

# Stanovení kritických míst ve výuce fyziky na ZŠ na základě multikriteriálního přístupu a možnosti jejich překonání

JIRÍ KOHOUT, MARIE MOLLEROVÁ, PAVEL MASOPUST, LUKÁŠ FEŘT

**F** **Abstrakt:** Předkládaná studie představuje komplexní empirický výzkum mající za cíl stanovit kritická místa fyzikálního kurikula v 6. a 7. ročníku základních škol. Opírá se o filozoficko-metodologické zázemí vycházející z hierarchizace fyzikálních konceptů provedené v kontextu instrumentálního realismu a konceptuální fyziky. Aplikovali jsme multikriteriální přístup zahrnující rozbor kurikulárních dokumentů, analýzu dotazníků vyplněných 31 učiteli fyziky, kteří určovali kritická místa s resp. bez uvážení vlivu matematiky, rozbor polostrukturovaných rozhovorů s těmito učiteli, identifikaci úloh z kognitivní oblasti Fyzika mezinárodního srovnávacího šetření TIMSS, jež byly problematické z hlediska podprůměrného výsledku českých žáků a rovněž vyhodnocení výsledků testování žáků realizované Českou školní inspekcí. Na základě syntézy poznatků z jednotlivých oblastí jsme následně vytipovali 6 témat, jež mohou být v úvodní fázi fyzikálního vzdělávání v označena jako kritická (hustota, magnetické pole, elektromagnet, Pascalův zákon, Archimédův zákon a zobrazování čočkami). Následně jsme na základě podrobné analýzy příčin kritičnosti vyvinuli vzdělávací moduly mající za cíl přispět k překonání těchto kritických míst a usnadnit práci s odpovídajícími miskoncepce žáků. V této souvislosti jsme rovněž navrhli určité změny v příslušných kurikulárních dokumentech. Věříme, že prezentovaný přístup k tvorbě učebních materiálů může ve svém důsledku přispět ke zvýšení kvality výuky fyziky v prvních letech fyzikálního vzdělávání a že je proto potřebný další výzkum v této oblasti zaměřující se mimo jiné na příklady dobré praxe ze zahraničí.

**Klíčová slova:** Kritická místa kurikula, klíčová místa kurikula, didaktika fyziky, polostrukturované rozhovory, konceptuální fyzika, hierarchie konceptů, multikriteriální přístup, evidence-based design, kurikulární dokumenty.

KOHOUT, J., MOLLEROVÁ, M., MASOPUST, P., FEŘT, L. 2019. Stanovení kritických míst ve výuce fyziky na ZŠ na základě multikriteriálního přístupu a možnosti jejich překonání. *Arnica* 9, 1, 1–14. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň. ISSN 1804-8366.

Rukopis došel 15. 1. 2019, byl přijat po recenzi 29. 4. 2019.

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: lferf@kmt.zcu.cz

## Úvod a cíle výzkumu

Fyzikální vzdělávání se v posledních desetiletích potýká s řadou problémů jako je malá obliba fyziky u žáků (Höfer *et al.* 2005), nízký zájem o studium učitelství tohoto oboru a s tím související nedostatek aprobovaných učitelů dosahující v některých regionech nebezpečných rozměrů (Mollerová *et al.* 2018), omezování počtu hodin věnovaných tomuto předmětu především na úrovni středních škol (Lepil 2013) apod. V souvislosti se snahou řešit tyto problémy zbývá mnohdy málo času na detailní zhodnocení obsahu fyzikálního vzdělávání na školách a na analýzu míst kurikula, jejichž zvládnutí dělá žákům poměrně značné problémy a je možné je tak označit jako kritická.

Kritická místa kurikula se mohou vyskytovat ve všech vzdělávacích oborech a mají nezanedbatelný vliv na kvalitu výuky, ale ne vždy je jim věnována žádoucí pozornost. Zatímco u matematiky byla tato problematika v uplynulých letech studována jak v zahraničí (Texas Education Agency, 2013), tak i v České republice (Rendl *et al.* 2013; Rendl & Vondrová 2014; Vondrová & Rendl 2017), v didaktice fyziky, stejně jako u didaktik dalších přírodních věd, toto téma dosud nebylo systematicky řešeno na národní ani na mezinárodní úrovni.

Ve snaze měnit tento nepříznivý stav se od začátku roku 2017 systematicky zabýváme problematikou kritických míst fyzikálního kurikula v rozmezí úvodních dvou let studia



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Didaktika - Člověk a příroda A CZ.02.3.68/0.0/0.0/16\_011/0000665

tohoto předmětu na základní škole (tj. v 6. a 7. ročnících). Zpracovali jsme teoreticko-metodologické zázemí výzkumu opírající se o instrumentální realismus a tzv. konceptuální fyziku a vytvořili jsme hierarchii fyzikálních konceptů zahrnující klíčové, substantivní, organizační a aplikační koncepty (Mentlík *et al.* 2018; Kohout *et al.* 2018, 2019). Kritická místa kurikula poté chápeme v zásadě jako problémy s instrumentalizací konceptů (cf. Kvasz 2014, s. 118). Předpokládáme přitom, že tyto problémy jsou alespoň do jisté míry řešitelné (např. na základě změn v kurikulu, vytváření nových učebních materiálů apod.). Kritická místa kurikula odlišujeme od míst klíčových, což jsou vlastně uzlové body ve struktuře konceptů. Zatímco kritická místa se mohou nacházet ve všech stupních hierarchie, místa klíčová je třeba hledat mezi klíčovými a výše postavenými substantivními koncepty. Podrobněji je tato problematika řešena v publikacích Mentlíka *et al.* (2018) a Kohouta *et al.* (2018, 2019).

Domníváme se, že při identifikaci kritických míst a stanovení jejich pravděpodobných příčin, jež je z hlediska nalezení pro praxi přínosného řešení nezbytné, nelze s úspěchem využít pouze jednu výzkumnou metodu. Tím spíše, že v případě fyziky je při výběru kritických míst ještě třeba zohlednit její silnou vazbu na matematiku a reálné riziko přenosu kritického místa právě z této disciplíny. Určení příčin kritičnosti je základním předpokladem pro uplatnění tzv. *evidence-based designu* následně tvořených materiálů cílených na překonání kritických míst. V případě jeho nedodržení budou tyto materiály zákonitě „střelbou naslepo“ nepřinášející novou kvalitu. Proto v této studii představujeme multikriteriální přístup snažící se o co nejkomplexnější uchopení této problematiky tak, aby bylo možné získat různými cestami relevantní dílčí poznatky o kritických místech a jejich příčinách a tyto poznatky se následně podařilo vhodným způsobem syntetizovat. Proto jsme s ohledem na reálné možnosti výzkumu užili následující výzkumné metody: analýza vnějších podmínek (kurikulárních dokumentů, výročních zpráv škol a učebnic), polostrukturované rozhovory s učiteli, dotazníky pro učitele zahrnující výběr kritických témat se zohledněním matematické nedostatečnosti žáků a bez vlivu matematiky, analýza výsledků českých žáků v mezinárodním šetření TIMSS a analýza výsledků žáků v testování přírodovědné gramotnosti realizovaném Českou školní inspekcí. Dílčí cíle výzkumu lze v návaznosti na výše uvedené pojmenovat následovně:

- Na základě multikriteriálního přístupu vymezit kritická místa fyzikálního kurikula v 6. a 7. ročníku základní školy.
- Provést analýzu příčin kritičnosti těchto míst včetně zjištění vlivu matematiky na ně buď ve smyslu přímého přenosu kritického místa z této disciplíny nebo s ohledem na problematiku provázanost kurikula matematiky a fyziky.
- S ohledem na identifikované příčiny kritických míst připravit pomocí tzv. *evidence-based designu* výukové materiály (moduly) přispívající ke překonání těchto kritických míst.

## Metodika

### Použité nástroje, sběr a analýza dat

V souladu s výše popsaným multikriteriálním přístupem bylo v jednotlivých částech komplexního výzkumu použito pět různých výzkumných nástrojů. V rámci rozboru vnějších podmínek jsme analyzovali školní vzdělávací programy (ŠVP) základních škol v Plzeňském a Karlovarském kraji s ohledem na hodinovou dotaci fyziky a posloupnost učiva fyziky v ŠVP. Pro získání představ o aprobovanosti a věkové struktuře vyučujících jsme realizovali telefonické rozhovory s řediteli 114 škol v obou regionech. Rovněž jsme analyzovali obsah šesti sad učebnic fyziky majících v současné době ministerskou doložku a provedli dotazníkové šetření na vzorku 107 studentů 1. ročníku Střední průmyslové školy dopravní v Plzni, kteří přišli z 58 škol Plzeňského a Karlovarského kraje. Jeho cílem bylo mimo jiné zjistit, jak je výuka fyziky na ZŠ bavila a jak často v ní byly zařazeny experimenty. Detailněji je analýza vnějších podmínek metodicky popsána ve studii Mollerové *et al.* (2018). V rámci vytipování problematických úloh z mezinárodního šetření TIMSS jsme analyzovali celkem 99 originálních úloh patřících do kognitivní oblasti Fyzika zadaných v šetřeních v letech 1995, 1999 a 2007 (v jiných letech se bohužel Česká republika do tohoto mezinárodního výzkumu v dané věkové kategorii nezapojila). Na základě srovnání výsledků českých žáků s mezinárodním průměrem a s úspěšností žáků z vybraných zemí západní a střední Evropy jsme stanovili jasná kritéria pro to, aby daná úloha byla identifikována jako problematická. Detailně je příslušná metodika popsána ve studii Kohouta *et al.* (2019).

Díky smlouvě o spolupráci mezi Fakultou pedagogickou ZČU a Českou školní inspekcí (ČŠI) se autorům této studie podařilo získat detailní výsledky šetření přírodovědné gramotnosti, které inspekce provedla na rozsáhlém vzorku 6 000 žáků devátých ročníků ZŠ popsaném detailně ve studii ČŠI (2018) ve školním roce 2016/17. V testování bylo zadáno celkem 60 otázek v rámci 25 úloh, přičemž zadané úlohy koncepčně odpovídaly pojetí mezinárodního srovnávacího šetření PISA. V rámci našeho výzkumu jsme se zaměřili na 11 úloh majících svým obsahem blízko k fyzice a analyzovali jsme odpovědi žáků v těchto úlohách především s ohledem na možné miskoncepce.

Sběr dat od zapojených učitelů proběhl v období červenec až prosinec 2018. Polostrukturované rozhovory s učiteli vedli vedle autorů této studie rovněž oboroví didaktici projektu Didaktika A Mgr. Lucie Kolářová (UPOL, Olomouc), RNDr. Michaela Krížová, Ph.D. (UHK, Hradec Králové) a Mgr. Robert Seifert (UJEP, Ústí nad Labem). Všichni tazatelé byli předem detailně proškoleni tak, aby způsob vedení rozhovorů byl v rámci možností rovnocenný. Pokyny pro realizaci rozhovorů byly připraveny v souladu s doporučeními Švařička a Šedové (2007) a jsou včetně tazatelských

otázek uvedeny v příloze. Vzhledem k tomu, že šlo o polostrukturované rozhovory, bylo počítáno s tím, že s ohledem na odpovědi participanta se může průběh do určité míry odlišovat od představeného schématu a tazatelé byli motivováni se v případě potřeby doptávat participantů i mimo toto schéma.

Zapojení učitelé byli na začátek požádáni o podepsání informovaného souhlasu s účastí ve výzkumu a s nahráváním rozhovoru. Následně bylo zapnuto nahrávání a byly kladeny jednotlivé tazatelské otázky. Přibližně v polovině rozhovoru a pak úplně na jeho konci participant vybírali z nabídky 80 základních analytických jednotek (potenciálních kritických míst kurikula) typicky probíraných v 6. a 7. ročníku nejvýše 10, která pokládají za kritická (poprvé bez omezení, podruhé pouze s ohledem na fyzikální podstatu věci a bez uvážení případného vlivu matematické nedostatečnosti žáků). Blíže je seznam základních analytických jednotek popsán ve studii Kohouta et al. (2018). Rozhovory trvaly 16–78 minut, v průměru byla jejich délka 31 minut. Získané nahrávky byly následně odeslány elektronickou formou ke zpracování do Plzně, kdy byly technicky upraveny (zesíleny) a předány k automatickému přepisu textu pomocí softwaru Newton Dictate. Následně byla provedena autory této studie ruční kontrola a oprava pasáží, jež nebyly automaticky přepsány správně (u některých nahrávek byl automatický přepis tak špatný, že bylo třeba provést ruční přepis od začátku). Následovalo převedení získaných textů do programu ATLAS.ti, kde byla realizována obsahová analýza zaměřená na vytipování příčin kritičnosti učitelem uvedených témat a na jejich umístění v rámci hierarchie konceptů. Uvedená hierarchie byla přitom graficky znázorněna ve formě stromu, což umožnilo názorně ukázat, které části fyzikálního kurikula pokládá daný učitel za problematické a proč. Toto grafické znázornění následně posloužilo k prohloubení poznatků z dotazníků, kde učitelé označovali kritická místa explicitně (uvedené dotazníky byly zpracovány klasickým způsobem v programu MS Excel) a hrálo roli při závěrečné syntéze informací z různých zdrojů a vytipování kritických míst.

### ■ Soubor participantů

Do výzkumu se zapojilo celkem 31 učitelů fyziky (17 žen a 14 mužů) na základních školách a osmiletých gymnáziích v České republice. Průměrná délka jejich pedagogické praxe byla 13,2 roku (rozpětí 1–33 let, výběrová směrodatná odchylka 10,8 roku, medián 9 let). 28 učitelů působilo na základních školách a 3 na gymnáziích, což proporčně odpovídá podílu žáků v příslušné věkové kohortě studujících na daných typech škol (podle údajů Českého statistického úřadu (ČSÚ 2018) navštěvovalo víceletá gymnázia ve školním roce 2017/2018 necelých

11 procent z celkového počtu dětí plnicích školní docházky na 2. stupni).

Z hlediska zřizovatele působil jeden učitel na soukromé škole, ostatní ve školách zřizovaných obcí či krajem. Šestnáct učitelů bylo aprobováno pro výuku matematiky a fyziky, pět pro fyziku a technickou výchovu, dva pro fyziku a výpočetní techniku a jeden měl aprobaci fyzika-biologie. Zbývajících sedm učitelů nemělo vystudovanou fyzikální aprobaci, ve čtyřech případech se jednalo o absolventy technických oborů majících doplňkové pedagogické vzdělání, dva učitelé měli aprobaci pro 1. stupeň ZŠ a jeden měl kombinaci matematika-chemie.

Šest učitelů působilo ve městech s více než 100 000 obyvateli, šest ve městech s více než 10 000, ale méně než 100 000 obyvateli, a zbylých 19 působilo ve školách v menších sídlech. V porovnání s celkovým rozložením v České republice tak byly nepatrně více zastoupeny venkovské a maloměstské oblasti (ve městech nad 10 000 obyvatel žije více než 54 % populace). Z geografického hlediska působilo sedm učitelů v kraji Ústeckém, po pěti v krajích Olomouckém, Královéhradeckém a Plzeňském, tři učili v kraji Jihočeském, dva v kraji Středočeském a po jednom v krajích Libereckém, Zlínském, Jihomoravském a Pardubickém. Bez zastoupení byly kraje Karlovarský, Vysočina, kraj Moravskoslezský a také hlavní město Praha.

Trináct učitelů pracovalo ve třídách s učebnicemi nakladatelství Fraus, osm užívalo učebnice autorů Jáchyma a Tesaře od nakladatelství SPN a sedm učebnice autorů Bohuňka a Kolářové od nakladatelství Prométheus. Ostatní uvedli, že učebnice ve třídě buď nevyužívají nebo pracují s jinými sadami. V porovnání s komplexním výzkumem týkajícím se užívání učebních materiálů (Höfer et al. 2005) je patrné výraznější zastoupení učebnic od nakladatelství Fraus a SPN na úkor učebnic od nakladatelství Prométheus. To může souviset s výše uvedeným nerovnoměrným geografickým rozmístěním učitelů fyziky, roli však může sehrát i fakt, že od citovaného výzkumu již uplynulo více než 10 let a preference škol ohledně užívaných učebnic se od té doby mohly změnit. Celkově je však možné konstatovat, že soubor participantů v základních rysech rámcově odpovídá celkovému rozložení v České republice.

### ■ Výsledky

#### ■ Analýza vnějších podmínek

Jak již bylo řečeno, analýza vnějších podmínek zahrnovala rozbor školních vzdělávacích programů, výročních zpráv škol a učebnic, rozhovory s řediteli škol týkající se aprobovanosti a rovněž výzkum týkající se toho, jak studenti 1. ročníku SŠ hodnotí výuku fyziky, kterou absolvovali na základní škole. Detailní výsledky analýzy



především s ohledem na aprobovanost učitelů fyziky (u níž byla prokázána kladná korelace s tím, jak fyzika žáky bavila a kolik v ní bylo dle jejich vyjádření zařazeno pokusů) jsou uvedeny ve studii Mollerové *et al.* (2018), zde se omezíme na stručné shrnutí nejvýznamnějších poznatků směrem k závěrečné syntéze a identifikaci kritických míst.

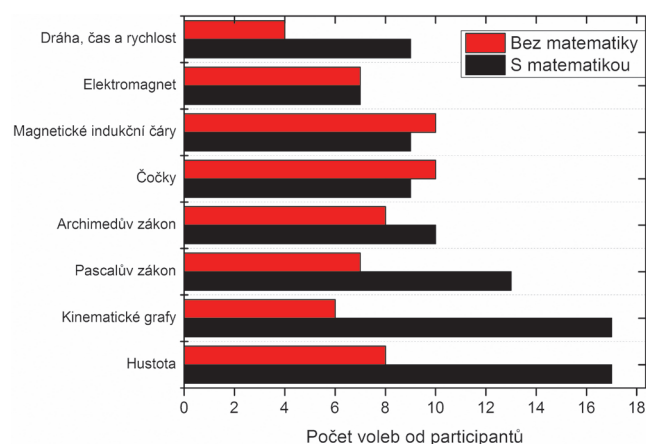
Předně bylo zjištěno, že v téměř 40 % škol v 6. třídě je fyzice věnována pouze jedna hodina týdně (ve zbytku dvě hodiny). Pokud však srovnáme rozsah probíraného učiva dle ŠVP, nebyl mezi oběma skupinami téměř žádný rozdíl a obsah učiva se zpravidla řídil používanou učebnicí (nejspíše z praktického hlediska, aby žáci měli celou učebnici probranou a nemuseli se k ní vracet). Dalším relevantním poznatkem bylo, že jen v naprosté menšině běžných základních škol (méně než 10 %) dochází k půlení tříd alespoň na jednu hodinu týdně během celého 2. stupně. To může mít zvláště ve školách s větším počtem žáků zásadní dopad na možnost realizovat komplexnější laboratorní práce. Naopak pozitivem je, že ve zhruba 80 % škol byla samostatná učebna fyziky, ačkoliv míra její vybavenosti může být samozřejmě různorodá a nebyla předmětem výzkumu. Z hlediska obsahu ŠVP a toho, jak se posloupnost učiva liší od klasického pojetí vycházejícího z dřívějších osnov, lze konstatovat, že odlišnosti se objevují na výrazné menšině škol a nejvýraznější odchylky byly paradoxně zaznamenány na školách, kde nepůsobí (a dle vyjádření ředitele nepůsobil ani v uplynulých letech) učitel mající aprobaci fyzika.

### ■ Výběr kritických míst v dotaznících (vliv matematiky)

V průběhu rozhovorů s participanty byli učitelé dvakrát požádáni, aby ze seznamu 80 základních analytických jednotek typických pro 6. a 7. ročník ZŠ vybrali nejvýše 10, jež pokládají za kritické. V prvním případě nebyly ohledně výběru nijak instruováni ani omezeni (někteří učitelé se v této souvislosti doptávali, zda mají brát kritičnost z pohledu svého či z pohledu žáků a bylo jim odpovězeno, aby vybírali podle toho, jak sami subjektivně chápou pojem kritické místo), ve druhém byli požádáni, aby nebrali do úvahy matematické aspekty a soustředili se na fyzikální podstatu věci.

V prvním případě označilo 31 učitelů celkem 274 témat, což odpovídá v průměru 8,84 volbám na učitele. Napodruhé bylo celkem vybráno 220 témat, došlo tedy k poklesu průměrného počtu na 7,1 volby na učitele. Oba výběry se shodovaly pouze cca z 50 % a většina učitelů na základě průběhu rozhovoru a omezující podmínky týkající se matematiky svoji volbu výrazně přehodnotila (participanti byli instruováni, že výběr mohou provést zcela stejně či jej výrazně změnit). Zajímavé je, že pět učitelů

vybíralo v obou případech zcela stejně. To zdůvodnili ve třech případech tím, že matematickou nedostatečnost žáků neuvažovali ani při prvním výběru (např. Participant 27: „*To já jsem nebral ale ani předtím*“), ve dvou případech poté tím, že dle jejich názoru nelze matematiku a fyziku od sebe oddělit (např. Participantka 3: „*Pro mě prostě matematika a fyzika jsou dvě neoddelitelné disciplíny a myslím si, že to prostě bez toho nelze. Takže já zaškrtnu stejná témata.*“). Neuvažování matematických aspektů bylo v rámci našeho vzorku typické pro učitele mající aprobaci fyzika a technická výchova resp. učitele matematiky a fyziky, kteří preferují fyziku, naopak zdůraznění neoddelitelnosti obou disciplín bylo zaznamenáno u učitelů s aprobací matematika-fyzika, kteří uváděli, že jsou zaměřeni spíše na matematiku.



**Obr. 1.** Četnost výběrů analytických jednotek v množině celkem 31 učitelů pro případy bez respektive se zohledněním matematických aspektů problematiky

Obrázek 1 ukazuje pro ilustraci četnost výběrů u osmi vybraných analytických jednotek (šlo o jednotky s největšími počty voleb při prvotním vyplnění). Je z něj patrné, že zatímco u některých témat probíraných na ZŠ pouze kvalitativně (čočky, magnetické indukční čáry) se počet výběrů s přidáním podmínky za zanedbání matematických aspektů nezměnil či mírně vzrostl, u některých matematikou silně ovlivněných jednotek (souvislost dráhy, rychlosti a času, kinematické grafy) došlo k výraznému poklesu. Zajímavý je vývoj např. u Archimédova a Pascalova zákona, kde výpočty hrají i na ZŠ velkou roli, ale přesto tato témata získala značný počet voleb i v případě bez uvážení matematiky. K bližšímu osvětlení těchto a dalších aspektů nám posloužily polostrukturované rozhovory s učiteli, jež rozebereme v další části studie.

### ■ Poznatky z rozhovorů s učiteli

V rámci přípravy rozhovorů byly definovány celkem 4 specifické výzkumné otázky (SVO, viz příloha Box1).

## Příloha 1: Otázky pro rozhovor s učiteli fyziky

V souladu s publikací Švaříčka a Šedové (2007) definujeme základní výzkumnou otázku (ZVO) a specifické výzkumné otázky (SVO) následovně:

ZVO: Jak učitelé fyziky na ZŠ vnímají kritická témata ve smyslu samotného uchopení tohoto slovního spojení a ve smyslu identifikace a řešení konkrétních témat z učiva 6. a 7. ročníku?

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

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?

Tazatelské otázky (TO) jsou následně přiřazeny k jednotlivým SVO s tím, že u některých TO z úvodu není přiřazena žádná SVO (jde o „rozehrívací“ otázky odpovídající trychtýřovitému pojetí rozhovorů). Přiřazení TO k SVO je patrné z označení, v některých případech daná TO zasahuje do více SVO.

### Průběh rozhovoru:

Po úvodním přivítání, seznámení učitele s obsahem výzkumu a podepsáním informovaného souhlasu s nahráváním, zapne výzkumník diktafon a začne klást jednotlivé TO:

TO-a. Jak dlouho působíte jako učitel(ka) na základní škole?

TO-b. Pro výuku jakých předmětů jste aprobován/a?

TO-c. Jaké předměty vedle fyziky vyučujete?

TO-d. Jaké učebnice či sady učebnic používáte při výuce fyziky?

TO-1a. Uved'te, prosím, jaká témata ve výuce fyziky v 6. a 7. ročníku pokládáte za kritická? TO-2a. Proč jste u předchozí otázky vybral/a právě ta témata, která jste vybral/a?

TO-2b. Jaké jsou vaše oblíbená a neoblíbená témata či oblasti témat v rámci fyziky jako rozsáhlé a různorodé disciplíny (pokud tedy takové oblasti máte)?

TO-2c. Zkuste se podívat na výuku fyziky v 6. a 7. třídě očima svých žáků. Která témata jsou podle Vašeho názoru nejvíce problematická?

TO-2d. Jsou nějaká témata v 6. a 7. třídě, kde pociťujete nedostatek vhodných pomůcek či učebních materiálů? Pokud ano, o která se jedná?

TO-2e. Která témata z 6. resp. 7. třídy Vám přijdou jako nejvíce abstraktní?

TO-2f. Která témata z učiva 6. a 7. třídy pokládáte za nejdůležitější z hlediska jejich dalšího uplatnění ve studiu fyziky?

Nyní je třeba přistoupit k další části rozhovoru se seznamem témat na papíře, z nich učitel bude vybírat. Tuto část je možné uvést třeba následovně: „Bavíme se o kritických tématech ve výuce fyziky v 6. a 7. ročníku ZŠ. Zatím jste uváděl/a a pojmenovával/a témata ze svého hlediska bez ohledu na to, zda se jednalo o větší či menší celky. Nyní Vás

požádáme, zda byste se podíval/a na seznam témat sestavených podle typických učebnic a ŠVP a zakroužkoval/a nejvýše 15 kritických témat z tohoto seznamu bez uvedení pořadí. Může se stát, že některé z těchto témat v 6. či 7. třídě vůbec neprobíráte a to ani pod jiným názvem. V takovém případě jej, prosím, označte křížkem.“

TO-1b. Zakroužkujte, prosím, nejvýše 10 kritických témat ze seznamu. Témata, která v 6. či 7. třídě, vůbec neprobíráte, označte, prosím, křížkem.

TO-2g. Děkujeme za vyplnění. Můžete, prosím, stručně okomentovat Vaše motivy pro uvedený výběr? Zaměřte se především na témata, která jste v diskuzi před předložením seznamu nezmiňoval, pokud taková jsou.

TO-2h+3a. Do jaké míry, pokud vůbec, vnímáte jako problém při výuce fyziky případnou matematickou nedostatečnost žáků?

TO-3b. Potřebujete ve fyzice v 6 a 7. ročníku i znalosti a dovednosti, které ještě v matematice neměli žáci možnost získat a rozvinout?

TO-3c. Jak se, obecně vzato, díváte na vzájemný vztah matematiky a fyziky?

TO-4a. Jaké strategie používáte při své výuce ve snaze zvládnout dříve diskutovaná kritická témata?

TO-4b. Jak v souvislosti se zvládáním kritických témat vnímáte potenciál nových výukových metod jako je badatelská metoda, projektová metoda či metoda Peer Instruction?

TO-4c. Jak hodnotíte potenciál neformálního vzdělávání zahrnujícího např. exkurze do science center či účast na akcích typu Věda na ulici pro zvládání kritických témat?

TO-4d. Jaké výukové materiály využíváte vedle učebnic při výuce kritických témat?

TO-4e. Tvoříte si pro výuku kritických popř. i dalších témat vlastní výukové materiály, a pokud ano, proč?

Nyní se dostáváme k závěru rozhovoru. Učitele požádáme, aby znovu označil nejvýše 10 z jeho pohledu kritických témat s tím rozdílem, že nezohlední případnou matematickou nedostatečnost žáků. Otázku můžeme uvést např. následovně: „V uplynulých minutách jsme hovořili o kritických tématech ve výuce fyziky v 6 a 7. třídě ZŠ. Nyní Vás požádám, abyste znovu uvedl/a v tomto seznamu obsahujícím stejná témata jako na začátku nejvýše 10 témat z Vašeho pohledu kritických. **Tentokrát však již zkuste nebrat vůbec v potaz případnou matematickou nedostatečnost žáků a zaměřte se na fyzikální podstatu věci.** Můžete samozřejmě volit zcela stejně jako předtím, můžete ovšem rovněž svoji volbu podstatně změnit.“

TO-1c. Zakroužkujte, prosím, nejvýše 10 kritických témat ze seznamu. Zohledněte fyzikální podstatu věci, nikoliv případnou matematickou nedostatečnost žáků.

Na závěr výzkumník poděkuje za rozhovor a zeptá se učitele(ky), zda chce ještě na závěr něco doplnit či upřesnit (např. něco, co ho/jí napadlo během rozhovoru...).

**Až poté ukončí rozhovor a vypne nahrávání.**

V této části uvedeme významné poznatky získané od učitelů ve vztahu k jednotlivým SVO:

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

Tazatelské otázky související s touto SVO byly participantům položeny ještě před tím, než bylo realizováno vyplnění výše popsaného dotazníku. Nejčastěji byla zmiňována hustota, u které učitelé občas rovnou uváděli spontánní postupy, jejichž pomocí se snaží příslušný problém řešit. Např. Participantka 3 uvedla: „*V té šesté třídě je opravdu kritické místo hustota, takže tam třeba já osobně to řeším tak, že hustotu učím až na konci školního roku ne hnedka po těch ostatních fyzikálních veličinách, ale počkám si, až děti trošičku něco umějí a zvyknou si na to, na fyziku jako na nový předmět, takže v šestce je to určitě hustota.*“ Vedle matematické náročnosti u hustoty hraje roli i to, o jak abstraktní koncept se jedná, což ilustrovala Participantka 14: „*Hustota je prostě na tu představivost, i když se jim to člověk snaží různými způsoby vysvětlit, tak stejně u některých dětí je to katastrofální a ta představa se tam nedaří vybudovat.*“

Poměrně hodně respondentů pak uvádělo automaticky témata, kde se počítá. Např. Participant 20: „*Tak nejkritičtější jsou témata, kde je třeba dojít k nějakým výpočtům...*“ V žádném z případů nedošlo k tomu, že by participant neuvedl spontánně ani jedno kritické téma a typicky byla odpověď na příslušnou otázku velmi rychlá. Učitelé byli tázáni i na klíčová místa (resp. témata s největším uplatněním v dalším studiu fyziky), zde výrazná většina participantů zmiňovala převody jednotek a problematiku silového působení. Participantka 17 k tomu uvedla: „*Tak bych nejradši řekla, že všechna témata jsou důležitá a víceméně se prolétají i nadále, ale určitě to nepůjde bez těch jednotek bez síly bez působení sil.*“

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

Zde se zcela jednoznačně ukázalo, že učitelé pokládají za kritické to, co dle jejich zkušenosti dělá největší problémy jejich žákům. V tomto smyslu se vyjádřili prakticky všichni participanté výzkumu. Jen výjimečně docházelo k případům, že by učitelé uvedli jako kritické téma něco, o čem v další části rozhovoru uvedli, že je samo nebaví. Pokud ano, šlo o témata výrazně ovlivněná matematikou, např. Participant 27, který zmínil jako kritické na prvním místě převody jednotek, k tomu uvedl: „*Jako v té výuce bych viděl, tam ty převody jednotek a to co je víc matika než fyzika, to nemám rád.*“

Naopak poměrně častá situace byla, že učitel uvedl jako kritická právě témata, která následně definoval jako svoje oblíbená. Participant 12 se v této souvislosti zajímavě

vyjádřil k problematice tlaku vyvolaného objemovou a povrchovou silou, jejichž časté zaměňování žáky vedlo pravděpodobně k tomu, že obě uvedená témata byla v dotazníku často uváděna jako kritická i bez zohlednění matematiky. Uvedl následující: „*Takže Pascalův zákon to je problém. Za mě je to krásná věc, co se dá pěkně ukázat a stejně tak i Archimédův zákon. Ale co problém pro ty děti, tak rozlišit hydrostatická tlaková síla a tlak. Možná jim to špatně vyložím, mě to přijde jasný, a těm dětem to potom splývá.*“

Celkově je možné u této SVO říci, že učitelé pojmají kritičnost jednoznačně z pohledu žáků a pokud do ní promítají svoje vlastní preference, je to spíše v tom smyslu, že jsou u svých oblíbených témat zklamáni výsledky dětí, než tím, že by svoje neoblíbená témata označovali automaticky jako kritická.

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

U této SVO se ukázalo, že učitelé (včetně těch, kteří nemají matematiku jakou druhou aprobaci) vnímají vzájemný vztah obou disciplín velmi citlivě. Všichni se shodují v zásadním významu matematiky pro fyziku jako vědu, různé názory však již mají na to, jak podstatná má být tato vazba na ZŠ. Participant 27 například uvádí: „*Jako vědní disciplína samozřejmě fyzika je aplikovaná matematika, to prostě tak je, i když to jako fyzikáři neradi přiznáváme. Ale na té základce si myslím, že zase nevyrábíme malé fyziky a že se bez toho klidně obejdou a může se tam udělat plno krásné práce pedagogické a nemusím k tomu znát vůbec matematiku. To je možná trochu kacířská myšlenka ode mě, ale i tak si to myslím. Je tam plno jiných věcí, co si z té fyziky mohou odnést a matematiku k tomu vůbec nepotřebují.*“

Většina učitelů především s aprobací matematika-fyzika však klade na matematickou stránku věci důraz, což dávají do souvislosti i se svými preferencemi. Např. Participantka 26 uvádí: „*Já jsem hodně matematicky zaměřená. Já nejsem experimentátor. I když snažím se zdůraznit, že všechny údaje, které získáváme z úloh, jsou zjištěné experimentálně.*“ Globálně se učitelé shodují na tom, že matematická nedostatečnost žáků je problém, přičemž velmi často vidí příčinu ve špatné kurikulární provázanosti matematiky a fyziky. Participantka 26 k tomu uvádí: „*Bohužel špatná koordinace mezi matematikou a fyzikou. Než přišlo slavné ŠVP, tak to bylo v pořádku. Já jsem matikář, tak si to upravím podle sebe... Když matematiku učí někdo jiný, tak si učí podle sebe.*“

Obzvláště citlivě byl rozpor vnímán u rovnic, které zmínily v souvislosti se špatnou provázaností téměř dvě třetiny participantů. Participantka 8 k tomu uvádí: „*Dětem chybí jednoduché rovnice, které dřív se učili v té páté třídě, pokud ještě bylo osm tříd základní školy. Dneska jsou přesunuty až na konec osmé třídy nebo do poloviny osmé třídy a chybí jim*



*vlastně úprava vzorců, chybí jim funkční závislosti, takže nezvládnou rozeznat, jestli se jedná o nějakou závislost mezi veličinami, o přímou úměrnost nebo nepřímou úměrnost.“* Celkově lze říci, že učitelé fyziky vnímají provázanost s matematikou jako velmi závažný problém a příčinu často vidí v kurikulárních úpravách realizovaných v souvislosti se zaváděním RVP a ŠVP.

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

U této SVO učitelé často zmiňovali spirálovité pojetí kurikula (byť tomu tak přirozeně neříkali) diskutované detailně Dvořákem (2009). Za důležité tedy pokládají dostatečné opakování a procvičení, a také zpětné vracení se k tématu (především u klíčových míst). Participantka 6 k tomu uvádí: „*Je třeba neustále procvičovat, i když se už bere jiná látka, tak ty převody, veličiny pořád průběžně procvičovat a vracet se k nim.*“ Někteří učitelé (speciálně nemající jako druhou aprobaci matematiku) zdůrazňují zásadní význam experimentu. Např. Participant 28 uvádí: „*Myslím si, že prostě didaktika fyziky stojí a padá na fyzikálním experimentu. To je prostě stavební kámen a od toho by se to všechno mělo rozvíjet... Ten primární efekt tam musí mít ten vyučující s tím pokusem a nejlépe s tím pokusem, které dělá to dítě samotné, na kterém to uvidí, vyzkouší a zjistí, jak co funguje.*“

Menšina učitelů vidí řešení ve změnách kurikulárních dokumentů a tematických plánů. Podstatné změny by například uvítal Participant 11, který říká následující: „*Elektrodynamiku bych ze základní školy úplně vyškrtnul. Dal bych to až na střední.*“

Učitelé se rovněž vyjadřovali k potenciálu nových výukových metod, kde převažovala skepse z hlediska jejich přímé aplikace do výuky v důsledku omezené časové dotace a ke kvalitě a dostupnosti doplňkových materiálů. Zde se učitelé vesměs shodovali, že není problém s kvantitou, ale je problematická úroveň, a to i na oficiálních serverech. Participant 11 k tomu uvádí: „*Dumy mě nebaví, tam je spousta plevele. Je tam spousta blbostí, takže jsem se rozhlížel po internetu a hledal tak různě.*“ Diskutován byl rovněž potenciál neformálního vzdělávání, kde většina učitelů oceňovala možnost exkurzí do science center, zároveň však řada z nich upozorňovala, že v jejich případě se nejedná o aktivitu vhodnou pro celou třídu a jde spíše o akci za odměnu pro zájemce o fyziku. Participantka 6 k tomu uvádí: „*Protože z mého pohledu nemá cenu brát na nějakou takovou exkursi takové ty žáky, na kterých prostě už i v těch hodinách je vidět, že to mají za trest, že je to nebaví a je důležité si to tam jenom odsedět. A ti by to akorát těm ostatním prostě zkazili ten výlet. Takže z mého pohledu tedy ty akce určitě jsou přínosné, ale opravdu jenom pro ty děti, které o to sami stojí.*“



**Obr. 2.** Wordcloud získaný v rámci analýzy rozhovorů pomocí programu ATLAS.ti

Ucelenou představu o tom, jak probíhaly rozhovory s učiteli, nám dává obr. 2, kde je uvedena část tzv. *wordcloudu* vytvořeného v programu ATLAS.ti na základě zpracování všech 31 rozhovorů s učiteli. Velikost písma přitom odpovídá tomu, jak často bylo uvažované slovo v rozhovorech zmiňováno. Jsou zahrnuta pouze slova vyskytující se velmi často a jsou odfiltrovány nejčastější předložky a spojky. Obrázek slouží především k ilustraci a získání základní představy, protože různé formy stejného slova jsou započítávány zvlášť, což komplikuje detailní kvantitativní analýzu. I tak je zde však patrná výrazná orientace učitelů na děti, jež souvisí s tím, že prakticky všichni brali kritická místa právě z pohledu svých žáků (v součtu se výrazy „děti“, „žáků“ a „žáci“ objevily celkem 201krát). Není překvapivé, že hojně byl zastoupen výraz „problém“, který se vyskytl celkem 193krát. Patrný je i důraz na tvorbu vlastních materiálů, které učitelé zmiňovali v souvislosti s překonáváním kritických míst. Pod pojmem „materiály“ (87 výskytů) přitom měli na mysli především nemateriální didaktické prostředky jako pracovní listy. Materiální didaktické prostředky pak učitelé označovali typicky jako pomůcky a věnovali jim v průměru o poznání menší pozornost (49 výskytů).

Pro snazší identifikaci kritických míst a jejich příčin byl rovněž v programu ATLAS.ti vytvořen pro každý rozhovor zvlášť strom, v němž byla zobrazena ta část hierarchické struktury konceptů uvažovaných v prvních dvou letech na ZŠ, jež byla daným učitelem označena v rámci rozhovoru jako kritická.

## Problematické úlohy v mezinárodním šetření TIMSS

Proces výběru úloh označených jako problematické je společně s odhadem příčin jejich problematickosti a ukázkou tzv. sémanticko-logických sítí detailně prezentován ve studii Kohouta *et al.* (2019). Zde se omezíme na stručné shrnutí výsledků ve vztahu k určení kritických míst. Celkem bylo identifikováno 19 problematických úloh, přičemž největší diskrepance mezi českými žáky a mezinárodním průměrem (o téměř 15 proc. bodů) byla zaznamenána u úlohy týkající

se aplikačního konceptu Elektromagnet. Druhý nejhorší výsledek (rozdíl více než 10 proc. bodů) byl zaznamenán u úlohy týkající se organizačního konceptu Magnetické indukční čáry. Velmi slabé výsledky však byly zaregistrovány také hned u několika úloh spadajících pod substantivní koncept Energie a rovněž u problémů týkajících se bezprostředně organizačního konceptu Šíření světla.

Odhadované příčiny problematičnosti úloh přitom byly různé. V některých případech (magnetismus, elektromagnet, optika) mohlo hrát podstatnou roli to, že jsou tato témata zařazena až na konec školního roku a už jim není věnována dostatečná pozornost ze strany učitele ani žáků. Poměrně často (především u konceptu Šíření světla) šlo o netypové úlohy (ve vztahu k českým učebnicím, sbírkám apod.), přičemž atypičnost zde byla často dána tím, že uvedená problematika je pravděpodobně vnímána jako příliš triviální a samozřejmá na to, aby jí byla blíže věnována pozornost. V několika kvantitativních úlohách sehrála podstatnou roli matematická nedostatečnost žáků a byl zaznamenán i případ, kdy byla v mezinárodním srovnání užita nestandardní terminologie (v zadání bylo „kinetická energie“ místo na základní škole běžného „pohybová energie“, což mohlo řadu žáků zmást).

Celkově je třeba konstatovat, že problematické úlohy se nacházely v podstatě ve všech velkých tematických celcích probíraných v prvních letech fyziky na ZŠ (není tedy možné říci, že by čeští žáci selhávali pouze v mechanice, elektřině, optice či magnetismu) a že příčiny problematičnosti je třeba hledat specificky pro danou úlohu a to jak v ontodidaktické, tak i v psychodidaktické oblasti. I přesto mohou mezinárodní srovnání přinést cenné informace o tom, jak si v dané oblasti stojí čeští žáci, a přispět svým dílem k identifikaci příslušných kritických míst.

## ■ Analýza výsledků žáků v testování České školní inspekce

Úlohy zadávané v testování přírodovědné gramotnosti Českou školní inspekci jsou inspirovány mezinárodním šetřením PISA a jsou tedy typicky postaveny jako multioborové a kladoucí důraz na obecné vědecké myšlení. Na rozdíl od úloh ze šetření TIMSS tak nejsou ve většině případů příliš vhodné k určování kritických míst (cíle totiž spíše na obecněji pojaté schopnosti a dovednosti než na specifické zvládnutí konkrétního tématu), mohou nám však dát velmi dobrou představu o tom, jaké myšlenkové postupy dělají žákům zásadní problémy a přispět tak k hlubšímu objasnění příčin kritičnosti. Hlavní poznatky z výsledků testování žáků jsou uvedeny v příslušné kapitole přehledové studie k plánovaným změnám RVP (Dvořák *et al.* 2018, s. 4-6), zde uvedme několik vybraných bodů majících význam pro analýzu příčin kritických míst nejen ve fyzice, ale i například v geografii:

- Bylo zjištěno, že žáci, kteří uvedli fyziku jako potřebný zdroj informací pro úspěšné zvládnutí testu, dosahovali v průměru lepších výsledků ve srovnání s těmi, kteří tak neučinili. To ukazuje na důležitost fyzikálního myšlení a je třeba podotknout, že u ostatních oborů nebyl tento trend pozorován).
- Žáci mají zásadní problém s interpretací výsledků fyzikálního experimentu udaného v přehledné tabulce a také s tím, aby rozhodli, co je možné daným experimentem vůbec zjistit a co už nikoliv.
- Zásadní problém nastává v oblasti čtení z grafů a interpretace informací v nich uvedených. Žáci mají tendenci zaměňovat osy  $x$  a  $y$  a v důsledku toho se dostávají ke zcela nesmyslným závěrům, což jim nepřijde divné.
- Jako velmi problematická se jeví oblast důsledků pohybu Země kolem své osy a Země kolem Slunce, jež se nachází na rozhraní fyziky a geografie. Hlavní problém přitom nastane, když je potřeba při řešení konkrétní úlohy zohlednit oba uvedené pohyby (týká se například doby trvání dne v různých ročních obdobích v různých zeměpisných šířkách).

## ■ Syntéza jednotlivých přístupů a určení kritických míst

Klíčovým úkolem výzkumného týmu bylo na základě poznatků získaných užitím dílčích výzkumných metod identifikovat kritická místa a kvalifikovaně odhadnout jejich příčiny. K určení kritických míst posloužily především výsledky dotazování učitelů, části hierarchické struktury konceptů označené učiteli jako kritické v rámci samotných rozhovorů a poznatky z mezinárodního šetření TIMSS. Při identifikaci příčin kritičnosti pak sehrály podstatnou roli analýza vnějších podmínek, příslušné pasáže rozhovorů s učiteli a částečně také poznatky získané díky testování žáků Českou školní inspekci. Na základě detailního rozboru všech „indicií“ a diskuze v týmu byla následně vytipována následující kritická místa kurikula:

- **Magnetické vlastnosti el. proudu a elektromagnet** – možnou příčinou kritičnosti tohoto organizačního konceptu (mag. vlastnosti proudu) resp. aplikačního konceptu (elektromagnet) je přílišná abstraktnost a může nastat problém s jeho mentální reprezentací obsahu. Navíc bývá téma magnetické vlastnosti elektrického proudu a elektromagnet velmi často v ŠVP zařazeno na úplný konec 6. ročníku, kde je velké množství učiva a přitom cca 40 % základních škol na v tomto ročníku fyziku jen jednu hodinu týdně. Další souvislostí je zde nedosažení očekávané úrovně žáků z pohledu standardů a mezinárodních srovnání. Ve výsledcích TIMSS byla ČR v posledním testování v roce 2007 u odpovídající úlohy o 15 proc. bodů pod průměrem, což byl vůbec



nejhorší výsledek ze všech fyzikálních úloh za všechna realizovaná testování.

- **Magnetické pole a indukční čáry** – možnou příčinou tohoto substantivního (mag. pole) a úzce souvisejícího organizačního konceptu (indukční čáry) je také abstraktnost. Další souvislostí kritičnosti je nedosažení očekávané úrovně žáků z pohledu standardů a mezinárodních srovnání. Ve výsledcích TIMSS je ČR u některých úloh týkajících se této problematiky o 10 proc. bodů pod průměrem. Problematické může být i zařazení tématu v tematickém plánu většiny škol, zde nastává podobný problém jako u elektromagnetu.
- **Hustota** – možné příčiny kritičnosti tohoto substantivního konceptu jsou jednak matematická nedostatečnost a problematická kurikulární návaznost na matematiku (je vyžadována schopnost pracovat na dobré úrovni se zlomky) a jednak abstraktnost zmiňovaná často učiteli v rámci rozhovorů. Dalším aspektem je nedosažení očekávané úrovně žáků z pohledu standardů a mezinárodních srovnání. Ve výsledcích TIMSS u úloh zaměřených na hustotu má ČR sice srovnatelné výsledky s průměrem, ale mnohem horší než některé státy západní Evropy.
- **Čočky a zobrazování čočkami** – možnou příčinou kritičnosti tohoto aplikačního konceptu zmiňovanou opakovaně učiteli v rámci rozhovorů je nedostatečné materiální vybavení při pokusech nebo možných laboratorních pracích. Dále možnou příčinou kritičnosti je nevhodné zařazení v kurikulu (typicky konec 7. ročníku, kde je velké množství učiva a dochází k časovým skluzům). Dalším aspektem zde je nedosažení očekávané úrovně žáků z pohledu standardů a mezinárodních srovnání. Ve výsledcích TIMSS má ČR u relevantních úloh týkajících se samotné podstaty optického zobrazování podstatně horší výsledky ve srovnání například s Anglií či Finskem.
- **Hydrostatický tlak a Archimédův zákon** – možné příčiny kritičnosti těchto navazujících organizačních konceptů jsou jednak přílišná abstraktnost a problém s mentální reprezentací obsahu, jednak pak nedosažení očekávané úrovně žáků z pohledu učitelů, kteří v rozhovorech toto téma často označují jako své oblíbené a jsou pak zklamáni špatnými výsledky žáků. Určitou roli zde pak může hrát i záměna hydrostatického tlaku závislého lineárně na hloubce s tlakem vyvolaným povrchovou silou, který dle Pascalova zákona na hloubce nezávisí. To je možné snadno ilustrovat pomocí grafů, s jejichž správným čtením a interpretací však mají žáci často problém.
- **Pascalův zákon a hydraulická zařízení** – možnou příčinou kritičnosti tohoto organizačního konceptu (v případě Pascalova zákona) resp. aplikačního konceptu

(v případě hydraulického zařízení) jsou jednak matematická nedostatečnost žáků (výpočet hydraulického lisu apod.), jednak nedostatečné vybavení pomůckami. Opět zde hrozí výše popsaná záměna tlaku vyvolaného vnější a objemovou silou a roli zde může hrát i zklamání učitelů z toho, že žáci mají s jejich oblíbeným tématem značné problémy.

Zjištěná kritická místa jsou v dobrém souladu s tím, k čemu dospěli v rámci kvantitativního výzkumného šetření mezi učiteli fyziky na ZŠ zástupci science center IQLandia a Svět techniky, kteří na konferenci projektu Didaktika A – Člověk a příroda v říjnu 2017 uvedli, že jako nejproblematictější se jeví hustota a mechanika kapalin (konkrétně Archimédův a Pascalův zákon).

## ■ Návrh modulů sloužících k překonání kritických míst

### ■ Evidence-based design a strategie tvorby modulů

Základní filozofií při tvorbě vzdělávacích modulů pro učitele, majících za cíl překonat kritická místa, bylo uplatnit *evidence-based design* a maximálně vytěžit poznatky o tom, co konkrétně je příčinou či příčinami kritičnosti onoho místa. Rozhodně jsme se chtěli vyhnout suplování existujících učebnic a nesnažili jsme se ani pojmut dané téma v celé jeho šíři. Spíše nám šlo o vytvoření série učebních úloh či jednotek, jež by reflektovaly a snažily se napravit přesně to, co je v daném tématu nejvíce problematické.

Ačkoliv moduly byly tvořeny členy výzkumného týmu, jejich příprava se neobešla bez velmi detailních a obsáhlých diskuzí s učiteli zapojenými v projektu. I na základě jejich doporučení jsme se snažili o maximální možnou diferenciaci úloh v závislosti na časové dotaci fyziky v daném ročníku (je obrovský rozdíl, pokud má učitel k dispozici dvě hodiny týdně ve třídě s 15 žáky či jednu hodinu týdně ve třídě s 30 žáky), dostupnosti pomůcek a „fyzikální vyspělosti“ třídy.

Experimentální úlohy, jež tvoří výraznou složku modulů, je tak možné pojmut (v ideálním případě dostatku času a pomůcek) jako skupinovou či individualizovanou práci žáků, jako frontální experiment realizovaný učitelem a spojený s diskuzí s žáky i jako videoexperiment, kdy učitel pustí video připravené členy týmu a doplní je vhodnými otázkami a úkoly. Z experimentálního hlediska jsme připravovali úlohy, které jsou dobře realizovatelné s minimem jednoduchých pomůcek, zcela jsme se vyhnuli návrhům na složitější laboratorní úlohy, které by zabraly celou hodinu a byly by realizovatelné v podstatě pouze při půlených hodinách fyziky (které se však dle výsledků uvedených výše na českých ZŠ téměř nevyskytují).

Naši snahou při návrhu modulů bylo dosažení odpovídající kvalitativní úrovně poznání, moduly tak nezahrnují

výpočtové úlohy, jichž je dle vyjádření učitelů dostatečné množství a jež úzce souvisí s přenosem kritického místa z matematiky, jejímuž suplování jsme se chtěli vyhnout. Vycházeli jsme přitom z toho, že jedině učitel zná dobře konkrétní třídu a může pro ni sestavit vhodně strukturovanou hodinu. Proto jsme nenavrhovali konkrétní průběh výukových hodin a moduly sestavili v podstatě jako skládačku, kterou si konkrétní učitel zpracuje podle svých konkrétních zkušeností. Pro ilustraci uvedeného přístupu popíšeme v následující kapitole jeden z námi připravených modulů podrobněji.

### **Konkrétní příklad:**

#### **Modul na téma Zobrazování čočkami**

U tématu Čočky a zobrazování čočkami bylo učiteli jako problematické často uváděno nedostatečné materiální vybavení ve školách znemožňující, aby si žáci dané téma dostatečně „osahali“. Mezinárodní šetření TIMSS pak ukázalo, že v této oblasti žáci selhávají u úloh, jež se týkají samotné podstaty optického zobrazování, otázek spojených s možnostmi vzniku obrazu, jeho intenzity, přesvícení apod. Rozbor učebnic ukázal, že zásadní pozornost je věnována popisu různých druhů čoček a následně geometrické konstrukci obrazu užitím tří základních paprsků a diskuzi jeho vlastností. Samotná podstata zobrazování je však brána jako téměř samozřejmá a není ji prakticky věnována pozornost.

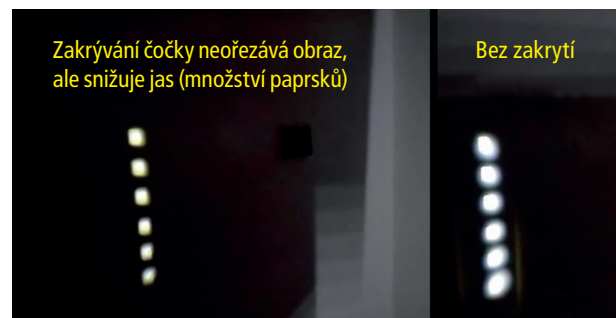
Na základě těchto poznatků jsme dospěli k názoru, že podstata problému tkví v nepochopení principů optického zobrazování a toho, proč je vůbec čočka přínosná. Proto jsme zaměřili modul tímto směrem a zcela rezignovali na učebnicový výklad konstrukce obrazu pomocí tří paprsků, typologii čoček apod. (v modulu je zařazen videoexperiment ukazující interaktivně v programu Algodoo tvorbu obrazu spojkou a rozptylkou, nikoliv však již klasická geometrická konstrukce). Za základní krok přitom pokládáme experiment s dírkovou komorou (*camera obscura*).



**Obr. 3.** Fotografie získaná fotoaparátem s objektivem (vlevo) a bez objektivu pomocí dírkové komory (vpravo)

V modulu je navrženo více možných alternativ, z nichž za ideální pokládáme využití fotoaparátu (fotografování bývá žákům blízké). K experimentu je nutné použít digitální či analogový fotoaparát s odnímatelným objektivem a zkusíme, zda lze něco vyfotit i v případě, že odstraníme objektiv (který můžeme v prvním přiblížení chápat jako spojnou čočku). Ukazuje se, že po odstranění čočky vznikne přesvícený obraz, na kterém není nic patrné. Pokud však objektiv nahradíme alobalem, ve kterém vytvoříme díрку (máme vlastně dírkovou komoru), jsme schopni pořídit snímek dle pravé části obr. 3. Se žáky je pak potřeba pomocí názorných schémat diskutovat o tom, jak je možné, že i pouhou dírkou v alobalu se podařilo něco vyfotit a proč je kvalita obrazu podstatně nižší, než je tomu v případě čočky (jinými slovy, co vlastně čočka přináší navíc).

Velmi důležitou částí modulu je i experiment Zakrývání čočky, který je k dispozici ve formě videa, ideální je ho však realizovat ve třídě na živo. Tento experiment je inspirován otázkou uváděnou v některých zahraničních kurzech zaměřených na konceptuální fyziku. Otázka se týká toho, co se stane s obrazem v okamžiku, kdy horní polovinu čočky zakryjeme. Žáci často odpovídají, že polovina obrazu zmizí a neuvědomí si, že obraz na stínítku se díky tomu, jak čočka funguje, z hlediska geometrie nezmění, dojde pouze k poklesu jeho intenzity. Ideální je provést experiment s USB LED lampou (dá se objednat za několik desítek korun), kde je při užití čočky na rozdíl od běžné situace vidět šest jasně oddělených bodů – jednotlivé LED (to velmi pěkně demonstruje samotnou podstatu funkce čočky), jejichž intenzita při zakrývání klesá (ilustruje obrázek 4). Body jsou však jasně patrné i v případě, že je zakryto 90 a více % plochy čočky. Velkou výhodou experiment je to, že je průkazný dokonce i bez zatemnění místnosti, jež je někdy ve školách problematické (diskuze toho, proč je třeba při optických experimentech zatemnění, je však sama o sobě přínosná, protože šetření TIMSS ukazuje, že řada českých žáků nemá v otázkách spojených s přesvícením obrazu vůbec jasno).



**Obr. 4.** Obraz svítící USB lampy vytvořený nezakrytou čočkou (vpravo) a čočkou zakrytou z 80 % (vlevo)

Cílem modulu tedy je, aby žáci pochopili samotný princip optického zobrazování a díky tomu porozuměli, proč je čočka přínosná a figuruje ve většině optických přístrojů. Jsme přesvědčeni, že toto pochopení (testovatelné řadou konceptuálních učebních úloh) je ve své podstatě přínosnější než znalost typů jednotlivých čoček a dokonce než zvládnutí konvenční geometrické konstrukce pomocí tří paprsků, na níž je kladen důraz v klasických učebnicích (což ale neznamená, že bychom tuto pasáž chtěli vypustit).

## Diskuze

V rámci diskuze je nutné upozornit na několik důležitých aspektů a omezení souvisejících se zde prezentovaným výzkumem. Předně nebyl do šetření zařazen rozbor žákovských prací ani identifikace kritických míst z jejich subjektivního pohledu. To představuje určité omezení týkající se psychodidaktického aspektu zkoumané problematiky. Do budoucna by proto bylo vhodné do výzkumu zapojit i přímo žáky základních škol.

Další problém může souviset s tím, že učitelé dané téma nemusí pokládat za kritické a mohou být na úrovni základní školy s výsledky žáků spokojeni, ačkoliv u nich není dostatečně rozvinuto konceptuální porozumění dané problematiky. Učitelé to však nezjistí, protože nemají k dispozici či nepoužívají učební úlohy, které by absenci tohoto konceptuálního porozumění byly schopny odhalit. Narážíme tu na obecnější problém konceptové validity učebních úloh pro příslušnou oblast instrumentální zkušenosti (ve fyzice stejně jako v jiných oborech).

Podle Kvasze (2014, s. 118) má instrumentální zkušenost dvě stránky: symbolickou zkušenost (týkající se dovednosti zacházet se symbolizacemi, typicky v matematice) a experimentální zkušenost (týkající se dovedností experimentace, typicky ve fyzice). V každém oboru má vztah mezi těmito dvěma stránkami instrumentální zkušenosti poněkud jiný charakter závisící na způsobech zacházení s oborovými instrumenty. Tradiční požadavek „učit se myslet v oboru“ lze v tomto smyslu vyložit prostřednictvím termínu *instrumentalizace zkušenosti*, kdy přirozená zkušenost získávaná prostřednictvím běžné každodenní praxe se instrumentalizuje pomocí specifických instrumentů, které zakládají a utvářejí určitý specializovaný obor myšlení, komunikace a jednání (Slavík *et al.* 2017, s. 55). Žák má během řešení učebních úloh instrumentalizovat svou zkušenost, to znamená – ideálně vztato – pronikat do způsobu myšlení, komunikace a jednání v daném oboru sice na úrovni svých aktuálních možností, nicméně korektně (tj. analogicky jako jeho špičkoví reprezentanti) jak v podoblasti symbolické zkušenosti, tak zkušenosti experimentální. K dosažení tohoto cíle slouží učební úlohy, které mají být konstruovány tak, aby byly

vůči oboru validní: výstižné (vystihují odpovídající koncept), bezchybné (nejsou v rozporu s žádnou z důležitých složek daného konceptu) a úplné (nemají nepříhodné mezery vůči příslušnému konceptu). Jestliže pro určitý koncept nebo pro strukturu konceptů chybí validní učební úlohy, stává se tento koncept pro výuku „neviditelným“ a učitelé jsou vůči němu „slepi“.

V této souvislosti je zajímavé, že se ani v rozhovorech ani při vyplňování dotazníků téměř neobjevila problematika Newtonových pohybových zákonů, která je probírána v 7. ročníku. Jednou z výjimek v tomto ohledu byl Participant 15, který při identifikaci kritických míst uvedl následující: „*Z těch čistě fyzikálních je to boj o pochopení některých pojmů, třeba ohledně Newtonových zákonů, pochopení pojmu jako akce a reakce třeba.*“ Konceptuální fyzika, o kterou se naše studie opírá, má přitom do značné míry počátek právě v identifikaci zásadních miskoncepcí souvisejících s těmito zákony a to nikoliv jen u žáků ZŠ (ačkoliv tyto miskoncepce jsou přítomné již na ZŠ, protože se bezprostředně týkají intuitivního, avšak nesprávného chápání vztahu síly a pohybu), ale rovnou u studentů prestižních amerických vysokých škol (cf. Kohout *et al.* 2018; Beichner 2009). I s ohledem na dřívější šetření v českém prostředí (Čížková, 2009) je přitom velmi pravděpodobné, že tyto miskoncepce jsou velmi rozšířené i u žáků v České republice, učitelé jim však nevěnují takovou pozornost (pravděpodobně proto, že úlohy běžně uváděné v učebnicích, sbírkách apod. je nedokáží dobře identifikovat).

Protože ani v mezinárodním šetření TIMSS se úlohy na Newtonovy zákony nevyskytovaly, neměli jsme na základě metodologie užití v našem výzkumu žádný argument pro jejich zařazení mezi kritická místa. Je však možné, že při použití výzkumné techniky speciálně zaměřené na žáky, jež by obsahovala například konceptuální úlohy z Testu porozumění síle (Hestenes *et al.* 1992), by se situace mohla změnit. Úplně korektně tak v tuto chvíli můžeme říci, že to či ono místo je kritické, nemůžeme ale o některém tématu s jistotou říci, že určité kritické není. Je totiž možné, že problém existuje, akorát jsme jej nebyli schopni dostupnými prostředky odhalit. I z tohoto důvodu je na místě další výzkum zaměřující se na uvedené aspekty.

Dalším podstatným bodem, kterým se náš výzkum detailněji nezabýval, jsou souvislosti učiva fyzikální části přírodovědy na prvním stupni základní školy a výuky fyziky, která začíná v šestém ročníku ZŠ. Participant 13 v rozhovoru uvedl následující: „*Možná problém učitele na základní škole je to, že neví pořádně nebo spíše začínající učitelé, že ani neví, co se děje na prvním stupni. Jo, prostě co se učí v první až páté třídě. To by si měl každý učitel projít.*“ V této souvislosti je však třeba říci, že problém se nemusí týkat pouze učitelů na ZŠ, ale i tvůrců učebnic, kurikulárních dokumentů apod.



V rámci analýzy obsahu učebnic jsme se totiž setkali s tím, že některé učebnice se třeba u tématu hustota odvolávají na poznatky z prvního stupně, které se však v jeho rámci typicky neprobírají. Obecně fyzikální části přírodovědy je věnována v komunitě didaktiků fyziky poměrně malá pozornost a není výjimkou, že budoucí učitelé prvního stupně připravují na vysokých školách v této oblasti pedagogové, kteří se fyzice nikdy profesorně nevěnovali. V této souvislosti pak není překvapivé, že i v příslušných učebních textech a učebnicích přírodovědy se objevují problematické pasáže, jež mohou u dětí přispět k rozvoji miskoncepcí např. ve velmi důležité oblasti gravitačního působení těles, jak upozorňuje Hejnová (2017).

## Dopady do oblasti kurikulárních dokumentů

Členové výzkumného týmu se měli možnost podílet na tvorbě podkladové studie k plánované revizi RVP (Dvořák *et al.* 2018; s. 4–6 a 9–11). V jejím rámci zpracovali doporučení ke tvorbě nového RVP a rovněž doporučení vztahující se k problematice ŠVP. Příslušné body byly formulovány následovně:

### Doporučení k revizi RVP

- Zohlednit u očekávaných výstupů hierarchii fyzikálních konceptů a klást důraz především na výše postavené klíčové, substantivní a organizační koncepty.
- Upravit očekávané výstupy v oblasti elektromagnetických a světelných dějů tak, aby lépe vystihovaly vzájemnou vazbu mezi elektrinou a magnetismem a zahrnovaly tudíž i magnetické účinky elektrického proudu a jejich důsledky. Měla by tak být odstraněna současná nesymetrie, kde elektromagnetická indukce figuruje jak v očekávaných výstupech, tak i v samotném učivu, zatímco magnetické účinky elektrického proudu nikoliv.
- V oblasti světelných jevů zvážit zařazení výstupu resp. učiva zaměřeného na samotný princip vzniku obrazu (bez zrcadla či čočky). Lze uvažovat např. o principu camery obscury či problematice přesvětlení.

### Další doporučení k problematice ŠVP

- Významně zohlednit hodinovou dotaci fyziky v daném ročníku a při tvorbě ŠVP se neřídit automaticky obsahem učiva uvedeného pro daný ročník v učebnici (tj. vyhnout se častým situacím, kdy na stejný objem učiva je v jedné škole jedna hodina týdně, zatímco v jiné dvě hodiny).
- Zvážit přesunutí tématu Hustota ze 6. do 7. ročníku a jeho propojení s mechanikou tekutin (Archimédův zákon) ve školách, kde je fyzice v 6. ročníku věnována

pouze jedna vyučovací hodina a v matematice není dostatečně procvičena práce se zlomky.

- Zvážit (zvláště u škol s 1 hodinou fyziky v 6. ročníku) i v souvislosti s rozdělením výstupů do jednotlivých uzlových bodů přesunutí magnetických vlastností elektrického proudu a elektromagnetu až do 8. resp. 9. ročníku k elektrodynamice tak, aby se žáci seznamovali s magnetickými účinky el. proudu a nedlouho poté s elektrickými účinky změny magnetického pole.
- Věnovat větší pozornost pochopení samotných základů optického zobrazování a to především na základě experimentů s jednoduchými pomůckami.
- Důkladně analyzovat to, co bylo v dané škole skutečně probráno ve fyzikální části přírodovědy na 1. stupni a na to navazovat. Nevycházet z toho, co je o učivu 1. stupně uvedeno v učebnici fyziky či jinde. Podobně zohlednit konkrétní obsah předmětů, u nichž existují relevantní mezioborové souvislosti.“

## Závěr

Prezentovaná studie představuje výsledky komplexního výzkumu zaměřeného na identifikaci kritických míst v prvních dvou letech fyzikálního vzdělávání a analýzu příčin jejich kritičnosti pomocí multikriteriálního přístupu. Navzdory některým omezením uvedeným výše lze konstatovat, že zjištěné poznatky umožnily připravit specifické a originální moduly pro učitele sloužící k překonání uvedených kritických míst. V současné době probíhá testování těchto modulů akčním výzkumem a na základě jeho výsledků bude přistoupeno (po detailní diskuzi v rámci společenství praxe tvořeného oborovými didaktiky a učiteli fyziky na ZŠ) k jejich případné úpravě. Informace získané v rámci výzkumu včetně odpovídajících doporučení směrem ke kurikulárním dokumentům byly rovněž promítnuty do podkladové studie k plánované revizi RVP (Dvořák *et al.* 2018), v jejímž rámci by s nimi mělo být dále pracováno. Navzdory uvedeným dílčím úspěchům jsme stále na počátku systematické práce v oblasti kritických míst fyzikálního kurikula. Jsme však přesvědčení, že se nám podařilo vyvinout metodologii, která je využitelná nejen pro studium kritických míst v rámci fyziky v dalších ročnících základní a případně střední školy, ale rovněž pro další obory.

## Poděkování

Studie byla podpořena projektem OP VVV Didaktika – Člověk a příroda A (CZ.02.3.68/0.0/0.0/16 011/0000665). Děkujeme oborovým didaktikům projektu Mgr. Lucii Kolářové, RNDr. Michaele Křížové, Ph.D. a Mgr. Robertu Seifertovi za pomoc při sběru dat a všem zapojeným učitelům za ochotu zapojit se do výzkumu.

## Literatura

- BEICHNER, R.J. 2009. An introduction to physics education research. In Henderson, C. & Harper, K.A. (eds) *Getting started in physics education research*. AAPT, College Park, 25–49. [online] [cit. 14. 1. 2019] Dostupné na WWW: <<http://www.per-central.org/items/detail.cfm?ID=8806>>
- ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. 2018. *Statistická ročenka 2018*. Český statistický úřad. Praha. [online] Dostupné na WWW: <<https://www.czso.cz/documents/10180/61431878/32019818.pdf/f7a76822-fe74-4caa-8031-6cf5963e125f?version=1.4>>
- ČESKÁ ŠKOLNÍ INSPEKCE. 2018. *Rozvoj přírodovědné gramotnosti na základních a středních školách ve školním roce 2016/17*. ČŠI, Praha. [online] Dostupné na WWW: <<https://www.csicr.cz/getattachment/cz/Dokumenty/Tematicke-zpravy/Tematicka-zprava-%E2%80%93-Rozvoj-prirodovedne-gramotnosti/Rozvoj-prirodovedne-gramotnosti.pdf>>
- ČÍŽKOVÁ, D. 2009. *Prekoncepce studentů o síle a pohybu*. Diplomová práce, depon. in Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova, Praha. 148 pp.
- DVOŘÁK, D. 2009. Řazení učiva v soudobých teoriích kurikula. *Pedagogika*, 59(2): 136–152.
- DVOŘÁK, L., DVOŘÁKOVÁ, I. & KOUDELKOVÁ, V. (eds) 2018. *K problematice fyzikálního vzdělávání před revizemi RVP*. NUV a FPS, Praha. [online] Dostupné na WWW: <[http://kdf.mff.cuni.cz/RVPfyzika/lib/exe/fetch.php?media=podkladova\\_studie.pdf](http://kdf.mff.cuni.cz/RVPfyzika/lib/exe/fetch.php?media=podkladova_studie.pdf)>
- HEJNOVÁ, E. 2017. Představy mladších žáků o gravitačním působení. *Matematika-fyzika-informatika* 26(3): 202–215.
- HESTENES, D., WELLS, M. & SWACKHAMER, G. 1992. Force concept inventory. *The physics teacher* 30(3): 141–158.
- HÖFER, G., PŮLPÁN, Z. & SVOBODA, E. 2005. *Výuka fyziky v širších souvislostech (názory žáků)*. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň. [online] Dostupné na WWW <[https://kdf.mff.cuni.cz/vyzkum/materialy/vyuka\\_fyziky\\_v\\_sirsinh\\_souvislostech.pdf](https://kdf.mff.cuni.cz/vyzkum/materialy/vyuka_fyziky_v_sirsinh_souvislostech.pdf)>
- KOHOUT, J., MOLLEROVÁ, M., MASOPUST, P., FEŘT, L., KĚHAR, O. & SLAVÍK, J. 2018. Kritická místa ve výuce fyziky na ZŠ – úvod do problematiky a možnosti výzkumu. *Arnica* 8: 26–34.
- KOHOUT, J., MOLLEROVÁ, M., MASOPUST, P., FEŘT, L. & SLAVÍK, J. 2019. Kritická místa kurikula na základní škole pohledem mezinárodního šetření TIMSS a českých učitelů – poznatky z fyziky. *Pedagogická orientace* (v tisku).
- KVASZ, L. 2014. Mathematics and Experience. In Galavotti, M.C., Nemeth, E. & Stadler, A.F. (eds.) *European Philosophy of Science – Philosophy of Science in Europe and the Viennese Heritage*, Vienna Circle Institute Yearbook 17. Springer Dordrecht. 117–129.
- LEPIL, O. 2013. K vývoji učebnic fyziky pro střední školu gymnaziálního typu. *Matematika-fyzika-informatika* 22(4): 1630.
- 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. & FEŘT, L. Nedostatek aprobovaných učitelů fyziky na západě Čech: bude hůř. *Matematika-fyzika-informatika* 27(1): 46–54.
- RENDL, M. et al. 2013. *Kritická místa matematiky na základní škole očima učitelů*. Univerzita Karlova. Praha. 358 pp.
- RENDL, M. & VONDROVÁ, N. 2014. Kritická místa v matematice u českých žáků na základě výsledku šetření TIMSS 2007. *Pedagogická orientace* 24(1): 22–57.
- SLAVÍK, J., JANÍK, T., NAJVAR, P. & KNECHT, P. 2017. *Transdisciplinární didaktika: o učitelském sdílení znalostí a zvyšování kvality výuky napříč obory*. Pedagogická fakulta, Masarykova univerzita, Brno. 455 pp.
- ŠVARÍČEK, R. & ŠEDOVÁ, K. 2007. *Kvalitativní výzkum v pedagogických vědách*. Portál, Praha. 384 pp.
- VONDROVÁ, N. & RENDL, M. 2017. *Kritická místa matematiky základní školy v řešeních žáků*. Univerzita Karlova, Praha. 464 pp.
- TEXAS EDUCATION AGENCY, 2013. [online]. *Texas Response to Curriculum Focal Points Revised 2013*. [online] [cit. 22. 1. 2019]. Dostupné na WWW: <<https://www.texasgateway.org/sites/default/files/resources/documents/TXRCFPrevised2013.pdf>>.

## E English summary

### Identification of critical spots in physics education in lower-secondary schools using a multi-criterion approach and possibilities how to overcome them

The presented study introduces complex empirical study aiming to identify critical spots of physics curriculum in the 6<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> grade in lower-secondary schools. It is based on the philosophical-methodological background involving hierarchy of physical concepts in the context of entity (instrumental) realism and conceptual physics. We used a multi-criterion approach containing a detailed analysis of curriculum documents, an evaluation of questionnaires fulfilled by 31 physics teachers determining the critical spots in physics with and without consideration of the effect of mathematics, an analysis of in-depth going semi-structural interviews with these teachers, an identification of tasks from the cognitive domain Physics of the international assessment TIMSS which were problematical in terms of low results of Czech pupils as well as an analysis of the results of a survey conducted by Czech School Inspection. Based on the

synthesis of the findings from the individual areas, we have identified six spots which may be described as critical for the introductory part of the physics education (density, magnetic field, electromagnet, Pascal's law, Archimedes' law and lens). Moreover, we have developed (based on the detailed analysis of reasons why the individual topics were identified as critical) teaching modules aiming to overcome these critical spots and facilitate the dealing with the corresponding misconceptions. We have also outlined some recommendations regarding possible changes in the relevant curriculum documents. We believe that the presented approach to creation of teaching materials has a potential to contribute to improvement of the quality of the teaching and learning in the first years of physics education in the Czech Republic and that further research in this field including an analysis of examples of good practices from abroad is thus highly needed.

**Keywords:** Critical spots of curriculum, curriculum focal points, physics education research, semi-structural interviews, conceptual physics, hierarchy of concepts, multi-criterion approach, evidence-based design, curriculum documents.

## ■ Figures

**Fig. 1.** Number of selections of the particular critical spots in the set of 31 physics teachers (with and without mathematical aspects taken into consideration).

**Fig. 2.** A wordcloud obtained in the analysis of the interviews with the teachers using ATLAS.TI software.

**Fig. 3.** A photograph obtained using the camera with objective (left) and without objective using camera obscura (right).

**Fig. 4.** A reflection of the USB LED lamp created by uncovered lens (right) and the same lens covered from 80 % (left).