

Kritická místa ve výuce fyziky na ZŠ – úvod do problematiky a možnosti výzkumu

JIŘÍ KOHOUT, MARIE MOLLEROVÁ, PAVEL MASOPUST, LUKÁŠ FEŘT, OTA KÉHAR, JAN SLAVÍK

F **Abstrakt:** Předkládaná teoretická studie reprezentuje úvod do problematiky kritických míst kurikula ve fyzice na základní škole. Je představeno filozoficko-metodologické zázemí plánovaného empirického výzkumu a provedena jeho diskuze v kontextu obecné didaktiky a didaktiky fyziky. Z filozofického pohledu se opíráme o instrumentální realismus reprezentovaný v českém prostředí Ladislavem Kvaszem. Metodologicky poté stavíme na konceptuální fyzice reprezentující jeden z nejčastějších přístupů v současné didaktice fyziky. Je prezentován odhad typologie kritických míst kurikula založený na hierarchizaci konceptů ve fyzice zahrnující klíčové, substantivní, organizační a aplikační koncepty. Plánovaný empirický výzkum je poté odvozen z této typologie a bude zahrnovat polostrukturované rozhovory s učiteli fyziky, analýzu kurikulárních dokumentů a vnějšího prostředí, a rovněž rozbor výsledků českých žáků v mezinárodním srovnání TIMSS. Je uveden evidence-based přístup k přípravě nových vzdělávacích materiálů a detailně diskutován jeho potenciál. Jako celek tato studie představuje první krok směrem k systematickému výzkumu zaměřujícímu se na dosud prakticky nestudovanou oblast kritických a klíčových míst kurikula.

Klíčová slova: kritická místa kurikula, klíčová místa kurikula, didaktika fyziky, instrumentální realismus, konceptuální fyzika, hierarchie konceptů, evidence-based design.

KOHOUT, J., MOLLEROVÁ, M., MASOPUST, P., FEŘT, L., KÉHAR, O. & SLAVÍK, J. 2018. Kritická místa ve výuce fyziky na ZŠ – úvod do problematiky a možnosti výzkumu. *Arnica* 8, 1, 26–34. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň. ISSN 1804-8366. Rukopis došel 31. 1. 2018; byl přijat po recenzi 1. 6. 2018.

Jiří Kohout, Oddělení fyziky, Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy, Fakulta pedagogická, Západočeská univerzita v Plzni, Klatovská 51, 301 00, Plzeň, Česká republika; e-mail: jkohout4@kmt.zcu.cz • Marie Mollerová, Oddělení fyziky, Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy, Fakulta pedagogická, Západočeská univerzita v Plzni, Klatovská 51, 301 00 Plzeň, Česká republika; e-mail: maruska@cbg.zcu.cz • Pavel Masopust, Oddělení fyziky, Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy, Fakulta pedagogická, Západočeská univerzita v Plzni, Klatovská 51, 301 00 Plzeň, Česká republika; e-mail: pmasop@kmt.zcu.cz • Lukáš Feřt, Oddělení fyziky, Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy, Fakulta pedagogická, Západočeská univerzita v Plzni, Klatovská 51, 301 00 Plzeň, Česká republika; e-mail: lfert@kmt.zcu.cz • Ota Kéhar, Oddělení fyziky, Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy, Fakulta pedagogická, Západočeská univerzita v Plzni, Klatovská 51, 301 00 Plzeň, Česká republika; e-mail: kehar@kmt.zcu.cz • Jan Slavík, Katedra fyziky, Fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni, Technická 8, 306 14 Plzeň, Česká republika; e-mail: slavik@kfy.zcu.cz

Úvod

V současné didaktice fyziky (v anglosaském prostředí je užíván termín *physics education research*) najdeme řadu různorodých směrů výzkumu a to jak v mezinárodním (Beichner 2009), tak i v českém kontextu (Dvořák 2015). Někdy se mluví až o přílišné roztržitosti didaktického výzkumu a absenci shody ohledně hlavních priorit (Cummins 2011). Žádná pozornost však dosud nebyla věnována problematice klíčových a kritických míst kurikula a to navzdory značnému aplikačnímu potenciálu této problematiky.

Odlišná situace existuje v matematice, kde již v roce 2006 Americká asociace učitelů matematiky obšírně definovala tzv. *curriculum focal points* pro jednotlivé třídy základní školy, jež ve své podstatě odpovídají klíčovým místům kurikula (National Council of Teachers of Mathematics 2006). Na tento krok následně navázala řada amerických států zahrnutím klíčových míst do příslušných vzdělávacích standardů. V této souvislosti je zajímavé, že v původním dokumentu autoři hovoří výhradně o důležitosti uvažovaných témat a jejich návaznostech v další výuce matematiky

a naopak se zcela vyhýbají tomu dávat klíčová místa do souvislosti s problémy žáků při jejich zvládnutí. Nijak tedy nedávají klíčová místa do souvislosti s místy kritickými. Zcela jiná situace nastává ve vzdělávacích standardech některých amerických států (Texas Education Agency 2013; Ohio Department of Education 2017), kde se již hovoří o *critical areas of focus* a kritičnost je zde tedy posunuta do popředí. Kritická a klíčová místa v tomto pojetí tak prakticky splývají a uvedený termín označuje témata v kurikulu, která jsou podstatná z hlediska dalších návazností v matematice a zároveň dělají žákům značné problémy.

V České republice se problematika kritických míst ve výuce matematiky dostala do popředí v roce 2011 díky iniciativě skupiny z Pedagogické fakulty UK, která následně toto téma zpracovala několika různými způsoby (rozhovory s učiteli, rozbor prací žáků, mezinárodní srovnání TIMSS) a publikovala větší množství studií identifikujících kritická místa na základní škole a rozebírajících tento problém detailně i z psychodidaktického hlediska (Rendl *et al.* 2013;

Rendl & Vondrová, 2014). V rámci popsaného výzkumu byla kritická místa chápána jako oblasti, kde žáci selhávají a nebyl zde explicitně formulován požadavek na klíčovitost daných oblastí. Z výše uvedeného tedy vyplývá, že ke klíčovým a kritickým místům lze přistupovat různými způsoby a v literatuře nepanuje v tomto ohledu konsensus. O to důležitější je tyto pojmy jasně teoreticky ukotvit tak, aby nedocházelo k terminologickým nejasnostem.

Z hlediska fyziky můžeme předpokládat, že některá kritická místa z matematiky, identifikovaná v citovaných výzkumech, se do fyziky přirozeně přenáší. Pokud je například kritické řešení lineárních rovnic v matematice, dá se očekávat, že se to projeví kritičností tématu kalorimetrická rovnice ve fyzice. Podobně je tomu například u slovních úloh o pohybu, kde se matematika s fyzikou přirozeně prolínají, a v řadě dalších případů (problémy se slovními úlohami přitom svědčí o špatném chápání textů žáky, což je věc nejen matematiky, ale také např. českého jazyka). Specifickou roli pak mohou hrát situace, kdy matematické nároky ve fyzice předbíhají výuku matematiky a žáci potřebují aplikovat ve fyzice matematické postupy, které dosud neprobírali či je neměli možnost rádně procvičit.

Na druhou stranu jsme přesvědčeni o tom, že kritická místa ve fyzice nelze redukovat na problém matematické nedostatečnosti, stejně jako nelze fyziku jako celek (u fyziky na ZŠ to platí dvojnásob) označit jen jako aplikovanou matematiku. Je důvod se domnívat, že existují kritická místa ve fyzice jako taková i bez uvážení matematiky. Naším primárním cílem je zaměřit se právě na tato místa, což nás přivádí do světa tzv. **konceptuální fyziky**, která je charakterizována právě důrazem na fyzikální porozumění a snahou především v prvních letech fyzikálního vzdělávání omezit roli formálních matematických výpočtů.

■ Konceptuální fyzika

Výzkum kritických míst ve výuce přírodovědných předmětů na ZŠ popisovaný v tomto čísle časopisu se z filozofického hlediska opírá o instrumentální realismus reprezentovaný v českém a slovenském prostředí profesorem L. Kvaszem (2015), z hlediska metodologického je pak v souladu s tím zásadním konstruktem koncept. Oboje je z hlediska fyziky velmi příhodné. Instrumentální realismus klade velký důraz na vztah matematiky a fyziky, a skutečnost, že se matematická pravidla výborně uplatňují v reálném světě fyziky, dokonce dává do souvislosti s existencí objektivní reality. Koncept a konceptuální fyzika jsou poté v posledních desetiletích jedny z nejčastěji opakovaných témat v didaktice fyziky. Koncept zde přitom v souladu s terminologickou konvencí ustálenou v české didaktice a pedagogice nemůžeme chápat pouze jako ekvivalent pojmu vzniklý nevhodným překladem z anglického

jazyka (výraz *concept* společný pro pojem a koncept). Je pravda, že oba uvedené termíny mohou být v určitém kontextu volně zaměnitelné. Hovoří se například častěji o pojmových mapách než o mapách konceptuálních, ale i druhý uvedený termín se v českém jazykovém prostředí občas užívá a v obou případech jde o totéž (z anglického *concept map*). Na druhou stranu se hovoří vždy o konceptuální fyzice, nikoliv o fyzice pojmové, kde by se jednalo v podstatě o tautologii (bezpojmová fyzika není reálná). Stejně tak třeba studii nesoucí název *The development of concept of multiplication* (Park & Nunes 2001) bychom do češtiny mohli těžko přeložit jako „Vývoj pojmu násobení“, smysluplný překlad je „Vývoj konceptu násobení“.

Přehled publikačních trendů v didaktice fyziky (Lin *et al.* 2014) ukazuje, že konceptuální fyzika včetně konstruktu konceptuální změny ještě v 90. letech 20. století dominovala, v posledních letech pak přes určité oslabení stále reprezentuje více než 15 % publikačních výstupů. Jedná se tedy, jak uvádí Beichner (2009), o jeden z dominantních výzkumných trendů v didaktice fyziky.

Z historického hlediska je konceptuální fyzika spojována nejčastěji se jménem Paula G. Hewitta, který v roce 1971 vydal učebnici pro základní školy s názvem *Conceptual Physics: A New Introduction to your Environment*. V této knize tento bývalý boxer, prospektor a autor komiksů představil přístup založený na zdůraznění hlavních fyzikálních konceptů a výrazném omezení role formálních matematických výpočtů, které dominovaly ve většině učebnic fyziky té doby. Na první pohled šlo dokonce o kontroverzní pokus stavět fyziku zcela bez matematiky. Jak však v dobové recenzi této knihy v časopise *Physics Teacher* uvedl Kenneth Ford (1971), uvedenou učebnici snad lze označit za fyziku bez výpočtů či bez rovnic, rozhodně však ne jako fyziku bez matematiky. Dalším milníkem ve vývoji konceptuální fyziky bylo vytvoření prvního konceptuálního testu. Byl jím Test porozumění síle (Force Concept Inventory, dále jen FCI) publikovaný Hestenesem *et al.* (1992) a určený primárně pro vysoké školy. Konceptuálním testům a jejich dopadu na didaktiku fyziky se budeme věnovat v další části článku.

V 90. letech zažila konceptuální fyzika obrovský boom, kdy vedle konceptuálních testů hrála velkou roli teorie konceptuální změny (cf. Dykstra *et al.* 1992), rozvíjela se problematika konceptuálních (pojmových) map a sítí (Adamczyk & Wilson 1996), začaly vznikat konceptuální komiksy (v českém prostředí se často mluví o tzv. bublinových úlohách) jako netradiční pomůcka při výuce fyziky (Keogh & Naylor 1999). Postupně se začalo mluvit i o konceptuální integraci propojující koncepty jednotlivých přírodovědných disciplín, ačkoliv iniciativa zde vychází spíše od zástupců jiných přírodovědných oborů než od didaktiků fyziky (cf. Talanquer 2014).

Hierarchizace konceptů ve fyzice

Přes uvedený dynamický vývoj však v didaktice fyziky prakticky nebyla věnována pozornost nějaké hierarchizaci v této oblasti. Na první pohled to může být překvapivé, je však třeba uvést, že v didaktice fyziky obecně není na existenci teoretického rámce kladen velký důraz a řada autorit v této oblasti dle Cummingsové (2011) dokonce existenci takového rámce nepokládá za podstatnou. Koncepty tak byly typicky chápány intuitivně, a pokud se objevil nějaký pokus o hierarchizaci, projevila se terminologická neujasněnost a výsledky byly sporné. Například u již zmiňovaného slavného konceptuálního testu FCI hovoří autoři o šesti hlavních konceptech a řadí k nim vedle tří Newtonových zákonů ještě kinematiku, princip superpozice a druhy sil. To je například z hlediska terminologie užívané v našem výzkumu a vymezené v článku Mentlíka *et al.* (2018) v tomto čísle časopisu těžko akceptovatelné, protože kinematika je spíše fyzikální disciplína, která se zabývá pouze určitými aspekty pohybu.

Jak tedy můžeme provést hierarchizaci konceptů objevujících se ve školské fyzice? V souladu s obecným rámcem definovaným Mentlíkem *et al.* (2018) se přikláníme k následujícímu rozlišení:

- **Klíčové koncepty** – základní stavební kameny oboru zasahující do všech přírodovědných disciplín. Aktuální výzkumy v této souvislosti používají přiléhavý termín průřezové koncepty (*crosscutting concepts*) a americký Rámec pro výuku přírodovědných disciplín na základní a střední škole (*Framework for K-12 Science Education*) z roku 2012 definuje následující koncepty spadající do této kategorie (National Research Council 2012): *tvar; příčina a následek; mechanismus a vysvětlení; velikost, proporce a kvantita; systém a model systému; struktura a funkce; stabilita a změna; hmota a energie*. Z hlediska fyziky je velmi příhodné zařazení hmoty a energie do této kategorie, jež je diskutováno Lancorovou (2014). Domníváme se, že do uvedené kategorie by mohly spadat i koncepty vystihující prostor a geometrii, které hrají zásadní roli ve fyzice i v dalších disciplínách.
- **Substantivní koncepty** – ve fyzice těmto obsahovým složkám oboru kotveným v objektivní realitě v principu odpovídají **fyzikální veličiny**. Toto rámcové přiřazení přitom nemusí být obecně bijektivní, tj. jednomu konceptu nemusí vždy odpovídat jedna veličina. I v oblasti substantivních konceptů je pak určitá hierarchie, například koncept momentu síly je typicky níže než koncept síly apod.
- **Organizační koncepty** – vztahům mezi substantivními koncepty, jejichž prostřednictvím se zároveň substantivní koncepty váží ke konceptům klíčovým, ve fyzice zcela přirozeně odpovídají **fyzikální zákony** či obecně vztahy mezi fyzikálními veličinami. Patří k nim tak např. Newtonovy pohybové zákony, které propojují substantivní koncepty

pohyb a síla (prostřednictvím zrychlení jako charakteristiky pohybu a vektoru síly jako charakteristiky síly) a zároveň je dávají do souvislosti s klíčovými koncepty jako je směr či příčina a následek.

Aplikační koncepty – z hlediska kritických míst je důvod se domnívat, že problematická mnohdy není ani tak samotná fyzikální veličina či zákon, jako spíše aplikace na konkrétní situaci (systém či geometrii). Příkladem může být třeba optika, kde na základní škole mnohdy není jako kritický vnímán substantivní koncept světlo či organizační koncepty zákon odrazu či zákon lomu světla, ale jako velmi obtížné je vnímáno zobrazování kulovými zrcadly či čočkami. Přitom nejde o nic jiného než o aplikaci uvedených organizačních konceptů na určitou geometrii či tvar. Podobná situace je třeba u organizačního konceptu stín a polostín, který sám o sobě obvykle problematický není, ale komplikace nastane, když jej aplikujeme na soustavu Slunce – Země – Měsíc a dostaneme se tak ke konceptům zatmění Slunce a Měsíce, resp. fáze Měsíce. Aplikační koncepty, které zároveň často odkazují k různým zařízením užívaným v běžné praxi, tak z hlediska definice kritických míst pokládáme za nezbytné, a můžeme je vymezit jako aplikaci organizačních konceptů v kontextu klíčových konceptů jako je tvar či systém. Pro lepší představu uvedme ještě další příklady aplikačních konceptů a jejich vztahu ke konceptům organizačním resp. substantivním: k substantivnímu konceptu (a fyzikální veličině) tlak se váže organizační koncept Pascalův zákon a na něj navazuje aplikační koncept Hydraulická zařízení; na substantivní koncept Teplota můžeme navázat organizační koncept Teplotní roztažnost (a to prostřednictvím klíčových konceptů velikost a tvar), na něj pak navazuje aplikační koncept Bimetal. Samozřejmě i v oblasti aplikačních konceptů existuje určitá hierarchie, například koncept Čočka je výše než koncept Oční čočka, na který následně navazuje koncept Vady zraku a jejich korekce.

Uvedenou hierarchii, jež je v souladu s celkovou koncepcí našeho oborově didaktického výzkumu vymezenou Mentlíkem *et al.* (2018), chápeme jako rámec pro určování kritických a klíčových míst v 6. a 7. ročníku základní školy, což je jedním z hlavních cílů výzkumu. Kritická místa přitom neomezujeme na klíčové či substantivní koncepty. Kritickým místem může být klidně i níže postavený aplikační koncept v okamžiku, kdy z nějakého důvodu (může jim být náročnost formálního matematického popisu, zvýšené nároky na prostorovou představivost apod.) žáci nedokáží fyzikální zákon aplikovat v dané situaci, ačkoliv v jiném kontextu jim tentýž zákon nečiní žádné potíže. Naopak klíčová místa má smysl hledat v hierarchicky vysoce postavených substantivních či nejdříve organizačních konceptech. Z toho vyplývá, že v tomto výzkumu kritická a klíčová místa jasně rozlišujeme a klíčovost nepokládáme na rozdíl od některých autorů uvedených

v úvodu za požadavek pro kritičnost (a naopak). V obou případech se však pohybujeme pevně v prostoru konceptů, jejichž jasné teoretické zakotvení, ve smyslu instrumentálního realismu a hierarchizaci realizovanou v rámci fyziky výše uvedeným způsobem, pokládáme (na rozdíl od převažujícího diskurzu v didaktice fyziky) za zásadní pro veškeré další úvahy včetně tvorby učebních úloh a testování nabytých znalostí formou např. konceptuálních testů. Důležitost tohoto ukotvení budeme demonstrovat v další sekci právě na příkladu testů.

■ Konceptuální testy ve fyzice

Jak již bylo uvedeno výše, za významný milník v konceptuální fyzice (a didaktice fyziky jako celku) je pokládáno vytvoření prvního konceptuálního testu FCI v roce 1992. V zásadě šlo zcela v souladu s filozofií konceptuální fyziky o test ověřující kvalitativní pochopení Newtonových zákonů a souvisejících poznatků formou chytře formulovaných otázek s výběrem z několika možností (správně je vždy jedna možnost). V rámci celého testu není třeba provést jediný výpočet, distraktory jsou voleny tak, aby odpovídaly běžné zkušenosti studentů a jejich intuici, která je často v rozporu s klasickou newtonovskou mechanikou. Autoři textu ostatně sami uvádějí, že chybné odpovědi v testu mají větší informační hodnotu než odpovědi správné a že tyto chybné odpovědi odpovídají překonaným představám předních intelektuálů starověku a středověku včetně např. Galilea (Hestenes *et al.* 1992). Test vypadá z pohledu zkušeného fyzika velmi jednoduše a Beichner (2009) například uvádí, že na mnoha amerických univerzitách se test zdráhali vůbec zadávat studentům z toho důvodu, že to pokládali za urážku jejich inteligence. O to větší bylo překvapení, když studenti dosahovali systematicky velmi slabých výsledků, a to dokonce na prestižních školách, kde byla znalost základů newtonovské mechaniky brána jako téměř samozřejmá. Nečekaně špatné výsledky se nevyhly ani slavné Harvardské univerzitě a její profesor Erich Mazur následně formuloval jako reakci na toto zjištění novou výukovou metodu **Peer Instruction**, o které se zmíníme dále.

Každopádně velký úspěch FCI vedl v následujících letech k sestavení mnoha dalších konceptuálních testů a v současné době lze najít na internetu komentovaný přehled desítek různorodých testů z různých oblastí fyziky včetně relevantních odkazů na literaturu (dostupné na <https://www2.ph.ed.ac.uk/AardvarkDeployments/Public/60100/views/files/ConceptualTests/Deployments/ConceptualTests/deploymentframeset.html>). Nové testy přitom často reagují na skutečnost, že původní FCI (jako všechny jednokrokové testy) nedokázal rozlišit případy, kdy student označil správnou odpověď na základě přesné znalosti problematiky, od případů, kdy ke správné odpovědi došel chybnou úvahou či si dokonce pouze odpověď

tipnul a měl štěstí. To vedlo postupně k vytvoření vícekových konceptuálních testů (*two-tier, three-tier, four-tier*), přičemž u pokročilých *four-tier* testů následuje po samotné otázce uvedení míry jistoty s odpovědí, fyzikální vysvětlení uvedené volby (typicky výběr opět z několika možností s vhodně volenými distraktory) a v posledním čtvrtém kroku určení míry jistoty s tímto vysvětlením. Tento přístup umožňuje přesně rozlišit jednotlivé případy, ke kterým může v dané situaci dojít. Podrobně se problematikou vícekových konceptuálních testů zabývá Kaltacki *et al.* (2015). Podotkneme, že v českém prostředí se především zásluhou autorů z Matematicko-fyzikální fakulty UK podařilo přeložit a etablovat několik jednokrokových konceptuálních testů, vícekovým případům zatím nebyla věnována žádná pozornost (cf Mandíková & Trna 2011).

Prakticky u všech konceptuálních testů se objevuje problém s nedostatečným teoretickým ukotvením konceptu a s chybějící (či nepodloženou) hierarchizací. U FCI na tuto záležitost upozornili Huffmann & Hellerová (1995), kteří si položili otázku, co vlastně uvedený test měří, a na základě explorativní faktorové analýzy zpochybnili existenci šesti hlavních konceptů proklamovanou autory testu. Ti se proti jejich analýze ohradili (Hestenes & Halloun 1995) a zpochybnili využitelnost faktorové analýzy v dané situaci. Polemika mezi oběma skupinami pokračovala ještě v dalších letech ovšem bez jasných výsledků. Později byl uvedený test prozkoumán pokročilými technikami moderní teorie testů (tzv. teorie odpovědí na položku – *item response theory*) a byly potvrzeny poměrně dobré charakteristiky testu jako celku (Wang & Bao 2010). Do této chvíle však neexistuje žádný empirický důkaz potvrzující autory uváděných šest hlavních konceptů, což je z hlediska testové teorie problematické.

Domníváme se, že uvedené přetrvávající pochybnosti o faktorové struktuře jsou právě důsledkem nevyhovujícího teoretického ukotvení testu. To je přitom společný problém všech těchto konceptuálních testů, ačkoliv u většiny z nich nebyly psychometrické vlastnosti vůbec zkoumány. Z praktického hlediska je samozřejmě možné argumentovat, že kvalita testu spočívá v tom, jak chytře jsou formulovány otázky a zvoleny distraktory a ukotvení v prostoru konceptů a s tím související psychometrická problematika (vnitřní konzistence, faktorová struktura apod.) nejsou podstatné. U klasického použití testu je s tím asi možné souhlasit, na druhé straně při užití konceptuálních testů jako diagnostických nástrojů užitečných k dalšímu rozhodování (např. při výkonových zkouškách apod.) může být tímto zpochybněna reliabilita a validita testu. I z tohoto důvodu tak pokládáme teoretické ukotvení konceptu včetně náležité hierarchizace za záležitost mající i praktický dopad do oblasti hodnocení výsledků vzdělávání.

■ Moderní přístupy k výuce fyziky

Alarmující neznalost základních principů newtonovské mechaniky zjištěná pomocí testu FCI vyvolala v americkém vzdělávacím systému bouřlivou reakci. Jedním z těch, kteří se do probíhající diskuze zapojili, byl i profesor Harvardovy univerzity Erich Mazur. Ten zformuloval přístup Peer Instruction založený na neustálém upevňování základních myšlenek oboru formou jednoduchých koncepttestů, jež svojí podstatou odpovídají v podstatě jednotlivým položkám ve výše diskutovaných konceptuálních testech. Je mimo možnosti tohoto textu uvedenou metodu detailně popsat, detailní informace lze najít v studii Mazura (1997) nazvané příznačně *Confessions of a converted lecturer* či v českém prostředí v práci Končelové-Šestákové (2012), která se touto metodou dlouhodobě zabývá. V zásadě je však metoda založena na tom, že učitel po provedení krátkého výkladu zadá koncepttest. Žáci hlasují o možných odpovědích na otázku a následuje diskuze ve skupinkách, kdy debatují o tom, proč zvolili právě tu konkrétní možnost. Pak následuje další hlasování a následný postup se odvíjí od jeho výsledku. Základní podmínkou pro uvedenou metodu je samozřejmě dostatek vhodných koncepttestů, určité nároky jsou rovněž na přístup žáků a na materiální vybavení školy (ideálně hlasovací zařízení apod.). Využitelnost metody byla opakovaně demonstrována ve fyzice i v dalších disciplínách. Samozřejmě existuje i kritika uvedené metody zdůrazňující časovou náročnost a nepraktičnost, a upozorňující na nedostatek relevantních důkazů prokazujících její efektivitu.

Celkově však metoda Peer Instruction není tak častým zdrojem kontroverzí jako radikálnější konstruktivistické metody pracující s maximálním omezením transmisivního přístupu, kdy učitel předává žákům poznatky typicky formou výkladu. Zatímco metoda Peer Instruction roli výkladu v zásadě nezpochybňuje, radikálnější konstruktivistické postupy objevující se v literatuře pod různými jmény (Kirschner *et al.* 2006) uvádí termíny jako *discovery learning*, *problem-based learning*, *inquiry learning* či *experiential learning* zdůrazňují důležitost toho, aby žáci poznatky objevovali sami a učitel fungoval ve třídě v podstatě pouze jako poradce usměrňující jejich samostatnou činnost. Často se uvádí (Sweller *et al.* 1982), že původ těchto metod je v USA po tzv. sputnikovském šoku v 50. letech 20. století, kdy byla snaha dramaticky změnit přístup k výuce přírodovědných oborů. Je mimo možnosti tohoto textu detailně analyzovat potenciál uvedené skupiny badatelských metod, uvedme však, že v literatuře lze najít jak mnoho studií argumentujících ve prospěch těchto postupů (cf. Dostál, 2015), tak rovněž zdrcující kritiku uvádějící, že tyto techniky nemohou být efektivní přímo z podstaty kognitivních procesů (cf. Kirschner *et al.* 2006), někteří autoři pak uvedený přístup dokonce nazývají „parodii na učení se na základě bádání“ (Ogborn 2012).

■ Odhad typologie kritických míst ve výuce fyziky na ZŠ

Typologii kritických míst, která je podstatná z hlediska ujasnění si pojmů a možností našeho výzkumu, je možné budovat více způsoby. Jeden z nich vychází z toho, že kritická místa chápeme jako koncepty, které již máme hierarchizovány (viz předchozí sekce). Díky tomu můžeme kritická místa klasifikovat podle toho, zda odpovídají klíčovému, substantivnímu, organizačnímu či aplikačnímu konceptu. Jinými slovy je můžeme zařadit podle jejich pozice v hierarchii školské fyziky. Tuto hierarchii přitom máme určitým způsobem zpracovánu na počátku výzkumu, nechápeme ji však jako absolutní a její dopracování je zároveň v souladu s obecným rámcem (Mentlík *et al.* 2018) jedním z cílů výzkumu.

Je však možné rovněž kritická místa třídit podle toho, co je příčinou jejich kritičnosti, přičemž toto třídění je z praktického hlediska asi důležitější. Zde se nabízejí následující základní možnosti (přičemž pochopitelně dané kritické místo nemusí spadat pouze do jedné skupiny):

- *Matematická nedostatečnost* (přenos kritického místa z matematiky)
- *Problematická kurikulární návaznost* – buď na matematiku, nebo na jiné učivo z fyziky
- *Nedosazení očekávané úrovně žáky (z pohledu učitele)* – může souviset s tím, zda je očekávaná úroveň učitelem nastavená rozumně ve vztahu k tomu, jak sám učitel výuku zvládá
- *Nedosazení očekávané úrovně žáky (z pohledu standardů a mezinárodních srovnání)*
- *(Ne)oblíbená místa učitele* – zde je potřeba vzít do úvahy nejméně dvě možnosti: a) učitel dané téma osobně nemá v oblibě a proto jej pokládá za kritické; b) učitel naopak dané téma preferuje a o to větší je jeho zklamání z toho, že studenti jeho nadšení nesdílejí a nedosahují jím očekávané úrovně znalostí (která může být vyšší než u jiných témat). V důsledku toho pak dané téma označí jako kritické.
- *Nedostatečné vybavení* – zde je třeba rozlišit nedostatek pomůcek využitelných při pokusech a laboratorních pracích od nedostatku vhodných nemateriálních didaktických prostředků jako např. pracovních listů, edukačních animací, videí apod. Další otázkou pak je, zda tyto prostředky nejsou k dispozici vůbec, nebo zda jich je dostatek, ale učitel není spokojen s jejich úrovní.
- *Obtížně zvladatelné klíčové místo kurikula* – zde se může projevit to, že učitelé mohou kritické místo chápat v souladu s některými studiemi citovanými v úvodu i v kontextu jeho důležitosti z hlediska dalších návazností v rámci oboru.
- *Náchylnost k didaktickému formalismu* – didaktické formalismy jsou chápány ve smyslu tzv. utajeného či naopak odcizeného poznávání (cf. Rusek *et al.* 2016),

- *Přílišná abstraktnost nebo složitost, problém s mentální reprezentací obsahu* (např. z toho důvodu, že zařazení tématu v kurikulu neodpovídá vyspělosti žáků...).

Uvedený seznam rozhodně nemusí být vyčerpávající a musíme jej chápat pouze jako odhad typologie, jejíž upřesnění je právě předmětem našeho výzkumu. U každého kritického místa určeného na základě výzkumu, tak budeme určovat jednak jeho zařazení z hlediska obsahu (tj. odpovídající typ konceptu) a jednak příčiny jeho kritičnosti. Identifikaci obojího pokládáme za zásadní z hlediska volby správných didaktických postupů, učebních úloh apod. umožňujících překlenutí tohoto kritického místa.

■ Design výzkumu vedoucího k identifikaci kritických míst

Při identifikaci kritických míst lze využít řadu technik. Například v citovaném výzkumu zaměřeném na kritická místa v matematice (Rendl *et al.* 2013) autoři realizovali rozhovory s učiteli i žáky, zaměřili se na rozbor prací žáků a rovněž na analýzu mezinárodních srovnání a výsledků českých žáků v nich (komparativně vůči jiným zemím). Dále je možné realizovat hospitace ve výuce, analyzovat videozáznamy z výuky, v rámci ontodidaktiky se zaměřit na studium různých úrovní kurikulárních dokumentů apod. Je přitom třeba si uvědomit, že při určování příčin kritičnosti diskutovaných v předchozí části lze v některých případech identifikovat příčinu pouze užitím specifické výzkumné metody. Například didaktické formalismy asi není možné identifikovat pouze rozhovory s učiteli či studiem kurikulárních dokumentů, jediným efektivním způsobem je zde přímá hospitace v hodině resp. analýza videozáznamu. Naopak třeba nevhodné zařazení tématu v kurikulu či jeho nadbytečnost z hlediska výuky na ZŠ můžeme těžko poznat rozбором prací žáků, mnohem efektivnější zde bude rozhovor s učiteli spojený se studiem kurikulárních dokumentů.

Z časových a technických důvodů není možnost v rámci našeho výzkumu realizovat všechny popisované techniky směřující k identifikaci kritických míst a je nutné se omezit pouze na několik z nich. Po diskuzi v týmu fyziky i v rámci celého projektu jsme se rozhodli zaměřit na následující tři techniky resp. skupiny technik:

■ Studium kurikulárních dokumentů a vnějších podmínek

V této části jsme nejprve prostudovali detailně Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání (primárně jeho fyzikální složku) a rovněž dosud nezávazný návrh standardů pro fyzikální vzdělávání na ZŠ (Dvořáková *et al.* 2013). Pozornost byla věnována rovněž studiu ŠVP základních škol v západních Čechách a zjištění toho, v jakém rozsahu je zde fyzika vyučována a jaké je pořadí

jednotlivých tematických celků. Tato analýza byla podstatná pro určení příčiny *Problematická kurikulární návaznost* dle výše uvedeného odhadu typologie kritických míst.

V další fázi byly realizovány telefonické rozhovory s řediteli základních škol, jejichž cílem bylo zjistit míru aprobovanosti vyučujících fyziky včetně věkové struktury. Výsledky z této linie výzkumu již byly zpracovány a publikovány formou článku v odborném časopisu (Mollerová *et al.* 2018). Bylo přitom zjištěno, že z hlediska aprobovanosti je situace velmi špatná a vzhledem k malému počtu studentů fyziky na fakultách připravujících učitele se dá počítat s dalším zhoršováním. Pozornost byla věnována také obsahové analýze historických a stávajících sad učebnic pro ZŠ. V současné době má ministerskou doložku celkem šest sad učebnic, z nichž některé mají výrazně odlišné řazení učiva. Vzhledem k tomu, že ŠVP z hlediska posloupnosti témat typicky kopírují používanou sadu učebnic, dochází občas k situacím, kdy určité učivo je na některých školách probíráno např. v 7. ročníku, v jiných však až v 9. ročníku. S touto komplikací jsme se pochopitelně museli v rámci výzkumu zaměřeného na identifikaci kritických míst v 6. a 7. ročníku vyrovnat.

■ Polostrukturované rozhovory s učiteli

Otázky do polostrukturovaných rozhovorů, s cca 30 učiteli fyziky zapojenými do projektu Didaktika A, byly připraveny v několika krocích, v jejichž rámci probíhaly konzultace s ostatními obory zapojenými do projektu i s obecnými didaktiky a odborníky na kvalitativní výzkum. Nakonec byly stanoveny následující čtyři specifické výzkumné otázky (SVO) odkazující se ve své podstatě k výše uvedenému odhadu typologie kritických míst:

SVO1: Jaká témata probíraná typicky v 6 a 7. ročníku ZŠ pokládají učitelé fyziky na ZŠ za kritická a proč?

SVO2: Co si učitelé fyziky na ZŠ představují pod slovním spojením kritické téma?

SVO3: Jak vnímají učitelé fyziky na ZŠ vztah matematiky a fyziky v kontextu kritických témat?

SVO4: Jaké strategie uplatňují učitelé fyziky na ZŠ při vypořádávání se s kritickými tématy?

Zároveň byl připraven seznam 80 základních analytických jednotek odpovídajících rámcově konceptům typicky zařazených do výuky v 6. a 7. ročníku. Učitelé byli během rozhovoru požádáni, aby z tohoto seznamu vybrali nejvýše deset jednotek, které pokládají za kritické. Tento proces byl přitom během rozhovoru opakován dvakrát. Poprvé zhruba v polovině rozhovoru zcela bez omezení a podruhé na jeho konci s tím, aby učitelé ignorovali aspekty související s případnou matematickou nedostatečností žáků a soustředili se jen a pouze na fyzikální podstatu věci. Tato strategie byla zvolena s cílem jasně odlišit kritická místa vzniklá přenosem z matematiky

(či nevhodnou návazností fyzikálního kurikula na matematiku) od kritických míst ve smyslu výše diskutované konceptuální fyziky.

■ Analýza výsledků mezinárodních srovnání TIMSS

V první fázi jsme pracovali s možností užít poznatky i z proslulého srovnání PISA. Tuto myšlenku jsme však opustili, jednak kvůli přílišné obecnosti úloh z PISA, které nejsou pro určení kritických míst ve fyzice příliš vhodně postaveny, jednak pak kvůli nemožnosti dohledat pro konkrétní úlohy použité ve srovnání PISA zároveň zadání a zároveň úspěšnost v jednotlivých zemích členěnou dle pohlaví apod. U srovnání TIMSS jsou naopak úlohy z hlediska hledání kritických míst ve fyzice formulovány velmi vhodně, rovněž není problém získat veškerá analytická data (úlohy v TIMSS jsou užity nejvýše třikrát po sobě, poté jsou uvolněny včetně veškeré dokumentace). Nevýhodou je, že TIMSS bylo v ČR realizováno na 2. stupni ZŠ pouze v letech 1995, 1999 a 2007, dá se však předpokládat, že navzdory změnám v úspěšnosti českých studentů, se kritická místa od té doby nijak dramaticky nezměnila. Velkou výhodou je naopak to, že jsou k dispozici i fyzikální úlohy pro první stupeň ZŠ a je tak možné se zabývat prekoncepty žáků v době, kdy se ještě ve škole s fyzikální problematikou prakticky nesetkali (v přírodovědě na prvním stupni je zastoupení fyziky prakticky zanedbatelné).

Je třeba uvést, že ne všechny možné příčiny kritičnosti uvedené v odhadu typologie kritičnosti mohou být uvedenými výzkumnými technikami zcela vystiženy. To se týká především položek *Náchylnost k didaktickému formalismu a Přílišná abstraktnost nebo složitost, problém s mentální reprezentací obsahu*, kde by k plnému vystižení bylo potřeba realizovat hospitace ve výuce resp. rozbor prací žáků. I tak se však domníváme, že uvedený soubor výzkumných technik je dostatečně komplexní na to, aby umožnil validně určit kritická místa a saturovat výše odhadovanou typologii těchto míst. Výsledky tohoto procesu budou zpracovány a publikovány v separátní studii.

■ Evidence – based design výukových materiálů k překlenutí kritických míst

Výstupem výzkumu diskutovaného v této studii by mělo být vytipování kritických míst kurikula fyziky v 6. a 7. ročníku ZŠ. U každého z těchto míst by tak mělo být patrné, k jakému typu konceptu se dané kritické místo vztahuje a co je příčinou resp. příčinami jeho kritičnosti. Obojí je nutnou, ale nikoliv postačující podmínkou pro kvalifikovanou tvorbu výukových materiálů vhodných k překlenutí těchto kritických míst. Samotná tvorba materiálů by vedle respektování charakteru kritického místa měla rovněž

vycházet z jasnějšího a spolehlivějšího rámce, než je pouhá osobní zkušenost jejich autorů. V této souvislosti se tak přikláníme k tzv. **evidence-based designu** vycházejícímu ze zkušeností z jiných zemí s výukou tohoto tématu. Základní koncepce bude vypadat následovně:

1. Zjištění toho, které testové úlohy ze srovnání TIMSS se týkají daného kritického místa.
2. Analýza výsledků těchto úloh a určení toho, které nám blízké země dosahují v dané úloze lepších výsledků než ČR.
3. Studium toho, jak se dané místo vyučuje v těchto zemích, tj. jak je zařazeno v kurikulu, jak je zpracováno v tamních učebnicích apod.
4. Rozhodnutí, zda je možné se postupy z dané země inspirovat v podmínkách ČR.
5. Pokud ano, proběhne samotná adaptace/tvorba učebních úloh založená na zkušenostech z daného státu.

Uvedená koncepce by měla zaručit určitou systematickosti a ucelenosti v tvorbě učebních materiálů a stát se zdrojem jejich validity. Jsou zde samozřejmě i rizika spočívající například v tom, že se nám nepodaří najít nám blízkou zemi, kterou by bylo možné se inspirovat, případně nedokážeme identifikovat příčiny toho, proč je v některém státě úspěšnost vyšší než v ČR. Až samotná tvorba materiálů ukáže, jak bude uvedený postup realizovatelný v praxi.

■ Závěr

Cílem naší studie je primárně upřesnit filozoficko-metodologický rámec oborově-didaktického výzkumu v rámci projektu Didaktika A zaměřeného na čtyři různé přírodovědné obory pro případ fyziky. Podařilo se adaptovat hierarchii konceptů chápaných ve smyslu instrumentálního realismu pro fyziku a dát jí do jasné souvislosti se základními pojmy této disciplíny (fyzikální veličiny, zákony...) tak, aby bylo možné jednotlivé základní analytické jednotky do této hierarchie klíčových, substantivních, organizačních a aplikačních konceptů přirozeně včlenit. Kritická i klíčová místa jsou v našem pojetí chápána jako koncepty, přičemž mezi oběma pojmy jasně rozlišujeme, ačkoliv zároveň nerozporujeme jejich souvislosti. Byla diskutována problematika konceptuální fyziky včetně souvisejících moderních výukových metod a konceptuálních testů, a byly ilustrovány problémy, které v těchto disciplínách vznikají v důsledku chybějícího teoretického rámce pro koncept. Provedli jsme odhad typologie kritických míst kurikula ve výuce fyziky na ZŠ a následně na jeho základě nastínili techniky, které byly využity v našem výzkumu. Následně byl nastíněn evidence-based design výukových materiálů, které budou vytvořeny s cílem překlenout identifikovaná kritická místa. Samotné výsledky výzkumu a vytvořené materiály pak budou předmětem dalších navazujících studií.

Poděkování

Studie byla podpořena projektem OP VVV Didaktika – Člověk a příroda A (CZ.02.3.68/0.0/0.0/16 011/0000665).

Literatura

- ADAMCZYK, P. & WILLSON, M. 1996. Using concept maps with trainee physics teachers. – *Physics Education* 31(6): 374–381.
- BEICHNER, R. J. 2009. An introduction to physics education research, 25–49. [online] In HENDERSON, C. & HARPER, K. A. (eds) *Getting started in physics education research*. AAPT, College Park. [cit. 30. 12. 2017] – Dostupné na WWW: <<http://www.per-central.org/items/detail.cfm?ID=8806>>
- CUMMINGS, K. 2011. [online]. A developmental history of physics education research: A commissioned paper written at the request of the National Academies' Board on science education. [cit. 30. 1. 2018]. – Dostupné na WWW: <<http://www.compadre.org/per/items/Load.cfm?ID=12028>>
- DOSTÁL, J. 2015. *Badatelsky orientovaná výuka: pojetí, podstata, význam a přínosy*. – Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc. 151s.
- DVOŘÁK, L., KEKULE, M., ŽÁK, V. 2015. Didaktika fyziky včera, dnes a zítra, 123–157. In STUHLÍKOVÁ, I. & JANÍK, T. (eds) *Oborové didaktiky: vývoj–stav–perspektivy*. – Masarykova univerzita, Brno.
- DVOŘÁKOVÁ, I. et al. 2013. *Standardy pro základní vzdělávání: Fyzika*. – Univerzita Karlova, Praha. 30s.
- DYKSTRA, D. I., BOYLE C. F., & MONARCH, I. A. 1992. Studying conceptual change in learning physics. – *Science Education* 76(6): 615–652.
- FORD K. W. 1971. Conceptual physics: A new introduction to your environment. – *Physics Today* 24(10): 54.
- HEWITT, P. G. 1971. *Conceptual physics--a new introduction to your environment*. – Little Brown, Boston. 637s.
- HESTENES, D., WELLS, M., & SWACKHAMER, G. 1992. Force concept inventory. – *The physics teacher* 30(3): 141–158.
- HESTENES, D. & HALLOUN, I. 1995. Interpreting the force concept inventory: A response to March 1995 critique by Huffman and Heller. – *The Physics Teacher* 33(8): 502–504.
- HUFFMAN, D. & HELLER, P. 1995. What does the force concept inventory actually measure? – *The Physics Teacher* 33(3): 138–143.
- KALTAKCI, G. D., ERYILMAZ, A. & MCDERMOTT, L. C. 2015. A review and comparison of diagnostic instruments to identify students' misconceptions in science. – *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education* 11(5): 989–1008.
- KEOGH, B. & NAYLOR, S. 1999. Concept cartoons, teaching and learning in science: An evaluation. – *International Journal of Science Education* 21(4): 431–446.
- KIRSCHNER, P., SWELLER, J. & CLARK, R. 2006. Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. – *Educational Psychologist* 41(2): 75–86.
- KONČELOVÁ, J. 2012. *Hlasování jako okamžitá zpětná vazba ve výuce fyziky*. – MS, Diplomová práce, depon. in UJEP, Pedagogická fakulta, Katedra fyziky, Ústí nad Labem.
- KVASZ, L. 2015. *Inštrumentálny realismus*. – Pavel Mervart, Cervený Kostelec. 224s.
- NATIONAL COUNCIL OF TEACHERS OF MATHEMATICS. 2006, 41. [online]. *Curriculum Focal Points for Prekindergarten through Grade 8 Mathematics: A Quest for Coherence*. National Council of Teachers of Mathematics, Reston, VA. [cit. 30. 1. 2018]. – Dostupné na WWW: <<https://www2.bc.edu/solomon-friedberg/mt190/nctm-focal-points.pdf>>
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2012, 386. [online]. *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academies Press, Washington DC. [cit. 30. 1. 2018]. – Dostupné na WWW: <<https://www.nap.edu/read/13165/chapter/1>>
- LANCOR, R. 2014. Using metaphor theory to examine conceptions of energy in biology, chemistry, and physics. – *Science & Education* 23(6): 1245–1267.
- LIN, T.C., LIN, T.J. & TSAI, C.C. 2014. Research trends in science education from 2008 to 2012: A systematic content analysis of publications in selected journals. – *International Journal of Science Education* 36(8): 1346–1372.
- MAZUR, E. 1997. *Peer instruction: a user's manual*. – Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J. 244 s.
- MANDÍKOVÁ, D. & TRNA, J. 2011. *Žákovské prekoncepte ve výuce fyziky*. – Paido. Brno. 245s.
- MENTLIK, P., SLAVÍK, J. & COUFALOVÁ, J. 2018. Kritická, klíčová, dynamická místa kurikula a klíčové koncepty – konceptuální vymezení a příklady z výuky geověd. – *Arnica*, 8, 9–18.
- MOLLEROVÁ, M., KOHOUT, J., MASOPUST, P. & FERT, L. Nedostatek aprobovaných učitelů fyziky na západě Čech: bude hůř. – *Matematika-fyzika-informatika* 27(1): 46–54.
- OHIO DEPARTMENT OF EDUCATION, 2017. [online]. Mathematics – K-8 Critical Areas of Focus. [cit. 30. 1. 2018]. – Dostupné na WWW: <<https://education.ohio.gov/getattachment/Topics/Learning-in-Ohio/Mathematics/Ohio-s-Learning-Standards-in-Mathematics/Transitioning-to-the-2017-Learning-Standards-in-Ma/K-8-Critical-Areas-of-Focus-3-7-17.pdf.aspx>>
- OGBORN, J. 2012. Curriculum development in physics: Not quite so fast! – *Scientia in educatione* 3(2): 3–15.
- PARK, J.-H. & NUNES, T. 2001. The development of the concept of multiplication. – *Cognitive development* 16(3): 763–773.
- RENDL, M. ET AL. 2013. *Kritická místa matematiky na základní škole očima učitelů*. – Univerzita Karlova v Praze, Praha. 358s.
- RENDL, M. & VONDROVÁ, N. 2014. Kritická místa v matematice u českých žáků na základě výsledku šetření TIMSS 2007. – *Pedagogická orientace* 24(1): 22–57.
- RUSEK, M., SLAVÍK, J. & NAJVAR, P. 2016. Obsahová konstrukce a didaktické uplatnění přírodovědného edukačního experimentu ve výuce na příkladu chemie. Kultury vyučování a učení v oborech školního vzdělávání. – *Orbis scholae* 10(2): 71–91.

SWELLER, J., MAWER, R. F. & HOWE, W. 1982. Consequences of history-cued and means-end strategies in problem solving. – *The American Journal of Psychology* 95(3): 455–483.

TALANQUER, V. 2004. DBER and STEM education reform: Are we up to the challenge? – *Journal of Research in Science Teaching* 51(6): 809–819.

TEXAS EDUCATION AGENCY, 2013. [online]. Texas Response to Curriculum Focal Points Revised 2013. [cit. 30. 1. 2018]. – Dostupné na WWW: <<https://www.texasgateway.org/sites/default/files/resources/documents/TXRCFPrevised2013.pdf>>.

WANG, J. & BAO, L. 2010. Analyzing force concept inventory with item response theory. – *American Journal of Physics* 78(10): 1064–1070.

E English summary

Critical spots in physics education in lower-secondary schools – introduction into discussion and research options

The presented theoretical study represents an introduction into the topic of critical spots of physics curriculum in lower-secondary schools. The philosophical-methodological

background of planned empirical research is provided and discussed in context of general didactics and physics education research. From the philosophical point of view, the research is based on entity (instrumental) realism personified in Czech environment by Ladislav Kvasz. Methodologically, we build on conceptual physics which represents one of the most popular approaches in current physics education research. An estimated typology of critical spots is presented based on hierarchy of concepts in physics involving crosscutting, substantive, organizational and applied concepts. The planned empirical research is derived from the typology and will comprise of semi-structured interviews with experienced physics teachers, an analysis of curriculum documents and environmental analysis, and detailed discussion of results of the Czech pupils in the international comparison TIMSS. Based on the results of this research, we will create new evidence-based educational materials. Potential of these materials is thoroughly discussed. As a whole, this study constitutes first step towards a systematical research focused on understudied area of critical spots and curriculum focal points in physics education.

Key words: critical spots of curriculum, curriculum focal points, physics education research, entity realism, conceptual physics, hierarchy of concepts, evidence-based design.