

## ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ JEDNOTKY A ZMĚNY V JEJICH DEFINICÍCH

Jan VÁLEK, Petr SLÁDEK

### Abstrakt

Příspěvek se dotýká připravených změn v definicích základních fyzikálních jednotkách. Změny se dotknou čtyř základních jednotek – kilogram, ampér, kelvin a mol. Jde o poměrně rozsáhlé předefinování, které využívá univerzálních konstant.

Vedle představení úprav definic se bude příspěvek zamýšlet nad možnostmi, jak zavést definice jednotek do kurikula základních a středních škol a s tím souvisejícími obtížemi.

### THE BASE UNITS OF THE SI AND CHANGES IN THEIR DEFINITIONS

#### Abstract

The paper focuses on prepared changes in definitions of basic physical units. Changes will affect four basic units – kilogram, amperes, kelvin and moles. It is a relatively extensive redefinition that uses universal constants.

In addition to introducing definitions, the paper will reflect on the possibilities of introducing unit definitions into primary and secondary school curricula and related difficulties.

### Úvod – příběh začíná

Milé děti, dnes si povíme pohádku o kilogramu, pěkně se usad'te, udělejte si pohodlí, právě začínáme...

*Bylo, nebylo (a do 19. 5. 2019 včetně, tomu tak opravdu bylo), v Sèvres u Paříže ve Francii se nachází panské sídlo ze 17. století, které je domovem Mezinárodního úřadu pro váhy a míry. Tam, za trojitými dveřmi, uvnitř trezoru a pod třemi skleněnými poklopy spí jako Šípková Růženka mezinárodní prototyp kilogramu (1krát originál a 6krát ověřovací kopie). Tento malý, válcový kus kovu (rovnostranný válec,  $h = d = 39$  mm) je doslovnou definicí kilogramu...*

Toto mohl být jeden z možných úvodů k výkladu o základních fyzikálních jednotkách soustavy SI, v 6. ročníku základní školy, přibližně v říjnu. Kilogram, jako jediná ze základních jednotek SI, nebyl definován pomocí jiných veličin, ale pouze pomocí svého etalonu. Stejně tomu tak bylo například u metru, ale ten byl v roce 1960 předefinován takto: „Metr je délka, rovnající se 1 650 763,73 násobku vlnové délky záření šířícího se ve vakuu, které přísluší přechodu mezi energetickými hladinami  $2p_{10}$  a  $5d_5$  atomu kryptonu 86.“ (Metr, 2019) Poté byl ještě jednou předefinován, zpřesněn v roce 1983: „Vzdálenost, kterou urazí světlo ve vakuu během časového intervalu  $1/299\,792\,458$  sekundy (tj. světlo urazí ve vakuu za sekundu přesně 299 792 458 metrů).“ (Metr, 2019)

Jak je tedy patrné, na definicích základních fyzikálních jednotek se neustále pracuje, abychom se při měření dopouštěli pokud možno co nejmenších chyb (zde si samozřejmě uvědomujeme, že to záleží také na zvolené metodě a měřicím přístroji).

### Nová definice kilogramu přichází

V roce 1889 byl kilogram definován pomocí slitiny platiny a iridia v poměru 9 : 1. Tato varianta nahrazovala předchozí kilogram, který byl definován již v roce 1799, o tři roky dříve (tj. 1796) byla přijata definice kilogramu na základě objemu  $1 \text{ dm}^3$  a hustotě vody při teplotě kolem  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vidíme, že definice kilogramu je tedy letitá a za cca 200 let se již jistě změnila přesnost měřících přístrojů a také naše potřeba po přesnějších jednotkách. (Žáček, 2008)

Proto po velkém hlasování v listopadu 2018 se oficiální definice kilogramu změní, a tedy počínaje 20. 5. 2019 (Světový den metrologie připadá na 20. května, protože 20. 5. 1875 byla sedmnácti státy podepsána Metrická konvence) již kilogram nebude „jenom kusem kovu“, ale jeho definice bude založena na univerzální konstantě, Planckově konstantě. Přímo sám Mezinárodní úřad pro míry a váhy (dále BIPM z francouzského *Bureau international des poids et mesures*) uvádí následující definici: „The kilogram, symbol kg, is the SI unit of mass. It is defined by taking the fixed numerical value of the Planck constant  $h$  to be  $6,626\ 070\ 15 \cdot 10^{-34}$  when expressed in the unit  $\text{J}\cdot\text{s}$ , which is equal to  $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ , where the metre and the second are defined in terms of  $c$  and  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .“ (BIPM: Resolution 1 of the 26th CGPM (2018), 2018)

Jak lze ale novou definici kilogramu experimentálně ověřit? Pomocí tzv. *Watt balance* nebo *Kibble balance*, jejichž konstruktérem byl Bryan P. Kibble. Tyto váhy slouží k přesnému měření hmotnosti nebo k přesnému určení Planckovy konstanty.

Pokud bychom si chtěli vyjádřit, jak lze hmotnost na Kibbleho vahách určit, pak vyjdeme z následujícího:

1) V rovnováze jsou tíhová síla a Lorentzova síla:  $mg = BIl$  (1)

2) Cívka se v magnetickém poli nechá pohybovat rovnoměrně rychlostí  $v$ , pohybem se na ní indukuje měřitelné napětí  $U$ , pro něž platí:  $U = v \int dl \times \mathbf{B}$  (2)

3) Následně můžeme zapsat podmínku rovnováhy jako:  $UI = mgv$  (3)

Na levé straně rovnosti je **elektrický výkon**, na pravé straně **mechanický výkon**.

Přesná měření elektrického proudu a rozdílu potenciálu jsou prováděna v konvenčních elektrických jednotkách, které jsou založeny na neměnných „konvenčních hodnotách“ **Josephsonovy konstanty**  $K_{J-90} = \frac{2e}{h}$  (4) (převrácená hodnota magnetického toku) a **von Klitzingovy konstanty**  $R_{K-90} = \frac{h}{e^2}$  (5).

Současné experimenty s Kibbleho vahami jsou ekvivalentní měření hodnoty konvenčního wattu v jednotkách SI.

Z definice konvenčního wattu jde o ekvivalentní měření hodnoty  $K_{J-90}$  a  $R_{K-90}$  v jednotkách SI namísto jeho pevné hodnoty v konvenčních elektrických jednotkách:  $K_J^2 R_K = K_{J-90}^2 R_{K-90} \frac{mgv}{U_{90} I_{90}}$  (6). Vidíme, že vztahy (3) a (6) si jsou podobné.

### Pohled do současných učebnic fyziky pro základní školy

Na následujících řádcích uvedeme jednotlivé definice kilogramu tak, jak je zavádějí autoři jednotlivých učebnic i s formátováním textu (řezem písma).

Davidová (2013, str. 32): „Ve stejné době, kdy byla zavedena základní jednotka délky (která?), byla dohodou stanovena také základní jednotka hmotnosti — kilogram. **Jeden kilogram představuje hmotnosti  $1 \text{ dm}^3$  čisté vody o teplotě  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ .** Mezinárodní prototyp

kilogramu má tvar válečku o průměru 39 mm a výšce také 39 mm. Zhotoven je ze slitiny dvou kovů — platiny a iridia. Je stejně jako mezinárodní prototyp metru uložen v Sèvres u Paříže v Mezinárodním ústavu pro míry a váhy.“

Jáchim (1999, str. 25): „Určení jednotky kilogram pochází přibližně ze stejné doby jako metr. Jeden kilogram byl stanoven jako hmotnost  $1 \text{ dm}^3$  čisté, odstáté vody o teplotě  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mezinárodní prototyp kilogramu je velmi malé těleso — váleček o průměru 39 mm a stejné výšce. Je zhotoven ze slitiny platiny a iridia v poměru 9 : 1. Z drahých kovů je vyroben proto, aby nepodléhal vlivům vzduchu. Stejně jako mezinárodní prototyp metru je i kilogram uložen v Mezinárodním úřadě pro míry a váhy v Sèvres u Paříže.“ V této publikaci byla definice uvedena jako Historická poznámka.

Tesař (2007, str. 33): „Určení jednotky hmotnosti kilogram pochází přibližně ze stejné doby jako metr. Jeden kilogram byl stanoven jako hmotnost  $1 \text{ dm}^3$  čisté, odstáté vody o teplotě  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ . **Mezinárodní prototyp kilogramu** je velmi malé těleso – váleček o průměru 39 mm a stejné výšce. Je zhotoven ze slitiny platiny a iridia v poměru 9 : 1. Z drahých kovů je vyroben proto, aby nepodléhal vlivům vzduchu. Stejně jako mezinárodní prototyp metru je uložen v Mezinárodním úřadě pro míry a váhy v Sèvres u Paříže.“

Janovič (1989, str. 75): „Mezinárodní prototyp kilogramu je válec zhotovený ze slitiny kovů platiny a iridia. Uložen je podobně jako mezinárodní prototyp metru v Mezinárodním úřadu pro míry a váhy v Sèvres u Paříže.“

Kolářová (1998, str. 98): „Za základní **jednotku hmotnosti** byl mezinárodní dohodou zvolen **kilogram**, značka kg. Kilogram se rovná hmotnosti mezinárodního prototypu kilogramu. Poznámka: Mezinárodní prototyp kilogramu je válec zhotovený ze slitiny platiny a iridia. Uložen je podobně jako mezinárodní prototyp metru v Mezinárodním úřadu pro míry a váhy v Sèvres u Paříže. Český prototyp kilogramu je uložen v Českém metrologickém ústavu v Praze.“

Kolářová (2002, str. 80): „Za základní **jednotku hmotnosti** byl mezinárodní dohodou zvolen kilogram, značka kg. **Kilogram se rovná hmotnosti mezinárodního prototypu kilogramu**. Poznámka: Mezinárodní prototyp kilogramu je válec zhotovený ze slitiny platiny a iridia. Uložen je podobně jako mezinárodní prototyp metru v Mezinárodním úřadu pro míry a váhy v Sèvres u Paříže. Český prototyp kilogramu je uložen v Českém metrologickém institutu v Brně. Podrobnější informace najdete na adrese [www.cmi.cz](http://www.cmi.cz) v části Státní etalony.“

Lustigová (1994, str. 11): „Hmotnost však na gravitační síle nezávisí. Dalo by se říci, že je to množství hmoty v tělese. Náš pytel brambor by tedy měl na Měsíci stejnou hmotnost jako na Zemi či na Jupiteru. Pokud bychom ovšem něco neujedli.“

Lustigová (1998, str. 10): „Prototyp **kilogramu** (značíme jej kg) je podobně jako prototyp metru ze speciální slitiny a uložen v Sèvres u Paříže.“

Macháček (1994, str. 63): „Jednotkou hmotnosti je kilogram. V jednom zámku ve Francii, nedaleko Paříže, je uloženo kilogramové závaží. Vypadá jinak než závaží, která znáte – je to válec ze slitiny vzácných kovů, které nemohou rezavět. Toto závaží slouží jako vzor: všechna jiná kilogramová závaží se musí udělat tak, aby měla stejnou hmotnost.“ A dále na str. 64: „**Jak vznikla jednotka kilogram:** Když se před asi 200 lety lidé rozhodli, že budou délku měřit v metrech, řekli si také, že vytvoří novou jednotku hmotnosti. Napřed si zvolili velmi malou jednotku a nazvali ji **gram**. Jeden gram je hmotnost  $1 \text{ cm}^3$  vody. Jednotka gram se používá pro měření malých hmotností. Častěji se však používá větší jednotka, **kilogram**. Tato jednotka byla proto zvolena za základní jednotku hmotnosti. Jeden kilogram je hmotnost  $1 \text{ dm}^3$  vody.“

Macháček (1998, str. 59): „Když se před asi 200 lety lidé rozhodli, že budou délku měřit v metrech, řekli si také, vytvoří novou jednotku hmotnosti. Napřed si zvolili malou jednotku a nazvali ji **gram**. Její značka je g. Gram byl určen jako hmotnost 1 cm<sup>3</sup> vody. Jak víme, **kilo-** znamená tisíc. Tisíc gramů se tedy nazývá **kilogram** (kg). Kilogram je pro praxi „přiměřenější“ jednotka než, gram, proto byl zvolen za základní jednotku hmotnosti. Kilogram je hmotnost 1 dm<sup>3</sup> vody.“

Macháček (1999, str. 59): „Když se před asi 200 lety lidé rozhodli, že budou délku měřit v metrech, řekli si také, že vytvoří novou jednotku hmotnosti. Napřed si zvolili malou jednotku a nazvali ji **gram**. Její značka je g. Gram byl určen jako hmotnost 1 cm<sup>3</sup> vody. Jak víme, **kilo-** znamená tisíc. Tisíc gramů se tedy nazývá **kilogram** (kg). Kilogram je pro praxi „přiměřenější“ jednotka než gram, proto byl zvolen za základní jednotku hmotnosti. Kilogram je hmotnost 1 dm<sup>3</sup> vody.“

Rauner (2004, str. 29): „Jednotkou hmotnosti je **kilogram** (značka kg), který je roven hmotnosti mezinárodního prototypu uloženého v Paříži. 1 litr vody má poměrně přesně hmotnost 1 kilogramu.“

Rojko (1995, str. 45): „To, že 1 litr vody váží velmi přibližně 1 kg, není náhoda. Podle litru vody první „základní kilogramové závaží“ zhotoveno. Trochu nepřesně, proto neváží krychlový metr vody 1 000 kg ale jen 998 kg.“ V této publikaci byla definice uvedena jako Poznámka pro učitele, v žákovské verzi učebnice tedy uvedena není.

Shrneme-li si prezentované úryvky učebnic, pak můžeme vyslovit následující závěry:

- Téměř ve všech učebnicích autoři zmiňují, že mezinárodní prototyp kilogramu je uložený v BIPM v Sèvres u Paříže.
- V osmi sledovaných učebnicích je zmínka o tom, z jakých kovů je vyroben.
- V osmi případech je stále uvedena definice kilogramu pomocí hmotnosti 1 dm<sup>3</sup> vody. A to dokonce i v učebnici z roku 2013 (Davidová, 2013).
- Definice kilogramu pomocí vody i prototypu se pak vystupuje v učebnicích (Davidová, 2013), (Jáchim, 1999), (Tesař, 20017) a (Macháček, 1994).
- Nejpresnější definici kilogramu uvádí autoři učebnic Kolářová (1998; 2002).

Vidíme, že zde se nám začne velmi tvrdě střetávat „velká“ fyzika s tou školskou. Vzhledem k tomu, že je důležité, aby se základ našeho měřicího systému vyučoval ve školách (ZŠ, SŠ, VŠ), je vhodnější, pokud to moderní věda dovoluje, aby definice základních jednotek byly srozumitelné pro žáky a studenty ve všech oborech.

Což vede na Problémy vnímání fyzikálních jednotek žáky.

### Problémy vnímání fyzikálních jednotek žáky

S problémy vnímání fyzikálních jednotek žáky se setkáváme ve školské praxi již na 1. stupni v matematice, kde se jako jeden ze závažných problémů objevuje počítání s jednotkami měř. Připomínáme, že s fyzikálními jednotkami se žáci podle RVP ZV setkávají již zde: 1. stupeň → Očekávané výstupy → 2. období → M-5-2-02 čte a sestavuje jednoduché tabulky a diagramy. Bohužel se setkáváme s problémem v tom, že chápání jednotek měř (jednotek délky, obsahu, objemu, hmotnosti, času a měny) i vztahů mezi nimi je pro žáky často obtížné. Jedná se pro ně o abstraktní problémy, které nejsou žáci schopni pochopit v důsledku jejich mentální nezralosti. Úkolem tak je najít komunikační cestu, která žáky osloví. Učitel musí zvolit takové metody práce, které žákům usnadní pochopení tohoto učiva. (Blažková, 2000)

Úspěšné zvládnutí učiva o základních jednotkách je předpokladem pro to, aby žáci mohli dále pracovat s jednotkami složenými a úspěšně je používali v ostatních výukových předmětech, tedy například ve fyzice a chemii.

Počítání s fyzikálními veličinami a s pojmenovanými čísly přináší žákům řadu nesnází, z nichž nejčastější jsou, podle (Blažková, 2000):

- Žáci nemají správnou představu o veličině ani o jednotce.
- Neumí odhadnout, alespoň přibližně, velikost míry určité veličiny.
- Mají problémy s převody jednotek příslušných veličin.
- Nechápu souvislost mezi násobením mocninami deseti.
- Chápu násobení ve smyslu  $5 \text{ m} \cdot 10 = 50 \text{ m}$ , když se úsečka zvětší desetkrát, ale již ne ve smyslu  $5 \text{ m} = (5 \cdot 10) \text{ dm}$ , kdy se jedná o tutéž délku úsečky vyjádřenou jinou jednotkou.
- Obtížně chápu, že „menších“ jednotek je „více“ a naopak.
  - $5 \text{ dm} = 50 \text{ cm}$
  - $500 \text{ cm} = 5 \text{ m}$

Pro práci s žáky při výuce fyzikálními veličinám je vhodný metodický postup, při kterém, jsou postupně seznamováni s jednotkami. Některé kroky tohoto postupu jsou podle (Blažková, 2000):

- Vytváření správné představy o jednotce příslušné veličiny.
  - Představu si žáci vytváří jednak **pomocí konkrétních předmětů**, které používají, prostřednictvím částí svého těla, pomocí měřidel.
- Měření předmětů.
  - Dříve než začneme učit žáky převody jednotek, je třeba provádět konkrétní měření předmětů a vyjadřování v různých jednotkách – alespoň ve dvou různých.
- Procvičování odhadů.
- Převody jednotek.

Jistě mnoho učitelů v minulých řádcích našlo svoje žáky a studenty. Jedná se o problémy, které jsou charakteristické pro žáky se **specifickými poruchami učení v matematice**. Popsané problémy jsou částečně vlastní i běžné populaci, proto je potřeba, aby se tomuto problému učitelé náležitě věnovali.

### Závěr

Jakým způsobem je podle Vás nejvhodnější zavádět základní fyzikální jednotky soustavy SI na základní škole?

Navrhujeme v zájmu lepšího pochopení základních fyzikálních jednotek, aby učitelé již na prvním stupni žákům prakticky s využitím pomůcek ukazovali jednotlivé délky, tj. 1 m, 1 dm, 1 cm a připodobnili vzdálenost 1 km například jako vzdálenost, ve které se od jejich školy nachází významný bod (budova, strom, hřiště, socha, hraniční kámen, ...).

Podobně by měl být přiblížen 1 kilogram. Můžeme žákům ukázat, že jeden litr vody má hmotnost přibližně rovnající se 1 kg. Dále pak lze pokračovat s různými látkami při stejném objemu (na mnohých ZŠ jsou sady s krychličkami o objemu  $1 \text{ cm}^3$  z mědi, hliníku a železa), aby žáci porozuměli hustotě látek.

Jinými slovy, žákům stále přibližovat hodnoty základních jednotek způsoby, které jsou mnohem přijatelnější praktickým zkušenostem a smyslu člověka. Určitě ale

nesmíme zapomenout žáky připravit na to, že na středních školách anebo gymnáziích se již nejspíše budou učit o přesnějších definicích jednotek.

Nyní si dovolíme dokončit naši pohádku z úvodu příspěvku: ... *a to byl kilogram, tak jak jsme ho popisovali dříve. Na středních školách nebo gymnáziu vám, milí žáci, budou vyprávět již další pokračování této pohádky. Pro běžné použití však vystačíme s představou 1 kilogramu, kterou jsme si na začátku hodiny ve třídě prakticky ukázali.*

### Literatura

1. BIPM: Resolution 1 of the 26th CGPM (2018). *BIPM* [online]. 2018 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: [www.bipm.org/en/CGPM/db/26/1/](http://www.bipm.org/en/CGPM/db/26/1/)
2. BLAŽKOVÁ, Růžena. Diskalkulie a některé další obtíže v matematice. In: KUCHARSKÁ, Anna. *Specifické poruchy učení a chování: Sborník 2000*. Praha: Portál, 2000, s. 27-38. ISBN 978-80-7178-389-3.
3. DAVIDOVÁ, Jarmila, Renata HOLUBOVÁ, Roman KUBÍNEK a Robert WEINLICH. *Fyzika I - 1. díl: Látka a těleso, veličiny a jejich měření*. Olomouc: Prodos, 2013, 64 s. ISBN 80-723-0147-0.
4. JÁCHIM, František a Jiří TESAŘ. *Fyzika pro 6. ročník základní školy*. Praha: SPN - pedagogické nakladatelství, 1999, 112 s. ISBN 80-723-5076-5.
5. JANOVIČ, Jozef, Růžena KOLÁŘOVÁ a Alena ČERNÁ. *Fyzika pro 6. ročník základní školy.: Studijní část A*. 4. vyd. Praha: Prometheus, 1989, 143 s. Učebnice pro základní školy. ISBN 80-85849-35-6.
6. KOLÁŘOVÁ, Růžena a Jiří BOHUNĚK. *Fyzika pro 6. ročník základní školy*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 1998, 191 s. Učebnice pro základní školy. ISBN 80-7196-121-3.
7. KOLÁŘOVÁ, Růžena a Jiří BOHUNĚK. *Fyzika pro 6. ročník základní školy*. Dotisk 2. vyd. Praha: Prometheus, 2002, 191 s. Učebnice pro základní školy. ISBN 80-7196-246-5.
8. LUSTIGOVÁ, Zdena. *Fyzika pro 6. a 7. ročník základních škol a nižší ročníky víceletých gymnázií*. Praha: Nakladatelství Fortuna, 1994. ISBN 80-7168-169-5.
9. LUSTIGOVÁ, Zdena. *Fyzika pro 6. a 7. ročník základních škol a nižší ročníky víceletých gymnázií*. Praha: Nakladatelství Fortuna, 1998. ISBN 80-7168-512-7.
10. MACHÁČEK, Martin. *METODICKÁ PŘÍRUČKA k učebnici fyziky pro 6. ročník základní školy, 1. a 11. díl*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 1995. Metodické příručky pro učitele. ISBN 80-85849-64-X.
11. MACHÁČEK, Martin. *Fyzika 6 pro základní školy a víceletá gymnázia: I. díl*. 2. upravené vyd. Praha: Prometheus, 1998, Učebnice pro základní školy. ISBN 80-7196-123-X.
12. MACHÁČEK, Martin. *Fyzika 6 pro základní školy a víceletá gymnázia*. Dotisk 3. vyd. Praha: Prometheus, 1999, 160 s. Učebnice pro základní školy. ISBN 80-7196-186-8.
13. MACHÁČEK, Martin. *Fyzika pro 6. ročník základní školy: I. díl*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 1994, 79 s. Učebnice pro základní školy. ISBN 80-85849-24-0.
14. Metr. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019, 20-02-2019 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: [cs.wikipedia.org/wiki/Metr](http://cs.wikipedia.org/wiki/Metr)
15. RAUNER, Karel. *Fyzika pro 6. ročník základní školy a primu víceletého gymnázia*. 1. vyd. Praha: Fraus, 2004, 120 s. ISBN 80-7238-210-1.

16. ROJKO, Milan, Jiří DOLEJŠÍ, Jan KUCHARŤ a Dana MANDÍKOVÁ. *Fyzika kolem nás: Fyzika I pro základní a občanskou školu : [příručka pro učitele]*. Praha: Scientia, 1995. ISBN 80-858-2783-2.
17. TESAŘ, Jiří a František JÁCHIM. *FYZIKA I PRO ZÁKLADNÍ ŠKOLU: Fyzikální veličiny a jejich měření*. Praha: SPN – pedagogické
18. ŽÁČEK, Martin. Nová definice kilogramu. *Aldebaran bulletin: Týdeník věnovaný aktualitám a novinkám z fyziky a astronomie*. [online]. Praha: AGA & Štefánikova hvězdárna v Praze, 2008, 04-07-2008 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: [www.aldebaran.cz/bulletin/2008\\_28\\_kil.php](http://www.aldebaran.cz/bulletin/2008_28_kil.php)

### Kontaktní adresa

PhDr. Jan Válek, Ph.D.  
Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity  
Katedra fyziky, chemie a odborného vzdělávání  
Poříčí 7, 603 00 Brno, ČR  
Telefon: +420 549 498 327  
E-mail: valem@ped.muni.cz

doc. RNDr. Petr Sládek, CSc.  
Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity  
Katedra fyziky, chemie a odborného vzdělávání  
Poříčí 7, 603 00 Brno, ČR  
Telefon: +420 549 496 841  
E-mail: sladek@ped.muni.cz