešením R-úloh po pozorované výuce (transformační dimenze C, druhý stupeň: C2);
- reflexe žáků o kvalitách učebního prostředí a o řešení učebních úloh v rozho-vorech se žáky (transformační dimenze B, druhá fáze: B2; transformační dimenze C, třetí fáze: C3).

Kvalitativní analýza hodnot těchto proměnných ve výzkumu vychází z axiologického předpokladu, že lze nalézt zlepšující alternativy pro výukové situace, které žákům ztěžují pochopení vzdělávacího obsahu (Janík et al., 2013; Slavík et al., 2017a; Janík et al., 2018). Tento předpoklad zaměřuje analýzu na **hlavní cíl: podrobně popsat důvody, které způsobily potíže žáků v porozumění vědeckým schématům během transformací obsahu ve třídě.**

¹⁴ Vnitřní validita výzkumu založeného na porovnání experimentálních a kontrolních skupin je problematická zanedbáním klíčových faktorů určujících míru a hodnotu integrity výuky. Mezi tyto faktory, jejichž srovnatelnost v takových výzkumech není dost dobře dosažitelná, patří jedinečnost psycho-kognitivní historie učících se jedinců, neopakovatelnost interakcí v učebním prostředí a nezanedbatelný vliv detailů vyučování na kvalitu žákovského učení (Buty et al., 2004, s. 580–581).



Z hlediska praktické realizace výzkumu byl prvním krokem *výběr vzdělávacího obsahu* v předmětech výzkumu – fyzika, zeměpis, matematika. Při výběru obsahu byla použita následující kritéria:

- Jedná se o problematiku, která je dostatečně důležitá z hlediska struktury a návaznosti v daném oboru a její zvládnutí je předpokladem pro pochopení další navazující výuky.
- Oblast je dostatečně blízka běžné zkušenosti žáků, aby bylo možné předpokládat existenci dostatečně robustních prekonceptů před vlastní implementací výuky, a současně je z literatury znám výskyt významných miskonceptů.
- Problematika je relevantní z hlediska historického vývoje oboru v tom smyslu, že v jejím pojetí docházelo k alternativním vysvětlením či nejasnostem. Zde čerpáme z tzv. genetické paralely mezi vývojem oboru a chápáním učiva žáky (srov. Niaz, 1995; Kvasz, 2020).

Při výběru učebního obsahu jsme předpokládali, že prostřednictvím vývojových S-L diagramů zachytíme různá řešení vhodně zvolených učebních úloh. Variabilita těchto řešení reprezentuje variabilní kvality žákovských mentálních schémat a při jejich analýze lze zpětně odvodit vlivy výuky na mentální schémata žáků. Tato úvaha bude demonstrována konkrétněji pro jednotlivé předměty.

V další fázi byly připraveny testy, které měly určit úroveň znalostí a dovedností žáků před výukou a po ní. V prvním kroku bylo s využitím litera-

tury a dostupných databází konceptuálních testů zjištěno, zda je k dispozici dříve validovaný test, který by přesně pokryl problémy, které jsme řešili z hlediska obsahu a zaměření na R-úlohy. Žádný plně vyhovující test nebyl nalezen ani u jednoho z předmětů. Byly však identifikovány testy, které částečně pokryly téma a sloužily jako inspirace pro vývoj našich vlastních testů pro každý předmět. Tyto testy pak vždy vytvářeli nejméně dva specializovaní didaktici daného předmětu po projednání s obecným didaktikem. Rozsah byl zvolen tak, aby doba potřebná pro zpracování nepřesáhla dobu jedné lekce, tj. 45 minut. Každý z testů zahrnoval 20–32 dílčích položek (obvykle typ s výběrem z více možností a 2–4 možnostmi odpovědí). Tyto položky byly seskupeny do 5–6 skupin podle podobnosti obsahu a formy. Položky byly konceptuálně zaměřeny a nevyžadovaly výpočty. Test také zahrnoval povinné položky, ve kterých žáci uvedli, jak jsou si jisti svými odpověďmi na pětibodové Likertově stupnici („docela jisté“; „poměrně jisté“; „asi napůl jisté“; „spíše nejisté“; „jen hádám“). Testy byly před použitím v praxi pilotovány a připomínky účastníků byly zapracovány do finální verze.

Samotný výzkum proběhl na vybraných školách Plzeňského kraje v květnu a červnu 2021. Na základě předchozí dlouhodobé spolupráce byli zapojeni učitelé, kteří se chtěli podílet na výzkumu, přičemž obdrželi finanční odměnu za svou práci. Vstupními



požadavky bylo, aby byli plně kvalifikovanými učiteli předmětu a aby vyučovali třídu v období, kdy mohla být vhodně zařazena lekce na dané téma. Po jejich souhlasu byli kontaktováni ředitelé dotčených škol, kteří též souhlasili s uskutečněním výzkumu.

Žáci nejprve řešili test v prostředí Google Forms. O 14 dní později následovala výuka, která byla nahrávána na videozáznam.¹⁵ Po týdnu dostali žáci stejný test znovu a v obou případech měli 45 minut na jeho dokončení. Na základě vyhodnocení výsledků byli vybráni žáci do fokusní skupiny. Zahrnuti byli žáci s největším pozitivním nebo negativním posunem ve výkonu a míře spolehlivosti s odpověďmi mezi pretestem a posttestem (extrémní vzorkování podle Pattona, 2002). Fokusní skupiny probíhaly s odstupem přibližně jednoho týdne za účasti 4–8 žáků v každé třídě a zahrnovaly analýzu a diskusi jednotlivých úloh z testu.¹⁶

Ve všech případech analýza shromážděných údajů zahrnovala kvantitativní vyhodnocení výsledků před testem a po testu, a to jak z hlediska celkových výsledků, tak z hlediska míry úspěšnosti a deklarovaných úrovní jistoty na úrovni položek a jejich skupin. Značná po-

zornost byla rovněž věnována zjišťování četností různých kombinací odpovědí na položky v rámci skupiny položek, přičemž S-L sítě byly primárně konstruovány pro častěji se vyskytující kombinace. Dále byly s využitím metodiky 3A založené na obsahově orientovaném přístupu a podrobně popsané v předchozích studiích (Slavík, Janík & Najvar, 2016; Janík et al., 2019) analyzovány záznamy z jednotlivých lekcí a identifikovány výukové situace vhodné pro další rozbor. Byla také provedena obsahová analýza fokusních skupin se žáky se zaměřením na momenty související s identifikovanými výukovými situacemi a testovými položkami, u kterých byly zjištěny významné rozdíly mezi pre- a posttestem. Analýza dat byla prováděna rekurzivně s cílem hledat korelace mezi dílčími znalostmi získanými z jednotlivých zdrojů a vysvětlit pozorovaný vývojový diagram S-L struktury.

4. ILUSTRACE VÝZKUMU TRANSFORMACE OBSAHU VE FYZICE, GEOGRAFII A MATEMATICE

V následujících kapitolách popíšeme výsledky výzkumu obsahové

¹⁵ Vzhledem k tehdy probíhající pandemii COVID-19 a různým pravidlům na různých typech škol byla v některých případech online výuka realizována prostřednictvím platformy Google Meet. Konkrétně byly online realizovány obě sledované hodiny fyziky a hodina matematiky, všechny tři hodiny geografie naopak proběhly prezenčně.

¹⁶ V souladu s Helsinskou deklarací byli všichni učitelé, ředitelé škol a žáci zapojeni do výzkumu, včetně jejich zákonných zástupců, podrobně informováni o cílech a metodách provádění výzkumu prostřednictvím formuláře informovaného souhlasu splňujícího standardní požadavky na dokumenty tohoto typu. Výzkum byl schválen také pověřeným orgánem Pedagogické fakulty Západočeské univerzity v Plzni, zodpovědným za etiku výzkumu a ochranu účastníků výzkumů prováděných touto institucí.



transformace ve třídě na názorných příkladech ze tří vzdělávacích oblastí: fyziky, geografie a matematiky. Z každého oboru byla vybrána jedna vyučovací hodina. Kapitoly mají stejnou strukturu. Nejprve je zdůvodněna volba obsahu pro výuku v analyzovaném případě. Poté je popsán konkrétní postup výzkumu. Další část zahrnuje podrobnou analýzu vybraných situací z dané výuky. Jsou to situace, které byly rozhodující pro tvorbu mentálních schémat u žáků prostřednictvím učebního prostředí. Následující část upřesňuje tuto analýzu o zjištění z diskusí fokusních skupin se žáky, které následovaly po zkoumané výuce. Závěrečná část shrnuje a diskutuje zjištění. Vzhledem k tomu, že cílem této studie není poskytnout detailní přehled výsledků našeho výzkumu, ale ilustrovat využití modelu transformace obsahu a S-L síti na vhodných příkladech, zaměříme se jen na typické, ilustrativní poznatky.

4.1 Ilustrace z fyziky

4.1.1 Výběr výukového obsahu

Volba učebního obsahu pro fyziku – Newtonovy pohybové zákony – byla založena na našem metodologickém pravidle, že obsah má být náchylný k miskoncepcím a porozumět mu vyžaduje významný zásah do mentálních schémat žáků. V teorii konceptuální změny se jedná o učební obsah s často se vyskytujícími tzv. robustními miskoncepcemi vyžadujícími řešení na úrovni kategoriálního zdvihu (Chi,

2008) nebo radikální konceptuální změny (Carey, 1985).

Chi (2008) demonstroval robustní mylné představy a kategoriální zdvih pomocí dřívější studie Lawové a Ogborna (1994), kteří nechali žáky vytvořit vlastní model pohybu založený na jejich chápání fyzikálního konceptu. Přitom zjistili, že značný počet žáků má relativně koherentní, ale nesprávná mentální schémata odolná vůči změnám v této oblasti fyziky. Obecně je vzdělávací problematika pohybu a Newtonových zákonů často zkoumaná, o čemž svědčí například popularita testu Force Concept Inventory (FCI), zaměřeného konkrétně na identifikaci mylných představ v této oblasti (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992).

Bylo prokázáno (Hust & Hove, 2012; Métioui & Trudel, 2017), že nesprávné uvažování žáků je v souladu s některými historickými teoriemi před zrodem newtonovské mechaniky. Jak uvádějí Terry & Jones (1986), větší pozornost byla věnována Newtonovu prvnímu a druhému zákonu. Důkazem toho je skutečnost, že pouze čtyři položky ve výše zmíněném testu FCI se zaměřují na třetí Newtonův zákon; všechny se týkají mylné představy o nesympetrii, kdy žáci mají tendenci tvrdit, na rozdíl od newtonovské mechaniky, že masivnější nebo v jistém smyslu aktivnější těleso vyvíjí větší sílu. Nicméně, jak poukazují Warren (1979) nebo Terry a Jones (1986), soubor relevantních mylných představ spojených s tímto zákonem je podstatně složitější a zahrnuje

jeho nesprávné kauzální chápání (akce jako příčina, reakce jako účinek) nebo myšlenku, že síly působí na jediné těleso a korespondence jejich velikostí odpovídá rovnováze systému. Na kontext tohoto uchopení třetího Newtonova zákona k problému chemických rovnováh poukázal Niaz (1995). Stocklmayerová, Rayner a Gore (2012) navrhli vyřešit některé problémy související s pochopením Newtonových zákonů zahrnutím třetího Newtonova zákona na první místo v pořadí výuky a Hewitt (2017) jej identifikoval jako nejčastěji nepochopený zákon ve srovnání s jinými Newtonovými zákony.

Na základě výše uvedených argumentů jsme proto zvolili téma třetího Newtonova zákona, abychom ilustrovali náš přístup ve fyzice. Postupem popsaným v metodologické části jsme pro něj vytvořili test, který obsahoval celkem šest úloh rozdělených do 32 dílčích úloh komplexně pokrývajících problematiku zákona akce a reakce ve smyslu výše uvedených mylných představ.

4.1.2 Realizace výzkumu

Zde popsaný výzkum byl proveden v květnu a červnu 2021 mezi žáky 1. ročníku čtyřletého gymnázia s všeobecným zaměřením (velká městská škola s cca 700 žáky). 31 žáků ve věku typicky 16 let vyplnilo pretest i posttest a také se zúčastnilo zde analyzované vyučovací hodiny. Jednalo se o průměrnou třídu bez žáků se speciálními potřebami či naopak žáků speci-

álně nadaných v přírodovědné oblasti. Zde analyzovaná hodina byla zařazena jako opakovací a prohlubující několik měsíců po prvním setkání žáků s třetím Newtonovým zákonem na SŠ. Vzhledem k uzavření škol v souvislosti s pandemií byla lekce vedena online, učitel sdílel obrazovku se žáky a pracoval s digitální interaktivní tabulí Jamboard. Výuku vedl plně kvalifikovaný učitel matematiky a fyziky, který měl v době výzkumu pětiletou praxi.

4.1.3 Analýza klíčových výukových situací v rámci lekce

Omezíme se na hlubší analýzu dvou krátkých výukových situací z dané lekce, které mohou přímo souviset s nepochopením zákona akce a reakce. První výuková situace přímo souvisela s formulací zákona akce a reakce. Jedná se o část komunikace týkající se této situace:

Učitel: *Takže když se zaměříme na třetí Newtonův zákon, kdo si vzpomene, co nám říká třetí Newtonův zákon, zákon akce a reakce?*

Žák (asi po 10 sekundách od položení otázky): *Síly jsou opačné, vznikají a zanikají ve stejném okamžiku a mají stejnou velikost (nepřilíš jistě).*

Učitel: *Takže síly akce a reakce, ano, zanikají a vznikají ve stejném okamžiku, jsou opačného směru a jsou stejné velké...*

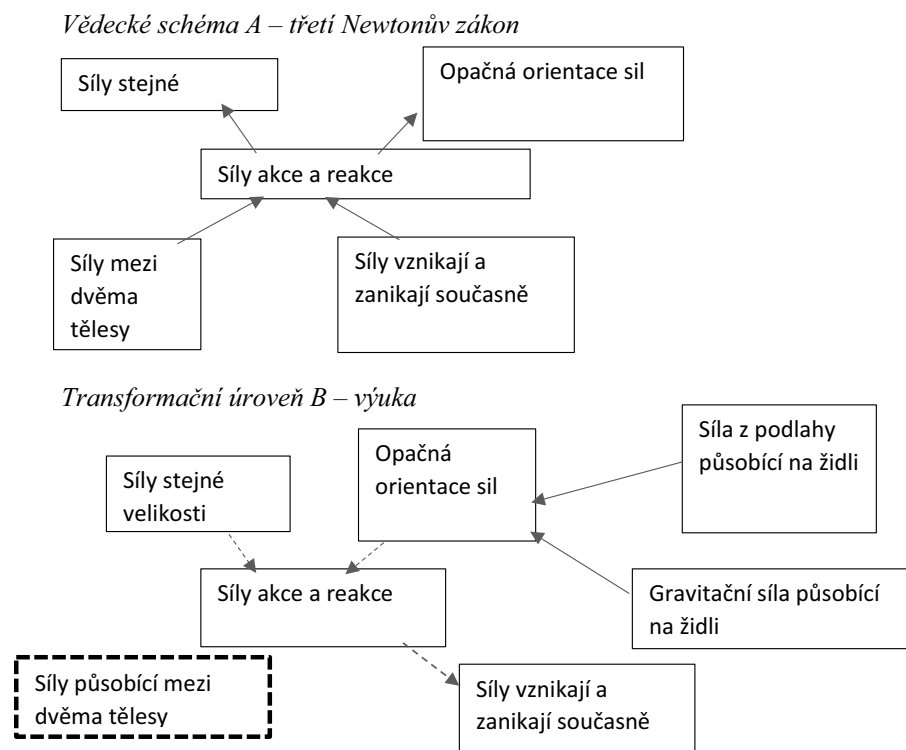
Druhá situace se týkala další učební úlohy, kterou byl bod 29 z původního Testu porozumění konceptu síly (Hestenes et al., 1992) týkající se toho, jaké síly jsou aplikovány na židli stojící nehybně



na podlaže. Žáci hlasovali o správné odpovědi z pěti nabízených alternativ. Poté, co byla otázka položena a uplynula asi minuta a půl, aby o ní žáci přemýšleli, učitel konstatoval:

Zatím to vypadá, že 62% z vás je pro druhou možnost, tj. že první a druhá síla působí na židli... Výsledky zveřejním nyní. Takže první a druhá síla skutečně jednájí... No, odpověděli jsme na otázku a půjdeme dál...

Jak již bylo zmíněno v teoretické části článku, pro lepší pochopení transformace obsahu ve vztahu k dané výukové situaci či situacím je užitečné pracovat s diagramem hloubkové struktury výuky. S-L síť konceptové (transformační dimenze A zachycující vědecké schéma) a tematické vrstvy (transformační dimenze B zachycující tematizaci vědeckého obsahu ve vzdělávacím prostředí) jsou znázorněny na obrázku 4. Je vidět,



Obr. 4. Schéma hloubkové struktury výuky a učení – transformační roviny A a B pro případ třetího Newtonova zákona a pozorované vyučovací situace (učební úlohy)



že vědecké schéma pro třetí Newtonův zákon, který lze chápat jako rozhodovací diagram pro to, zda dvě dané síly jsou silami akce a reakce, je založeno na tom, zda tyto síly působí mezi dvěma tělesy a vznikají a zanikají společně. Pokud je tato podmínka splněna, jsou to síly akce a reakce, což znamená, že jsou stejně velké a opačně orientované. V rámci transformační dimenze B (viz příklady výše) však došlo k obrácení vědeckého schématu. Toto „obrácené schéma“ ukazuje stejnou velikost a opačnou orientaci sil jako vstupy, zatímco potřeba interakce mezi dvěma tělesy v něm vůbec není zmíněna (v diagramu vyznačena přerušovanou čarou). Naproti tomu u druhé posuzované situace byly uvažovány síly působící na jedno těleso (židli stojící na podlaze). Přestože nesprávné tvrzení, že se jedná o akci a reakci, nebylo v lekci explicitně¹⁷ uvedeno, žáci to mohli odvodit vzhledem k tématu lekce (znázorněno přerušovanými čarami v diagramu).

Rozšířená představa (Terry & Jones, 1986), že pokud máme třeba šálek na stole, gravitační síla a síla, kterou na něj působí podložka, jsou síly akce a reakce, mohou být u žáků posíleny kvůli inverzi a neúplné podpoře vědeckého schématu. Pokud jde o *silný znalostní* konstrukt, do kterého by měla vyústit vhodně provedená transformace obsahu (Gericke et al., 2018, s. 433),

existuje rozpor mezi oborovými a intuitivními znalostmi – „selským rozumem“ (Young & Muller, 2013). Tento rozpor zachycujeme prostřednictvím S-L sítí odpovídajících příslušným učebním úlohám.

Pokud jde o nápravu výše uvedených nedostatků, ve shodě s Warrenem (1979) uvažujeme možnost týkající se samotného znění třetího Newtonova zákona. Navzdory dílčím rozdílům ve formulacích by vždy měly být zahrnuty požadavky, aby síly působily mezi dvěma různými tělesy a vznikaly a zanikaly současně. Pokud je již nutné mluvit o akci a reakci, je užitečné zdůraznit, že se nejedná o kauzální záležitost, a demonstrovat to úlohou, kde neexistuje způsob jak rozhodnout, co by mělo být akci a co by mělo být reakci (např. síly mezi dvěma rovnoběžnými vodiči, jimiž ve stejném okamžiku začíná procházet elektrický proud). Pokud jde o druhou výukovou situaci, výše zmíněný bod 29 z testu FCI by mohl být prvním krokem v řadě problémů, které by mohly postupně vést žáky k poznání, že *ačkoli jsou síly stejné velikosti a opačné v orientaci, nemusí to být síly akce a reakce*. Tato sekvence může vypadat například takto:

- Jaké síly působí na prázdnou kancelářskou židli na podlaze (FCI, bod 29)? Správná odpověď: gravitační síla a síla od podlahy.

¹⁷ Není problém najít příklady, kdy dvě síly mají stejnou velikost a opačnou orientaci, ale nejsou to síly akce a reakce, a to ani v případě, že interakce je mezi dvěma tělesy. Opačně to však neplatí. Interakce mezi dvěma tělesy a společný vznik sil (tj. že jsou to síly stejného typu) zaručuje, že jde o stejně velké a opačně orientované síly akce a reakce.



- Jsou výše uvedené síly stejně velké? Správná odpověď: ANO
- Jsou to síly akce a reakce? Správná odpověď: NE, protože obě síly působí na stejné těleso a nevznikají současně.

Jiné výukové situace v analyzované hodině mohly přispět k možnému nepochopení třetího Newtonova zákona na základě toho, že stejně velké a opačně orientované síly jsou silami akce a reakce, ale jejich rozbor by byl nad rámec tohoto textu. V další části se zaměříme na to, zda (a případně jak) měla výuka vliv na kvalitu mentálních schémat žáků ohledně třetího Newtonova zákona.

4.1.4 Zjištění ze žakovského testování a fokusních skupin

Ilustrujme si náš přístup popsany v metodické části na příkladu Úlohy 1 z testu, která byla formulována následovně:

1. U každého z následujících výroků rozhodněte, zda odpovídají zákonu akce a reakce:

- a) Pokud na těleso působí dvě opačně orientované síly, mají tyto síly vždy stejnou velikost. ANO – NE
- b) Dvě tělesa na sebe působí stejně velkými silami v opačných směrech. Tyto síly vznikají a zanikají současně. ANO – NE
- c) Pokud jsou dvě tělesa vystavena opačně orientovaným silám, jsou to vždy síly akce a reakce. ANO – NE
- d) Pro každou silovou akci existuje stejně velká a opačně orientovaná reakce. ANO – NE
- e) Účinky působení a reakční síly se navzájem ruší. ANO – NE

Jak jste si jisti svými odpověďmi u Úlohy 1:

Docela jistě – spíše jistě – asi napůl jistě – spíše nejistě – zcela nejistě, jen jsem hádal.

Protože pro každou podúlohu existují dvě správné odpovědi, dostaneme celkem $2^5 = 32$ možných kombinací odpovědí. Tabulka 1 ukazuje četnosti pro každou z těchto kombinací v pretestu a v posttestu (A-A-A-A-N odpo-

Tab. 1. Kombinace odpovědí v pretestu a posttestu

Kombinace	Počet voleb – pretest	Počet voleb – posttest
A-A-A-A-N	2	10
A-A-N-A-A	5	5
A-A-A-A-A	3	4
A-A-N-A-N	1	4
A-A-N-A-A	2	4
N-A-A-A-A	5	2
N-A-A-N-N	3	0
N-A-N-A-A	3	1
N-A-N-A-N (správná odpověď)	3	0



vídá Ano pro první 4 podúlohy a Ne pro pátou a poslední podúlohu atd.; jsou zahrnuty všechny možnosti, které obdržely alespoň dvě volby v pretestu nebo posttestu).

Přehled ukazuje celkově výrazný nárůst kombinací, kde první podúloha byla chybně uvedena jako ANO na úkor kombinací, kde byla správně uvedena jako NE. Totéž platí pro třetí dílčí úlohu. Celkově v posttestu odpovědělo 84 % žáků na první dílčí úlohu nesprávně (zhoršení o 32 procentních bodů) a 68 % žáků odpovědělo nesprávně na třetí dílčí úlohu (zhoršení o 13 procentních bodů). O nenáhodnosti volby žáků svědčí mimo jiné skutečnost, že 19 z 32 možných kombinací nedostalo žádnou volbu v pretestu nebo posttestu. První a třetí podúloha přitom jasně souvisí s mylnými představami o Newtonově třetím zákonu v tom smyslu, že dvě stejně velké a opačně orientované síly jsou silami akce a reakce. Výše popsané výukové situace mohly přispět ke zhoršení výsledků v této oblasti. Nesprávné představy byly demonstrovány též výpověďmi žáků v ohniskových skupinách, kde například žákyně Adéla uvedla: „*Já jsem to brala tak, že jsem si řekla, jestli jsou stejně velký, a pak už jsem zaškrťovala, jestli je to akce a reakce, nebo ne.*“ Žákyně Eva, která na rozdíl od Adély dosáhla v posttestu jako celku velmi dobrých výsledků, uvedla: „*Já jsem to brala taky stejně jako Adéla, podle toho, jestli jsou stejně velký. Mně to přišlo i snazší určit.*“ Tento přístup se u žáků projevil i v jiných (aplikačně

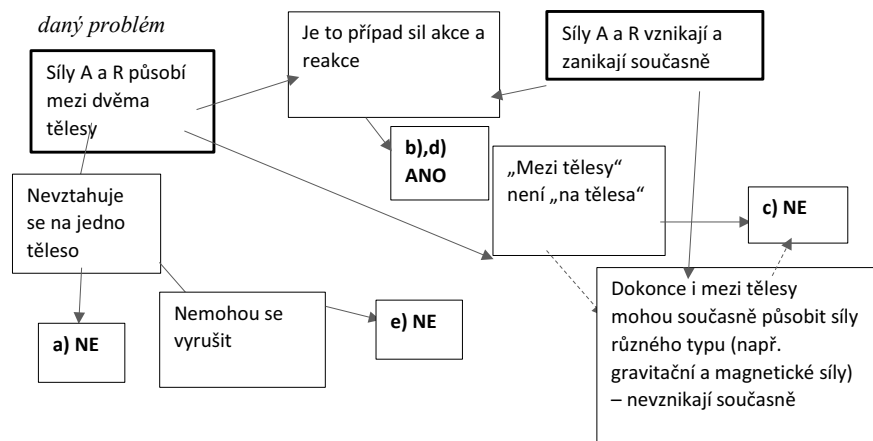
orientovaných) testových úlohách, kde například 81 % žáků v posttestu nesprávně uvedlo, že síly, kterými působí dvě závaží na lano vedené přes kladku jsou silami akce a reakce (zhoršení o 15 % bodů oproti pretestu).

Výše uvedené úvahy lze zachytit pomocí S-L sítí pro *kognitivní vrstvu* (transformační dimenze C) týkající se stavu mentálních schémat. Jako příklad uvádíme odpovídající S-L síť na obrázku 5 pro správnou kombinaci odpovědí N-A-N-A-N a také pro nejčastěji uváděnou nesprávnou kombinaci A-A-A-A-N v posttestu (fáze C2).

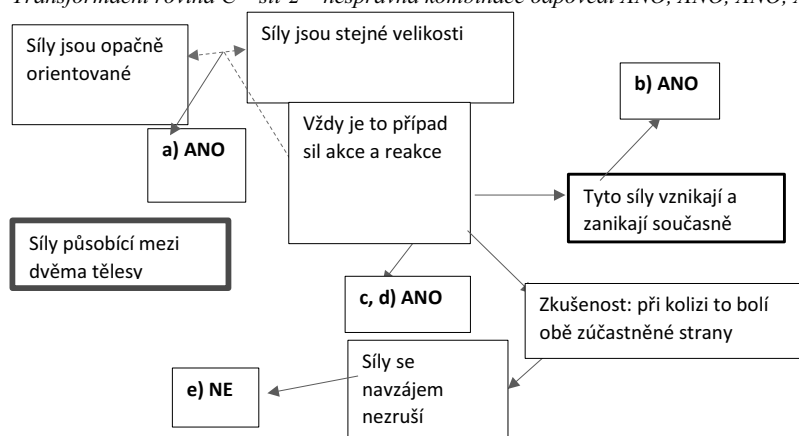
Jak již bylo řečeno, aby se jednalo o síly akce a reakce, musí působit mezi dvěma tělesy (prohození „pachatele“ a „oběti“) a musí vznikat a zanikat společně. Pokud jsou tyto podmínky splněny (viz síť 1 – vstupní předpoklady jsou uvedeny tučně), pro podúlohu *a* existuje rozpor v tom, že obě síly působí na stejné těleso. Pokud síly nepůsobí na stejné těleso, nemohou se ani navzájem vyrušit, což zaručuje odpověď NE u podúlohy *e*. Pro podúlohu *c* pak musíme rozlišovat mezi akcí „na“ dvě tělesa a „mezi“ dvěma tělesy. V prvním případě není záměna pachatele a oběti zaručena, protože do hry může vstoupit případně třetí těleso. Avšak ani v případě sil opačné orientace a stejné velikosti působících pouze mezi dvěma tělesy není zaručeno, že jsou vždy silami působení a reakce. Protipříkladem je gravitační síla vyvíjená magnetem A na magnet B a magnetická síla vyvíjená magnetem A na magnet B. Tento



Transformační rovina C – síť 1 – správná kombinace odpovědi NE, ANO, NE, ANO, NE pro daný problém



Transformační rovina C – síť 2 – nesprávná kombinace odpovědi ANO, ANO, ANO, ANO, NE



Obr. 5. Transformační rovina sítě C – S-L pro správné řešení a v posttestu nejčastěji zvolený distraktor v úloze 1

protipříklad je zobrazen v S-L síti přerušovanými čarami. Síť 2 je založena na nesprávné (zobrazené přerušovanou čarou) ekvivalenci mezi opačnou orien-

tačí sil a stejnou velikostí a úvahou, že splnění těchto podmínek zaručuje, že jde o síly akce a reakce. Pro dílčí úlohu e pak může vstoupit do hry zkušenost,



že opačně orientované síly se v praxi navzájem neruší. Úvaha o nutnosti silového působení mezi dvěma tělesy zde zcela chybí (tučné rámování). Současný vznik a zánik sil je chápán jako důsledek (orámováno tučně). Základem pro konstrukci a výběr S-L sítí jsou změny mezi pretestem a posttestem (stupně C1 a C2) a také výše uvedená zjištění z fokusní skupiny (fáze C3), která naznačují, že *dokonce i žáci, kteří byli v testu obecně poměrně úspěšní, dospěli pravděpodobně pod vlivem výuky k nesprávné zkratce, že síly stejné velikosti a opačné orientace jsou automaticky silami akce a reakce.*

4.1.5 Diskuse a shrnutí

Tento příklad ilustroval vliv výuky na změny mentálních schémat u žáků ve fyzice. Na základě analýzy hloubkové struktury výuky (viz „převrácení“ vědeckého schématu a ignorování jeho podstatného rysu v transformační rovině B na obrázku 4) jsme mohli vidět souvislosti mezi nedostatky ve struktuře vzdělávacího obsahu ve výuce s nárůstem počtu nesprávných kombinací odpovědí na dílčí učební úlohy v textu. Tuto nesprávnou kombinaci jsme ilustrovali odpovídající S-L sítí kognitivní vrstvy (reprezentující chybný způsob usuzování při nesprávném řešení). „Automatismus“ chybné úvahy (chápání dvou sil stejné velikosti a opačné orientace jako sil akce a reakce) byl také dobře identifikován v ohniskové skupině a mohli jsme ho ilustrovat konkrétními tvrzeními. Je patrné, jak i zdánli-

vé detaily výuky mohou vést k zásadně chybnému porozumění třetímu Newtonovu zákonu. To přitom nemusí být snadno detekovatelné klasickými konceptuálními testy. Například klasický test *Force Concept Inventory* zaměřený „pouze“ na mylné představy týkající se symetrie by zaznamenal (soudě podle zvýšení počtu správných odpovědí pro odpovídající položky v našem testu) zvýšení úspěšnosti žáků a výše uvedený problém by zůstal bez povšimnutí.

4.2 Ilustrace ze zeměpisu

4.2.1 Výběr výukového obsahu

Tématem hodin geografie byly Klimatické podmínky Asie v rámci tematického celku Regionální geografie kontinentů. Výuka se zaměřila zejména na atmosférické proudění vzduchu, téma, které prakticky prostupuje výukou regionální geografie. Pokud žáci dobře rozumí vztahům mezi různými faktory, které ovlivňují proudění vzduchu na globální úrovni, měli by být schopni odvodit základní charakter klimatu jakéhokoli místa na Zemi. Vést žáky k této dovednosti je nejvyšším cílem, který lze v rámci tohoto tématu stanovit a kterého se učitelé v analyzovaných hodinách snaží ve své výuce dosáhnout.

Pro podrobnější analýzu byla vybrána jedna z výukových situací. Zaměřuje se na monzunové proudění v jižní Asii. Lekce o monzunech a jejich vlivu v asijských oblastech navazuje na lekci zeměpisu v šestém ročníku



(žáci ve věku 11–12 let) o vlivu polohy Země vůči Slunci a obecných zákonech atmosférické cirkulace, kromě hodiny fyziky o proudění plynů, kondenzaci vodní páry a tepelné kapacitě různých látek. Pochopení látky je tedy složité a vyžaduje značný stupeň kognitivní aktivizace ze strany žáka. Očekává se, že vzdělávací obsah rozložený do více lekcí bude uspořádán žáky do poměrně dlouhých a složitých logických řetězců a že žáci budou schopni rozlišit příčiny a důsledky dílčích procesů.

Předchozí výzkum ukázal, že problémy související s prouděním vzduchu v atmosféře jsou pro žáky kritické a jsou spojeny se zvýšeným výskytem mylných představ (Nelson, Aron & Francek, 1992; Birnie, 1999; Henriques, 2000; Lokajíčková, 2013; Bozkurt, 2019; Pluháčková et al., 2019). Hlavními důvody problémů jsou nedostatek znalostí fyziky souvisejících s vlastnostmi plynů a kapalin, vysoká složitost tématu a vysoké nároky na kognitivní penetrabilitu představ (Pluháčková et al., 2019).

Pro vzdělávací účely bylo monzunové proudění a s ním spojené srážky tradičně interpretováno v subkontinentálním měřítku (Ramage, 1971; Seman, 2022). Přestože se současné paradigma stále více přiklání k interpretaci monzunového proudění jako výsledku periodického pohybu intertropické konvergenční zóny (Geen et al., 2020), pedagogové se rozhodli pro tradiční, odborně méně správný přístup, který je však psychodidakticky snazší transfor-

movat do výuky. Tento přístup ke kurikulu fyzické geografie a jeho transformaci, kdy se vyučuje starší, méně správná, ale didakticky uchopitelnější a flexibilnější teorie, se také běžně používá při výuce jiných komplikovaných témat, jako je Davisův geomorfologický cyklus (Strahler, 2011). Touto připomínkou prokazujeme historickou relevanci zvoleného tématu v souladu s tím, co bylo prezentováno v metodické části.

4.2.2 Realizace výzkumu

Výzkum proběhl v sedmém ročníku základní školy (věk žáků cca 13 let, jednalo se o průměrnou školu ve větším městě) v květnu 2021. Výuky, pretestu i posttestu se zúčastnilo celkem 17 žáků. Nebyl to první kontakt žáků s tématem monzunů. Byli s ním obecně seznámeni v šestém ročníku, kdy byly diskutovány obecné charakteristiky atmosféry a zákony proudění vzduchu. Poprvé se však žáci setkali také se specifickou aplikací kurikula v rámci zvoleného regionu, tj. jižní Asie. V první fázi výzkumu byly společně s vyučujícím stanoveny cíle lekce. Dílčí cíle související s výukovou situací se zaměřením na problematiku monzunů byly formulovány takto:

- Žák vlastními slovy popíše vztah mezi pojmy „měrná tepelná kapacita pevniny a oceánu“, „teplota vzduchu“, „hustota vzduchu“, „tlak vzduchu“ a „směr proudění vzduchu“.
- Žák z tohoto kontextu vyvozuje směr monzunového proudění v létě a v zimě.



Na základě cílů byl navržen test, jehož obsah a obtížnost odpovídaly cílům. Samotná výuka probíhala v souladu s informacemi uvedenými v metodické části. V případě geografie byla výuka kontaktní a byla zaznamenána několika kamerami (Jewitt, 2012). Výuku vedl učitel s geograficko-technickým vzděláním, který měl v době výzkumu 4 roky praxe.

4.2.3 Analýza klíčových výukových situací v rámci výuky

V této části textu bude analyzována jedna výuková situace, která se zaměřila na mechanismus monzunového proudění v létě a měla vést žáky k výše uvedeným cílům. Výuka probíhala frontálně metodou IRF (iniciace–odezva–zpětná vazba) a demonstrační metodou. Nejprve učitel promítl tradiční diagram fungování monzunu ukazující procesy, které se odehrávají nad pevninou a oceánem. Nad pevninou šipky ukazují sluneční záření směřující k zemskému povrchu a stoupání ohřátého vzduchu. Velká šipka ukazuje z oceánu směrem k pevnině a demonstruje hlavní směr proudění vzduchu. Srážky způsobené kondenzací vlhkosti ve stoupajícím a ochlazujícím se vzduchu jsou také zobrazeny nad pevninou. Ve zvolené výukové situaci učitel použil i druhý diagram, který znázorňuje směr proudění vzduchu v létě a v zimě (obr. 6).

Na začátku výukové situace, kterou jsme analyzovali, učitel požádal žáky, aby se pokusili popsat mechanismus

vzniku monzunů pomocí promítnutého diagramu. Učitel pravděpodobně předpokládal, že pomocí postupů zobrazených v diagramu a znalostí, které by žáci již měli mít z obecné fyzické geografie v předchozím roce, budou schopni popsat mechanismus vzniku monzunů samostatně. Diskuse nad diagramem probíhala následovně:

Učitel: *Co máme na tomto obrázku? Zde máme v létě výhled na jižní Asii. A vezmeme to teď z tohoto obrázku. Na co se zde díváme?* Odpověď: [Učitel ukazuje na plochu země, kde je v diagramu vyznačeno přicházející sluneční záření a expandující horký vzduch, a vyvolá žáka T, který hlásí].

Žák T: *Je tam velmi sucho a...*

Učitel [přerušil ho]: *Když se nad tím zamyslíme obráceně, co dalšího se tu děje?* [Ukazuje na slunce a paprsky dopadající na obraz.]

Žák [nejistě]: *Slunce svítí...*

Učitel: *Slunce svítí, tak co se děje s tím kontinentem, s tou pevninou?*

Žák si není jistý: *Je stále tepleji.*

Učitel: *Prosim?*

Žák T [nejistě]: *Je to hodně suché?*

Učitel: *A hlavně, co se děje? Když na něj svítí slunce, je to...*

[Ve třídě je několikrát slyšet, že se otepluje.]

Učitel: *To je oteplování! Co se stane se vzduchem, který je horký?*

[Někteří žáci křičí, že to „jde nahoru“. Učitel vyvolá žáka T.]

Žák T: *Odpařuje se.*

Učitel [aniž by reagoval na špatnou odpověď, ukazuje ve směru pohybu



na obrázku]: *Stoupá vzhůru. A tím, že stoupáme nahoru, získáváme co? Pokud tato masa vzduchu stoupá sem, co dostaneme?* [Učitel ukazuje oblast poblíž povrchu plošiny na obrázku.]

Žák C [bez vyzvání, je asi jediný, kdo ví]: *Nízký tlak vzduchu?*

Učitel: *Skvělé! Ani jsem nečekal, že na tuto otázku někdo odpoví. Skvělá práce. To, co se zde děje, je, že vzniká podtlak, který nazýváme nízkým tlakem vzduchu, a to, co se ve skutečnosti děje, je, že nízký tlak vzduchu velmi jednoduše nasává právě ten vzduch z oceánu.* [Během výkladu učitel ukazuje rukama na směr proudění vzduchu na diagramu.] *Ano? Držíme se? Rozumíme?* [Žák přikyvuje.] *Chladný!*

Z přepisu je zřejmé, že místo toho, aby žák samostatně popisoval dílčí procesy zobrazené na obrázku, které by pak vložil do logického řetězce popisu-

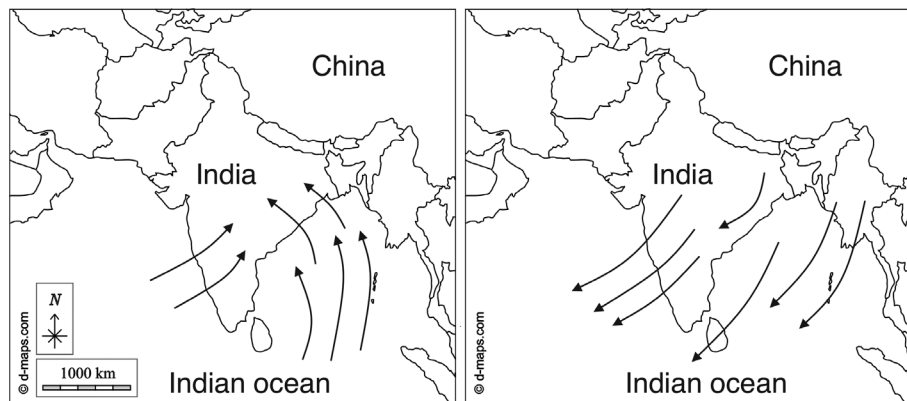
jícího mechanismus monzunu v létě, situace skončila tak, že jen odpověděl na učitelovy dílčí otázky. Kromě toho učitel sám někdy vyplnil správné odpovědi. Fixační část výukové situace probíhala ve stejném průběhu, během něhož se opakoval stejný materiál jako v předchozí situaci, ale nad jiným a zjednodušenějším znázorněním jevu (obr. 6). Zde je přepis části rozhovoru, který se odehrál ve fázi fixace:

Učitel: *Když se podíváme na stejnou věc, jen na jiné grafické znázornění [přepne na další snímek s obrázkem 6], můžete vidět Indii. Zde je situace v létě a v zimě. Vidíme to v tom?*

Učitel [výzva žákyni B]: *B, zkuste znovu popsat levý obrázek.*

Žákyně B [velmi nejistě]: *A jak se voda odpařuje, nebo...* [Odmlčí se.]

Učitel: *Možná začneme na kontinentu. Co se tady s kontinentem děje?*



Obr. 6. Směr proudění vzduchu v jihovýchodní Asii v létě i v zimě. Pomocí podobného diagramu byli žáci požádáni, aby nezávisle přezkoumali princip monzunového proudění v létě a v zimě



[Čekání na odpověď žákyně B. Ta mlčí.] *Co se to tu děje?* [Čekání na odpověď žákyně B.] *Takže se pokusím vrátit zpět, pokud jsme tady, pak* [přepne zpět na snímek s monzunovým vývojovým diagramem] *k tomuto obrázku.*

Žákyně B: *Je to nízký tlak vzduchu* [stále velmi nejistě].

Učitel: *Protože tady...*

Žákyně B: ... *Slunce svítí na Zemi.*

Učitel: *Takže vzduch letí...* [Dělá velmi významné gesto rukou stoupajícího vzduchu vzhůru.]

Žákyně B: ... *nahoru* [stále nejistě].

Učitel: *A vytváří...*

Žákyně B: ... *nízký tlak vzduchu.*

Učitel: *Skvělé!* [Přepíná zpět na podrobnou mapu poloostrova Přední Indie – obr. 6. Šipky na mapě letní sezóny ukazují od oceánu ke kontinentu.]

Nedostatky výukové situace analyzujeme porovnáním transformační roviny A (vědecké schéma odpovídající monzunovému principu) a roviny B (uchopení během hodiny) v diagramu hloubkové struktury na obrázku 7. Projevily se zejména v nedokonalém propojení učiva, kde pojem „měrná tepelná kapacita“ a pojem „oceán“ nebyly do výuky vůbec zahrnuty. Otázky učitele týkající se pouze dílčích znalostí neposkytly žákům možnost průběžně promýšlet složité souvislosti v S-L síti vědeckého schématu. To narušilo integritu výuky: kontinuitu mezi transformačními úrovněmi A, B a C. Důsledkem bylo nepochopení principu vzniku monzunů žáky, které bylo demonstrováno jak v testech, tak ve fokusních skupinách.

4.2.4 Zjištění ze žakovského testování a fokusních skupin

Testováním žáků před realizovanou výukou a po ní jsme získali informace o stavu mentálních schémat žáků (transformační úroveň C2). Výsledky analyzujeme pouze u vybraných položek, které mají přímou vazbu na vědecké schéma problematiky monzunů. Konkrétně se jednalo o šest dichotomických testových položek, kde byli žáci vždy požádáni, aby určili, zda je dané tvrzení pravdivé nebo nepravdivé. Čtyři z nich se týkaly obecných fyzikálních principů vzniku monzunů (vztahujících se ke konceptům měrné tepelné kapacity, hustoty vzduchu, tlaku vzduchu a směru proudění vzduchu). Pátá položka měla specifikovat koncept tlaku vzduchu pro podmínky jižní Asie a šestá vyžadovala rozhodnutí, které šipky na mapě zobrazují monzunové proudění v létě (mapa jižní Asie měla přerušované šipky směřující z oceánu na pevninu a plné šipky směřující z pevniny na oceán, což odpovídá obrázku 6). Tato sada R-úloh ověřuje komplexní zvládnutí učiva, kterým se zabývá výše popsaná situace výuky. Výkon žáků v těchto úlohách je uveden v tabulce 2. Žáci museli vybrat odpověď pro všechny položky, nebylo možné nechat položku nevyplněnou.

Tabulka 2 ukazuje, že výsledky dílčích úloh byly velmi různorodé. Žáci dosáhli vysoké úspěšnosti jak v pretestu, tak posttestu u otázky na koncept měrné tepelné kapacity, zatímco u položek zaměřených na tlak vzduchu byli

**Tab. 2.** Výsledky žáků v pretestu a posttestu pro problémy související s monzunovým principem

Stav	Úspěšnost testů před testem (%)	Úspěšnost po testu (%)
Země i oceán jsou ohřívány slunečním zářením jako na obrázku (ilustrace). Země se ohřívá rychleji než oceán.	82	94
Teplejší vzduch se smršťuje a drží se u povrchu země nebo oceánu.	59	53
Obecně platí, že v chladnějších oblastech převládá nízký tlak vzduchu.	24	24
Obecně proudí vzduch z oblasti vysokého tlaku do oblastí nízkého tlaku.	53	41
V zimě bude nad pevninskou Asií převládat nízký tlak vzduchu. (Žákům byl poskytnut obrázek podobný obrázku 6.)	29	29
Které šipky na mapě označují převládající směry proudění vzduchu v létě? (Plné vs. přerušované šipky, žáci měli k dispozici obrázek podobný obrázku 6.)	82	29

velmi málo úspěšní, a to jak obecně, tak při specifikaci pro jihoasijské podmínky. Je třeba říci, že ani jeden žák v pretestu ani posttestu neodpověděl správně na všechny tyto položky, a totéž platí, i když se omezíme na položky 3, 5 a 6 (tj. tlak vzduchu obecně, tlak vzduchu specifický pro jižní Asii a směr proudění). To jasně ukazuje, že nikdo ze žáků nerozuměl vzniku monzunů před hodinou a nerozuměl jim ani po hodině.¹⁸ Na tom nic nemění ani obrovský

rozdíl v poslední položce mezi pretestem (82 %) a posttestem (29 %), který byl částečně způsoben náhodou a hádáním odpovědi a částečně tím, že žáci byli schopni vyvodit správný závěr ze dvou nesprávných předpokladů v pretestu (tlak je nižší v chladnější oblasti a vzduch proudí z oblasti nízkého tlaku do oblasti vysokého tlaku). Pokud informace vedly k porušení jednoho z těchto nesprávných předpokladů, byla správná odpověď změněna na nesprávnou.

¹⁸ Pokud by se jednalo o čistě náhodnou volbu („hádání“), statisticky by žáci mohli získat správnou trojici odpovědí (pravděpodobnost je 1 : 8, což není tak málo). Zdá se proto, ačkoli to nemůžeme vinou nedostatečného počtu respondentů statisticky prokázat, že odpovědi nebyly náhodné. Je to v souladu s velmi nízkou úspěšností otázek týkajících se tlaku vzduchu. Zde mohou mít žáci nesprávnou představu založenou na běžné zkušenosti například s lehátkem na slunci, kde se při zahřátí zvyšuje tlak a lehátko tvrdne. Tento příklad je často uváděn v sedmém ročníku ve fyzice. Žáci tak spojují vyšší teplotu s vyšším tlakem, což je v rozporu s tím, co potřebujeme při vysvětlování monzunů.



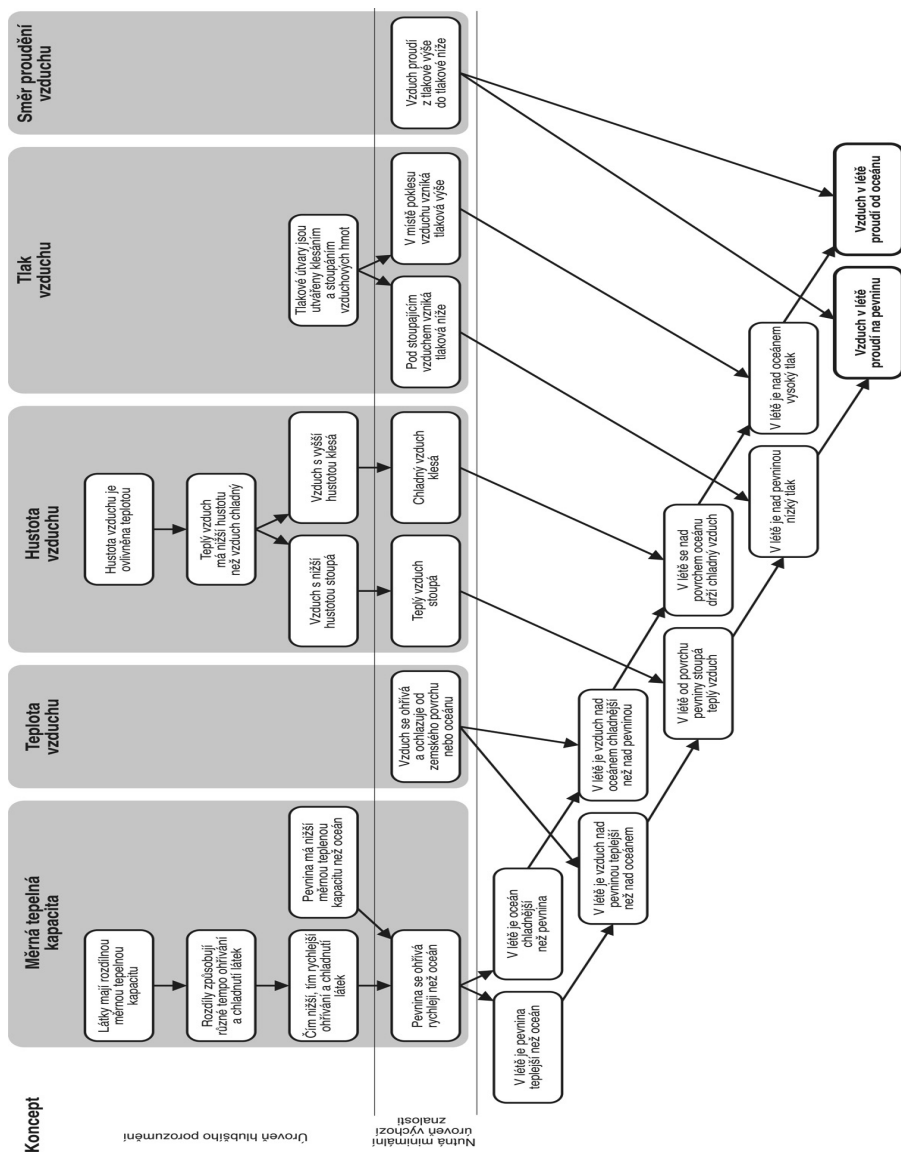
Pro hlubší pochopení stavu mentálních schémat žáků byly uskutečněny fokusní skupiny (fáze C3). Celkem byly vytvořeny dvě fokusní skupiny, každá se čtyřmi žáky. Do skupiny A byli vybráni ti žáci, kteří se v posttestu jako celku nejvíce zlepšili ve srovnání s pretestem.¹⁹

Hned na začátku rozhovoru ve skupině A tři žáci sebevědomě a správně odpověděli, že správnou odpovědí jsou přerušované šipky (směr toku z oceánu na pevninu v létě). Tito žáci však nebyli schopni své tvrzení odůvodnit. Během rozhovoru byli dotázáni: „Ohřívá se země rychleji, nebo se oceán ohřívá rychleji?“ Tato otázka je nasměrovala na začátek ideálního myšlenkového procesu (viz síť S-L vědeckého diagramu, obr. 7), přičemž výzkumníci čekali, zda žáci již mohou pokračovat samostatně. Žáci následně prokázali částečné znalosti („Země se otepluje rychleji než oceán“ a „Teplý vzduch stoupá“), ale nebyli schopni tyto dílčí znalosti rozřadit do delších logických řetězců a rozlišit příčiny a důsledky každého procesu. Ve všech případech se jednalo pouze o doplnění správné odpovědi na přímou otázku. Z rozhovoru ve skupině A také v souladu s výsledky testů vyplynulo, že žáci nechápou vztah mezi pojmy „teplota vzduchu“ a „tlak vzduchu“. Žáci nedokázali odpovědět na otázku, jaký tlak vzniká pod teplým

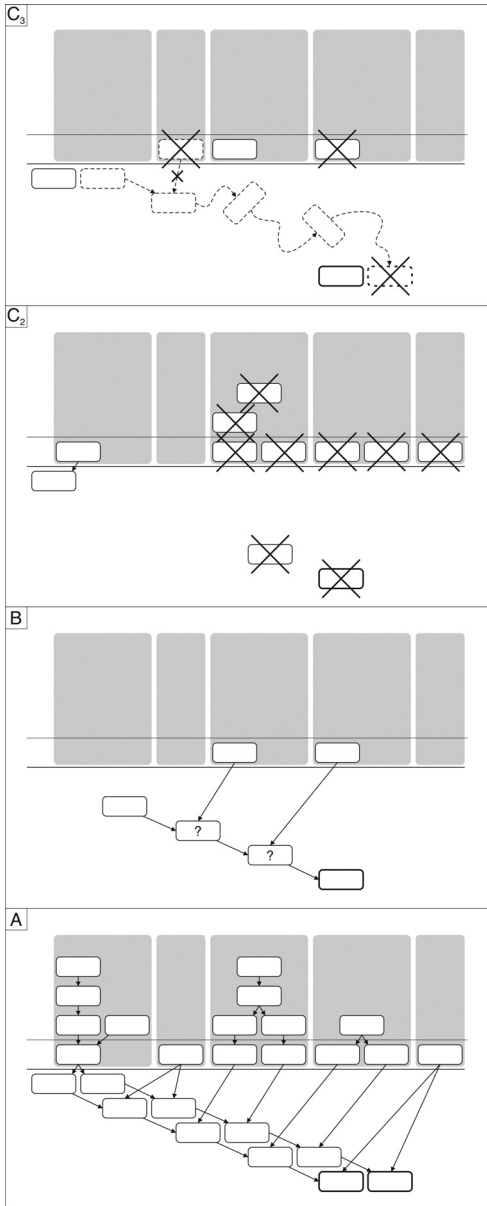
stoupajícím vzduchem. Fokusní skupina obecně ukázala, že pojem „tlak vzduchu“ je pro žáky obtížně uchopitelný a nemohou s ním produktivně pracovat. Z S-L sítě tematizace obsahu (viz obr. 8, B) je však zřejmé, že k určité formě propojení mezi oběma pojmy ve výukové situaci skutečně došlo. Problém tedy mohl vzniknout ve způsobu, jakým obsahová tematizace probíhala pouze na nižších kognitivních úrovních (memorování), a tak u žáků nebylo vybudováno funkční chápání vztahu mezi pojmy. Síť S-L mentálního schématu by tak byla charakterizována izolovanými pojmy (viz obr. 8, C3).

Jeden ze žáků nesouhlasil se svými spolužáky hned na začátku fokusní skupiny A a uvedl, že správná odpověď byla plná šipka ukazující z pevniny do oceánu. Tuto nesprávnou odpověď ospravedlnil slovy: „*Oceán je chladnější než pevnina, a kdyby foukal z oceánu, přinesl by na pevninu studený vzduch. Ale na zemi je léto, a proto je vzduch teplý.*“ Jeho řešení problému je znázorněno přerušovanými čarami v kognitivní vrstvě (obr. 8, C3). Žák ve své nesprávné odpovědi vychází ze správné znalosti konceptu, že oceán je v létě chladnější než pevnina, a správně vyvozuje, že v létě je tedy vzduch nad oceánem chladnější než vzduch nad pevninou. Jeho neznalost konceptu, že vzduch je ohříván zemským

¹⁹ Výběr byl proveden na základě celkových výsledků z toho důvodu, že konkrétně pro téma monzunů jsme nenalezli žádné zkoumané žáky, o kterých by se dalo říci, že dobře pochopili princip před výukou nebo po výuce. Proto jsme se spoléhali na celkové výsledky, abychom ukázali, do jaké míry byla výuka jako celek pro žáky přínosná.



Obr. 7. Síť S-L vědeckého schématu, která ukazuje ideální myšlenkový proces žáka při řešení úloh. Tato síť je ve zmenšeném měřítku a s vynecháním nepodstatných prvků uvedena též v obrázku 8A.



Obr. 8. Diagram hloubkové struktury související s řešením úloh. Rámcečky znázorňují jednotlivé pojmy, šipky označují vztahy mezi pojmy (konkrétní pojmy viz obr. 7). **A** – S-L síť vědeckého schématu. **B** – S-L síť tematizace obsahu v komunikaci ve třídě. Otazník označuje pojmy, jejichž existenci učitel v hodině pouze předpokládá. **C2** – S-L síť toho, jak žáci řeší R-úlohy v posttestu. Přeskrtnuté pojmy jsou ty, jejichž absence v myslích žáků byla ověřena testováním. **C3** – S-L síť, jak žáci řeší R-úlohy ve fokusních skupinách. Plná čára označuje koncepty, se kterými úspěšně pracují žáci skupiny A i B, přeskrtnuté jsou ty koncepty, které v myslích žáků chybí. Přerušovaná čára označuje nesprávný myšlenkový proces jednoho ze žáků ze skupiny A, který je popsán výše. Nakloněné rámcečky označují mylné představy žáka.



povrchem, mu však brání vyvodit další správné závěry. Jeho následující myšlenkový pochod je založen na mylné představě, že chladný vzduch přicházející z oceánu musí ochlazovat vzduch nad pevninou, a nesprávně vyvozuje, že pokud vzduch z oceánu proudí v létě nad pevninu, nad pevninou bude chladněji. A z úsudku, že v létě je nad pevninou teplo, a proto musí vzduch proudit opačným směrem, tj. ze země přes oceán, pak vyvozuje přímo opačné řešení problému. Příčinou žákovy nesprávné odpovědi je tedy neznalost jednoho z nezbytných základních pojmů, že vzduch je ohříván z povrchu země (viz síť S-L vědeckého schématu, obr. 7). Z diagramu S-L struktury je také zřejmé, že tento obsah nebyl transformován z S-L sítě vědeckého schématu do S-L sítě tematizace obsahu v komunikaci ve třídě, stejně jako koncept „oceán“. Absence obou těchto konceptů během tematizace ve třídě může být příčinou popsané mylné představy.

Ve skupině B hned na začátku rozhovoru všichni žáci přiznali, že neznají správnou odpověď a budou jen hádat. Nikdo ze žáků si nepamatoval, že by ve třídě diskutovali o látce, která by jim mohla pomoci na problém odpovědět. Jediné, co si pamatovali, bylo, že „čárkované šipky jsou spojeny s monzuny“. Strategie rozhovoru byla opět použita k dotazování se na koncept „měrné tepelné kapacity“, přičemž žáci byli vedeni k imaginárnímu začátku ideálního mentálního schématu (S-L síť vědeckého schématu, obr. 7). Žáci byli schop-

ni správně identifikovat, že pevnina se v létě ohřívá rychleji než oceán, ale nebyli schopni doplnit tyto izolované znalosti a logicky je navázat, protože nebyli obeznámeni se složitostí příslušné S-L sítě. Výsledek fokusní skupiny byl tedy téměř totožný s výsledkem většiny žáků ve skupině A, stejná je i výsledná S-L síť způsobu řešení úlohy studenty (obr. 8, C3).

4.2.5 Diskuse a shrnutí

Analýza diagramu S-L struktury ukázala, že transformace obsahu ve zkoumané výuce nezprostředkovala všechny potřebné kontexty, kterým by měl žák porozumět. Například chybělo propojení diskutovaných pojmů s pojmy „měrná tepelná kapacita“, „teplota vzduchu – vzduch je ohříván a ochlazován zemským povrchem nebo oceánem“, „směr proudění vzduchu – proudění vzduchu z oblastí s vysokým tlakem do oblastí s nízkým tlakem“. Jedná se o koncepty, které by žáci měli začlenit do svého mentálního schématu, aby byli schopni porozumět příčinám a následkům spojeným s monzunovými jevy.

Zajímavé je, že ačkoli pojem „měrná tepelná kapacita“ (tj. oteplování oceánu je ve srovnání s pevninou tepelně náročnější) nebyl do výuky zahrnut, žáci v obou fokusních skupinách měli částečné znalosti spojené s tímto konceptem. V tomto případě je možné, že při odpovědi na otázku o rychlosti ohřevu země a oceánu čerpali z vlastní zkušenosti z každodenního života:



„V létě se chodíme zchladit do vody, která je chladnější než břeh, na kterém ležíme.“

Analýza výukové situace ukázala, že žáci nebyli dostatečně připraveni na řešení úlohy na požadované úrovni kognitivní náročnosti (s ohledem na Bloomovu taxonomii cílů; Bloom, 1956). Ve výukové situaci nebyli žáci vedeni k tomu, aby produktivně pracovali se základními znalostmi, tj. logicky sekvencovali jednotlivé znalosti tak, aby pochopili příčiny a důsledky jednotlivých procesů v rámci celkového monzunového procesu. Ve výukové situaci žáci odpovídali pouze na dílčí otázky položené učitelem na úrovni memorování nebo hádání správné odpovědi z obrázku. Situace ve výuce jim tedy nenabízela dostatek příležitostí k pochopení mechanismu vzniku monzunů.

O neporozumění problematice svědčí nejen výše uvedené výsledky testů, ale i poznatky fokusních skupin, na jejichž základě jsme zpracovali S-L síť žakovského řešení problému (obr. 8, C3). Ty jasně ukazují, že žáci postrádají základní znalosti (např. koncept „vzduch je ohříván a ochlazován zemským povrchem nebo oceánem“ a koncept „oceán“) a nejsou schopni spojit dílčí znalosti do funkčního řetězce procesů, i když jsou nasměrováni na začátek ideálního myšlenkového schématu. Pojem „tlak vzduchu“ se také zdá být nedostatečně zvládnutý. Přestože se ve výukové situaci uplatnil, žáci s ním nejsou schopni produktivně pracovat při řešení problémů.

Jako řešení výše uvedených problémů souvisejících s analyzovanou výukovou situací lze doporučit: a) provést obsahovou transformaci tak, aby výuková situace zahrnovala veškerý základní obsah a vhodně vedla žáka ke stanoveným cílům na příslušné kognitivní úrovni; b) průběžně kontrolovat, zda žák dosahuje požadované kognitivní úrovně a ponechat mu dostatečný prostor pro přemýšlení, zdůvodňování, argumentaci. Použití S-L síť vědeckého schématu, která zachycuje všechny důležité pojmy a vztahy mezi nimi, jejichž pochopení je nezbytné k vyřešení úlohy, by mohlo učitelů pomoci splnit doporučení (a). Diagram S-L struktury může zároveň učitelů pomoci uvědomit si mezery, které vznikají při transformaci obsahu. S ohledem na doporučení (b) mohou vhodně zvolené učební úlohy (analogicky k výše uvedeným testovým položkám) učitelů pomoci pochopit, že je vhodné zaměřit se jak na obecné fyzikální principy, tak na jejich specifikaci pro daný geografický region.

4.3 Ilustrace z matematiky

4.3.1 Výběr výukového obsahu

V souladu s obecnými pravidly pro výběr obsahu uvedenými v metodice jsme se zaměřili na klíčová témata ve školní matematice spojená se silnými miskoncepcemi, relevantní i pro historický vývoj oboru. Konkrétně jsme zvolili problematiku trojúhelníků a jejich shodnosti, která je po-



važována za jedno z klíčových témat školní geometrie (Shahbari & Daher, 2020). Potvrzuje to kurikulární rámec TIMSS, ve kterém je geometrie specifikována ve dvou složkách – „poloha, vizualizace a tvar“ a „symetrie, shodnost a podobnost“ (Robitaille, 1993). Problematika shodnosti trojúhelníků je spojena s četnými miskoncepce (Mason, 1989) odpovídajícími nižším úrovním van Hieleho modelu geometrického porozumění (Teppo, 1991). Je možné formulovat různé definice shodnosti od intuitivní po neminimální a minimální (Haj-Yahya, 2022). Téma je také historicky relevantní, jak dokazuje Fried (2014), který analyzoval relevantní pasáže Euklidových základů a odpovídající chápání shodnosti jako rovnosti ve starověké řecké matematice. Tyto otázky také spojují téma shodnosti trojúhelníků s obecnějšími matematickými pojmy existence a jednoznačnosti řešení problému, které jsou široce chápány jako základní, ale jsou poměrně těžko uchopitelné (zejména v případě konceptu jednoznačnosti) na úrovni školní matematiky (Shipman, 2013).

Ve výuce matematiky v České republice existuje jasná konvence pro určení jednoznačnosti trojúhelníku. Pro daný soubor podmínek trojúhelník buď neexistuje, nebo existuje. Trojúhelník je jednoznačně určen tehdy a jen tehdy, jsou-li všechny trojúhelníky splňující dané podmínky vzájemně shodné. Z našich dosavadních výzkumů (Ferdianová, Kohout & Konečná,

2022) i vlastních pedagogických zkušeností však vyplývá, že žákovská pojetí ne vždy této konvenci odpovídají. Žáci mohou považovat dva identicky nakreslené trojúhelníky na různých místech papíru za dvě nezávislá řešení, což vede k vyloučení jednoznačnosti řešení. Stává se však také, že přístup žáka je v rozporu nejen s konvencí, ale i s matematicky přijatelným chápáním pojmu jednoznačnost. Žáci někdy přistupují k problému s přesvědčením „řešení je jednoznačné, protože jsem nakreslil jen jeden trojúhelník, vybral jen jedno číslo splňující rovnici atd.“. Jinými slovy, jednoznačnost je chápána jako existence doprovázená volbou jednoho konkrétního řešení. Cílem této sekce je prozkoumat chápání problematiky spojené s pojmem existence a jednoznačnosti trojúhelníků a ilustrovat relevanci obecného přístupu prezentovaného v této studii k této problematice specifické pro danou oblast.

4.3.2 Realizace výzkumu

Zde popsán výzkum byl proveden v červnu 2021 mezi žáky kvinty osmiletého gymnázia se zaměřením na cizí jazyky na stejné škole jako v případě fyziky. 27 žáků ve věku typicky 16 let vyplnilo pretest i posttest a také se zúčastnilo zde analyzované vyučovací hodiny. V této třídě nejsou ani žáci se speciálními vzdělávacími potřebami, ani vysoce nadaní žáci, kteří dosahují významných úspěchů v matematických soutěžích. Zde analyzovaná hodina byla zařazena na úplný začátek tema-



tického celku Planimetrie. Vzhledem k uzavření škol v souvislosti s pandemií byla lekce vedena online, učitel sdílel obrazovku se žáky a pracoval s digitální interaktivní tabulí Jamboard. Obsahově byla lekce zaměřena na základní vlastnosti trojúhelníků a věty o shodnosti. Žáci se s tímto tématem setkali již tři roky před touto hodinou se stejným učitelem (šlo o stejného učitele jako v případě fyziky).

4.3.3 Analýza klíčových výukových situací v rámci výuky

První část hodiny byla koncipována jako opakování zaměřené na definici a typy trojúhelníků. Ve 14. minutě pak učitel přešel k charakteristickým vlastnostem trojúhelníku a podmínkám jeho existence. Diskutoval otázky, jako je nerovnost trojúhelníku, součet vnitřních úhlů trojúhelníku, stejně jako věta, že větší strany jsou opačně větší úhly. V poslední čtvrtině lekce se výuka zaměřila na věty o shodnosti. Učitel zdůraznil význam vět nejen pro porovnávání trojúhelníků, ale také pro rozhodování o jednoznačnosti řešení. Konkrétně uvedl:

Pokud dostaneme parametry, které splňují jednu z vět o shodnosti, pak je jasné, že konstrukci, bez ohledu na to, jak to beru, dostaneme jedno jediné možné řešení, jeden tvar tohoto trojúhelníku. Pokud dostaneme parametry, které nesplňují žádnou větu o shodnosti, pak se může stát, že existuje více řešení, více různých trojúhelníků. Takže věty o shodnosti nejsou jen pro porovnání, zda jsou trojúhelníky shodné, ale tím, že zaručují

tuto shodnost, tuto jednoznačnost, zaručují, že pokud zadám parametry podle libovolné věty o shodnosti, tento trojúhelník bude mít jen jeden možný tvar, takže bude existovat jen jedno řešení.

Učitel pak se žáky diskutoval o konkrétních čtyřech větách o shodnosti sss , sus , usu a ssu , kde s označuje délku strany a u velikost vnitřního úhlu. Opakovaně uvedl, že věty o shodnosti zaručují jednoznačnost získaného trojúhelníku, aniž by zmínil, že musí být splněny také podmínky existence, jako je trojúhelníková nerovnost. V případě věty ssu připomněl příklad s úhlem proti kratší straně, který vedl k existenci dvou různých řešení. Opět nezmínil, že trojúhelník pro danou sadu parametrů ssu nemusí vůbec existovat.

Celkově byla hodina zaměřena na komplexní učební úlohu rozhodování o existenci trojúhelníku popsaného danou sadou parametrů. Počet potřebných parametrů byl automaticky brán jako tři a žáci nebyli v lekci vedeni k hlubšímu pochopení tohoto počtu z hlediska diskusí a aktivit popsaných Patkinovou a Plaksinovou (2011) a Leungem et al. (2014). V případě sss je nutné ověřit trojúhelníkovou nerovnost. Pokud je trojúhelník platný, je jednoznačně určen na základě příslušné věty. Pro sadu parametrů sus je trojúhelník také jednoznačně určen díky odpovídající větě o shodnosti za předpokladu, že daný úhel je menší než 180° . Podobně v případě usu je jednoznačnost řešení zaručena za předpokladu, že součet dvou daných úhlů je



menší než 180° . Totéž platí pro ekvivalentní varianty *uus* a *suu*.

V případě *uuu* bude trojúhelník existovat, pokud jsou splněny podmínky pro součet úhlů, ale nikdy není jednoznačně určen. Nejkomplikovanější situace nastává u ekvivalentních variant *ssu* a *uss*. Bez újmy na obecnosti předpokládejme, že známe strany $AB = c$, $CB = a$ a velikost úhlu $CAB = \alpha < 180^\circ$. Označme d vzdálenost strany AC a vrcholu B .

- Pokud $a < d$, pak trojúhelník neexistuje kvůli porušení trojúhelníkové nerovnosti.
- Pokud $a = d$, pak trojúhelník existuje a je jednoznačně určen.
- Pokud $c > a > d$, lze sestrojit dva různé trojúhelníky, jak demonstroval učitel na konci analyzované lekce. Trojúhelník tedy existuje, ale není jednoznačně určen.
- Pokud $a \geq c$, trojúhelník existuje a je jednoznačně určen v souladu s větou *ssu*.

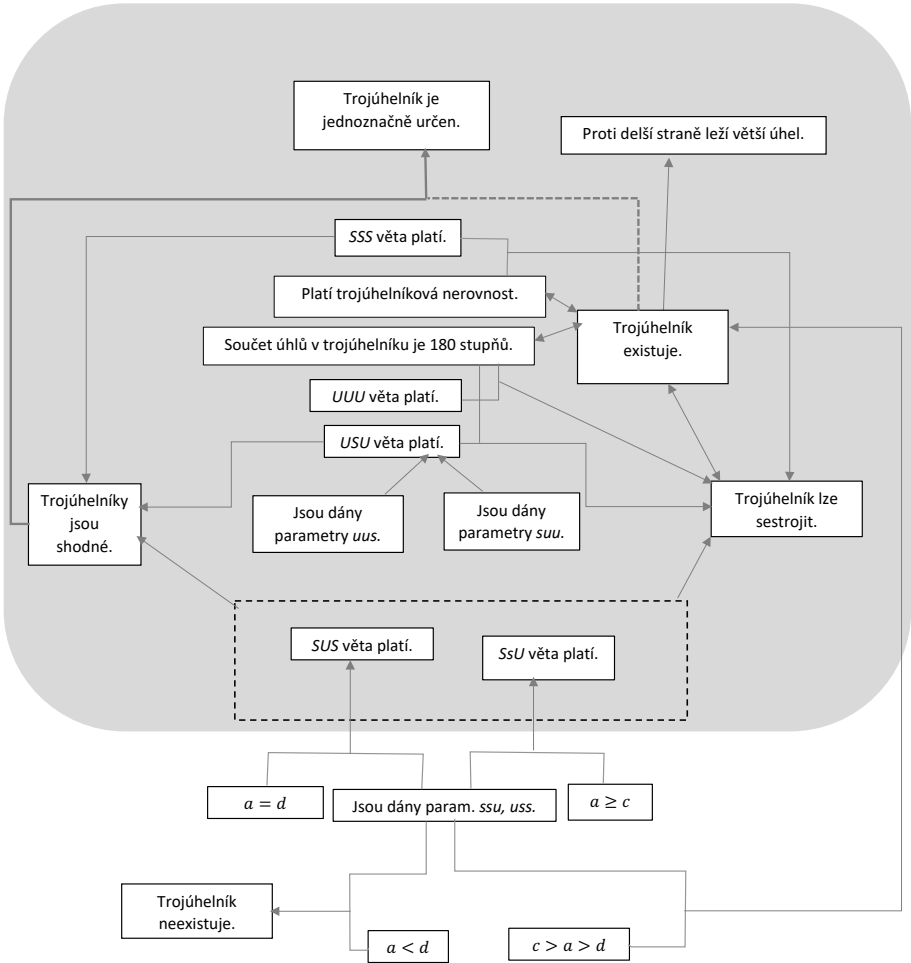
Výše uvedené úvahy jsou znázorněny ve vědeckém schématu (transformační dimenze A) na obrázku 9.

Z hlediska transformační dimenze B vidíme významný rozdíl oproti vědeckému schématu v problematice existence a jednoznačnosti a v neuvedení skutečnosti, že existence je nutnou podmínkou jednoznačnosti, přičemž věty o shodnosti samy o sobě nemohou existenci zaručit. To je znázorněno na obrázku 9 přerušovanou šipkou mezi konceptem existence trojúhelníku a jednoznačností jeho určení. Také celé vědecké schéma nebylo v lekci pokryto a zahrnuté části (tj. dimenze B) jsou na obrázku 9 vystínovány šedě.

4.3.4 Zjištění z žákovského testování a fokusních skupin

Zaměříme se na učební úlohu, kde žáci dostali tři parametry pro strany anebo vnitřní úhly a měli se rozhodnout, zda odpovídající trojúhelník nelze sestrojit, je jednoznačně určen nebo není jednoznačně určen. Dostali (pro lepší orientaci) obrázek s vyznačenými prvky. Byli poučeni, že obrázek je pouze ilustrativní a proporce v něm nemusí odpovídat. Učební úloha se skládá z pěti problémů se specifickou sadou hodnot, zde se zaměříme pro jednoduchost pouze na problém s následujícími parametry: strana $a = 5$ cm, strana $c = 3$ cm, úhel $\gamma = 90^\circ$. Takový trojúhelník nemůže být zkonstruován kvůli porušení věty o větší straně proti většímu úhlu. Většina žáků však v pretestu (transformační dimenze C1) i posttestu (transformační dimenze C2) uvedla, že trojúhelník lze zkonstruovat a je jednoznačně určen (viz tab. 3).

Velmi nízká úspěšnost žáků v posttestu může souviset s tím, co bylo zjištěno v analýze učební situace (transformační dimenze B), kde učitel nezmínil nutnost kontroly podmínek existence před aplikací vět o shodnosti pro určení jednoznačnosti. Domníváme se, že nesprávné odpovědi mohly být zvláště podpořeny výukovou situací na konci hodiny se dvěma různými řešeními pro výše uvedený soubor parametrů *ssu*. Náš náhled na přemýšlení žáků se zlepšil během fokusní skupiny s pěti žáky. Ti byli vybráni na základě rozdílů v jejich celkovém skóre v pretestu a posttestu.



Obr. 9. Diagram hloubkové struktury výuky – transformační roviny A a B pro případ existence a jednoznačnosti trojúhelníku a pozorované vyučovací situace

Naše zjištění z fokusní skupiny přispěla k interpretaci výsledků testu. Čtyři žáci v posttestu uvedli, že trojúhelník byl jednoznačně určen, za-

tímco pouze jedna žákyně odpověděla správně, i když v pretestu uvedla, že trojúhelník existuje. Tato jediná žákyně zmínila, že se soustředila především

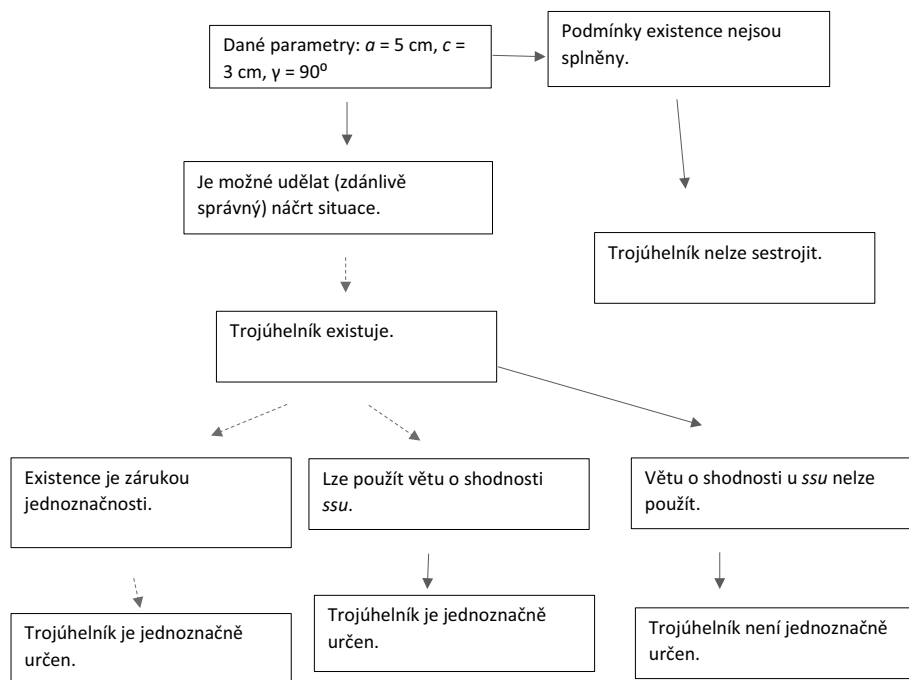


Tab. 3. Počty žáků, kteří si vybrali každou možnost v pretestu a posttestu

	Trojúhelník nelze zkonstruovat	Trojúhelník je jednoznačně určen	Trojúhelník není jednoznačně určen
Pretest	6	17	4
Posttest	7	15	5

na počítání a ne na načrtnutí obrázků, což byl případ všech ostatních účastníků. Fokusní skupina také odhalila, že žáci mají potíže s pochopením konceptu jednoznačnosti. Například v diskusi o problému, kde byly uvedeny pouze velikosti úhlů (takže trojúhelník existoval,

ale nebyl jednoznačně určen...), jedna žákyně řekla: „Pro tu úlohu pouze s úhly mi bylo jasné, že zde nemáme centimetry, takže může být tak velký, jak chce. Ale u ostatních problémů jsem spíš tápala. Například jsem si byla jistá, že by to mohlo být zkonstruováno, ale pak



Obrázek 10. Mentální schémata žáka (transformační dimenze C)



jsem přemýšlela, zda je to jednoznačně určeno, nebo ne...“ Ačkoli tato žákyně byla schopna poskytnout správné zdůvodnění vedoucí k existenci nekonečně mnoha řešení, uvedla, že trojúhelník je jednoznačně určen, vinou nedostatečného porozumění danému konceptu.

Z hlediska mentálních schémat žáků můžeme předpokládat, že žáci řeší problém nesprávně, protože typicky ignorují podmínky existence trojúhelníku a věří, že trojúhelník existuje jednoduše díky možnosti načrtnout situaci. Při rozhodování o jednoznačnosti pracovali pravděpodobně (správně nebo nesprávně) s větou o shodnosti u *ssu*, nebo vůbec nepochopili pojem jednoznačnosti. Diagramy odpovídající každé možnosti jsou znázorněny společně na obrázku 10 s nesprávným odůvodněním označeným přerušovanými čarami.

4.3.5 Diskuse a shrnutí

Z pohledu teorie obsahové transformace a našeho obecného přístupu k ní jsme na příkladu z matematiky demonstrovali důležitost detailů výuky pro porozumění žáků a užitečnost S-L sítí pro řešení této problematiky. Z oborově specifického hlediska jsme ukázali, že koncept jednoznačnosti, přestože je pro matematiku klíčový, je pro žáky daného věku a úrovně znalostí velmi problematický. Je proto sporné, zda by tento pojem měl být zahrnut do tohoto druhu výuky. Pokud se učitel rozhodne jej zařadit, je nezbytné jej jasně definovat a ilustrovat na příkladech z příslušné oblasti matematiky.

5. DISKUSE A ZÁVĚRY

V této studii jsme předložili teoretický model a metodiku pro detailní zkoumání účinků obsahové transformace ve třídě na proměny stavu mentálních schémat žáků. Jejich výzkumná aplikace do tří disciplín (fyzika, geografie, matematika) demonstuje jejich transdisciplinární rozsah. Metodologickým východiskem analýzy je komparace S-L sítí tří základních dimenzí obsahové transformace: vědecké schéma, tematizace vědeckého obsahu ve vzdělávacím prostředí a reprezentace mentálních schémat žáků při řešení problémů. Propojení těchto tří základních dimenzí je reprezentováno diagramem hloubkové struktury výuky. Vliv detailů výuky na znalosti obsahu žáků by mohl být snadno přehlednut bez reprezentace této struktury. Nedávné publikace zabývající se transformací obsahu (Duit et al., 2012; Savelli, 2016; Gericke et al., 2018; Deng, 2021) tento strukturální přístup založený na S-L sítích nenabídl. My jeho využitelnost dlouhodobě ověřujeme v rámci metodiky 3A (Janík et al., 2013; Slavík et al., 2017a, 2017b). Zde jsme ji demonstrovali v poněkud odlišném metodickém provedení detailní analýzou výuky ze tří různých oborů: fyziky, geografie a matematiky.

Zkoumání obsahové struktury výuky fyziky se u nás věnovali Brückmannová a Janík (2008). Jejich výzkum metodicky založený na obsahově strukturálních diagramech však věnoval



pozornost spíše propojení obsahových bloků, nikoli detailním významovým a logickým souvislostem pojmové, resp. obsahové struktury. Právě tyto detailní momenty S-L struktury („detaily výuky“) však, jak ukazuje náš výzkum, nezřídka hrají klíčovou roli na cestě žáků k hlubšímu porozumění vědeckým poznatkům a vytvoření plnohodnotných mentálních schémat. Naše analýza prostřednictvím S-L sítí vedla k odhalení několika konkrétních příčin problémů žáků s vytvářením vědecky korektních mentálních schémat.

V případě fyziky bylo vědecké schéma zdánlivě velmi jednoduché (ne mnoho prvků a vztahů), ale náročné na hluboké porozumění významům a kauzálním vztahům. Tematizace vědeckého obsahu ve vzdělávacím prostředí mohla vést k nesprávnému pochopení kauzálních vztahů. Žáci pak měli tendenci vytvářet jednoduchou myšlenkovou zkratku, která vedla k nesprávným řešením i pro základní učební úlohy. V případě geografie byla problémem nedostatečná složitost uchopení vědeckého schématu, kdy byly žákům prezentovány dílčí znalosti, ale nikoli jejich významové a logické souvislosti. Zobrazení S-L sítě též ukázalo, že struktura vědeckých poznatků, které by žáci měli ve výuce zvládnout, byla nadměrně složitá a vymykala se zóně nejbližšího vývoje. Konečně v případě matematiky nedošlo ve vyučovacím prostředí k nezbytnému propojení obou klíčových částí vědeckého schématu, takže žáci rozhodovali o jedno-

značnosti řešení problému, aniž si uvědomili, zda toto řešení vůbec existuje. Analýza založená na S-L sítích umožnila ve všech případech podrobně prozkoumat příčiny problémů s utvářením „mocných“ znalostí. V tom vidíme přínos detailní analýzy výuky s oporou o S-L síť.

Gericke et al. (2018) ve shodě s Denigem (2021) ve svých člancích zaměřených na mocné znalosti a jejich operationalizaci jako výzkumný rámec pro didaktiku jednotlivých disciplín poukazují na potřebu empirického výzkumu v této oblasti. V návaznosti na Younga (2008) také zdůrazňují důležitost zkoumání transformací obsahu mezi vědeckým zdrojem mocných znalostí a jeho skutečným uplatněním ve výuce a učení. Gericke et al. (2018) k tomu formulují tři zastřešující otázky:

1. Jak lze charakterizovat povahu mocných znalostí v různých školních předmětech?
2. Jak lze popsat transformační procesy související s „mocnými znalostmi“?
3. Jaké jsou bariéry a podmínky pro transformaci mocných znalostí v různých předmětech?

Věříme, že náš zde popsáný přístup konkrétně ukazuje, jak se s těmito výzkumnými otázkami vypořádat empirickým výzkumem vzdělávací praxe s důrazem na zachování obsahové identity a tím i „síly“ vědeckého poznání. Každá z našich tří základních dimenzí obsahové transformace odpovídá jedné z otázek. S-L síť vědeckého schématu představuje základní myšlenkovou



strukturu mocných znalostí, S-L sítě související s tematizací vzdělávacího obsahu ukazují, jak se mocné znalosti transformují během výuky, a problémy v procesu učení mohou být odhaleny v S-L sítích demonstrujících řešení úloh žáky.

Význam S-L sítí však vidíme nejen v názorném strukturování obsahu při hlubších teoretických analýzách výuky, ale také přímo ve výukové praxi jako vizuální a myšlenkové opory pro komunikaci se žáky a podklad pro náhled vyučujících na náročnost vzdělávacího obsahu a na epistemické důsledky jeho transformací. Pokud se týká opory pro žáky, věříme, že může být přínosné ukázat žákům S-L sítí pro správnou odpověď (nebo kombinaci odpovědí) a často volenou nesprávnou odpověď a přímo jim jasně ukázat, jak se sítě liší, která propojení chybí nebo jsou nadbytečná atd. Je to podobný princip, jako když je lékař schopen pacientovi při sdělení diagnózy jasně ukázat, kde je problém, a prokázat, že lékařská věda s tím má zkušenosti a dokáže to vyřešit. Tento krok může být důležitý s ohledem na důležitost cílené vizualizace při překonávání obzvláště silných mylných představ ve výuce přírodních věd.

S ohledem na náročnost vzdělávacího obsahu nebo epistemické důsledky jeho transformací jsou S-L sítě v hloubkové struktuře výuky zásadní oporou racionálních analýz. Reprezentují složitost a provázanost významové a logické struktury obsahu a jsou po-

kladem pro podložené rozhodování o možnostech jejich úprav pro výuku žáků určitého věku, s určitými vzdělávacími možnostmi a potřebami. Právě s ohledem na úvodem vzpomínanou objektivizační dimenzi transformací lze S-L sítě pokládat za nutné východisko pro všechny další úvahy o přibližování vědeckého obsahu žákům. S oporou v nich je totiž možné racionálně diskutovat, do jaké míry zjednodušení „mocného“ vědeckého obsahu je ve výuce možné jít, aby se nevytrácely nároky na rozvíjení hlubokého myšlení.

Předkládaná studie demonstrovala přístup založený na S-L sítích pro konkrétní témata přírodovědných předmětů (fyzika, fyzická geografie) a matematiky. Jde primárně o ilustraci bez aspirace na obecnou platnost či reprezentativnost, což souvisí i s tím, že zapojení učitelé byli z hlediska motivovanosti, zájmu o obor apod. spíše nadprůměrní. I u těchto učitelů však hrály snadno přehlédnutelné detaily výuky zásadní roli pro žákovské (ne) pochopení žákovských konceptů. Stupeň použitelnosti uvedeného přístupu ve společenskovědních disciplínách stejně jako v jiných částech přírodovědných předmětů vyžaduje další výzkum. Odhadujeme však, že význam S-L sítí pro výuku by měl být prokazatelný ve všech oblastech, které jsou založeny na zdůvodňování a racionální argumentaci v dialogu. V návaznosti na výše uvedené otázky ze studie Gericke et al. (2018) a s ohledem na aktu-



ální revize kurikula považujeme za klíčovou otázku, jak by námi uvedený přístup mohl sloužit k analýzám vzta- hů „mocných znalostí“ k cílům obecné úrovně, tj. gramotnostem a klíčovým kompetencím. Tyto analýzy v okruhu metodiky 3A byly již v minulých le- tech uskutečněny v mnoha předmětech (Janík et al., 2013; Slavík et al., 2017a, 2017b). Doposud to však bylo bez sys- tematického soustředění na otázky spojené s problematikou vzdělávací transformace „mocných znalostí“. Tato

studie k tomu nabízí podněty a mož- ná východiska. Zejména předkládá k diskusi alternativní model hloubkové struktury výuky s nově koncipovanou kognitivní vrstvou, která reprezentuje míru kvality žákovského porozumění „mocným znalostem“. Poskytuje tím nové pohledy na relevantní (empiric- ky však stále nedostatečně studované) téma a zároveň představuje konkrétní teoreticko-metodologické východisko pro realizaci dalších empirických vý- zkumů v této oblasti.

LITERATURA

- Ainsworth, T. (2020). *Form vs. Matter*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Dotupné z <https://plato.stanford.edu/archives/sum2020/entries/form-matter/>.
- Alexander, R. J. (2006). *Towards dialogic teaching: Rethinking classroom talk*. Dialogos UK.
- Aristotle (1999). *Metaphysics*. Green Lion Press.
- Artigue, M. (1992). Didactic engineering. *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 13(3), 41–66.
- Barrett, B., & Rita, E. (Eds.). (2014). *Knowledge and the future of the curriculum: International studies in social realism*. Palgrave Macmillan.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A study in experimental psychology*. Cambridge University Press.
- Bernstein, B. (1971) On the classification and framing of educational knowledge. In M. Young (Ed.), *Knowledge and control: New directions for the sociology of education* (s. 47–69). Collier Macmillan.
- Bernstein, B. (1990). *Class, codes and control: The structuring of pedagogic discourse (vol. 4)*. Routledge.
- Bernstein, B. (1999) Vertical and horizontal discourse: An essay. *British Journal of Sociology of Education*, 20(2), 157–173.
- Birnie, J. (1999). Physical geography at the transition to higher education: The effect of prior learning. *Journal of Geography in Higher Education*, 23(1), 49–62.
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Bloomfield, L. (1946). Linguistic aspects of science. In O. Neurath, R. Carnap & C. W. Morris (Eds.), *International encyclopaedia of unified science*. University of Chicago Press.
- Bohm, D. (1987). *Unfolding meaning: A weekend of dialogue with David Bohm*. Routledge.



- Boutyline, A., & Soter, L. K. (2021). Cultural schemas: What they are, how to find them, and what to do once you've caught one. *American Sociological Review*, 86(4), 728–758.
- Bozkurt, F. (2019). Evaluation of geography textbooks in terms of misconceptions about climate topic. *RIGEO*, 9(1), 149–170.
- Brückmannová, M., & Janík, T. (2008). Diagram obsahové struktury vyučovací hodiny: ukázka z výuky fyziky. In T. Janík et al., *Metodologické problémy výzkumu didaktických znalostí obsahu* (s. 89–101). Paido.
- Budínová, I., & Janík, T. (2021). Children with reduced cognitive efficiency and addition of natural numbers up to 20. Case study. *Journal of Elementary Education*, 14(2), 125–148.
- Buty, A., Tiberghien, Ch., & Le Maréchal, J-F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching–learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 579–604.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. MIT Press.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensée Sauvage.
- Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of research on conceptual change* (s. 61–82). Erlbaum.
- Currie, G., & Ravenscroft, I. (2011). *Recreative minds: Imagination in philosophy and psychology*. Oxford University Press.
- Daniels, H. (2015). Mediation: An expansion of the socio-cultural gaze. *History of the Human Sciences*, 28(2), 34–50.
- Davidson, D. (1973–1974). On the very idea of a conceptual scheme. *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, 47(1973–1974), 5–20.
- de Jong, W. R. (2010). The analytic-synthetic distinction and the classical model of science: Kant, Bolzano and Frege. *Synthese*, 174(2), 237–261.
- Deng, Z. (2007). Transforming the subject matter: Examining the intellectual roots of pedagogical content knowledge. *Curriculum Inquiry*, 37(3), 279–295.
- Deng, Z. (2021). Powerful knowledge, transformations and Didaktik/curriculum thinking. *British Educational Research Journal*, 47(6), 1652–1674.
- Dennett, D. C. (1995). *Darwin's dangerous idea: Evolution and the meanings of life*. Simon & Schuster.
- Dennett, D. C. (1996). *Kinds of mind*. Basic Books.
- Derry, S. J. (1996). Cognitive schema theory in the constructivist debate. *Educational Psychologist*, 31(3–4), 163–174.
- Dewey, J. (1981). Experience and nature. In J. A. Boydston (Ed.), *John Dewey: The later works. 1925–1953, Vol. 1*. Southern Illinois University Press.
- Dewey, J. (1986a). How we think: Restatement of the relation of reflective thinking to the educative process. In J. A. Boydston (Ed.), *John Dewey. The later works. 1925–1953, Vol. 8*. Southern Illinois University Press.



- Dewey, J. (1986b). Logic: The theory of inquiry. In J. A. Boydston (Ed.), *John Dewey: The later works. 1925–1953, Vol. 12*. Southern Illinois University Press.
- Dewey, J. (1990). *The school and society & the child and the curriculum*. University of Chicago Press.
- DiMaggio, P. (1997). Culture and cognition. *Annual Review of Sociology*, 23, 263–287.
- Dole, J. A., & Sinatra, G. M. (1998). Reconceptualizing change in the cognitive construction of knowledge. *Educational Psychologist*, 33(2–3), 109–128.
- 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* (s. 13–37). Brill Sense.
- Dvořák, D. (2017). Vzdělávací obsah: Ukazují Bernsteinova teorie a sociální realismus cestu z krize? *Pedagogika*, 67(3), 2017, 203–218.
- Fauconnier, G., & Turner, M. (2002). *The way we think. Conceptual blending and the mind's hidden complexities*. Basic Books.
- Ferdiánová, V., Kohout, J., & Konečná, P. (2022). Triangles and their properties as a means of understanding the concepts of existence and definiteness. In T. Janík, J. Slavík & T. Čěšková (Eds.), *Didactic case studies and productive learning culture* (s. 69–94). Masarykova Univerzita.
- Fisherman, D. (2012). Mind, education, and active content. In C. W. Ruitenberg (Ed.), *Philosophy of education* (s. 163–171). Philosophy and Education Society.
- Fried, M. N. (2014). History of mathematics in mathematics education. In Matthews, M. (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (s. 00–00). Springer.
- Geen, R., Bordoni, S., Battisti, D. S., & Hui, K. (2020). Monsoons, ITCZs, and the concept of the global monsoon. *Review of Geophysics*, 58(4), 1–45.
- Gericke, N., Hudson, B., Olin-Scheller, C., & Stolare, M. (2018). Powerful knowledge, transformations and the need for empirical studies across school subjects. *London Review of Education*, 16(3), 428–444.
- Ghosh, V. E., & Gilboa, A. (2014). What is a memory schema? A historical perspective on current neuroscience literature. *Neuropsychologia*, 53, 104–114.
- Goodchild, S., & Sriraman, B. (2012). Revisiting the didactic triangle: From the particular to the general. *ZDM Mathematics Education*, 44, 581–585.
- Goodman, N. (1968). *Languages of art: An approach to a theory of symbols*. The Bobbs-Merrill Company.
- Goodman, N. (1988). Sights unseen. In N. Goodman & C. Z. Elgin (Eds.), *Reconceptions in philosophy and other arts and sciences* (s. 83–92). Hackett Publishing.
- Haj-Yahya, A. (2022). Students' conceptions of the definitions of congruent and similar triangles. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 53(10), 2703–2727.



- Henderson, D. K. (1994). Conceptual schemes after Davidson. In G. Preyer, F. Siebelt & A. Ulfig (Eds.), *Language, mind, and epistemology* (s. 171–197). Springer.
- Henriques, L. (2000). Children's misconceptions about weather: A review of the literature. *School Science and Mathematics*, 102(5), 205–215.
- Hestenes, D. (2006). Notes for a modeling theory of science, cognition, and instruction. In E. van der Berg, T. Ellermeijer & O. Slooten (Eds.), *Proceedings of the 2006 GIREP conference: Modelling in Physics and Physics Education* (s. 34–65). University of Amsterdam.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–158.
- Hewitt, P. G. (2017). Newton's (often misunderstood) third law of motion. *The Science Teacher*, 84(2), 12–15.
- Hofstadter, D. R. (2012). *Gödel, Escher, Bach: Existenciální gordická balada*. Argo, Dokořán.
- Hopmann, S. (2007). Restrained teaching: The common cores of didaktik. *European Educational Research Journal*, 6(2), 109–124.
- Hunzaker, M. B. F., & Valentino, L. (2019). Mapping cultural schemas: From theory to method. *American Sociological Review*, 84(5), 950–981.
- Hust, M., & Howe, C. (2012). Understanding the beliefs informing children's commonsense theories of motion: The role of everyday object variables in dynamic event predictions. *Research in Science & Technological Education*, 30, 3–15.
- Jacob, P. (2019, November 27). *Intentionality*. The Stanford encyclopedia of philosophy. Dostupné z <https://plato.stanford.edu/archives/win2019/entries/intentionality/>
- Janík, T. (2018). Od obsahu vzdělávání k žákové znalosti: Kritická místa na cestě do školy a ze školy. *Arnica*, 8(1), 1–8.
- Janík, T., & Slavík, J. (2009). Obsah, subjekt a intersubjektivita v oborových didaktikách. *Pedagogika*, 59(2), 116–135.
- Janík, T., Slavík, J., Mužík, V., Trna, J., Janko, T., Lokajíčková, V., ... & Zlatníček, P. (2013). *Kvalita (ve) vzdělávání: Obsahově zaměřený přístup ke zkoumání a zlepšování výuky*. Brno: Masarykova univerzita.
- Janík, T., Slavík, J., Najvar, P., & Janíková, M. (2019). Shedding the content: Semantics of teaching burdened by didactic formalisms. *Journal of Curriculum Studies*, 51(2), 185–201.
- Janík, T., Slavík, J., Najvar, P., & Jirotková, D. (2020). The same and the different: On semantization and instrumentalization practices in the (maths) classroom. *SAGE Open*, 10(3), 1–12.
- Jewitt, C. (2012). *An introduction to using video for research*. National Centre for Research Methods.
- Kansanen, P. (2009). Subject-matter didactics as a central knowledge base for teachers, or should it be called pedagogical content knowledge? *Pedagogy, Culture & Society*, 17(1), 29–39.



- Kansanen, P. J. (2003). Studying – the realistic bridge between instruction and learning. An attempt to a conceptual whole of the teaching–studying–learning process. *Educational Studies*, (29)2/3, 221–232.
- Kansanen, P. J., & Meri, M. (1999). The didactic relation in the teaching–studying–learning process. In B. Hudson, F. Buchberger, P. Kansanen & H. Seel (Eds.), *Didaktik/Fachdidaktik as science(-s) of the teaching profession* (s. 107–116). TNTEE Publications.
- Klieme, E., Schümer, G., & Knoll, S. (2001). Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I: Aufgabenkultur und Unterrichtsgestaltung. In E. Klieme & J. Baumert (Eds.), *TIMSS – Impulse für Schule und Unterricht. Forschungsbefunde, Reforminitiativen, Praxisberichte und Video-Dokumente* (s. 43–57). Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Kvasz, L. (2020). Inštrumentálny realizmus ako možné východisko teoretickej reflexie vyučovania matematiky. *Orbis scholae*, 14(1), 7–32.
- Kvasz, L. (2022). Instrumental realism: A new start for philosophy of mathematics and the philosophy of science. In W. J. Gonzales (Ed.), *Current trends in philosophy of science: Prospective for the near future* (s. 165–190). Springer.
- Laborde, C. (1997). Affronter la complexité des situations d'apprentissage de mathématiques en classe: Défis et tentatives [Facing the complexity of learning situations in classroom of mathematics]. *Didaskalia*, 10, 97–112.
- Law, N., & Ogborn, J. (1994). Students as expert system developers: A means of eliciting and understanding commonsense reasoning. *Journal of Research on Computing in Education*, 26(4), 497–513.
- Leung, K. C., Ding, L., Leung, A. Y. L., & Wong, N. Y. (2014). Prospective teachers' competency in teaching how to compare geometric figures: The concept of congruent triangles as an example. *Research in Mathematical Education*, 18(3), 171–185.
- Lokajíčková, V. (2013). Geography: The warm and cold front, or how to develop learning competence in geography. In T. Janík et al. (Eds.), *Quality (in) education: A content-based approach to research and teaching improvement* (s. 303–310). Masarykova Univerzita.
- Lynch, M. P. (1997). Three models of conceptual schemes. *An Interdisciplinary Journal of Philosophy*, 40(4), 407–426.
- Mason, M. M. (1989). *Geometric understanding and misconceptions among gifted fourth-eighth graders*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association (San Francisco, CA, March 27–31, 1989). Dostupné z <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED310922.pdf>
- McVee, M. B., Dunsmore, K., & Gavelek, J. R. (2005). Schema theory revisited. *Review of Educational Research*, 75(4), 531–566.
- Métioui, A., & Trudel, L. (2017). Misconceptions and history of science in science-student education: Force-gravity and motion. *International Journal of Technical Research and Applications*, 5(1), 88–94.



- Nelson, B. D., Aron, R. H., & Francek, M. A. (1992). Clarification of selected misconceptions in physical geography. *Journal of Geography*, 91(2), 76–80.
- Niaz, M. (1995). Chemical equilibrium and Newton's third law of motion: Ontogeny/phylogeny revisited. *Interchange*, 26(1), 19–32.
- Patkin, D., & Plaksin, O. (2011). Congruent triangles sufficient and insufficient conditions suggested milestones for inquiry and discussion. *Research in Mathematical Education*, 15(4), 327–340.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods*. Thousand Oaks.
- Peregrin, J. (1997). Structure and meaning. *Semiotica – Journal of the International Association for Semiotic Studies*, 113(1–2), 71–88.
- Peregrin, J. (2000). *Meaning and structure*. Asghate Publishing.
- Pluháčková, M., Duffek, V., Stacke, V., & Mentlík, P. (2019). *Kritická místa kurikula zeměpisu na 2. stupni základní školy I. Západočeská univerzita v Plzni*.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P.W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 67, 489–508.
- Prawat, R. S. (1996). Constructivisms, modern and postmodern. *Educational Psychologist*, 31(3–4), 215–225.
- Pylyshyn, Z. W. (1989). Computing in cognitive science. In M. I. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science* (s. 51–91). MIT Press.
- Pylyshyn, Z. W. (1999). Is vision continuous with cognition? The case for cognitive impenetrability of visual perception. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(3), 341–365.
- Quine, W. O. (1960). *Word and object*. MIT Press.
- Ramage, C. S. (1971). *Monsoon meteorology*. Academic.
- Richter, S. (2012). Learning tasks. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the sciences of learning*, (s. 1975–1979). Springer.
- Robitaille, D. F. (1993). *Curriculum frameworks for mathematics and science. TIMSS Monograph No. 1*. Pacific Educational Press.
- Rumelhart, D. E. (1980). Schemata: The building block of cognition. In R. J. Spiro, B. Bruce & W. Brewer (Eds.), *Theoretical issues in reading comprehension* (s. 33–58). Routledge.
- Rumelhart, D. E. (1984). Schemata and the cognitive system. In R. S. Wyer, Jr., & T. K. Srull (Eds.), *Handbook of social cognition, Vol. 1* (s. 161–188). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1981). Accretion, tuning, and restructuring: Three modes of learning. In J. W. Cotton & R. Klatzky (Eds.), *Semantic factors in cognition* (s. 37–60). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Ruthven, K. (2012). The didactical tetrahedron as a heuristic for analysing the incorporation of digital technologies into classroom practice in support of investigative approaches to teaching mathematics. *ZDM – The International Journal on Mathematics Education*, 44, 627–640.



- Savelli, S. (2016). Recover the lost paradigm: Technology guided by teaching methods. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 15(7), 97–109.
- Scheffler, I. (1995). The concept of the educated person. In I. Scheffler & V. A. Howard (Eds.), *Work, education, and leadership* (s. 83–95). Peter Lang.
- Schönfeld, A. H. (2012). Problematizing the didactic triangle. *ZDM – The International Journal on Mathematics Education*, 44, 587–599.
- Schütz, A. (1953). Common-sense and scientific interpretation of human action. *Philosophy and Phenomenological Research*, 14(1), 1–38.
- Schwab, J. J. (1973). The practical 3: Translation into curriculum. *The School Review*, 81(4), 501–522.
- Searle, J. R. (2004). *Mind: A brief introduction*. Oxford University Press.
- Seidl, M., & Puhl, K. (2007). Order from intermediality: An outline of a model knowledge production and knowledge reception. In T. Hug (Ed.), *Didactics of Microlearning. Concepts, Discourses, and Examples* (s. 69–82). Waxmann.
- Seman, S. (2022). *Monsoons: Giant sea / land breeze*. Department of Meteorology and Atmospheric Science, College of Earth and Mineral Sciences, Pennsylvania State University. Dostupné z <https://www.e-education.psu.edu/meteo3/node/2271>
- Shahbari, J. A., & Daher, W. (2020). Learning congruent triangles through ethnomathematics: The case of students with difficulties in mathematics. *Applied Sciences*, 10(14), 4950.
- Shipman, B. A. (2013). On the meaning of uniqueness. *PRIMUS*, 23(3), 224–233.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–22.
- Schommer, M. (1990). Effect of beliefs about the nature of knowledge on comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 82(3), 498–504.
- Slavík, J., & Janík, T. (2012). Kvalita výuky: Obsahově zaměřený přístup ke studiu procesů vyučování a učení. *Pedagogika*, 62(3), 262–286.
- Slavík, J., Lukavský, J., Najvar, P., & Janík, P. (2015). Profesní soud o kvalitě výuky: Předem a následně strukturovaná reflexe. *Pedagogika*, 65(1), 5–33.
- Slavík, J., Janík, T., & Najvar, P. (2016). Producing knowledge for improvement: The 3A procedure as a tool for research on teaching and learning. *Pedagogika*, 66(6), 672–688.
- Slavík, J., Janík, T., & Najvar, P., & Knecht, P. (2017a). *Transdisciplinární didaktika: O učitelském sdílení znalostí a zvyšování kvality výuky napříč obory*. Masarykova univerzita.
- Slavík, J., Stará, J., Uličná, K., Najvar, P. et al. (2017b). *Didaktické kazuistiky v oborech školního vzdělávání*. Masarykova univerzita.
- Slavík, J., Janík, T., Kohout, J., Česková, T., Mentlík, P., & Najvar, P. (2021). K teorii aktivního vzdělávacího obsahu v transdidaktickém pojetí. *Orbis scholae*, 15(1), 9–36.



- Stenberg, K., Karlsson, L., Pitkaniemi, H., & Maaranen, K. (2014). Beginning student teachers' teacher identities based on their practical theories. *European Journal of Teacher Education*, 37(2), 204–219.
- Stocklmayer, S., Rayner, J. P., & Gore, M. M. (2012). Changing the order of Newton's laws: Why and how the third law should be first. *The Physics Teacher*, 50(7), 406–409.
- Strahler, A. (2011). *Introducing physical geography*. Wiley & Sons.
- Strawson, P. (1959). *Individuals*. Methuen.
- Strawson, P. (1966). *The bounds of sense*. Methuen.
- Teppo, A. (1991). Van Hiele levels of geometric thought revisited. *The Mathematics Teacher*, 84(3), 210–221.
- Terry, C., & Jones, G. (1986). Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 291–298.
- Thevenot, C. (2017). Arithmetic word problem solving: The role of prior knowledge. In D. C. Geary, D. B. Berch, R. J. Ochsendorf & K. Mann Koepke (Eds.), *Mathematical cognition and learning, acquisition of complex arithmetic skills and higher-order mathematics concepts* (s. 47–66). Academic Press.
- Vosniadou, S., & Brewer, V. F. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Educational Research*, 57(1), 51–67.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Warren, J. W. (1979). *Understanding Force*. John Murray.
- Wellman, H. (1990). *The child's theory of mind*. MIT Press.
- Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical investigation*. Basil Blackwell.
- Yin, R. K. (2014). *Case study research: Design and methods*. Sage.
- Young, M. (2007). Durkheim and Vygotsky's theories of knowledge and their implications for critical educational theory. *Critical Studies in Education*, 1(1), 46–63.
- Young, M. (2008). From constructivism to realism in the sociology of the curriculum. *Review of Research in Education*, 32(1), 1–28.
- Young, M. (2013). Overcoming the crisis in curriculum theory: A knowledge-based approach. *Journal of Curriculum Studies*, 45(2), 101–118.
- Young, M. (2015). Powerful knowledge as a curriculum principle. In M. Young, D. Lambert, C. Roberts & M. Roberts (Eds.), *Knowledge and the future school: Curriculum and social justice* (2. vyd., s. 65–88). Bloomsbury Academic.
- Young, M., & Muller, J. (2013). On the powers of powerful knowledge. *Review of education*, 1(3), 229–250.



Mgr. Jiří Kohout, Ph.D.

*Západočeská univerzita, Pedagogická fakulta, katedra fyziky;
e-mail: jkohout4@rek.zcu.cz, ORCID: 0000-0002-5614-2126*

RNDr. Václav Stacke, Ph.D.

*Západočeská univerzita, Pedagogická fakulta, katedra geografie,
ORCID: 0000-0002-5244-4768*

Mgr. Markéta Kuberská, Ph.D.

*Západočeská univerzita, Pedagogická fakulta, katedra geografie,
ORCID: 0000-0003-0254-8654*

RNDr. Petra Konečná, Ph.D.

*Ostravská univerzita, Pedagogická fakulta, katedra matematiky,
ORCID: 0000-0001-5922-7013*

PhDr. Pavel Masopust, Ph.D.

*Západočeská univerzita, Pedagogická fakulta, katedra fyziky,
ORCID: : 0000-0002-1769-6636*

Mgr. Věra Ferdiánová, Ph.D.

*Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, katedra matematiky,
ORCID: 0000-0002-4157-1366*

doc. RNDr. Pavel Mentlík, Ph.D.

*Západočeská univerzita, Pedagogická fakulta, katedra geografie,
ORCID: 0000-0002-6068-8615*

doc. PaedDr. Jan Slavík, CSc.

*Západočeská univerzita, Pedagogická fakulta, katedra pedagogiky,
ORCID: 0000-0002-0815-6582*



KOHOOUT, J., STACKE, V., KUBERSKÁ, M., KONEČNÁ, P., MASOPUST, P., FERDIÁNOVÁ, V., MENTLÍK, P., SLAVÍK, J. Content Transformation in the Classroom: The influence of teaching details on pupils' understanding of the structure of scientific knowledge

Objectives – *The aim of the study, in the context of the historical development of didactics, is to analytically explain the theoretical construct of content transformation including the structure of its sub-terms, to justify its operationalization for the research of relations between teaching and learning through semantic-logical networks (S-L networks) and to demonstrate the application potential of this approach by replication in the teaching of physics, geography and mathematics. The aim of the research was to describe and explain the reasons that caused pupils' difficulties in understanding scientific schemes during the transformation of content in the classroom.*

Methods – *For the analysis of relations between teaching and learning through educational content, a modified 3A methodology extended by the cognitive layer was used. The methodological starting point of the analysis is the comparison of S-L networks of the three basic dimensions of content transformation: scientific scheme, thematisation of scientific content in the educational environment and representation of pupils' mental schemes in problem solving.*

Results – *Theoretical constructs and their methodological operationalisation were verified by replication in the educational disciplines of physics, geography, and mathematics. In each of these disciplines they enabled to explain the influence of teaching details on changes in the structure of pupil knowledge with respect to the specific content of the given discipline.*

Conclusions – *It has been shown that even detailed moments of the S-L structure, difficult to capture in practice, can have a strong influence on pupils' understanding of the structure of scientific knowledge. In doing so, theoretical and methodological constructs have been successfully replicated. The acquired knowledge can serve to directly support educational practice in relevant areas of the curriculum.*

Keywords: *content transformation, semantic-logical network, teaching details, deep structure of teaching and learning, powerful knowledge*