

FYZIKA

Postoje učitelů základních a středních škol k výuce fyziky

EMANUEL SVOBODA – GERHARD HÖFER

Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha – Pedagogická fakulta ZČU, Plzeň

Úvodem

V návaznosti na celostátní výzkum postojů žáků základních a středních škol k výuce fyziky, o jehož výsledcích jsme informovali v [1], se uskutečnil celostátní výzkum názorů učitelů na výuku fyziky. Výzkumu, který měl formu dotazníkového šetření, se zúčastnilo 161 učitelů a 198 učitelek fyziky ze všech 14 krajů v republice, celkem tedy 359. Do výzkumu byli zařazeni učitelé 6 typů škol – ze základních škol, čtyřletých, šestiletých a osmiletých gymnázií, středních odborných škol technického směru a ze středních odborných škol netechnického směru. Ze základních škol a nižších stupňů gymnázia bylo zastoupeno 65,5 % respondentů a ze středních škol (všechny typy) 34,5 %, což korespondovalo s počtem žáků zapojených do výzkumu žákovského. Na základní škole se zapojilo do našeho výzkumu 58,7 % učitelek a 41,3 % učitelů fyziky, na střední škole byla situace vyrovnanější – učitelů bylo 51,6 %, učitelek 48,4 %. Průměrný věk učitelek a učitelů ve výzkumu byl kolem 45 let. Téměř dvě třetiny všech učitelů fyziky na základních školách byly připravovány na učitelské povolání na pedagogických fakultách, naproti tomu na středních školách učí především učitelé absolující matematicko-fyzikální fakultu a přírodovědecké fakulty. Nejvíce respondentů vystudovalo tradiční kombinaci matematika – fyzika. Ze zkoumaného vzorku byla na základní škole čtvrtina učitelů neaprobovaná, na střední škole to bylo pouze necelých 16 %.

Učitelům fyziky všech typů škol byly předloženy tyto problémové okru-

hy: I) názory na výuku fyziky; II) názory na učebnice fyziky; III) názory na fyzikální pokusy a učební pomůcky; IV) obecné otázky. K jednotlivým okruhům byly předloženy otázky, nabídnuté odpovědi na ně byly škálovány. V následujících částech našeho článku uvádíme získané výsledky z dotazníkového šetření.

I Názory na výuku fyziky

U prvního problémového okruhu jsme zkoumali skutečné a navrhované počty hodin v jednotlivých ročnících, procentové zastoupení částí vyučovací hodiny, názory na náročnost vyučovací hodiny fyziky a na skutečnou aktivitu žáků ve vyučování, upřednostňování jednotlivých typů úloh, četnost demonstračních pokusů prováděných učiteli (typy pokusů), četnost frontálních žákovských pokusů v hodinách fyziky, počet laboratorních prací prováděných žáky ve školním roce, zařazování historických prvků do hodin fyziky, důležitost logické struktury vykládané látky, usměrňování žáků pro studijní obory s přírodovědným zaměřením, potřebnost a rozsah modernizace fyziky a stupeň integrace přírodovědné výuky. V našem článku se zaměříme na některé otázky, podrobněji viz [2].

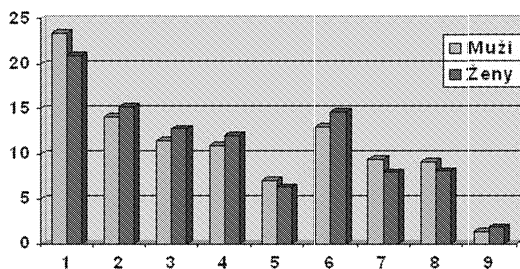
a) Většina základních škol (dále jen ZŠ) volí časovou dotaci 1–2–2–2, resp. 2–2–2–1. Výuka fyziky na ZŠ tedy pokrývá všechny 4 ročníky. Na víceletých gymnáziích je nejčastěji volena dotace 2–2–2–2–2–2–2, ale téměř 30 % škol v sextě volí 3hodinovou dotaci, v septimě je to dokonce 36 %, v oktávě pak 10 % škol. Na středních odborných školách (dále jen SOŠ) technického směru je výuka fyziky převážně v prvním a druhém ročníku v rozsahu 2–2. Existují také školy, které zařazují výuku fyziky v rozsahu 3 h týdně (v prvním, resp. druhém ročníku). Objevila se i varianta 0–2–1–1, resp. 0–2–2–2. Na SOŠ netechnického směru je výuka fyziky převážně v prvním ročníku s dotací 2 h týdně. Ve druhém ročníku má fyziku 57,1 % škol*).

Do záznamového listu zapisovali učitelé také hodinovou dotaci fyziky, kterou považují za optimální v daných ročnících. Na ZŠ a na nižším stupni víceletého gymnázia (dále jen NG) byl požadavek 2–2–2–2, na vyšším stupni víceletého gymnázia včetně 4letých gymnázií (dále jen VG) tomu bylo obdobně. Polovina dotazovaných škol ale požadovala pro septimu 3 h. Na SOŠ technického zaměření požadují učitelé zvýšení dotace oproti do-

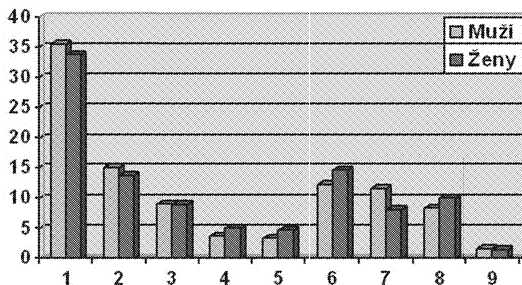
*) Výzkum byl uskutečněn před zavedením Školních vzdělávacích programů pro jednotlivé typy škol.

savadnímu stavu v prvním ročníku ze 2 h na 3 h. Na SOŠ netechnického směru převažoval požadavek 2–2–0–0.

b) Učitelé fyziky měli odhadnout procentový podíl částí svých vyučovacích hodin, které nejčastěji používají, případně měli doplnit jiný způsob či formy výuky fyziky. Nabídnuty byly možnosti: 1 – výklad; 2 – diskuse, rozhovor; 3 – pokusy učitele; 4 – žákovské skupinové pokusy; 5 – jiná práce žáků ve skupinách; 6 – opakování, procvičování učiva; 7 – ústní individuální zkoušení; 8 – písemná kontrola znalostí; 9 – jiná činnost. Následující histogramy na obr. 1 a 2 uvádějí vyhodnocení:



Obr. 1 Diagram procentového podílu (svislá osa grafu, hodnoty v %) částí 1 – 9 vyučovacích hodin u mužů a žen vyučujících fyziku na ZŠ a NG



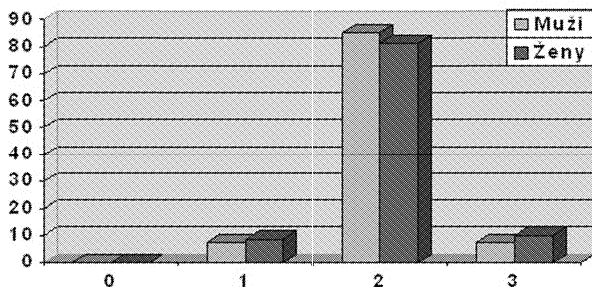
Obr. 2 Diagram procentového podílu (svislá osa grafu, hodnoty v %) částí 1 – 9 vyučovacích hodin u mužů a žen vyučujících fyziku na SŠ (všechny typy)

Z obou histogramů je vidět, že na základní i střední škole dominuje u učitelů fyziky jejich výklad, na střední škole však výrazněji nad ostatními

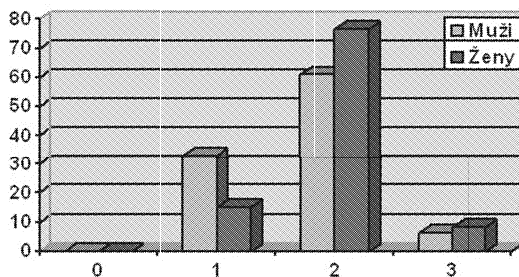
částmi struktury vyučovací hodiny. Potěšitelné je, že další v pořadí je rozhovor či diskuse a opakování a procvičování učiva. Zarážející je ale malý procentuální podíl pokusů na střední škole. Zařadíme-li laboratorní práce do žákovských skupinových pokusů, je vidět, že velmi málo laboratorních úloh je zařazováno do výuky fyziky na střední škole.

c) Pro zjištění, jak náročná by měla být vyučovací hodina, bylo předloženo učitelům fyziky 5 nabídek odpovědí: 1 – nenáročná hodina; 2 – náročná hodina s chvilkami oddychu; 3 – náročná hodina, kterou žáci jako náročnou nevnímají; 4 – náročná hodina, vnímaná jako taková i žáky; 5 – jiná vyučovací hodina. Ze získaných výsledků vyplývá, že na obou typech škol výrazně převažuje (průměr 76 %) náročná hodina, kterou žáci jako náročnou nevnímají. Necelých 17 % učitelů volí náročnou hodinu s chvilkami odpočinku. Na ZŠ poněkud větší procento žen než mužů konstruuje vyučovací hodinu typu 3, naopak více mužů než žen volí typ 2 (náročná hodina s chvilkami oddechu). Na střední škole je tomu opačně u obou typů. Necelých 7 % žen učících fyziku na střední škole volí jiné možnosti než nabízené typy 1 – 4. V dotazníku tuto volbu ale bohužel nepopsaly.

d) Pro zjištění, jak žáci projevují zájem o porozumění přírodním jevům (především z hlediska jejich fyzikálního chápání), měli učitelé možnost vybrat jednu ze 4 nabídnutých možností: 0 – nejeví zájem, po navození problému učitelem odmítají diskutovat; 1 – jeví malý zájem, po navození problému učitelem se zapojují do diskuse jen zřídka; 2 – jeví občasný zájem, po navození problému učitelem se rádi zapojují do diskuse; 3 – jsou velmi aktivní, sami v hodinách kladou otázky a diskutují o přírodních jevech. Zjištěné výsledky od mužů a žen jsou graficky vystiženy v obr. 3 a 4:



Obr. 3 Diagramy relativních četností v % zájmů žáků o přírodní vědy – ZŠ a NG



Obr. 4 Diagramy relativních četností (v %) zájmů žáků o přírodní vědy – SŠ

Na obou typech škol převažuje zjištění, že žáci jeví o porozumění přírodním jevům (především z fyzikálního hlediska) občasný zájem, po navození problému (problémové situace) se rádi zapojují do diskuse.

e) Do tabulky v záznamovém listu měli učitelé fyziky za úkol odhadnout procentový podíl typů úloh, které nejčastěji řeší ve svých vyučovacích hodinách. Učitelům byly nabídnuty 4 typy úloh. Jednotlivé typy jsme označili čísly: 1 – jednoduché výpočtové; 2 – složitější výpočtové; 3 – jednoduché úvahové; 4 – složitější úvahové. Zjištěné výsledky jsou zaznamenány v tab. 1 a 2:

Tab. 1 Procentuální zastoupení 4 typů úloh řešených na ZŠ a NG

Typy úloh	1 [%]	2 [%]	3 [%]	4 [%]	Celkem [%]
Muži	34,2	18,2	29,8	17,8	100
Ženy	37,4	17,6	30,6	14,4	100

Tab. 2 Procentuální zastoupení 4 typů úloh řešených na SŠ všech typů

Typy úloh	1 [%]	2 [%]	3 [%]	4 [%]	Celkem [%]
Muži	31,6	21,3	28,9	18,3	100
Ženy	31,9	25,1	27,2	15,8	100

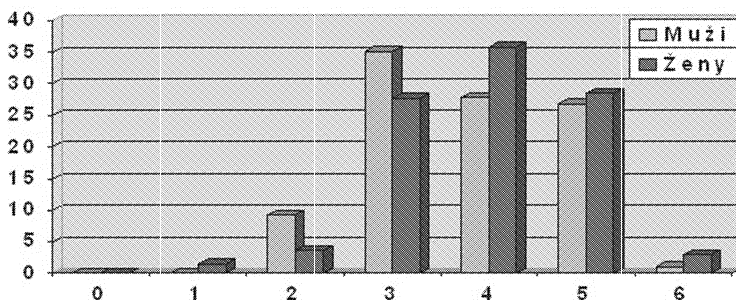
Na obou typech škol je procentuální zastoupení jednoduchých výpočtových úloh nejčastější. Složitější výpočty jsou více zastoupeny na střední škole, což se dalo očekávat vzhledem k větším matematickým dovednostem žáků těchto škol. Přibližně stejný počet jednoduchých i složitějších úvahových úloh je řešen na obou typech škol. Potvrdila se nám jedna z hypotéz

výzkumu, že se ve škole řeší více jednoduchých početních úloh než jednoduchých úvahových úloh.

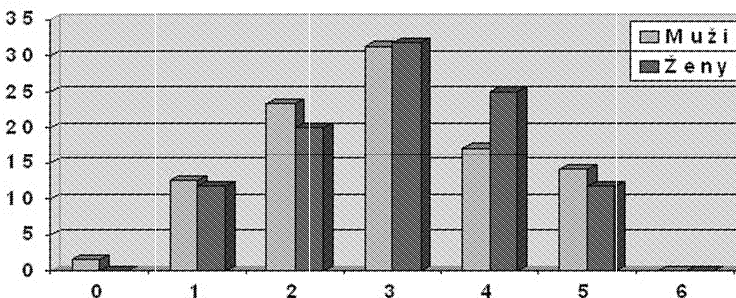
f) Názory na četnost demonstračních pokusů prováděných učiteli fyziky zaznamenávali učitelé použitím kódů nabídnuté tabulky:

nikdy	téměř nikdy	...	...	...	téměř vždy	vždy
0	1	2	3	4	5	6

Jak dokazují následující histogramy na obr. 5 a 6, převažují na poměrně široké škále možností u učitelů fyziky ZŠ kódy v pravé části stupnice. Rozdělení relativních četností v % prováděných pokusů učiteli SŠ je skoro normální.



Obr. 5 Relativní četnosti (v %) prováděných pokusů na ZŠ a NG na škále 0–6



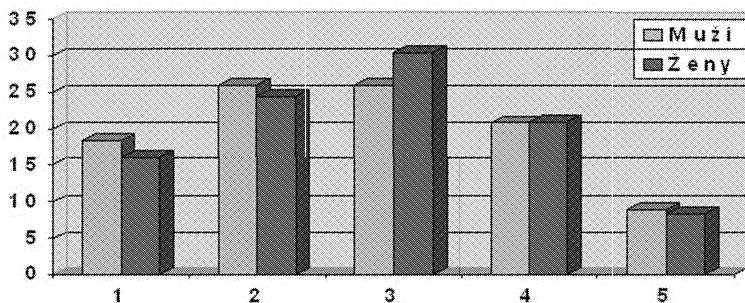
Obr. 6 Relativní četnosti (v %) prováděných pokusů na SŠ na škále 0–6

Na ZŠ a NG se přes 9 % učitelů mužů a přes 5 % žen vyjádřilo vlevo od středu škály. Na SŠ přes 35 % učitelů mužů a téměř třetina učitelů žen uvedlo, že provádějí pokusy zřídka nebo téměř nikdy. Bylo by potřeba hlouběji zkoumat příčiny tohoto stavu. Ukázalo se také, že není významného rozdílu mezi experimentální činností učitelů mužů a učitelů žen jak na ZŠ a NG, tak na SŠ všech typů.

Současně se zkoumáním četností demonstračních pokusů prováděných učiteli ve výuce fyziky jsme se ptali na procentuální zastoupení typů pokusů (didaktických funkcí pokusů) v jejich vyučovacích hodinách. V nabídce měli učitelé uvedeny pokusy s označením 1 až 5 s významem, který udává tabulka:

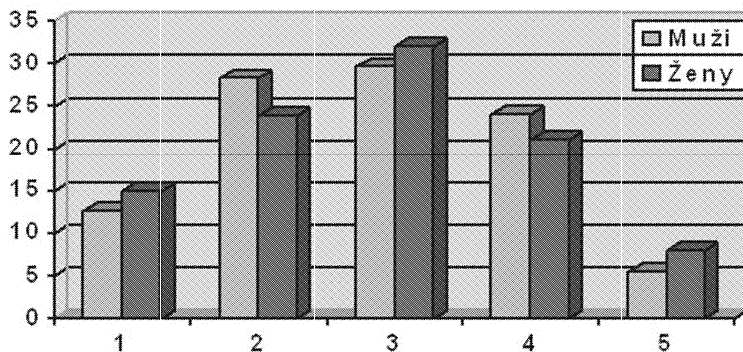
1. objevitelské	2. ověřovací	3. motivační	4. ilustrující	5. duplikační
-----------------	--------------	--------------	----------------	---------------

Rozložení relativních četností didaktických pokusů je vidět z následujících histogramů na obr. 7 a 8:



Obr. 7 Relativní četnosti (v %) didaktických funkcí pokusů – ZŠ a NG

Na obou typech škol dominují motivační pokusy těsně před pokusy ověřovacími. Potěšitelné je i zařazování pokusů s funkcí objevitelskou (heuristickou). Zastoupení ilustračních pokusů je asi z jedné pětiny. Malé je procento zastoupení pokusů duplikačních (pro opakování učiva a jeho prověřování, varianty pokusů).



Obr. 8 Relativní četnosti (v %) didaktických funkcí pokusů – SŠ (všechny typy)

g) Stejným způsobem jako v předcházející části měli učitelé odpovědět, jak často zařazují do své výuky žákovské frontální pokusy z fyziky. Zjistili jsme, že na ZŠ a NG přibližně 42 % učitelů organizuje tyto pokusy občas, něco málo přes 7 % téměř vždy, ale přibližně stejné procento také téměř nikdy, což je zářezující. Na střední škole občasné zařazování frontálních žákovských pokusů nedominuje, přes 50 % učitelů uvedla téměř nikdy a nikdy.

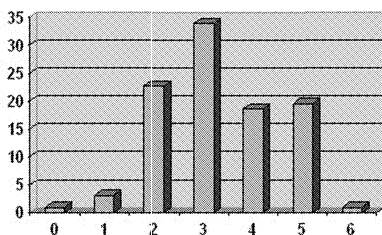
U laboratorních prací (LP) prováděných žáky ve školním roce jsme zjistili, že na ZŠ a NG žáci konají nejčastěji 3 LP, v 7. až 9. ročníku 4 LP (případně více). Celkový průměr činí 3 LP v každém ročníku. To v podstatě odpovídá doporučenému počtu LP. Lépe v počtu vykonávaných LP jsou na tom víceletá gymnázia. Na ostatních typech středních škol připadají 2 LP v 1. a podobně v 2. ročníku. Zářezující je ale fakt, že polovina testovaných SOŠ nedělá žádnou LP. Poznatek se ale nedá zobecňovat, protože těchto škol bylo ve výzkumu málo.

h) Další otázka byla, jak často zařazují učitelé fyziky historické prvky (např. historii významných objevů, vyprávění o práci slavných fyziků, vývoj fyzikálních oborů atd.) do výuky fyziky. Odpověď na ní učitelé zaznamenali do záznamového listu ve formě čísla na stupnici mezi 0 až 6 podle tabulky :

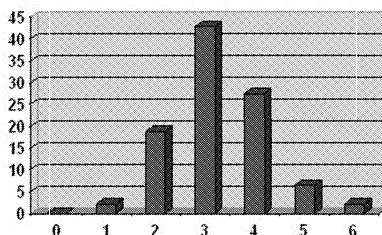
nikdy	téměř nikdy	...	...	...	téměř vždy	vždy
0	1	2	3	4	5	6

Získané výsledky přehledně uvádějí histogramy na obr. 9. Z nich vyplývá, že jak u mužů, tak u žen jsou historické prvky v hodinách fyziky poměrně přiměřeně zastoupeny.

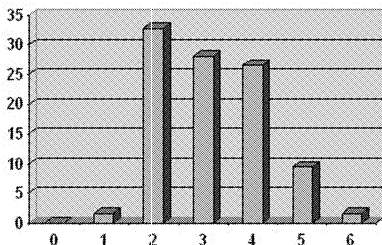
ZŠ a NG muži - průměr 3,29



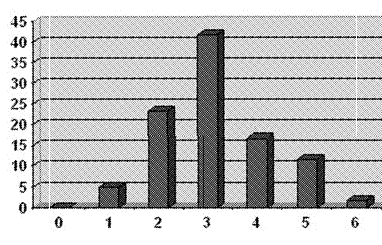
ZŠ a NG ženy - průměr 3,24



SŠ muži - průměr 3,14



SŠ ženy - průměr 3,12



Obr. 9 Histogramy relativních četností (v %) zařazování historických prvků (odděleně muži a ženy)

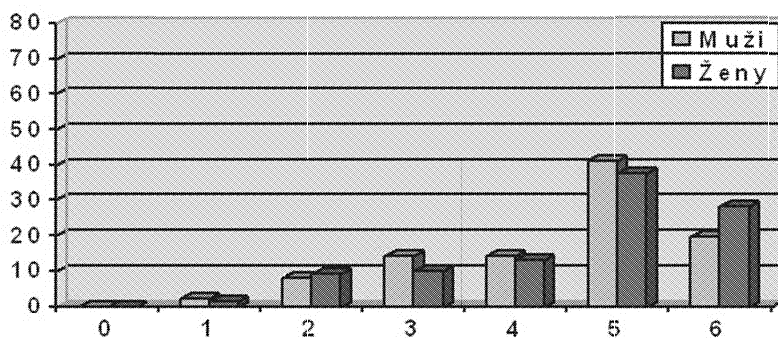
II Učebnice fyziky

V tomto okruhu jsme zkoumali, jaké učebnice fyziky se používají a jak jsou využívány učitelem, jaká další fyzikální literatura je ve škole používána a zda žáci nosí učebnice do vyučování fyziky. Dále jsme se zabývali tím, jak učitelé hodnotí obsah učebnic fyziky.

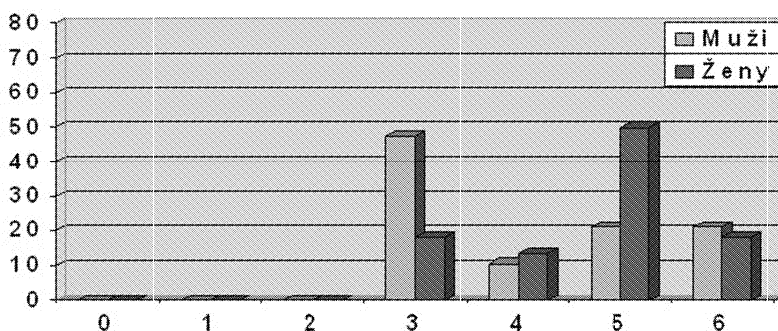
a) V době dotazníkového šetření se na ZŠ a NG nejvíce používaly učebnice fyziky autorů Kolářová R. a kol. (téměř 62 %). Asi 18 % připadalo na učebnice autora Macháčka M. a přibližně 16 % na učebnice fyziky autorů Jáchim F. – Tesař J. V té době ale začaly vycházet učebnice fyziky od Raunera K. a kol. (a později další řady), takže určitě došlo k přerozdělení procentového zastoupení v používání učebnic fyziky na ZŠ. Na gymnáziu a ostatních středních školách jsou používány modulární učebnice fyziky

vydávané nakladatelstvím Prometheus. Jiná řada středoškolských učebnic fyziky zatím není. Věnujme se proto dalším zkoumaným otázkám druhého okruhu.

b) Učitelé měli především popsat četnost používání učebnice fyziky při přípravě na vyučování na diskrétní škále hodnot 0, 1, ..., 6^{*)}. Následující histogramy na obr. 10 – 12 postupně uvádějí získané výsledky na ZŠ, NG a VG:

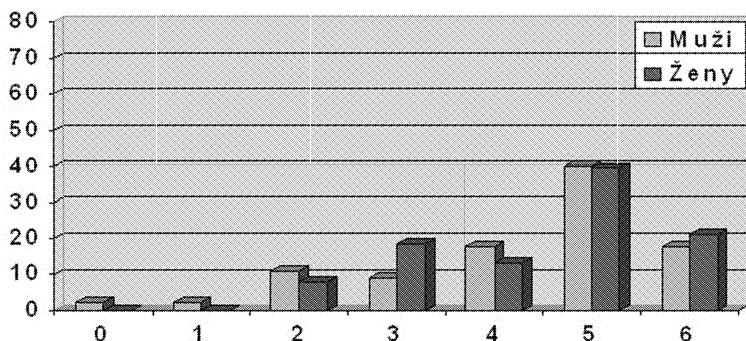


Obr. 10 Histogramy relativních četností (v %) používání učebnic fyziky při přípravě na vyučování na ZŠ u učitelů a učitelek



Obr. 11 Histogramy relativních četností (v %) používání učebnic fyziky při přípravě na vyučování na NG u učitelů a učitelek

^{*)} Levá krajní hodnota uvedené škály takto používaných učebnic byla přitom interpretována slovem „nikdy“, střed škály označen stupněm 3 a pravá hodnota četnosti používání stupněm 6 slovem „vždy“.



Obr. 12 Histogramy relativních četností (v %) používání učebnic fyziky při přípravě na vyučování na VG u učitelů a učitelek

Z výsledků šetření vyplynulo, že na ZŠ učitelé fyziky (muži i ženy) ve většině případů používají učebnice fyziky k přípravě na vyučování. Na NG stejný závěr platí pro učitelky fyziky, zatímco muži používají k přípravě i jiné zdroje informací (zda se jim učebnice pro ZŠ zdají příliš jednoduché by bylo vhodné ověřit dalším výzkumem). Na VG jsme dostali podobný výsledek jako u učitelů ZŠ.

Při zkoumání otázky, jak se učitelé fyziky přidržují struktury zavedené v učebnici, se ukázalo, že se spíše přidržují této struktury. Ale četnost používání struktury učebnic v posloupnosti ZŠ – NG – VG klesá.

c) Na otázku, jak odpovídají učebnice výukovým metodám učitelů, odpovídali respondenti na diskretní škále hodnot se slovní interpretací: 0 – rozhodně nesouhlasím, 1 – spíše nesouhlasím, 2 – nevím, 3 – spíše souhlasím, 4 – rozhodně souhlasím. Následující tabulky 3 – 5 ukazují stav na jednotlivých typech škol:

Tab. 3 Absolutní (A) a relativní četnosti (v %) shody učitelových výukových metod s učebnicí fyziky na ZŠ

	0		1		2		3		4		Celkem	Průměr
	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%		
Muži	2	2,1	15	15,5	3	3,1	66	68,0	11	11,3	97	2,71
Ženy	1	0,7	20	14,5	10	7,2	91	65,9	16	11,6	138	2,73
Celkem	3	1,3	35	14,9	13	5,5	157	66,8	27	11,5	235	2,72

Tab. 4 Absolutní (A) a relativní četnosti (v %) shody učitelových výukových metod s učebnicí fyziky na NG

	0		1		2		3		4		Celkem	Průměr
	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%		
Muži	1	5,6	2	11,1	2	11,1	12	66,7	1	5,6	18	2,56
Ženy	0	0,0	2	9,1	2	9,1	16	72,7	2	9,1	22	2,82
Celkem	1	2,5	4	10,0	4	10,0	28	70,0	3	7,5	40	2,70

Tab. 5 Absolutní (A) a relativní četnosti (v %) shody učitelových výukových metod s učebnicí fyziky na VG

	0		1		2		3		4		Celkem	Průměr
	A	%	A	%	A	%	A	%	A	%		
Muži	1	2,3	4	9,1	6	13,6	31	70,5	2	4,5	44	2,66
Ženy	1	2,6	3	7,9	4	10,5	27	71,1	3	7,9	38	2,74
Celkem	2	2,4	7	8,5	10	12,2	58	70,7	5	6,1	82	2,70

Analyzujeme-li rozložení četností odpovědí v jednotlivých stupních diskrétní škály, zjišťujeme, že se učitelé fyziky vyhýbali krajnímu soudu „rozhodně souhlasím“ a přesouvali své rozhodnutí na „spíše souhlasím“. Stupň 3 a 4 volili na všech typech škol přibližně 3/4 odpovídajících. Největší rozdíl mezi hodnocením mužů a žen je u stupně 3 na NG.

d) Při výzkumu četnosti používání sbírek fyzikálních úloh ve vyučování i při domácí přípravě žáků jsme zjistili, že nejvíce se používají sbírky úloh na NG. Existuje statisticky významný rozdíl v četnosti používání sbírek úloh na ZŠ a NG. Na všech typech škol učitelky používají sbírky častěji než učitelé muži. V používání tabulek neexistuje statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými typy škol.

e) Do záznamového listu měli učitelé vypsát podle nabídnutého seznamu ty časopisy, které používají k přípravě na výuku a ve vlastní výuce. Na ZŠ (včetně NG) i na SŠ se na prvním místě umístil didaktický časopis Matematika fyzika informatika (relativní četnosti 22 % a 24 %), na druhém místě rovněž didaktický časopis Školská fyzika (20 % a 17,5 %). Na SŠ jako třetí nejpoužívanější je uváděn časopis Rozhledy matematicko-fyzikální (16 %). Na ZŠ nepoužívá žádný odborný časopis 16 % učitelů, na SŠ 14 % učitelů.

f) Četnost nošení učebnic fyziky žáky na vyučování v posloupnosti ZŠ – NG – VG klesá. Největší četnost, jak se dalo očekávat, je na ZŠ.

g) Z hodnocení učebnic fyziky učiteli vyplynulo, že učebnice fyziky pro SŠ obsahují mnohem méně ukázek praktického uplatnění fyziky v technické praxi než učebnice pro ZŠ. Zajímavé bylo zjištění, že učitelé nižších tříd gymnázií hodnotí stejné učebnice jako méně prakticky zaměřené. Z hlediska vhodných shrnutí v učebnicích byly na všech stupních škol učebnice fyziky hodnoceny velmi dobře. Co do počtu úloh určených pro procvičování jsou hodnoceny nejlépe učebnice fyziky pro ZŠ. Učitelé také spíše souhlasili s tvrzením, že text v našich učebnicích fyziky je pro žáky srozumitelný. Přiměřenost matematického aparátu, který je používán v učebnicích fyziky, byla hodnocena kladně na všech typech škol. Učitelé na NG hodnotí tento stav příznivěji než učitelé ZŠ.

h) K používání učebnic fyziky učitelem jsme získali tyto výsledky: Učebnice fyziky nejsou používány pouze jako sbírka úloh. Četnost řešení fyzikálních úloh z učebnic fyziky se významně liší mezi ZŠ a NG, na NG je četnost řešení nižší. Na ZŠ a NG učitelé fyziky častěji využívají návodu v učebnicích fyziky k provádění pokusů než učitelé SŠ. Nepotvrdila se hypotéza, že s věkem žáků se stupňuje četba z učebnic fyziky s následnou diskusí. Hodnocení práce s obrázky v učebnicích ukázalo, že tento typ činnosti se v posloupnosti ZŠ – NG – VG snižuje. Metoda se příliš nepoužívá na VG a OŠ. Učitelky tuto metodu práce používají častěji než učitelé. Domácí úkoly jsou zadávány více na NG, než na ZŠ a VG a OŠ, rozdíl však není statisticky významný. Celková četnost domácí přípravy žáků za pomoci učebnic fyziky je významně vyšší na NG oproti ZŠ; od učitelů ZŠ se odlišuje přístup učitelů VG a OŠ, kde byla celková četnost hodnocena stupněm někdy.

ch) Do okruhu učebnice fyziky jsme také zahrnuli některé obecné názory učitelů na funkci učebnice fyziky. Získané výsledky se dají shrnout do těchto závěrů:

- většina učitelů velmi kladně hodnotí funkce učebnice fyziky ve vyučovacím procesu;
- kladně byl hodnocen fakt, že učebnice fyziky výrazně pomáhá při efektivní organizaci vyučovací hodiny;
- struktura učebnic fyziky neomezuje volnost tvorby a plánování vyučovací hodiny;

- učitelé používají k přípravě na vyučování učebnice fyziky i s jejich strukturou;
- učebnice je používána ve většině případů pro zavádění fyzikální terminologie;
- většina respondentů hodnotila kladně názor, že žáci musí být vedeni k samostatné práci s učebnicí ve výuce;
- většina respondentů se přiklonila spíše k názoru, že postup i výsledky demonstračních pokusů mají být dopracovány v učebnicích; nejmarkantněji se to projevuje v odpovědích respondentů ze ZŠ;
- více jak 2/3 respondentů na všech typech škol soudí, že současné učebnice fyziky jsou vhodné pro mimoškolní přípravu žáků;
- respondenti ze ZŠ a VG se spíše přiklání k domněnce, že žáci používají při domácí přípravě poznámky psané ve vyučovací hodině; 45 % učitelů NG se přiklání k názoru, že pro domácí přípravu jsou vhodnější učebnice, 32 % dotazovaných učitelů je opačného názoru.

(Pokračování)

Měření relativní permeability ve složeném magnetickém obvodu

MILENA KUŠNEROVÁ – JAN VALÍČEK

Institut fyziky HGF VŠB-TUO, Ostrava

Úvod

V osnovách výuky fyziky středních škol není zařazen *Hopkinsonův zákon*, který platí pro uzavřený magnetický obvod podobně jako Ohmův zákon pro elektrický obvod. Pokud se však student rozhodne věnovat se fyzice na vysoké škole, bývá magnetické pole prezentováno na relativně teoreticky náročné úrovni a experimentální základ většinou chybí. Pochopení principu magnetického obvodu jako analogie obvodu elektrického však náročné není. Soustavu do sebe uzavřených oblastí, kterými prochází elektrický proud, označíme jako elektrický obvod a soustavu do sebe uza-

vřených oblastí, kterými prostupuje magnetický tok, označíme jako magnetický obvod. Příčinou vzniku proudu v elektrickém obvodu je napětí, příčinou vzniku magnetického indukčního toku v magnetickém obvodu je elektrický proud.

Hopkinsonův zákon vyjadřuje vztah mezi magnetickým indukčním tokem, magnetomotorickým napětím U_m a magnetickým odporem R_m , který je určen geometrickými rozměry a magnetickými vlastnostmi obvodu. Magnetickému indukčnímu toku odpovídá elektrický proud, magnetomotorické napětí elektromotorickému napětí, magnetický odpor elektrickému odporu. Za předpokladu, že relativní permeabilita prostředí je konstantní, platí

$$\Phi = \frac{U_m}{R_m} = NBS, \quad (1)$$

kde N je počet závitů cívky, B je velikost magnetické indukce a S je plocha průřezu cívky. Pro zapojování magnetických odporů platí analogické zákony jako pro zapojování elektrických odporů.

Magnetický obvod je v demonstrované ukázce jednoduše realizován cívkou nasazenou na jádro z transformátorových plechů. Tato cívka je určena známým počtem závitů N , poloměrem závitů r_{zav} , plochou průřezu drátu S_0 o poloměru r , přičemž materiálem drátu je elektrochemická měď s měrnou elektrickou vodivostí ρ_{Cu} . Nekovovou část obvodu reprezentuje umělohmotná, resp. papírová vrstva, jejíž relativní permeabilita se liší od hodnoty 1 zanedbatelně, takže permeabilita prostředí této mezery přibližně odpovídá permeabilitě prostředí mezery vzduchové či vakuové.

Měřitelnou mezeru o šíři l_0 vytvoříme z většího počtu umělohmotných obdélníků s velikostí plochy odpovídající přilehlé ploše I jádra. Jádro s nasazenou cívkou usadíme do nosné konstrukce rozkladného transformátoru a pevným přišroubováním víka zajistíme kvalitní spojení oblastí kov – umělá hmota do složeného magnetického obvodu.

Z teorie elektromagnetických obvodů víme, že cívka o indukčnosti L , kterou prochází střídavý proud o úhlové frekvenci, vykazuje kromě odporu R také poměrně značnou induktanci $X_L = \omega L$. V demonstrovaném případě můžeme při napájení cívky střídavým proudem ze sítě a poté transformovaným bezpečnostním transformátorem považovat prostou frekvenci f střídavého proudu přibližně za konstantní ($f = 50$ Hz).

Pro impedanci cívky v obvodu střídavého proudu platí známý vztah

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}, \quad (2)$$

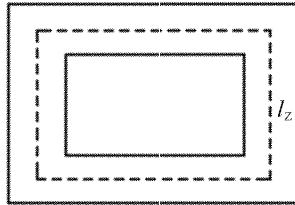
takže pro indukčnost cívky platí

$$L = \frac{\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}}{2\pi f}. \quad (3)$$

Indukčnost cívky můžeme rovněž vyjádřit srovnáním Hopkinsonova zákona a definičního vztahu pro magnetický indukční tok Φ

$$\Phi = LI \wedge \Phi = NBS \Rightarrow LI = N \frac{NI}{\frac{l_z}{\mu_0 \mu_r S} + \frac{2l'_0}{\mu_0 S}} \Rightarrow L = \mu_0 \frac{N^2 S}{\frac{l_z}{\mu_r} + 2l'_0}, \quad (4)$$

kde kromě již zmíněných fyzikálních veličin vystupují další přímo či nepřímě měřitelné fyzikální veličiny: I elektrický proud, B magnetická indukce, S plocha závitů cívky, μ_0 permeabilita vakua, μ_r relativní permeabilita materiálu jádra, l_z délka střední magnetické indukční čáry v kovové části jádra (viz délka přerušované čáry na obr. 1).



Obr. 1

Měření relativní permeability μ_r jádra bez mezery

Srovnáním obou vztahů pro určení indukčnosti cívky s jádrem bez mezery můžeme odvodit relativní permeabilitu transformátorových plechů, ze kterých bylo slisováno jádro.

$$L = \frac{\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}}{2\pi f} \wedge L = \mu_0 \frac{N^2 S}{\frac{l_z}{\mu_r}} \Rightarrow \mu_r = \frac{l_z \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}}{\mu_0 2\pi f N^2 S}. \quad (5)$$

Měření relativní permeability nemůžeme nahradit konkrétní tabelovanou hodnotou, protože relativní permeability transformátorových jader se

pohybují v širších intervalech, řádově ve stovkách, resp. tisících až desetitisících nejen podle užitého kovu, ale také podle materiálu izolačních vrstev. Kromě toho běžné MFCh tabulky relativní permeability transformátorových plechů ani neuvádějí, bylo by třeba obrátit se na jejich výrobce.

Poznámka: Odpor drátu cívky můžeme přímo změřit ohmetrem, přechíst ze zápisu na těle cívky, anebo přesně vypočítat ze známého vztahu

$$R = \varrho_{\text{Cu}} \frac{N^2 \pi r_{\text{záv}}}{S_0}, \quad (6)$$

kde kromě již známých fyzikálních veličin vystupuje S_0 jako průřez drátu.

Přímým měřením jsme určili střídavé napětí U ; střídavý proud I ; šířku mezery l'_0 ; dále jsme zjistili dílčím výpočtem (z MFCh tabulek, anebo podle technické dokumentace) poloměr vodiče cívky $r = 0,2 \cdot 10^{-3}$ m; průřez vodiče cívky $S_0 = 1,26 \cdot 10^{-7}$ m²; měrný elektrický odpor vodiče $\varrho_{\text{Cu}} = 0,018 \cdot 10^{-6}$ $\Omega \cdot \text{m}$; odpor vodiče $R = 14,5$ Ω ; poloměr závitů cívky $r_{\text{záv}} = 0,0169$ m; průřez závitů cívky $S = 8,97 \cdot 10^{-4}$ m²; délku střední magnetické indukční čáry $l_z = 0,28$ m; počet závitů cívky $N = 900$; frekvenci střídavého proudu $f = 50$ Hz; permeabilitu vakua $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$ H $\cdot$ m⁻¹.

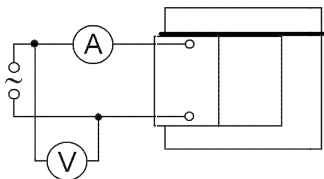
Měření relativní permeability μ_r jádra s mezerou

Obdobně jako ve vztahu (5) můžeme srovnáním obou vztahů pro určení indukčnosti cívky na složeném jádře odvodit permeabilitu jádra změněnou vlivem nemagnetické mezery o šířce l'_0 .

$$L = \frac{\sqrt{\left(\frac{U}{I} - R\right)^2}}{2\pi f} \wedge L = \mu_0 \frac{N^2 S}{\frac{l_z}{\mu_r} + 2l'_0} \Rightarrow \mu_r = \frac{l_z}{\frac{2\pi f \mu_0 N^2 S}{\sqrt{\left(\frac{U}{I} - R\right)^2}} - 2l'_0}. \quad (7)$$

Přiložením umělohmotné obdélníkové vrstvy pod jádro I se v magnetickém obvodu vytvoří dvě mezery, proto dosazujeme do vztahu (7) dvojnásobek měřené hodnoty l'_0 . Šířku mezery měříme co nejpresněji mikrometrickým šroubem, přičemž ji postupně zvyšujeme přidáváním dalších umělohmotných obdélníků. Měření proudu I a napětí U provádíme při zapojení magnetoelektrického obvodu podle schématu na obr. 2.

K měření potřebujeme jednoduché **pomůcky**. Bezpečnostní síťový transformátor pro napájení, klasický rozkladný transformátor s transformátorovým jádrem UI a cívku přesně nastavitelnou na jádro U, univerzální měřicí přístroj (digitální multimetr, anebo trojici měřicích přístrojů: ohmetr, ampérmetr a voltmetr k měření střídavého proudu dané



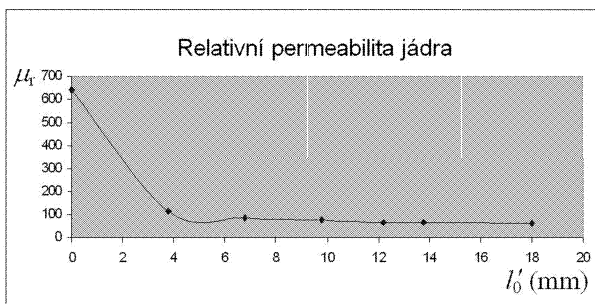
Obr. 2

frekvence), dále obdélníky nařezané podle přilehlé plochy I jádra z umělé hmoty (nebo papíru), mikrometrický šroub (nebo posuvné měřidlo).

Výsledky ukázkového měření jsou uvedeny v tabulce 1 a graf závislosti relativní permeability μ_r jádra na dvojnásobku šířky l'_0 nemagnetické mezery je na obr. 3.

Tabulka 1 Měření relativní permeability jádra

n	l'_0 (mm)	U (V)	I (mA)	μ_r
1.	0	7,60	11,5	643
2.	1,9	7,66	65,2	114
3.	3,4	7,60	85,2	86
4.	4,9	7,60	99,0	74
5.	6,1	7,65	105,5	69
6.	6,9	7,64	110,7	65
7.	9,0	7,63	118,2	61



Obr. 3

Diskuse

Podle středoškolských osnov fyziky zjednodušeně předpokládáme, že je relativní permeabilita jakožto materiálový parametr jádra konstantní fyzikální veličina. Fyzikálních konstant, které jsou nezávislé na vlivech vnějších podmínek, je však ve fyzikálně technické praxi známo relativně velmi málo. Případné změny většiny „konstant“ jsou nejčastěji ovlivněny změnou teploty. Materiálem transformátorových jader bývají lisované kovové plechy vzájemně izolované speciálním lakem, aby se zamezilo ztrátám v důsledku Foucaultových vířivých proudů a tím nadměrnému ohřevu jádra. Teplo totiž významně ovlivňuje charakter magnetického pole. V námi demonstrovaném případě je však hodnota krátkodobě měřeného proudu natolik malá, že materiál jádra měřitelně neovlivňuje (zkontrolujeme pomocí dotykového teploměru v různých místech jádra a vidíme, že je teplota alespoň na jeho povrchu konstantní).

Přestože proud procházející cívkou není natolik velký, aby vířivé proudy ohřívaly jádro, nárůst proudu je dobře měřitelný. Je třeba si dále uvědomit, že magnetická indukce a ani elektrická intenzita ve ferromagnetickém prostředí není lineární funkcí proudu, který magnetické pole generuje. V MFCh tabulkách můžeme kontrolně nalézt, jak se řádově mění relativní permeabilita různých kovových látek v závislosti na magnetické indukci a elektrické intenzitě.

V technické praxi se rovněž odlišují hodnoty počáteční a provozní permeability za určité provozní teploty. Při dílčích měření proudu je tedy vždy zapotřebí vyčkat na stabilizaci měřené hodnoty, řádově jde o dobu několika sekund až desítek sekund.

Je rovněž třeba přihlížet k rozptylu magnetického pole a k hysterezním ztrátám. Přesněji bychom měli měřit s toroidem. Pro dobrou představu o energetických ztrátách lze doporučit změření účinnosti daného zařízení (z poměru měřeného výkonu a příkonu dodávaného bezpečnostním transformátorem).

V diskutovaném případě logicky očekáváme v důsledku zvětšování magneticky nevodivé mezery pokles hodnoty celkové relativní permeability jádra UI. Odvodili jsme a poté změřili relativní permeabilitu magneticky vodivé části obvodu $\mu_r = 643$ a předpokládali relativní permeabilitu nemagnetické části obvodu přibližně rovnou 1. Logicky myslící středoškolský student bez zkušeností a znalostí fyzikálních jevů má silnou tendenci fyziku matematizovat natolik, že dedukuje matematické závislosti i tam, kde platí pouze přírodní zákony, jejichž zpřesněnou matematickou formulaci zatím

nezná z důvodu teoreticky fyzikální náročnosti, anebo ani znát nemůže z důvodu náročnosti empirické a experimentální. Fyzika je věda o přírodě a technika je věda o aplikacích přírodních zákonů. „Logicky“ tedy nelze očekávat, že např. procentovému poklesu proudu bude odpovídat procentově odpovídající pokles celkové relativní permeability, že procentovému nárůstu délky střední magnetické indukční čáry v nevodivé oblasti bude opět procentově odpovídat procentový pokles celkové relativní permeability, nelze hledat střední hodnotu „zprůměrováním“ dílčích hodnot obou relativních permeabilit apod. Celková relativní permeabilita je opět materiálový parametr. Jako fyzikální veličina souvisí s magnetickým odporem, ve vodivé části s odporem R_m a v nevodivé části s odporem R_0 (8), ve složeném obvodu pak s celkovým magnetickým odporem $R_m + R_0$. Celkový magnetický odpor pak souvisí s Hopkinsonovým zákonem (4), (9)

$$R_m = \frac{L_z}{\mu_0 \mu_r S} \wedge R_0 = \frac{2l'_0}{\mu_0 S}, \quad (8)$$

$$\Phi = LI = \frac{n^2 I}{R_m + R_0}. \quad (9)$$

Závěr

Pokusili jsme se nabídnout takový pohled na téma magnetické pole, aby byl přijatelný úrovni středoškolské fyziky a laboratorně dosažitelný jednoduchými prostředky. Současně jsme se snažili ukázat, že matematický popis fyzikální reality lze zpřesňovat pouze v kontextu s jeho experimentální verifikací.