

Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

Jednota českých matematiků a fyziků

Fyzikální pedagogická společnost



Sborník příspěvků z mezinárodní konference

# VELETRH NÁPADŮ UČITELŮ FYZIKY 27

Olomouc 26. – 28. srpna 2022



---

Přírodovědecká  
fakulta

1. vydání

Editor © Renata Holubová, 2022

© Univerzita Palackého v Olomouci, 2022

Neoprávněné užití tohoto díla je porušením autorských práv a může zakládat občanskoprávní, správněprávní, popř. trestněprávní odpovědnost.

ISBN 978-80-244-6217-2 (online : PDF)

# Obsah

Úvodem.....	5
Andrýsková A.: Korespondenční seminář Výfuk vstoupil do 12. ročníku.....	8
Bochníček Z.: Green Deal v příkladech.....	11
Drozd Z., Mandíková, D.: Kýblovky – jak na pokusy s kmitáním netradičním způsobem.....	26
Dupkala D., David V.: Zapojení soutěže Fyziklání do programu Erasmus+ ...	34
Dvořák L.: Jak věci padají (ve vzduchu).....	37
Hejsková P.: Magnety v hodině fyziky .....	52
Hložek F., Štumpfová P.: Astronomické kroužky a dalekohledy jako mimoškolní aktivity.....	58
Hrdý J.: Ztroskotání Titaniku a fyzika .....	69
Hrouzková T., Richterek L.: Vědecké myšlení studentů nastupujících na PřF UP .....	89
Hubáček Z.: Experimenty do kabely.....	103
Hubeňák J., Hubeňák J. jr.: Měříme rychlost zvuku v kovech, v plynech i v kapalinách.....	106
Kielbusová Z.: Zajímavé experimenty s termokamerou .....	116
Kohout J., Masopust P.: Hrátky s povrchovým napětím a kapilaritou .....	121
Koudelková V.: Science on Stage 2022 pohledem českých účastníků .....	134
Koupilová Z.: Mikrověst aktivně .....	146
Koupilová Z.: Různé? Stejně! – využití různých reprezentací ve výuce.....	156
Koupilová Z.: Konceptuální úlohy aneb trochu netradiční kalendář.....	159
Koupilová Z., Reichl J.: Několik projektů z tábora.....	165
Koupilová Z. a kol.: Sbírka řešených úloh a Sbírka fyzikálních pokusů: užitečné weby pro žáky i učitele.....	176

Lustig F., Svoboda M., Hejnová E.: Vzdálené laboratoře na Přírodovědecké fakultě UJEP Ústí nad Labem a na Matematicko-fyzikální fakultě UK Praha .....	184
Maršálek J., Kolář P., Zámečník L: Co všechno se vejde do fyziky? Science Studies ve středoškolské výuce .....	198
Matouš O., Reichl J.: Absolventské práce na SPŠST Panská .....	206
Panoš S.: Co je nového v Turnaji mladých fyziků? .....	218
Rosická K.: 10 let Náboje Junior .....	225
Ryston M.: Obecná teorie relativity středoškolsky – učební web pro zájemce o relativitu .....	228
Skopalík J. a kol.: Částice + difuze + fluorescence – aneb co často chybí středoškolákům pro zvládnutí technických a biomedicínských univerzitních oborů.....	233
Šestáková J.: Maličkosti, které vám usnadní přípravu a realizaci pokusů.....	241
Šlégr J. a kol.: Úlohy přírodovědné olympiády EOES jako inspirace pro výuku fyziky .....	246
Tesař J.: Přehled fyziky pro 2. stupeň ZŠ .....	253
Vágnerová K.: Bádání s nadšením 2022 .....	259
Vaněk M., Dupkalová D.: Jak FYKOS přibližuje (nejen) experimentální fyziku .....	265
Vícha V.: Zpracování dat naměřených pixelovým detektorem .....	268
Voglová K.: Měření délky zvukovodu pomocí rezonance .....	277
Vochozka V., Wegenkittlová P.: Teplota varu kapalin v elektrické konvici .	279
Wegenkittlová P., Vochozka V.: Praktické úlohy okresního kola Archimediády .....	289
Seznam účastníků konference .....	299



## Úvodem

Vážené kolegyně, vážení kolegové,

právě otevíráte stránky sborníku příspěvků konference Veletrh nápadů učitelů fyziky. V pořadí již 27. ročník této konference hostila ve dnech 26. 8. až 28. 8. 2022 Přírodovědecká fakulta UP v Olomouci. Akci organizovali pracovníci katedry experimentální fyziky, oddělení didaktiky fyziky, předsedkyní organizačního výboru byla *RNDr. Renata Holubová, CSc.* Spolupředatelem akce byla Fyzikální pedagogická společnost Jednoty českých matematiků a fyziků. Do Olomouce se sjelo více než 130 pedagogů různých typů škol, a také hosté ze Slovenska a Polska. Na konferenci zazněly dvě zvané přednášky. První z nich s názvem „Jak vzniká lidský hlas“ přednesl *doc. RNDr. Jan Švec, Ph.D. et Ph.D* (obr. 1). Druhá přednáška s názvem „Lokalizace a laserové chlazení atomů: atomární kyvadla, kvantové počítání a nejpřesnější fyzikální měření“, kdy přednášejícím byl držitel ceny Neuron z roku 2018 *Mgr. Lukáš Slodička, Ph.D.* z katedry optiky PřF UP, zavedla posluchače do problematiky současného výzkumu v oblasti kvantové optiky.



Obr. 1

Jak už je zvykem, během nesmírně bohatého třídního programu zaznělo 45 příspěvků, které představily jednak nové inspirativní nápady na fyzikální

experimenty, jednak příklady z dalších oblastí aplikací fyziky. Příspěvek *doc. Vojtěcha Žáka* podnítl rozsáhlou diskusi nad nově připravovanou učebnicí fyziky pro střední školy, která vzniká na MFF UK. Z dalších příspěvků nás zaujala již tradičně prezentace *Mgr. Václava Pazdery* „Pár zajímavých nápadů XII“, experimenty *RNDr. Dany Mandíkové* a *doc. Zdeňka Drozda* „Kýblovky“ (obr. 2) či návrhy pokusů „Experimenty do kabely“ *Mgr. Zdeňka Hubáčka*. Posluchače vedl k zamyšlení také příspěvek *doc. Zdeňka Bochníčka* s názvem „Green Deal v příkladech“, který upozornil na nutnost znalosti aktuálních informací z oblasti environmentální problematiky a jejich správnou interpretaci.



Obr. 2

Součástí konference byla posterová sekce a výstavka nakladatelství učebnic SPN-pedagogické nakladatelství, a. s., Prodos, spol. s r. o., stejně jako výrobců pomůcek a laboratorního vybavení firem Merci, s. r. o., Helago-CZ, FAST ČR, ČEZ, a. s. a Pomůcky do fyziky (Vojtěch Danielis). Určitě zajímavým příspěvkem se prezentovala firma Honeywell – jeden ze sponzorů akce – která kromě toho, že v prostorách fakulty vystavila jeden ze svých leteckých motorů (obr.

3), obohatila program konference přednáškou Ing. Jana Šulce s názvem „Virtuálně do reality – simulace tváření leteckých dílů“.



Obr. 3

Firma připravila pro účastníky příjemné překvapení – losovací soutěž o věcnou cenu v podobě dronu s kamerou.

Konference byla také místem neformálních setkání a diskusí – jak na večerní prohlídce historické Olomouce, tak i při návštěvě Pevnosti poznání, kde probíhal společenský večer, na němž k poslechu i tanci hrála kapela Ozembóch.

Konference byla akreditována MŠMT v rámci DVPP č.j. 380/2022-2-166.

*Renata Holubová*

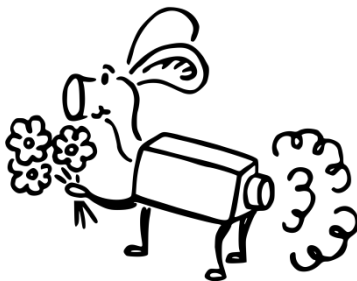
## Korespondenční seminář Výfuk vstoupil do 12. ročníku

ALŽBĚTA ANDRÝSKOVÁ

Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

### Abstrakt

*Korespondenční seminář Výfuk (Výpočty fyzikálních úkolů), organizovaný Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy, zahájil začátkem školního roku další ročník. Už podvanácté tak mají žáci základních škol možnost se zlepšit ve fyzice a matematice, poznat vrstevníky se stejnými zájmy a vyhrát hodnotné ceny.*



Obr. 1 Náš maskot Výfuček

### O Výfuku obecně

Výfuk v průběhu školního roku vydává šest sérií netradičních fyzikálních a matematických úloh. V každé ze sérií je k nalezení jednoduchá logická úloha, fyzikální problémy o různé obtížnosti, experimentální úloha, ve které se od řešitelů očekává vlastní naměření a zpracování experimentu, a nechybí ani matematický příklad. Poslední úlohou je příklad spojený s krátkým naučným textem, tzv. Výfučením, který se v každé sérii zabývá tématem, jež je pro žáky základních škol dostatečně zajímavé a srozumitelné, ale ve školách na něj obvykle nezbývá prostor.

Náš seminář je nepochybně specifický tím, že se do něj může zapojit opravdu každý žák základní školy – ke správnému vyřešení úloh je totiž především

potřeba věnovat jim čas. Po sepsání a odeslání řešení vydává Výfuk nejen vzorová řešení a výsledkové listiny, ale každý řešitel dostane i slovní zpětnou vazbu k tomu, kde udělal chyby či co by mohl udělat příště lépe.

Díky netradičním fyzikálním příkladům se řešitelé Výfuku učí nejen o těchto problémech komplexně přemýšlet, ale získávají také znalosti, které jsou většinou silně nad rámec základoškolského a někdy i středoškolského studia. Není tak překvapením, že se řešitelé Výfuku umísťují na předních příčkách přírodovědných olympiád i jiných soutěží a ve škole většinou akademicky excelují.

### **Prázdninová série**

Kromě šesti klasických sérií vydáváme i dvě prázdninové. Ty jsou jednodušší a vyhodnocujeme je jako samostatnou soutěž. Jsou tedy vhodnou příležitostí pro začátek řešení Výfuku. V každé sérii lze nalézt tři úlohy, a to kvíz s deseti otázkami s výběrem ze čtyř možností, experiment a odhadovací úlohu zaměřenou na vytvoření podloženého odhadu podle vlastního modelu situace.

### **Akce pro řešitele**

Kromě korespondenční části organizuje Výfuk pro všechny řešitele i víkendová setkání (ta se konají na podzim a na jaře a jsou většinou spojena s exkurzí do výzkumných středisek nebo science center), online setkání, kde mají účastníci možnost prezentovat vlastní práci či koníček, nebo si jen zahrát společně hru a dvoutýdenní letní tábor.

Dopolední program tábora se nese především v odborném duchu. Účastníci mají možnost si každý den vybrat z několika matematických, fyzikálních nebo populárně naučných přednášek.

Výfuk tak díky setkáním a táborům buduje silnou komunitu vrstevníků, kteří mají stejné zájmy a nadšení pro přírodní vědy. Stovky studentů, kteří za jedenáct let jeho existence Výfukem prošli, se nezdáka ještě po letech setkávají, například právě při studiu na Matematicko-fyzikální fakultě. Znalosti, schopnosti a nabytá přátelství ale bývalí řešitelé mohou uplatnit i kdekoli jinde.

### **Jak se mohou žáci (nebo i učitelé) zapojit**

Do Výfuku se žáci mohou zapojit odesláním svých řešení z libovolné série, přičemž není nutné vyřešit všechny úlohy. Jedinou **povinnou** součástí je registrace – a to buď zaregistrováním se přes web, anebo odesláním návratky.

Při registraci přes web mohou být požádáni o výběr ročníku a výběr semináře. V tomto případě zvolí aktuální ročník Výfuku (jediný nebo nejvyšší nabízený) a seminář Výfuk (FYKOS je seminář pro střední školu).

Mimořádné série mohou výjimečně umožňovat účast neregistrovaných řešitelů, ale není to pravidlem.

Pokud se žák registruje pomocí návratky, posílá ji vyplněnou poštou spolu s řešením, nebo ji může přepsat do textu a poslat mailem.

Všechny potřebné informace naleznete na našich stránkách:

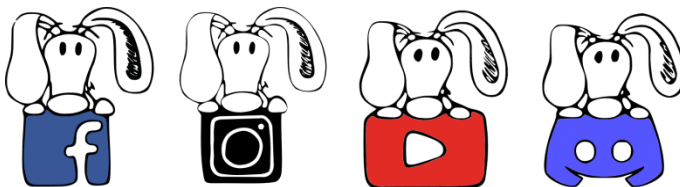
[vyfuk.mff.cuni.cz](http://vyfuk.mff.cuni.cz).

Výfuk se také již dlouhodobě snaží úzce spolupracovat přímo s učiteli, možnostem jejich zapojení je věnována na webu samostatná sekce:

[vyfuk.mff.cuni.cz/pro\\_ucitele/start](http://vyfuk.mff.cuni.cz/pro_ucitele/start)

### Kde nás můžete najít

Kromě webu máme i sociální sítě. Můžete nás tak najít na Facebooku, Instagramu, YouTube a pro řešitele máme i účastnický Discord, kde pořádáme online setkání.



Obr. 1. Můžete nás najít i na sociálních sítích

## Green Deal v příkladech

ZDENĚK BOCHNÍČEK

Přírodovědecká fakulta MU, Brno

### Abstrakt

*Příspěvek se věnuje zamýšleným změnám struktury zdrojů energie, jak jsou plánovány v rámci Zelené dohody pro Evropu. Pomocí jednoduchých kvantitativních výpočtů jsou hodnoceny obnovitelné zdroje energie a jejich potenciál v ČR. Pozornost je věnována akumulaci energie i elektromobilitě.*

*Z prezentovaných číselných odhadů jednoznačně plyne, že cíle Zelené dohody jsou nesplnitelné a snaha o jejich naplnění povede k významnému snížení životní úrovně obyvatel EU.*

### Úvod

Klimatické změny a reakce společnosti pro zmírnění jejich dosahu jsou jedním z hlavních témat současnosti a jako takové pronikají i do školního vzdělávání. Obecně se však jedná o problematiku velmi obtížnou. Transport infračerveného záření atmosférou je velmi komplikovaný proces a ještě mnohem složitější je predikce vlivu zvyšování koncentrace skleníkových plynů na klima Země. Tyto části problematiky lze do výuky zařadit pouze jako sdělení informací bez možnosti je na elementarizované úrovni přesvědčivě zdůvodnit.

Riziko možných nepříznivých změn klimatu nutí společnost uvažovat o akcích, které by očekávané negativní důsledky potlačily. Jedná se zejména o zdroje energie, které významným způsobem přispívají k navýšení koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře. Na rozdíl od velmi komplikované nelineární klimatologie je energetika jednoduchá a přímočará. Pokud se spokojíme s přibližnými odhady, lze řadu výpočtů provést na střední nebo dokonce i základní škole tzv. ab initio, tj. ze základních fyzikálních zákonů a všeobecně dostupných dat.

Autor se domnívá, že úkolem fyzikálního vzdělávání je doplnit diskusi o klimatických změnách o konkrétní číselné odhady, které dají jasnější představu o důsledcích reakce společnosti na možné riziko změn klimatu. Důležité přitom je, aby modelové situace poskytovaly dobře představitelná čísla ve známých situacích porovnatelných s běžnými zkušenostmi žáků. Ačkoli si při řešení fyzikálních úloh velmi ceníme pochopení teorie a správnosti postupu

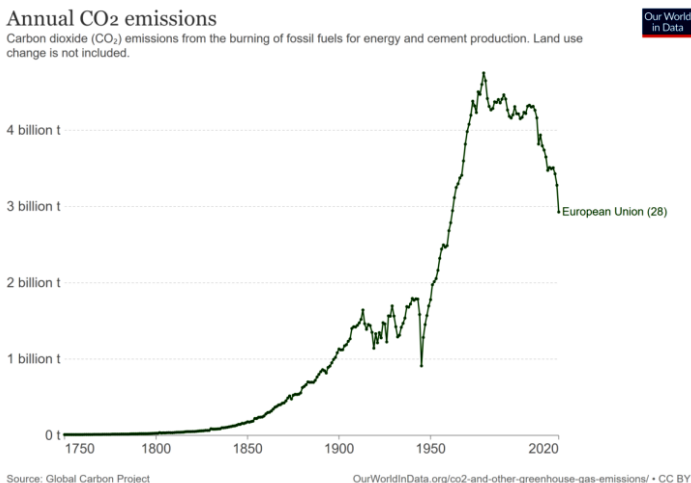
řešení, zde je třeba věnovat pozornost numerickým výsledkům a usazení číselných hodnot do celkového kontextu.

V příspěvku je uvedeno několik vybraných příkladů souvisejících s problematikou energetických zdrojů, které mohou být zařazeny do různých oblastí výuky fyziky. Číselné hodnoty jsou komentovány s přesahem do mezipředmětových vztahů (základy společenských věd).

K řešení je potřeba znalost jen skutečně elementární matematiky (sčítání, násobení, dělení, procenta ...) a základní pojmy a zákony základního a středního školství fyziky (mechanická práce, energie a její zachování, výkon, účinnost ...)

### 1 Zelená dohoda pro Evropu (*European Green Deal*)

Zelená dohoda pro Evropu, dále jen GD, je soubor opatření představený v roce 2019 a postupně aktualizovaný s cílem omezit či zcela potlačit antropogenní emise skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého. Konkrétně by do roku 2030 měly být emise sníženy o 55 % ve srovnání s rokem 1990 a v roce 2050 má být dosaženo tzv. klimatické neutrality.



Obr. 1 Historie emisí CO<sub>2</sub> států dnes sdružených v Evropské unii [1]

Historický vývoj emisí CO<sub>2</sub> států Evropské unie je na obr. 1. Strmý poválečný růst spojený s obnovou hospodářství a rychlým ekonomickým rozvojem



je ukončen na počátku 80. let minulého století. Ke stabilizaci emisí došlo pravděpodobně restrukturalizací evropského průmyslu a přenesení energeticky náročných výroby do jiných zemí. Po roce 2005 dochází k výraznému poklesu emisí CO<sub>2</sub> jako zřejmý důsledek rozvoje obnovitelných zdrojů energie, zejména větrných a fotovoltaických elektráren.

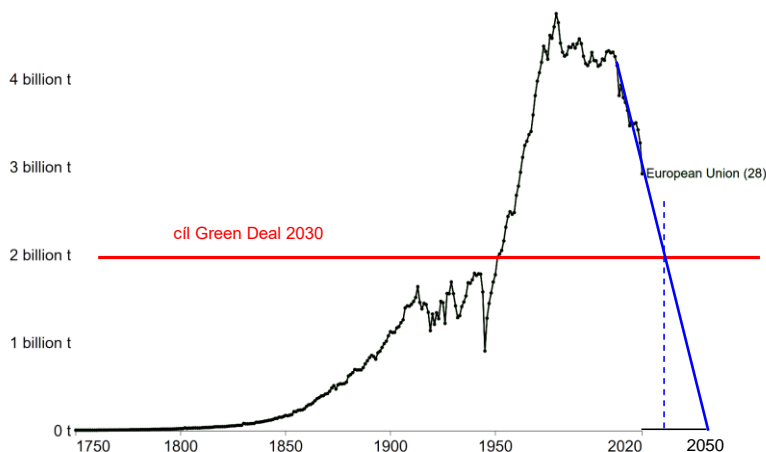
Pokud provedeme lineární extrapolaci minulých patnácti let do blízké budoucnosti, vidíme, že extrapoláční přímka v roce 2030 přibližně protíná cíl GD v tomto roce a v roce 2050 dosahuje nulových hodnot emisí (obr. 2). To je však třeba brát jako pouhou náhodu, navíc ovlivněnou koronavirovou epidemií, která obdobně zasáhla celý svět [1].

I když z obr. 2 by bylo možné usoudit, že cíle GD jsou stanoveny realisticky, opak je pravdou. Lineární extrapolace dokazuje nemožnost splnění záměru GD. Nahrazování fosilních paliv obnovitelnými zdroji může být zpočátku relativně snadné, efektivní a laciné, avšak s rostoucím podílem obnovitelných zdrojů je další postup stále náročnější, dražší a méně efektivní. V další kapitole si to ukážeme na jednom příkladu.

### Annual CO<sub>2</sub> emissions

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.

Our World  
in Data



Source: Global Carbon Project

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Obr. 2 Extrapolace do roku 2035 a 2050

## **2. Solární ohřev vody a vytápění rodinného domu**

Uvažujme situaci, kdy chceme využít energie slunečního záření pro ohřev užitkové vody a případně i pro vytápění domu. Cena i účinnost budou velmi závislé na tom, čeho chceme dosáhnout. Rozeberme tyto tři možnosti:

### **2.1 Svítí slunce, mám, nesvítí, nemám**

Nejsnazší je pořídit si hadici na solární ohřev. Za přibližně 1 500 Kč získáme  $1\text{ m}^2$  plochy [2]. I zde však je důležité, jaký podíl solární energie chceme získat. Kdybychom například nainstalovali tento kolektor na střechu budovy s velkým odběrem teplé vody (například hotel) a využívali ji pouze k přehřátí vody vstupující do boileru, pak využijeme 100 % slunečního záření, nebo dokonce i více, protože voda v hadici bude v létě trvale chladnější než okolní teplota a tepelné ztráty budou záporné, což znamená energetický zisk. Investiční náklady se vrátí za několik týdnů horkého léta.

### **2.2 Teplá voda od dubna do září**

V tomto případě je úkol řádově náročnější, dražší, a také méně efektivní. Je třeba si pořídit kompletní solární systém s kolektorem, akumulací nádobou, čerpadlem a řídicí elektronikou. Účinnost klesá zejména kvůli tomu, že v horkých letních měsících je energie nadbytek a nelze ji rozumně využít. Investice 100 tis. Kč, návratnost deset i více let.

### **2.3 Teplá voda i vytápění po celý rok**

Uschovat energii v nějaké podobě po dobu řady měsíců je ještě mnohem náročnější úkol. Moc možností k dispozici není, viz dále. Jednou z nich je horká voda ve velké izolované nádobě.

Uvažujme průměrný nízkoenergetický dům o vytápěné ploše  $100\text{ m}^2$  a spotřebou  $30\text{ kWh/m}^2$  na roční vytápění. Dům obývají čtyři lidé s průměrnou spotřebou teplé vody 40 litrů na osobu a den. Celková spotřeba tepla v období říjen – březen je tedy

$$\begin{aligned} Q &= 100\text{ m}^2 \cdot 30\text{ kWh} + 4\text{ osoby} \cdot 40\text{ kg} \cdot 35\text{ }^\circ\text{C} \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}\text{ kWh/kg/}^\circ\text{C} \cdot 180\text{ dní} = \\ &= 4\,200\text{ kWh.} \end{aligned}$$

Význam čísel je zřejmý z jejich jednotek. Hodnota  $1,2 \cdot 10^3 \text{ kWh/kg/}^\circ\text{C}$  je měrná tepelná kapacita vody přepočtená na kWh<sup>1</sup>. Předpokládáme, že vodu je třeba ohřívat z  $15^\circ\text{C}$  na  $50^\circ\text{C}$ , tedy o teplotní rozdíl  $35^\circ\text{C}$ .

Uvažujme dále, že během léta vyhřejeme vodu v nádrži na  $80^\circ\text{C}$  a během zimy ji ochladíme maximálně na hygienicky přijatelných  $50^\circ\text{C}$  (při nižší teplotě užitkové teplé vody hrozí množení smrtelně nebezpečných legionell). Pro výpočet potřebného množství vody vyjdeme z kalorimetrické rovnice

$$Q = mc\Delta t \Rightarrow m = \frac{Q}{c\Delta t} = \frac{4\,200 \text{ kWh}}{1,2 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kg/}^\circ\text{C} \cdot 30^\circ\text{C}} \doteq 120\,000 \text{ kg}.$$

Vidíme tedy, že potřebujeme nádrž s objemem  $120 \text{ m}^3$ , což je krychle o hraně 5 m. Nádrž bude nutné tepelně izolovat. Tepelné ztráty spočítáme ze vztahu

$$Q_z = \lambda \frac{S\Delta t}{d} \tau,$$

kde  $\lambda$  je koeficient tepelné vodivosti (pro polystyrén  $0,035 \text{ W/m/K}$ ),  $S$  je plocha povrchu nádoby ( $150 \text{ m}^2$ ),  $d$  tloušťka izolační vrstvy (předpokládáme  $0,5 \text{ m}$ ),  $\Delta t$  teplotní rozdíl (průměrná teplota vody v nádrži mínus teplota okolní zeminy, tj.  $55^\circ\text{C}$ ) a  $\tau$  doba (celý rok). Po dosazení číselných hodnot dostaneme tepelné ztráty v hodnotě přibližně  $5\,000 \text{ kWh}$ , tedy více než energie, kterou v zimě získáme.

Výše uvedený odhad je tedy optimistický a reálně by byla potřeba ještě větší nádoba. Nic na tom nemění ani fakt, že moderní solární kolektory mohou malou část energie poskytnout i během zimního období.

Na celou problematiku se můžeme podívat ještě z jiných úhlů:

### **Pohled ekonomický**

Pro výše uvedenou tepelnou izolaci by bylo potřeba asi  $75 \text{ m}^3$  polystyrénu, což by stálo asi 200 tis. Kč jen za materiál. Nádrž těchto rozměrů by pravděpodobně byla železobetonová. Při tloušťce stěny 30 cm by bylo potřeba 110 tun betonu v ceně asi 100 tis. Kč. K tomu cena armatur, výkopové práce (vzhledem ke konstrukci nádrže by vykopaná jáma musela mít rozměry asi  $7 \times 7 \times 7 \text{ m}^3$ ),

---

<sup>1</sup> V tomto článku budeme většinou pro energii používat jednotky kWh namísto joule, které jsou pro laika snáze představitelné.

odvoz a uskladnění zeminy atd. Nezapomeňme také na nutnou instalaci relativně velké plochy solárních kolektorů. Odhad celkových nákladů na 1 mil. Kč pravděpodobně nebude daleko od skutečnosti.

### **Pohled energetický**

Jen na výrobu betonu bude potřeba více než dvouletá energetická úspora, na výrobu polystyrénu více než roční úspora. Významná bude i energie nutná pro výkop a odvoz zeminy. Tedy několik prvních let bude systém pouze splácet energetický dluh.

### **Pohled urbanistický**

Akumulační nádrž bude možné realizovat je v některých lokalitách.

Představme si, že bychom chtěli do cílového roku 2050 takto zajistit akumulaci energie pro 1 mil. českých domácností. Celkové náklady by byly asi 1 bilion korun a bylo by k tomu potřeba tolik betonu, kolik se v celé ČR vyrobí za šest let. A ziskem bude několik málo procent bezemisní energie z celé potřeby ČR.

## **3 Potenciál obnovitelných zdrojů v ČR**

Pro posouzení realističnosti plánů GD je zcela klíčový odhad potenciálu obnovitelných zdrojů. Budeme počítat, jak by bylo možné zajistit kompletní pokrytí potřeby elektřiny ČR jednotlivými obnovitelnými zdroji: voda, biomasa, vítr, slunce. Samozřejmě nikdy nebudeme využívat pouze jediný zdroj, ale pokud odhadneme například požadavek na 100 % elektřiny z větru, snadno si už libovolný mix jednotlivých zdrojů určíme. Mysleme přitom na to, že elektřina tvoří jen část celkové spotřeby energie ČR (20-25 %).

V roce 2021 byla spotřeba elektřiny v ČR asi 75 000 GWh.

### **3.1 Malá voda**

Malou vodou myslíme průtočné malé vodní elektrárny, které jako jediné lze považovat za primární zdroje energie. Velké přečerpávací elektrárny slouží pouze pro akumulaci a stabilizaci elektrické sítě.

Je velmi snadné odhadnout, kolik bychom získali energie, kdybychom využili veškerou potenciální energii vody, která na naše území naprší. Území ČR je odvodňováno třemi většími řekami s těmito parametry:

Tabulka 1. Parametry řek odtékajících z ČR

Povodí	střední průtok, $Q_m$ (m <sup>3</sup> /s)	střední nadm. výška povodí (m)	nadm. výška ústí (m)
Labe	311	454	117
Odra	62	578	200
Morava	108	400	148

Střední výkon takové hypotetické soustavy spočítáme pro každé povodí takto:

$$\langle P \rangle = Q_m \rho g \Delta h,$$

kde  $\Delta h$  je rozdíl střední nadmořské výšky povodí a nadmořské výšky ústí řeky,  $g$  je tíhové zrychlení a  $\rho$  měrná hmotnost vody (rovnice vychází ze vztahu pro potenciální energii v homogenním tíhovém poli  $E_p = mgh$ ). Celkový výkon dostaneme součtem za jednotlivá povodí

$$\langle P \rangle = \langle P_{\text{Labe}} \rangle + \langle P_{\text{Odra}} \rangle + \langle P_{\text{Morava}} \rangle$$

Po dosazení číselných hodnot pak dostaneme celkový hypotetický výkon 1 600 MW. To je však zcela nereálná hodnota, museli bychom využít každý malý horský potůček (právě na horách jsou toky nejstrmější a ztrácí nejvíce své potenciální energie). Reálný je jen malý zlomek této hodnoty, řekněme 10 %. Pak by byl střední výkon 160 MW a roční výroba 1 400 GWh, tedy asi dvě procenta potřeby elektřiny v ČR.

Na rozdíl od některých jiných evropských zemí (Rakousko, Norsko), mohou vodní elektrárny přispět do energetiky ČR jen velmi malým a v podstatě zanedbatelným podílem.

### 3.2 Biomasa

Výhřevnost suchého dřeva vztažená na jednotku hmotnosti je v podstatě nezávislá na druhu dřeva a činí asi 4,3 kWh/kg [3]. V ČR je průměrný roční přírůstek dřeva 7,8 m<sup>3</sup>/ha, což s uvažováním hustoty vyschlého dřeva znamená asi 4 t/ha [4]. Pokud uvažujeme účinnost tepelné elektrárny 40 %, snadno pak spočítáme, že pro zajištění elektřiny ČR dřevní hmotou bychom potřebovali pálit přírůstky dřeva z plochy asi 110 000 km<sup>2</sup> lesů. V ČR je v současné době 27 000 km<sup>2</sup> lesů.

Dřevní hmota převážně smrkového lesa není nejvýnosnější energetickou plodinou. Existují násobně výnosnější dřeviny i byliny [5]. Nelze si však dobře představit, že bychom na půdě dnešních lesů tyto plodiny pěstovali.

V práci [6] lze nalézt detailní rozbor dostupného potenciálu biomasy v ČR. Zde uvedený energetický potenciál 27 000 GWh by pravděpodobně stačil pro zimní vytápění většiny domácností v ČR, při výrobě elektřiny by se z biomasy získalo asi 15 % potřeby ČR.

Biomasa tedy může poskytnout násobně více energie než malá voda, ale stále se jedná o minoritní podíl v energetice státu.

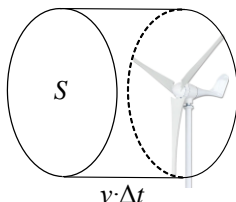
Malé vodní elektrárny a biomasa jsou předvídatelné a v případě biomasy i říditelné zdroje energie. Jejich celkový potenciál je však jen malým zlomkem potřeby ČR.

Zbývá vítr a slunce.

### 3.3 Vítr

Kinetické energie proudícího vzduchu, který za čas  $\Delta t$  projde plochou vrtule větrné elektrárny je rovna (obr. 3)

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho Sv\Delta tv^2 = \frac{1}{2}\rho S\Delta tv^3.$$



Obr. 3 K odvození výkonu větrné elektrárny

Tuto energii větrná elektrárna s účinností  $\eta$  promění na elektřinu. Výkon větrné elektrárny je pak roven

$$P = \eta \frac{E_k}{\Delta t} = \frac{1}{2}\eta\rho Sv^3.$$

Maximální teoretická účinnost větrné elektrárny je dána tzv. Betzovým pravidlem [7] a je rovna 59 %. Reálně se účinnosti pohybují v rozmezí 40-50 %; v dalším budeme počítat s 45 %.

Pro získání konkrétních čísel potřebujeme konkrétní situaci. Určíme tedy, kolik větrných elektráren z Jindřichovic pod Smrkem [8] bychom potřebovali pro pokrytí elektřiny ČR. Průměr rotoru těchto elektráren je 44 m.

Výkon větrných elektráren strmě závisí na rychlosti větru (s třetí mocninou). V následující tabulce je nutný počet elektráren pro různé průměrné rychlosti větru.

Tabulka 2. Počet jindřichovických elektráren  
pro pokrytí potřeby elektřiny ČR

průměrná rychlost větru (m/s)	počet elektráren
5	150 000
6	90 000
7	56 000
8	38 000
10	19 000
12	11 000

Při pohledu na větrné mapy [9] vidíme, že průměrná rychlost větru nad 6 m/s se u nás vyskytuje jen v ojedinělých místech pohraničních hor, tedy na území které chceme spíše využívat pro rekreaci a ne pro energetickou výrobu. Konečně nemusíme spekulovat. Roční výroba jindřichovických elektráren je již dána [10]. Z těchto dat vyplývá, že bychom jich pro pokrytí spotřeby ČR museli mít 120 000.

Na rozdíl od větrných oblastí v Evropě, zejména atlantického pobřeží, jsou v naší republice podmínky pro využití větru nepříznivé. Zbývá tedy poslední možnost: slunce.

### 3.4 Slunce

V ČR dopadne v průměru za rok asi 1 000 kWh/m<sup>2</sup> slunečního záření [11]. Pokud uvažujeme spíše optimistickou účinnost solárních článků 20 %, pak bychom pro pokrytí celkové spotřeby elektřiny potřebovali osadit solárními články asi 400 km<sup>2</sup> plochy. Záření je však během roku velmi nerovnoměrně rozloženo [12], což je všeobecně známá skutečnost.

Energie ze slunce je jediná z obnovitelných zdrojů (alespoň v ČR a většině jiných evropských zemí), která je k dispozici v dostatečném množství. Avšak pouze za předpokladu, že ji bude možné akumulovat, a to jak krátkodobě (den – noc), tak i dlouhodobě (léto – zima). V dalším si tedy všimneme možností akumulace energie.

## **4 Akumulace energie**

### **4.1 Nejprve jedna kuriozita**

Nedávno se v médiích objevila informace o možnosti gravitační akumulace energie [13]. Princip je jednoduchý: Jeřáb zvedá nebo spouští těžké závaží podle toho, jestli je v daném okamžiku energie přebytek nebo nedostatek.

Potenciál této metody lze velmi názorně spočítat v následujícím příkladu.

Máme k dispozici jeden kilometr hluboký důl, do kterého spouštíme závaží o hmotnosti 1 000 tun (hmotnost přibližně 700 vozů Škoda Octavia). Jakou energii můžeme do takového systému uložit?

Výpočet je velmi jednoduchý. Uložená energie je rovna potenciální energii závaží, tedy

$$E = mgh = 10^6 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 1\,000 \text{ m} = 10^{10} \text{ J}.$$

Přes monstróznost tohoto projektu vyrobí jaderná elektrárna Temelín uvedenou energii za pět sekund. Nebo jinak: je to asi jedna sekunda průměrné výroby energie v ČR ze všech zdrojů. Je tedy zcela zřejmé, že ve velké energetice může tato metoda hrát jen marginální roli. Hodila by se spíše do Neználkových příhod vedle sodkového autíčka [14].

Výsledek této úlohy je skutečně poučný, zejména pro ekologické aktivisty: Temelín je zdroj energie, která by vytáhla 700 Octavií z hloubky 1 000 m za 5 s. Nebude asi snadné, něco takového nahradit vrtulemi nebo lány s řepkou.

### **4.2 Krátkodobá a dlouhodobá akumulace energie**

Možností akumulace velkého množství energie není mnoho.

Krátkodobá akumulace

- akumulátorové baterie
- horká voda (v domácích zásobnících)
- vodík (+ syntetická paliva)
- přečerpávací elektrárny
- srandy typu gravitační akumulace, stlačený vzduch apod.

Dlouhodobá akumulace

- vodík (+ syntetická paliva)
- horká voda (velkoobjemové nádrže z odst. 2.3)

Krátkodobá akumulace je menší problém a v některých částech je již nyní velmi dobře vyřešena (kombinované nebo trivalentní boilery v domácnostech).



Přesto je nepředstavitelné, že by například ocelárny v nepřetržitém provozu běžely v noci na baterky. Je to tedy problém, který nemá snadné řešení, my jej však nyní komentovat nebudeme.

Budeme se věnovat dlouhodobé akumulaci z léta na zimu, která je v případě využití solární energie zcela rozhodující. Horká voda je jen drobnost, jedinou možností je tedy vodík, případně jiná syntetická paliva (vyrobená z vodíku).

### **4.3 Vodík**

Vodík je palivo s velmi vysokou hmotnostní výhřevností (120 MJ/kg, trojnásobek nafty), ale kvůli lehké molekule a plynnému skupenství je objemová výhřevnost extrémně malá. Například jeden litr nafty je energeticky ekvivalentní 5 000 litrů vodíku za normálního tlaku. Jedním z největších problémů vodíkové energetiky je tedy jeho skladování. Kompresí i zkapalnění vyžaduje energii, což snižuje účinnost celého procesu.

### **4.4 Akumulace energie ze solárních panelů ve vodíku**

Jak již bylo uvedeno dříve, dopadne za rok na 1 m<sup>2</sup> v ČR asi 1 000 kWh sluneční energie. Se spíše nadsazenou 20 % účinností solárních článků se za rok získá 200 kWh. Účinnost elektrolýzy je asi 70 %, dostaneme tedy 140 kWh energie uložené ve vodíku. Kompresní ztráty dosahují přibližně 10 %, máme tedy 126 kWh ve stlačeném vodíku. Spalováním v tepelné elektrárně nebo palivovým článkem dosáhneme 40-60 % účinnosti. Tímto postupem z původních 1 000 kWh slunečního záření dostaneme 50-75 kWh elektřiny s mezipřeskladem ve vodíku. V dalším budeme počítat s 60 kWh.

### **4.5 Plocha solárních článků pro akumulaci energie na zimní spotřebu domácností ČR**

Spotřeba elektřiny všech domácností v období říjen – březen je 8 800 GWh [15].

Předpokládejme, že všech 4,5 mil. domácností žije v průměrném nízkoenergetickém domě s plochou 80 m<sup>2</sup> a energií na vytápění 30 kWh/m<sup>2</sup>. Bude potřeba asi 10 000 GWh.

Průměrná spotřeba teplé vody na osobu je 40 l/den, tj.

$$Q_{\text{TUV}} = mc\Delta t = 40 \cdot 4 \cdot 200 \cdot 35 \text{ J} = 5,88 \text{ MJ} = 1,63 \text{ kWh}.$$

Pro 10 mil. lidí a 180 dní dostaneme 2 900 GWh.

Celkem potřebujeme pro domácnosti akumulovat více než 21 000 GWh<sup>2</sup>. Pro letní akumulaci bychom tedy museli mít asi 350 km<sup>2</sup> solárních článků. **Jen pro akumulaci na zimu.** Současně by musely být k dispozici další solární články na letní okamžitou spotřebu a krátkodobou akumulaci na noc a bezeslunečné dny. Navíc spotřeba domácností je jen zlomkem celkové spotřeby státu (20-25 %). Lze tedy odhadnout, že bychom potřebovali cca 1 500 km<sup>2</sup> solárních článků.

Tento odhad nezohlednil, že solární články a větrné elektrárny i v zimě nějakou energii vyrobí, současně poběží jaderné elektrárny a biomasa může být akumulována především na zimu. Možná se podaří i nějakou energii uspořít a část CO<sub>2</sub> uložit do geologických systémů. Uvažujme tedy, že by stačila pouze polovina výše uvedené hodnoty, což je spíše optimistický předpoklad. Pak by ovšem ve slunečném poledni 750 km<sup>2</sup> solárních článků poskytlo výkon 150 GW, 75 temelínských elektráren. A pro tento výkon by musela být připravena infrastruktura, která by jej zpracovala. Zejména elektrolyzéry, které by vyráběly vodík. To je zcela nerealistické představa, tím více, že by toto vše mělo být k dispozici v roce 2050.

Významný je také pohled ekonomický: Kolik by koncového uživatele stála jedna kWh takto získané elektřiny?

## 5 Elektromobilita

V rozsáhlém článku *Kam kráčíš elektromobilito* z pražského ČVUT [16] autoři analyzují emise CO<sub>2</sub> různých druhů pohonu automobilů (benzín, nafta, elektřina) s ohledem na celý cyklus včetně výroby. Úspora emisí CO<sub>2</sub> závisí na energetickém mixu výroby elektřiny v daném státě. Ukazuje se, že pro Českou republiku do 250 tis. najetých kilometrů není elektromobil lepší, než turbodiesel.

### 5.1 Potřeba elektřiny pro elektromobilitu ČR

V roce 2019 byla spotřeba benzínu a nafty 5 mil. tun, což v energii představuje 60 000 GWh. S uvažováním účinnosti spalovacího motoru (40 %) je to 24 000 GWh mechanické práce produkované spalovacími motory. Pokud za-

---

<sup>2</sup> Ve skutečnosti je toto číslo zatíženo jistými systematickými chybami. Část spotřeby elektřiny se v domácnostech využívá i na topení a ohřev teplé vody. Tato spotřeba se tedy ve výpočtu objevuje dvakrát, Na druhé straně se počítá, že všechny domy jsou v nízkoenergetickém standardu, což zdaleka není pravda. Je tedy spíše pravděpodobné, že reálná hodnota bude ještě vyšší.

počteme další ztráty spojené s elektromobilitou (15 % ztrát při dobíjení, 5 % v rozvodu a 5 % ve vlastním elektromotoru, celkem tedy 23 %), pak by pro kompletní elektromobilizaci našeho vozového parku byly potřeba další dvě temelínské elektrárny (výroba JETE v roce 2019 byla 15 720 GWh). To je pouze optimální situace, kdy je odběr přizpůsoben okamžité výrobě. Reálně musí být k dispozici jistá rezerva, což by počet nutných JETE zvyšovalo.

### **5.2 Plocha solárních článků pro akumulaci energie na zimní provoz elektromobilů ČR**

Pokud předpokládáme, že by byla zimní spotřeba energie v dopravě jednou třetinou celoroční spotřeby, tj. 8 000 GWh mechanické práce, pak postupem z odstavce 4.4 s uvážením dalších ztrát (odstavec 5.1) zjistíme, že bychom potřebovali **jen pro akumulaci energie na zimu** ve vodíku téměř 200 km<sup>2</sup> solárních článků.

### **5.3 Zákaz prodeje automobilů se spalovacím motorem**

Evropský parlament nedávno schválil zákaz prodeje osobních vozidel a dodávek se spalovacími motory od roku 2035 [17]. Bylo to velmi chybné rozhodnutí, které značně negativně ovlivní život v Evropě. Elektromobil má v porovnání s vozem se spalovacím motorem řadu nevýhod, které jsou tak zřejmé, že je ani nemá smysl zde vyjmenovávat. Velmi náročná infrastruktura pro dobíjení elektromobilů a v podstatě nemožnost zajištění dostatku elektřiny v bezemisním módu evropské energetiky dělá z náhrady spalovacích motorů ze 100 % elektromobily jen utopickou vizi.

Existuje jediný skutečně racionální důvod k úplnému přechodu k elektromobilitě: **Znemožnit široké veřejnosti přístup k individuální dopravě.** Osobní vozy by tak zůstaly vyhrazeny pouze pro elity, pro které by nastal skutečný ráj poloprázdných silnic a měst.

Racionální přístup by bylo akceptovat skutečnost, že v dohledné době je nemožné se zcela zbavit závislosti na fosilních palivech a ponechat jejich využití v těch oblastech, kde jejich náhrada je nejvíce obtížná. Individuální osobní doprava je touto oblastí. Navíc spalovací motory dosáhly velmi vysokého stupně rozvoje s vynikající filtrací škodlivých emisí (mimo CO<sub>2</sub>). Turbodiesel svou účinností konkuruje špičkovým tepelným elektrárnám a kritika, které musí čelit, je zcela absurdní.

Smysluplnější by bylo využít akumulátorové baterie například v kombinaci se solárními panely jako zdroj energie domácností. Ve vlastním provozu zcela bezemisní metoda, i když nepřináší řešení pro dlouhodobou akumulaci.

## **6 Závěr a výhled do budoucnosti**

Cíle GD jsou zcela iluzorní a nebude možné je naplnit. Vystává tedy otázka, jak je to možné, že se téměř půlmiliardový subkontinent ústy svých nejvyšších představitelů k něčemu takovému zavázal. Jednou z možných příčin je nekompetence lidí, kteří nejsou schopni situaci realisticky posoudit a žijí v jakémsi utopickém nadšení podobně jako přírodovědně nevzdělání ekologičtí aktivisté. Ve prospěch této hypotézy hovoří některá dřívější rozhodnutí či plány. Nejkriklavější je záměr zakázat tzv. neúsporné varné konvice a jiné domácí spotřebiče [18]. Varné konvice jsou nejefektivnějším způsobem, jak si v domácnosti ohřát vodu. Srovnatelné jsou pouze indukční vařiče. Zakázat právě tyto spotřebiče ukazuje na naprostou nekompetenci zodpovědných lidí.

Země EU emitují necelých 10 % celosvětových emisí  $\text{CO}_2$ . I kdyby se cíle GD podařilo částečně naplnit, dopad na globální klima bude zanedbatelný. Ale cena, kterou za to zaplatí obyvatelé Evropy, bude značná. Horší dostupnost a vysoká cena energie významně zhorší životní úroveň obyvatel a konkurenceschopnost evropského průmyslu. Přichází bída a bude tím větší, čím déle a úporněji se touto cestou půjde.

## **Literatura**

- [1] <https://ourworldindata.org/co2-emissions>
- [2] <https://eshop.flidr.cz/solarni-hadice-eolo-sl-cerna-32-mm-30m-baleni>
- [3] <https://www.avydon.cz/vyhrevnost-dreva>
- [4] <https://lesy.cz/drevo/>
- [5] <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/98-prehled-energetickych-plodin-jejich-vlastnosti-a-prepocty-jednotek>
- [6] <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energie-1-zdroje>
- [7] [https://cs.wikipedia.org/wiki/Betzovo\\_pravidlo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Betzovo_pravidlo)
- [8] <https://www.jindrichovice.cz/cs/web/obec/rozvoj/vetrne-elektrarny/>
- [9] <https://www.frigomont.cz/mapy-vetrovych-oblasti>
- [10] Dvě elektrárny dohromady v roce 2004 vyrobily 1200 MWh a v roce 2005 1085 MWh. Tyto, ani pozdější informace již na webu nejsou k dispozici. Podle osobního dotazu autora na místě byla data odstraněna z důvodů negativních reakcí veřejnosti.

- [11] <http://www.isofenenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>
- [12] <https://www.viridiansolar.co.uk/resources-1-2-seasonal-variation-solar-energy.html>
- [13] <https://www.solarninovinky.cz/video-energy-vault-spousti-do-provozu-prvni-baterii-v-podobe-jerabu-s-ucinnosti-85/>
- [14] <https://www.promaminky.cz/pohadky/ke-cteni-30/neznalkovy-prihody-jak-neznalek-jezdil-v-sodovkovem-aute-8536>
- [15] <https://www.nazeleno.cz/jak-se-meni-spotreba-elektřiny-behem-dne-i-celeho-roku/>
- [16] <https://www.fs.cvut.cz/verejnost/pr-media/pribehy-z-ustavu/kam-kracis-elektromobilito/>
- [17] <https://www.novinky.cz/clanek/zahranicni-evropa-evropsky-parlament-schvalil-zakaz-prodeje-aut-se-spalovacim-motorem-od-roku-2035-40399504>
- [18] <https://www.novinky.cz/clanek/ekonomika-unie-se-chysta-zakazat-neusporne-varne-konvice-feny-a-topinkovace-351484>

## Kýblovky – jak na pokusy s kmitáním netradičním způsobem

ZDENĚK DROZD, DANA MANDÍKOVÁ

Katedra didaktiky fyziky MFF UK, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8

### Abstrakt

*Mechanické kmitání je důležitou součástí mechaniky. Jako ke každému fyzikálnímu tématu i ke kmitání je vhodné zařadit experimenty. Bývají to demonstrační, popř. žákovské experimenty s kyvadlem a pružinou, případně pokusy zaměřené na rezonanci, spřažená kyvadla apod. Pokusy lze samozřejmě provádět s klasickými pomůckami, jako jsou závažíčka na niti, na pružině – nejsou to ale příliš akční pokusy. V našem příspěvku se zabýváme námety na experimentování s poněkud netradičními pomůckami, které jsou ale vždy k dispozici – s kbelíky. Jde sice o tytéž experimenty, jaké lze předvádět se zmíněnými závažíčky, nitěmi a pružinami, vzhledem k netradičním pomůckám ale vzbudí zájem žáků. Vždyť, kdo by čekal „kýbl“ jako experimentální nástroj...*

### Úvod

Mechanické kmitání je důležitou součástí výuky fyziky, konkrétně mechaniky. Na středoškolské úrovni se většinou věnujeme netlumenému harmonickému kmitání, na které potom navazujeme učivem zaměřeným na mechanické vlnění. Téma vyžaduje zavedení základních pojmů a rovnic pro závislost kmitavého pohybu na čase - pro polohu kmitajícího tělesa, jeho rychlost a zrychlení, což jsou teoretické záležitosti postavené na matematických znalostech. Je velmi důležité, aby žáci měli zaváděný teoretický aparát propojený s konkrétními představami. K tomu se samozřejmě nejlépe hodí experimenty, na kterých probírané pojmy názorně prozkoumáme.

Pomůcky k takovýmto experimentům jsou snadno dostupné – stačí několik závažíček, nití nebo provázek, pružina, stopky... V takovémto případě jde ale o pokusy, které jsou poněkud nudné, i když velmi důležité (což ale žáci možná příliš neocení). Mnohem zajímavější je, když k experimentování použijeme netypické pomůcky. Pokud učitel přijde do hodiny se smetákem, dvěma kbelíky a podobným vybavením, žáci pravděpodobně zpozorní už při tomto jeho příchodu. Vždyť kdo by čekal, že zrovna toto jsou pomůcky k poměrně nároč-

nému tématu, které zrovna probírají. Pojďme se podívat, jak jít na kmitání s kbelíky.

## **Několik námětů na pokusy s kmitajícími kbelíky**

### **1. Pozor na nos**

V prvním z našich pokusů sice bude kmitat kbelík, ale samotného mechanického kmitání se tento pokus dotýká pouze okrajově. Pokusem budeme demonstrovat platnost zákona zachování energie.

Kbelík upevníme na tzv. bifilární závěs. Vyrobíme ho tak, že uchem kbelíku provlékneme provázek a zhruba uprostřed ho k uchu kbelíku případně přivážeme. Provázek musí být dostatečně pevný, aby se kbelík při kývání na závěsu neutrhl. Oba konce závěsu roztáhneme (provázek vytvoří tvar písmene V) a upevníme je k nějakému vhodnému držáku. Kbelík bude potom kmitat v jedné rovině, což pro tento pokus potřebujeme. Můžeme použít improvizovaný závěs, kdy konce provazu přivážeme na násadu smetáku, nebo na vhodnou tyč a tu položíme třeba mezi dva stoly, případně ji ještě můžeme podložit židlemi.

Vše uspořádáme tak, aby kbelík při kmitání do ničeho nenarazil. Rozhoupeme kbelík a jeho pohyb rozebereme z energetického hlediska. Při počátečním vychýlení získá kbelík určitou potenciální energii (v tíhovém poli), při pohybu se potom tato energie mění v energii kinetickou a naopak. Součet kinetické a potenciální energie představuje celkovou mechanickou energii kbelíku, a ta by za ideálních podmínek zůstávala stále stejná. Dochází ale k přeměně energie na jiné její formy a mechanická energie se zmenšuje. Se žáky můžeme diskutovat o tom, na jaké formy se energie mění, odkud se vzala počáteční potenciální energie a nakonec dojdeme k tomu, že celková energie, která se našeho experimentu týká, se stejně jako v jakékoli jiné situaci ani neztrácí, ani nevzniká, ale zachovává se.

Nyní přejdeme k „akční části“ experimentu. Vybereme dobrovolníka z řad žáků, ten se posadí na židli a těsně k jeho nosu vychýlíme kbelík. Žákovi řekneme, aby nehýbal hlavou, a kbelík pustíme. Musíme ho skutečně jenom pustit, nesmíme do něj strčit. Kbelík se při návratu k žákovu nosu těsně přiblíží, ale nedotkne se ho. Pokus rozebereme opět z hlediska zákona zachování energie. Kbelík nemůže získat větší energii, než byla jeho potenciální energie v okamžiku puštění od nosu.



Obr. 1 Kbelík se vrátí skoro až k nosu

## 2. Kbelík jako matematické kyvadlo?

Kbelík, zavěšený na provazu (nejlépe na bifilárním závěsu, který byl popsán v předchozím textu) můžeme použít jako model matematického kyvadla. Nejprve se žáky prodiskutujeme, čím vším se naše kbelíkové kyvadlo od matematického kyvadla liší. Upozorníme je na to, že matematické kyvadlo je pouze modelem kyvadla skutečného (těžko zrealizujeme hmotný bod zavěšený na nehmotném závěsu...). Diskuze je tedy vhodná i k tomu, abychom objasnili funkci modelů ve fyzice. Během provádění pokusu si žáci zdokonalí mnoho experimentálních dovedností. Problémem bude, jak určit délku kyvadla – měli bychom změřit vzdálenost závěsu od těžiště kbelíku, jehož polohu žáci odhadnou. Žáci změří periodu kmitů a porovnají ji se vzorcem pro periodu kmitů matematického kyvadla. Další věcí, kterou je možné prozkoumat, je např. závislost periody na rozkmitu kyvadla. Na kmitajícím kbelíku můžeme žákům ukázat téměř vše, co bychom jim mohli předvést i se závažím na niti, kbelík je ale atraktivnější.



Obr. 2 Kbelík na bifilárním závěsu a detail uchycení závěsu ke smetáku



### **3. Smeták a kbelíky – názorná demonstrace závislosti periody kmitání na délce kyvadla**

U kyvadla je jedním z nejdůležitějších vztahů závislost periody na délce kyvadla. Kvalitativně tuto závislost ukážeme následujícím pokusem. Připravíme si dva stejné kbelíky na bifilárních závěsech a smeták s dlouhou násadou. Místo smetáku můžeme použít dřevěnou nebo kovovou tyč. Smeták, nebo tyč podložíme nebo necháme držet dvěma žákům. Závěsy kbelíkových kyvadel přehodíme přes násadu smetáku, každý závěs přitom držíme v jedné ruce. Taháním závěsů přes smeták nastavíme stejnou délku obou kyvadel a kbelíky rozkmitáme. Délku jednoho z kbelíkových kyvadel necháme stále stejnou, druhý závěs postupně zkracujeme (jednoduše taháním za provazový závěs). Je vidět, že se perioda kmitů při zkracování délky závěsu zmenšuje. Nepoznáme sice, jak konkrétně perioda na délce kyvadla závisí, ale velmi názorně je vidět, že kratší kyvadlo znamená kratší periodu.



Obr. 3 Jeden závěs má stálou délku (kbelík vlevo), délku druhého měníme taháním za závěs (kbelík vpravo)

#### **4. Kbelíky pomáhají ozřejmit pojmy fáze a fázový posuv**

Pojmy fáze a fázový posuv jsou žákům často málo jasné. Jednoduše jim je můžeme demonstrovat dvojicí kbelíkových kyvadel. Stejně jako v předchozím pokusu použijeme dva stejné kbelíky s bifilárními závěsy. Oba závěsy přivážeme k násadě smetáku, nebo ke vhodné tyči a podložíme ji. Kbelíky rozkmitáme tak, aby kmitaly ve fázi, v protifázi nebo s nějakým fázovým posuvem. Pojmy kmitání se stejnou fází, s opačnou fází apod. lze tímto pokusem velmi názorně objasnit.



Obr. 4 Kbelíky kmitající ve fázi (vlevo) a s opačnou fází (vpravo)

#### **5. Harmonický kbelík – na čem závisí perioda kmitů harmonického oscilátoru**

V tomto pokusu opustíme kyvadla a budeme se zabývat kmity na pružině, tedy lineárním harmonickým oscilátorem. Připravíme si několik pružin o různé tuhosti. Pružinu zavěsíme na vhodný stojan, nebo jiný držák. Zavěsíme na ni kbelík a rozkmitáme ho. Na kmitajícím kbelíku připomeneme žákům pojmy amplituda, frekvence, perioda, zmíníme se také o tuhosti pružiny. Kmitavý pohyb kbelíku na pružině můžeme např. prodiskutovat i z energetického hlediska a vhodné je také připomenout, co znamená to, že pohyb je harmonický.

Nyní přejdeme k hlavnímu úkolu – zjistit, na čem závisí frekvence (perioda) našeho kbelíkového harmonického oscilátoru. Žáci zavěšují kbelík na různé pružiny, u kterých předem změřili jejich tuhost (jednoduše tak, že změřili, o jakou hodnotu se pružina protáhla po zatížení závažím známé hmotnosti). Nepodaří se sice asi určit, jak přesně frekvence na tuhosti závisí, ale to, že větší tuhost znamená větší frekvenci, je zřejmé (nejedná se ale o přímou úměrnost). V další části zkoumání kbelíkového oscilátoru použijeme jednu pružinu a kbelík zatěžíme pomocí závaží, která do něho vkládáme. Závislost frekvence na hmotnosti kbelíku také zjistíme pouze kvalitativně, ale i to je důležitý výsledek.



Obr. 5 Kbelík kmitající na pružině

## **6. Sprážené kýblovky**

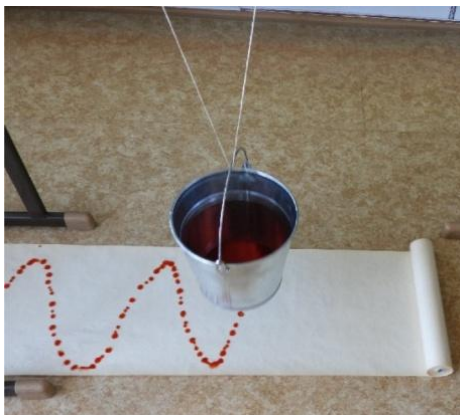
Pomocí kbelíků lze dobře demonstrovat i sprážená kyvadla. Vhodné jsou ale lehčí kyblíky, třeba plastové na písek nebo větší kelímky od jogurtů, které mají ucho. Potřebujeme ještě modelářskou gumu s větším průřezem. Gumu provlékneme uchy kbelíků a napneme ji. Jeden kbelík rozkmitáme a sledujeme, jak se postupně rozkmitá i druhý kbelík a první se zastaví. Děj se opakuje, ale díky ztrátám mechanické energie se kmitání postupně utlumí. Rychlost, se kterou si kbelíky energii předávají, můžeme regulovat napnutím gumy, při větším napnutí je vazba těsnější a energie se předává rychleji.



Obr. 6 Sprážená kyvadla realizovaná plastovými kbelíky na gumě

### **7. Kbelík kreslí záznam svého pohybu**

K tomuto pokusu použijeme kbelík s dírkou (cca 1-2 mm v průměru) uprostřed dna. Kbelík přivážeme k bifilárnímu závěsu a umístíme pod něj pás papíru. Nalijeme do kbelíku trochu obarvené vody a rozkmitáme ho. Kolmo k rovině kmitů táhneme po zemi pás papíru (hodí se například role balicího papíru). Papír se snažíme táhnout rovnoměrně. Vytékající voda kreslí na papír hezkou sinusovku. Tímto způsobem ukážeme, jak zhruba vypadá graf časové závislosti kmitů kyvadla. Žáci vidí, jak graf vznikl a budou mu proto lépe rozumět.

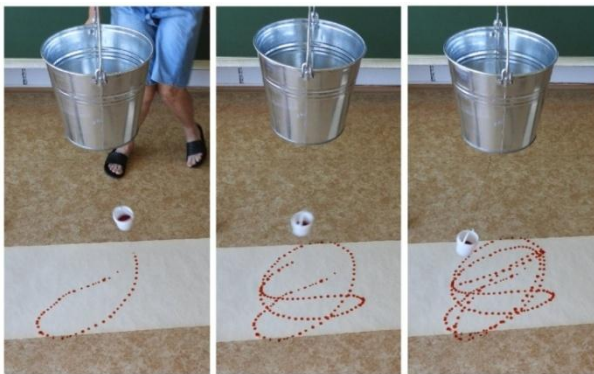


Obr. 7 Pod kmitajícím kbelíkem, z něhož kape obarvená voda, táhneme rovnoměrně papír – získáme hezký grafický záznam kmitů

## 8. Artdžbero – kreslení kbelíkem

Poněkud fádně bývá tento experiment nazýván Lissajousovými obrazci a ještě méně poeticky skládáním kolmých kmitů...

K pokusu použijeme kbelík s provrtaným dnem a kelímek s dírkou ve dně (průměr dírký zvolíme takový, aby z něj voda, kterou ho naplníme, vytékala tenkým pramínkem, nebo jenom rychle vykapávala). Dále si opatříme arch (lépe více archů) obyčejného balicího papíru. Kbelík přivážeme na provaz tak, aby kmital přibližně v jedné stálé rovině. Toho nejlépe docílíme bifilárním závěsem (ucho je přivázáno ke dvěma provazům vytvářejícím „písmeno V“). Dírkou ve dně kbelíku protáhneme tenký provázek (popř. reznou nit), zajistíme ho uzlíkem, korálkem apod., aby z kbelíku nevyklouzl, a přivážeme na něj kelímek. Délka závěsu kelímku může být například půl metru. Dírkou ve dně kelímku něčím ucpeme, nebo jenom uzavřeme prstem a do kelímku nalijeme obarvenou vodu. Pod kelímek na zem rozprostřeme balicí papír. Bifilární závěs kbelíku můžeme opět upevnit na smeták či tyč a tu položit přes dva stoly či ji nechat přidržet dvojicí žáků. Provazy zvolíme dostatečně dlouhé, abychom mohli měnit délku závěsu kbelíku a tedy periodu jeho kmitů. Rozkmitáme kbelík a kelímek tak, aby kelímek kmital kolmo k rovině kmitů kbelíku. Pozorujeme, jaké obrazce kreslí voda na papíru. Poté změníme délku závěsu kbelíku, papír posuneme a opět si prohlédneme nakreslený obrazec. Když se nám podaří, aby kbelík a kelímek kmitaly se stejnou periodou, nakreslí vytékající voda kružnici, nebo elipsu. Další typické Lissajousovy obrazce získáme, když periody kmitů kbelíku a kelímku budou v poměru malých celých čísel (1:2, 2:1, 1:3, 2:3 apod.).



Obr. 8 Skládání zhruba vzájemně kolmých kmitů – Lissajousovy obrazce

## Zapojení soutěže Fyziklání do programu Erasmus+

DANIEL DUPKALA, VOJTĚCH DAVID

Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, Praha

### Abstrakt

*Soutěž Fyziklání organizovaná korespondenčním seminářem FYKOS na MFF UK se v průběhu posledních let významně rozšířila a již pravidelně se jí účastní i zahraniční týmy. V roce 2022 bylo Fyziklání součástí Erasmus+ programu nazvaného Fyziklani International 2021. Tento projekt byl původně plánovaný na rok 2021, ale z důvodu nepříznivé pandemické situace musel být přesunut na rok 2022. Programu se zúčastnilo 52 účastníků z celkem šesti zemí, kteří spolu se svými vedoucími strávili v Praze sedm dní. V rámci bohatého programu se kromě samotné soutěže Fyziklání a jejího doprovodného programu zúčastnili také dalších aktivit a exkurzí. Příspěvek podrobněji prezentuje program Fyziklani International, jeho výsledky a celkové zhodnocení zapojení do programu Erasmus+.*

### O soutěži

Fyziklání je největší prezenční týmovou fyzikální soutěží v ČR s dlouholetou tradicí. V roce 2022 jsme v Praze již po šestnácté přivítali středoškoláky se zájmem o fyziku, kterých se i přes stále poměrně nejasnou epidemickou situaci zúčastnilo 776. V rámci soutěže se týmy složené z až pěti žáků pokoušejí vyřešit co nejvíce zajímavých fyzikálních úloh v časovém limitu tří hodin. Fyziklání ale není jenom soutěž; pro všechny zájemce je připraven bohatý víkendový doprovodný program zahrnující přednášky, exkurze na rozličná vědecká pracoviště a různé druhy socializačních aktivit. Účastníci tak mají možnost nejen porovnat své vědomosti a zkušenosti v řešení fyzikálních problémů, ale také se dále vzdělávat, objevit nové příležitosti, poznat nové lidi a v neposlední řadě si užít příjemný víkend v Praze.

Od roku 2018 lze také soutěžit v anglickém jazyce, což účast umožňuje také zahraničním týmům. Pro ty ale soutěž v Praze představuje jistý logistický problém – za účelem podpory jejich účasti vznikl projekt **Fyziklani International 2021** v rámci programu Erasmus+. Projekt byl původně naplánován na rok 2021, ale kvůli pandemii covidu-19 musela být jeho realizace přesunuta na rok 2022. Do programu se zapojilo celkem 52 účastníků z šesti zemí světa.

## Cíle a program projektu Fyziklani International 2021

Mezi hlavní cíle projektu patřilo (mimo usnadnění účasti na soutěži Fyziklání) povzbuzení žáků do dalšího studia fyziky a příbuzných oborů, poskytnutí nových informací a příležitostí. Pro žáky tak byl kromě doprovodného programu k soutěži samotné přichystán týdenní program, v rámci kterého se zúčastnili exkurzí do různých vědeckých (ELI Beamlines, tokamak Golem na FJFI, ...) i populárně-vědeckých (iQLANDIA Liberec) center. Do programu byly také zařazeny různé socializační a poznávací aktivity za účelem vytvoření přátelského prostředí, navázání nových kontaktů a poskytnutí vhledu do jiného kulturního prostředí. Za zmínku stojí například *Večer národů*, na kterém účastníci prezentovali typické jídlo a kulturní zvyky ze svých zemí.

## Zpětná vazba a zhodnocení

Za účelem zhodnocení splnění cílů projektu a zhodnocení jeho průběhu účastníci poskytovali zpětnou vazbu prostřednictvím dotazníku a reportáží z akce. Měli možnost vyjádřit se jak k celkovému průběhu, tak k jednotlivým bodům programu a taktéž byla prostřednictvím nástroje IMI (*Intrinsic Motivation Inventory*) vyhodnocována jejich vnitřní motivace. Nejen z vyhodnocení, ale i z průběžné komunikace s účastníky vyplynulo, že akce vyvolala velmi pozitivní ohlasy. Pro ukázkou můžeme níže citovat ze zpětné vazby poskytnuté rumunským týmem, který letošní ročník Fyziklání vyhrál.

*„The problems required creativity, and also the opportunity to collaborate with others has been very valuable when it comes to science.*

*Although both teams won the first prize in their category, I think we can all agree that the Fyziklani experience itself is more memorable than the gold medal.“*

Také po organizační stránce můžeme konstatovat, že akce proběhla úspěšně. Dotazníky i reportáže značí naplnění stanovených cílů a při samotné akci nenastaly žádné větší organizační komplikace. Podařilo se také vyvrátit obavy, že bude program komplikovat průběh samotné soutěže (např. větším vytížením organizátorů). Naopak se ale podařilo po organizační stránce vše vyladit a program soutěži pomohl zvýšením jejího dosahu.

Mezi negativa a hlavní komplikace patřila již zmíněná pandemie, která způsobila posunutí programu o rok. To ztížilo shánění účastníků (resp. partnerů v rámci projektu), ale nakonec se vše bezproblémově podařilo zorganizovat o rok později. V neposlední řadě také musíme zmínit zdolnou a náročnou byrokracií, která se pojila s programem Erasmus+.

### **Výhledy do dalších let**

Pozitivní výsledky poukázaly na smysluplnost pokračování ve snaze i nadále rozšiřovat mezinárodní dosah soutěže. Fyziklání se rok od roku rozrůstá a pracujeme na zvyšování kvality celkového zážitku, který si z něj účastníci odnesou. I proto má smysl klást důraz na doprovodný program, který z Fyziklání dělá komplexní akci oslavující fyziku jako vědecký obor. Fyziklání 2023 se bude konat 10. 2. 2023 v Praze.



## Jak věci padají (ve vzduchu)

LEOŠ DVOŘÁK

Katedra didaktiky fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta UK

### Abstrakt

*Příspěvek ukazuje, jak pomocí jednoduchých pokusů s pádem těles demonstrovat, že síla odporu prostředí je úměrná druhé mocnině rychlosti a jak přitom přibližně určit koeficient odporu. Ilustruje také, jak při měření a zpracování výsledků užít prostředky ICT (video natočené běžným fotoaparát, programy Tracker a Excel) a upozorňuje, že problematika koeficientu odporu prostředí není tak jednoduchá, jak si při pohledu na klasický školní vzoreček často představujeme.*

### Úvod

Bez odporu prostředí věci na Zemi padají samozřejmě volným pádem s tíhovým zrychlením  $g$ . Při pádu v odporujícím prostředí – budeme přitom vždy uvažovat vzduch – podle teorie jejich pád brzdí odporová síla

$$F_o = \frac{1}{2} C S \rho v^2, \quad (1)$$

kde  $v$  je rychlost tělesa,  $\rho$  hustota vzduchu,  $S$  plocha příčného průřezu tělesa a  $C$  koeficient odporu, který závisí na tvaru tělesa. Tento vzorec najdeme třeba ve středoškolské učebnici mechaniky [1]. Koeficient odporu je tam uveden například pro kouli, jeho hodnota se uvádí  $C = 0,48$ .

Při pádu tělesa hmotnosti  $m$  ve vzduchu se po nějaké době prakticky vyrovná tíhová síla  $mg$  s odporovou silou. Těleso pak padá *mezní rychlostí*  $v_m$ , pro niž z (1) a  $F_o = mg$  plyne

$$v_m^2 = \frac{2mg}{CS\rho}. \quad (2)$$

Jak ověřit, že odporová síla je skutečně úměrná druhé mocnině rychlosti?

Vztah (2) na to poskytuje zřejmý návod: Když k tělesu přidáme zátěž, takže bude dvakrát těžší (a nezměníme přitom jeho tvar ani rozměry), vzroste rychlost pádu podle dané teorie  $\sqrt{2}$ -krát (tedy asi o 40 %). Když bude těleso čtyřikrát těžší, vzroste rychlost na dvojnásobek. A to lze pokusem ověřit. Kdyby

byla odporová síla úměrná jen první mocnině rychlosti, byly by rychlosti pádu dvakrát a čtyřikrát větší než s původní hmotností – a to už je výrazný rozdíl, který se projeví i v jednoduchých pokusech.

Navíc, když změříme rychlost pádu, můžeme zřejmě určit i hodnotu koeficientu odporu prostředí; z (2) přece okamžitě vidíme, že

$$C = \frac{2mg}{S\rho v_m^2}. \quad (3)$$

Takže se zdá, že vše je naprosto jednoduché a každý, kdo je vybavený pravitkem, stopkami a kalkulačkou, může potřebné ověření provést a příslušné veličiny proměřit... Nebo ne? Pojďme se na několik pokusů s jednoduchými pomůckami, které lze udělat ve třídě, podívat trochu podrobněji a ukázat jak jejich výhody, tak omezení a záludnosti.

### Nejjednodušší demonstrační pokus

Za pokus, kterým začneme, musím vzdát díky dnes už nežijícímu profesorovi *Ericu Rogersovi*, což byla slavná osobnost v oboru fyzikálního vzdělávání. Pokus jsem viděl na jeho přednášce v roce 1985 na konferenci v maďarském Balatonalmádi, a nepřestává se mi líbit dodnes.

Stačí k němu list kancelářského papíru A4. Ze stran jej ohneme, takže vznikne jakési „korýtko“. Díky tomu se při pádu ve vzduchu příliš nekývá do stran a padá vcelku „civilizovaně“. (Ohnuté okraje nemohou být příliš úzké, to by se papír příliš kolébal, vyhoví ohnutí v šířce 3 cm.)



Obr. 1 „Korýtko“ z papíru A4 pro demonstraci pádu s odporem prostředí

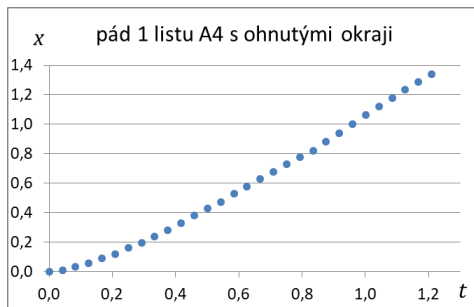
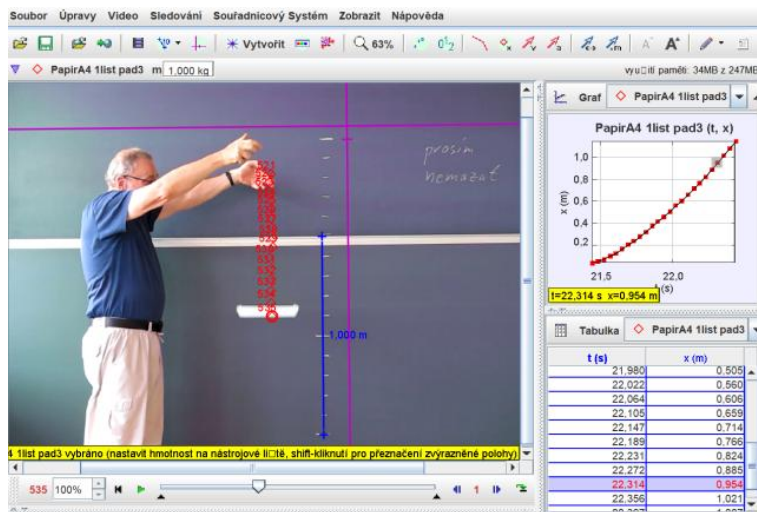
Žáky resp. studenty požádáme o měření času, zvedneme „korýtko“ oběma rukama co nejvýš a pustíme. (V mladším věku jsem přitom lezl na stůl, aby papír padal z co největší výšky.) Papír padá relativně pomalu, takže čas pádu jde alespoň přibližně určit celkem dobře. Čas pádu zapíšeme.

Pak dovnitř „korýtko“ vložíme na polovinu přeložený papír A4, tím se tíhová síla zvětší dvakrát. Se žáky/studenty dojdeme úvahou k tomu, že kdyby odporová síla byla přímo úměrná rychlosti, měla by rychlost pádu vzrůst dvakrát. Při pádu ze stejné výšky by tedy čas měl klesnout na polovinu. Pokus ale ukáže, že klesne jen asi na 70 %. Teprve, když do „korýtko“ dáme tři papíry (takže tíhová síla bude čtyřnásobná), klesne doba pádu zhruba na polovinu původní doby. Odtud je vidět, že  $F_o \sim v^2$ .

S patřičným komentářem jde o pokus přesvědčivý. Je ovšem jasné, že poměry časů budou jen přibližné. Jednak ruční měření stopkami, ať už skutečnými či na mobilu, není příliš přesné. A navíc, při pokusu měříme vlastně průměrnou rychlost pádu, nikoli mezní rychlost  $v_m$ . Používat vztah (2) je tedy vlastně docela odvážné. (Ještě se mi nestalo, že by to studenti označili „pěknou lumpárnu“, ale možná to některé už napadlo...) Je proto myslím důležité neskryvat, že jde jen o určité přiblížení, s nímž můžeme pracovat jen díky tomu, že reálně se rychlost ustálí již vcelku brzy po začátku pádu.

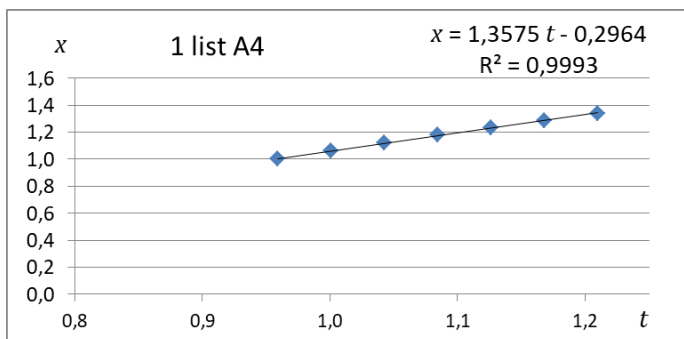
### **Jak padá „korýtko“ z papíru: měření**

Abychom se přesvědčili, jak pád „korýtko“ z papíru probíhá, můžeme ho natočit na video a to pak analyzovat v programu Tracker (viz např. [4]). V našem případě bylo video natočeno obyčejným fotoaparátem, konkrétně starším typem Canon PowerShot S52, se snímkovou frekvencí 24 snímků/s. „Korýtko“ padalo před tabulí, na níž byly nakresleny značky, které umožňují nastavit v programu Tracker kalibraci pro odečítání délek. Fotoaparát byl od tabule vzdálen 3 metry, přední hrana „korýtko“ byla asi 25 cm od tabule. Program Tracker pro videoanalýzu byl ve verzi 5.05, data (polohy v různých časech) byla exportována do Excelu. Příklad analýzy i výsledného grafu ukazuje obr. 2. (Poznámka: Časové údaje z videoanalýzy samozřejmě dávají čas od začátku nahrávání videa, pro graf od nich byl odečten čas, kdy předmět začal padat, aby čas v grafu začínal od nuly. Podobně byl upraven i počátek souřadnice  $x$ .)



Obr. 2 Měření pádu „korýtky“ z papíru A4 – analýza videa v programu Tracker a graf výsledků v Excelu

Z grafu je dobře vidět, že pohyb je po několika desetínách sekundy zřejmě už s dobrou přesností rovnoměrný a rychlost je tedy už blízka mezní rychlosti. Rychlost ke konci pádu můžeme z grafu pohodlně určit tak, že necháme Excel proložit daty (až od určitého času) lineární spojnicí trendu, jak to ukazuje obr. 3.



Obr. 3 Určení rychlosti ke konci pádu proložením spojnice trendu v Excelu (tedy lineární závislosti souřadnice na čase)

Ze zobrazené rovnice spojnice trendu pak už okamžitě vidíme rychlost pádu, z obr. 3 tedy odečteme, že rychlost je 1,3575 m/s. (Počet desetinných míst, na něž má být údaj zobrazen, si lze v Excelu zvolit.) Tuto hodnotu už můžeme prakticky vzít za mezní rychlost.

Ovšem pozor! Nesmíme si myslet, že když z počítače odečteme hodnotu na tolik desetinných míst, těleso opravdu padalo s takto přesnou rychlostí! Což o to, nám je to asi všem jasné, ale musíme tuto svůdnou představu „vyšlo to na počítači, tak to tak je“ vyvrátit u našich žáků a studentů.

K vyvrácení dané představy může pomoci opakované měření. V našem případě jsem v rámci jednoho videozáznamu nechal papírové „korýtko“ padat osmkrát. Analýza videa dala ve dvou případech hodnoty, které se výrazněji odlišovaly od ostatních. Zřejmě šlo o hrubé chyby, způsobené patrně výrazným kolébáním, otáčením nebo klouzáním papírového „korýtko“. Zbýlých šest měření dalo rychlosti 1,309, 1,358, 1,461, 1,411, 1,451 a 1,366 m/s. Průměr z těchto hodnot byl 1,393 m/s, směrodatná odchylka byla 0,054 m/s. Uvádět rychlost na tisíciny m/s nebo přesněji tedy zjevně postrádá smysl.

### Výsledky měření – a co nám říkají o jednoduchém demonstračním pokusu

Když vezmeme uvedený průměr rychlostí, tedy asi 1,39 m/s, za hodnotu mezní rychlosti a spočteme podle vztahu (3) hodnotu koeficientu odporu, dostaneme  $C \doteq 1,20$ .

To je až překvapivě dobrý výsledek. Wikipedie na stránce [5] uvádí pro plochou desku hodnoty koeficientu  $C$  jednak 1,17 (v malém obrázku na stránce vpravo) a jednak 1,28 (v tabulce). Hodnoty pocházejí z různých zdrojů a jejich

rozdílné hodnoty ukazují, že v určení hodnot  $C$  zdaleka nemusí panovat shoda. K tomu, že pro stejné tvary těles může být  $C$  různé, se ještě vrátíme u pádů koulí.

Při jednoduchém měření v rámci demonstračního pokusu ovšem měříme celkový čas pádu a z něj dostaneme průměrnou rychlost pádu. V našem případě pádu „korýtka“ z jednoho listu papíru je průměrná rychlost asi 1,08 m/s (opět vypočteno z šesti měření). To je asi 78 % mezní rychlosti. Šlo o pády z výšky necelých 1,5 m, při pádu z větší výšky (například když pro puštění tělesa vylezeme na stůl) si průměrná a mezní rychlost budou bližší.

Ani stanovení mezní rychlosti analýzou videa ovšem nedá v našem jednoduchém pokusu pro závislost odporu prostředí na rychlosti nijak zvlášť přesné výsledky. Tabulka 1 ukazuje naměřené mezní rychlosti pro jeden papír tvořící „korýtko“ a při zatížení dalšími listy papíru. Teoreticky by mezi rychlosti pádu měly být vyšší,  $\sqrt{2}$ -krát,  $\sqrt{3}$ -krát a  $\sqrt{4}$ -krát. Při praktickém měření jsou tyto poměry asi o 5 % nižší, v jednom případě je rozdíl ještě větší. (Přitom rychlosti byly vždy určovány z více měření.) Bylo by asi vhodné tato měření zopakovat a snažit se je zpřesnit; zde schválně prezentuji i méně přesné výsledky, aby bylo vidět, že hodnoty někdy nemusí příliš „sedět“.

Tab. 1. Mezní rychlosti pádu „korýtek“ z papírů A4, zatížených zevnitř dalšími listy papíru.  $v_m/v_{m1}$  je poměr mezní rychlosti k rychlosti korýtka z jediného listu. Ve vedlejším sloupci je  $\sqrt{(F/F_1)}$  odmocnina poměru tíhových sil, té by se poměr  $v_m/v_{m1}$  měl rovnat. (Ve dvou posledních sloupcích by tedy v ideálním případě měly být stejné hodnoty.)

Počet listů A4	Hmotnost (g)	$v_m$ (m/s)	$v_m/v_{m1}$	$\sqrt{F/F_1}$
1	5	1,39	1,00	1,00
2	10	1,90	1,36	1,41
3	15	2,17	1,56	1,73
4	20	2,61	1,87	2,00

Průměrné rychlosti, které by se určovaly z celkové dráhy a celkového času, by vedly k ještě o něco horším poměrům. (Pro celkovou zátěž 4 listů papíru vychází průměrná rychlost jen asi 1,7krát vyšší než pro jediný list papíru.)

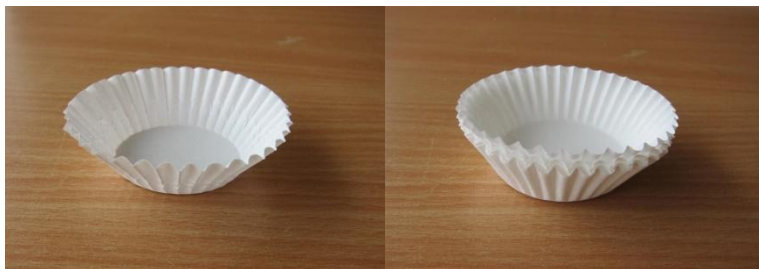
### **Co si z toho odnést**

Můžeme uzavřít, že daný demonstrační pokus umožňuje rozhodnout, jestli je odporová síla úměrná první nebo druhé mocnině rychlosti, ale přesnější výsledky nedá. Je to asi způsobeno i tím, že „korýtka“ přece jen nepadají přesně svisle, mohou při pádu trochu klouzat do stran, kývají se, někdy také natáčíjí, takže rozhodně nejde o případ, kdy by jejich spodní plocha byla přesně kolmá na směr jejich rychlosti.

Poznamenejme ještě, že uvedené nepřesnosti se ještě více projevují v hodnotách koeficientu  $C$ , pro více zatížené „korýtko“ dostáváme až neadekvátně vyšší hodnoty. U vyšších zatížení se možná projevuje fakt, že rychlost ke konci pádu ještě není dostatečně blízká mezní rychlosti, tento vliv uvidíme v dalších pokusech. Jednoduchý pokus s papírovými „korýtky“ proto zřejmě není příliš vhodný k určování hodnot  $C$ .

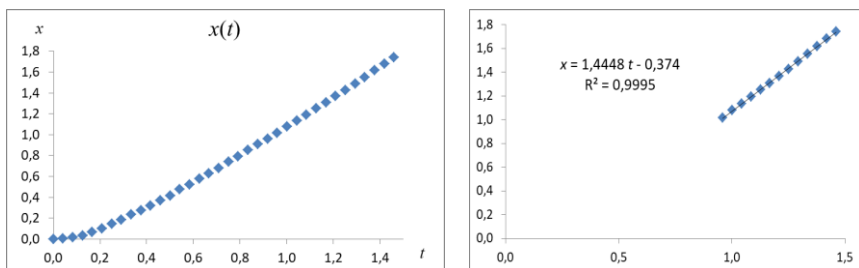
### **Pád papírových cukrářských košíčků**

Na internetu lze najít řadu stránek, kdy se k pokusu s padáním těles používají kávové filtry, viz např. [6]. Jejich výhodou je, že se dají skládat do sebe a lze tak lehce měnit tíhovou sílu, podobně, jako jsme to u papírového „korýtka“ dělali přidáváním listů papíru. Navíc padají opravdu stabilně, nekývou se. V našem případě jsme užili podobně vypadající cukrářské košíčky na muffiny, viz obr. 4. Košíčky měly průměr 7 cm, hmotnost 0,312 g.



Obr. 4 Papírové cukrářské košíčky, které se hodí pro pokusy s pády

Obr. 5, získaný opět z dat z videa analyzovaného v Trackeru, ukazuje, že se rychlost velmi brzy ustálí, mezní rychlost tedy můžeme odečíst přímo z grafu proložením lineární závislosti body ve vyšších časech, viz obr. 5 vpravo.



Obr. 5 Pád papírového cukrářského košíčku

Následující tabulka ukazuje takto zjištěné mezní rychlosti pro jeden a několik složených košíčků. Hodnoty v tabulce jsou průměrem vždy z pěti analyzovaných pádů, navíc jsou už korigovány na to, že košíčky padaly zhruba 10 cm před tabulí.

Tab. 2. Mezní rychlosti pádu papírových košíčků (jednoho resp. více složených do sebe).  $v_m/v_{m1}$  je poměr rychlosti více složených košíčků k rychlosti jediného košíčku.

Počet košíčků	$v_m$ (m/s)	$v_m/v_{m1}$	$C$
1	1,39	1,00	0,70
2	2,05	1,47	0,64
4	2,89	2,06	0,66
9	3,79	2,73	0,86

Vidíme, že pro 2 a 4 košíčky složené do sebe poměr  $v_m/v_{m1}$  zhruba odpovídá očekávaným hodnotám. I vypočtené hodnoty koeficientů  $C$  jsou s jistými odchylkami vcelku podobné, odchylky jsou menší než deset procent. Pro 9 košíčků však už výsledek příliš „nesedí“.

Je to dáno tím, že pád už je rychlejší, trvá kratší dobu, a rychlost pádu se nestačí dostatečně přiblížit mezní rychlosti.



Bylo by proto dobré mít představu, minimálně pro případné šťouravé dotazy žáků a studentů, jak se rychlost pádu přibližuje mezní rychlosti. V tom nám pomůže trocha teorie.

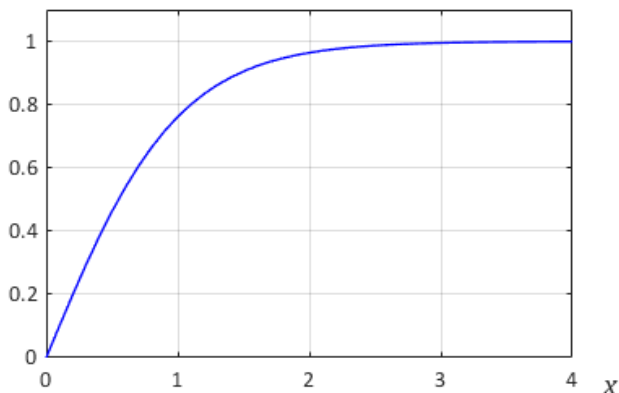
### Pád pod vlivem odporové síly úměrné $v^2$ : teorie

Spočítat, jak se těleso pohybuje, když na něj působí síla  $F_x = mg - \frac{1}{2} C S \rho v_x^2$ , je věcí vysokoškolské fyziky. Odvození na pokročilé středoškolské úrovni (ovšem s využitím Wolfram Mathematica případně s alternativním zdůvodněním typu „v tomto bodě se zeptáme matematiků, a ti nám řeknou, že ...“) je uvedeno v článcích [2] a zejména [3]. (V nich jde o padající kouli, ale výsledek obecně platí pro i pro jiná tělesa.)

Rychlost pádu vychází

$$v_x = v_m \tanh(t/\tau). \quad (4)$$

Zde  $v_m$  je mezní rychlost, konstanta  $\tau$  je charakteristická doba přibližování rychlosti k rychlosti mezní a funkce  $\tanh$  je *hyperbolická tangenta*. (Můžeme ji najít na lepších kalkulačkách.) Průběh této funkce ukazuje obr. 6. Vidíme (resp. na kalkulačce si lze ověřit), že pro  $t = \tau$  je  $v \doteq 0,76 v_m$ , pro  $t = 2\tau$  je  $v \doteq 0,96 v_m$ . S rostoucím poměrem  $t/\tau$  pak odchylka rychlosti od rychlosti mezní exponenciálně klesá.



Obr. 6 Průběh funkce  $\tanh(x)$  ukazuje, jak se rychlost s časem blíží rychlosti mezní

Chceme-li ze záznamu pádu tělesa určovat jeho mezní rychlost, je zřejmé, bychom to měli dělat až v časech vyšších než asi  $2\tau$ . (A ještě raději pro  $t > 3\tau$ , to už je odchylka rychlosti od mezní rychlosti menší než půl procenta.) Přitom charakteristická doba a mezní rychlost jsou svázány vztahem

$$v_m = g \tau . \quad (5)$$

Z rychlosti lze spočíst i závislost souřadnice na čase, viz [3] nebo nějakou VŠ učebnici mechaniky. Výsledek má tvar

$$x = g \tau^2 \ln(\cosh(t/\tau)) . \quad (6)$$

Funkční závislost vypadá na první pohled složité, ale spočíst její hodnoty na kalkulačce není problém. Jak ale dopadne srovnání této teorie s experimentem?

### Porovnání teorie a experimentu: padající papírové košíčky

Porovnat teorii a realitu můžeme právě na příkladu padajících devíti papírových košíčků složených v sobě.

### „Fitování“ teoretické závislosti

Zkusíme tedy na naměřená data „nafitovat“ závislost (6). Fitování můžeme dělat v Excelu pomocí doplňku Řešitel. Možná jej budete muset v Excelu zapnout resp. zavést. Stojí to za to, je to užitečná věc.

Ovšem pozor, závislost (6) platí pro případ, kdy pohyb začal přesně v čase  $t = 0$  a souřadnice  $x$  měla v tom okamžiku také nulovou hodnotu. Data z Trackeru můžeme samozřejmě posunout tak, že pád bude přibližně začínat v čase 0 s hodnotou souřadnice 0, ale „ručně“ se přesně nestrefíme.

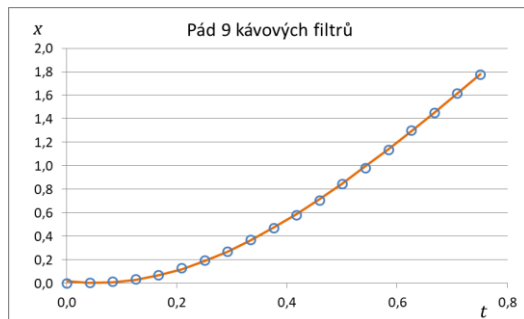
Naštěstí komponenta Řešitel v Excelu umožňuje „fitovat“ závislost i s několika parametry. V našem případě jde o závislost

$$x = g \tau^2 \ln(\cosh((t - t_0)/\tau)) + x_0 . \quad (7)$$

Řešitel tedy necháme optimalizovat parametry  $x_0$ ,  $t_0$  a  $\tau$ . Výchozí hodnoty pro  $x_0$  a  $t_0$  přitom budou nulové; výchozí hodnotu  $\tau$  pak odhadneme z (5) jako  $\tau = v/g$ , kde za  $v$  vezmeme rychlost ke konci pádu. Řešitel už si pak správné hodnoty parametrů dopočítá. (Omlouvám se, že návod, jak fitování provádět, zde neuvádím, už by tento článek příliš protáhl, zde nám jde spíše o získané výsledky.)

## Výsledky

Porovnání naměřených hodnot se závislostí (7) pro parametry nalezené Řešitelem na obr. 7 ukazuje, že teorie vystihuje skutečný pád opravdu dobře.



Obr. 7 Pád devíti složených papírových košíčků: proložení závislosti (7) naměřenými daty. Modré kroužky ukazují naměřené polohy tělesa, oranžově je teoretická závislost pro parametry nalezené Řešitelem.

Zjištěná charakteristická doba pro přibližování rychlosti k mezní je  $\tau \doteq 0,44$  s. Je vidět, že ani na konci pádu není  $t$  větší než  $2\tau$ , takže mezní rychlost opravdu nemůžeme vzít jako rovnou rychlosti na konci pádu, dopustili bychom se chyby.

Správnou mezní rychlost můžeme vypočítat z  $\tau$  pomocí vztahu (5). Dostaneme  $v_m \doteq 4,34$  m/s, tedy jasně více, než jsme uvedli v tabulce 2, kde šlo o rychlost ke konci pádu.

Poměr proti rychlosti pádu jednoho košíčku je asi 3,12, tedy blízký hodnotě 3, kterou očekáváme podle teorie. (9krát větší síle má odpovídat 3krát větší rychlost.) Rovněž koeficient  $C$ , který ze získané rychlosti vypočteme, dává hodnotu 0,64, srovnatelnou s hodnotami třeba pro 2 nebo 4 složené košíčky. Poznamenejme, že u složených košíčků ty horní poněkud přečnívají, takže vlastně jde o těleso trochu jiného tvaru, takže asi ani nemůžeme očekávat, že by koeficienty  $C$  byly naprosto stejné.

## Pád polystyrenových koulí

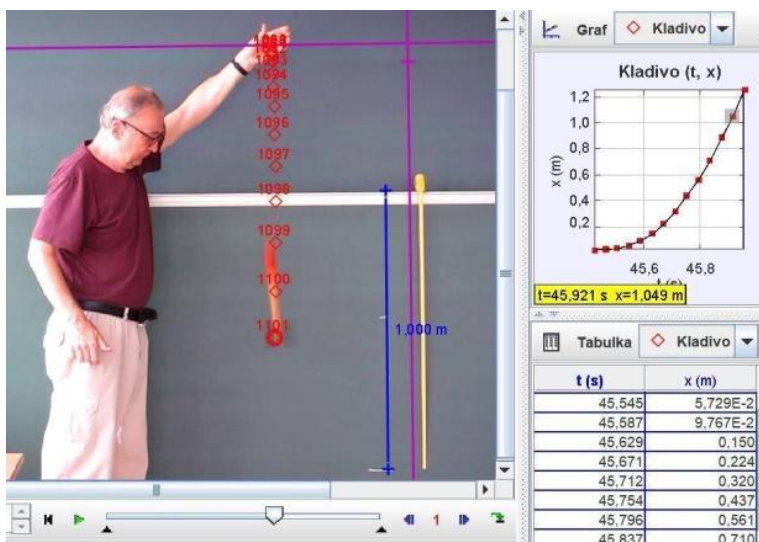
Pokusy s pádem těles jsem začal podrobněji zkoumat na „hraštickém soustředění pro budoucí učitele fyziky a spřízněné duše“ v roce 2021. Většinou šlo o pád kuželů vystřižených z papíru; výsledky jsou stručně popsány ve webo-

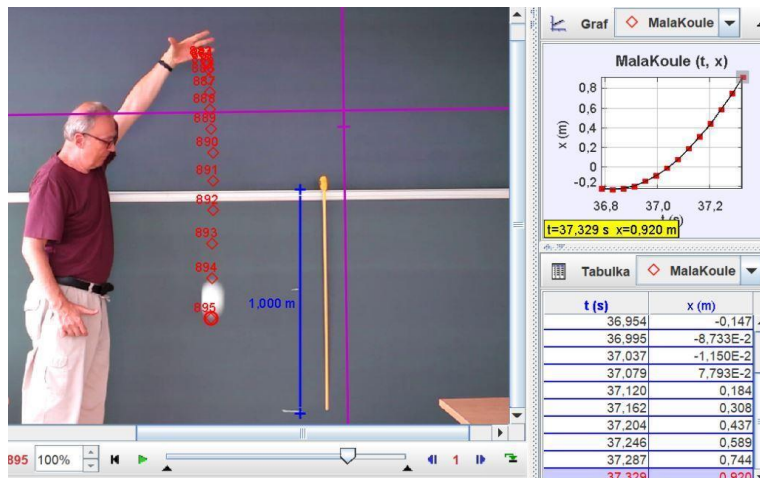
vém dokumentu [7]. Pádu kuželů by bylo potřeba se věnovat blíže a zpřesnit měření z [7]; na to však už v tomto příspěvku nezbude místo, snad jindy a jinde.

Pádu koulí však stojí za to věnovat pozornost. Jednak proto, že se často uvádí jako „typický školní“ příklad pádu v odporujícím prostředí. A za druhé proto, že měření na hraštickém soustředění se ukázala být zjevně nepřesná. Koule jsme sice nechali padat až z výšky 3,5 m, ale problém zřejmě byl se správnou kalibrací délek při natáčení videa. Koeficient  $C$  vycházel příliš malý (jen asi 0,32), což celé měření dost znevěrohodnilo.

Při měřeních v přípravě na Veletrh nápadů byly natočeny pády koulí z pěnového polystyrénu o průměrech 10 cm (plná koule, hmotnost 13,36 g) a 16 cm (dutá koule, hmotnost 26,98 g). Pády byly natáčeny fotoaparátem z maximální možné vzdálenosti v katedrální učebně, což bylo 6,3 m. Koule padaly z výšky asi 1,5 metrů, 35 cm před tabulí, na níž byly vyznačeny značky délky; souřadnice pádu se po analýze natočeného videa přepočítávala příslušným korekčním faktorem.

Abych zkontroloval, že tato korekce a vše ostatní odpovídá (například, že „nelžou“ údaje o době mezi jednotlivými snímky videa), natočil jsem pád tělesa, které téměř není ovlivněno odporem vzduchu: konkrétně šlo o kladivo. Analýzu videí s pádem kladiva a s pádem polystyrenové koule ilustruje obr. 8.

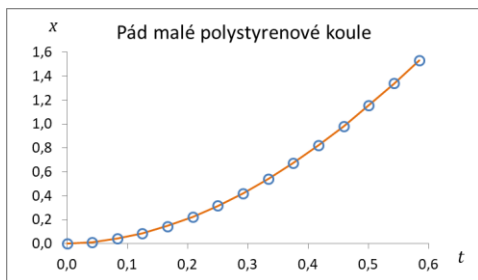




Obr. 8 Pád kladiva (pro kontrolu) a pád malé polystyrenové koule

Daty s pádem kladiva jsem nechal v Excelu proložit kvadratickou závislost, tedy parabolou. (Vždy zvlášť pro každé měření, kladivo jsem nechal padat čtyřikrát.) Kvadratický člen v proložené závislosti je polovina zrychlení. Po započtení korekce na vzdálenost pádu kladiva od tabule vyšlo jeho zrychlení  $(9,78 \pm 0,03) \text{ m/s}^2$ . To lze považovat za dobrou kontrolu správnosti celého uspořádání a měření. Navíc kladivo při pádu na vrstvu molitanu na podlaze (nechtěl jsem kladivem devastovat podlahu v učebně) nechalo na molitanu stopu; při pádu koule se pak dalo dobře kontrolovat, že padá ve stejných místech, jako kladivo.

Proložení závislosti (7) daty pro pád malé polystyrenové koule ukazuje obr. 9, proložená křivka zjevně pád vystihuje dobře.



Obr. 9 Pád malé polystyrenové koule a proložení závislosti (6)

Při zpracování dat se ukázalo jako velmi důležité provést korekci na vztlak, viz (2). (Člověk může mít tendenci vliv vztlaku zanedbat, ale to by vedlo ke značným odchylkám ve výsledcích.)

Výsledky (získané z šesti a sedmi měření) shrnuje tabulka 3.

Tab. 3. Mezní rychlosti pádu a vypočtené hodnoty koeficientu odporu prostředí pro pád polystyrenových koulí.  $C_{\min}$  a  $C_{\max}$  udávají rozmezí koeficientů odporu, které vychází z nejistoty v určení mezní rychlosti.

Průměr koule (cm)	Mezní rychlost (m/s)	$C$	$C_{\min}$	$C_{\max}$
10	$(7,64 \pm 0,29)$	0,48	0,43	0,50
16	$(6,60 \pm 0,39)$	0,51	0,46	0,58

Výsledné hodnoty  $C$  dobře souhlasí s tabulkovými hodnotami, je ovšem vidět, že přesnost zde není příliš velká. (Je to dáno už tím, že ve vztahu (3) je  $v_m$  v druhé mocnině, nepřesnost 5 % v určení  $v_m$  proto znamená nepřesnost zhruba 10 % v určení  $C$ .) Přesto je vidět, že pomocí teoretické závislosti (6) resp. (7) lze koeficient odporu přibližně určit i při pádu z poměrně malé výšky 1,5 m.

Je ovšem dobře uvědomit si, že ač se o koeficientu odporu  $C$  někdy mluví jako o konstantě, ve skutečnosti konstantní není, závisí na tzv. Reynoldsově čísle, viz např. (3) nebo (5). Navíc, jak je uvedeno v [7] s odkazem na literaturu, různí autoři uvádějí v případě koule pro  $C$  hodnoty v rozsahu od 0,4 do 0,51 a někdy dokonce i mimo tento rozsah...

## Závěr

Z dosavadních pokusů a jejich analýzy si lze zřejmě odnést několik poučení a doporučení.

*Za první:* Chcete-li jednoduše přibližně demonstrovat, že síla odporu vzduchu roste s druhou mocninou rychlosti, využijte pokusy s pádem „papírového korýtka“ nebo papírových košíčků. Ale buďte připraveni na to, že pokusy budou vycházet jen přibližně – zejména pokud budete rychlost jednoduše počítat z celkového času a celkové délky pádu (tedy půjde o průměrnou rychlost).

*Za druhé:* Hlavně když budete pracovat s průměrnou rychlostí pádu, snažte se mít výšku pádu co největší: vylezte na stůl, pouštějte předměty ze štaflí, apod. (Ale samozřejmě pozor na bezpečnost práce...)

*Za třetí:* I když za mezní rychlost berete nikoli rychlost průměrnou, ale rychlost na konci pádu (zjištěnou např. analýzou videa), přesvědčte se, že doba

pádu je dostatečně dlouhá. Tedy že je minimálně dvoj- až trojnásobkem charakteristické doby  $\tau$ . Tu můžete odhadnout ze vztahu (5). Z výsledků pokusů uvedených výše lze odhadnout, že při pádu z asi 1,5 m je rychlost na konci pádu blízká mezni, když jde o rychlosti do asi 2 m/s. Pro vyšší rychlosti už mohou být odchylky výsledků výraznější.

*Za čtvrté:* Když výsledky „nesedí“, můžete zkusit naměřenými daty proložit závislosti (7). To už je ovšem spíš postup do semináře pro pokročilejší zájemce.

*Za páté:* Když budou výsledky stále odlišné od tabulkových, zkuste samozřejmě hledat chyby v měření či analýze dat. Ale obecně si buďte vědomi toho, že přesněji určit hodnotu koeficientu  $C$  není vůbec jednoduché, a že se leckdy rozcházejí i hodnoty v seriózních pramenech.

Přeji vám, ať se vám pokusy daří co nejlépe – a vymyslíte-li nějaká jejich vylepšení, nezapomeňte je dát vědět nám ostatním.

## Literatura

- [1] Bednařík M., Šířoká M.: *Fyzika pro gymnázia. Mechanika*. Prometheus, Praha 2000, ISBN 80-7196-176-0.
- [2] Dvořák L.: *Jak provokovat, když dostanete úlohu o pádu železné a dřevěné koule I*. Rozhledy matematicko-fyzikální 96 (č. 2, 2021), s. 57-67.
- [3] Dvořák L.: *Jak provokovat, když dostanete úlohu o pádu železné a dřevěné koule II*. Rozhledy matematicko-fyzikální 96 (č. 3, 2021), s. 59-68.
- [4] Tracker. Video analysis and modelling tool. [cit. 18. 8. 2022] Dostupné online: <https://physlets.org/tracker/>
- [5] Wikipedia: The Free Encyclopedia: *Drag Coefficient*. [cit. 22. 8. 2022] Dostupné online: [https://en.wikipedia.org/wiki/Drag\\_coefficient](https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient)
- [6] Allain R.: Let's Study Air Resistance – With Coffee Filters. [cit. 24. 8. 2022] Dostupné online: <https://www.wired.com/2017/04/lets-study-air-resistance-coffee-filters/>
- [7] Dvořák L.: *Co jsem dělal o prázdninách na Hrašticí 2021: Pád kuželů a koulí ve vzduchu aneb zjištění, že leccos je trochu jinak a že bude třeba měřit přesněji*. [cit. 23. 8. 2022] Dostupné online: <https://kdf.mff.cuni.cz/hrastice/2021/pad-kuzelu-a-kouli-ve-vzduchu-leos-dvorak.pdf>

## Magnety v hodině fyziky

PAVLÍNA HEJSKOVÁ

Technická univerzita Liberec,

Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická, katedra fyziky

### Abstrakt

*Magnety jsou velmi zajímavými prostředky pro oživení výuky ve školách, ovšem i v praktickém životě mají nezastupitelnou roli. Magnetismus je součástí různých technologií. Magnety mohou mít uplatnění v konstrukci modelů nebo se mohou stát praktickými pomocníky v běžném životě. Článek představuje využití magnetů ve výuce fyziky.*

### Magnetismus ve výuce

S učivem o magnetismu se žáci setkávají již v šestém ročníku, kdy navazují na pretechnické vzdělávání v prvouce a přírodovědě. V šestém ročníku základní školy se již v první kapitole „Vlastnosti látek a těles“ seznamují se základní terminologií a vlastnostmi permanentních magnetů. Následně se toto učivo oživuje na počátku devátého ročníku, kdy tématem je „Elektromagnetismus“. Střední školy tuto látku probírají samostatně podle zaměření školy. Školy gymnaziálního typu probírají magnetismus v kapitolách „Stacionární magnetické pole“ a „Nestacionární magnetické pole“.

### Využití magnetů k výuce fyziky

Ve školách se jako učitelé setkáváme s různými sadami obsahujícími magnety a v případě specifických požadavků lze magnety dokoupit i samostatně. Z dokupovaných magnetů se jedná o feritové nebo neodymové magnety. Někdy lze získat vhodné magnety z vysloužilých zařízení. Přesný návod uvádí [2].

### Motivační jednoduché náměty

Základní součástí úvodu hodiny je motivace, kdy při vhodném vzbuzení zájmu o učivo máme polovinu práce za sebou. Motivaci může v žácích vzbudit třeba plechovka nebo plyšová hračka držící mince, případně žabka na ledničku. Stejný efekt můžou mít i magnetické náušnice.





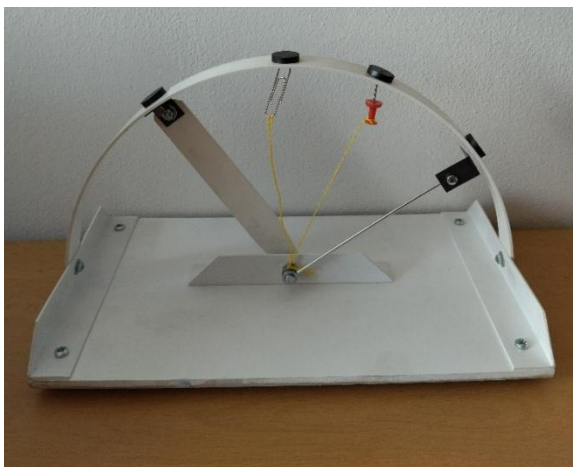
Obr. 1 Plyšová hračka s mincí



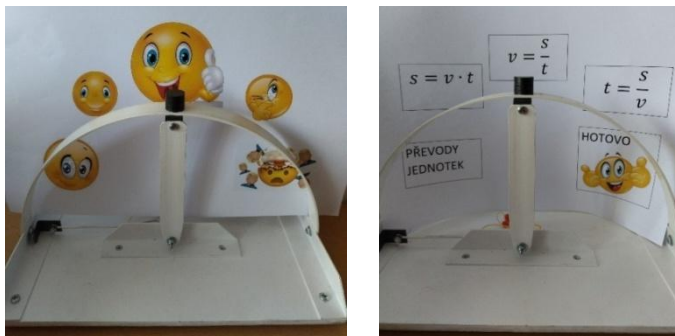
Obr. 2 Magnetická náušnice

### **Magnetický oblouk**

Jistý motivační efekt lze čekat od oblouku, který „drží“ kovové předměty proti gravitaci. V našem provedení si můžeme představit třeba ukazatel nálady učitele. Obměnou může být ukazatel vzorce pro výpočet příkladů. Variant využití tohoto předmětu je nespočet.



Obr. 3 Magnetický oblouk



Obr. 4 Didaktické využití magnetického oblouku

### **Výkladové pokusy**

Od motivačních pokusů přejdeme k pokusům, které jsou součástí výkladu. I zde si uvedeme několik z nich.

**Kulaté feritové magnety:** v rámci výuky slouží zejména k demonstraci indukčních čar pomocí železných pilin nebo pomocí senzorové fólie Flux detektor, kde v rosolovité hmotě jsou umístěny malé částčky niklu, které reagují na magnetické pole.

**Tyčové magnety:** u nich lze ukázat magnetické pole pomocí indukčních čar a porovnávat rozdíl s kulatým magnetem.

Důležitý poznatek je také to, že magnet nelze rozdělit na severní pól a jižní pól mechanickým oddělením, ale že při dělení magnetu na části vznikají vždy nové a nové magnetické dipóly.

Přitažlivé síly mezi magnety pro lepší názornost můžeme opatřit obrázky dívek a chlapců, s kterými demonstrujeme síly přitažlivé a odpuzivé.



Obr. 5 Přitažlivé síly mezi póly magnetů

Pomocí modelu Země s magnetem ze soupravy „Magnetismus“ od firmy NTL můžeme demonstrovat pomocí postaviček směr gravitační síly, ovšem zde není šťastné tento pokus zařazovat k výuce magnetismu.



Obr. 6 Směr gravitační síly na Zemi

### **Levitující tužka**

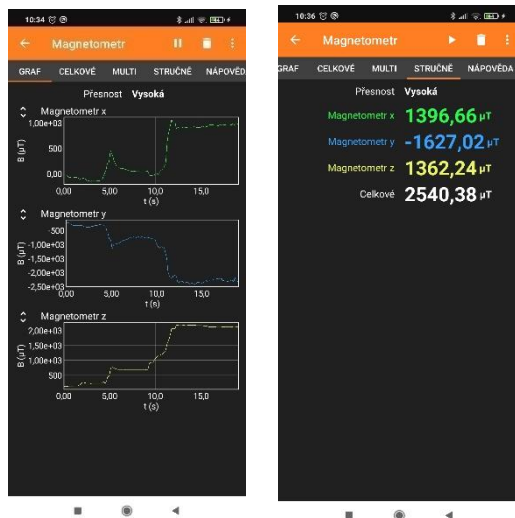
Tento pokus je známý spíše jako pokus motivační s výrazným „aha-efektem“. Pro konstrukci je třeba pevně umístěné prstencové magnety ve dvou řadách značně fixovat, dále zvolit tužku vhodných rozměrů a zajistit bod, ve kterém bude levitovat. Poté tento pokus lze předvést. Podrobný návod ze šesti magnetů uvádí [1].



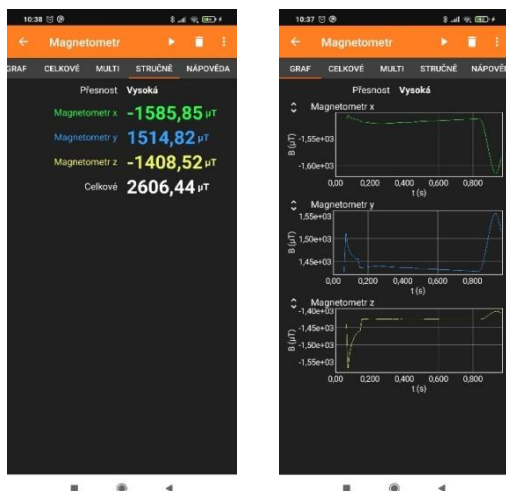
Obr. 7 Levitující tužka

### **Mobilní telefon a určení magnetických pólů**

Pomocí aplikace Phypox, lze velmi rychle a efektivně určit póly magnetu. Z informací ze serveru [3] plyne klíč k určení severního a jižního magnetického pólu. Aplikace naměří hodnoty  $B$  v osách  $x, y, z$ . Pokud je hodnota  $x$  kladná a  $y$  záporná, pak pól magnetu je severní. V případě, že je hodnota  $x$  záporná a  $y$  kladná, pak pól magnetu je jižní.



Obr. 8 Severní pól magnetu



Obr. 9 Jižní pól magnetu

### **Magnety při použití v domácnosti**

Protože praktičnost fyziky je třeba žákům stále zdůrazňovat a vysvětlovat, kde se s danými jevy setkáváme v běžném životě, není od věci připomenout využití magnetů při čištění oken, čištění lahví pomocí houbiček na nádobí opatřených magnety, držáky nožů a šroubováků nebo uchycení chňapek v kuchyni.

### **Závěr**

Magnetismus je jedna z částí fyziky, která lze hezky demonstrovat a vzhledem k výborné průkaznosti pokusů je velmi lákavou oblastí přitažlivou zejména pro žáky základní školy.

### **Literatura**

- [1] Lipertová, K. (2017). Fyzikální blbinky pro malé i větší. *Dílny heuréky/Heureka Workshop 2017*, 60-69.
- [2] Polák, Z. (25. 07 2022). *Skupina ČEZ, vzdělávání a výzkum*. Načteno z Hrátky s magnetismem:  
[https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/ospol/fileexport/pro-media-2014/01-leden/hratky\\_magnet\\_net.pdf](https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/ospol/fileexport/pro-media-2014/01-leden/hratky_magnet_net.pdf)
- [3] Unimagnet. (24. 08 2022). *Jak snadno určit póly magnetu?* Načteno z Unimagnet:  
<https://www.unimagnet.cz/clanek/314/jak-urcit-poly-magnetu-snadno-pomoci-mobilu/>

## **Astronomické kroužky a dalekohledy jako mimoškolní aktivity**

*FILIP HLOŽEK, PETRA ŠTUMPF OVÁ, JITKA HOUFKOVÁ*

Katedra didaktiky fyziky, MFF UK, Praha

### **Abstrakt**

*Představíme výsledky dotazníku mezi učiteli fyziky ohledně výuky dalekohledů. Dále průběžné výsledky probíhajícího výzkumu astronomických kroužků v České republice. Hlavní náplní příspěvku pak budou vybrané aktivity a experimenty převzaté z návštěv astronomických kroužků.*

### **Úvod**

Na dalekohledy a astronomii obvykle ve výuce nezbyvá mnoho času. V rámci vzdělávacích programech, např. pro základní školy [1] či gymnázia [2], jsou dalekohledy a astronomie zmíněny ve fyzice jen okrajově, pokud vůbec. Témata jako vesmír a sluneční soustava jsou mnohdy více rozepsána v geografii. Přitom jsou astronomie a optika (tedy i dalekohledy) velmi oblíbenými tématy mezi žáky.

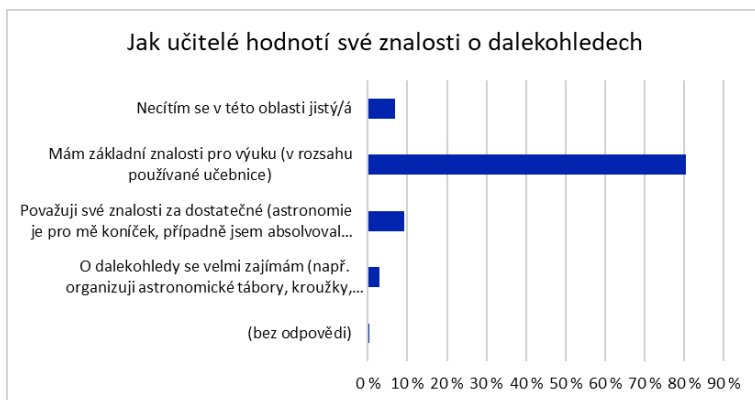
Abychom přesně zjistili, jak se o dalekohledech na školách učí, vytvořili jsme dotazník pro učitele fyziky – viz následující kapitola. Jelikož na dalekohledy nezbyvá ve škole moc času, zajímaly nás i další vzdělávací instituce, kde se těmito tématům věnují. Z toho důvodu jsme udělali řešerši astronomických kroužků, o čemž píšeme v další kapitole. Při návštěvě těchto kroužků jsme objevili celou řadu vzdělávacích aktivit, které lze implementovat do výuky ve školách. Soupis vybraných aktivit pak tvoří hlavní část tohoto příspěvku.

### **Dotazník o výuce dalekohledů**

Průzkum mezi učiteli fyziky byl rozeslán na přibližně 2 500 emailových adres na jaře roku 2021. K tvorbě dotazníku jsme použili profesionální software Typeform. Celkově nám zpět přišlo 415 odpovědí, návratnost tak činila asi 17 %. Naš průzkum si kladl za cíl odpovědět na otázky, jaké mají učitelé znalosti o dalekohledech, jaké mají praktické zkušenosti, jaké vybavení pro výuku na školách mají, jaká navštěvují specializovaná zařízení, co by jim při výuce dalekohledů pomohlo, a tak podobně. Z poměrně rozsáhlého dotazníkového šetření vybíráme pouze několik výsledků.

První závěr můžeme učinit již z toho, že dotazník nevyplnilo zhruba 83 % oslovených učitelů. Lze se domnívat, že jistá část z těchto učitelů dotazník ani neotevřela proto, že o dalekohledech vůbec neučí, tedy nemá důvod zodpovídat na otázky, které se týkají jejich výuky.

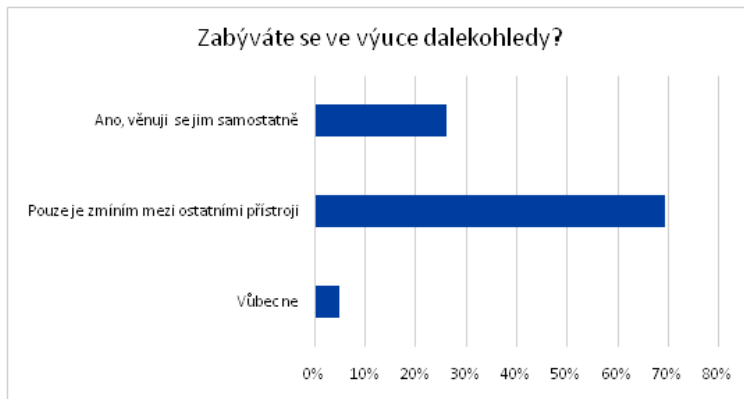
Jednou ze základních otázek bylo, jak učitelé hodnotí své znalosti o dalekohledech. Jak lze vidět na obr. 1, většina dotázaných soudí, že má pouze základní znalosti o dalekohledech v rozsahu používané učebnice. Samozřejmě nelze očekávat, že učitelé budou vyučovat vše, co je psáno v učebnicích, nicméně se často o učitelích obecně předpokládá, že budou disponovat o něco hlubšími znalostmi. Tento výsledek koresponduje s tím, zda se učitelé ve výuce zabývají dalekohledy. Z grafu na obr. 2 plyne, že pouze čtvrtina učitelů vyučuje dalekohledy samostatně. Hlubší analýza dat ukázala, že znalosti o dalekohledech skutečně do jisté míry korespondují s tím, zda o nich učitelé učí či nikoliv. Přesto ale asi polovina z učitelů, kteří dalekohledům rozumí, je zmiňují jen mezi ostatními optickými přístroji.



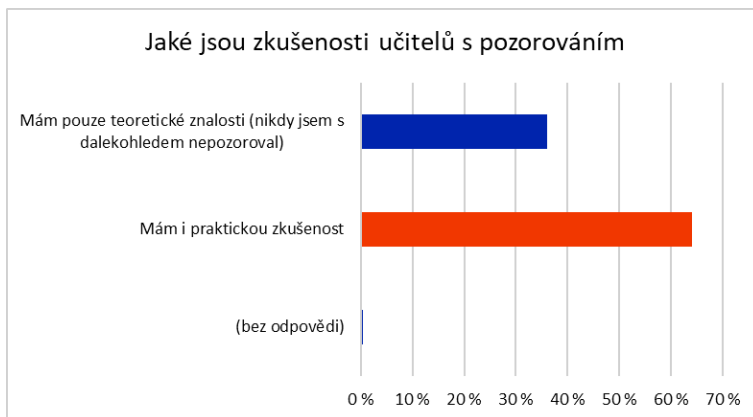
Obr. 1 Jak učitelé hodnotí své znalosti o dalekohledech. Většina z nich bohužel soudí, že má pouze základní znalosti v rozsahu používané učebnice.

Podobně nás zajímalo, jaké jsou praktické zkušenosti učitelů s pozorováním dalekohledem. Zde můžeme vidět příznivější výsledky, neboť asi dvě třetiny učitelů připouští, že si na dalekohled takzvaně sáhli (obr. 3). Těchto učitelů jsme se dále ptali na konkrétní zkušenosti. A jak je vidět na obr. 4, téměř polovina z těchto učitelů neumí pracovat s dalekohledy samostatně, pouze s odbornou asistencí (pravděpodobně s pracovníkem hvězdárny). Celkově jsme

tak zjistili, že ze všech respondentů umí s dalekohledem samostatně pozorovat oblohu jen asi 30 % učitelů.

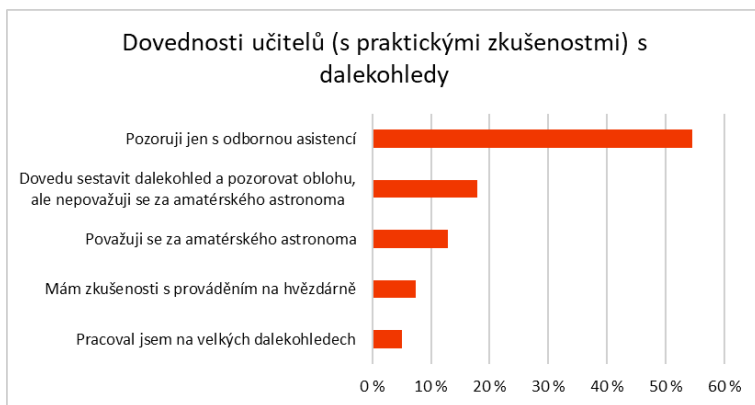


Obr. 2 Zabývají se učitelé ve výuce dalekohledy? Z odpovědí vyplývá, že asi jen čtvrtina respondentů vyučuje dalekohledy samostatně.



Obr. 3 Dvě třetiny učitelů tvrdí, že má kromě teoretických znalostí také praktickou zkušenost při zacházení s dalekohledy.





Obr. 4 Učitelům s praktickými zkušenostmi s dalekohledem (viz předchozí obrázek) jsme položili ještě doplňující otázku, jaké konkrétní zkušenosti mají. Více jak polovina z těchto učitelů uvádí, že pozorovali pouze s odbornou asistencí, tedy zřejmě s některým pracovníkem na hvězdárně.

### **Rešerše astronomických kroužků**

Podařilo se nám zjistit, že v České republice bylo v letech 2021/22 provozováno více než třicet astronomických kroužků. Kompletní seznam na internetu zatím není nikde k dispozici, ale v současnosti probíhá spolupráce s autory webu [3], kam jsou astronomické kroužky postupně přidávány. Web by měl být také průběžně aktualizován, takže webové odkazy na kroužky by měly zůstat funkční. V současné době jsou na těchto stránkách dohledatelné všechny astronomické instituce jako hvězdárny a planetária. Dokonce zde najdete i vybraná zahraniční zařízení tohoto charakteru, ačkoliv jejich seznam si neklade za cíl být úplným.

S vedoucími vybraných astronomických kurzů jsme vedli polostrukturované rozhovory. Jejich cílem bylo zmapovat nejen aktivity na těchto kurzech, ale i jaké děti se kurzů účastní, jaká je jejich motivace, a podobně. Zjistili jsme tak, že tyto kurzy jsou nejčastěji navštěvovány dětmi ve věku od deseti do dvanácti let, a pro tuto věkovou skupinu jsou také nejčastěji určené. Jak nám bylo mnohokrát řečeno, v tomto věku už jsou děti schopné rozumět tomu, o čem je chtějí vedoucí kurzů učit, ale přitom jsou ještě dostatečně zvědavé, aby se o astronomii chtěly dozvědět samy a mohly si k ní najít cestu. Starší děti se těmto kurzů účastní málokdy, a pokud ano, tak se jedná o absolventy, kteří pomáhají s programem a organizací kroužků.

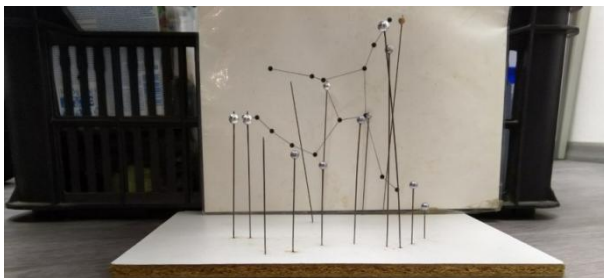
Kurzy jsou vedeny obvykle nadšenci z řad astronomů, kteří se těmto mimoškolním kroužkům věnují proto, aby svou lásku k astronomii předali mladší generaci. Program kurzů obvykle záleží na účastnících, na tom co je nejvíce zajímavá. Obvyklými tématy tak jsou kosmonautika, galaxie, planety a další, co je zrovna pro účastníky atraktivní. Vedoucí kurzů s dětmi často pozorují noční oblohu, hrají různé hry a dělají kvízy, aby je kroužek co nejvíce bavil.

### **Vzdělávací aktivity zaměřené na astronomii a dalekohledy**

#### **Souhvězdí a perspektiva**

Žáci mnohdy znají některá souhvězdí či objekty na obloze (např. Velký vůz). Jenže tato souhvězdí si projektujeme z objektů rozmístěných v prostoru na nebeskou sféru, která je dvojrozměrná. Aby si žáci uvědomili postavení hvězd (a zároveň naší planety) ve vesmíru, měli by chápat i perspektivu, v jaké hvězdy na obloze vidíme.

Ve výuce s žáky můžete vyrobit poměrně jednoduchou pomůcku, viz obrázek 5. Potřebujete k tomu kresbu souhvězdí, podle které pak sestavíte tyčky a kuličky, znázorňující hvězdy v souhvězdí. Z jednoho pohledu se pak budou jevit hvězdy ve správném postavení, z jakéhokoliv jiného (jako bychom byli v jiném místě ve vesmíru) se však obrazec změní v naprosto odlišný.



Obr. 5 Model souhvězdí, znázorňující hvězdy z pohledu ze Země. Pokud však na souhvězdí koukáme pod jiným úhlem (jakoby z jiného místa ve vesmíru), vidíme zcela jiný obrazec

#### **Model souhvězdí v kelímku**

Další aktivita se opět týká souhvězdí. Tentokrát však nejde o znázorňování perspektivy, ale jen o efektní promítnutí souhvězdí na zeď. Potřebujete jen kelímek, na jehož dno umístíte obrázek souhvězdí a na místech hvězd propíchá-

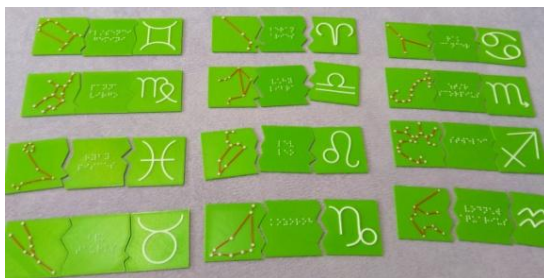
te do kelímku malé díry. Pak už stačí jen kelímek prosvítit např. mobilním telefonem. Výsledek můžete vidět na obrázku 6. Pokud nemáte kelímek, lze použít klidně i kartón. Pak však potřebujete silnější zdroj světla než jen mobilní telefon.



Obr. 6 Souhvězdí Velká medvědice vytvořené pomocí kelímku a světla z mobilního telefonu

### **Pexeso se souhvězdími zvěrokruhu**

Souhvězdí do třetice. Na tuto aktivitu toho není moc potřeba. Musíte si jen vytisknout dílky pexesa na 3D tiskárně. Soubory potřebné k vytištění najdete na stránkách [4]. Jsou připravené k tisku ve více vrstvách, takže dílky mohou být vytištěny ve třech barevných vrstvách, viz obrázek 7. Pexesa jsou k dispozici v klasické variantě (dva dílky) nebo v rozšířené, kterou právě vidíte na obrázku (tři dílky). Verze pro tři dílky obsahuje ještě modifikaci, totiž kartičky pro nevidomé s nápisy v Braillově písmu.



Obr. 7. Pexeso se souhvězdími zvěrokruhu. Lze je vytisknout na 3D tiskárně v podobném barevném provedení. Názvy souhvězdí jsou psány jednak běžným písmem, na adrese [4] je však najdete i ve verzi s Braillovým písmem.

### Počet hvězd na obloze a světelné znečištění

Na nebeské sféře je velké množství hvězd, jejichž seznam lze dohledat např. na internetu. Pokud byste ale chtěli s žáky spočítat přibližný počet hvězd na noční obloze, lze to udělat poměrně jednoduchým výpočtem a experimentem. Vytvoříte si rámeček tvaru čtverce, jehož strana má daný rozměr, řekněme 20 cm. Obsah čtverce tedy bude  $400 \text{ cm}^2$ . Rámeček pak budete držet v určité vzdálenosti od oka, např. 50 cm. V této vzdálenosti je plocha nebeské sféry (tvaru polokoule) přibližně  $15\,708 \text{ cm}^2$ . Vyrobený rámeček se tedy na nebe vejde zhruba čtyřicetkrát. Pak už jen stačí spočítat počet hvězd v rámečku a vynásobit čtyřiceti. Tím získáte přibližný počet hvězd na obloze.

Tímto rámeček můžete demonstrovat i světelné znečištění. Počet hvězd na obloze (na daném místě na nebi v danou dobu) bude výrazně nižší ve městě než někde na venkově. S žáky pak můžete diskutovat roli světelného znečištění pro pozorování noční oblohy.

### Demonstrace seeingu

Práci astronomů často znesnadňuje atmosféra, jejíž vrstvy o různých teplotách způsobují mihotání objektů na obloze. Tomuto efektu se říká *seeing*. Abychom ho demonstrovali s žáky ve výuce, potřebujeme silný zdroj světla (např. meotar), karton s propíchnutou dírkou (tu prosvítíme, vzniklý obraz představuje hvězdu) a sklenici vody.

Seeing pak můžeme předvést dvojím způsobem. Jeden je zachycen na obr. 8. Ve sklenici jsme zachytili obraz hvězdy. Zatřese-li sklenicí s vodou, obraz se rozostří. Efektivněji však můžeme seeing demonstrovat, když v zatemněné místnosti necháme hvězdu promítat skrz sklenici na strop. Je-li sklenice v klidu, pozorujeme na stropě kruh světla. Avšak pokud hladinu vody ve sklenici narušíme, i třeba minimálně, obraz se zachvěje.



Obr. 8 Demonstrace rozmazání obrazu vlivem atmosféry (*seeingu*) na zdroji světla a sklenici vody

### **Pozorování Slunce**

Hned na úvod je potřeba upozornit, že pozorování Slunce dalekohledem může být při neopatrném zacházení velmi nebezpečné. Sluneční paprsky mají velkou sílu, ale pokud je dalekohled koncentruje do jednoho místa, můžou mít pro lidský zrak fatální následky. Nenechte tedy nikdy své žáky Slunce pozorovat bez dozoru a vždy kontrolujte, zda je používané vybavení v pořádku.

Slunce lze pozorovat vícero způsoby. Jednou z možností je promítnout si hvězdu na papír. K tomu stačí i poměrně levný triedr, ovšem měli byste si k němu pořídit i stojan. Bez něj hrozí, že se bude Slunce neustále pohybovat mimo zorné pole dalekohledu. Další možností je vyrobit si pro váš teleskop sluneční filtr. Na to stačí koupit solární fólii a pomocí kartónu a oboustranné lepicí pásky filtr vyrobit. Buďte si jistí, že jste postupovali přesně podle návodu a filtr pak opatrně skladujte, ať nedojde k poškození ochranné části. Takový sluneční filtr jistě využijete při zatměních Slunce. Velmi efektní pak jsou různé východy a západy Slunce, jako můžete vidět na obr. 9.



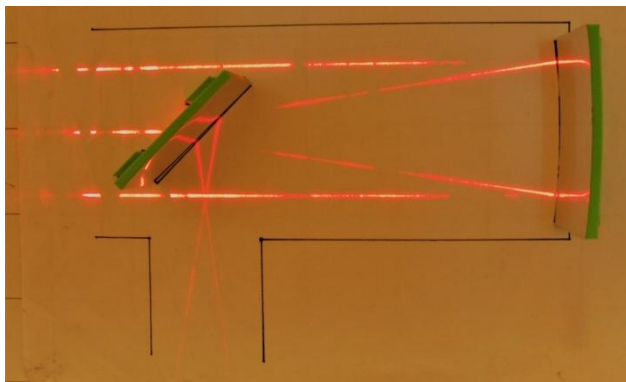
Obr. 9 Východ Slunce pozorovaný dalekohledem se solárním filtrem

### **Modely dalekohledů**

Co se týče dalekohledů, je samozřejmě nejnázornější ukázat dětem opravdový dalekohled, kterým mohou nejlépe také pozorovat. Jenže ve škole na něco takového často není prostor nebo vybavení. Pokud víme, co žákům o dalekohledech chceme říci, stačí si vybrat některý z modelů, který daný fyzikální jev demonstruje.

Vytvoření modelu refraktoru je poměrně snadné, mnohdy se vyskytuje i v různých optických sadách, jak je popsáno např. v [5]. Poněkud levnějšího řešení však lze také docílit pomocí elektrikářské lišty a levných vyřazených čoček, viz [6].

Situace s reflektory (zrcadlovými dalekohledy) už je komplikovanější. Ovšem i takové modely lze vytvořit, zatím alespoň pro dvojrozměrné znázornění chodu světelných paprsků (to žáci obvykle znají z fyzikálních úloh a z učebnic). Na obr. 10 tak můžete vidět, co lze předvést s takovým modelem Newtonova dalekohledu. K jeho výrobě stačí pouze vytisknout pevné části zrcadel (k dispozici na stránkách [4] nebo [7], kde najdete také model Cassegrainova dalekohledu) a pak jejich povrch pokrýt odrazivou fólií. Do modelů lze vteřinovým lepidlem vlepit i neodymové magnety, a tak můžete chod světelných paprsků demonstrovat před žáky i na tabuli. Tyto modely vznikly jako součást diplomové práce [5], kde jsou detailně popsány (viz také [8]).



Obr. 10 Model Newtonova dalekohledu k vytištění na 3D tiskárně. Po nalepení zrcadlové fólie slouží vytištěné části jako zrcadla. Rovnoběžnými laserovými paprsky pak lze demonstrovat chod světla v dalekohledu.

Do fungování dalekohledů lze proniknout i jinak, trochu hravější formou. Necháte žáky vymodelovat ze samotvrdnoucí hmoty povrch nějakého vesmírného tělesa, třeba Měsíce nebo Venuše. Potom vezmete větší počet špejlí (vyzkoušeno se sedmi sty), které jsou svázány gumičkou, a necháte je spadnout na vytvořený povrch. Do špejlí se povrch obtiskne a obraz tak vznikne na vrchu použitých špejlí (obr. 11). Přestože je tento model jednodušší než předchozí, můžete diskutovat např. vytváření obrazu pomocí pixelů (jedna špejle = jeden pixel). Zároveň takto nefungují jen optické dalekohledy, ale i radioteleskopy.

Např. povrch Venuše byl zmapován právě pomocí těchto teleskopů, jelikož světlo skrz její atmosféru nepronikne, ale rádiové vlny ano.



Obr. 11 Teleskop modelovaný pomocí špejlí, které dopadají na model povrchu vesmírného tělesa.

### **Závěr**

Dalekohledům se v hodinách fyziky nevěnuje příliš pozornosti a nepamatují na ně příliš ani rámcové vzdělávací programy. Výsledky dotazníkového šetření mezi učiteli fyziky naznačují, že mnoho fyzikářů nemá hlubší znalosti z fyziky nebo že nedovede samostatně pozorovat oblohu dalekohledem. Tento příspěvek by tak měl sloužit jako zdroj inspirace pro ty, kdo by chtěli do svých hodin začlenit nové aktivity k tématům astronomie a optika (dalekohledy). Většina uvedených aktivit pochází z navštívených astronomických kroužků, které vedou obvykle nadšenci do astronomie, kteří jsou ochotni vždy sdílet všechny své znalosti a dovednosti za účelem dalšího vzdělání v tomto oboru.

### **Poděkování**

*Tento příspěvek byl podpořen Univerzitou Karlovou, projekt GA UK, No 274121.*

## Literatura

- [1] *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání (RVP ZP)*. Praha MŠMT 2021. Dostupné online: <https://www.edu.cz/wp-content/uploads/2021/07/RVP-ZV-2021.pdf>
- [2] *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia (RVP G)*. Praha MŠMT 2021. Dostupné online: [https://www.edu.cz/wp-content/uploads/2020/08/RVPG-2007-07\\_final.pdf](https://www.edu.cz/wp-content/uploads/2020/08/RVPG-2007-07_final.pdf)
- [3] *Mapotic – Říše hvězd*. [cit. 28. 8. 2022]. Dostupné online: [www.mapotic.com/rise-hvezd](http://www.mapotic.com/rise-hvezd)
- [4] *Fyzweb*. [cit. 28. 8. 2022]. Dostupné online: <https://fyzweb.cz/materialy/hlozek/>
- [5] Hložek F.: *Modely zrcadlových dalekohledů*, In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 25. Sborník konference, Praha 2020. Dostupné online: [https://vnuf.cz/2020/sbornik\\_VNUF\\_2020.pdf](https://vnuf.cz/2020/sbornik_VNUF_2020.pdf)
- [6] Dvořák L.: *Další nápady z Malé Hraštic: co s čočkami*. Sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky. Praha 2010, p. 47-51. Dostupné online: [https://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh\\_15\\_\(Praha\\_2010\).pdf](https://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_15_(Praha_2010).pdf)
- [7] *Optická sada – KDF MFF UK*. [cit. 28. 8. 2022]. Dostupné online: <https://kdf.mff.cuni.cz/optickasada/>
- [8] Hložek F.: *Pokusy z geometrické optiky pro výuku na základní a střední škole*. Diplomová práce obhájená na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy, 2019.



## Ztroskotání Titaniku a fyzika

JAN HRDÝ

Gymnázium Jana Pivečky a SOŠ Slavičín

### Abstrakt

*Letos uplynulo 110 let od ztroskotání zaoceánského parníku Titanic. Tato kapitola dějin osobní námořní dopravy však zdaleka ještě není zcela uzavřena, protože se stále a stále objevují nové skutečnosti a poznatky. Tento příspěvek stručně shrnuje známé i zcela nové informace o příčinách této katastrofy a hodnotí je z hlediska fyziky.*

### 1. Rychlé plachetnice 2. poloviny 19. století

V devatenáctém století ovládaly námořní dopravu zboží i cestujících plachetnice. Zvláštní kategorii tvořily **klipry** – rychlé tří až čtyřstěžňové plachetnice nesoucí maximální množství plachet. Obvykle se jmenovaly podle své trasy nebo podle zboží, které dopravovaly (čajové klipry, kalifornské klipry). Své rychlosti dosahovaly díky štíhlému trupu optimálního tvaru, nevýhodou však byla snížená tonáž lodí. Za příznivého větru dosahovaly běžně rychlosti 15-17 uzlů (28-31 km/h), výjimečně až 21 uzlů (39 km/h). Průměrná rychlost činila z důvodu nestálosti vanutí větru pouze 6-7 uzlů (11-13 km/h).



Obr. 1 Nejznámější čajový klipr CuttySark [1]

Rychlost lodí na moři se často udává **v uzlech**. Loď má rychlost 1 uzlu, jestliže urazí vzdálenost 1 námořní míle (1,852 km) za 1 hodinu. Tedy platí: 1 uzel = 1,852 km/h.

## 2. Great Eastern – první pokus o stavbu gigantického parníku

Great Eastern byl ve své době největší parník na světě. Jeho konstruktérem byl proslulý anglický inženýr *I. K. Brunel*. Parník byl 211 metrů dlouhý a 25 metrů široký. Předpokládaný počet cestujících byl 4 000. Jeho stavbu i spouštění na vodu provázela řada neštěstí a nehod, protože projektanti neměli zkušenosti se stavbou tak velké lodi. Byl stavěn v letech 1854-1859. Mezi lidmi neměl dobrou pověst a proto se jeho první plavby, na kterou vyplul 6. září 1859, zúčastnilo jen 40 lidí. V důsledku komerčního neúspěchu byl parník nasazen jako loď pro **kladení telegrafických kabelů** mezi Evropou a Amerikou. Loď úspěšně položila transatlantický kabel o délce 2 600 km a celkově položila celkem 4800 km podmořských kabelů. Roku 1867 byl opět přestavěn na osobní loď a jeho plavby z Liverpoolu do New Yorku se se svým bratrem Paulem zúčastnil i slavný francouzský spisovatel **Jules Verne**, kterého cesta inspirovala k napsání románu *Plující město* (1871).



Obr. 2 První celokovový parník Great Eastern [2]

Parník Great Eastern byl v době svého vzniku nepředstavitelné technické dílo, které předběhlo dobu. Byl šestkrát větší než největší současná plavidla. Bylo to plavidlo takových rozměrů, že jeho velikost nebyla překonána po dobu následujících čtyřicet let. Byl by schopen odvézt z Anglie do Austrálie 4 000 cestujících, aniž by musel cestou doplňovat palivo. Loď disponovala řadou nových konstrukčních prvků. Jako první loď byla celokovová a měla dvojité trup. Plavidlo poháněla obrovská kola o průměru 17 metrů a současně lodní šroub, ale

bylo možné využít i plachet (6 stěžňů se škunerovým oplachtěním). Její kariéra skončila již roku 1888, kdy byla prodána do šrotu.

**Brutto registrovaná tuna** je zastaralá jednotka, kterou se dříve udávala **tonáž** obchodních lodí. Ale pozor, je to jednotka **objemu**. Platí  $1 \text{ BRT} = 100 \text{ kubických stop} = 2,83 \text{ m}^3$ . Přestože se v názvu této jednotky vyskytuje slovo tuna, nemá jednotka BRT vůbec nic společného s jednotkou hmotnosti 1 tuna. Jednotka vznikla v době plachetnic, kdy se hlavně dopravovalo koření a bavlna a bylo nejdůležitější vědět, jaký největší objem nákladu je loď schopna pojmout. Hmotnost nákladu nebyla tehdy důležitá. V tunách se udává **výtlač** lodí. Mezi oběma jednotkami **není** žádný pevný převodní vztah [3].

### 3. Předobraz zkázy Titaniku v literatuře

Snahou stavitelů **Titaniku** bylo postavit obrovskou loď, která by svou kapacitou a luxusem přilákala cestující a umožnila tak porazit konkurenci. Rozhodně ale neměla soutěžit v rychlosti a, jak se později ukázalo, také bezpečnost dopravy byla silně podceněna (podle nových poznatků až na úrovni hazardu). Je zajímavé, že již v roce 1898 (tedy 14 let před ztroskotáním *Titaniku*) vydal americký námořní důstojník na odpočinku *Michal Robertson* knihu *Marnost*, jejíž součástí byla rozsáhlá povídka s názvem **Titan**. Povídka literárním způsobem varovala před podobnými megalomanskými snahami. Byl to **smyšlený** příběh srážky zámořského parníku *Titans* obrovským ledovcem.

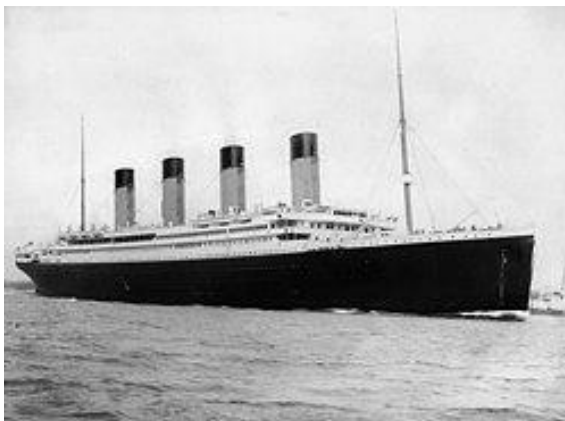
Parametr	<i>Titan</i> (1898)	<i>Titanic</i> (1912)
Příslušnost lodí	britská	britská
Doba plavby	duben	duben
Výtlač lodí	70000 tun	52310 tun
Délka lodí	244 metrů	269 metrů
Pohon lodí	3 lodní šrouby	3 lodní šrouby
Maximální rychlost	44 – 45 km/h	44 – 45 km/h
Teoretická kapacita lodí	3000 osob	3547 osob
Počet lidí na palubě	2000 osob	2227 osob
Počet záchranných člunů	24	20
Kapacita záchr. člunů	500	1178
Vodotěsné přepážky	19	15
Pohon	3 parní stroje	2 parní stroje 1 parní turbína
Rozsah poškození	Proražení trupu na pravoboku po srážce s ledovcem	Proražení trupu na pravoboku po srážce s ledovcem

Kniha ve své době bohužel nezískala větší ohlas, protože se tehdy nedoceňovala skutečnost, že ledovce jsou pro loď daleko větším nebezpečím než bouře, srážky lodí nebo mlha. Teprve po zkáze *Titaniku* vešla tato kniha ve

známost jako příklad pozoruhodné předtuchy. Je až neuvěřitelné, jak velká je shoda této povídky s pozdější katastrofou lodi *Titanik*. Na rozdíl od Titanu však *Titanik* před srážkou s ledovcem obdržel nejméně šest radiogramů, které ho naléhavě varovaly před blízkostí ledu [4].

#### **4. Jak to všechno začalo**

V roce 1909 zahájila loděnice Harland & Wolff v Belfastu stavbu zaoceánského osobního parníku *Titanic*. Loď si objednala společnost *White Star Line*. Měla to být nejluxusnější loď na světě. *Titanic* byl spuštěn na vodu 31. května 1911 a již 10. dubna 1912 se vydal na svou první plavbu. Vyplul ze Southamptonu a přes Cherbourg a Queenstown chtěl doplout do New Yorku. Šlo o **největší loď** na světě. Byla **269 metrů** dlouhá, 28 metrů široká, vysoká od kýlu po kapitánský můstek 32 metrů a s výtlakem 52 310 tun. Měla celkem osm palub, což odpovídá výšce jedenáctipatrové budovy. Čtyři dny a 17 hodin od začátku plavby (v neděli 14. dubna 1912 v 22.00 hodin) se srazila s ledovcem a za dvě hodiny a čtyřicet minut se potopila. Z celkového počtu 2 227 osob na palubě se jich ve 20 záchranných člunech zachránilo 705. V ledových vodách severního Atlantiku utonulo 1522 cestujících a členů posádky. Ztroskotání nepřežil ani kapitán lodi *Edward Smith*. Ráno 15. dubna 1912 dorazil na místo neštěstí parník *Carpathia* Cunardovy paroplavební společnosti, který zachytil tíšňové volání *Titaniku* ve vzdálenosti asi 58 námořních mil, což je zhruba 107 kilometrů [5].



Obr. 3 *Titanic* vyplouvá na svou první a současně poslední cestu [6]

## 5. Lodě Olympic, Titanic a Britannic

U zrodu *Titaniku* stál shodou okolností Kanadčan W. J. Pirrie narozený v roce 1847 v Quebecu. V sedmadvaceti letech (1874) se Pirrie stal společníkem loďařské a strojírenské firmy Harland & Wolff. Právě díky jeho vedení se firma stala za 50 let největší loděnicí na světě a také místem, kde se zrodil *Titanic*. A právě tento Pirrie v roce 1907 navrhl, aby jeho firma ve spolupráci s lodní společností White Star postavila ne jednu, ale tři obří lodě, které by smetly konkurenci z moří. Všechny tři lodě *Olympic*, *Titanic* a *Britannic* byly skutečně postaveny. *Olympic* a *Britannic* byly úspěšné a užitečné lodě. *Olympic* (hrubá tonáž 45 328 BRT – pro srovnání *Titanic* 46 328 BRT) se dlouhodobě plavil na lince do Ameriky a za první světové války přepravil do Evropy daleko více vojáků, než kterékoli jiné plavidlo. *Britannic* potopila v roce 1916 německá mina.

Nutno ještě dodat, že tyto lodě se zrodily ze spojení britské technologie (Harland & Wolff) a amerického kapitálu (americká železniční společnost J. P. Morgana).



Obr. 4 Dne 6. března 1912 musel být odtážen z doků *Titanic* (vpravo) kvůli sesterské lodi *Olympic* (vlevo), která ztratila šroub a musela být opravena [7]

Cesta k takovým velkým lodím ale nebyla jednoduchá. Jestliže v roce 1874 měla loď *Bothni* (Cunard Line) výtlak necelých 5 000 tun (4 555 t), potom roku 1893 přesáhl u lodě *Campanie* (Cunard Line) výtlak 10 000 tun (12 950 t). V roce 1899 dosáhl parník *Oceanic* (White Star) výtlaku 17 274 tun a délky 215 metrů. Byla to první loď, která **byla delší** než v té době největší nákladní parník na světě – Brunelův *Great Eastern* z roku 1858 (jako jediná loď byl schopen uvést celý transatlantický telegrafní kabel – spojování kabelu za dvou částí uprostřed Atlantiku se neosvědčilo). V roce 1907 postavila Cunardova

společnost dva velké a rychlé parníky – *Lusitanii* a *Mauretanii*. Pro White Star to byla hrozivá konkurence. Snaha předstihnout Cunarda větší rychlostí přepravy byla málo pravděpodobná a byla by značně neekonomická (parníky *Lusitanie* a *Mauretanie* byly velmi rychlé). Skok vpřed měla zajistit mimořádná velikost lodí, nezvykle luxusní vybavení pro bohaté a prostorné ubytování pro skromnější pasažéry. Tak se zrodil *Titanic*.

Není ale pravda, že nadšení pro velká plavidla bylo všeobecné. Námitky proti zbytečné velikosti lodí nebyly nové. Odborníci měli výhrady k lodím, které byly na svou šířku příliš dlouhé a jejichž velikost přesahovala současné technologické možnosti. V roce 1873 byla ustavena v Anglii královská komise, která měla určit závazné normy **bezpečnosti** plavidel.

## 5. Na palubě chyběly noční dalekohledy

Noční dalekohled je vcelku běžné zařízení, které usnadňuje noční vidění. U běžných dalekohledů se větší množství zachyceného světla využije především ke zvětšení zorného úhlu, u nočního dalekohledu k rozjasnění pozorovaných objektů. Standardně je např. používají myslivci, kteří v noci číhají na zvěř na posedech. Nesmíme ale noční dalekohled zaměnit se *zesilovačem zbytkového světla* (nebo infračerveného záření). Zde se jedná o složité a drahé elektronické zařízení, které v současnosti využívají především vojáci a které stejně jako radar nebylo v té době samozřejmě k dispozici.

### Příklad:

Kolikrát jasnější bude pozorovaný objekt, jestliže objektiv nočního dalekohledu má průměr 50 mm a svazek světla vstupující do oka má průměr 3 mm. Dalekohled má zvětšení 7krát.

$$d_1 = 50 \text{ mm}, d_2 = 3 \text{ mm}, z = 7, k = ?$$

$$k = \frac{S_1}{z S_2} = \frac{\frac{\pi d_1^2}{4}}{z \frac{\pi d_2^2}{4}} = \frac{d_1^2}{z d_2^2} = \frac{1}{z} \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2,$$

$$k = \frac{1}{7} \cdot \left( \frac{50}{3} \right)^2 = 39,68 \approx 40.$$

Pozorovaný objekt bude v dalekohledu asi 40 jasnější, než při pozorování pouhým okem.

Proč nebyly k dispozici noční dalekohledy pro hlídku na pozorovatelně (tzv. vrání hnízdo), nejsou názory úplně jednotné. Jedna věc je však jistá: kdyby byly k dispozici, uviděla by hlídka ledovec mnohem dříve a *Titanic* by se mu pravděpodobně lehce vyhnul. Navíc situaci podstatně zhoršila skutečnost, že ledovec byl hodně tmavý a moře bylo v tu osudnou noc úplně klidné. Jinak by se o ledovec tříštily vlny a vzniklý příboj bílé barvy by byl dobře viditelný i z velké dálky. Je také s podivem, že loď nebyla vybavena pátracími reflektory (oblouková lampa, která vyniká velmi ostrým, intenzivním a snadno fokusovatelným světlem, se v té době už běžně používala). Loď připomínala autobus řítící se tmou, kde uvnitř svítí pro cestující všechna možná světla, ale navenek svítí pouze světla obrysová, potkávací i dálková světla jsou vypnuta! *Titanic* byl „z ledovce“ velmi dobře viditelný, ale mělo tomu být právě naopak!

## 6. Chtěl *Titanic* získat Modrou stuhu Atlantiku?

**Určitě ne**, i když se tak často spekuluje. Jak již bylo uvedeno, společnost White Star Line nechtěla konkurenci (Cunard Line) porazit rychlostí svých lodí, ale velikostí a přepychem. **Modrá stuha** při plavbě přes Atlantský oceán bylo zvláštní prestižní putovní ocenění. Byla udělována lodím, které nejrychleji přepluly severní Atlantský oceán na trase z New Yorku do Evropy nebo naopak. Byla zavedena v roce 1838 a existuje vlastně až do dnešních dob.



Obr. 5 *Mauretania* – držitelka **Modré stuh**y Atlantiku v letech 1909-1929 [8]

Už v letech 1907 až 1909 dokázaly slavné parníky Cunardovy paroplavební společnosti *Lusitania* a *Mauretania* překonávat při plavbě přes Atlantik bájnou hranici pěti dní. *Mauretania* přeplula v září 1909 Atlantik západním směrem za čtyři dny a jedenáct hodin, průměrnou rychlostí přes 26 uzlů, tedy skoro padesát kilometrů za hodinu. Teprve za dvacet let, v roce 1929, ji překonala německá loď *Bremen*.

Zaoceánský parník *Mauretania* byl 241 metrů dlouhý (*Titanic* 269 metrů), 27 metrů široký (*Titanic* 28 metrů), ponor měl 10 m (*Titanic* 10,5 m) a měl výtlač 44 640 tun (*Titanic* 52 310 tun). Čtyři turbíny o celkovém výkonu 57,4 MW (78 tisíc k) poháněly čtyři lodní šrouby. *Titanic* měl k dispozici jen tři lodní šrouby a výkon 37 MW (50 tisíc k).

Maximální kapacita lodi (teoretická) byla 812 členů posádky a 2 165 cestujících (*Titanic* 944 členů posádky a 2 603 cestujících). Maximální rychlost byla 28 uzlů (52 km/h), *Titanic* 24 uzlů (44 km/h). Do roku 1911, kdy konkurenční společnost **White Star Line** postavila loď *Olympic*, byla *Mauretanie* největší lodí světa. Je zajímavé, že až do katastrofy *Titaniku* (1906-1912) nesla pouze 16 záchranných člunů pro asi 800 osob (tak jak to bylo tenkrát běžné zvykem).

## 7. Stavba Titaniku – kvalita použitých materiálů

Pláty, ze kterých byl *Titanik* postaven, byly z obyčejného železa. Říkalo se jim sice ocelové pláty, ale nebyla to ve skutečnosti žádná houževnatá zušlechťená ocel. Železné pláty byly navzájem nýtovány hydraulickými kleštěmi a tam, kde to z prostorových důvodů nebylo možné, tak ručně (např. kolem přídě lodi bylo v doku málo místa). Na celém *Titaniku* bylo použito celkem 3 miliony nýtů. Kvalita nýtů byla ale ještě **výrazně horší**, než kvalita plátů. Nýty byly velmi křehké (příliš velký obsah síry). Při nárazu na ledovec ihned došlo k jejich popraskání a uvolnění v okolí místa nárazu a vznikla tak dlouhá štěrbina, kterou se do lodi rychle hrnula voda. Pláty jako takové nebyly nárazem na ledovec přímo proraženy. Protože v době stavby *Titaniku* probíhaly ve firmě Harland & Wolff stávky dělníků, pronikaly navenek zvěsti o záměrně nekvalitní práci, provedené vyšetřování to však nepotvrdilo.

## 8. Fyzikální charakteristiky ledovce

Led, který vzniká každoročně na hladině severních moří, tvoří ledová pole o tloušťce asi dva až dva a půl metru. Ledovec, který se stal osudným *Titaniku*, vznikl stovky a tisíce let na povrchu Grónska. Takový led je tvrdý jako ocel a běžnými prostředky nerozrušitelný. Podle zkoušek amerického námořnictva, by k jeho narušení bylo potřeba několik tisíc tun TNT (vojenská trhavina zvaná *tritol*). I když *Titanik* měl výtlač přes 50 000 tun, byla ledová hora o odhadované hmotnosti 500 000 až 1 500 000 tun přece jenom trochu jiná liga. Protože ledová hora se vlivem neustálého odtávání ve vodě obrací, nebudeme daleko od pravdy, když budeme předpokládat kulový tvar. Hustota čistého mořského ledu je zhruba  $917 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Potom pro průměr koule aproximující tvarem ledovou horu dostaneme



$$m = \rho V = \rho \frac{4\pi r^3}{3} = \rho \frac{\pi d^3}{6},$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi\rho}} = \sqrt[3]{\frac{6m}{3,14 \cdot 917}} \approx 0,1277 \sqrt[3]{m}.$$

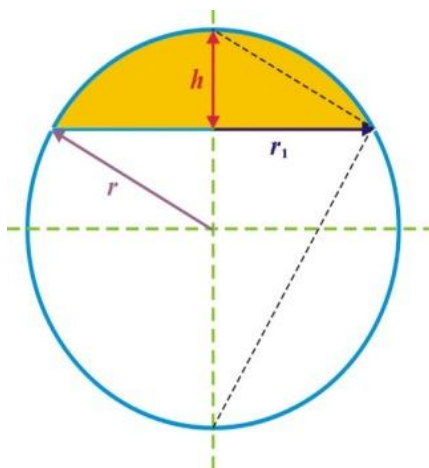
Pro  $m_1 = 500\,000\text{ t} = 5 \cdot 10^8\text{ kg}$  dostaneme

$$d_1 \approx 0,1277 \sqrt[3]{m} = 0,1277 \cdot \sqrt[3]{5 \cdot 10^8} \text{ m} = 0,1277 \cdot 793,7 \text{ m} = 101,4 \text{ m}.$$

Pro  $m_2 = 1\,500\,000\text{ t} = 1,5 \cdot 10^9\text{ kg}$  dostaneme

$$d_2 \approx 0,1277 \sqrt[3]{m} = 0,1277 \cdot \sqrt[3]{1,5 \cdot 10^9} \text{ m} = 0,1277 \cdot 1145 \text{ m} = 146,2 \text{ m}.$$

Získané výsledky dobře korespondují se skutečností. Část ledovce vynořená nad hladinou může mít často nepravidelný až bizarní tvar, ale to není podstatné, protože důležitý je jen její objem. U tělesa tvaru koule můžeme snadno určit, jaká jeho část bude nad hladinou.



Pro objem  $V_1$  kulové úseče o výšce  $h$  na kouli o poloměru  $r$  (či průměru  $d$ ) platí

$$V_1 = \frac{1}{6} \pi h (3r_1^2 + h^2).$$

Podle Euklidovy věty o výšce v pravoúhlém trojúhelníku platí

$$r_1^2 = h(2r - h).$$

Potom dostaneme pro objem  $V_1$  kulové úseče

$$V_1 = \frac{1}{6}\pi h(3h(2r - h) + h^2) = \frac{1}{6}\pi h(6hr - 3h^2 + h^2) = \frac{1}{3}\pi h^2(3r - h).$$

Vypočítat ke zvolenému objemu  $V_1$  příslušnou výšku úseče  $h$  je poměrně obtížné, protože se jedná vzhledem k proměnné  $h$  o rovnici třetího stupně. Proto je na místě použít numerické metody. Nejdříve najdeme závislost relativního objemu  $w$  potopené části koule na výšce kulové úseče  $h$ :

$$w = \frac{V - V_1}{V} = \frac{\frac{4\pi r^3}{3} - \frac{1}{3}\pi h^2(3r - h)}{\frac{4\pi r^3}{3}} = \frac{4r^3 - 3h^2r + h^3}{4r^3} = 1 - \frac{3}{4}\left(\frac{h}{r}\right)^2 + \frac{1}{4}\left(\frac{h}{r}\right)^3,$$

kde poměr  $h/r$  je relativní výška kulové úseče. Sestavíme tabulku a funkci

$$w = w\left(\frac{h}{r}\right) = \frac{V - V_1}{V} = 1 - \frac{3}{4}\left(\frac{h}{r}\right)^2 + \frac{1}{4}\left(\frac{h}{r}\right)^3$$

zakreslíme do grafu. V prvním sloupci tabulky je relativní výška kulové úseče (pro tisk jsou vybrány pouze hodnoty kolem očekávaného řešení). Ve druhém sloupci tabulky je odpovídající relativní objem  $w$  potopené části koule. Ve třetím sloupci je relativní objem  $w_1 = 0,892$  určený fyzikálními podmínkami (hustotou ledu a hustotou mořské vody). Tuto hodnotu určíme následující úvahou:

Tíhová síla  $F_{G1}$  působící na celou ledovou kouli o objemu  $V$  a hustotě  $\rho_1 = 917 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  musí být stejně velká, jako tíhová síla  $F_{G2}$  působící na celý objem  $V_2 = V - V_1$  vytlačené mořské vody o hustotě  $\rho_2 = 1028 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ :

$$F_{G1} = F_{G2},$$

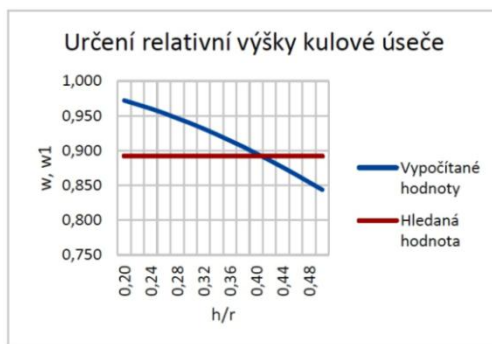
$$\rho_1 V g = \rho_2 (V - V_1) g,$$

$$w = \frac{V - V_1}{V} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{917}{1028} = 0,892 \approx 89,2 \, \%.$$

Výpočtem jsme zjistili, že za zvolených fyzikálních podmínek se 89,2 % objemu ledovce skrývá pod hladinou a 10,8 % je vidět na hladině. Nyní z tabulky pouze odečteme odpovídající relativní výšku kulové úseče:

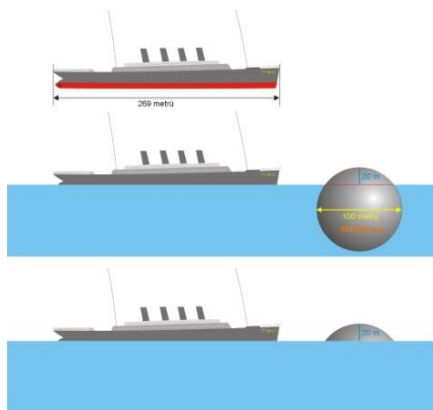
$h/r$	$w = (V - V_1)/V$	$w_1 = 0,862$
0,20	0,972	0,892
0,22	0,966	0,892
0,24	0,960	0,892
0,26	0,954	0,892
0,28	0,947	0,892
0,30	0,939	0,892
0,32	0,931	0,892
0,34	0,923	0,892
0,36	0,914	0,892
0,38	0,905	0,892
0,40	0,896	0,892
0,42	0,886	0,892
0,44	0,876	0,892
0,46	0,866	0,892
0,48	0,855	0,892
0,50	0,844	0,892

Hledanou hodnotu relativní výšky kruhové úseče  $h/r = 0,40$  můžeme odečíst také z grafu:

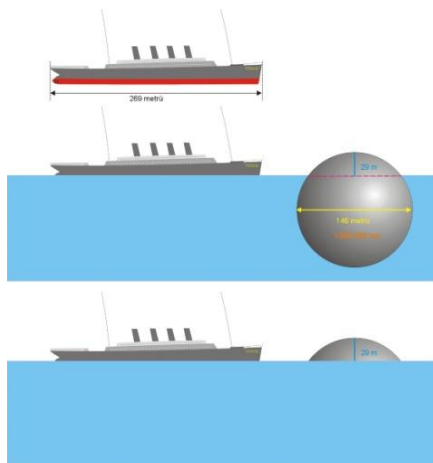


Pro ledovec tvaru koule platí, že nad hladinu vyčnívá 10,8 % jeho objemu, když výška kulové úseče je rovna 40 % poloměru koule (tj. 1/5 jejího průměru).

Na následujících dvou obrázcích je ve správném měřítku zachycen *Titanic* před srážkou s ledovcem, který je aproximován do tvaru koule. Jedná se o ledovec o celkové hmotnosti 500 000 tun a 1 500 000 tun.



Obr 6 Srážka Titaniku s ledovcem o hmotnosti 500 000 tun



Obr. 7 Srážka Titaniku s ledovcem o hmotnosti 1 500 000 tun

## 9. Náraz do překážky špicí lodě je mnohem bezpečnější

Je až s podivem, kolik toho vydrží loď při přímém nárazu do pevné překážky. Na druhé straně stačí lehce „štrejchnout“ bokem lodi a následky mohou být fatální. Platí to pro velké i malé lodě. Každý zkušený vodák to může potvrdit. Kdyby *Titanic* narazil do ledovce špicí, určitě by se nepotopil, navíc škody na majetku a ztráty na životech by byly podstatně menší. Těžko by ale tento manévř kapitán Titaniku později obhajoval před vyšetřovací komisí.

## 10. Nesprávně provedený vyhybací manévř

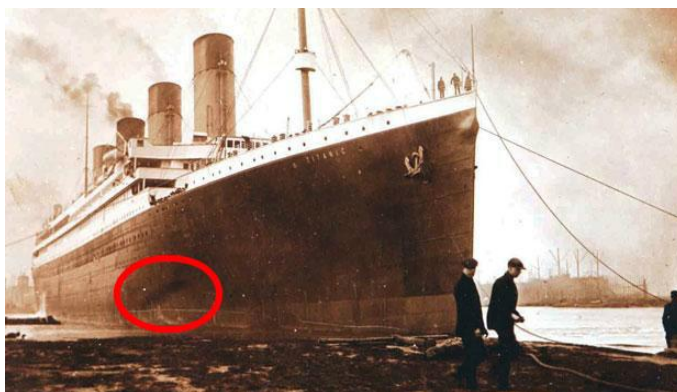
Už když se loď stavěla, upozorňovali někteří odborníci, že má příliš malé kormidlo. Stavitelé lodi to zdůvodňovali tím, že je to kvůli cestujícím z 1. třídy, protože s velkým kormidlem by se jim loď nezdála dostatečně elegantní. (Navíc se nepočítalo s nějakými rychlejšími změnami plavebního kurzu). Z téhož důvodu měla loď tehdy moderní čtyři komíny – čtvrtý neodváděl spaliny z kotlů, ale sloužil pouze k větrání. Zkušený český námořní kapitán **Ctirad Pacák**, který má velké zkušenosti s proplouváním mezi ledovci v polárních oblastech a který otevíral v roce 2018 v pražských Letňanech světově proslulou výstavu *Titanic*, k tomu říká: „*Tak velký ledovec, který potopil Titanic, by nám dnes ukázal radar, ale i tak jsou ledové hlídky stále nutné. Byla to neuvěřitelná shoda nešťastných náhod a také pýcha, co předchází pád. Záchraný manévř bych provedl jinak, ale po bitvě je každý generálem*“[9]. To, že kapitán lodi dal po zjištění ledovce zastavit motory, bylo špatné rozhodnutí. Tím, že se loď ale stále pohybovala setrvačností vzhledem k vodě, stále ještě obtékala kormidlo voda a stále na něj proto působila určitou silou, která otáčela loď. Ale v okamžiku, kdy kapitán nařídil zpětný chod, relativní pohyb vody vzhledem ke kormidlu prakticky ustal a tím se podstatně zpomalilo zatáčení. Přitom k úspěšnému vyhnutí se ledovci chyběly doslova pouze metry. Optimální povel by byl: levý šroub **zpět**, střední šroub (který přímo žene vodu na kormidlo) **plný vpřed** a pravý šroub **poloviční vpřed** (možná i více – podle chování lodi, tak aby nebyla ohrožena její stabilita). To by maximálně urychlilo zatáčení doleva (ledovec byl vpravo). Další **špatný rozkaz**, tentokrát až po nárazu, byl: „poloviční parou vpřed“. Tento rozkaz měl asi zakamuflovat náraz do ledovce – že se jako nic nestalo! Došlo tak hned na počátku k nahrnutí velkého množství vody do lodě. Když ale vezmeme do úvahy skutečnost, že na lodi zuřil utajovaný nebezpečný požár, docházelo uhlí a bylo třeba za každou cenu (přehnaně a zbytečně) prezentovat dokonalost Titaniku, byl kapitán lodi dlouhodobě ve stresu a při náhlém a nečekaném vzniku krizové situace neměl proto pro kvalitní a rychlé rozhodování vhodné podmínky.

## 11. Nezvyklé postavení Měsíce, Země a Slunce

Když zkoumali okolnosti této pravděpodobně nejznámější lodní havárie, došli vědci z *Texaské státní univerzity* k zajímavému závěru, že jednou z hlavních příčin ztroskotání Titaniku bylo nezvyklé postavení Měsíce, Země a Slunce dne **4. ledna 1912**. Tato tři nebeská tělesa se dostala do jedné přímky, což zesiluje příliv a odliv. Navíc byl Měsíc nejbližší Zemi za posledních 1 400 let. K tomuto přiblížení navíc došlo jen den po té, co se Země na své dráze nacházela nejbližší Slunci. A tento extrémní příliv umožnil, že se přes mělčiny mezi Labradorem a Novým Foundlandem dostalo nezvykle mnoho velkých ledovců. Vědci spočítali podle rychlosti mořských proudů, že právě s jedním z nich se *Titanic* v onu osudnou noc ze 14. na 15. dubna 1912 srazil [10]. Nebýt této výjimečné a málo pravděpodobné konstelace Měsíce, Země a Slunce a navíc v nesprávný čas, ledovec by se přes mělčiny pravděpodobně vůbec nedostal a ke srážce by nemohlo dojít.

## 12. Šokující zjištění – požár na palubě

Při zkoumání archivních materiálů se docela nedávno přišlo na to, že v pátém bunkru na palivo zuřil již před odplutím rozsáhlý požár, který nejen že ohrožoval pevnost lodi, ale také hrozilo, že lodi dojde palivo uprostřed Atlantiku, což by byla velká rána pro její konkurenceschopnost a vážně by to poškodilo i pověst celé společnosti White Star Line.



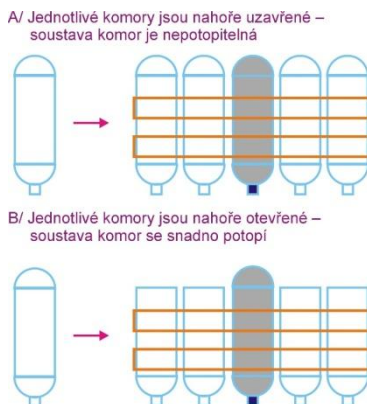
Obr. 8 Na boku Titaniku (v místě pátého bunkru na uhlí) jsou zřetelné stopy po zuřícím požáru – fotografii pořídili elektroinženýři lodi ještě před vyplutím z Belfastu [11]

### 13. Nedokonalé bezpečnostní přepážky

I když se všeobecně tvrdilo, že *Titanic* je **nepotopitelný**, mělo toto tvrzení jednu vážnou trhlínu. *Titanic* byl sice vybaven velkým množstvím vodotěsných přepážek, ale jednotlivé prostory nebyly nahoře vzduchotěsně uzavřeny, jak to již v té době bylo běžné u válečných lodí. Proto mohla voda v případě porušení trupu lodi volně proudit dovnitř do jednotlivých prostor, popř. se přelévat z komory do komory při podélném náklonu lodi. Jinak by jí v tom stlačený vzduch, který by nemohl volně unikat z horní části komory (z uzavřeného prostoru), účinně bránil a *Titanic* by se nepotopil. Můžeme se o tom přesvědčit jednoduchým pokusem s lahvemi PET.

#### Pokus:

Vezmeme sudý počet (alespoň 10) stejně velkých použitých lahví PET. Rozdělíme je na polovinu a pomocí vhodné lepicí pásky je spojíme do dvou řad. Prostřední PET láhev v každé řadě nijak neupravujeme, ale pouze ji naplníme pískem, který bude představovat užitečné zatížení lodi, a dobře ji zašroubojeme. U jedné řady odkrojíme horní část každé prázdné láhve (obr. 9). Odšroubováním jednoho nebo několika šroubovacích uzávěrů, které jsou nyní umístěny na spodní straně lahví, modelujeme poškození lodi.



Obr. 9 Modelování vlivu různé konstrukce komor na nepotopitelnost lodi

Snadno se přesvědčíme, že souprava, která obsahuje PET láhve se dnem, zůstává nepotopitelná, i když odstraníme všechny šroubovací uzávěry. Druhá souprava se v tomto případě okamžitě potopí.

#### 14. Nedostatečný počet záchranných člunů

Z dnešního hlediska je sice zářezující, že *Titanic* měl tak málo záchranných člunů, ale bylo to v souladu s tehdejšími bezpečnostními předpisy a nikdo se tomu nepodíval. Jezdily tak všechny velké parníky. Předpokládalo se, že parník bude spíše pomáhat jinému plavidlu, než aby záchranné čluny sám potřeboval. Po ztroskotání *Titaniku* došlo samozřejmě ke změně těchto zastaralých předpisů.

#### 15. Dokormidlovací zařízení

V současnosti existuje zařízení, kterým se nejdříve začaly vybavovat velké osobní lodě a které se nyní často používá i na malých kajutových člunech (délky kolem 10 m nebo větších) a které by spolehlivě *Titanic* mohlo **zachránit**. Jedná se o *dokormidlovací* zařízení, které je tvořeno trubicí umístěnou na přídi kolmo na podélnou osu lodi. V této trubici je vodní turbína poháněná elektromotorem. Zařízení se ovládá dvěma tlačítky (vlevo-vpravo). Za normální plavby se turbína neotáčí. Pokud potřebujeme změnit směr, spustíme turbínu. Zařízení je velmi účinné a již za několik málo sekund (u malé lodi) je schopno odklonit příď lodi o několik desítek úhlových stupňů v požadovaném směru. Používá se obvykle při manévrování v přístavu nebo v kritických situacích.



Obr. 10 Zkouška *dokormidlovacího* zařízení na kajutové lodi na Bat'ově kanálu

Funkci tohoto *dokormidlovacího* zařízení autor příspěvku prakticky vyzkoušel na pronajaté kajutové lodi *Nexus 870 Alessandria* (Jacht Morava, Babi-



ce) na Baťově kanálu. Na obr. 10 proudí voda z dokormidlovacího zařízení vpravo ke směru pohybu lodi a podle zákona akce a reakce se příd' lodi odklání vlevo.

## 16. Další osud ledovce

Osud ledovce, se kterým se srazil *Titanic*, byl v té době již také zpečetěn. Podle současného názoru klimatologů ledovec vlivem vzrůstající teploty okolní vody nejpozději do 14 dnů zcela roztál. Než se tak stalo, stačil jej vyfotografovat pro jeho zvláštní tvar vrchní steward na německém parníku Prinz Adalbert. Bylo to v neděli 15. dubna 1912 v dopoledních hodinách nedaleko místa potopení Titaniku. Upoutala jej velká šmouha červené barvy u paty ledové hory, naznačující nedávnou srážku s nějakou lodí. Předpokládá se, že právě tato ledová hora způsobila tragédii Titaniku (ten byl pod čarou ponoru natřen červenou barvou). V té době posádka této lodi ještě o potopení Titaniku nevěděla.



Obr. 11. Ledovec, který pravděpodobně potopil *Titanic* [12]

## 17. Rozpustili bychom tento ledovec?

Jaderná elektrárna Temelín (JETE) má celkový výkon 2 000 MW. Jak dlouho by trvalo, než by ledovec o průměrné hmotnosti jeden milion tun a teplotě  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  převedla na vodu o teplotě  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Měrná tepelná kapacita ledu je  $2\,090\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody je  $4\,185\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání ledu je  $332\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

**Zápis příkladu:**

$P = 2\,000\text{ MW} = 2 \cdot 10^9\text{ W}$ ,  $m = 1\,000\,000\text{ t} = 10^9\text{ kg}$ ,  $c_1 = 2\,090\text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  
 $c_2 = 4185\text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $l_t = 332\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $t_1 = -10\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 0\text{ }^\circ\text{C}$  a  $t_3 = 4\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Řešení příkladu:**

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{P} = \frac{mc_1(t_2 - t_1)}{P} = \frac{10^9 \cdot 2\,090 \cdot (0 - (-10))\text{ J}}{2 \cdot 10^9\text{ W}} = \frac{2,09 \cdot 10^{13}\text{ J}}{2 \cdot 10^9\text{ W}}$$

$$\tau_1 = 10^4\text{ s} = \frac{10\,000\text{ s}}{3\,600} = 2,78\text{ h}$$

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{P} = \frac{ml_t}{P} = \frac{10^9 \cdot 332 \cdot 10^3\text{ J}}{2 \cdot 10^9\text{ W}} = \frac{3,32 \cdot 10^{14}\text{ J}}{2 \cdot 10^9\text{ W}}$$

$$\tau_2 = 1,66 \cdot 10^5\text{ s} = \frac{166\,000\text{ s}}{3\,600} = 46,11\text{ h}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{P} = \frac{mc_2(t_3 - t_2)}{P} = \frac{10^9 \cdot 4\,185 \cdot (4 - 0)\text{ J}}{2 \cdot 10^9\text{ W}} = \frac{16,74 \cdot 10^{12}\text{ J}}{2 \cdot 10^9\text{ W}}$$

$$\tau_3 = 8,37 \cdot 10^3\text{ s} = \frac{8\,370\text{ s}}{3\,600} = 2,33\text{ h}$$

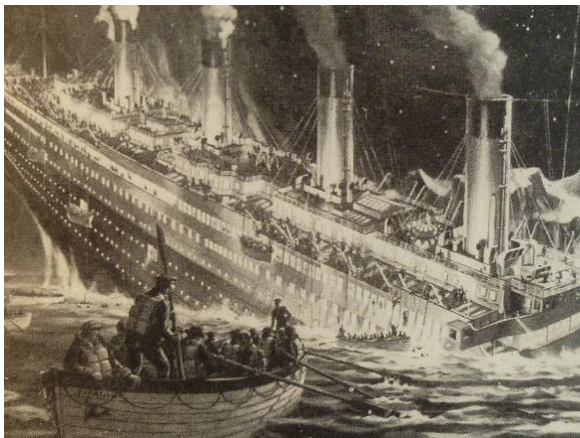
$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = (2,78 + 46,11 + 2,33)\text{ h} = 51,22\text{ h} \approx 2\text{ d } 3\text{ h}.$$

**Odpověď:**

K ohřátí a roztopení ledu a ohřátí vzniklé vody na stanovenou teplotu by bylo potřeba asi 2 dnů a 3 hodin.

**18. Závěr**

Teprve po 110 letech od ztroskotání Titaniku můžeme hodnověrně zodpovědět palčivou otázku, proč jej jeho kapitán *Edward Smithe* nepochopitelně štal tmavou nocí maximální rychlostí severním Atlantikem, v době výskytu nezvyklého množství velkých ledových hor, kdy všechny ostatní lodě v okolí raději zastavily a čekaly až do úsvitu. **Bylo to proto, že se bál, aby mu nedošlo uhlí, kterého měl kvůli požáru v uhelném bunkru a kvůli stávkám horníků nedostatek.** Je až zarážející, kolik dalších relativně drobných a zdánlivě nepodstatných okolností se **muselo spojit**, aby k této katastrofě nakonec vůbec došlo.



## Literatura

- [1] Čajový klipr. [cit. 5. 8. 2022]. Dostupné online: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Klipr>
- [2] Great Eastern – prokleté plující město. [cit. 8. 11. 2015]. Dostupné online: <https://www.stoplusjednicka.cz/parnik-great-eastern-proklete-plujici-mesto>
- [3] Bruttoregistrovaná tuna. [cit. 5. 8. 2021]. Dostupné online: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Brutto\\_registrovan%C3%A1\\_tuna](https://cs.wikipedia.org/wiki/Brutto_registrovan%C3%A1_tuna)
- [4] Když se slova stanou skutečností. Povídka Titan předznamenala zkázu Titanicu. [cit. 29. 9. 2022]. Dostupné online: <https://plzenoviny.cz/kdyz-se-slova-stanou-skutecnosti-povidka-titan-predznamenala-zkazu-titanicu/>
- [5] Davie M.: *Titanic*. Nakl. Svoboda, Praha 1991.
- [6] *Titanic*. [cit. 20. 8. 2022]. Dostupné online: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Titanic>
- [7] *Třída Olympic*. [cit. 6.4.2021]. Dostupné online: [https://cs.wikipedia.org/wiki/T%C5%99%C3%ADda\\_Olympic](https://cs.wikipedia.org/wiki/T%C5%99%C3%ADda_Olympic)
- [8] *RMS Mauretania (1906)*. [cit. 18. 4. 2022]. Dostupné online: [https://cs.wikipedia.org/wiki/RMS\\_Mauretania\\_\(1906\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/RMS_Mauretania_(1906))

- [9] Manévr Titanicu bych provedl jinak. Ale po bitvě je každý generál, říká zkušený český kapitán. [cit. 10.2.2018]. Dostupné online: <https://magazin.aktualne.cz/ledovec-co-potopil-titanic-nam-dnes-ukaze-radar-rika-cesky-n/r~10f58374cf3211e5a8d7002590604f2e/>
- [10] Revoluční vědecký objev: Titanic se potopil kvůli nezvyklému postavení Měsíce. [cit. 27. 06. 2018]. Dostupné online: <https://www.national-geographic.cz/clanky/titanic-se-potopil-kvuli-nezvyklemu-postaveni-mesice.html>
- [11] Příčinou potopení Titaniku byl zřejmě velký požár na palubě. [cit. 8. 1. 2017]. Dostupné online: <https://plus.rozhlas.cz/pricinou-potopeni-titanicu-byl-zrejme-velky-pozar-na-palube-6526479>
- [12] Hubáček M.: *Titanic*. Mladá fronta, Praha 1989, 1998. ISBN 80-204-0721-9.

## Vědecké myšlení studentů nastupujících na PŘF UP

TEREZA HROUZKOVÁ, LUKÁŠ RICHTERK

Katedra experimentální fyziky, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc

### Abstrakt

*Lawsonův test vědeckého myšlení je poměrně využívaný nástroj ke zjišťování úrovně vědeckého myšlení žáků a studentů. Tento test jsme zadali v průběhu čtyř let 660 studentům převážně prvního ročníku bakalářského studia na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci. Výpočet základních charakteristických veličin ukazuje na dobrou diskriminační sílu a konzistenci testu i jednotlivých položek. Mann-Whitneyho neparametrický U-test na hladině významnosti 5 % ukázal statisticky významný rozdíl mezi výsledky mužů a žen. Naopak na stejné hladině významnosti nebyl prokázán statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými lety počátku studia ani mezi studenty učitelských a neučitelských programů. To je v rozporu s obecně míněným názorem, že studium učitelství si vybírají studenti, kteří dosahují horších výsledků v přírodovědných a technických oborech. Byla také analyzována korelace celkového skóre v testu a dokončením alespoň druhého ročníku bakalářského studia. Tento výzkum rozšířil hlavní využití Lawsonova testu také o analýzu přesnosti postdiktčního soudu.*

### Lawsonův test-nástroj pro měření úrovně vědeckého myšlení

S rozvojem techniky a vědy se mění požadavky pracovního trhu. S tím je také úzce spjata orientace výuky ve 21. století. Ve vzdělávacích strategiích je kromě obsahu vzdělávání zdůrazňován rozvoj kompetencí a dovedností klíčových pro vědecký výzkum. Snahou je u žáků rozvíjet přírodovědnou gramotnost, jejíž neodmyslitelnou součástí je také schopnost vědeckého uvažování. Za důležitý faktor ve výkonu studenta v přírodních vědách. Vědecké myšlení může být skrytou proměnnou v porozumění učení a abstraktním pojmům v přírodovědném vzdělávání. Mapování úrovně vědeckého myšlení potom může pomoci při volbě vhodných metod výuky i předkládaných úloh. Přestože je vědecké myšlení zdůrazňováno ve strategiích pro vzdělávání a jedná se o jeden z klíčových cílů, mnoho učitelů při své práci zapomíná na hodnocení rozvoje těchto dovedností a primárně se soustředí pouze na obsahové znalosti žáků [8].

Zahraniční studie popisují pozitivní korelaci mezi úrovní vědeckého myšlení učitele a efektivitou používání vhodných modernějších metod výuky [9, 15].

V literatuře je vědecké myšlení definováno jako souhrn kognitivních znalostí a dovedností, které umožňují systematicky postupovat při řešení problému. V širším pojetí pak vědecké myšlení zahrnuje schopnost dotazovat se, navrhovat hypotézy, experimentovat, vyhodnocovat data, argumentovat a vyvozovat závěry [4, 9, 10]. Pokud jsou tyto dovednosti dobře osvojeny a vědecké myšlení je na vysoké úrovni, mohou být úspěšně uplatněny při řešení situací v běžném životě. Teorii vývoje kognitivních dovedností dítěte se ve 20. století zabýval švýcarský psycholog Jean Piaget, jenž zmíněné dovednosti označoval jako „formální uvažování“ [9]. Prvním ze způsobů určení úrovně vědeckého myšlení byl klinický rozhovor. Tato metoda byla časově náročná a zároveň vyžadovala určitou zkušenost s kladením otázek. Snahou bylo vytvořit nástroj, který by byl časově méně náročný, bylo možné pracovat s více respondenty najednou a zároveň byl nástroj dostatečně spolehlivý a validní [6].

Na základě Piagetových klinických rozhovorů začaly vznikat různé testy jako *Group Assessment of Logical Thinking Test* nebo *Test of Logical Thinking*. Lawson navrhl v roce 1978 test pro určení úrovně vědeckého myšlení obsahující 15 úloh, který se stal velmi oblíbený [10, 13]. Studentům byl při něm předveden experiment a položena otázka, ti pak v záznamovém archu vybírali správnou odpověď a následně své tvrzení zdůvodnili. V návaznosti na předchozí práci Lawson v roce 2000 publikoval vylepšenou verzi testu [14]. Tato nová verze obsahuje 11 dvojúrovňových otázek a dvě samostatné otázky. Respondenti u všech otázek vybírají jednu správnou odpověď z několika nabízených. Administrativně je tedy tato verze méně náročná a oproti předchozí verzi, kdy výzkumník rozhodoval o relevantnosti zdůvodnění, není kladen žádný požadavek na předchozí zkušenosti. Lawsonův test z roku 2000 obsahuje úlohy ze sedmi oblastí vědeckého myšlení. Oproti předchozí verzi neobsahuje úlohy z oblasti kombinatorického myšlení, a navíc jsou v testu zařazeny otázky z korelačního a kombinačního (v zahraniční literatuře nazýváno hypoteticko-deduktivní) myšlení [3]. Zdá se, že Lawsonův test vědeckého myšlení může splňovat výše zmíněná kritéria pro vhodný nástroj k měření úrovně vědeckého myšlení.

### **Metodologie výzkumu**

V tomto příspěvku uvádíme výsledky výzkumu, který byl realizován v letech 2018-2021 na Přírodovědecké fakultě Univerzity Palackého v Olomouci. Celkově se do výzkumu zapojilo 660 studentů ze studijních programů zaměřených na chemii, informatiku a fyziku (společně označovány jako neuči-

telské programy) a programů připravujících učitele přírodovědných předmětů. Test byl studentům zadán vždy v prvních týdnech semestru, tak aby výsledky nebyly ovlivněny předchozími zkušenostmi studentů s vysoko-školskou výukou. Studentům byl zadán český překlad testu (přeložil doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc.), který nám poskytl RNDr. Irena Dvořáková, Ph.D.

Lawsonův test vědeckého myšlení obsahuje 11 dvouúrovňových úloh. První z dvojice otázek je zaměřená na správné řešení dané situace, druhá pak na odůvodnění zvolené odpovědi v předchozí otázce. Respondent mohl získat dva body za každou správně vyřešenou dvouúrovňovou úlohu. V případě, že jednu z dvojice otázek nebo obě zodpověděl špatně, nezískal žádný bod. Otázky 23 a 24 byly hodnoceny nezávisle na sobě a student za každou správnou odpověď mohl získat jeden bod. Maximální bodový zisk byl tedy 24 bodů. Bodování a vyhodnocování výsledku se řídilo doporučenými instrukcemi [21]. Lawsonův test vědeckého myšlení umožňuje rozeznávání třech úrovní vědeckého myšlení, konkrétně operační (0-8 bodů), přechodná (9-16 bodů) a formálně operační (17-24 bodů).

Standardní charakteristiky testových položek i celého testu byly stanoveny na základě [5, 7], kde jsou uvedeny vzorce i doporučená rozmezí hodnot. Diskriminační sílu celého testu měří Fergusonova delta charakterizující, jak je rozděleno celkové skóre vzorku. Pokud je test dobře navržen, je rozložení celkového skóre široké. Fergusonova delta nabývá hodnot  $<0 ; 1>$ . Test má dobrou diskriminační sílu, je-li hodnota Fergusonovy delty alespoň 0,9.

Míru konzistence celého testu bez opakovaného měření nebo navržení dvou testů nám umožňuje Kuder-Richardsonův koeficient. Kritérium pro tento koeficient závisí na účelu testu. Pro vzorec z [5] spadá hodnota KR-21 do intervalu  $<0 ; 1>$ . Pro individuální měření je test spolehlivý, je-li hodnota Kuder-Richardsonova koeficientu větší než 0,8, pro skupinové měření vyšší než 0,7. Lawsonův test vědeckého myšlení je navržen pro měření velkého počtu studentů současně, považujeme tedy za mezní hodnotu 0,7. Na základě vnitřní konzistence testu můžeme reliabilitu testu určit pomocí Cronbachova alfa. Hodnota reliability by měla být v tomto případě vyšší než 0,6.

Bodový biseriální koeficient  $r_{pbs}$ , v některé literatuře označovaný jako index spolehlivosti, určuje míru konzistence testové položky s celým testem. Jedná se o určitou formu korelačního koeficientu, neboť odráží korelaci mezi celkovým výsledkem studentů a úspěšností řešení v testové položce. Hodnota bodového biseriálního koeficientu se nachází v intervalu  $<-1 ; 1>$ . Položka je považována za spolehlivou, je-li  $r_{pbs} \geq 0,3$ .

Index obtížnosti položky  $P$  udává míru správných odpovědí z celkového souboru. Vypočítá se tak, že vezmeme počet  $N_s$  správných odpovědí na otázku

k celkovému počtu  $N_0$  studentů, kteří danou položku odpověděli ( $P = N_S/N_0$ ). Doporučená hodnota pro tento index je interval  $\langle 0,3 ; 0,9 \rangle$ . Chrástka považuje za nejvhodnější otázky s indexem obtížnosti přibližně 0,5 a položky s indexem obtížnosti mimo interval  $\langle 0,2 ; 0,8 \rangle$  považuje za příliš snadné nebo naopak příliš obtížné [12].

Index diskriminace  $D$  je mírou diskriminační síly testové položky. Určuje, jak dobře daná otázka odlišuje studenty s vyšším celkovým skóre od těch s nižším. Způsobů, jak určit index diskriminace je více, my jsme zvolili metodu pomocí rozdělení studentů podle kvartilů. Množina  $H$  je tvořena 25 % studentů s nejvyšším dosaženým skóre, do skupiny  $L$  je zařazeno 25 % studentů s nejnižším počtem získaných bodů. Počet  $N_H$  odpovídá počtu správných odpovědí na danou otázku ve skupině  $H$ , počet  $N_L$  je počet správných odpovědí na položku v množině  $L$ . Pro počet  $N$  celkového počtu studentů platí  $D = (N_H - N_L)/(N/4)$ . Hodnota indexu diskriminace padne do intervalu  $\langle -1 ; 1 \rangle$ , přičemž položka má dobrou diskriminační sílu, je-li  $D \geq 0,3$ .

Úroveň vědeckého myšlení může ovlivňovat pravděpodobnost dokončení bakalářského studia. Pro určení korelace mezi celkovým skóre v testu a úspěšném absolvování alespoň 2. ročníku bakalářského studia jsme použili Pearsonův korelační koeficient. Korelaci považujeme za volnou, jeli hodnota koeficientu nižší než 0,5. Kritérium dokončení alespoň druhého ročníku studia bylo zvoleno s ohledem na délku trvání výzkumu a také na fakt, že student, který úspěšně dokončil 2. ročník má vysokou pravděpodobnost dokončit celé studium. Pearsonův korelační koeficient byl také použit při hledání korelace mezi jednotlivými testovanými oblastmi vědeckého myšlení. Na základě analýzy byla vytvořena korelační matice.

Schopnost metakognitivního monitorování byla měřena na základě postdiktčního soudu. Studenti zapojení do výzkumu v letech 2020-2021 byli po dokončení testu vyzváni, aby na škále 0-24 označili bodový zisk, kterého si myslí, že dosáhli. Do této části výzkumu se zapojilo 327 studentů. Míra přesnosti postdiktčního soudu udává rozdíl mezi domnívaným skóre a skutečně dosaženým výsledkem. Kladné hodnoty poukazují na přeceňování svého výkonu, záporné na podceňování. Čím více se hodnota blíží k nule, tím je přesnost postdiktčního soudu větší.

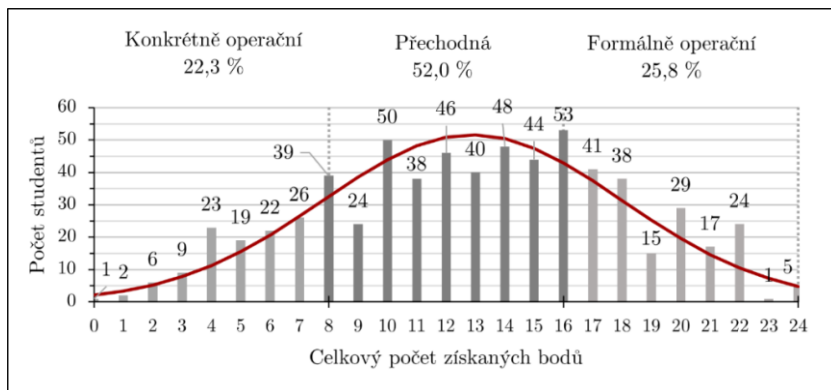
Na základě výsledků byly testovány stanovené hypotézy. Pro ověření byl využit Mann-Whitneyho neparametrický U-test a oboustranný Studentův t-test. Testování proběhlo na hladině významnosti 5 %. Testování hypotéz bylo provedeno programovacím jazykem *Python* pomocí jeho open-source programu pro analýzu dat, knihovny *pandas* a modulu pro statistické funkce *scipy.stats*.



## Diskuse výsledků

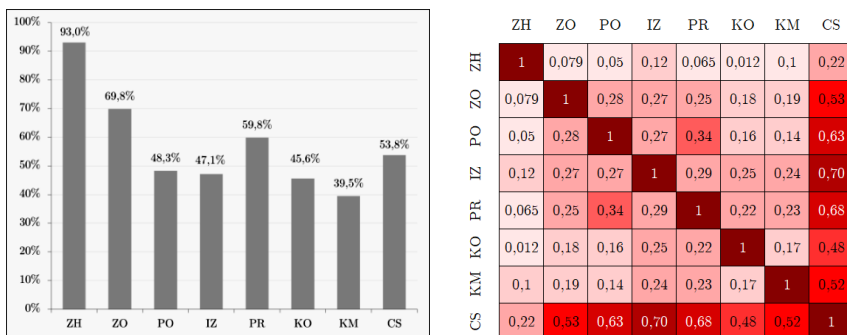
Na histogramu (obr. 1) je zobrazeno rozložení celkového skóre v Lawsonově testu vědeckého myšlení (dále jen LCTSR). Průměrné skóre studentů PŘF UP je 12,9 bodů, první kvartil 9 a třetí kvartil 17 bodů. Medián tohoto souboru je 13 bodů a směrodatná odchylka 5,1. Z obrázku jde vidět, že více než pětina (22,3 %) studentů má vědecké myšlení rozvinuté na konkrétně operační úrovni, více než polovina (52,0 %) se nachází na přechodné úrovni a přibližně čtvrtina (25,8 %) studentů se nachází na nejvyšší úrovni formálních operací. Tyto výsledky by mohly naznačovat, že někteří studenti mohou mít během studia problémy správně pochopit abstraktní pojmy jako je např. energie.

Do našeho výzkumu bylo zapojeno 254 studentů, kteří studium ukončili (medián 12,0; minimum 1,0; maximum 23,0; průměr 11,8) a 120 studentů, kteří úspěšně dokončili alespoň 2. ročník studia (medián 14,0; minimum 4,0; maximum 24,0; průměr 13,9). Mann-Whitneyho U-test prokázal odlišná rozdělení a stejně tak t-test statisticky rozdílné průměrné hodnoty ( $p = 0,000$ ). Ve srovnání s výsledky z MFF UK z roku 2011, kdy nejnižší testovanou úroveň vědeckého myšlení mělo pouze 9,3 % studentů a přechodnou 59,3 %, můžeme konstatovat, že výsledky v našem výzkumu jsou relativně nízké. Nižšího průměrného skóre bylo dosaženo také oproti studentům v USA a Číně [2]. Naopak lepších výsledků bylo na PŘF UP dosaženo ve srovnání s [16, 19].



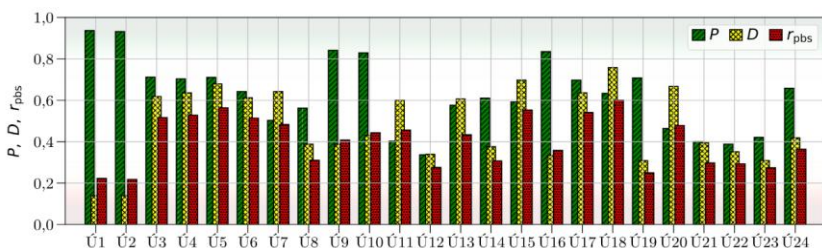
Obr. 1 Histogram celkového skóre v LCTSR s odhadem hustoty distribuční funkce a rozdělením úrovní vědeckého myšlení

Levostranně sešikmená křivka hustoty rozdělení ( $\gamma_3 = -0,1028$ ) ukazuje, že většina studentů dosáhla vyššího skóre, než je průměrný bodový zisk. Záporná hodnota špičatosti ( $\gamma_4 = -0,6919$ ) znamená, že rozdělení je platykurtické oproti normálnímu rozdělení se stejným průměrem a směrodatnou odchylkou. Velkou diskriminační sílu testu ukazuje hodnota Fergusonovy delty 0,98. Kuder-Richardsonův koeficient  $r_{21} = 0,85$  i Cronbachova alfa určená na základě dvojúrovňových úloh  $\alpha_{12} = 0,98$  popisují vysokou homogenitu testu.



Obr. 2 Úspěšnost v jednotlivých oblastech vědeckého myšlení vypočítaná z maximálního bodového zisku v dané oblasti a korelační matice (ZH-zachování hmotnosti, ZO-zachování vytlačeného objemu, PO-poměrové myšlení, IZ-identifikace a kontrola změny, PR-pravděpodobnostní myšlení, KO-korelační myšlení, KM-kombinační myšlení, CS-celkové skóre)

Lawsonův test vědeckého myšlení obsahuje otázky ze sedmi oblastí vědeckého myšlení. Nejlepší výsledky jsme zaznamenali v oblasti zachování hmotnosti a zachování vytlačeného objemu. Tyto oblasti spadají od konkrétně operačního myšlení a můžeme je považovat spíše za motivační. Nejméně úspěšní byli studenti v oblasti kombinačního myšlení a korelačního myšlení. Úlohy z těchto oblastí bývají standardně do výuky zařazeny méně často než např. úlohy z pravděpodobnostního či poměrového myšlení. Na obr. 2 jsou zobrazeny úspěšnosti v jednotlivých oblastech a korelace mezi jednotlivými oblastmi a celkovým skóre. Mezi jednotlivými oblastmi je volná korelace. Největší závislosti byly sledovány mezi celkovým skóre a oblastmi pravděpodobnostního myšlení a identifikace a kontroly změny. Tyto závěry jsou využity při dalším výzkumu sledování strategie řešení úloh LCTSR.

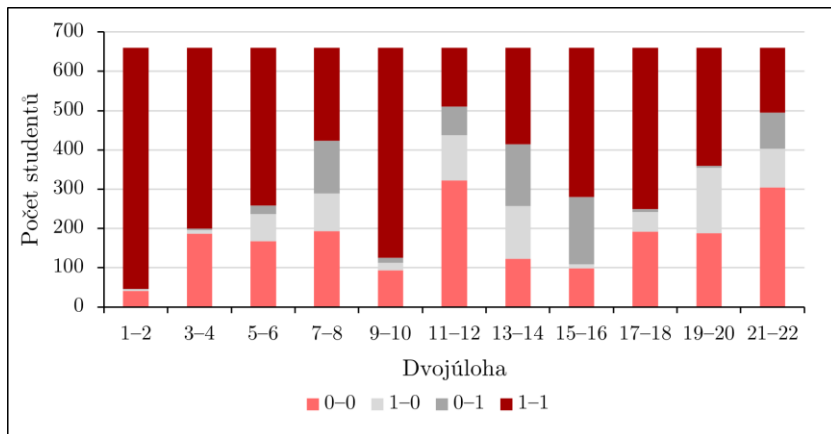


Obr. 3 Položková analýza 24 úloh LCTSR: index obtížnosti  $P$ , index diskriminace  $D$  a bodový biseriální koeficient  $r_{pbs}$

Položková analýza je zobrazena na obr. 3. Na základě výpočtu indexu obtížnosti konstatujeme, že v testu není obsažena úloha, která by byla příliš obtížná ( $P_{\min} = 0,34$  pro otázku 12). Průměrná hodnota indexu obtížnosti je  $\bar{P} = 0,63$ . Otázky 1 a 2 můžeme označit za velmi snadné, neboť  $P_1 = 0,94$  a  $P_2 = 0,93$ . Tato dvojúloha je zaměřená na oblast zachování hmotnosti, která spadá do konkrétně operační úrovně, a tedy ji spíše v testu považujeme za motivační. Tyto otázky mají nejnížší bodový biseriální koeficient  $r_{pbs}$ , který však vyhovuje limitu 0,2. V našem výzkumu bylo ukázáno, že všechny otázky v testu jsou konzistentní. Průměrná hodnota bodového biseriálního koeficientu je  $\bar{r}_{pbs} = 0,4$ . Podobně také nejnížší hodnoty indexu diskriminace  $D$  byly zaznamenány u otázek 1 a 2. Tyto otázky mají nižší hodnotu diskriminačního indexu, než je požadované minimum 0,3. Dvojúrovňová úloha má nízkou rozlišovací schopnost. Průměrná hodnota indexu diskriminace je v našem výzkumu  $\bar{D} = 0,48$ .

Ve dvojúrovňovém systému hodnocení můžeme rozlišit konzistentní odpovědi (respondent zodpoví obě otázky správně nebo obě špatně) a nekonzistentní odpovědi (jedna z odpovědí je správná, druhá špatná). Na obr. 4 je zaznamenána konzistentnost odpovědí na jednotlivé úlohy. Naším výzkumem jsme potvrdili závěry studie [3], ve které autoři upozorňují na fakt, že čtyři z pěti úloh, u kterých bylo zaznamenáno nejvíce nekonzistentních odpovědí, nebylo obsaženo v původní verzi Lawsonova testu vědeckého myšlení z roku 1978. Položka, u níž bylo zaznamenáno velké množství nekonzistentních odpovědí, ale v původní verzi testu byla, je úloha 7–8. Han však ve své práci popisuje dvě možné správné odpovědi v otázce 8 [9]. Možnost E je autory testu považována za špatnou, my se však přikláníme k názoru Han. Pokud bychom test nehodnotili systémem dvojúrovňových úloh, ale každá otázka by byla hodnocena samostatně, výrazně by se změnilo rozložení skóre i počty studentů v jednotlivých

úrovních vědeckého myšlení (viz tab. 1). V našem výzkumu byla zaznamenána jedna studentka s celkovým skóre 0 bodů. Některé z otázek zodpověděla správně, ale všechny odpovědi byly nekonzistentní, tedy nezískala žádný bod.



Obr. 4 Konzistence odpovědí na dvojúrovňové otázky (0–0–obě otázky špatně zodpovězené, 1–0–první z dvojice odpovědí správně, druhá špatně, 0–1–první otázka z dvojice špatně zodpovězená, druhá správně, 1–1–obě otázky správně zodpovězené)

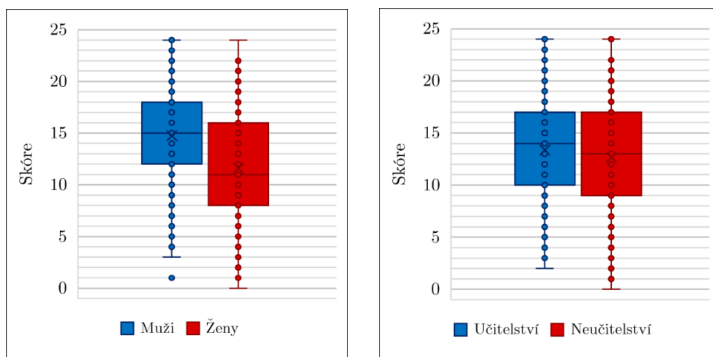
Tabulka 1. Porovnání výsledků při dvojúrovňovém hodnocení úloh a samostatně hodnocených otázek (AVG–průměr, SD–směrodatná odchylka, MED–medián,  $Q_{0,25}$ –první kvartil,  $Q_{0,75}$ –třetí kvartil, Ú-KO–úroveň konkrétně operační, Ú-P–úroveň přechodná, Ú-FO–úroveň formálně operační).

	AVG	SD	MED	$Q_{0,25}$	$Q_{0,75}$	Ú-KO	Ú-P	Ú-FO
Samostatné	15,1	4,1	16	12	18	9,2 %	48,3 %	49,4 %
Dvojúrovňové	12,9	5,1	13	9	17	22,3 %	52,0 %	25,8 %

Během analýzy dat jsme si všimli, že by mohly existovat rozdíly mezi výsledky mužů a žen (obr. 5). Celkově se do výzkumu zapojilo 386 žen (medián 11,0; minimum 0,0; maximum 24,0; průměr 11,6) a 274 mužů (medián 15,0; minimum 1,0; maximum 24,0; průměr 14,8). Mann-Whitneyho U-test ukázal na hladině 5 % statisticky významný rozdíl rozložení celkového skóre a také Studentův t-test na stejné hladině významnosti prokázal statisticky významný rozdíl v průměrném skóre. Tyto závěry jsou v souladu se studií [11]. Další

výzkumy také potvrzují, že pohlaví může ovlivnit fyzikální či technické myšlení [20]. Výzkumy [17, 18] naopak popisují, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi výsledky na základě pohlaví. Rozdílné závěry mohou být způsobeny kulturně-historickými vlivy, odlišnými vzdělávacími systémy a dalšími faktory. LCTSR také navrhl muž, což může také ovlivnit výsledky.

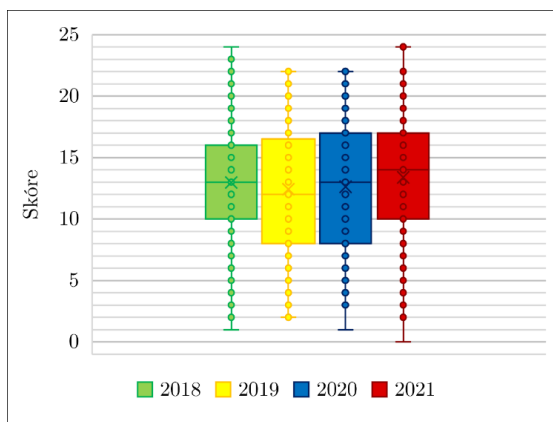
Podobným způsobem jsme se také zaměřili na rozdíly ve výsledcích studentů učitelských a neučitelských programů. Chtěli jsme najít odpověď na společenské přesvědčení, že kariéru učitelů si vybírají studenti s horšími výsledky a předpoklady ke studiu neučitelských odborných programů. Analýza výsledků (obr. 5) 212 studentů učitelských programů (medián 14,0; minimum 2,0; maximum 24,0; průměr 13,4) a 448 studentů neučitelských programů (medián 13,0; minimum 0,0; maximum 24,0; průměr 12,7) nenaznačuje rozdílné výsledky mezi těmito skupinami. Tento předpoklad potvrdil Mann-Whitneyho U-test i Studentův t-test na 5 % hladině významnosti. Můžeme tedy konstatovat, že v rámci naší fakulty by studenti učitelství neměli být automaticky bráni jako horší s nižšími předpoklady pro studium. Tyto závěry v současné době nemůžeme porovnávat s obdobnou studií.



Obr. 5 Krabicové grafy znázorňující průměrnou hodnotu, medián, kvartily a extrémní hodnoty s ohledem na pohlaví a studijní obor respondenta

Zajímavé pro nás také bylo porovnat výsledky z jednotlivých let, ve kterých výzkum probíhal, a to především kvůli tomu, že od jara 2020 až do roku 2021 probíhala nejen na českých školách ve vysoké míře distanční nebo hybridní výuka. Jelikož 97,6 % zapojených studentů byli na počátku 1. ročníku studia, můžeme porovnat, jak distanční výuka ovlivnila úroveň vědeckého myšlení u žáků SŠ hlásící se na PřF UP. V roce 2018 byl test zadán 158 studentům

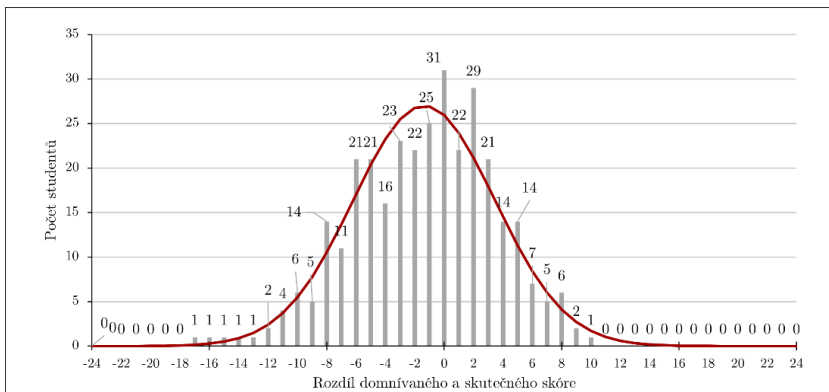
(medián 13,0; minimum 1,0; maximum 24,0; průměr 13,0), v roce 2019 133 studentům (medián 12,0; minimum 2,0; maximum 22,0; průměr 12,4), v roce 2020 155 studentům (medián 13,0; minimum 1,0; maximum 22,0; průměr 12,7) a v roce 2021 214 studentům (medián 14,0; minimum 0,0; maximum 24,0; průměr 13,4). Výsledky (viz obr. 6) nenaznačují statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými lety. Také Mann-Whitneyho U-test a Studentův t-test statisticky významný rozdíl neukázal. Na základě těchto výsledků se můžeme domnívat, že distanční výuka neovlivnila úroveň vědeckého myšlení studentů hlásících se na PřF UP. Výsledky však v současné době není možné porovnat se závěry jiných studií.



Obr. 6 Krabicové grafy znázorňující průměrnou hodnotu, medián, kvartily a extrémní hodnoty s ohledem na rok testování

Na obr. 7 je zobrazen histogram rozdílů postdikčního soudu studentů a skutečného získaného skóre. Záporné hodnoty ukazují, že studenti své výkony spíše podceňovali (průměr -1,4; medián -1, minimum -17, maximum 10). Absolutně přesný odhad svého výkonu mělo 31 studentů z 327, což je přibližně 1 %. V našem výzkumu nebyla prokázána žádná korelace mezi přesností postdikčního soudu a výsledky v jednotlivých oblastech či v celém testu. Závěry výzkum na Univerzitě Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem realizovaný na pedagogické fakultě byly opačné, tedy že se studenti spíše nadhodnocují [16]. Ve výzkumu jsme se také zaměřili, zdali existuje souvislost mezi rozdílem domnívaného a skutečného skóre v LCTSR a pohlavím respondenta, oborem studia či rokem testování. Mann-Whitneyho test prokázal různá rozdělení pouze mezi muži a ženami a stejně tak Studentův t-test prokázal statisticky vý-

znamný rozdíl mezi průměrnými hodnotami mužů a žen. Jiný determinující parametr nebyl nalezen.



Obr. 7 Histogram rozdílu domnívaného a skutečného skóre v LCTSR s odhadem hustoty distribuční funkce

## Závěr

V našem příspěvku jsme se zabývali úrovní vědeckého myšlení studentů na začátku jejich studia na PřF UP v Olomouci měřenou Lawsonůvým testem vědeckého myšlení. Získané výsledky ověřily spolehlivost i konzistenci testu a celkově dobrou rozlišovací schopnost. Položková analýza potvrdila vhodné vlastnosti úloh v testu. Relativně nízké celkové skóre ukazuje, že studenti začínající studium na PřF UP často nedosahují nejvyšší úrovně vědeckého myšlení. V souladu s výsledky z [1] konstatujeme, že studenti začínají rozvíjet formálně operační myšlení až kolem vysokoškolských let. Důležitým prvkem výuky na VŠ by proto měly být činnosti, při kterých se studenti učí vysvětlovat a obhajovat své názory, stanovovat a ověřovat hypotézy a pracovat s výsledky. Nejvyšší úroveň vědeckého myšlení studentům umožňuje správně pochopit abstraktní pojmy. Studenti, kteří na počátku studia dosahují nižších výsledků v Lawsonově testu, mají také nižší pravděpodobnost dokončit alespoň druhý ročník baka-lářského studia.

Výzkum prokázal statisticky významný rozdíl mezi výsledky studentek a studentů. Porovnávali jsme rovněž výsledky studentů učitelství přírodovědných oborů a oborů z oblasti fyziky, chemie, biologie a informatiky. Na hladině významnosti 5 % nebyl statisticky významný rozdíl mezi výsledky těchto dvou skupin prokázán. Také se neprokázal rozdíl mezi výsledky v letech 2018-2021.

Tento závěr může naznačovat, že distanční výuka v letech 2020 a 2021 neměla vliv na úroveň vědeckého myšlení studentů 1. ročníku PřF UP.

Schopnost správně zhodnotit svůj výkon považujeme velmi důležitou. Respondenti zapojení do výzkumu v letech 2020 a 2021 byli vyzváni k postdiktánnímu soudu. Bylo zjištěno, že studenti své výkony spíše podhodnocují, přičemž větší tendenci své výsledky podhodnotit mají studenti, kteří dosáhli vyššího celkového skóre.

Závěry předloženého výzkumu ukazují na potřebu vhodnými a přiměřenými metodami rozvíjet vědecké myšlení při vysokoškolské výuce. V příspěvku byly nastíněny některé limity Lawsonova testu vědeckého myšlení, např. že některé úlohy v testu jsou běžně řešeny ve výuce matematiky či fyziky na SŠ a v testu se pak proměňují na otázky ověřující obsahové znalosti respondentů. Vystává otázka, zdali by nebylo vhodné po 20 letech začít používat i jiné nástroje, např. jak posoudit rozumové schopnosti pregraduálních studentů na konci jejich studia, neboť Lawsonův test byl koncipován pro respondenty na SŠ nebo v prvních ročnících VŠ.

### **Poděkování**

Autoři děkují RNDr. Ireně Dvořákové, Ph.D. za poskytnutí české verze testu, návodu a dat z testování na jiných školách ČR. Autoři také děkují kolegům Mgr. Elišce Beránkové, RNDr. Renatě Holubové, CSc., doc. RNDr. Martě Klečkové, CSc., Mgr. Jiřímu Jaroslavu Kratochvílovi, Ph.D., doc. RNDr. Romanu Kubínkovi, CSc., Mgr. Zbyňku Kuračovi, Ph.D., Mgr. Monice Prokešové, Mgr. Zdeňku Pucholtovi, Ph.D., Mgr. Tomáši Riemelovi, Mgr. Janu Říhovi, Ph.D., Mgr. Davidu Smrčkovi, Ph.D. a Mgr. Vlastimilu Vrbovi, Ph.D. za umožnění realizace výzkumu na PřF UPOL.

### **Literatura**

- [1] Bao, L. et al.: *Learning and scientific reasoning*. Science, 323(5914), 2009, p. 586-587.
- [2] Bao, L. et. al.: *Learning of content knowledge and development of scientific reasoning ability: A cross culture comparison*. American Journal of Physics, 77 (12), 2009, p. 1118-1123.
- [3] Bao, L. et. al.: *Validity evaluation of the Lawson classroom test of scientific reasoning*. Physical Review Physics Education Research, 14(2), 020106, 2018.



- [4] Bao, L. et. al.: *Theoretical model and quantitative assessment of scientific thinking and reasoning*. Physical review physics education research, 18(1), 010115, 2022.
- [5] Ding, L. et al.: *Detecting progression of scientific reasoning among university science and engineering students*. Physics Education Research Conference 2013, Portland, Oregon 2013, p. 125-128.
- [6] Dvořáková, I.: *Lawsonův test*. In Dvořák, L. et. al.: Sborník konference Dílny Heuréka 2011. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta, 2011. ISBN 978-80-7196-426-1.
- [7] Eaton, P. et al.: *Classical test theory and item response theory comparison of the brief electricity and magnetism assessment and the conceptual survey of electricity and magnetism*. Physical Review Physics Education Research, 15(1), 010102, 2019.
- [8] Etkina, E. et. al.: *Scientific abilities and their assessment*. In Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2(2), 020103, 2006.
- [9] Han, J.: *Scientific reasoning: research, development, and assessment*. Ohio 2013.
- [10] Hejnová E. *Testování vědeckého myšlení*. Matematika-Fyzika-Informatika, 27 (5), 2018, p. 350-359.
- [11] Hofstein, A., & Mandler, V.: *The use of Lawson's test of formal reasoning in the Israeli science education context*. Journal of Research in Science Teaching, 22(2), 1985, p. 141-152.
- [12] Chrástka, M.: *Metody pedagogického výzkumu*. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s. 2016. ISBN 978-80-247-5326-3.
- [13] Lawson, A. E.: *Development and validation of the classroom test of formal reasoning*. Journal of Research in Science Teaching, 15(1), 1978, p. 11-24.
- [14] Lawson, A. E.: *Classroom Test of Scientific Reasoning*. Arizona, United States: Arizona State University. 2000.
- [15] Koenig, K. et al.: *Explicitly Targeting Pre-service Teacher Scientific Reasoning Abilities and understanding of Nature of Science through and Introductory Science Course*. In Science educator, 21 (2), 2012.

- [16] Nováková, A., Chytrý, V. & Říčan, J.: *Vědecké myšlení a metakognitivní monitorování studentů učitelství pro 1. stupeň základní školy*. Scientia in educatione, 9(1), 2018, p. 66-80.
- [17] Novia, N., Syamsu, S., & Riandi, R.: *Student's achievement in Lawson's classroom scientific reasoning (LCTSR): The effect of gender and age on scientific reasoning ability*. International Conference on Mathematics and Science Education of Universitas Pendidikan Indonesia, 3, 2018, p. 542-547.
- [18] Piraksa, C., Srisawasdi, N., & Koul, R.: *Effect of Gender on Student's Scientific Reasoning Ability: A Case Study in Thailand*. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 116, 2014, p. 486-491.
- [19] Sriyansyah, S. P. & Saepuzaman, D.: *Prospective Physics Teachers' Consistency and Scientific Reasoning in the Learning of Force Concept*. Proceedings of the 2016 International Conference on Mathematics and Science Education (Advances in Social Science, Education and Humanities Research), 57, 2017, p. 21-24.
- [20] Wilson, K. et. al.: *Differences in gender performance on competitive physic selection tests*. Physical Review Physics Education Research, 12(2), 020111, 2016.
- [21] *PhysPort. Supporting physics teaching with research-based resources* [on-line]. Dostupné online: [PhysPort Assessments](#).

## Experimenty do kabely

ZDENĚK HUBÁČEK

Gymnázium Kroměříž

### Abstrakt

*Některé experimenty do kabelky opravdu miniaturizovat nelze. Příkladem jsou ty, při nichž potřebujeme mikrovlnnou troubu...*

### Vzpomínka na vysílače v Topolné

V úvodu příspěvku jsme věnovali krátkou vzpomínku zdemolovaným „vysílačkám“ v Topolné a uzavřenému období dlouhovlnného vysílání českého rozhlasu, které jsme se studenty v Uherském Hradišti chytali na kus drátu a telegrafní sluchátka zkratovaná uzemněnou germaniovou diodou. Tohle vybavení už asi nevyužiji. Ale záznam demolice [1] se dá využít k jiným účelům.



Obr. 1 Vysílače v Topolné [2]

### Jak si zavysílat jednoduše?

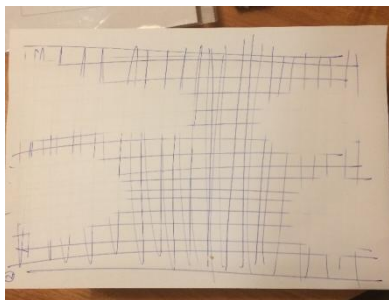
Spolehlivým zdrojem elektromagnetického vlnění je Slayerexciter [3] – jednoduchý tranzistorový Teslův transformátor. Jeho frekvenci lze měnit změnou kapacity zátěže – například přiblížení ruky, v radiovém přijímači na dlouhých až krátkých vlnách lze pak slyšet zázněje připomínající „hudbu sfér“ a vy si zakouzlíte podobně jako hráči na Theremin.



Obr. 2 Potřebné vybavení

### **Prostorové mapování pole v mikrovlnné troubě**

Pro „měření“ rychlosti světla se s oblibou využívá stojaté vlnění v mikrovlnné troubě. To, že rozložení kmiten a uzlů rozhodně nepřipomíná stojaté vlnění na struně, je všeobecně známé. Musíme tedy najít ta místa, kde bychom mohli „měření“ realizovat. Pro dobrou představu slouží uspořádání papírů počmáraných termocitlivým inkoustem s proložkami z pěnového polystyrenu. Zdrojem termocitlivého inkoustu je běžné gumovací pero. Inkoust vymizí teplem, lze pak znovu zviditelnit v mrazicím boxu nebo jej polijeme butanem přímo ze zásobníku náhradního plynu do zapalovače. Teplota varu butanu je lehce pod nulou a při rychlém vypařování je tedy povrch papíru dobře podchlazen a inkoust se znovu zviditelní.



Obr. 3 Uspořádání v mikrovlnné troubě a jeden z exponovaných papírů

## **Literatura**

- [1] <https://youtu.be/18kgU6O-Xfo>
- [2] <http://www.alfaelektronky.cz/archiv/2013/topol/topol.html>
- [3] *DílňyHeuréky*. [cit. 9. 10. 2022]. Dostupné online:  
<https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/ke-stazeni/sborniky-dilen-heureky/sborniky/SbornikDilenHeureky2018.pdf>

## Měříme rychlost zvuku v kovech, v plynech i v kapalinách

JOSEF HUBEŇÁK, JIŘÍ HUBEŇÁK junior

Přírodovědecká fakulta UHK, Gymnázium Boženy Němcové Hradec Králové

### Abstrakt

*S mobilem, metrem, kalafunou a svěrákem můžeme měřit rychlost zvuku pro ocel, mosaz, hliník i plast. Hodnoty se od tabelovaných liší o jednotky procent. V laboratoři lze uskutečnit rezonanční měření v několika decimetrech dlouhém kovovém vzorku, ve sloupci plynu i v kapalině.*

### Měření v kovu a plastu s aplikací Spectroid

Mobilní aplikace Spectroid je volně dostupná a její předností je okamžité určení dominantní frekvence v záznamu zvuku.



Obr. 1 Měření frekvence aplikací Spectroid

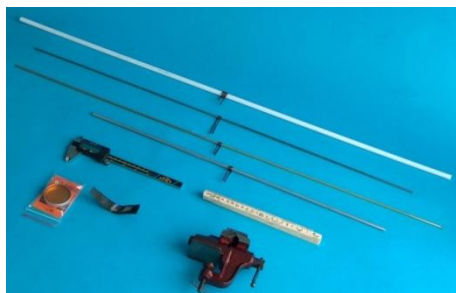
Snímek displeje mobilu byl pro potřeby tisku barevně invertován. Horní křivka (v originále červená) značí závislost hlasitosti na frekvenci pro celý signál, spodní (v originále žlutá) se týká jen dominantní frekvence. Zde čteme 1 617 Hz.

### **Poznámka**

Aplikaci Spectroid použila pro měření ve své diplomové práci O. Smetanová (viz [5]). Přesnost aplikace v intervalu 500 Hz až 3 000 Hz je velmi dobrá, odchylky od skutečné frekvence jsou menší než 1 %. Pokud si na PC nebo notebook instalujeme emulátor Androidu BLUESTACKS 5, máme Spectroid na velkém displeji i na dataprojektoru.

Vybaven mobilem a uvedenou aplikací může kdokoli i v domácích podmínkách si měřit rychlost šíření zvuku v kovu. Další potřeby k experimentu a měření jsou na obr. 2.

Čtyři vzorky materiálu: plast s obchodní označením POM C, nerezová ocel, mosaz a hliník. Posuvné měřítko a skládací metr. Kalafuna na pájení a kousek kůže, posypaný kalafunou. Svěrák.



Obr. 2 Potřeby pro měření rychlosti šíření zvuku

Pro upnutí do svěráku je vzorek uprostřed ovinut několika závity měděného drátu; takové upnutí nebrání vzniku podélných kmitů a stojatého vlnění s uzlem uprostřed a kmitnami na koncích vzorku.



Obr. 3 Úprava upnutí středu vzorku

K rozezvučení vzorku použijeme kousek kůže posypané kalafunou. Vhodný přítlak a rychlost posuvu od středu ke konci tyče najdeme po několika pokusech a pak už stačí spustit a zastavit aplikaci *Spectroid*. Výhodou tohoto měření je jednoduché vybavení. Problém je se vzorky, resp. s materiálem délkou a průměrem vzorku. Vyhovující délky jsou 60 až 80 cm, průměr do 10 mm.

Tabulka 1. Měření rychlosti zvuku s aplikací *Spectroid*

materiál	délka $l$ (m)	frekvence $f$ (Hz)	rychlost šíření zvuku $v$ (m · s <sup>-1</sup> )
ocel nerezová	0,877	2 883	5 056
mosaz	0,955	1 852	3 537
hliník	0,636	3 938	5 009
plast POM C	1,028	686	1 410

Získané hodnoty jsou velmi blízké hodnotám uvedeným v tabulkách pro střední školy [2, 3].

### Měření rychlosti šíření zvuku v kovech ještě jednou

Rychlost šíření podélného vlnění a tedy i zvuku byla teoreticky řešena již Newtonem:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

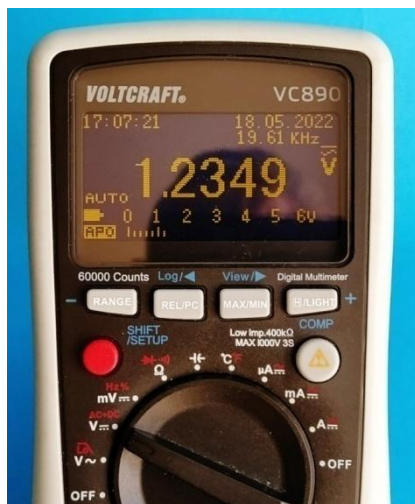


Obr. 4 Sestava měření v kovu



Přímé měření, kdy je potřeba zjistit dráhu a čas, bylo možné až v 19. století, kdy dlouhá kovová potrubí a světelný signál umožnily takové měření. Do školní laboratoře se s takovým měřením nevejdeme. Řešením mohou být dva piezoelektrické snímače. Z široké nabídky piezoelektrických snímačů byl vybrán typ USC18T. Má odolné duralové pouzdro a maximální přípustný budicí signál s amplitudou 60 V. Jeho rezonanční frekvence je 40 kHz a to je dostatečně daleko od frekvencí použitých pro měření. Jeden použijeme jako vysílač – budič kmitů a druhý jako snímač. Oba jsou gumovou páskou přitisknuty k čelům vzorku kovu. Pro měření byl připraven vzorek – hliníková válcová tyčka o průměru 12 mm a délce 13 cm.

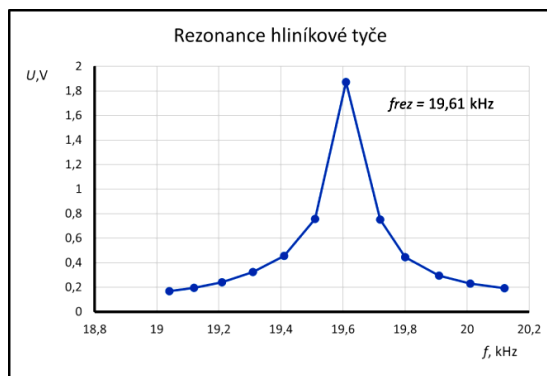
Zdrojem signálu je RC oscilátor BM 365 U a maximum signálu na snímači je měřeno digitálním multimetrem Voltcraft VC 890. Snímek displeje je dokumentem objektivně získaných dat.



Obr. 6 Snímek displeje při rezonanci frekvenci

Rezonance bylo dosaženo na frekvenci 19,61 kHz a maximum napětí je 1,2349 V. Pro měření bylo vždy na výstupu BM 365 konstantní napětí 10 V. Při opakovaných měřeních se rezonanční napětí měnilo o několik desetin voltu a příčinou, jak se ukázalo, bylo posunutí osy budiče nebo snímače vůči ose duralové tyčky.

Nalezení rezonanční frekvence je poměrně obtížné kvůli velmi úzké rezonanční křivce – viz graf.



Obr. 7 Rezonanční křivka

Tabulka 2. Měření rezonance v hliníkovém vzorku

$f$ (kHz)	19,04	19,12	19,21	19,31	19,41	19,51
$U$ (V)	0,167	0,1941	0,240	0,324	0,456	0,757
$f$ (kHz)	<b>19,61</b>	19,72	19,80	19,91	20,01	20,12
$U$ (V)	1,872	0,750	0,445	0,294	0,231	0,191

Z grafu je možné přibližně odečíst pološířku rezonanční křivky – asi 0,2 kHz; rezonance je velmi ostrá a hliníková tyčka kmitá podélně s malým tlumením.

Výpočet rychlosti šíření je velmi snadný:

Délka tyčky

$$l = \frac{\lambda}{2} = 13,0 \text{ cm.}$$

Rychlost zvuku

$$v = f_r \lambda = f_r 2l = 19,61 \cdot 10^3 \cdot 0,26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 5,0986 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Zaokrouhleno:

$$v = 5,1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

Výsledek odpovídá tabelovaným hodnotám.

### Měření rychlosti šíření zvuku v kapalině

Pro rychlost šíření podélných kmitů v kapalinách platí vztah podobný Newtonovu vzorci pro pevné látky:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Jeho odvození najdeme např. v knize [4]. Pro kapaliny platí

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}.$$

Zde  $K$  je tzv. modul objemové pružnosti kapaliny a jde o převrácenou hodnotu stlačitelnosti kapaliny:

$$K = \frac{1}{\chi}$$
$$\chi = \frac{-\Delta V}{V \Delta p}$$

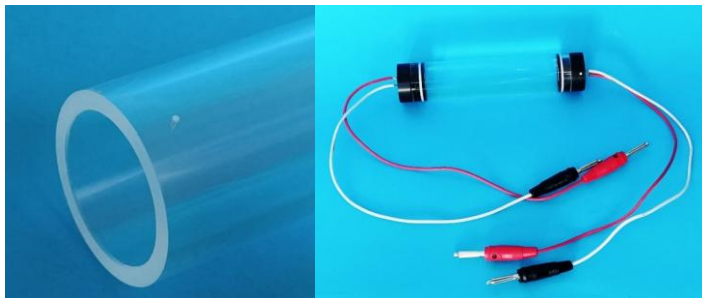
První měření ve vodě uskutečnili v roce 1827 *Charles Sturm* a *Jean-Daniel Colladon* na Ženevském jezeře. Vzdálenost, kterou urazil zvuk zvonu ponořeného do vody, byla 13 487 m a podobné měření je pro laboratoř neproveditelné. Se dvěma piezoelektrickými snímači a trubicí naplněnou vodou je možné využít rezonanční měření stejně jako v plynu nebo v kovu. Opět byl použit piezosenzor USC18T.



Obr. 8 Snímač USC 18T a zátka se snímačem

Pro měření bylo třeba uzavřít sloupec kapaliny do průhledné plastové trubice. Průhledné proto, aby bylo možné eliminovat přítomnost vzduchových bublin. Řešením je trubice z organického skla; vnější průměr 30 mm, tloušťka

stěny 3 mm. Snímače jsou zalepeny do zátek tak, aby kuželová část a kmitající čelo byly volné – epoxid byl nanesen jen na válcový povrch snímače. Dokonalé utěsnění zátky zaručuje O-kroužek. Pro odvod bublinek vzduchu je trubice na jednom konci opatřena odvodušňovacím kanálkem o průměru 0,6 mm. Ten je umístěn tak, aby při zasunutí zátky na doraz byl kanálek uzavřen O-kroužkem.



Obr. 9 Detail odvodušňovacího kanálku a sestava připravená k měření

Signál s napětím 10 V byl nedostatečný, proto byl použit navíc elektronkový zesilovač Tesla a napětí bylo zesíleno na 60 V.



Obr. 10 Elektronkový zesilovač Tesla

Rezonance byla i za těchto podmínek nevýrazná.

#### **Výsledek měření:**

Délka sloupce vody  $l = 0,103$  m,  $f_r = 7,5$  kHz, rychlost šíření zvuku  $v = 1\,545$  m  $\cdot$  s<sup>-1</sup>

Teplota vody  $t = 28$  °C.

Při použití delší trubice se sloupcem vody o délce  $l = 0,238$  m bylo možné zjistit rezonanční frekvenci sluchem:  $f_r = 3\,056$  Hz. Z tohoto měření vychází rychlost šíření  $v = 1\,454$  m  $\cdot$  s<sup>-1</sup>. Teplota vody  $t = 26$  °C.

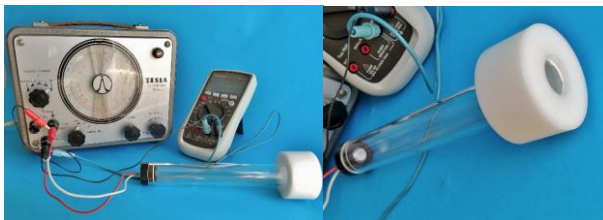
Pro měření v etanolu byla použita trubice s délkou sloupce kapaliny 0,188 m. Rezonance byla na frekvenci 3 300 Hz. Výsledek: v etanolu se zvuk šíří rychlostí  $v = 1\,241\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Teplota etanolu  $t = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### **Hodnocení rezonančního měření v kapalině**

Při buzení piezoelektrického měniče signálem s napětím 60 V dostáváme na snímači signál s napětím přibližně 0,3 V a při rezonanci se napětí zvýší o 10 % až 20 %. I když výsledky odpovídají tabelovaným hodnotám, je toto měření problematické a pro školní laboratoř nevhodné.

### **Měření rychlosti zvuku v plynech**

Pro měření v plynech byla připravena trubice na jedné straně uzavřená membránou z plastové fólie a na druhé zátkou s piezosenzorem, který byl použit jako budič. Aby po naplnění a uzavření zátkou nevznikal uvnitř přetlak, má trubice také vyvrtán kanálek.



Obr. 11 Sestava pro plyny, detail uzavření membránou

Délka sloupce plynu od zátky k membráně  $l = 19,7\text{ cm}$ .

Rezonanci sloupce plynu hledáme poslechem těsně u membrány. Budič je napájen signálem s napětím 10 V. Při rezonanci je délka trubice rovna  $n$ -násobku poloviny vlnové délky a platí:

$$l = n \frac{\lambda_n}{2}$$

Pro vlnovou délku použijeme vztah:

$$\lambda_n = \frac{v}{f_n}$$

Pro výpočet rychlosti použijeme vzorec:

$$v = \frac{f_n}{n} \cdot 2l$$

Tabulka 3. Měření ve vzduchu, teplota 22 °C

pořadové číslo rezonance	rezonanční frekvence $f_r$ (Hz)	rychlost šíření zvuku $v$ (m · s <sup>-1</sup> )
1	854	336
2	1 658	326
3	2 642	347
4	3 496	344
5	4 359	345

Průměr  $\bar{v} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , směrodatná odchylka průměru  $s = 3,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Porovnejme rychlost zvuku ve vzduchu získanou měřením s výpočtem rychlosti pro danou teplotu.

Vypočtená rychlost pro teplotu 22 °C je  $345 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Trubicí lze snadno plnit plynem s hustotou menší nebo větší než hustota vzduchu. Pro další měření byl použit methan; zdroj byl plynový vaříč.

Tabulka 4. Methan, teplota 22 °C

pořadové číslo rezonance $n$	rezonanční frekvence $f_r$ (Hz)	rychlost šíření zvuku $v$ (m · s <sup>-1</sup> )
1	1 027	405
2	2 141	422
3	3 158	415
4	4 195	413

Porovnejme rychlost zvuku v methanu získanou měřením s rychlosti vypočtenou pro normální atmosférický tlak.

Pro methan vypočteme rychlost šíření zvuku ze vzorce

$$v = \sqrt{\kappa \cdot \frac{p}{\rho}}$$

Pro hodnoty  $\kappa = 1,31$ ,  $p = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  a  $\rho = 0,72 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  dostáváme  $v = 430 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Průměr z měřených rychlostí  $\bar{v} = 414 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a směrodatná odchylka průměru je  $s = 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### Závěr

Rezonanční měření rychlosti šíření zvuku je osvědčenou úlohou z akustiky a setkáme se s ním v klasické literatuře, např. [1]. Digitální multimetr a vhodná aplikace v mobilu umožní modernizovat tuto úlohu a dát do rukou studentů současnou techniku.

### Literatura

- [1] Strouhal, Č.: *Akustika*, Edice Sborník českých matematiků, Praha 1902.
- [2] Mikulčák, J. a kol.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*, Prometheus Praha 2003, ISBN 80-7196-264-3.
- [3] Mikulčák, J. a kol.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*, SPN Praha 1988.
- [4] Vybíral, B.: *Kmitání a vlnění*, Gaudeamus, Univerzita Hradec Králové 2014, ISBN 978-80-7435-379-6.
- [5] Smetanová, O.: *Jednoduchá fyzikální měření s tabletem nebo chytrým telefonem*. Diplomová práce, Olomouc Univerzita Palackého, katedra experimentální fyziky 2019.

## Zajímavé experimenty s termokamerou

ZDEŇKA KIELBUSOVÁ

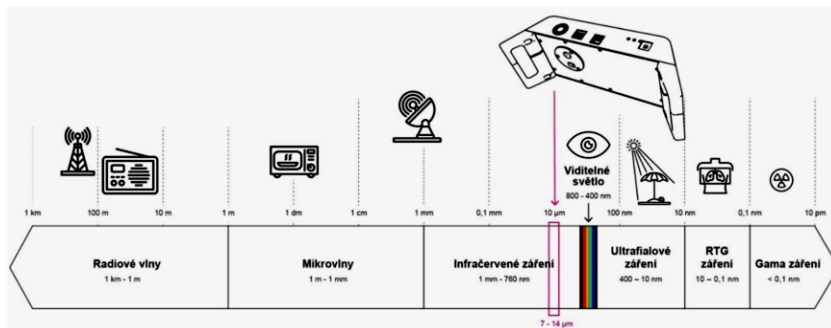
Pedagogická fakulta v Plzni

### Abstrakt

*V rámci výstupu byly prezentovány netradiční experimenty pomocí termokamery LabIR Edu, která vznikla v NTC ZČU v Plzni a byla speciálně navržena pro vzdělávání.*

K následujícím experimentům byla použita termokamera LabIR Edu, která byla navržena speciálně pro využití při vzdělávání. Není to ovšem podmínka, všechny experimenty můžete realizovat s jakoukoli jinou termokamerou.

Termokamery pracují na principu bezdotykového měření teploty. Konstrukce termokamery je podobná konstrukci videokamery nebo digitálního fotoaparátu. Objektiv zobrazuje dopadající elektromagnetického záření na čidlo, které vyhodnotí jeho intenzitu. Intenzita elektromagnetického záření je závislá na povrchové teplotě objektu, který toto záření vydává, a jejím změřením lze stanovit povrchovou teplotu objektu.[2]



Obr. 1 EMG spektrum s rozsahem LabIR Edu kamery [2]

Termokamery poskytují informace o povrchové teplotě předmětů, které následně převádějí do termogramů (termovizních snímků).

Termokamery pracují na principu bezdotykového měření teploty.



Termokamery využívají toho, že všechny předměty, jejichž teplota je vyšší než absolutní nula, vyzařují elektromagnetické záření různých vlnových délek, kterému se někdy říká tepelné záření. [1]

### Důležité pojmy, které potřebujeme znát pro práci s termokamerou.

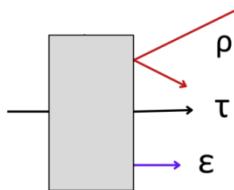
Nejpodstatnější faktory, které mohou výsledky termografických měření ovlivnit – jsou emisivita, odrazivost, propustnost a vzdálenost kamery od předmětu.

*Emisivita* ( $\varepsilon$ ) – je schopnost materiálu vyzařovat jako dokonalé černé těleso. Je to poměr nebo procento výkonu dokonalého černého tělesa, které by zářilo na dané teplotě. Emisivita je stanovena vždy pro určité vlnové délky, neboť emisivita je funkcí vlnové délky (tj. obecně se mění emisivita se změnou vlnové délky). Emisivita je také funkcí teploty, i na to musí být pamatováno a u každé hodnoty musí být uvedeno pro jakou teplotu či rozsah teplot je stanovena. Slunce má jako jediné emisivitu 1 (100 %), např. lidská kůže se této hodnotě přibližuje s emisivitou 0,98 (98 %). Budeme-li tedy měřit lidskou kůži termokamerou, znamená to pak, že 98 % IR záření vychází přímo z lidské kůže samotné.[3]

*Odráživost* ( $\rho$ ) – odražená teplota tvoří přibližně 7 % IR záření a pochází z okolí měřeného objektu.

*Propustnost* ( $\tau$ ) – je schopnost materiálu propustit infračervené záření. Většina materiálů nedovoluje procházení IR záření, propustnost je tedy zpravidla téměř 0.

Vztah mezi emisivitou a odrazivostí říká, že čím větší je odrazivost, tím menší je emisivita.



Obr. 2 Schematické znázornění

### Průhledné či neprůhledné?

Tepelné záření se fyzikálně chová jako světlo. Na vhodných plochách se odráží jako v zrcadle (úhel dopadu = úhel odrazu), proniká určitými materiály nebo je jimi pohlcováno. Ovšem mezi infračerveným a viditelným světlem jsou

úžasné rozdíly. Co je průhledné v jednom případě, není v druhém průhledné vůbec a naopak.

**Pomůcky:**

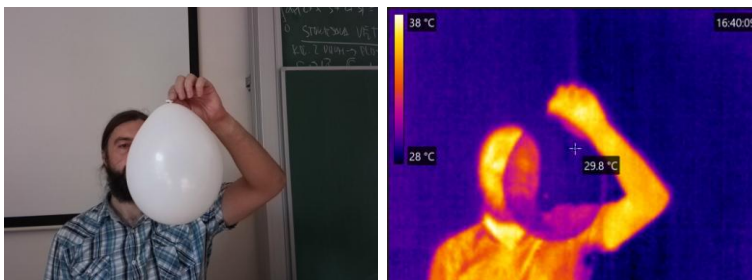
Termokamera, igelitová taška, poutový balónek, skleněná tabulka, plastová destička, plexisklo

**Postup a provedení:**

Zapneme termokameru a namíříme ji na spolupracovníka, který si postupně před obličej umísťuje skleněnou tabulku, plastovou destičku, poutový balónek (obr. 3) a následně igelitovou tašku.

**Vysvětlení:**

Stěna balónku nebo například tenká plastová fólie má velmi vysokou propustnost, což znamená, že „vidíme skrz ni“ a tudíž měříme teplotu objektu umístěného za balónkem či folií. Naopak skleněná tabulka či plexisklo mají nízkou propustnost, takže měříme jejich teplotu.



Obr. 3 Experiment s balónkem ve viditelném spektru a IR spektru

**Expanze plynu – suchý šampon ve spreji**

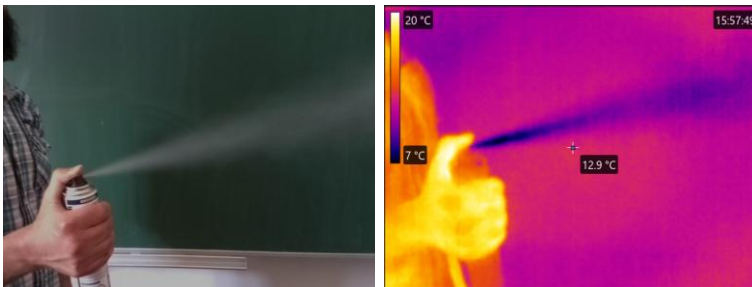
**Pomůcky:**

Termokamera, suchý šampon ve spreji (deodorant)

**Postup a provedení:**

Zapneme termokameru a namíříme ji na spolupracovníka, který v ruce drží sprej se suchým šamponem nebo deodorantem. Požádáme spolupracovníka,

aby stiskl ventil na spreji a sledujeme skrz termokameru, jak je vidět unikající plyn (obr. 4).



Obr. 4 Unikající plyn ze spreje

### **Vysvětlení:**

V důsledku rychlého zvětšení objemu plynu, dochází k snížení teploty.

### **Kompresa a expanze plynu – Plastová láhev**

#### **Pomůcky:**

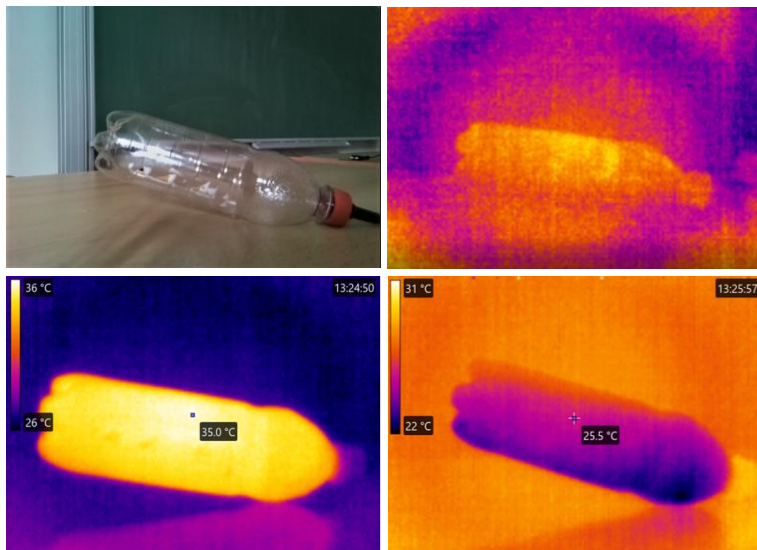
Termokamera, malá plastová láhev, víčko na plastovou láhev se zapuštěným autoventilkem, hustilka s tlakoměrem, špejle

#### **Provedení:**

Na malou plastovou láhev našroubujeme autoventilek. Připravíme si hustilku a její hadičku nasadíme na autoventilek. Zapneme termokameru a namíříme ji na plastovou láhev. Pomalu začneme pomocí hustilky láhev tlakovat. Sledujeme tlak uvnitř láhve, hlídáme, aby tlak nepřesáhl 6 bar, více by již nebylo bezpečné a hrozila by exploze. V průběhu zvyšování tlaku uvnitř plastové láhve sledujeme nárůst teploty. Odpojíme hadičku od autoventilku. Pomocí špejle zmáčkneme pojistku ventilku a vypustíme natlakovaný vzduch. Sledujeme pokles teploty uvnitř láhve.

### **Vysvětlení:**

Zvýšení tlaku během komprese vede ke zvýšení teploty, která je normálně pozorována jako mnohem strmější než rychlost poklesu objemu. Snížení tlaku během expanze plynu má za následek pokles teploty uvnitř plastové láhve.



Obr. 5 Průběh experimentu s plastovou lahví

V rámci mezifakultní spolupráce a podpoře z projektu PRVA 22-021 vzniká soubor experimentů a pracovních listů pro učitele a žáky.

## **Literatura**

- [1] *Termokamera.cz* [online]. [cit. 2022-08-14]. Dostupné z:  
<http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/tepelne-zareni/>
- [2] *Termovize do škol* [online]. [cit. 2022-08-14]. Dostupné z:  
<https://edu.labir.cz/>
- [3] *Testomeasurementknowledge* [online]. [cit. 2022-08-14]. Dostupné z:  
<https://www.testo.com/cz-CZ/Emisivita%2C>

## Hrátky s povrchovým napětím a kapilaritou

JIŘÍ KOHOUT, PAVEL MASOPUST

Oddělení fyziky, Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy,  
Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni

### Abstrakt

*Ačkoliv povrchové napětí a kapilarita patří ke klasickým konceptům řešeným v rámci středoškolské fyziky, jsou zde stále některé otázky a nejasnosti týkající se výuky tohoto tématu (například ohledně směru povrchové síly v různých situacích, vztahu povrchové síly a povrchové energie apod.). S tím souvisí i výrazně zjednodušující předpoklady (ne vždy explicitně uvedené) při řešení některých typových příkladů z této oblasti. V rámci příspěvku bude vedle stručného teoretického rozboru potíží týkajících se této problematiky představeno několik souvisejících experimentů. Budou rovněž uvedeny netradičně pojaté laboratorní práce zaměřené na stanovení povrchového napětí.*

### Úvod

Struktura a vlastnosti kapalin patří ke klasickým tématům gymnaziální fyziky probíraným typicky ve 2. ročníku v rámci celku Molekulová fyzika a termika. Mezi výhody tohoto tématu patří vedle možnosti opřít se o žákovskou zkušenost a relativně nízké matematické náročnosti na SŠ úrovni (např. ve srovnání s předchozím tématem Struktura a vlastnosti plynů) rovněž poměrně značné množství divácky atraktivních experimentů realizovatelných s jednoduchými pomůckami. O tom svědčí i poměrně velký počet příspěvků věnovaných této problematice v předchozích ročnících Veletrhu nápadů učitelů fyziky<sup>1</sup>. Naopak problematickým aspektem může být to, že středoškolské pojetí je založeno na velmi výrazných zjednodušeních, která mohou ve svém důsledku vést ke zdánlivým rozporům a zmatení žáků (popř. i učitelů) při hlubším přemýšlení o povrchovém napětí a kapilaritě.

Velmi podrobný rozbor této problematiky je proveden v článku Sophocleouse [1], diskuze týkající se sporů o správnosti klasického odvození výšky

---

<sup>1</sup> V souhrnném sborníku z VNUF dostupném na <https://vnuf.cz/sbornik/klicova/> najdeme při hledání dle klíčových slov hned 19 příspěvků týkajících se nějakým způsobem povrchového napětí.

hladiny při kapilární elevaci či depresi na základě silové balance (rovnosti povrchové a tíhové síly) je poté provedena v článku Barozziho a Angeliho [2]. Zde uveďme, že problém se týká především směru povrchové síly. Ta by měla při klasickém zavedení povrchového napětí působit „dovnitř kapaliny“, při vysvětlování kapilarity se ale pracuje s jejím působením „vzhůru“ a pokud vysvětlujeme klasické pokusy s pohybem zápalek po hladině, uvažuje se působení povrchové síly horizontálně v rovině kapaliny. Kombinace těchto přístupů může snadno vyvolat u přemýšlivého žáka pochybnosti a dotazy týkající se podstaty toho, co vlastně povrchové napětí je. Související otázky přitom nejsou v klasických učebnicích a materiálech vždy uspokojivě zodpovězeny. Cílem tohoto příspěvku je přispět alespoň částečně k ujasnění si těchto souvislostí a k experimentální podpoře výuky tématu. V první části tohoto článku se budeme věnovat konceptuálním aspektům problematiky, následně se zaměříme na netradiční experimenty a laboratorní práce, které lze v tomto směru realizovat.

### **Problémy s konceptem povrchové napětí a jejich možná řešení**

Jak již upozornil Bochníček [3] ve svém příspěvku z VNUF 2016, část problémů spojených s povrchovým napětím vychází z toho, že výklad je obvykle založen na povrchovém napětí jako síle působící na jednotku délky, ačkoliv strategicky výhodnější může být přístup založený na jeho chápání jako hustoty povrchové energie. Vysvětlení založená na minimalizaci plochy povrchu mohou být přitom pro žáky lépe uchopitelná. Příkladem může být třeba známý experiment s mincemi na hladině, které se seskupí vlivem povrchového napětí dohromady [3].

Jako zdroj problémů může působit i vysvětlování experimentů či příkladů s předmětem plovoucím na hladině, kdy se obvykle pracuje s nadlehčováním vlivem vertikálně působící povrchové síly<sup>2</sup>, uvažován je však i případ plovoucí loďky<sup>3</sup>, kdy její pohyb naopak určuje horizontální povrchová síla. S ohledem na to, že v obou případech se ve středoškolském přiblížení síla počítá stejným vztahem, vzniká přirozená otázka, proč je směr silového působení odlišný, což

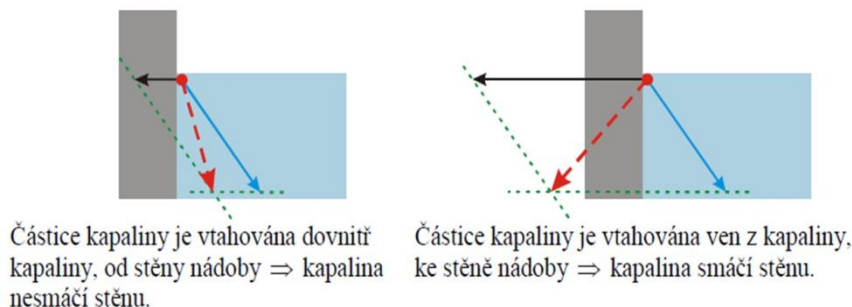
---

<sup>2</sup> Zde je třeba dávat pozor na to, že v případě drobné haléřové mince nedokáže povrchová síla kompenzovat tíhovou sílu a je třeba uvážit i sílu vztakovou, jak je detailně teoreticky i experimentálně rozebráno v [3] popř. uvedeno v řešené úloze dostupné na <https://reseneulohy.cz/1897/plovouci-padesatnik>

<sup>3</sup> Viz třeba úloha řešená na <https://reseneulohy.cz/342/korkova-lodka>

není v příslušných materiálech nijak komentováno<sup>4</sup>. Odpověď na tuto otázku dává detailní rozbor problému provedený v [4]. Z něj je patrné, že čistě vertikální směr má povrchová síla pouze v případě, kdy kapalina daný předmět dokonale nesmáčí a vůbec se neuplatní povrchové napětí pro rozhraní předmět-voda a předmět-vzduch. Podrobný rozbor je matematicky velmi náročný a není jej reálně projít a vysvětlit podrobně. Je však možné ukázat žákům alespoň obrázek a říci jim, že vertikální resp. horizontální směr povrchové síly jsou extrémními případy (vhodnými pro výpočty na SŠ úrovni), zatímco obecně je směr povrchové síly „někde mezi“ a výpočtově jde o velmi složitou problematiku mimo rámec SŠ. Za podstatné pokládáme i tento fakt rozhodně nezatajovat žákům. Říci, že povrchové napětí existuje pro libovolnou dvojici rozhraní, a to i v případě, že z časových důvodů nemáme prostor zmiňovat se o kontaktním úhlu, resp. problematice hydrofilních a hydrofobních materiálů.

Energetický přístup založený na tom, že povrchové napětí pro dané rozhraní je vlastně rovno povrchové energii vztahované na jednotku plochy se totiž může velmi dobře uplatnit při výkladu smáčivosti a kapilarity. (Ne)smáčivost je obvykle vykládána pomocí obr. 1 a argumentace na něm uvedená.



Obr. 1 K výkladu smáčivosti  
(Převzato z [www.realisticky.cz](http://www.realisticky.cz), kapitola Kapilární jevy)

<sup>4</sup> Vzhledem k tomu, že horizontální směr síly je relevantní pro případy se zvýšeným (cukr) či sníženým (mycí prostředek) povrchových napětím, mohli by si žáci snadno vytvořit zcela mylnou představu, že u čisté vody je směr povrchové síly vertikální a příměs vede ke změně na směr horizontální.

Zde však narážíme na dva problémy. Jednak může přijít žákům velmi podivné, proč síla působící vlevo dolů má za následek stoupání molekul vzhůru<sup>5</sup>, jednak je zcela ignorován vliv plynu (s odkazem na jeho velmi malou hustotu). Rozhraní pevná látka-plyn a povrchová energie s ním spojená je však při energetickém vysvětlení zásadní, protože pokud by tato energie byla zanedbatelná<sup>6</sup>, smáčivost by vůbec nemohla nastat, neboť u ní dochází k nárůstu plochy obou zbylých rozhraní! Za smysluplnější tedy pokládáme vysvětlovat smáčivost na základě rozdílu povrchových napětí rozhraní pevná látka-kapalina a pevná látka-plyn. Pokud by byla obě napětí stejná, hladina bude kolmá na stěny nádoby. Je-li větší napětí pevná látka-plyn, je výhodné, aby se maximalizovala plocha rozhraní pevné látky a kapaliny, což odpovídá smáčivosti. V opačném případě je naopak výhodné zvýšit plochu rozhraní pevná látka-plyn, což odpovídá tomu, že kapalina daný povrch nesmáčí. Vysvětlení je možné provést kvalitativně, nebo (v případě více času a šikovné třídy) seznámit žáky i s kontaktním úhlem a Youngovou rovnicí ve tvaru

$$\sigma_{SG} - \sigma_{SL} = \sigma_{LG} \cos \theta, \quad (1)$$

kde  $\sigma_{SG}$  je povrchové napětí pro rozhraní pevná látka-plyn,  $\sigma_{SL}$  pro rozhraní pevná látka-kapalina,  $\sigma_{LG}$  pro rozhraní kapalina-plyn a  $\theta$  je kontaktní úhel mezi pevnou látkou a kapalinou.

Na stejném principu je pak možné vysvětlovat i kapilaritu, která je rovněž dána rozdílem povrchových napětí pro rozhraní pevná látka-plyn a pevná látka-kapalina. Pokud je větší první z nich, je energeticky výhodné zvětšit plochu rozhraní pevné látky s kapalinou a dojde tudíž ke kapilární elevaci. Pokud naopak nastane druhý případ, je výhodné tuto plochu zmenšit, což odpovídá kapilární depresi. Pokud by obě povrchová napětí byla shodná, nenastává ani jeden z případů. Je zajímavé odvodit na základ uvedených úvah vztah pro výšku  $h$  při kapilární depresi. Nejprve uvažme odvození na základě silové bilance, kde je tíhová síla na příslušný sloupec kapaliny v kapiláře kompenzována rozdílem povrchových sil pro obě uvažovaná rozhraní na obvodu kapiláry. Po úpravě s pomocí Youngovy rovnice dostáváme:

---

<sup>5</sup> Argument, že hladina se zakříví tak, aby povrch byl kolmý k výsledné síle a nedocházelo k pohybu v povrchové vrstvě, není v tomto směru asi příliš přesvědčivý.

<sup>6</sup> Ve skutečnosti je toto povrchové napětí obvykle největší z uvažovaných rozhraní. Například v [1] se udává pro konkrétní příklad hodnota 183 mN/m, zatímco pro pevná látka-kapalina je to 107 mN/m a pro kapalina-plyn klasických 73 mN/m. Z praktického hlediska se bohužel povrchová napětí rozhraní s pevnou látkou velmi obtížně měří.



$$(\sigma_{SG} - \sigma_{SL}) \cdot 2\pi r = mg \rightarrow \sigma_{LG} \cos\theta \cdot 2\pi r = \pi r^2 h \rho g \rightarrow h = \frac{2\sigma_{LG} \cos\theta}{\rho g r}, \quad (2)$$

kde  $g$  je tíhové zrychlení,  $r$  vnitřní poloměr kapiláry a  $\rho$  hustota kapaliny. To je (až na kosinus kontaktního úhlu, který je zpravidla zanedbáván) klasický středoškolský výsledek získaný z rovnosti kapilárního a hydrostatického tlaku. Konceptně je však třeba si uvědomit, že povrchové napětí voda-plyn se do vzorce dostalo až užitím Youngovy rovnice, primární příčina efektu je v rozdílu povrchových napětí pro rozhraní s pevnou látkou (jejich shoda garantuje nulovost kosinu kontaktního úhlu a tím i výšky hladiny  $h$ ). Zajímavá situace nastane, pokud na problém půjdeme přes energie z předpokladu, že úbytek povrchové energie při kapilární elevaci musí být roven přírůstkem tíhové potenciální energie. S uvážení definičního vztahu pro povrchové napětí, polohy těžiště sloupce kapaliny v polovině výšky a Youngovy rovnice dostáváme:

$$\begin{aligned} (\sigma_{SG} - \sigma_{SL}) \cdot 2\pi r h_E &= mg \frac{h_E}{2} \rightarrow \sigma_{LG} \cos\theta \cdot 2\pi r h_E = \frac{\pi r^2 h_E \rho g}{2} \rightarrow \\ h_E &= \frac{4\sigma_{LG} \cos\theta}{\rho g r}. \end{aligned} \quad (3)$$

Přes energii se tedy dostáváme přesně k dvojnásobné hodnotě, než v předchozím případě. Jak tento zdánlivý rozpor interpretovat? Musíme si především uvědomit dynamickou povahu děje. Sloupec kapaliny začne stoupat vlivem povrchové síly a ve výšce  $h$  dle vztahu (2) se povrchová síla vyrovná s postupně rostoucí tíhovou silou sloupce kapaliny. Uvolněná povrchová energie se částečně přemění na potenciální tíhovou energii a částečně na kinetickou energii pohybu. Vlivem setrvačnosti výška vodního sloupce dosáhne až hodnoty  $h_E = 2h$ , kdy je kinetická energie nulová a tíhová potenciální energie sloupce kapaliny je právě rovna v souladu se zákonem zachování změně povrchové energie. Následně začne vlivem převahy tíhové síly nad silou povrchovou opět sloupec kapaliny klesat a cyklus se opakuje. Nastanou tedy oscilace, kdy se výška vodního sloupce mění v rozmezí od 0 do  $2h$  se střední hodnotou ve výšce  $h$ .<sup>7</sup> Z energetického hlediska se poté udržuje stálý součet povrchové, kinetické a tíhové potenciální energie, přičemž tyto tři druhy se vzájemně přeměňují. V praxi však takový efekt přirozeně nepozorujeme. Je to kvůli viskozitě, která

<sup>7</sup> Bylo by samozřejmě zajímavé se ptát na periodu těchto oscilací. Bohužel se ukazuje, že kmitání není harmonické a je popsáno složitou nelineární diferenciální rovnicí neumožňující rozumně analytické řešení a určení periody.

způsobí, že se oscilace prakticky okamžitě utlumí (nastane tzv. *aperiodický pohyb*) a sloupec kapaliny vystoupá ve skutečnosti do rovnovážné polohy ve výšce  $h$ . U kapaliny s nulovou viskozitou a při zanedbání tření o stěny kapiláry by však uvedený dynamický efekt, jehož vysvětlení je zcela mimo možnosti klasického odvození na základě rovnosti kapilárního a hydrostatického tlaku, měl projevit. Výše uvedený příklad je vhodný spíše pro nadané žáky v rámci opakovacího semináře, protože hezky propojuje kapilaritu s problematikou kmitání<sup>8</sup> a se zákonem zachování energie. Ukazuje však výhody přístupu založeného na energetické bilanci a zdůraznění významu povrchových energií pro jiná rozhraní, než je pouze kapalina-plyn.

### Zajímavé experimenty s povrchovým napětím

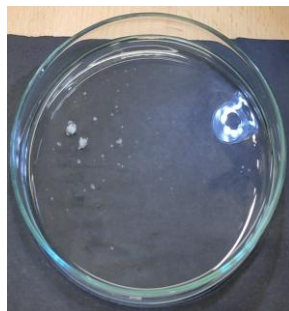
V této části představíme několik netradičních jednoduchých experimentů, které mohou rozšířit portfolio demonstrací spojených s problematikou povrchového napětí. Vždy bude uveden návod k provedení experimentu, stručné vysvětlení a další doplňující poznámky.

#### Kafr na vodě

*Realizace:* K provedení tohoto pokusu stačí kousek (přírodního či syntetického) kafru, který lze sehnat v řádu desetikorun. Jednou možností je naloupat malé kousky kafru, dát je do misky s vodou a pozorovat jejich chaotický pohyb. Možná ještě zajímavější je vytvořit malou lodičku např. ze dřeva a na jejich zadní část opatrně umístit kousek kafru. Následně je možné pozorovat, jak lodička jezdí kolem dokola po okraji misky.

*Vysvětlení:* Uvolněné molekuly kafru snižují povrchové napětí vody. V důsledku toho dochází k pohybu do míst, kde je napětí vyšší. Je to stejný princip jako u klasického pokusu s mycím prostředkem a zápalkami, které „utečou“ z místa, kam jsme kápli tento prostředek rovněž snižující povrchové napětí.

*Poznámky:* Uvedená vlastnost kafru je známá již téměř dvě století a jde o klasický příklad samočinně se pohybujících předmětů (*self-propelled objects*).



Obr. 2 Kafr na vodě

---

<sup>8</sup> To se obvykle probírá až po molekulové fyzice.

Modelování pohybu kousků kafru je ale náročné. Při vhodném geometrickém uspořádání by tento materiál mohl dle [5] sloužit jako signální dioda. Nejde tedy jen o zajímavou hračku, ale o princip aktuálně zkoumaný fyzikálními chemiky a potenciálně využitelný v praxi.

### **Vodní zvony**

*Realizace:* Při puštění proudu vody na plochu k němu kolmou (např. podstavu válečku), může za určitých podmínek vzniknout vodní útvar připomínající zvon. K prozkoumání tohoto efektu potřebujeme pouze kohoutek s vodou a váleček. Je možné prozkoumat, jak různé parametry jako objemový tok vody, výška kohoutku nad válečkem či poloměr válečku ovlivňují tvar zvonu. Za určitých podmínek je možné pozorovat ostrý zlom vody. Je možné také sledovat, jak se tvar zvonu mění v závislosti na tom, zda pouštíme studenou či teplou vodu.



Obr. 3 Vodní zvon

*Vysvětlení:* Podmínky pro vznik vodního zvonu a jeho případný tvar jsou velice komplexní a na SŠ úrovni těžko vysvětlitelné. Klíčovými parametry je přitom rychlost toku před dopadem na překážku a poměr průměrů vodního proudu ku válečku  $D_{VP} : D_V$ . Je však možné se zaměřit čistě na vliv povrchového napětí. Žáci by si měli uvědomit, že povrchové napětí je zde vlastně nepřítelem vzniku vodního zvonu, protože je s ním spojená dodatečná povrchová energie pro rozmezí voda-vzduch (a u vodního zvonu máme dva povrchy). Detailní řešení problému uvedené např. v [6] skutečně ukazuje, že při nulovém povrchovém napětí by vodní zvon vznikl při jakékoliv kombinaci jiných para-

metrů, zatímco při nekonečně velkém napětí by nevznikl vůbec nikdy<sup>9</sup>. Rovněž se potvrzuje, že menší povrchové napětí odpovídá většímu poloměru i délce zvonu, takže u teplé vody by tyto parametry měly být za jinak stejných podmínek větší. Do jisté míry je to pozorovatelné, problémem je však nastavení zcela stejného toku u teplé a studené vody.

*Poznámky:* Stejně jako v předchozím případě se fyzikové nevěnují tomuto tématu řešenému poprvé již v 30. letech 19. století Savartem jen pro zábavu a pro potěšení z hezkých tvarů vodních zvonů. Porozumění chování volných vrstev kapaliny je důležité například u některých technik přípravy tenkých vrstev nebo výroby papíru [6]. Úvahy týkající se kvantitativního řešení problému s vodním zvonek byly také hezky využity při řešení dynamiky čokoládové fontány jako vhodného systému pro demonstraci principů mechaniky nenewtonských kapalin [7].

### **Propadání předmětu mýdlovou blánou**

*Realizace:* Pomocí mýdlové vody nebo bublinového roztoku si do rámečku natáhneme blánu. Následně těsně nad ní umístíme tenkou jehlu či špendlík hrotem dolů a necháme jej propadnout. Blána překvapivě zůstane nepoškozená. Můžeme ji nechat propadnout bez poškození i další předměty (např. malou matku) případně ji špendlíkem velmi rychle propíchnout. Pokud máme více času, můžeme zkoumat podrobněji, za jakých podmínek blána vydrží a za jakých nikoliv.

*Vysvětlení:* Uvedený efekt byl pozorován již v roce 1904 *Lucienem Bullem* [8]. Jednoduché vysvětlení není k dispozici, stabilita blány vychází z rovnováhy mezi silami setrvačnosti a povrchovým napětím bojujícím proti deformaci vrstvy spojené se zvýšením povrchové energie. Detailním studiem tohoto jevu v disertační práci [8] bylo prokázáno, že tuto rovnováhu je možné kvantifikovat pomocí tzv. *Weberova čísla* známého z mechaniky tekutin. S jeho pomocí je možné pro danou situaci stanovit, jak velké a rychlé objekty mohou blánou projít bez toho, aby došlo k jejímu zničení.

*Poznámky:* Uvedený experiment může sloužit jako demonstrace tzv. *samoopravných materiálů*. Hezké je sledovat průběh interakce mezi předmětem

---

<sup>9</sup> Při dané hodnotě povrchového napětí kapaliny lze v [6] najít vztahy přímo umožňující pomocí tzv. Reynoldsova a Weberova čísla stanovit interval, v němž se poměr  $D_{vp}$ :  $D_v$  musí nacházet, aby byl vodní zvon pozorovatelný.

a blánou (či bublinou) pomocí rychloběžné kamery. Takový záznam pro případ kapek vody prolétávajících bublinou je k dispozici na

<https://www.youtube.com/watch?v=vlvny-n-3aw>.

### **Zahřátí či ochlazení silikonového oleje na kovové desce**

*Realizace:* Připravíme si trochu silikonového oleje, dostatečně tenký kovový plech z kovu s vysokou tepelnou vodivostí (např. hliníková folie) a páječku (ne s ostrým hrotem). Olej nalijeme na plech a necháme jej roztéct. Následně budeme zahřívát spodní stranu plechu páječkou, kterou budeme zvolna pohybovat. V místech, kde se zrovna páječka nachází, se olej rozuteče do okolí. Následně můžeme vzít kostku ledu a plech zespodu chladit. Na chlazených místech se naopak olej bude kupit a pohybem kostky ledu je možné vytvářet zajímavé obrazce.

*Vysvětlení:* Při vyšší teplotě klesá povrchové napětí a kapalina má tendenci tato místa opouštět, protože je to energeticky výhodné. Naopak nižší teplota odpovídá vyššímu povrchovému napětí a kapalina se v těchto místech kupí.

*Poznámky:* K tomu, aby experiment fungoval, je třeba nalít dostatek silikonového oleje (s vodou se nám jej realizovat nepodařilo) a mít páječku, která hřeje v trochu větší ploše. Velice hezky je tento efekt vidět ve videu dostupném na <https://www.youtube.com/watch?v=MUImkSnrAzM> ve 24. minutě. Takto hezky se nám jej provést nepodařilo, základní efekt byl však patrný.

### **Laboratorní práce zaměřené na povrchové napětí a kapilaritu**

Zde uvedený dva náměty na netradičně pojaté laboratorní práce týkající se povrchového napětí. V obou případech nám jde o stanovení povrchového napětí kapalin, jednou na základě přetečení mince, podruhé pomocí vlastní tenkostěnné kapiláry a vytlačení vody z ní.

#### **Povrchové napětí pomocí mince (penny experiment)**

*Cíl:* Cílem této laboratorní práce je netradiční porovnání povrchových napětí různých kapalin (na rozhraní se vzduchem) s jednoduchými pomůckami.

*Teorie:* Povrchové napětí se ve středoškolské fyzice obvykle měří na základě výšky, do které vystoupí hladina v kapiláře (viz další námět na laboratorní práci) nebo tzv. *stalagnometrickou metodou* z hmotnosti či počtu kapek odkapávajících z tenké trubičky. Druhá metoda je přitom standardně používána poměrově k určení neznámého povrchového napětí ve chvíli, kdy známe povr-

chové napětí jiné kapaliny (typicky vody). Platí totiž, že hmotnosti kapek odkapávajících z dané trubičky jsou v poměru jejich povrchových napětí<sup>10</sup>.

První z uvedených metod vyžaduje poměrně přesné změření výšky výstupu hladiny v kapiláře, což může být technicky problematictější. Ve druhém případě je zase třeba upevňovat stalagmometr do držáku. Na internetu je možné najít jednodušší postup k porovnání povrchových napětí založený na určení počtu kapek, které můžeme nakapat na drobnou minci předtím, než kapalina přeteče její okraj<sup>11</sup>. Vzhledem k tomu, že přetečení brání povrchová síla, předpokládá se, že větší počet kapek odpovídá většímu povrchovému napětí a v některých případech je zde přímo uvažována přímá úměra. Tento postup však není zcela korektní, protože vychází z nesprávného předpokladu, že hmotnosti kapek různých kapalin jsou stejné. Uvedený problém můžeme snadno překonat, když místo kapátka použijeme injekční stříkačku s dostatečně jemnou stupnicí a dokážeme tak přesně určit objem kapaliny umístěné na minci před přetečením.

*Postup realizace a pomůcky:* K provedení budeme potřebovat drobnou minci (např. dvoukorunu), injekční stříkačku s jemnou stupnicí (ideálně inzulinovou stříkačku dostupnou za pár korun v lékárně, z níž jde snadno sundat jehla), a různé kapaliny (např. vodu různých teplot, mýdlovou vodu, líh, olej). Do stříkačky nasajeme kapalinu přesně na některou z rysek stupnice a následně ji necháme kapat na osušenou minci. Počítáme kapky a sledujeme, při jakém počtu kapek kapalina přeteče okraj mince. Pro každou kapalinu provedeme alespoň tři měření a určíme aritmetický průměr.

*Zpracování výsledků a metodické poznámky:* Ze zjištěného objemu kapaliny a počtu kapek pro dvě různé kapaliny můžeme snadno určit kvantitativně poměr povrchových napětí dvou zvolených kapalin pomocí vztahu

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{V_1 \rho_1 n_2}{V_2 \rho_2 n_1} \quad (4)$$

---

<sup>10</sup> Podrobnosti např. na [https://www.vfu.cz/files/3130\\_74\\_TLF01\\_Mereni\\_povrchoveho\\_napeti\\_stalagmometrickou\\_metodou.pdf](https://www.vfu.cz/files/3130_74_TLF01_Mereni_povrchoveho_napeti_stalagmometrickou_metodou.pdf)

<sup>11</sup> V češtině je uvedené popsáno např. na <https://miniveda.cz/povrchove-napeti-vody-aneb-kolik-toho-unese-mince/>. V angličtině se dle hodnoty typicky užívané mince obvykle označuje jako penny experiment, viz <https://www.youtube.com/watch?v=6YGLfZG5IEQ>

kde  $\sigma$  je povrchové napětí,  $V$  odkapaný objem,  $\rho$  hustota kapaliny a  $n$  počet kapek, přičemž index označuje, zda se jedná o první či druhou kapalinu. Poměry pro různé dvojice kapalin srovnáme s tabulkovými hodnotami. Z metodického pohledu je třeba říci, že princip měření je vlastně stejný jako u klasické stalagmetrické metody a vzorec (4) by samozřejmě fungoval i v případě, že by se nejednalo o objemy do přetečení mince. Výhoda zde prezentovaného přístup spočívá v jednoduchosti a rychlosti (pokud měření probíhá ve skupinách, mohou různí žáci snadno měřit souběžně různé kapaliny) a také ve vyšší zábavnosti měření, protože žáci čekají, kdy dojde k přetečení mince, přímo pozorují menisky kapalin držené povrchovou silou a i bez výpočtů mohou čistě pohledem poznat, že voda bude mít asi větší povrchové napětí než líh apod. Metoda je zároveň dostatečně citlivá například na to, aby byl patrný rozdíl mezi studenou a teplou vodou. Chyby jsou dány tím, jak jemná je stupnice použité stříkačky, roli může sehrát (na rozdíl od stalagmetrické metody) také různé držení stříkačky při odkapávání.

### **Povrchové napětí s vyrobenou tenkou kapilárou**

*Cíl:* Cílem laboratorní práce je stanovit absolutní hodnotu povrchového napětí pro danou kapalinu (typicky vodu) s pomocí vlastnoručně vyrobené tenké kapiláry, zjistit, kolika kapkami objem vody v kapiláře odkape, a porovnat výsledek s teorií.

*Teorie:* Jak již bylo uvedeno u předchozí laboratorní práce, určování povrchového napětí na základ kapilární elevace patří ke klasickým laboratorním pracím na SŠ, kdy se výsledná hodnota stanoví následujícím způsobem z rovnosti hydrostatického a kapilárního tlaku:

$$p_k = p_h \rightarrow \frac{2\sigma}{r} = \rho gh \rightarrow \sigma = \frac{\rho g r h}{2}, \quad (5)$$

kde  $g$  je tíhové zrychlení,  $r$  vnitřní poloměr kapiláry,  $\rho$  hustota kapaliny a  $\sigma$  povrchové napětí pro rozhraní kapalina-vzduch. V komerčně dostupných kapilárách však hladina nevystoupí s ohledem na poměrně velký poloměr příliš vysoko, což měření komplikuje. Je však možné využít mezipředmětových souvislostí s chemií, kde se žáci již v 1. ročníku vyššího gymnázia často učí práci se sklem zahrnující mimo jiné i výrobu kapilár (které se však následně nevyužívají). Vlastní výrobou je možné snadno získat kapiláry o velmi malém poloměru, v nichž hladina vystoupí podstatně výš. Dále je možné z těchto kapilár nechat kapalinu odkapat a zjišťovat, kolika kapkami odkape. Zjednodušená teorie vycházející z toho, že kapka odkápne ve chvíli, kdy povrchová síla  $F_p$  je vyrovnána silou tíhovou  $F_G$  a její poloměr je roven

poloměru kapiláry zde vede ke značně neintuitivnímu výsledku, že veškerá voda z kapiláry by měla odkápnout v rámci jediné kapky. Pro hmotnost vody v kapiláře *ma* zároveň hmotnost jedné kapky totiž platí:

$$m = \rho V = \rho \pi r^2 h = \rho \pi r^2 \cdot \frac{2\sigma}{\rho g r} = \frac{2\pi r}{g} \rightarrow mg = 2\pi r \rightarrow F_G = F_p. \quad (6)$$

*Postup realizace a pomůcky:* K provedení laboratorní práce je třeba mít vedle měřené kapaliny skleněné trubičky, plynový kahan, mikrometr a pravítko. V prvním kroku žáci nahřejí skleněnou trubičku nad kahanem a rychlým pohybem vytáhnou kapiláru o malém vnitřním průměru. Je přitom třeba dávat pozor na bezpečnost práce tak, aby se o rozžhavené sklo nepopálili (trubičku držet dostatečně daleko od místa nahřívání). Ke stanovení vnějšího průměru vytažené kapiláry užijeme mikrometr, přičemž vnitřní průměr (a poloměr) stanovíme z předpokladu, že poměr vnitřního a vnějšího průměru je u vytažené kapiláry stejný jako u původní skleněné trubičky, kde jsou tyto hodnoty známy od výrobce. Následně již můžeme vytaženou kapiláru ponořit do nádoby s vodou a změřit pravítkem výšku kapilární elevace *h* (u dostatečně tenkých vytažených kapilár není problém dosáhnout hodnot 5-10 cm). V posledním kroku jemným poklepáváním na konec kapiláry vytažené z vody budeme vytlačovat vodu z ní ven a pozorovat, kolik kapek se na jejím konci vytvoří a odkápnou.

*Zpracování výsledků a metodické poznámky:* Povrchové napětí stanovíme pomocí vzorce (5). Dále ověříme, do jaké míry je splněn teoretický předpoklad, že veškerá voda z kapiláry by měla odkápnout v rámci jediné kapky. Zhodnotíme také chyby měření, kde může sehrát roli především to, že není snadné vytáhnout kapiláru, která bude mít po celé potřebné délce stejný vnitřní poloměr. Z metodického hlediska je práce originální v propojení dovedností z chemie (práce se sklem) a fyziky (měření povrchového napětí). Zároveň dává do souvislosti dvě různé metody měření, a to na základě kapilární elevace a metodu stalagmometrickou (v zjednodušeném chápání vycházejícím ze shody povrchové a tíhové síly při odtržení kapky). Navzdory uvedenému zjednodušení a neintuitivnosti předpokladu o jedné kapce experiment v tomto ohledu vychází v dobrém souladu s teorií. Samotné měření je poměrně rychlé, je však potřeba mít určitý cvik při vytahování kapilár a rovněž je třeba být velmi opatrný při měření jejich průměru mikrometrem tak, aby nedošlo k jejich zničení. Z tohoto důvodu je asi výhodnější realizovat takto pojatou práci v dvouhodinové laboratorní cvičení, pokud je k dispozici.



## Závěr

V teoretické části příspěvku byly uvedeny některé náměty na to, jak zlepšit výuku týkající se povrchového napětí a kapilarity větším kladením důrazu na energetické chápání povrchového napětí jako hustoty energie pro dané rozhraní. V experimentální části jsou poté uvedeny náměty na čtyři netradiční experimenty a dvě laboratorní práce k tomuto tématu, které se dají většinou realizovat s jednoduchými pomůckami, a přitom demonstrují důležité a i pro aplikace důležité problémy a poznatky.

## Literatura

- [1] Sophocleous, M. *Understanding and explaining surface tension and capillarity: an introduction to fundamental physics for water professionals*. Hydrogeol. J. 18, No 4 (2010), p. 811-821.
- [2] Barozzi, G. S., Angeli, D. *A note on capillary rise in tubes*. Energ. Proced. 45 (2014), p. 548-557.
- [3] Bochníček, Z. *Několik poznámek o povrchovém napětí*. In: *Veletrh nápadů učitelů fyziky 21: Sborník z konference*. Eds.: T. Milář, J. Válek. Masarykova univerzita, Brno 2016. ISBN 978-80-210-8465-0. Dostupné online: <https://katedry.ped.muni.cz/vnuf21/wpcontent/uploads/sites/35/2017/02/sbornikvnuf21.pdf>
- [4] Kolář, K. *Jehla na vodě. Úloha V.1 12. ročníku Fyzikálního korespondenčního semináře*. Dostupné online: [https://fykos.cz/media/rocnik12/ulohy/pdf/uloha12\\_5\\_1.pdf?cache=](https://fykos.cz/media/rocnik12/ulohy/pdf/uloha12_5_1.pdf?cache=)
- [5] Gorecki, J., et al. *Unidirectional motion of a camphor disk on water forced by interactions between surface camphor concentration and dynamically changing boundaries*. Phys. Chem. Chem. Phys. 19, No 28 (2017), p. 18767-18772.
- [6] Brahma, M., Das, P. K., Ghosahl, K. *Unique shapes of liquid bells as a function of flow parameters: A brief overview and some new results*. Eur. J. Mech. B Fluids. 50 (2015), p. 98-109.
- [7] Townsend, A. K., Wilson, H. J. *The fluid dynamics of the chocolate fountain*. Eur. J. Phys. 37, No 1 (2015), Article 015803.
- [8] Bryston, J. A. *Soap Bubbles and Solid Spheres: Collisions and Interactions*. Ph.D. thesis, Brigham Young University. Dostupné online: <https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4015&context=etd>

## Science on Stage 2022 pohledem českých účastníků

VĚRA KOUDELKOVÁ<sup>1</sup>, ANETA ČERMÁKOVÁ<sup>2</sup>, JITKA HOUFKOVÁ<sup>1</sup>,  
DANA JUCHELKOVÁ<sup>3</sup>, ZDENĚKA KIELBUSOVÁ<sup>4</sup>, ZDENĚK POLÁK<sup>5</sup>,  
JAROSLAV REICHL<sup>6</sup>, HANA TRHLÍKOVÁ<sup>7</sup>, KATKA VÁGNEROVÁ<sup>8</sup>

<sup>1</sup>KDF MFF UK Praha, <sup>2</sup>ZŠ Červený Vrch, Praha, <sup>3</sup>ZŠ Hrabina, Český Těšín,  
<sup>4</sup>KOF ZČU Plzeň, <sup>5</sup>Jiráskovo gymnázium Náchod, <sup>6</sup>SPŠST Panská, Praha, <sup>7</sup>ZŠ  
Křížkova, Sokolov, <sup>8</sup>Gymnázium J. Vrchlického, Klatovy

### Abstrakt

*Festival Science on Stage se v roce 2022 konal v Praze, účastnilo se ho proto 40 českých učitelů (a další stovky českých návštěvníků). Příspěvek popisuje vybrané experimenty, které zaujaly českou výpravu nebo které na místě měly velký ohlas.*

### Science on Stage

Mezinárodní iniciativa Science on Stage (SonS) [1] si klade za cíl sdružovat učitele přírodovědných předmětů a matematiky napříč Evropou a Kanadou a sdílet osvědčené postupy ve výuce. Česká Republika se iniciativy účastní od jejího počátku, v posledních letech hlavně díky péči Jitky Houfkové z KDF MFF UK. Více o SonS ČR na webu [2].

Kromě akcí probíhajících v jednotlivých zemích organizuje Science on Stage řadu mezinárodních aktivit. Učitelé se přímo podílejí na tvorbě výukových materiálů, mezinárodních projektech a workshopech a vzájemně vzdělávají sebe i své žáky. V posledních letech se konalo i několik webinářů, z nichž některé jsou dostupné na webových stránkách [1]. Největší událostí jsou mezinárodní festivaly, které se konají vždy přibližně po dvou letech. Na předchozím festivalu, v roce 2019 v portugalském Cascais, získala pořadatelství následujícího festivalu Česká Republika.

### Science on Stage festival v Praze

V březnu 2022 se mezinárodní festival konal v Praze. Zázemí nám poskytl Clarion Congress hotel ve Vysočanech, lokálním organizátorem byl Elixír do škol, z. ú. I přes nejasnou covidovou situaci se festivalu účastnilo téměř 350 účastníků z 32 zemí. Účastníci naplnili 215 stánků v sedmi festivalových

tématech. Navíc se konalo 24 workshopů v angličtině (a pro návštěvníky dalších 12 workshopů v češtině), uspořádali jsme i promítání filmu *Helios* a pozvali účastníky na exkurze po zajímavých místech Prahy.

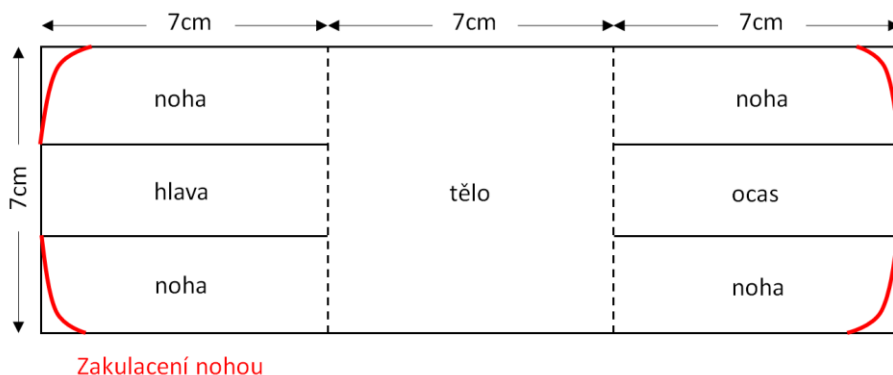
Podrobnější informace o festivalu lze najít na webových stránkách [3].

Jako pořadající země jsme dle pravidel na festival mohli vyslat až čtyřicet účastníků a obsadit až třicet stánků. V tomto příspěvku popisujeme jen několik vybraných experimentů – těch, které nás na festivalu zaujaly (nebo které měly velký ohlas), bylo samozřejmě mnohem víc.

### Běhající koník (*Aneta Čermáková*)

Věděli jste, že gravitace může umožnit objektům chodit? Touto otázkou byl uveden stánek belgického kolegy *Francois Balty* z University of Liège (BE). Projekt ukazoval, jak se může sama pohybovat kartonová postavička. Pomocí gravitace, nakloněné roviny a vhodně zakulacených nožiček.

Jak si tuto chodící hračku vyrobit asi nejlépe popisuje nákres na obr. 1. Podle šablony si chodící postavičku nakreslete a vystříhnete z kartonu.



Obr. 1 Nákres postavičky

Prerušovaná čára značí ohyby, plná čára místa, kde stříhat.

Uvedené rozměry uvedl přímo autor na stánku a já jsem zkoušela prototyp také v této velikosti. Víím tedy, že to opravdu funguje, ale mělo by stačit zachovat poměry. Na festivalu byla k vidění i chodící krabice od pizzy.

A nyní už jen postavit na nakloněnou rovinu z hrubého materiálu tak, aby mohla postavička chodit a neklouzalo jí to.



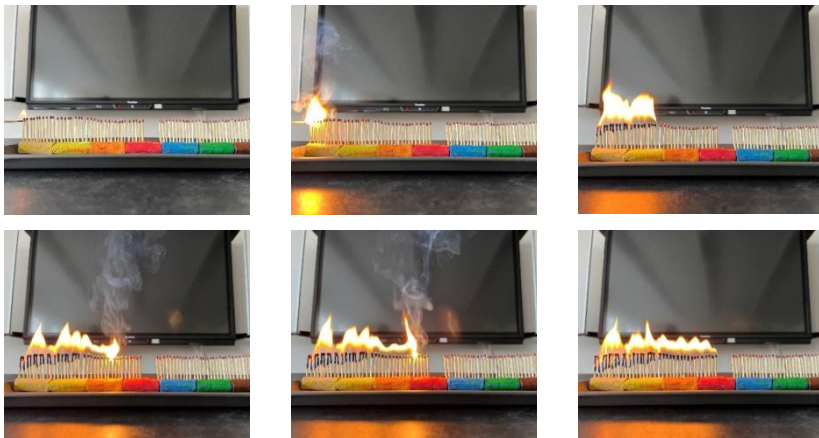
Obr. 2 Hotový koník

Zakulacení nohou je třeba doladit tak, aby se po počátečním naklonění postavička začala pohybovat kolíbatým způsobem dolů z nakloněné roviny.

Aby postavička mohla chodit, musíme jí na počátku naklonit do strany a pustit. Další pohyb je způsoben kýváním těžiště ze strany na stranu. Nakloněným objektu se těžiště vychýlí z rovnovážné polohy. To má tendenci se vlivem gravitace vrátit zpět, a zatímco se vrací, setrvačnost objektu způsobí, že se nakloní do opačného směru. Těžiště tedy osciluje z jedné strany na druhou.

### **Jak se šíří viry (Dana Juchelková)**

Hned vedle mě měly stánek kolegyně z Polska se svým napěchovaným stolem a přilehlým okolím, které přetévalo věcmi, barvami, roztodivnými předměty. Nejprve jsem se nemohla zorientovat, o co vlastně jde, ale pak mě zaujaly fotky z pokusu, který dělám už léta. Jen v době „Covidové“ získal tak nějak jiný rozměr. Použila jsem jej jako motivační pokus (a video) „Proč si umývat ruce mýdlem?“. Mé zpracování najdete na [4]. Začala jsem si věci na jejich stánku prohlížet podrobněji a všimla jsem si podivného hada z modelíny se zapíchanými sirkami. Vysvětlily mi, že toto začaly používat k tomu, aby malým dětem snáz vysvětlily, že je důležité dodržovat rozestupy, aby se bacily a viry nešířily. Bez dlouhého popisu vám to vysvětlí těchto pár fotek.



Obr. 3 Šíření virů demonstrované pomocí sirek

Využití této ukázky šíření plamene (tedy viru) může být daleko širší. Například pro vztahy ve třídě. Jak zastavit šíření negativní nálady, pomluv apod. A i kdybyste žádné jiné použití nebo vysvětlení nenašli, nevadí. Když může v hodině hořet, a ještě takto krásně, tak se to dětem (a obvykle i učitelům) prostě líbí.

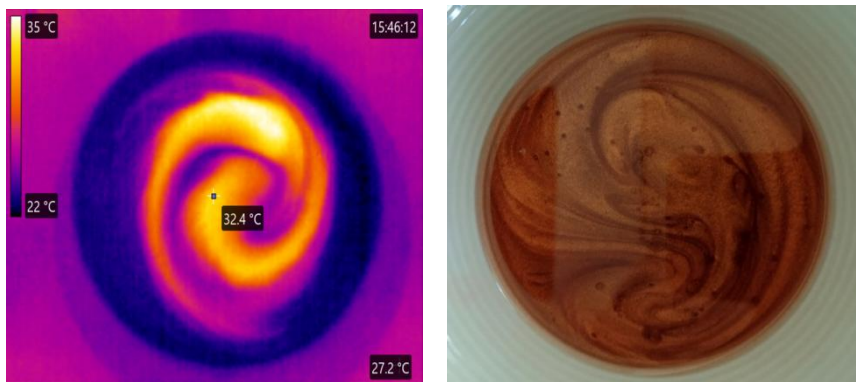
### **Zobrazení proudění (Zdeňka Kielbusová)**

Turbulentní proudění je velmi obtížné popsat nejen v matematice, ale i fyzice. Ovšem je vizuálně velmi hezké. Vírové kroužky jsou velmi hojné v turbulentních tocích kapalin a plynů, ale zřídka si jich všimneme. Na polském stánku s názvem „Hurricane in the cup“ mě zaujali dvě možnosti vizualizace proudění.

První možnost je s použitím termokamery. Využijeme jevu difúze a budeme společně mísit různé teplé tekutiny. Na polském stánku používali horkou kávu a studenou smetanu. Provedení a uspořádání experimentu je následující. Šálek s horkou kávou umístíme na rotační desku a injekční stříkačkou vstříkneme do kávy studenou smetanu. Rotační desku pomalu roztočíme a celý průběh sledujeme pomocí termokamery.

Druhá možnost je s použitím slídového prášku Mica, který se využívá pro různé kosmetické účely. Tento prášek je ideální, protože částice slídy odrážejí světlo v různých směrech a můžeme díky tomu pozorovat proudění v tekutině.

Provedení experimentu je velmi jednoduché. Nejdříve ve vhodné nádobě smícháme Mica slidový prášek s vodou, ideální poměr je 2 g prášku na 200 ml vody. Část směsi nabereme do injekční stříkačky, vstříkneme ji zpět a sledujeme vznik vírů. Další možností je misku se směsí umístit na rotační desku a roztočit ji.



Obr. 4 Ukázka vírů s využitím termokamery (vlevo) a Mica prášku (vpravo)

### **Motorek z mikrovlnky (Zdeněk Polák)**

L. Orosz z Maďarska měl na svém stánku s názvem „*Why science is complex*“ spoustu jednoduchých „Hands on“ experimentů. Z různých fyzikálních oborů. Zaujal mě opravdu nenáročný experiment, který ukazují studentům, ale on ho měl v širší souvislosti.

Jde o použití motorku na otáčení talíře z mikrovlnky. Konkrétně jde o synchronní motor na střídavý proud o napětí 230 V. Statorem je elektromagnet a rotorem magnet. Pro pohon talíře jsou otáčky sníženy pomocí mechanických převodů, které umožňují zpětné roztočení magnetu. Jestliže tedy otáčíme hřídelkou vycházející z motoru, magnet rotoru se roztočí na vysoké otáčky a motorek generuje střídavé elektrické napětí řádově stovky voltů. Připojíme-li k němu doutnavku, bude blikat. Blikání lze pozorovat pomocí stroboskopického efektu. Použijeme doutnavku, která slouží jako kontrolka zapnutí varné konvice. Má již předřadný odpor a lankové izolované vývody na malé „fastony“, které přímo pasují na vývody motorku-generátoru. Otáčíme hřídelí motoru a rozkříváme připojenou doutnavku. Pozorujeme, jak bliká.

Orosz pokračuje dál. Jak se budou chovat další spotřebiče připojené k tomuto generátoru? Žárovka 25 W na 230 V se vůbec nerozsvítí – vnitřní odpor generátoru je příliš velký. LED lampa sice málo, ale klidně svítí. Je v ní řetěz sériově spojených diod, které začínají vést proud až při relativně vysokém napětí a chovají se jako spotřebič s vysokým odporem. Připojíme-li CFL svítidlo – kompaktní zářivku, výrazně bliká. Stejně jako u LED lampy je proud na vstupu usměrněn a napájí kondenzátor. Zpočátku lampa nesvítí. Při nabíjení kondenzátoru napětí narůstá, až se zářivka uvede v činnost. Trubice blikne. Tím se kondenzátor vybijí a znova pomalu nabíjí, až lampa znova blikne.



Obr. 5 Použitý motorek z mikrovlnky s připojenou doutnavkou z varné konvice

### **Kyvadla (*Jaroslav Reichl*)**

Reprezentant Francie *Michael Gregory* předváděl experiment s kyvadly. Na základě inspirace od něj lze vyrobit jednoduše pomůcku a předvést zajímavé experimenty, které lze zařadit jako motivační nebo jako součást zadání problémové úlohy.

Základními pomůckami je několik (tři až pět) těles zavěšených na niti (abychom mohli se žáky mluvit o modelu matematického kyvadla). Tělesa mohou být kamínky, krabičky od kinder-vajíček (obr. 6), kuličky vyrobené z modelíny, ... Vyrobená kyvadla zavěsíme na tyčku, kterou držíme před sebou v rukách ve vodorovné poloze.

Sami žáci si mohou říct, které z kyvadel má učitel uvést do pohybu. To ovšem musí učitel předem vyzkoušet a natrénovat tak, aby se skutečně podařilo rozkývat vybrané kyvadlo, a přitom nebyly příliš nápadně vidět pohyby těla učitele.



Obr. 6 Vyrobená pomůcka připravená k experimentování

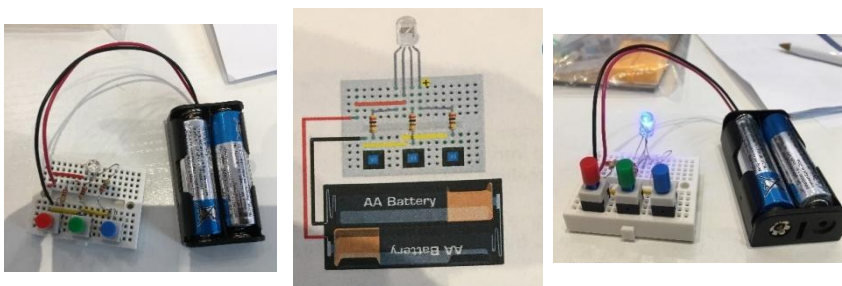


Kyvadla různě dlouhých závěsů budou mít různé periody vlastního kmitání. Při daném kmitání tyčky s kyvadly se tedy (nejvíce) rozkýve to kyvadlo, které má stejnou vlastní periodu kmitání jako kmitající tyčka.

Poté lze se žáky diskutovat, jak experiment proběhl, jaké je jeho fyzikální vysvětlení, ...

### **Míchačka barev (Hana Trhlíková)**

Stánek D. Englundha ze Švédska s názvem „LEDs and the „reverse“ photoelectric effect“ představil spoustu zajímavých novinek ze světa polovodičů, mně zaujala míchačka barev. Spousta českých učitelů míchačku barev zná např. z konferencí Dílny Heuréky, ale tato míchačka byla jiná – miniaturní, protože využívala destičku nepájivého pole.



Obr. 7. Fotografie ze stánku

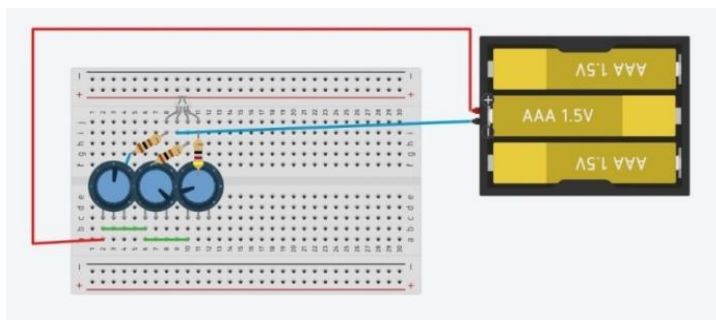
S nepájivým polem se dnes setkávají šikovní žáci již na ZŠ, kde pracují s Arduinem. Proto má smysl jej zařazovat alespoň do kroužků na ZŠ.

Studenti, o jejichž práci jsme našli informace na stánku, nejdříve procvičovali vytváření elektrických obvodů s nepájivým polem v prostředí Tinkercad [5] (část – obvody). Potom pracovali s reálnými součástkami. Podobně může pracovat učitel u nás. Já bych doporučila začít s obvodem s jednou LED, vyzkoušet simulaci a měnit její svítivost pomocí potenciometru a pak se pustit do obvodu s RGB LED. Žák si takto v klidu rozmyslí, jak na panel nepájivého pole naskládat součástky, a jak efektivně použít vodiče, aby jich použil minimum. Výhodou je taky to, že v Tinkercadu si vše zvětšíme dle našich zrakových možností.

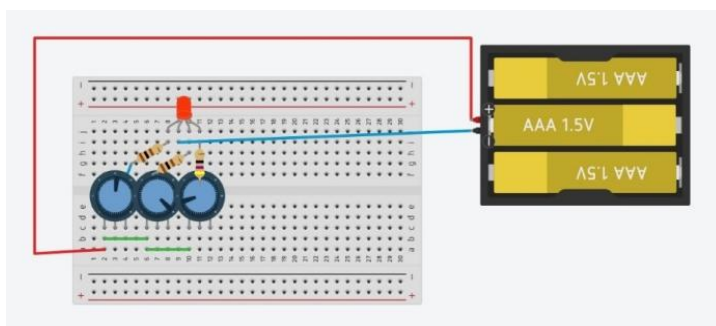
V obvodu je použité připojení LED přes rezistory na jezdce potenciometrů. Záporný pól baterie jde na katodu LED, kladný pól baterie je připojen na uzel, ke kterému jdou vodiče ze všech tří potenciometrů.

Po úspěšném zvládnutí práce v Tinkercadu je pak mnohem jednodušší pracovat s reálnými součástkami. Na nákup součástek jsem využila online obchod LaskaKit [6], kde lze sehnat na jednom místě vše a levně. Já jsem použila zdroj s  $3 \times$  AAA, rezistory 47R (na B) a  $2 \times$  100R (na R a G), třikrát proměnný RM-065 trimr 6 mm 10k a RGB LED 5 mm difuzní se společnou katodou.

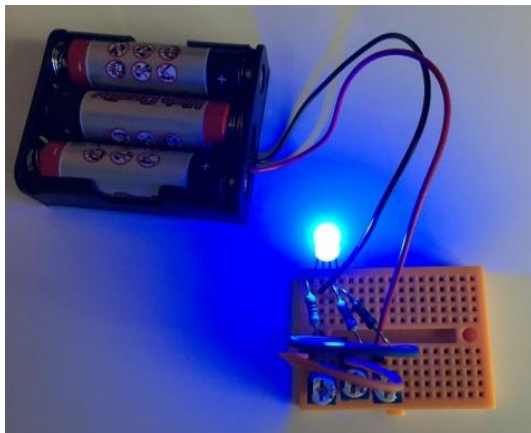
Pokud modelujete 3D tisk, doporučuji si vytisknout barevné nástavce na trimry, jinak se dají otáčet třeba šroubovákem. Vymyšlení tvarů nástavců a jejich modelování lze nechat taky na dětech.



Obr. 8 Vytvořený obvod v Tinkercadu



Obr. 9 Obvod po spuštění simulace



Obr. 10 Skutečný obvod

### **Za jak dlouho se uvaříme v uzavřeném autě (*Katka Vágnerová*)**

Tento projekt jsme realizovali v létě v rámci badatelského týdenního prázdninového programu pro nadané děti z klubů nadaných dětí LogIQ na Klatovsku s dětmi I. stupně ZŠ. Projekt byl oceněn mezinárodní odbornou porotou v kategorii spolupráce ve STEM. Projekt je možné realizovat s dětmi od 1. třídy ZŠ po maturanty na SŠ.

#### **Výzkumná otázka:**

Experimentální zjištění rychlosti nárůstu teploty v zavřeném automobilu v závislosti na různých podmínkách (barva automobilu, otevření okýnek, přímé slunce/stín apod.)

#### **Pomůcky:**

automobil (i více automobilů různých barev), teplotní čidla dle věku dětí (lihový teploměr / digitální teploměr / systém Vernier / Pasco / mikrokontrolér + čidla / Micro:bit apod.), stopky (hodiny / mobil), tužka, papír (může být připravený pracovní list) / PC s vhodným softwarem (dle věku dětí)

Aktivitu lze realizovat (a byla tak realizována) podle zásad badatelsky orientované výuky: 1. kritické čtení + diskuse (internetové zprávy, novinové články o vyprošťování dětí z uzavřených vozů v létě), 2. stanovení výzkumné otázky (jak rychle roste teplota v uzavřeném automobilu, jakých hodnot dosahuje: jak velký vliv má na vývoj teploty otevření okýnka nebo zaparkování ve stínu),

3. formulace hypotéz, 4. plánování a příprava pokusu, měření (Nejmladší děti si vyzkoušely měření s lihovým i digitálním teploměrem, starší děti navázaly na práci s Micro:bitem v předchozích dnech tábora, IT nejzdatnější děti v předchozích dnech tábora postavily své vlastní teplotní bezdrátové čidlo, které použily.), 5. vyhodnocení dat (podle schopností dětí v malých skupinkách společně s lektory děti diskutovaly naměřená data, zkoušely je vizualizovat, hledaly nejzajímavější závěry vyplývající z naměřených dat), 6. návrat k hypotézám, formulace závěru.

Z našeho měření vyplynulo, že k extrémnímu nárůstu teploty v uzavřeném autě může dojít už po 5 minutách.

Kromě základních přínosů této aktivity, kterými jsou určitá „netradičnost“ a tím i atraktivita, návaznost na problematiku z reálného života a překvapivé závěry, má tato aktivita výhodu ve své přenositelnosti do různých věkových skupin. Fakt, že i s věkovou skupinou na úrovni ZŠ lze získat kvalitní relevantní data, ukazuje, že aktivitu lze bezproblémově využít i pro žáky středních škol. Výhodou je i poměrně velká volnost ve výběru pomůcek, které lze použít. Lze tedy aktivitu zařadit jako součást širšího tvůrčího projektu, který by měl být základem moderní školské výuky – kromě kritické práce s textem, je zde přesah do biologie a výchovy ke zdraví, elektrotechniky, v rámci které může být vytvářeno a programováno bezdrátové čidlo na principu mikrokontroléru, stejně tak získávání a zpracování dat. Nezpochybnitelně přínosnou se zadá být i značná variabilita tohoto na první pohled triviálního měření. Právě tato variabilita plynoucí ze změny mnoha podmínek umožňuje skupinovou práci při různých podmínkách. To pak napomáhá společnému skládání dílčího do mozaiky celku a tak vede ke kompetenci formulace obecných závěrů na základě kooperace.

## **Závěr**

Účastníci i návštěvníci festivalu si odnesli mnohem více námětů a inspirace, než kolik zde můžeme sdílet. Irská výprava po každém festivalu vydává brožuru se zpracovanými vybranými experimenty. Tyto brožury (spolu s videi, která některé experimenty doplňují) jsou k dispozici na webu [7]. V letošním roce jsme se irskými kolegy inspirovali a připravili druhý ročník sborníku Elixír nápadů pro školní rok jako inspiraci ze SonS [8].

Příští festival se bude konat v srpnu 2024 ve Finsku – pokud se ho chcete zúčastnit, čerpat nové náměty a sami inspirovat ostatní, sledujte web [2], kde se v lednu 2023 objeví podrobnosti k národnímu výběrovému kolu, plánovanému na podzim 2023.

## **Literatura**

- [1] Science on Stage Europe. [cit. 25. 9. 2022.] Dostupné online:  
[www.science-on-stage.eu](http://www.science-on-stage.eu)
- [2] Věda na scéně. [cit. 25. 9. 2022.] Dostupné online:  
<http://science-on-stage.cz/>
- [3] Science on Stage 2022. [cit. 25. 9. 2022.] Dostupné online:  
<https://www.sons2022.eu/>
- [4] D. Juchelková: *Mýt si ruce mýdlem*. [cit. 25. 9. 2022.] Dostupné online:  
<https://youtu.be/JtbXC0ygyKM>
- [5] Tinkercad. Dostupné online: <https://www.tinkercad.com/>
- [6] LaskaKit. Dostupné online: <https://www.laskakit.cz/>
- [7] Science on Stage Ireland. [cit. 25. 9. 2022.] Dostupné online:  
<http://www.scienceonstage.ie/resources/>
- [8] Elixir do škol. Dostupné online:  
<https://www.elixirdoskol.cz/vydavame-pro-vas/>

## Mikrosvět aktivně

ZDEŇKA KOUPILOVÁ

Katedra didaktiky fyziky MFF UK, Praha

### Abstrakt

*Na fyziku mikrosvěta se obvykle nahlíží jako na obtížnou partii, ve které je obtížné až nemožné experimentovat či nějak jinak aktivně zapojit do výuky žáky. Příspěvek popisuje 8 aktivit a experimentů z této oblasti (kvantová, atomová a jaderná fyzika, fyzika elementárních částic), které byly nachystány v rámci tří diplomových prací obhájených v tomto a minulém akademickém roce. Aktivita jsou nachystané tak, aby byla pro učitele minimalizována časová náročnost jejich přípravy. Všechny jsou určeny pro středoškolské žáky, ale polovina z nich má i jednodušší variantu určenou pro poslední ročníky ZŠ.*

### Úvod

Mnoho učitelů vnímá témata ve fyzice mikrosvěta jako obtížná a špatně uchopitelná, zejména pokud je jejich cílem zapojit žáky do výuky aktivně. Pravděpodobně k tomu přispívá i skutečnost, že řada učitelů si sama v těchto tématech není po odborné stránce úplně jistá, ale také to, že sami na základní a střední škole výuku tohoto tématu často ani nezažili. Nepřekvapí nás tedy, že k tématu fyzika mikrosvěta nalezneme jen velmi málo námětů na experimenty či aktivní zapojení žáků. Pro úplnost dodejme, že jednou z příčin je i fakt, že se tomuto tématu nevěnuje na základních a středních školách tolik prostoru jako klasičtější mechanice či optice.

A právě na tuto „mezeru“ v nabídce výukových materiálů cílily diplomové práce Tomáše Popka [1], Marty Nocarové [2] a Jany Legerské [3]. V uvedených pracích naleznete ke všem níže uvedeným aktivitám detailní teoretický i praktický popis experimentů/činnosti žáků včetně obrazové dokumentace, bezpečnostních upozornění, návodů na provedení a metodických pokynů pro učitele, ale také pracovní či záznamové listy pro žáky a odkazy na další zdroje. Zde se omezíme pouze na jejich stručný popis.

Veškeré obrázky a fotografie v tomto článku jsou převzaty z uvedených prací.

### Fotoelektrický jev s plechovkami [1]

Jedná se o experiment, který stál u zrodu kvantové mechaniky a jehož vysvětlení, jehož autorem je *Albert Einstein*, vychází z částicové povahy světla. Velmi stručně řečeno: elektrony v látkách mohou absorbovat energii elektromagnetického záření jen po určitých „balíčcích“ (kvantech, dnes hovoříme o fotonech), jejichž velikost je úměrná frekvenci dopadajícího záření. Fotony dopadající na kov jsou pohlcovány elektrony, ale pouze při absorbování fotonu s dostatečnou energií může elektron opustit povrch materiálu. Hodnota této potřebné energie se nazývá výstupní práce  $W_0$  a charakterizuje daný materiál. [4]



Obr 1 Plechovka na stojánku a s hliníkovými lamelami, které detekují, zda je elektricky nabitá

Experiment je navržen tak, že žáci záporně elektricky nabijí hliníkovou plechovku<sup>1</sup> (obr. 1) a pak na ní postupně svítí různými zdroji záření – od běžné žárovky s významnou složkou viditelného světla až po germicidní lampičku, která vyzařuje významně i v UVC oblasti. Při svícení na záporně nabitou plechovku lze pozorovat, že při použití UVC lampičky se plechovka vybíjí pozorovatelně rychleji než při použití zdrojů záření bez UVC složky. V další části experimentu žáci zkoumají, že k urychlení vybíjení plechovky nedojde, pokud

---

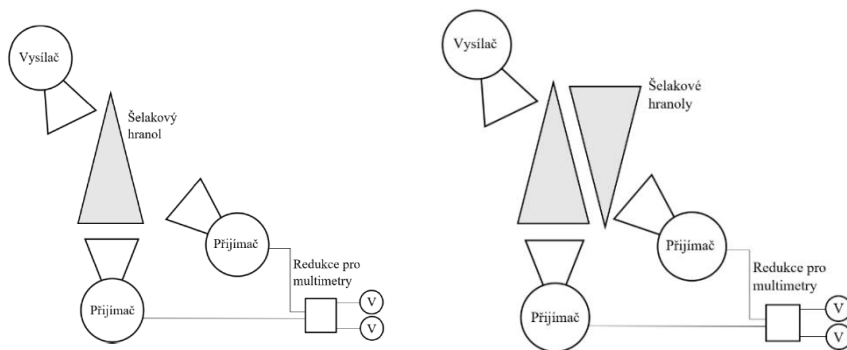
<sup>1</sup> Vhodné jsou plechovky od nápojů, ze kterých je na místě, kam budou žáci svítit, odstraněna povrchová úprava (lak, barva). Protože dochází k poměrně rychlé oxidaci, je nutné před každým experimentem plechovku na tomto místě ještě „očistit“ smirkovým papírem.

svítíme na plechovku přes sklo, které většinu UV záření pohltí. V případě kladně nabitě plechovky k urychlení vypíjení nedochází (na povrchu plechovky je elektronů nedostatek, případné uvolnění elektronu by naopak nabilo plechovku ještě kladněji).

Hliník má výstupní práci rovnu přibližně 4,1-4,2 eV (záleží na povrchové konfiguraci atomů [5]). Fotony s touto energií odpovídají záření o vlnové délce přibližně 300 nm, jedná se o lidským okem nezachytitelné blízké ultrafialové záření<sup>2</sup>. Pro porovnání: výstupní práce železa 4,6-4,9 eV a fotoelektrický jev je s uvedenými zdroji záření nepozorovatelný.

### Tunelový jev s mikrovlnným zářením [1]

Ukázka tunelového jevu s použitím mikrovlnné soupravy využívá totálního odrazu vlnění na šelakovém hranolu. [4] Kromě odraženého signálu je měřen i prošlý signál pomocí druhého přijímače, který je velmi malý. Následně žáci přiblíží k odrazné stěně hranolu druhý hranol (viz nákres na obr. 2), tak aby vznikla úzká vzduchová mezera. Když je šířka vzduchové mezery srovnatelná s vlnovou délkou použitých mikrovln (zde cca 3 cm), dochází ke znatelnému poklesu odraženého signálu, a naopak se zesílí signál prošlý. Dochází tak k tunelovému jevu.



Obr. 2 Schéma demonstrace tunelového jevu s mikrovlnnou soupravou (bez znázorněného zdroje napětí)

<sup>2</sup> Dílčí dělení blízkého UV spektra: UVA 320-400 nm, UVB 280-320 nm, UVC 200-280 nm.



Klasická teorie elektromagnetického pole říká, že na rozhraní dvou izotropních optických prostředí musí být určité složky elektrického a magnetického pole spojité. Z tohoto faktu můžeme odvodit, že pokud na rozhraní dopadá rovinná harmonická vlna, tak i v případě, kdy dochází k totálnímu odrazu, musí nějaké pole pronikat i do druhého prostředí (nemůže okamžitě klesnout na nulu). Jedná se o tzv. evanescentní vlnu, jejíž amplituda se vzdáleností od rozhraní velmi rychle klesá a zároveň směrem od rozhraní nepřenáší žádnou energii. Pokud ale do této oblasti vložíme materiál s indexem lomu, který je vyšší než index lomu prostředí mezi hranoly (vzduch), můžeme evanescentní vlnu zachytit. Dopadající vlnění se opět rozdělí na dvě vlny – odraženou a prošlou.

Pokud budeme tedy elektromagnetické pole popisovat vlnově, nedostáváme nic překvapivého. Jiný popis ale nabízí kvantová mechanika, kdy na elektromagnetické záření nahlížíme jako na tok fotonů. Totální odraz znamená, že fotony nemají dostatečnou energii, aby mohly pronikat do druhého prostředí – do vzduchu, resp. překonaly vzduchovou mezeru mezi hranoly. Přesto pozorujeme, že část fotonů tuto mezeru překoná. Tomuto jevu se říká tunelový jev.

### **Akustická analogie rastrovacího tunelového mikroskopu [1, 6]**

I když je princip funkce rastrovacího tunelového mikroskopu STM<sup>3</sup> základní myšlenkou této aktivity, ve skutečnosti spíše uvedená aktivita žákům představuje myšlenku, že v mikrosvětě máme k dispozici pouze nepřímá měření a na základě jejich vyhodnocení si vytváříme představu, jak věci v mikrosvětě „vypadají“ či „fungují“.

V této aktivitě jsou atomy na povrchu zkoumaného vzorku modelovány pravidelně rozmístěnými malými plastovými lahvičkami. Žáci využijí dva „chytré“ telefony (jeden jako vysílač zvuku, druhý jako přijímač), kterými pohybují nad lahvičkami, a proměřují intenzitu zvuku o frekvenci dané rezonanční frekvenci lahviček. Nad lahvičkou dochází k rezonanci, tj. zesílení zvuku.

---

<sup>3</sup> Rastrovací tunelový mikroskop (STM = *scanning tunneling microscope*) byl vynalezen roku 1981 a používá se při zkoumání struktur o velikosti srovnatelné s velikostí atomů. Jeho základní částí je sonda ve tvaru velmi ostré jehly, jejíž pohyb je řízen pomocí velmi přesných piezokrystalů. Mezi jehlu a vodivý vzorek je přivedeno elektrické napětí, které ale není dostatečné, aby zde proběhl výboj. Přesto díky tunelovému jevu prochází obvodem proud – některé elektrony dokážou překonat onu vzduchovou mezeru. Velikost tohoto proudu velmi silně závisí na vzdálenosti sondy od vzorku, tj. malé změny vzdálenosti způsobují velké změny proudu, a tak nám měření proudu umožňuje „skenovat povrch vzorku“ s velkou přesností. Ve skutečnosti ale zjišťujeme spíše hustotu rozložení elektronů a z ní odvozujeme polohu jednotlivých atomů na povrchu vzorku.

ku, a tím je možné její polohu detekovat. Je-li lahvička z části naplněná vodou, změníme tím jejich rezonanční frekvenci a nedojde nad ní k tak velkému zesílení zvuku. Takto můžeme modelovat odlišné atomy na povrchu vzorku.

Žáci při této aktivitě nejprve skenují řadu 4-5 lahviček, ale poté také analyzují předložený sken dvoudimenzionální struktury, případně se snaží určit, které lahvičky obsahují vodu (obr. 3).



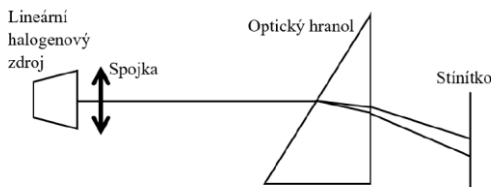
Obr. 3 Vlevo – akustický model STM s pěti lahvičkami (atomy), telefon s viditelnou obrazovkou je přijímač, druhý telefon (skrýtý za prvním) je vysílač, mikrofón přijímače a reproduktor vysílače se nacházejí v těsné blízkosti kelímků, vpravo – matice lahviček (atomů) 4×4 s pěnovou šablonou

### **Záření černého tělesa [1, 7]**

V tomto případě se jedná o demonstrační experiment, který názorně ukazuje vyzařovací zákony absolutně černého tělesa. Světlo z lineárního halogenového zářiče<sup>4</sup> se láme přes optický hranol, čímž se vlivem disperze světla zobrazí spojité světelné spektrum (viz nákres na obr. 4). Snížením napětí na zářiči (pomocí stmívače) se sníží teplota vlákna, a tím se jednak sníží celková intenzita záření (Stefanův-Boltzmannův zákon), ale díky posunu maxima vyzařované energie směrem k větším vlnovým délkám (Wienův posunovací zákon) se původně bílé světlo zářiče změní na světle oranžové a ve spektru pozorujeme úplné vymizení fialových a modrých odstínů. Lidské oko je citlivější na zelenou barvu, a proto se se nám jeví intenzivnější, než ve skutečnosti je, ale je dobré si uvědomit, že na kvalitativní výsledek pokusu to nemá významný vliv.

---

<sup>4</sup>Vhodný je např. halogenový reflektor, který lze zakoupit v hobby marketech, který je uvnitř natřený černou žáruvzdornou barvou, aby se omezilo odrážení světla.



Obr. 4 Schéma demonstrace zákonů popisujících záření černého tělesa

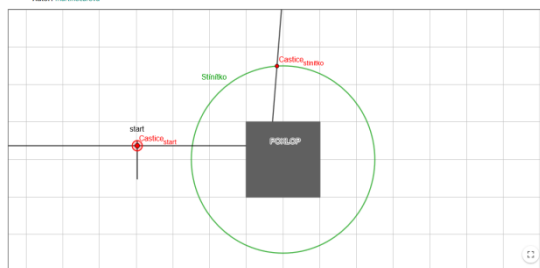
### Rutherfordův rozptyl [2, 8]

Rutherfordovy experimenty hrály významnou roli ve vývoji našeho poznání atomu. Kromě zajímavého příběhu poskytují i příležitost seznámit studenty s myšlenkou nepřímého zkoumání atomu a jiných podobně velkých či menších struktur.



Rutherford - uhodni 1

Autor: marfincanova



Obr. 5. Rampa a terčíky vytištěné na 3D tiskárně pro experiment Rutherfordův (nahore), aplikace v GeoGebře „simulující“ stejný experiment (dole)

Základ aktivity tvoří terčík skrytý pod deskou. Úkolem žáků je zjistit o terčíku co nejvíce (jeho polohu, velikost, odhadnout tvar, ...) jen pomocí kuliček, které pouští z připravené „rampy“. Jedná se tedy o model ostřelování jednoho atomu zlata alfa částicí. Vzhledem k mnoha vlivům, které na kuličku

působí (valivý odpor, nerovnosti podložky, nepřesně stanovená výška spuštění, ...) je vhodné tento pokus využít k otevření diskuze, co lze tímto způsobem zjistit, jak se náš model liší od skutečného Rutherfordova experimentu a jak obtížné je na základě naměřených údajů zjistit, co se skrývá pod deskou, resp. jaká je struktura atomu.

Kromě speciální sady rampy a terčů, kterou lze vytisknout na 3D tiskárně, je v aktivitě popsána i realizace pomocí dětských hracích kostek a kusu kartónu, ale také dva připravené aplety v GeoGebře, na kterých si mohou žáci svůj odhad vyzkoušet.

### **Kvarky [2, 9]**

Pokud bychom chtěli žáky seznámit s teorií, která tvoří základ kvarkového modelu složení hadronů, vyžadovalo by to mnoho let intenzivního studia. Místo toho žáci dostanou v této aktivitě speciální skládačku, která má uvedená matematická pravidla skrytá ve tvarech svých dílků. Úkolem žáků je skládat dva typy částic – mezony a baryony tak, aby dodržely pravidla skládání a na základě svých výsledků vyvodit vlastnosti, které tyto částice mají. Skládačka umožňuje odhalit celočíselný elektrický náboj a „bezbarvosť“ reálných částic. Poté mohou hledat, jak byly částice, které se jim podařilo složit, pojmenovány, případně hledat možnosti, jak získané částice uspořádat.



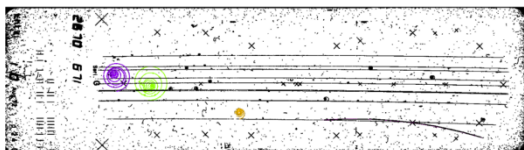
Obr. 6 Plastová skládačka kvarků (3D tisk, vlevo), žáci pracující s papírovou verzí skládačky (vpravo)

Podobně jako v předchozí aktivitě není cílem žáky seznámit s kvarkovou teorií jako takovou, ale spíše jim představit myšlenku, že z teorie/modelu mohou odvozovat další závěry, které jsou teprve experimentálně ověřitelné.

### **Bublinová komora [2]**

Tato aktivita se skládá ze dvou částí. V první části žáci pracují s připravenými texty a pomocí tzv. skládankového učení se postupně seznamují (a navzájem seznamují) jak s fungováním bublinové komory, vlastnostmi pozorovaných částic, tak si také připomínají dříve probírané fyzikální zákony, které budou v další části potřebovat.

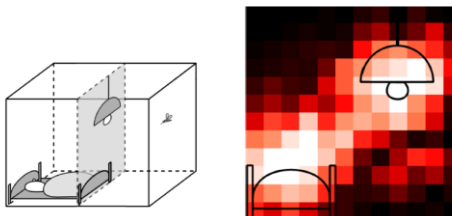
V druhé části žáci pracují ve skupinách s pracovním listem, který obsahuje skutečné snímky z bublinové komory, na kterých hledají vybrané jevy nebo se snaží vysvětlit pozorované stopy.



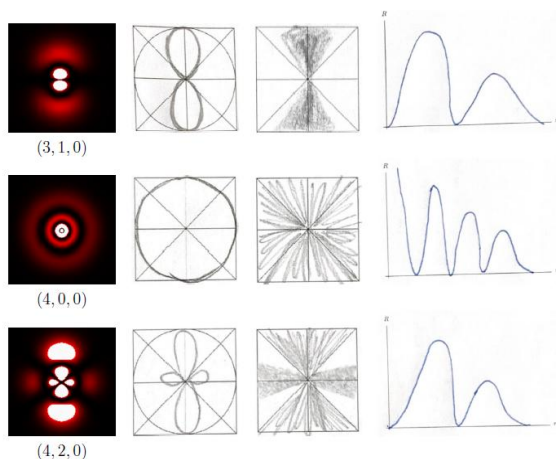
Obr. 7 Ukázka úkolu z pracovní listu k aktivitě Bublinová komora

### **Orbitály atomu vodíku [3]**

V tomto případě se jedná se o plán dvou vyučovacích hodin, který vychází ze staršího materiálu[10] a je určen žákům na střední škole. V první části je pomocí rozboru pohybu oscilátoru a mouchy v místnosti žákům představena hustota pravděpodobnosti nalezení. V druhé části žáci pracují různými druhy grafů tak, aby si vytvořili představu, jak vypadá hustota pravděpodobnosti nalezení elektronu v atomu vodíku pro konkrétní stacionární stavy.



Obr. 8 Obrázky využitě k zavedení pojmu hustota pravděpodobnosti nalezení



Obr. 9 Ukázka úkolu s žákovským řešením

## Závěr

Výše prezentované výsledky uvedených tří diplomových prací, ale i více než desítky větších či menších projektů a návrhů na jednotlivé aktivity mě přesvědčuje, že navzdory obecnému názoru nastíněnému v úvodu tohoto příspěvku, je možné fyziku mikrosvěta učit zajímavě, přístupně i mladším žákům, ale hlavně s jejich aktivním zapojením. Pro učitele, kteří by se chtěli dozvědět více, ale hlavně si vše vyzkoušet i vlastníma rukama, je připraven kurz v rámci DVPP [11], který poprvé bude otevřen na podzim roku 2023.

## Literatura

- [1] Popek T.: *Sady pro demonstrační experimenty ve středoškolské výuce fyziky mikrosvěta*. Diplomová práce (ved. práce Z. Koupilová), MFF UK 2021. Dostupné online [cit. 7. 9. 2022]  
<https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/127722>
- [2] Nocarová M.: *Aktivity z částicové fyziky na střední škole*. Diplomová práce (ved. práce Z. Koupilová), MFF UK 2021. Dostupné online [cit. 7. 9. 2022]  
<https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/174006>

- [3] Legerská J.: *Atom vodíku na vysokoškolské a středoškolské úrovni*. Diplomová práce (ved. práce Z. Koupilová), MFF UK 2021. Dostupné online [cit. 7. 9. 2022] <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/173940>
- [4] Reichl J., Všetická M.: *Encyklopedie fyziky* [online]. [Cit. 22. 10. 2021]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>
- [5] *Workfunction*. Wikipedie. [Cit. 16. 11. 2021]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Work\\_function](https://en.wikipedia.org/wiki/Work_function)
- [6] EULER, Manfred. *Getting in touch with the nanoworld: Hands-on experiments and models to visualize nano scale structures*[online]. Science and technology Education for the 21st Century, 2014. DOI: 10.13140/2.1.1728.2881.
- [7] Nadace České spořitelny, 2016, Doc. RNDr. Zdeněk Bochníček, Dr., PřF MU Brno, Youtube video. [Cit. 22. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=hqzR81UB6pY&list=PLNn4rgcKoGfp9VX-55cWubyFqovsRyv05&index=6>
- [8] S'cool LAB. *Scattering Experiment*. [Cit. 22. 10. 2020]. Dostupné z: <https://scoollab.web.cern.ch/scattering-experiment>
- [9] E. Gettrust, *The Quark Puzzle: A Novel Approach to Visualizing the Color Symmetries of Quarks*, The Physics Teacher 48 (2010) no. 5, 312–315, <https://doi.org/10.1119/1.3393062>.
- [10] Koupilová Z.: *Projekt Orbitaly*. [Cit. 22. 10. 2020]. Dostupné z: <http://kdf.mff.cuni.cz/~koupilova/orbitals/?lang=CZ>
- [11] *Kurz DVPP: Fyzika mikrosvěta – základy*.

## Různé? Stejné! – využití různých reprezentací ve výuce

ZDEŇKA KOUPILOVÁ

Katedra didaktiky fyziky MFF UK, Praha

### Abstrakt

*Umět rozpoznat danou fyzikální či matematickou veličinu, jev či zákon v různých reprezentacích je známkou hlubšího pochopení jeho významu. Sady karet s názvem Různé? Stejné! umožňují provádět mnoho velmi různorodých aktivit vhodných do hodin na druhém stupni ZŠ či jako jednodušší opakování na SŠ.*

### Obsah sady a příklady aktivit

Uvedené sady existují ve dvou variantách – pro matematiku a pro fyziku [1]. V každé krabici naleznete čtvercové, kruhové a šestiúhelníkové karty. Čtvercových kartiček je 38, resp. 36 trojic a primárně jsou určeny ke hře „tří-kartičkového pexesa“ (tato hra se obvykle objevuje pod názvy pexetrio či trixeso). Vždy tři kartičky tvoří trojici (na jedné je název pojmu a na zbylých dvou nějaká jiná jeho reprezentace). Lze s nimi hrát uvedené pexeso, ale také je lze jen třídit na trojice či vyhledávat souvislosti. Protože jednotlivé typy karet jsou mezi sebou provázané (obsahují stejné pojmy i některé jejich reprezentace), lze je mezi sebou kombinovat. Nejdůležitějším příkladem je využití čtvercových kartiček s názvy pojmů při jejich vyhledávání na složitějších kartách.



Obr. 1. Krabice s oběma sadami karet



Kruhové karty obsahují vždy pět z 21 vybraných pojmů, na šestiúhelníkových kartách je natištěno 6 z 31 pojmů (jedná se o rozšíření pojmů z kruhových karet). Reprezentace pojmů se ale na jednotlivých kartách liší. Rozmístění pojmů na kartách je takové, že každé dvě karty stejného tvaru se shodují v jednom pojmu (nikoli ale ve způsobu, jak je tento pojem reprezentován). Takovéto rozmístění obrázků nalezneme i na kartách her prodávaných pod názvy Dobble, Spot it apod.). Lze s nimi tedy dělat různé aktivity založené právě na vyhledání dvojice různých reprezentací téhož pojmu – ať už je cílem získávání či zbavování se karet. Na rozdíl od komerčně prodávaných her ale není vhodné aktivity pojímat jako postřehovky, tj. zdůrazňovat rychlost, ale spíše se zaměřit na zdůvodnění, proč žák vybral zrovna dané dvě dvojice. Některé pojmy a jejich reprezentace mohou vést k velmi zajímavým diskuzím a bylo by škoda, aby přílišný tlak na rychlost tyto diskuze znemožnil.



Obr. 2 Ukázka různých typů karet ze sadu pro fyziku (vlevo) a matematiku (vpravo)

Jako příklad využití různých typů karet zároveň lze uvést např. aktivitu, kdy učitel rozmístí kruhové nebo šestiúhelníkové karty po třídě a každý z žáků dostane jednu čtvercovou kartičku se zeleně uvedeným názvem pojmu, který se na daných kartách vyskytuje. Jeho úkolem je najít a zapsat si čísla všech karet, které podle něho daný pojem obsahují. Podobných aktivit lze vymyslet i řadu dalších.

Pro pokročilejší žáky lze využít toho, že šestiúhelníkové karty se dají narovnat do roviny tak, že se karty dotýkají stejným pojmem. Tato aktivita zabere čas, ale dle zatím získaných zkušeností právě pokročilejší žáky či žáky s hlubším zájmem opravdu baví.

Nápady na další konkrétní aktivity jsou uvedeny v manuálu, který je součástí každé sady. Kromě toho ale učitelé najdou řešení, další poznámky i nápady na podpůrném webu k těmto hrám. [2]

Tyto sady navazují na dříve vydanou Šestiúhelníkovou fyziku [3], která obsahuje pouze šestiúhelníkové karty. V ní zobrazené fyzikální zákony odpovídají maturitní úrovni, takže hra je vhodná pro semináře v posledních ročnících středních škol, pro první ročníky škol vysokých a všem ostatním zájemcům.

## **Literatura**

- [1] *Různé? Stejně!* [Cit. 10. 9. 2022]. Dostupné z: <https://www.ruznestejne.cz/>
- [2] Koupilová Z.: *Podpůrný web her Různé? Stejně!* [Cit. 10. 9. 2022]. Dostupné z: <http://shorturl.at/dekuv>
- [3] Šestiúhelníková fyzika. [Cit. 10. 9. 2022]. Dostupné z: <https://matfyzpress.cz/cz/e-shop/darkove-predmety-mff-uk/hra-sestiuhelnikova-fyzika-sestiuhelfyzika>

## Konceptuální úlohy aneb trochu netradiční kalendář

ZDEŇKA KOUPILOVÁ

Katedra didaktiky fyziky MFF UK, Praha

### Abstrakt

*Konceptuální úlohy představují v Čechách trochu neznámý, a tedy i méně používaný typ úloh. Dlouhodobá „soutěž“ s názvem Zcela neadventní kalendář [1], která probíhala od ledna do června 2022, přinášela konceptuální či podobnou úlohu každý týden a tím se snažila tyto úlohy popularizovat mezi učiteli.*

### Jak to začalo

Inspirací pro vznik této „soutěže“ – záměrně píšu slovo soutěž do uvozovek, protože od začátku bylo jasné, že vůbec nepůjde o nějaké zápolení, porovnávání znalostí či počítání „správných“ odpovědí – byl prosinec plný různých adventních kalendářů. Rodiče mladších dětí se jen těžko mohou ubránit různým čokoládovým či zdravějším oříškovým verzím, obchody nabízejí krabice s 24 překvapeními ve stylu nějakého velmi známého filmu, či třeba s malými lego modely. Ani na poli fyziky není klid – z projektů, které velmi dobře fungují již řadu let a přinášejí mnoho velmi zajímavých nápadů na pokusy, jmenujme německý *Physics in Advent* [2], nebo neméně kvalitní, i když jednodušejší pojatý český *Advent s fyzikou* J. Reichla [3], ve kterých mohou účastníci zasílat svoje odpovědi, a do třetice Adventní kalendář s pokusy ÚDiFu [4], který vám domů přinese 24 balíčků s pomůckami na různorodé pokusy na každý prosincový den. Navíc mnoho učitelů vytvořilo a sdílelo na internetu různé adventní kalendáře s moc pěknými úkoly z různých oborů. Prosinec je velmi bouřlivý, každý den přináší nějaké překvapení, námět na přemýšlení, úkol, ale po vánočních svátcích již není nic – vzniká zde prostor, který by se dal využít.

Druhým a zásadnějším důvodem pro realizaci „soutěže“ je skutečnost, že konceptuální a jím podobné úlohy používám ve své výuce již řadu let. Oceňuji na nich, že mi pomáhají rychle a kvalitně zmapovat, zda studenti pochopili nově probírané téma či látku, kterou by měli znát z předchozího studia. Tento typ úloh se zaměřuje na pochopení základních myšlenek, nikoli na zapamatování si údajů či „řemeslné zvládnutí“ nějakých (např. výpočtových) postupů. Obvykle je možné k jejich řešení přistoupit na několika různých úrovních, což

umožňuje individualizovat náročnost výuky. Studentská zdůvodnění špatných odpovědí často velmi jasně ukážou, který aspekt daný student nepochopil či používá chybně. A pokud je možnost, aby studenti diskutovali svoje názory mezi sebou, tak se nejenom poučí o daném fyzikálním zákoně, ale při vhodně nastavené úloze se seznámí i s jinými způsoby uvažování, ať již správnými, tak chybnými, což je posouvá ještě rychleji vpřed.

I když se tyto úlohy formálně (vizuálně) často velmi podobají testovým úlohám, nelze je v testech použít, protože je často záměrně nechávám nejednoznačné – vypsání všech okrajových podmínek a zanedbání by neúměrně prodloužilo text zadání, také by často nepřipustně napovídalo, jak se má úloha řešit, a navíc právě diskuzi různých pochopení a přístupů k zadané situaci považuji pro studenty za nejprínosnější.

Vzhledem k výhodám, které v těchto úlohách spatřuji, mi přijde škoda, že nejsou více rozšířeny ve výuce. Uspořádání takového „soutěže“ mi přišlo jako skvělá příležitost pro jejich nenásilnou propagaci.

### Konceptuální úlohy

S konceptuálními úlohami, v anglické literatuře nazývané jako *ConceptTests*, se poprvé setkáváme u prof. E. Mazura v rámci jeho výukové metody *Peer Instruction* (PI) [5], kterou rozvíjel na svých přednáškách fyziky na Harvardu a která byla později přejata mnoha vyučujícími různých oborů na vysokých, ale i středních školách. Dále jsou tyto či jim podobné úlohy používány v rámci metody *Just-in-TimeTeaching* (JiTT) [6, 7], která se naopak zaměřuje na domácí přípravu studentů. Obě zmíněné metody patří mezi aktivizující metody výuky a mám je ve své výuce dlouhodobě zakomponované, i když jsem je musela mírně modifikovat vzhledem ke specifikům českého prostředí, a hlavně vzhledem k tomu, že na rozdíl od postupů popsaných v literatuře, které se typicky uplatňují při výuce velkých skupin (i několika stovek) studentů, moje studijní skupiny jsou malé, typický 10-20 lidí.

Dle [5] by měla konceptuální otázka splňovat následujících pět bodů:

1. založená na porozumění jedinému konceptu,
2. na kterou lze odpovědět pouze za pomoci porozumění, nikoliv na základě výpočtu,
3. spojená s nabídkou přiměřeného množství odpovědí,
4. která je zformulována jednoznačně,
5. s přiměřenou obtížností.


Z toho plyne, že se nejedná o příliš komplexní otázky ani úlohy kvantitativní (výpočtové). Ve svém pojetí plně dodržuji body 1, 2 a 5. Používám ale

i otázky s otevřenými, ale snadno formulovatelnými odpověďmi (což vychází spíše z pojetí metody JiTT, než PI), např. určit číselnou hodnotu či načrtnout jednoduchý graf či obrázek. Otevřenost otázek, i jejich občasnou nejednoznačnost si mohu v malých skupinách dovolit, protože snadno ohlídám různé možnosti pochopení a takové úlohy vedou k zajímavým diskuzím, které není problém při malém počtu účastníků uřídit.

Přesně takové úlohy (typem), se kterými mám dobré zkušenosti z výuky, jsem se snažila do soutěže vybírat (obr. 1). Protože bylo třeba přizpůsobit jejich náročnost a vybírala jsem i úlohy z témat, která běžně neučím, ne vždy se mi povedlo úlohu formulovat ideálně. Také kontext online odpovídání vyžadoval mírné změny ve formulování úloh.

### Cisterna s vodou

Nákladní cisterna má nádrž částečně naplněnou vodou. Podařilo se nám udělat momentky, kde je zachycena hladina vody. Která z uvedených cisteren jela dopředu?




A
B
C

Zdroj: reálnosti.kalendář.cz/1

### Výbuch v krabici

Představte si, že vyrobíte nádobu s opravdu extrémně pevnými stěnami, která zároveň bude i velmi dobře izolovat. Do nádoby vložíte výbušninu s časovým spínačem. Zabývejme se teď vnitřkem nádoby (výbušnina, časový spínač, kabely, vzduch, ...). Jak se změní její (vnitřní) energie, pokud dojde k výbuchu?

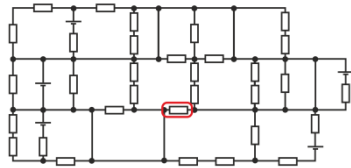
*Poznámka: Při výbuchu nedojde k poškození nádoby!*



A) Vzroste.  
 B) Zůstane stejná.  
 C) Klesne.  
 D) Záleží na velikosti nádoby a množství výbuštiny.  
 E) Nelze určit.

Zdroj: reálnosti.kalendář.cz/1

### Monstrózní obvod

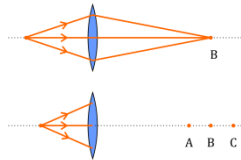


Všechny zdroje jsou ideální s napětím 9 V.  
 Všechny rezistory mají odpor 2 kΩ.  
 Určete napětí na označeném rezistoru.

Zdroj: reálnosti.kalendář.cz/1

### Zobrazení čočkou

Bodový zdroj světla je umístěn na ose čočky. Za čočkou se paprsky sbíhají v bodě B. Světelný zdroj posuneme blíž k čočce. Kam se posune bod, ve kterém se budou paprsky sbíhat?



A B C

Zdroj: reálnosti.kalendář.cz/1

Obr. 1 Ukázka 4 úloh

### Průběh soutěže

V každém z 24 týdnů od 7. ledna po 16. června bylo ve čtvrtek zveřejněno zadání úlohy a odkaz na formulář, pomocí kterého mohli účastníci posílat své odpovědi. K odpovědi mohli připojit zvolenou přezdívku (či jméno), aby bylo

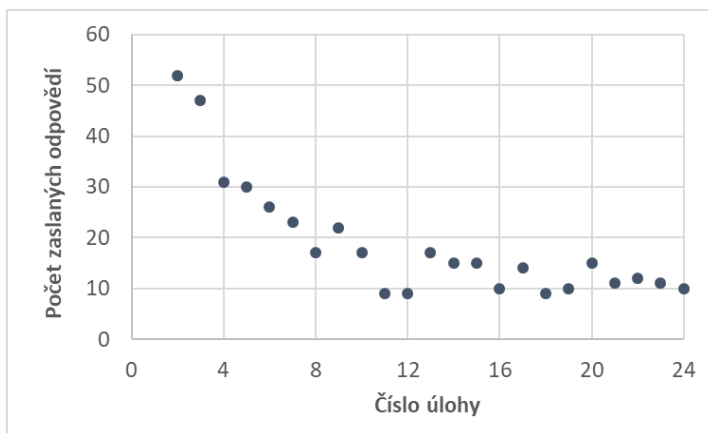
možné propojit všechny jejich odpovědi v průběhu celé „soutěže“. Pokud chtěl řešitel ke svému řešení připojit nějaký obrázek či jiný soubor, mohl ho zaslat e-mailem, což se stalo v necelých 10 případech za celou soutěž, protože žádná z úloh nic takového nevyžadovala. Zastoupení jednotlivých hlavních fyzikálních témat v úlohách je uvedeno v tabulce 1.

Tab. 1. Počet úloh z jednotlivých témat

téma	počet úloh
mechanika	9
termodynamika a molekulová fyzika	4
elektrina a magnetismus	6
optika	4
akustika	1
<b>celkem</b>	<b>24</b>

Řešitelé také mohli zadat svoji e-mailovou adresu, na kterou jim potom chodilo každý týden ve čtvrtek upozornění na nově zveřejněnou úlohu. Odpovídat mohli jak na nově zveřejněnou úlohu, tak ještě během celého pátku i na úlohu z minulého týdne. Celkově chodila tato upozornění na téměř 130 adres.

Počty zaslaných řešení ukazuje graf na obr. 2. Díky masivnímu sdílení oznámení o první úloze na sociálních sítích a hlavně díky tomu, že jako první úloha byla z motivačních důvodů zvolena úloha relativně jednoduchá, tak se do řešení pustilo velmi mnoho lidí (bylo zasláno 131 odpovědí). Protože další úlohy byly postupně náročnější (od úloh vhodných i pro žáky základní školy se postupně posunuly k úlohám vysloveně středoškolským) a také účast v soutěži měla jistou časovou náročnost a vyžadovala pravidelně soutěž sledovat, počet zasílaných odpovědí postupně klesal a ustálil se na počtu 0-20 odpovědí. Ze závěrečného dotazníku vyplynulo, že počet odpovědí ovlivňovala zejména obtížnost úlohy (zda si byl řešitel svým řešením jistý či nikoli), náročnost na pomůcky (třeba i jen nutnost si něco kreslit či mít možnost dívat se na zadání), ale také čas, kdy bylo zasláno upozornění na úlohu (ideálně bylo, pokud přišlo v době, kdy řešitel měl možnost rovnou zaslat odpověď).



Obr. 2 Počty zaslaných odpovědí na jednotlivé otázky, na první úlohu přišlo 131 odpovědí, což není v grafu uvedeno

V závěrečné anketě zejména učitelé hodnotili úlohy jako inspirativní. Oceňovali pestrost úloh, to, že zadání některých úloh „byla ze života“, i skutečnost, že se v rámci zamýšlení se nad úlohami dozvěděli něco nového. Zmiňovali také velké rozdíly v náročnosti úloh a ne zcela jasně určenou cílovou skupinu, pro kterou je „soutěž“ určena. Jako v podstatě jediné, co celé soutěži vytýkali, byla velká prodleva mezi uzavřením otázky a zveřejněním jejích řešení, případně nesnadnost nalezení těchto řešení na webové stránce.

## Závěr

I když počet zasílaných odpovědí nebyl vysoký, tak z ohlasů od lidí, se kterými se znám osobně či mne kontaktovali jinak, a zejména z vyplněných závěrečných anket vím, že úlohy sledovalo mnohem více lidí, diskutovaly se v rodinách, ve fyzikálních kabinetech atd. Dosah této „soutěže“ tedy byl určitě větší, než vyplývá z počtu aktivních účastníků. Navíc vznikla sada 24 úloh, jejich řešení a dalších komentářů, což je materiál, který je využitelný i v budoucnosti.

*Realizace byla v roce 2022 podpořena MŠMT v rámci opatření na podporu studijních programů, zaměřených na přípravu budoucích učitelů na pedagogických i nepedagogických fakultách veřejných vysokých škol.*

## Literatura

- [1] *Zcela neadventní kalendář*. [cit. 29. 7. 2022]. Dostupné online: <https://kdf.mff.cuni.cz/neadventni-kalendar/>
- [2] *Physics in Advent*. [cit. 29. 7. 2022]. Dostupné online: <https://www.physics-in-advent.org/>
- [3] *Advent 2021 s fyzikou*. [cit. 29. 7. 2022]. Dostupné online: [http://jreichl.com/fyzika/show/2021\\_advent/2021\\_advent.htm](http://jreichl.com/fyzika/show/2021_advent/2021_advent.htm)
- [4] *Adventní kalendář ÚDiFu*. [cit. 29. 7. 2022]. Dostupné online: <https://udif.cz/advent/>
- [5] Mazur, E. *Peer Instruction: Pearson New International Edition A User's Manual*. First edition. Pearson Education Limited, 2013.
- [6] Novak G. M., Patterson E. T., Gavrin A. D., Christian W. *Just in time teaching: Blending Active Learning with Web Technology*. Addison-Wesley Professional, 1999.
- [7] Simkins S., Maier M. *Just in Time Teaching: Across the Disciplines, and Across the Academy*. Stylus Publishing, LLC., 2010.



## Několik projektů z tábora

ZDEŇKA KOUPILOVÁ<sup>1</sup>, JAROSLAV REICHL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra didaktiky fyziky MFF UK, Praha, <sup>2</sup>SPŠST Panská, Praha

### Abstrakt

*Příspěvek popisuje další ročník Soustředění mladých fyziků a matematiků pořádaného MFF UK Praha a zaměřuje se zejména na popis projektů, na nichž účastníci soustředění pracovali v rámci odborného programu tábora. Popsané projekty mohou být inspirací pro učitele fyziky v rámci různých projektových dnů, laboratorních prací, ročníkových prací a dalších aktivit, v nichž žáci mají rozvíjet své znalosti a dovednosti nejen z fyziky.*

### Další ročník Soustředění

Stejně jako v loňském roce i letos se konal další ročník Soustředění mladých fyziků a matematiků, které pořádá MFF UK Praha. Uvedené soustředění má kromě velmi bohatého odborného programu zaměřeného na fyziku, matematiku i informatiku také propracovaný táborový program propojený celotáborovou hrou. Letos bylo 39 budoucích agentů Časové policie Časopol přivítáno v Penzionu U Špičáku v Albrechticích v Jizerských horách. Tamní personál po celkem pochopitelné počáteční nejistotě z „party matfyzáků“, která si přivezla hromady beden s materiálem, během první noci představila lyžárnu na dílnu, společenskou místnost na laboratoř a největší pokoj na počítačovou a elektrotechnickou učebnu, velmi záhy zjistil, že tyto dva týdny u nich bude pobývat skupina lidí, která přijela využít svůj čas na maximum a chce během soustředění vytvořit a zažít spoustu věcí a poskytl nám opravdu skvělé podmínky i přes naše nezvyklé požadavky.

Skupina vedoucích jak odborného, tak mimoodborného programu prošla od loňského soustředění mírnými změnami, ale na soustředění jsme byli opět jedna parta se společným cílem: připravit další skvělé soustředění pro zájemce o matematiku, fyziku a informatiku. Oproti loňskému roku, kdy kontinuitu soustředění přetrhla nucená covidová pauza, byla příjemná i skutečnost, že přibližně polovina účastníků se zúčastnila i loňského soustředění, takže předávali nováčkům své zkušenosti nejenom s programem, ale hlavně s duchem celé akce. Takto vysoká návratnost účastníků nás přesvědčuje o tom, že program soustředění je opravdu kvalitní.

Soustředění má tradičně dvě části: mimoodborný program a odborný program.

### **Mimoodborný program**

Nedílnou součástí soustředění je tzv. mimoodborný (táborový) program, který byl letos zastřešen legendou Časopolu (Časové policie). Větší hry se hrály každý den odpoledne a každá z her posouvala nachystanou legendu dále. Po přijetí nových rekrutů do Časopolu, jsme se naučili pracovat s Časostrojem, trochu se nám nevydařila první mise do minulosti, a tak bylo nutné způsobené změny v běhu historických událostí další dny postupně napravovat, což se v závěru podařilo poněkud nečekaným způsobem – drobným skokem do minulosti jsme si zabránili ve vstupu do Časopolu.

Zájmová homogenita účastníků umožňuje i tyto táborové hry tzv. „ušít na míru matfyzákům“, takže mnohé hry jsou velmi propracované strategie, hojně se uplatňuje luštění šifer a dalších hlavolamů, ale je nutné uplatnit i vzájemnou spolupráci a schopnost se domluvit. Účastníci si užívali nejen připravené hry, ale i další aktivity typicky táborového charakteru jako večerní táborák, celodenní výlet, hraní společenských her, ... Všechny tyto aktivity přispívají k příjemné kamarádské atmosféře během celého soustředění.

### **Odborný program**

Odborný program začal tzv. miniprojektem – přibližně dvouhodinovou aktivitou, která měla účastníky jednak navzájem více seznámit, ale také naladit na styl práce, která je během soustředění čeká. Letos měli účastníci za úkol připravit zařízení, které odměří co možná nejpřesněji 42 sekund, při stavbě ale nesměli využívat žádná soudobá měřidla času a svoje zařízení si mohli nechat jednou během stavby „okalibrovat“ oficiální časomírou. Nápady účastníků využívaly různé fyzikální principy a přesnost sestavených zařízení byla v některých případech až neuvěřitelná.

Další částí odborného programu byly každodenní kurzy, které vedli vedoucí soustředění. Letos byly pro účastníky připraveny 3 různé úrovně kurzů fyziky i matematiky a kurz 3D modelování v software Inventor (znalosti z tohoto kurzu pak někteří účastníci využili při přípravě podkladů pro 3D tisk různých komponent pro své projekty).

V rámci odborného programu proběhly i tři přednášky zvaných lektorů:

- *prof. Jan Flusser* (ÚTIA AV ČR): Neintuitivní problémy v matematice,
- *Ing. Vojtěch Stránský* (FÚ AV ČR): Radioaktivní záření kolem nás,
- *Dr. David Heyrovský* (ÚTF MFF UK): Temná hmota.

Všem lektorům patří velký dík za to, že přijeli ve svém volném čase (většinou jen na tu svou přednášku), věnovali energii přípravě zajímavého povídání a i po čase vyhrazeném jejich přednášce byli ochotni dále zodpovídat zvědavé dotazy.

Hlavní částí odborného programu jako tradičně byla práce na dlouhodobém projektu, který si účastníci vybírali ze čtyřiceti připravených témat zaměřených opravdu velmi různorodě – na výrobu konkrétních přístrojů, provedení a zpracování fyzikálních měření, studování vlastností matematických objektů či programování.

Seznam projektů, které byly v letošním roce realizovány (tučně vyznačené projekty budou dále detailně popsány):

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| • <b>Pohyb soch na Velikonočním ostrově</b>    | • Elektroslych                  |
| • <b>Fibonacciho posloupnost</b>               | • <b>Vodní levitace</b>         |
| • Newtonova metoda tečen                       | • Hrátky s arduinem I.          |
| • Luminiscence                                 | • Hrátky s arduinem II.         |
| • Zvuk – stavba kytary                         | • <b>Kreslení sinusoidy</b>     |
| • <b>Strandbeest</b>                           | • Štěnice                       |
| • <b>Umělá inteligence v krabíčce od sirek</b> | • <b>Binární vodní sčítačka</b> |
| • Zálesácká nabíječka                          | • <b>Pinball</b>                |
| • Rakety (ve třech variantách)                 |                                 |

Je samozřejmé, že účastníci pracovali dle svých aktuálních dovedností a vzhledem k velkému věkovému rozptýlu nelze úplně dobře porovnávat výsledky jednotlivých projektů. Ve valné většině případů se ale účastníci za 10 dnů práce na projektu naučili opravdu řadu nových vědomostí či dovedností (ať už se jednalo o základy numerických metod, výpočty členů Fibonacciho posloupnosti, navržení programového kódu pro arduino, uříznout rovně dřevěný špalík daných rozměrů, ...) a tím naplnili cíl práce na projektu.

Navíc součástí dokončeného projektu je i dokumentace popisující postup práce, získané výsledky, vyzkoušené nefunkční cesty a další důležité charakteristiky projektu. Dokumentace vybraných projektů i fotografie výsledných přístrojů či obrázky získaných výsledků si lze prohlédnout na webových stránkách soustředění [1]. Výsledky své práce pak všichni účastníci prezentovali ostatním na závěrečné konferenci, která byla zakončením odborného programu soustředění. Jak sepsání dokumentace, tak vlastní prezentace vlastní práce je

další cennou zkušeností, kterou si účastníci soustředění odváželi a kterou jistě využijí i v budoucnosti.

### **Popis vybraných projektů**

#### **Pohyb soch na Velikonočním ostrově**

Šárka Kolenatá a Petra Mrázková prověřovaly v rámci svého projektu možnost pohybu těžkých soch po Velikonočním ostrově. Pro ten účel si vyrobily model z dřevěného hranolu a ten na dané vzdálenosti uváděly různým způsobem do pohybu. Přitom měřily velikost působících sil, porovnávaly je s teoretickým výpočtem a počítaly práci nutnou na uvedení modelu do pohybu. Postupně model uvedly do pohybu smýkáním po dané podložce, tažením na sestrojeném vozíku a kývavým pohybem, jehož autorem je český vědec *Pavel Pavel* proslavený rekonstrukcí pohybu soch přímo na Velikonočním ostrově (obr. 1).



Obr. 1 Model sochy s vodicími provázky při „kráčivém“ pohybu dle P. Pavla

Práci na projektu se dívky věnovaly intenzivně a vypořádaly se velmi dobře i s absencí siloměrů, které jsme zapomněli s sebou přivést; místo nich použily pružinky, které si před vlastním měřením nakalibrovaly.

#### **Fibonacciho posloupnost**

Vlastnosti Fibonacciho posloupnosti zkoumali Ema Čekalová, Matyáš Provod (nejmladší účastník soustředění) a Alexandra Sedřová. Práci si v rámci skupinky rozdělili: děvčata se věnovala teoretické části projektu, Matyáš pak

vytvářel elektronickou část práce – a to nejen dokumentaci, ale i programy na výpočet členů studované posloupnosti pomocí rekurentních i přímých vzorců.

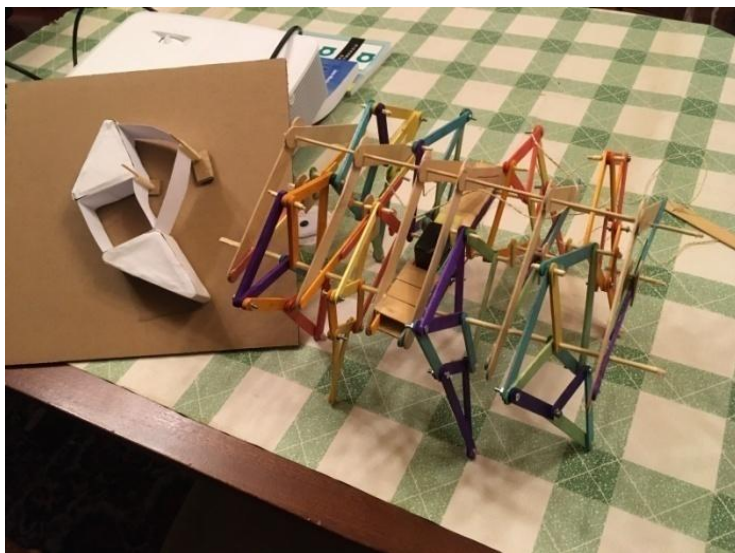
Když autoři projektu zjistili, že s Fibonacciho posloupností se můžeme setkat i v přírodě, neváhali tyto vlastnosti ověřit. Proto počítali dělení stonku borůvčí, okvětní lístky na kopretinách, „šupiny“ na slupce ananasu (obr. 2) a „šupiny“ na šiškách. Jejich radost, když skutečně napočítali členy Fibonacciho posloupnosti, byla velká a upřímná. Kromě toho prostudovali a v dokumentaci popsali i souvislost se zlatým řezem a jako zajímavost i netradiční způsob převádění kilometrů na míle (a opačně) právě s využitím členů Fibonacciho posloupnosti.



Obr. 2 Ananas s onačenými „šupinami“, aby dobře odlišily jednotlivé spirály šupin

### **Strandbeest**

Konstrukci chodících hraček studovali Jakub Gerža, Tereza Slavíková a Bětko Štollová, kteří následně vyrobili i funkční model. Prošli řadu možných konstrukcí těchto typů hraček a vybrali si jeden konkrétní typ, kterému se poté věnovali detailně. Pohyb „kráčivé nohy“ nejdříve simulovali v programu GeoGebra, poté vyrobili její funkční model z papíru a kartonu a až poté přistoupili ke konstrukci samotné „chodící příšery“ z barevných špachtlí s osmi kráčivými nohama, která byla poháněna elektromotorkem. Papírový model i finální konstrukce jsou zobrazeny na obr. 3.



Obr. 3 Model kráčivé nohy z papíru a výsledný osminohý kráčejší mechanismus ze špachtlí

### **Umělá inteligence v krabičce od sirek**

Richard Dobíšek a Vojtěch Procházka zkoumali princip a způsob učení umělé inteligence, kterou ale místo složitých elektronických zařízení vytvořili pomocí krabiček od sirek. Simulaci prováděli autoři pro hru hexapawn.<sup>1</sup> Pomocí krabiček od sirek simulovali autoři hru tak, že na každou krabičku nakreslili jednu z pozic, do níž se hra může dostat, včetně barevného označení všech možných dalších tahů z této pozice (obr. 4). Rozhodování „krabičkové umělé

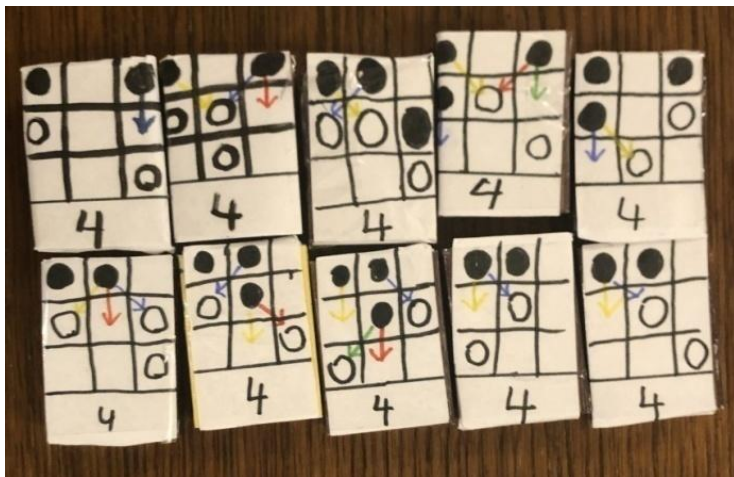
---

<sup>1</sup> Pravidla hry hexapawn: Hra je určena pro dva hráče (bílý a černý) a hraje se na hrací desce o rozměrech 3 krát 3 políčka, přičemž každý z hráčů má na začátku 3 pěšce své barvy umístěné na počáteční pozici (3 políčka nejbližší k hráči). Pěšcem lze táhnout stejně jako v šachách, tj. buď o jedno políčko dopředu, nebo sebrat diagonálně soupeřova pěšce. Hru začíná hráč s bílými figurkami a hráči se pravidelně po jednom tahu střídají. Hráč vyhraje, jestliže dopraví jednoho ze svých pěšců na poslední řádek pole, sebere všechny soupeřovy pěšce nebo vytvoří takovou pozici, že jeho soupeř nemůže svůj tah provést. Hru lze hrát i na větší hrací desce.

intelligence“, který z možných tahů provede, simulovali pomocí náhodného vytažení jednoho z různobarevných (odpovídajících barevně vyznačeným tahům) kousků brček umístěných v každé krabici. Na začátku celého procesu byl v krabici jeden kousek brčka od každé barvy, všechny tahy tedy byly stejně pravděpodobné. Během hry, kdy umělá inteligence hrála za černého, se zaznamenával průběh hry a po jejím skončení se na základě výsledku hry formou buď odměn, nebo trestů změnil počet kousků brček dané barvy v příslušných krabíčkách, tak aby se zvětšovala pravděpodobnost tahů vedoucích k výhře a snižovala pravděpodobnost tahů vedoucích k prohře; a tak se „krabičkový počítač“ učil.

Pro hru, kterou bylo možné hrát proti „krabičkám“, a také pro hru hranou na hracím poli o rozměrech 4 krát 4 políčka, pro její simulaci by bylo třeba více než 300 krabiček, vytvořili autoři program v prostředí C#, který přesně simuloval chování „krabiček a brček“.

Autoři projektu se také zabývali porovnáním obou metod učení – odměnami a tresty, i tím, zda hra má či nemá vítěznou strategii či je některý z hráčů ve výhodě.



Obr. 4 Část krabiček s různými stavy hry a možnými tahy z daného stavu

### **Vodní levitace**

Ondřej Budil, Vojtěch Lančarič, František Roh a Barbora Vosáhlová se zaměřili na vytvoření zařízení, pomocí kterého bude možné simulovat „levitaci vody“ s využitím stroboskopického jevu. Zařízení sestávalo z reproduktoru připojeného ke zdroji zvuku laditelné frekvence, hadičky, kterou přitékala voda a která byla připevněná k reproduktoru, a pásu LED s ovladatelnou frekvencí blikání. Vše bylo uspořádáno do vlastnoručně vyrobené dřevěné krabice (obr. 5) a prošlo několika vývojovými fázemi. V první fázi byl místo proudící vody použit drát; až po vyzkoušení a opravení drobných technických chyb byl nahrazen hadičkou s proudící vodou.



Obr. 5. Pomůcka k demonstraci „levitace vody“

Vzájemnou změnou frekvence vibrace reproduktoru, k němuž je připevněna hadička s vodou, a frekvence blikání LED bylo možné docílit toho, že kapky vody z pohybující se hadičky se pozorovateli zdály vůči dřevěné krabici v klidu či dokonce vytvářely dojem, že se pohybují směrem vzhůru.



### **Kreslení sinusoidy**

Velice zajímavé řešení zadaného úkolu vymyslel Jindřich Dvořáček: původní vize vedoucího projektu byla, že autor sestrojí kyvadlo sypoucí písek, pod kterým se bude posouvat rovnoměrným přímočarým pohybem papír, a tak se na papíru bude vykreslovat graf funkce sinus. Autor ale překvapil tím, že úlohu obrátil: kyvadlo umístil na pohybující se vozík (obr. 6 nahore), který sám sestrojil (včetně výroby jeho koleček), a písek z kyvadla se sypal na podložku, po níž vozík jede. Graf, který touto pomůckou autor vytvořil, byl skutečně přesvědčivý (obr. 6).

Z didaktického hlediska je pomůcka naprosto dokonalá: velmi názorně ukazuje „rozvinutí“ grafu funkce sinus. Zejména ve třídách, kde kmitavý pohyb předchází ve fyzice před probíráním goniometrických funkcí v matematice, je relativně obtížné žákům názorně ukázat, že grafem závislosti okamžité výchylky na čase kývajícího kyvadla je právě sinusoida.



Obr. 6 Vozík sestrojený autorem projektu (nahore)  
a praktická ukázka funkce a nakreslená sinusoida (dole)

### **Binární vodní sčítačka**

Martin Klačer a Pavel Provazník si ve svém projektu vytkli cíl vytvořit model binární sčítačky, která bude využívat princip naplňování nádob s vodou. Během stavby sčítačky museli autoři vyřešit řadu problémů: ujasnit si sčítání čísel ve dvojkové soustavě, navrhnout správný tvar nádob, kterými bude voda protékat, ty namodelovat a vytisknout na 3D tiskárně, snížit povrchové napětí vody, díky kterému voda nevytékala v okamžiku, kdy vytékat měla, zajistit těsnost nádob a hadiček, ... Nakonec se jim podařilo sestavit pomůcku (obr. 7), na které lze binární sčítání demonstrovat, i když díky zvolenému konstrukčnímu řešení nefunguje zcela spolehlivě.



Obr. 7 Ukázka činnosti binární vodní sčítačky

### **Pinball**

Model kdysi velmi populární hry ve větším rozměru vyráběli Vít Borovský, Matyáš Flek a Vojtěch Mazanec. Ambice měli na začátku práce velké, postupně ale museli řešit řadu drobných nečekaných problémů (konstrukce a pohyb pádla ovládajícího kuličku, detekce nárazu kuličky do překážky, vhodný materiál ke konstrukci překážek, ...), což si vždy vyžádalo určitý čas.

Nakonec se autorům podařilo vyrobit velmi precizní a bytelný základní stůl (obr. 8), na kterém se může kulička správně pohybovat: být vystřelena pružinou, být ovládána pádly a odrážet se od připravených překážek. Není dokončena část věnovaná elektronice a automatickému počítání bodů za zásah kuličkou do různých překážek. Osazení čidel na desce je ale již zabudováno, základní obvod a software ovládající elektronické výstupy ze stolu jsou již připraveny. Autorům chyběly podle jejich odhadu přibližně dvě hodiny práce, aby původně

plánovaný záměr dovedli do plně funkčního stavu a domlouvali se se svým konzultantem, že by se ještě o prázdninách sešli a projekt dokončili.



Obr. 8. Pinball s jeho autory a hrajícím dobrovolníkem

### **Závěr a pozvánka na další ročník**

Čtrnáct dní vyhrazených pro soustředění velmi rychle uteklo. Jak z hlediska vedoucích, tak z hlediska účastníků se opět vydařilo a na zážitky posbírané během těch 14 dní budeme všichni dlouho vzpomínat. Ze závěrečné ankety vyplynulo, že se nelze zavděčit úplně všem ve všech detailech, ale že program byly vyvážený (reakce typu „málo spánku, jsem unaven(a)“, „moc spánku, bylo málo nočních her“, „přidal(a) bych více času na odborný program“, „přidal(a) bych více času na mimoodborný program“ apod. se vyskytovaly zhruba ve stejné míře).

Již při jeho ukončování byly na webových stránkách soustředění [1] zveřejněny informace ohledně dalšího ročníku. S žáky, kteří absolvovali osmou třídu, až po ty, co budou v tomto školním roce maturovat, se zájmem o matematiku, fyziku, informatiku a překovávání výzev všeho druhu, se rádi na našem soustředění potkáme. Detailnější informace a přihlašovací formulář na další ročník soustředění najdou na uvedených stránkách koncem kalendářního roku. Měl by se konat opět prvních 14 dní v červenci roku 2023, tentokrát v Nekoři, v podhůří Orlických hor nedaleko od Pastvinské přehrady.

### **Literatura**

- [1] Soustředění mladých fyziků a matematiků [online]. Dostupné z: <http://kdf.mff.cuni.cz/tabor> [citováno 24. 7. 2022].

## Sbírka řešených úloh a Sbírka fyzikálních pokusů: užitečné weby pro žáky i učitele

ZDEŇKA KOUPILOVÁ, PETR KÁCOVSKÝ, MARIE SNĚTINOVÁ,  
DANA MANDÍKOVÁ

Katedra didaktiky fyziky MFF UK, Praha

### Abstrakt

*Sbírka řešených úloh z fyziky je na KDF MFF UK vyvíjena již přes 15 let a obsahuje více než 950 úloh v češtině pro všechny úrovně fyzikálního vzdělávání. Unikátní je naše Sbírka konceptem zpracovaných nápověd a komentářů. Neustále připravujeme další úlohy ke zveřejnění a vylepšujeme úlohy stávající, např. o interaktivní prvky. Aktuální novinkou jsou úlohy PISA, a to zejména úlohy, které jsou převedeny včetně naprogramování interaktivních prvků potřebných k jejich řešení. Sbírka fyzikálních pokusů je o něco mladší a obsahuje v současné době 170 zveřejněných, detailně popsaných návodů na pokusy. Popisy obsahují metodické i technické poznámky, ale také vzorové výsledky či krátké videosekvence daných pokusů. Obě Sbírky jsou vzájemně propojené a mají i své anglické verze. Trochu stranou stojí Sbírka matematických úloh, která sice využívá stejné technické řešení, ale s uvedenými dvěma Sbírkami propojená není a obsahuje přes 600 převážně řešených úloh na úrovni prvních dvou ročníků VŠ.*

### Úvod

**Sbírka řešených úloh z fyziky**<sup>1</sup> je na KDF MFF UK rozvíjena od roku 2006, kdy začínala jako malý projekt [1] a postupně se rozrůstá nejenom o další úlohy, ale i o další prvky a možnosti [2–4]. V roce 2015 získala „mladší sestru“ v podobě **Sbírky fyzikálních experimentů**<sup>2</sup>, která využívá stejné technologické řešení [5]. Díky překladům úloh i pokusů do angličtiny jsou obě Sbírky využívány hojně i mimo Českou a Slovenskou republiku [6]. Obě Sbírky patří mezi nejvýznamnější a nejhojněji využívané podpůrné materiály pro žáky, studenty i učitele, které jsou na KDF MFF UK vytvářeny.

---

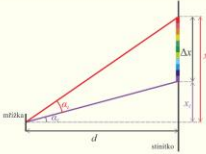
<sup>1</sup><http://reseneulohy.cz/cs>

<sup>2</sup><http://fyzikalnipokusy.cz/cs>

Unikátnost Sbírky řešených úloh spočívá nejen v tom, že všechny úlohy jsou řešené, ale hlavně ve speciální struktuře těchto řešení, která čtenáře úlohou provází a podněcuje jeho vlastní přemýšlení pomocí gradovaných nápověd a komentářů, čímž u čtenářů Sbírky rozvíjí schopnost řešit úlohy samostatně. Sbírka fyzikálních pokusů si klade za svůj hlavní cíl inspirovat učitele zejména na úrovni základních a středních škol. Veškeré zveřejněné pokusy jsou vždy nejprve pečlivě vyzkoušeny a jejich popis je zpracováván co nejnázorněji. Obvykle obsahuje množství technických a metodických postřehů k vlastnímu provedení pokusu, fotografie a videosekvence zachycující vzorové výsledky. Použití stejného webového rozhraní (obr. 1) umožňuje snadné propojování úloh a pokusů se stejnou tematikou, což ulehčuje učitelům využití obou Sbírek při přípravě na výuku.

**Vypočet úhly spektra** Úloha číslo: 1849

Na optickou mřížku s mřížkovou konstantou 0,01 mm dopadá kolmo bílé světlo, jehož šířecí úhel je od 200 nm do 700 nm. Jaká je šířka spojitého spektra prvního řádu, které se vytvoří na stínítku umístěném ve vzdálenosti 3 m za mřížkou?



Na obrázku jsou vyznačeny:  $d$  je vzdálenost mřížek od stínítka,  $\alpha$  je vzdálenost šikmého maxima prvního řádu od nulového řádu a úhel  $\alpha$  je jeho odchylka,  $\alpha$  je vzdálenost červeného maxima prvního řádu od nulového řádu a úhel  $\alpha$  je jeho odchylka,  $\lambda$  je šířka spektra, které se objeví na stínítku.

**Nápověda 1**

Pokuste se najít vztah pro úhly  $\alpha$  a  $n$  pomocí dráhového rozdílu  $\Delta l$  a mřížkové konstanty  $k$ .

**Řešení nápovědy 1**

Pro úhel  $\alpha$  platí:

$$\sin \alpha_1 = \frac{\Delta l_1}{k}$$

kde  $\Delta l_1$  je dráhový rozdíl a  $k$  je mřížková konstanta.

Pro úhel  $\alpha$  platí obdobně:

$$\sin \alpha_2 = \frac{\Delta l_2}{k}$$

Podobně odvoďte úhly  $\alpha$  v úloze [Vypočet úhly odchylky maxima](#).

Jedná se o úlohu podobnou zadání, dovolíme si  $\Delta l = \Delta l_1$  a  $n$  k danému řádu maxima, tedy  $k = 1$ .

Za výchozí délku  $k$  dovolíme výchozí délku příslušného světla.

$$\sin \alpha_1 = \frac{\lambda_1}{k} \quad \text{a} \quad \sin \alpha_2 = \frac{\lambda_2}{k}$$

Tedy vyjádřeme úhly  $\alpha$  a  $n$ .

**Nápověda 2**

**Zápis**

**Řešení**

**Odpověď**

**Komentář**

**Odkaz na pokus**

Experiment ukazuje rozklad bílého světla na barvy a vyznačení optické mřížky: [Úloha: bílého světla na optické mřížce](#)

**Difrakce bílého světla na optické mřížce** Pokus číslo: 1833

**Cíl pokusu**

Cílem experimentu je demonstrovat rozklad bílého světla na barvy a vyznačení optické mřížky.

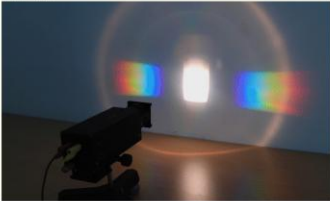
**Teorie**

**Průběhy**


**Postup**

**Vzorové výsledky**

Obrázek 1 ukazuje difrakční obrazec získaný pomocí zdroje bílého světla a difrakční mřížky s mřížkovou konstantou 1 mm.



Mřížka byla během experimentu umístěna přímo před šikmou zdroj (viz. 2).



**Technické poznámky**

- Pokud máte k dispozici optickou mřížku, můžete místo ní použít kompaktní disk (CD): [Úloha: bílého světla na kompaktním disku](#)
- Je vhodné uvést, ve kterém experimentu provádíte, skopit či natočit záznam, spektrum je pak lépe viditelné.

**Metodické poznámky**

**Související výpočetní úloha**

Experiment lze příměrně propojit s úlohou [Vypočet úhly světla](#).

Obr. 1 Úloha ze Sbírky řešených úloh (vlevo) a popis experimentu ve Sbírce fyzikálních pokusů (vpravo) využívají stejné rozhraní, a proto mohou být propojeny tematicky shodné úlohy a pokusy.

## Technické řešení

Uživatelské a administrační rozhraní Sbírek jsou napsána v PHP5 s využitím technologie Ajax. Všechna metadata i texty problémů a experimentů jsou uloženy v databázi MySQL, obrázky a další propojené soubory jsou nahrány přímo na server. Interaktivní modely GeoGebra jsou připraveny a spouštěny přímo ze stránek GeoGebra a videoklipy jsou uloženy na samostatném YouTube kanálu Sbírky<sup>3</sup> a spouštěny pomocí vestavěného přehrávače.

Texty jednotlivých sekcí úloh/pokusů jsou psány v jazyce XHTML rozšířeném o speciální značky, které zajišťují jednotné formátování textu a zjednodušují vkládání externích objektů (jako jsou rovnice, obrázky, videa, modely GeoGebra, odkazy na další úlohy atd.). Vzorce jsou napsány ve formátu LaTeX a zobrazeny pomocí skriptu MathJax. Obrázky jsou připravovány ve vektorových grafických editorech a na serveru jsou archivovány i zdrojové soubory obrázků.

**Uživatelské rozhraní** (obr. 1) se skládá z horní části s nadpisy a kartami umožňujícími změnu jazyků, předmětů i témat. V levé části okna je strukturovaný obsah a menu s vyhledáváním a filtrováním úloh. Hlavní část obsahující vlastní text úlohy či pokusu je ve střední a pravé části. Označení obtížnosti a dalších kategorií pomocí ikon je umístěno v pravém horním rohu.

**Administrátorské rozhraní** je neveřejné a zahrnuje všechny nástroje nezbytné během procesu přípravy problému/experimentu. Kromě vkládání nového obsahu poskytuje nástroje pro správu struktury Sbírek – například pro vytváření a úpravu struktury kapitol, řazení úloh v obsahu či vytváření nových témat a předmětů.

Aby na Sbírkách mohli pracovat i kolegové ze zahraničí, je administrátorské rozhraní v angličtině. Všechny texty uvedené v uživatelském rozhraní se však stejně jako texty úloh/pokusů načítají z databáze, takže jazyk uživatelského rozhraní může být snadno přizpůsoben jazyku dané úlohy/pokusu. Aby bylo možné naplnit cíle Sbírek, a také aby texty byly přehledné, jsou úlohy i pokusy rozděleny do tzv. sekcí, které mohou být zobrazené nebo sbalené pouze do názvu. Všechny sekce jsou v databázi uloženy jako nezávislé objekty, takže je možné propojovat mezi sebou nejenom celé úlohy a pokusy, ale je možné se také odkazovat pouze na konkrétní část z nich. Jednoduché provazování nejenom v rámci jedné ze Sbírek, ale i napříč nimi, umožňuje právě sdílení společ-

---

<sup>3</sup> <https://www.youtube.com/user/fyzlab/videos>

né databáze a rozhraní. Je tak možné propojit teorii a praxi; navíc takové prolinkování je opravdu praktické zejména pro učitele.

### **Obsah Sbírek**

V současné době Sbírka řešených úloh obsahuje v české části 950 řešených úloh z fyziky rozdělených do jednotlivých kapitol (viz tab. 1), od jednoduchých základoškolských až po úlohy vysloveně vysokoškolské. Úlohy jsou postupně doplňovány tak, aby Sbírka pokrývala všechny kapitoly příslušného tématu a obsahovala úlohy všech úrovní. Ve Sbírce fyzikálních pokusů nalezneme 170 pokusů (viz tab. 1), které také mají různorodou obtížnost i časovou náročnost. Jsou zde pokusy jak kvalitativní, tak propracovanější kvantitativní pokusy popisující i rozsáhlejší měření.

Překlady více než 300 úloh a 65 pokusů do angličtiny zpřístupňují alespoň část Sbírek i uživatelům ze zahraničí.

Tabulka 1. Počty publikovaných úloh a pokusů z fyziky v jednotlivých tématech

	Úlohy		Pokusy	
	česky	anglicky	česky	anglicky
Mechanika	235	105	7	
Elektřina a magnetismus	282	93	52	13
Termodynamika a mol. fyz.	158	84	75	44
Optika	67	26	30	8
Další témata	208		6	

### **Úlohy PISA**

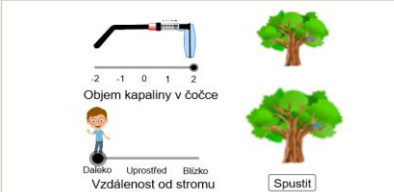
Podívejme se blíže na jednu skupinu řešených úloh – úlohy z mezinárodního výzkumu PISA [7], které se před čtyřmi lety staly také součástí Sbírky. Jde o zveřejněné úlohy z již proběhlých šetření. Jedná se o úlohy neobvyklé, se kterými se i učitelé setkávají jen zřídka. Tyto úlohy navíc rozvíjejí i kritické myšlení žáků, proto je chceme zpřístupnit jak žákům, tak zejména učitelům.

Úlohy jsou převzaty v původním formátu, ale před publikováním ve Sbírce jsou obohaceny o komentáře a poznámky k hodnocení. V současnosti je ve Sbírce takto zveřejněno 21 klasických úloh a 3 úlohy, které při mezinárodním

šetřením využívaly interaktivní prvky, pomoci kterých žáci zkoumali různé jevy (obr. 2). Aby čtenáři Sbírky mohli tyto úlohy řešit stejně, jako tomu bylo během výzkumu, byly analogické interaktivní prvky vytvořeny i v rozhraní Sbírky.

**Otázka 4**

Vycházej z informací uvedených níže a proved simulaci k získání potřebných údajů.  
Daniel vidí vzdálené předměty ostře, ale blízké předměty vidí rozmazaně.  
Které nastavení byti umožní Danielovi vidět blízké předměty ostře? Neponahej vybrat **jednu nebo více** možností.



Objem kapaliny v čočce

Daleko Uprostřed Blízko


Vzdálenost od stromu

Objem kapaliny v čočce

Blízko Uprostřed Daleko

Reset

V tabulce v simulaci níže ponech tři řádky s údaji, které podporují tvou odpověď.



Barva střechy ☐ ☐ ☒

Vnější teplota (°C) ☐ 0 ☐ 10 ☐ 20 ☐ 30 ☒ 40

Spustit

Vnější teplota (°C)	Barva střechy	Spotřeba energie (ve watthodinách)
0	Bílá	5200
20	Červená	1170
40	Černá	6630

Obr. 2 Ukázka dvou úloh z výzkumu PISA, které pro své řešení využívají interaktivní prvky.

## Sbírka matematických úloh

Kromě uvedených dvou Sbírek pracují na stejném rozhraní ještě dvě sbírky úloh z vysokoškolské matematiky, jejich cílová skupina i koncepce je ale odlišná. První z nich vznikla jako studentská aktivita a úlohy zde nemají garantovanou správnost, protože neprošly recenzním řízením.

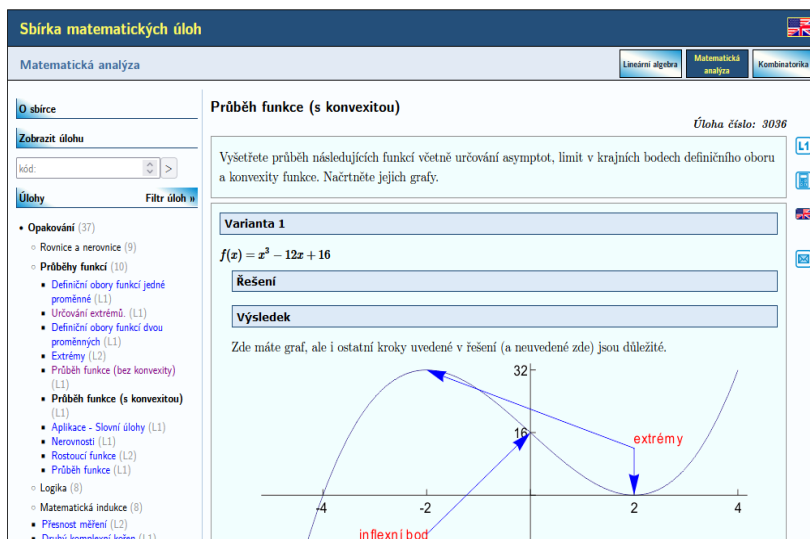
Druhá sbírka, tzv. **Sbírka matematických úloh**<sup>4</sup>, která má samostatné uživatelské rozhraní v modré barvě (obr. 3), vznikla převzetím starší sbírky úloh<sup>5</sup> určené zejména pro studenty prvních dvou ročníků studijního programu infor-

<sup>4</sup> <http://matematika.reseneulohy.cz/>

<sup>5</sup> Tato sbírka byla provozována Katedrou aplikované matematiky, jejím hlavním garantem byl doc. RNDr. Jiří Fiala, Ph.D., který se i nadále o tuto odnož Sbírek stará.



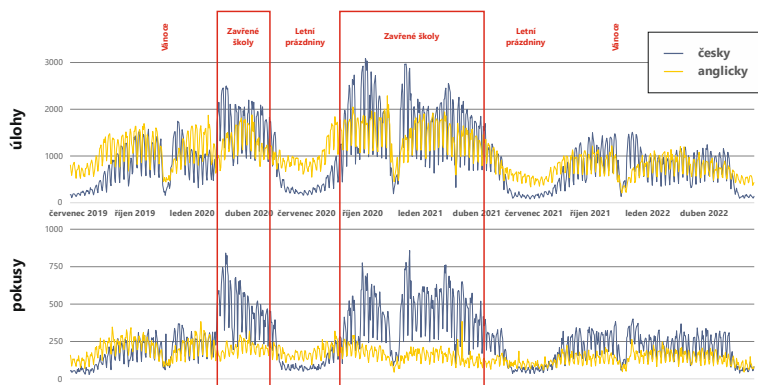
matika na MFF UK, jejíž technické řešení přestalo vyhovovat modernějším technologiím. Tato sbírka obsahuje 627 úloh v češtině a většina (595 úloh) je přeložena i do angličtiny. Jedná se výhradně o úlohy vysokoškolské obtížnosti. Řešení úloh nemá strukturu zmíněnou výše, malá část úloh nemá řešení uvedené vůbec či má uvedený pouze výsledek. Na druhou stranu dostupná řešení i výsledky prošly odbornou korekturou a mají tak garantovanou správnost. Jedná se tak o velmi kvalitní zdroj úloh pro studenty, kteří začínají studium na vysoké škole.



Obr. 3 Ukázka úlohy ze Sbírky matematických úloh

## Využití

Přístupy do Sbírek monitorujeme pomocí služby Google Analytics. Obr. 4 ukazuje denní počty přístupů za poslední 3 roky. Počty přístupů přesně kopírují pravidelné střídání pracovních dní a víkendů a v grafu můžeme snadno vysledovat prázdniny či státní svátky, ale i očekávaná období zvýšeného zájmu na koncích obou pololetí/semestrů. Ve dnech školního vyučování vykazuje česká část Sbírky řešených úloh téměř tisíc unikátních přístupů za den a česká část Sbírky fyzikálních pokusů přes 200 přístupů denně.



Obr. 4 Graf počtu unikátních přístupů za den do českých i anglických částí Sbírky řešených úloh a Sbírky fyzikálních pokusů v období červenec 2019 až červenec 2022

Dále je zde patrné, že v době karantény a distanční výuky na všech typech škol v ČR v obdobích březen až červen 2020 a říjen 2020 až březen 2021 stoupl počet přístupů do českých částí obou Sbírek na více než dvojnásobek, protože učitelé i studenti byli odkázáni na dostupné online materiály.

Obě Sbírky mají podobnou míru okamžitého opuštění (cca 85 %), průměrný počet zobrazených stránek na přístup (1,5) i délku připojení (1 minuta), ale také míru návratnosti kolem 20 %. Ze všech indikátorů usuzujeme, že Sbírky jsou materiálem hojně využívaným žáky a učiteli.

### Závěr

Sbírka řešených úloh z fyziky a Sbírka fyzikálních pokusů, které jsou zastiťovány Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, patří dlouhodobě ke kvalitním a učiteli i studenty hojně ceněným zdrojům volně dostupným na internetu. O tom nás přesvědčují nejenom ohlasy konkrétních uživatelů, ale i počty přístupů a zobrazených úloh denně. Velmi užitečnými byly obě Sbírky zejména v době nucené distanční výuky v letech 2020-2021. Obě Sbírky se neustále rozvíjejí a jsou doplňovány o další úlohy a pokusy, stejně tak jsou postupně přidávány i další funkce. Proto věříme, že Sbírky přináší a budou i nadále přinášet prospěch učitelům i jejich žákům a studentům.

**Poděkování:**

Rozvoj Sbírek je dlouhodobě finančně podporován IRP MŠMT pro UK.

**Literatura**

- [1] Broklová Z., Mandíková D., Matějčíková L., Snětinová M.: *Sbírka řešených úloh z fyziky*. In: Dvořák L. (editor) Veletrh nápadů učitelů fyziky 12, Sborník z konference. Prometheus, Praha, 2007.
- [2] Koupilová Z., Mandíková D., Snětinová M.: *Sbírka řešených úloh – nové rozhraní*. In: Koudelková V. (editor): Veletrh nápadů učitelů fyziky 20, Sborník z konference. Nakladatelství P3K s.r.o., Praha, 2016.
- [3] Kácovský P., Snětinová M.: *Elektronické Sbírky (...řešených úloh a fyzikálních pokusů)*. In: Holubová R. (editor): Veletrh nápadů učitelů fyziky 22, Sborník z konference. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 2017.
- [4] Snětinová M., Kácovský P., Koupilová Z., Mandíková D.: *Interaktivní prvky ve Sbírce řešených úloh a fyzikálních pokusů*. In: Šerý M. (editor): Veletrh nápadů učitelů fyziky 23, Sborník z mezinárodní konference. Jihočeská univerzita, České Budějovice, 2018.
- [5] Kácovský P.: *O elektronické Sbírce fyzikálních pokusů*. In: Koudelková, V. (editor): Veletrh nápadů učitelů fyziky 20, Sborník z konference. Nakladatelství P3K s.r.o., Praha, 2016.
- [6] Koupilová Z., Mandíková D., Snětinová M.: *Electronic collection of solved physics problems to encourage students' active approach (not only to self study)*. Eur. J. Phys. 38, 055801 (June 2017).
- [7] OECD. *PISA 2015 Released Field Trial: Cognitive Items*. [cit. 28. 7. 2022] Dostupné online: <https://www.oecd.org/pisa/test/PISA2015-Released-FT-Cognitive-Items.pdf>

## Vzdálené laboratoře na Přírodovědecké fakultě UJEP Ústí nad Labem a na Matematicko-fyzikální fakultě UK Praha

FRANTIŠEK LUSTIG, MARTIN SVOBODA, EVA HEJNOVÁ

Přírodovědecká fakulta UJEP Ústí nad Labem

### Abstrakt

*Vzdálené experimenty jsou přístupné již cca 20 let, ale v době koronavirové se naplno ukázaly jako velice dobrá alternativa k face to face výuce ve fyzikálních laboratořích. Příspěvek přináší informaci o nových vzdálených experimentech na Přírodovědecké fakultě Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem a o inovaci vzdálených laboratoří na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Vzdálené experimenty na MFF-UK jsou nyní odstavené, proběhly zde stavební úpravy místností, spuštěny budou opět v říjnu 2022. Hlavní přínosem příspěvku je předložit souhrnný seznam funkčních vzdálených experimentů na obou pracovištích.*

### Úvod

Vzdálené experimenty s měřicím systémem ISES [1] a v posledních letech i s dostupným Arduinem [2] si již našly své místo při výuce přírodních věd. Zvláště během koronavirové krize stoupl zájem o vzdálené experimenty, např. na MFFUK v Praze až o 300% (nejvíce bylo 1500 přístupů za měsíc). S trochou nadsázky můžeme říci, že se vše kolem nás rychle posunulo do „Remote World“ (Remote Work, Remote Learnig, Remote Healthcare, a konečně plně došlo i na Remote Labs, tj. vzdálené laboratoře).

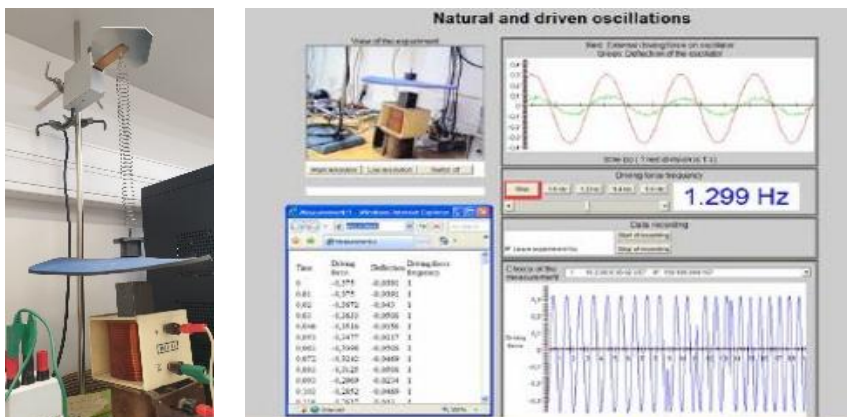
Vzdálené experimenty se systémem ISES byly dosud provozovány zejména na MFFUK Praha a hlavní rozcestník vzdálených experimentů byl na rozcestníku *ises* [3]. V roce 2022 proběhly na MFFUK stavební úpravy a vzdálené experimenty prošly restrukturalizací a modernizací. Kromě původního umístění na MFFUK Praha, vznikla nová vzdálená laboratoř na PřF UJEP Ústí nad Labem. Každé pracoviště pečuje o „své“ vzdálené experimenty a má „své“ vlastní rozcestníky. Původní rozcestník *ises* [3] poskytuje souhrnné informace o vzdálených experimentech na PřF UJEP Ústí nad Labem a na MFFUK Praha, ale i další informace o vzdálených laboratořích na Gymnáziu Klatovy, Fakultě informatiky ve Zlíně, Pedagogické fakultě v Trnavě aj.

## Vzdálené laboratoře na PřF UJEP Ústí nad Labem

V roce 2022 byla spuštěna vzdálená laboratoř s prvními čtyřmi vzdálenými experimenty. V příspěvku je kladen důraz hlavně na přehledné souhrnné informace. Seznam vzdálených experimentů lze nalézt na nově vznikajícím rozcestníku *ises-UJEP-PřF* [4].

### Vzdálený experiment - Vlastní a vynucené kmity na pružině

Se vzdálenou laboratorní úlohou Kmity na pružině lze studovat vlastní kmity. Pružinu rozkmitáme budící elektromagnetickou silou zvolené frekvence (1 Hz až 1,8 Hz), poté elektromagnetickou sílu vypneme a studujeme vlastní tlumené kmity nebo studujeme vynucené kmity v okolí rezonanční frekvence pružiny. Při různých frekvencích budící elektromagnetické síly můžeme sledovat amplitudové závislosti, fázové poměry, přenos energie aj.

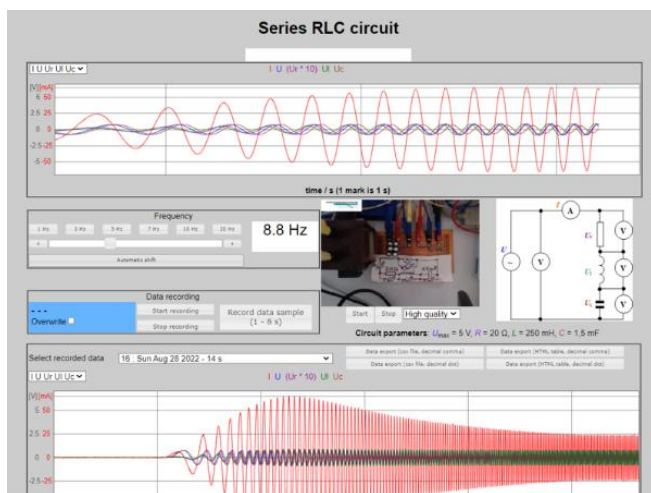
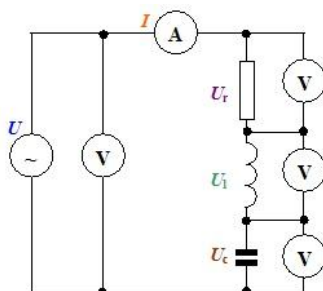
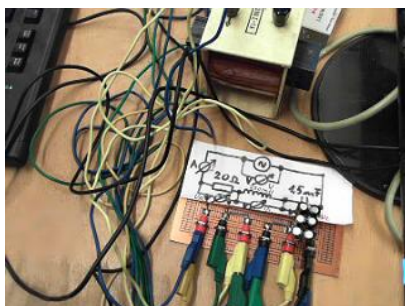


Obr. 1 Vlastní a vynucené kmity na pružině

Vzdálená úloha je na rozcestníku *ises* PřF UJEP Ústí nad Labem [4], resp. na rozcestníku *ises* [3], přímá adresa [jeises3.prf.ujep.cz](http://jeises3.prf.ujep.cz).

## Vzdálený experiment - Sériový obvod RLC

Experiment umožňuje sledovat časový průběh napětí a proudu na jednotlivých prvcích sériového RLC obvodu, zejména změnu amplitudy, fázové posuny mezi napětími a proudem na  $R$ ,  $L$ ,  $C$ . Sériový obvod se budí proměnnou sinusovou frekvencí 0 Hz až 25 Hz.

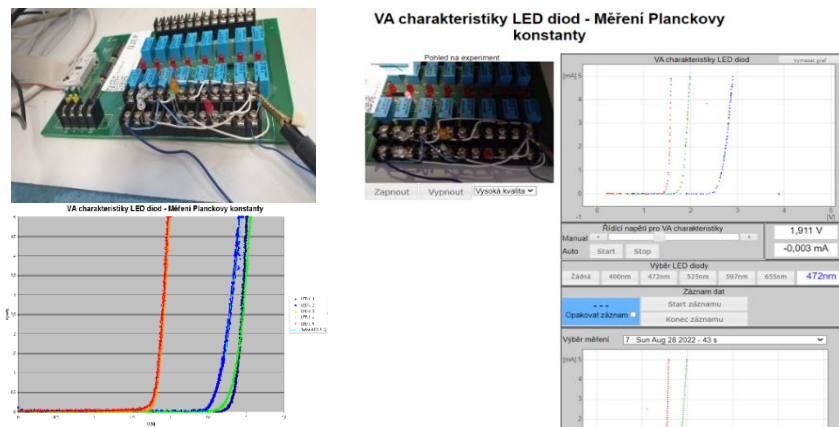


Obr. 2 Sériový RLC obvod

Vzdálená úloha je na rozcestníku *ises* PŘF UJEP Ústí nad Labem [4], resp. na rozcestníku *ises* [3]. Přímá adresa je [ises2.prf.ujep.cz](http://ises2.prf.ujep.cz).

## Vzdálený experiment - Voltampérové charakteristiky LED diod – Měření Planckovy konstanty

Vzdálená laboratorní úloha umožňuje proměřit voltampérovou charakteristiku 6 různých barevných LED diod a taktéž určit hodnotu Planckovy konstanty.

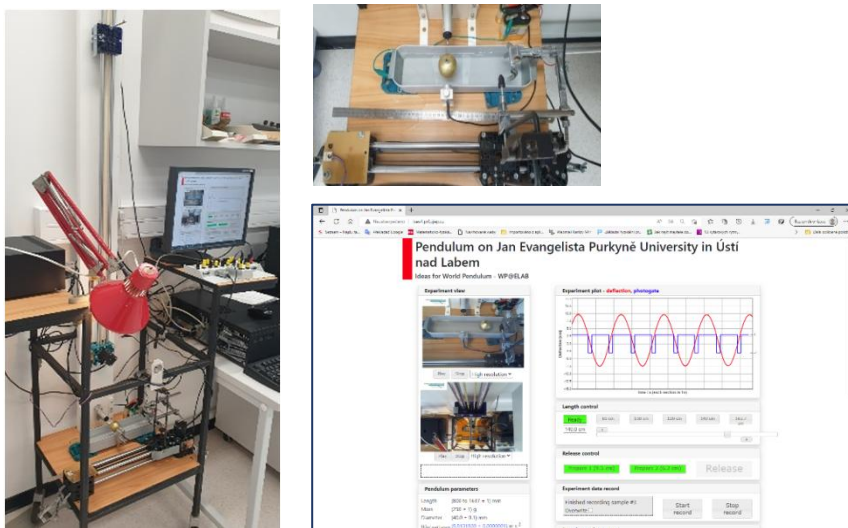


Obr. 3 Voltampérové charakteristiky LED diod – Měření Planckovy konstanty

Vzdálená úloha je na rozcestníku *ises* PřF UJEP Ústí nad Labem [4], resp. na rozcestníku *ises* [3]. Přímá adresa je [ises1.prf.ujep.cz](http://ises1.prf.ujep.cz).

## Vzdálený experiment - Matematické kyvadlo

Vzdálená laboratorní úloha umožňuje studium kmitů matematického kyvadla. Lze proměřit dobu kyvu pro různé délky závěsu (rozmezí 80 až 163 cm). Rovněž umožňuje nastavit dvě možné počáteční výchylky (pro malý rozkmit a pro větší rozkmit). Doba kyvu se měří přesnou optickou závorou. Výchylka se odečítá tzv. vodním potenciometrem (jehla připevněná na kouli projíždí lehce vodní hladinou, na které je pomocí dvou elektrod zaveden potenciální spád). Kmity jsou samozřejmě slabě tlumené. Lze přesně spočítat tíhové zrychlení  $g$  a porovnat ho s tabulkovou hodnotou v místě provozování (UJEP Ústí nad Labem).



Obr. 4 Matematické kyvadlo

Vzdálená úloha je na rozcestníku *ises* PŘF UJEP Ústí nad Labem [4], resp. na rozcestníku *ises* [3]. Přímá adresa je [ises4.prf.ujep.cz](http://ises4.prf.ujep.cz).

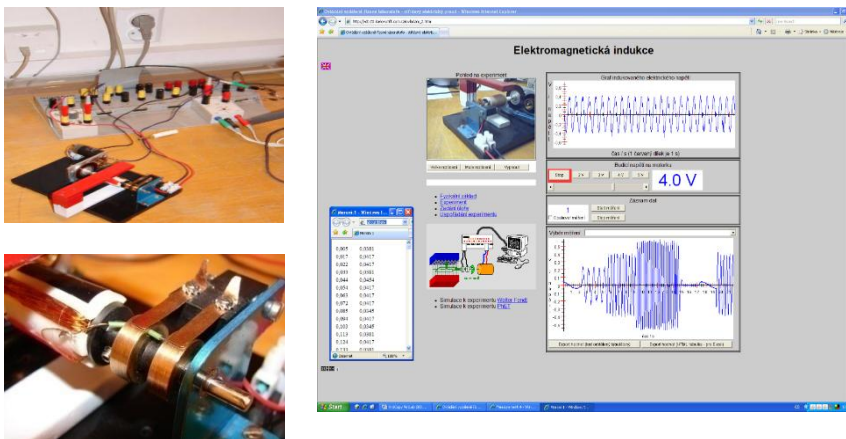
### Vzdálené laboratoře na MFF-UK Praha

Vzdálené laboratoře na MFF UK Praha jsou provozovány od roku 2002. Byly mezi prvními v České republice, Evropě i na světě. V roce 2022 zde byly provedeny stavební úpravy, experimenty zde cca 3 měsíce neběžely, v provozu by měly být v průběhu září až října 2022. Připravuje se nový rozcestník *ises* na MFFUK Praha [5]. Prozatím lze všechny vzdálené úlohy provozované na MFFUK Praha spouštět z rozcestníku [www.ises.info](http://www.ises.info) [3]. Přímé adresy raději neuvádíme, mohou ještě doznat změn. Pro bezproblémový přístup na vzdálené experimenty na MFFUK lze prozatím využít rozcestník *ises* [3], později rozcestník *ises* MFF UK [5].



## Vzdálený experiment – Elektromagnetická indukce

Ve vzdáleném experimentu můžeme vzdáleně otáčet cívkou v magnetickém poli. Obdélníková cívka známých rozměrů má dvě vinutí o 12 a 24 závitů. Pólové nástavce vytvářejí v místě rotace cívky homogenní magnetické pole. Kartáčky z jednoho vinutí a z druhého vinutí snímají indukované napětí při různých rychlostech otáčení. Snímání obrazu experimentu je dostatečně rychlé, takže můžeme zároveň sledovat rotující cívku a zároveň sledovat grafický průběh indukovaného napětí. Úloha může být pouze kvalitativní, při vyšších otáčkách vyšší indukované napětí, nebo žáci základních škol mohou spočítat počet otáček cívky, a to jak z on-line videa, tak i přesně z grafického průběhu indukovaného napětí. Vysokoškoláci mohou spočítat magnetický indukční tok při malých a velkých otáčkách (musí být stejný). Protože jsou známy rozměry cívky, magnetická indukce permanentních magnetů i rychlost otáčení, lze spočítat i velikost indukovaného napětí a porovnat ho s naměřenou hodnotou.

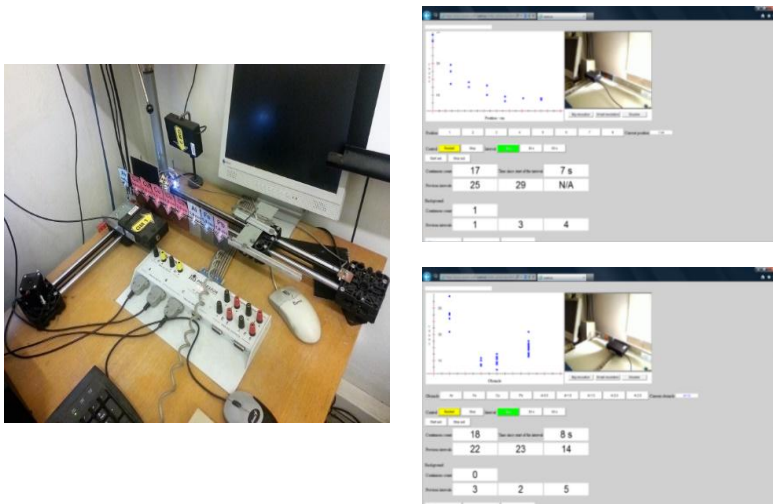


Obr. 5 Elektromagnetická indukce

Vzdálená úloha bude na rozcestníku *ises* MFFUK Praha [5], resp. na rozcestníku *ises* [3]. Přímá adresa se bude nyní měnit.

### Vzdálený experiment – Radioaktivita, studium radioaktivity a základní způsoby ochrany před ionizujícím zářením

Soubor tří úloh – ochrana vzdáleností před radioaktivním zářením, ochrana stínícím materiálem před radioaktivním zářením a studium radiačního pozadí. Vzdálený experiment se skládá ze školního zdroje záření gama o energii 60 keV (241 Am, 300 kBq; záření alfa je odstíněno) a ze dvou Geigerových-Müllerových čítačů. Jeden monitoruje přírodní radioaktivní pozadí, druhý je připevněn k XY polohovacímu zařízení, které uživateli umožňuje měnit jednak vzdálenost od zářiče, jednak stínicí vrstvy různých tloušťek (0-2,5 mm po 0,5 mm, měď) a též různé materiály (hliník, železo, olovo – tloušťky 1,0 mm; vzduch). Při dlouhodobém monitorování radioaktivního pozadí v budově MFFUK Praha Geigerovým Mullerovým čítačem se zaznamenávají minutové, hodinové a celodenní četnosti. Lze si zadat data z libovolného zaznamenaného časového úseku (jsou zde i data před a po havárii jaderné elektrárny Fukušima). Data si lze stáhnout např. do Excelu a dále je zpracovávat. Lze ověřit Poissonovo rozdělení četností přirozeného radioačního záření.

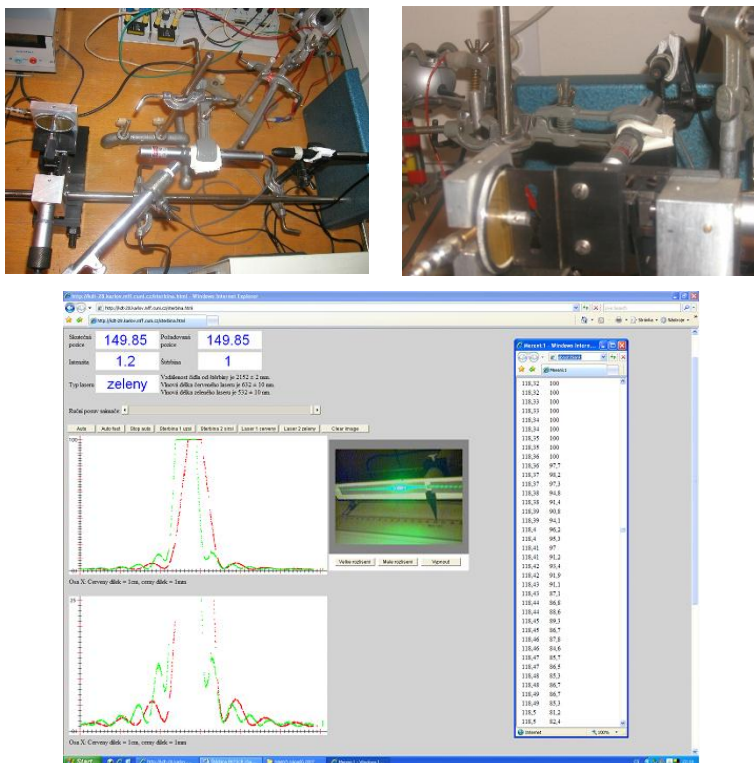


Obr. 6 Radioaktivita

Vzdálená úloha bude na rozcestníku *ises* MFF UK Praha [5], resp. na rozcestníku *ises* [3]. Přímá adresa se bude nyní měnit.

## Vzdálený experiment – Ohyb světla na štěrbíně

Fraunhoferův ohybový jev měřený při dvou vlnových délkách (červený a zelený laser) a při dvou velikostech šířky štěrbiny. Zaznamenává se ohybový obrazec okolo hlavního maxima. Data intenzity světla v závislosti na poloze si lze stáhnout např. do Excelu a dále je zpracovávat. Cílem je změřit šířku malé a velké štěrbiny. Měla by být stejná při proměřování červeným i zeleným laserem.

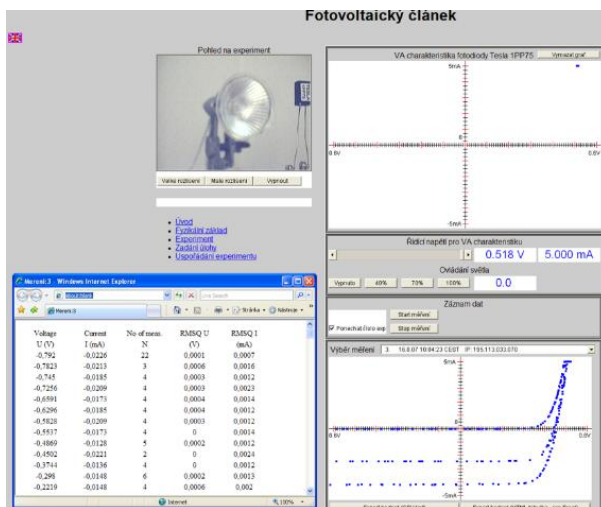
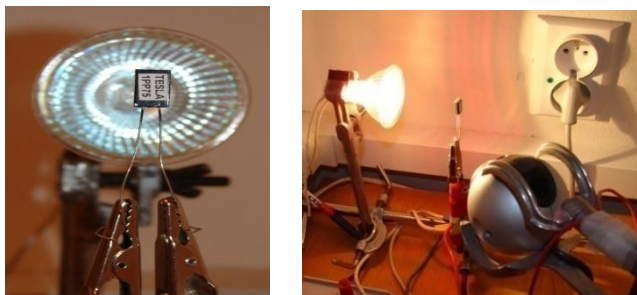


Obr. 7 Ohyb světla na štěrbíně

Vzdálená úloha bude na rozcestníku *ises* MFF UK Praha [5], resp. na rozcestníku *ises* [3]. Přímá adresa se bude nyní měnit.

## Vzdálený experiment – Přeměna solární energie – Voltampérová charakteristika fotovoltaiického článku (fotodiody)

Měří se voltampérové charakteristiky fotovoltaiického článku při různých intenzitách osvětlení. Pokročilí experimentátoři mohou z naměřených dat stanovit účinnost převodu solární energie na elektrickou, faktor plnění článku, maximální elektrický výkon fotovoltaiického článku, aj.

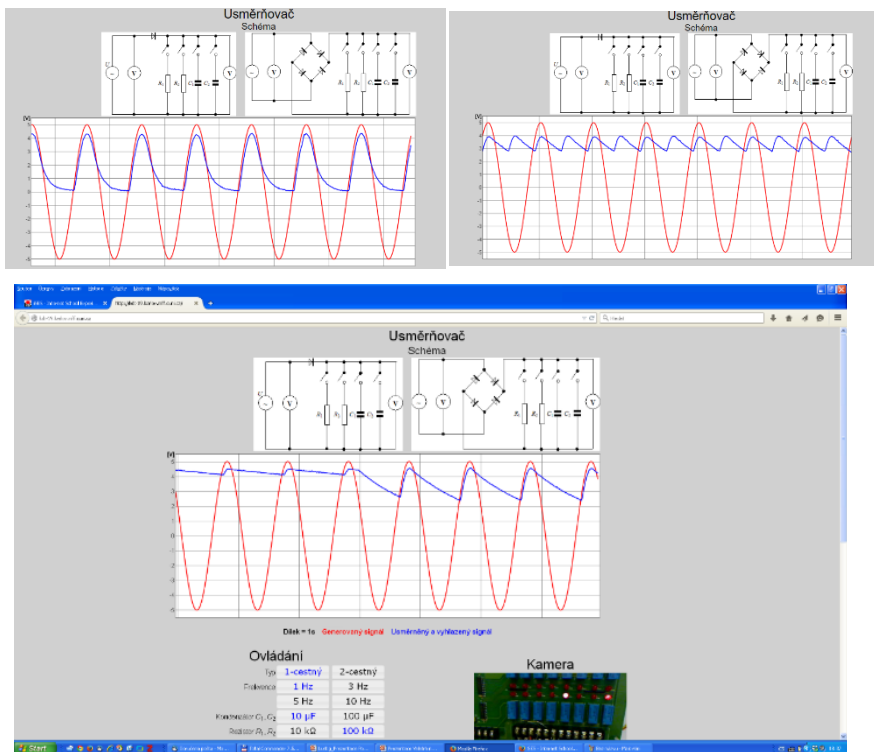


Obr. 8 Přeměna solární energie

Vzdálená úloha bude na rozcestníku *ises* MFF UK Praha [5], resp. na rozcestníku *ises* [3]. Přímá adresa se bude nyní měnit.

## Vzdálený experiment – Usměrňovač

Experiment umožňuje sledovat průběh jednocestně a dvoucestně usměrňovaného napětí v závislosti na odporu zátěže, na kapacitě filtračního kondenzátoru a na frekvenci usměrňovaného napětí. Ve všech třech případech se proměřuje zvlnění usměrňovaného napětí.

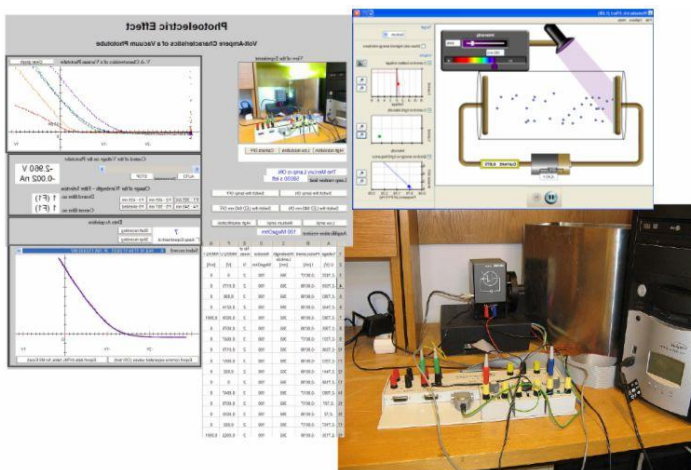


Obr. 9 Usměrňovač

Vzdálená úloha bude na rozcestníku *ises* MFF UK Praha [5], resp. na rozcestníku *ises* [3]. Přímá adresa se bude nyní měnit.

### Vzdálený experiment – Vnější fotoelektrický jev

Vzdálená úloha na vnější fotoefekt využívá vakuovou fotonku Phywe, zesilovač fotoproudu (resp. elektrického náboje) s vysokou vstupní impedancí, otočný karusel s pěti interferenčními filtry pro výběr vlnové délky a rtuťovou výbojku. Fotokatodu lze navíc osvětlit IR světlem 940 nm z infračervené LED a ověřit prahovou povahu vnějšího fotoefektu. Uživatel si může vybrat ze dvou standardních metod: a) jednodušší nabíjení kondenzátoru na brzdné napětí, b) studium V-A charakteristik vakuové fotonky.



Obr. 10. Vnější fotoefekt

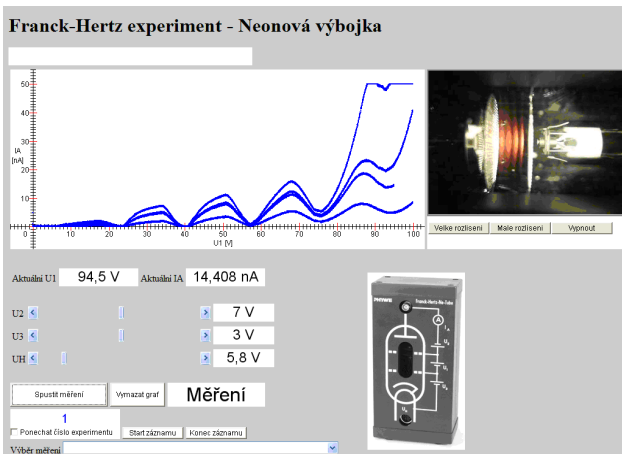
Vzdálená úloha bude na rozcestníku *ises* MFF UK Praha [5], resp. na rozcestníku *ises* [3]. Přímá adresa se bude nyní měnit.

### Vzdálené laboratoře, které jsou připravené a které zatím nikde neběží

Máme připravené dvě velice atraktivní vzdálené úlohy (Franckův-Hertzův experiment a Mapování magnetického pole Helmholtzových cívek), které jsou postavené, ale zatím nikde neběží. Důvodem pro Franckův-Hertzův experiment je, že aparaturu využíváme v praxi standardním způsobem a pro vzdálenou úlohu Mapování magnetického pole Helmholtzových cívek to jsou prostorové důvody. Tyto vzdálené úlohy mohou klidně běžet i na vaší škole.

## Vzdálený experiment – Franckův-Hertzův experiment

Experiment Franckův-Hertzův experiment je vybudován na standardní aparatuře Phywe. Měří se na neonové výbojce, která má tu výhodu, že se s ní dá měřit i při pokojové teplotě a není třeba výbojku zahřívat, tak jako rtuťovou výbojku. Vlastní propojení F-H aparatury s počítačem je provedeno přes COM, resp. USB kabel. NEPOUŽÍVÁ se měřicí rozhraní ISES! Stačí pouze F-H aparatura, kterou mnohé školy vlastní, a software „iSES VirtualLab SDK“, který poskytneme zdarma.

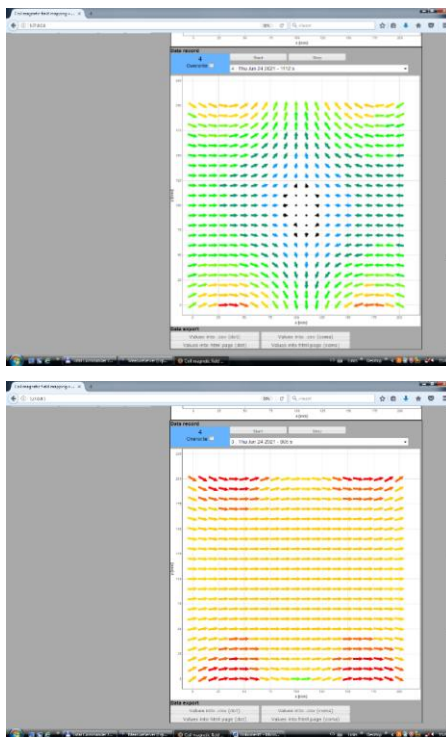
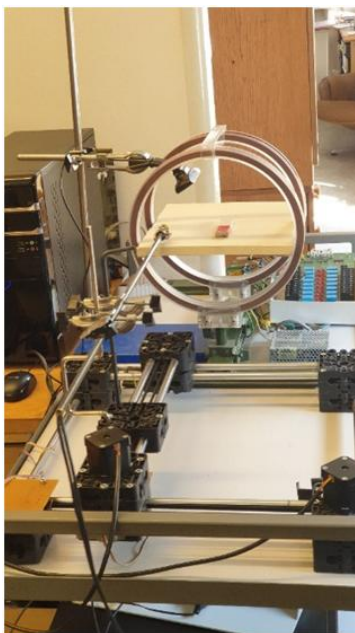


Obr. 11 Franckův-Hertzův experiment. Vzdálená úloha zatím nikde neběží.



## **Vzdálený experiment – Mapování magnetického pole Helmholtzových cívek**

Experiment umožňuje interaktivní proměření magnetického pole Helmholtzových cívek. Magnetické pole se snímá XY krokovým posuvem pomocí dvojice Halových sond. Máme možnost proměřit každou cívku samostatně, případně obě cívky v souhlasném, či nesouhlasném zapojení.



Obr. 12 Mapování mg pole Helmholtzových cívek. Cívky jsou zapojené souhlasně a nesouhlasně. Vzdálená úloha zatím nikde neběží.

## **Závěr**

V příspěvku jsme uvedli přehled 12 funkčních vzdálených experimentů, které jsou nově umístěny na PřF UJEP v Ústí nad Labem, a vzdálených experimentů na MFFUK v Praze, které prošly renovací. Obě fakulty mají



v současné době ne úplně funkční rozcestníky. Všechny nové i původní informace včetně funkčních odkazů na experimenty naleznete stále na rozcestníku *ises* [3].

Vzdálené experimenty jsou i na jiných pracovištích FAI Zlín, PedF Trnava, Gymnázium Klatovy aj. Zde jsme uvedli přehled vzdálených experimentů na dvou spolupracujících pracovištích. Tyto vzdálené experimenty spojuje použití měřicího systému *ISES* a softwarové stavebnice *iSES Remote Lab SDK* [2]. Ovládání takto postavených vzdálených experimentů má shodné intuitivní ovládání.

## Literatura

- [1] Schauer F., Lustig F., Dvořák J., Ožvoldová M.: *Easy to Build Remote Laboratory with Data Transfer using ISES – Internet School Experimental System*. Eur. J. Phys. 29. 753-765. 2008.
- [2] Lustig F., Brom P., Kuriščák P. D.: *Professional and Hobby Hands-on-Remote Experiments*, AIP Conference Proceedings, vol. 2152, 9–12 October 2019, Terchová, Slovakia, ISBN 978-0-7354-1897-4, ISSN 0094-243X, pp. 030020-1–030020-7.
- [3] Rozcestník vzdálených experimentů *ises*. [cit. 28. 8. 2022]. Dostupné online: <https://www.ises.info/index.php/cs/laboratory>
- [4] Rozcestník vzdálených experimentů *ises* *PřF UJEP*. [cit. 28. 8. 2022]. Dostupné online: <https://www.physics.ujep.cz/cs/vzdalene-experimenty/>
- [5] Rozcestník vzdálených experimentů *ises* *MFF UK*. Připravuje se.

## Co všechno se vejde do fyziky? Science Studies ve středoškolské výuce

JAN MARŠÁLEK, LUKÁŠ HADWIGER ZÁMEČNÍK

Filosofický ústav AV ČR, Filozofická fakulta Univerzity Palackého  
v Olomouci

### Abstrakt

*Ani praktická cvičení, která obvykle doplňují hodiny fyzikální teorie, nemění mnoho na tom, že se výuka fyziky na středních školách obvykle opírá o chápání vědy jako souboru etablovaných vědeckých poznatků. Na konkrétním příkladu středoškolských učebnic fyziky lze však ukázat, že i takové výukové materiály, které se programově soustředí na předávání vědeckých poznatků, v sobě nesou určitý popis vědecké praxe. Adekvátnějšímu zpracování tohoto popisu by přitom mohly napomoci tzv. Science Studies, které se výzkumně zabývají právě procesy utváření vědeckého poznání stejně jako vědou v jejím společenském ukotvení. Máme za to, že při vhodném didaktickém zpracování je možné poznatky Science Studies středoškolským žákům a žákyním zprostředkovat. Právě tento cíl si klade projekt „Vědecká gramotnost pro společnost 21. století: Science Studies ve výuce přírodních věd“ (FLÚ AVČR), který čtenářům krátce představujeme.*

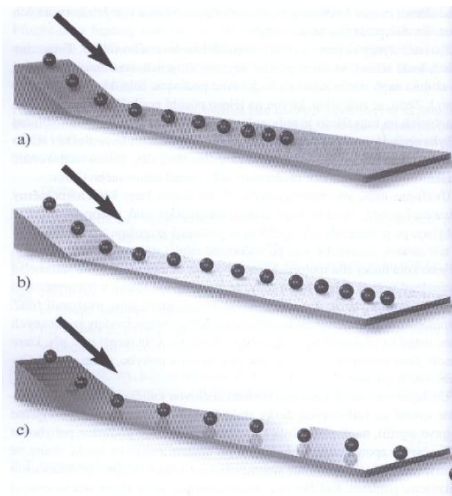
### 1. Úvod

Náš krátký text se v mnohém odlišuje od ostatních příspěvků v tomto sborníku, nepřinášíme v něm totiž žádné nové experimenty ani zlepšováky, které by bylo možné bezprostředně využít ve výuce. Výsledky projektu, na kterém pracujeme a který v tomto příspěvku krátce představíme, by snad ale vyučující fyziky za přínos do výuky nakonec mohli považovat. Postup textu je dán jednoduchým dvoukrokovým argumentem. Nejprve budeme hájit ideu, že *procesy vytváření fyzikálního poznání* patří nejen do fyziky, ale také do (současné středoškolské) *výuky fyziky*. Ukážeme, že již dnes je popis vědecké praxe ve výuce přítomen a že tomu může být jen stěží jinak. S oporou v tomto zjištění pak v druhém kroku vybízíme k tomu, aby bylo při výkladu vědecké praxe více přihlíženo k poznatkům nahromaděným dnes již pevně etablovanými výzkumnými obory, které procesy vytváření vědeckého poznání systematicky studují.

## 2. Pohyb ocelové kuličky po podložkách s různým povrchem

Pro vstup do naší problematiky si pomůžeme myšlenkovým experimentem, který pravděpodobně každý vyučující středoškolské fyziky hned pozná. Najdeme jej na s. 75 klasické učebnice *Fyzika pro gymnázia – Mechanika*, z níž si také vypůjčujeme náčrt i následující popis:

„Hladkou ocelovou kuličku pustíme po nakloněné rovině na vodorovnou desku stolu. Desku stolu přikryjeme nejprve textilií, např. plstí. Kulička se bude po plstěné podložce pohybovat přímočarým zpomaleným pohybem a po uražení poměrně krátké dráhy se zastaví. Zopakujme stejný pokus jen s tím rozdílem, že desku stolu pokryjeme papírem. Kulička nyní urazí podstatně větší dráhu, než se zastaví. Pokryjeme-li desku stolu hladkým sklem, celková dráha kuličky se ještě zvětší a jednotlivé úseky vodorovné trajektorie jsou za stejné doby téměř stejné.“ [1]



Obr. 1 Experiment s ocelovou kuličkou dle [1]

Je dost pravděpodobné, že dnes při výuce mechaniky, a konkrétně při zavádění modelu izolovaného tělesa [2], většina učitelů a učitelek používá sofistikovanějších či názornějších experimentů, ať už myšlenkových nebo skuteč-

ných. Z důvodu, který zanedlouho ozřejmíme, nám však nyní jde právě o tento učebnicový příklad, u kterého se proto na malou chvíli zastavíme. Dlouholetá učitelská zkušenost jednoho z autorů tohoto textu nám říká, že jsou žákyně a žáci schopni velmi pronikavých intuic, s nimiž je možné dále pracovat. Zkusme tedy nyní k našemu „pozorování“ zformulovat několik hypotéz, které by se příliš neodchylovaly od toho, co žáci při výuce obvykle podotýkají (a namítají). Snadno jich najdeme hned několik:

**H<sub>1</sub>:** Různé povrchy vedou k různým „výkonům“ pohybující se kuličky.

**H<sub>2</sub>:** Pohybující se kulička se bez ohledu na typ povrchu nakonec vždy někde zastaví.

**H<sub>3</sub>:** Čím vyšší rychlosti dosáhne kulička na nakloněné rovině, tím déle bude její následný pohyb na vodorovné podložce podobný pohybu přímočarému.

**H<sub>4</sub>:** Valivý pohyb kuličky nedeformuje její tvar.

**H<sub>5</sub>:** Kulička se během pokusu učí dovalit dále a dále.

Anebo také možná:

**H<sub>6</sub>:** Na dokonale hladké podložce by se kulička po desce stolu pohybovala rovnoměrně přímočarým pohybem.

Tato poslední hypotéza je velmi blízká té, kterou najdeme v učebnici, jež je zdrojem našeho experimentu. S jedním pozoruhodným rozdílem: naše učebnice nehovoří o *hypotéze*, nýbrž o *závěru*:

„Z výsledku pokusu můžeme učinit tento závěr: kdyby neexistovalo tření mezi deskou stolu a kuličkou, pohybovala by se kulička po desce stolu rovnoměrně přímočarým pohybem.“ [3]

Závěr nebo hypotéza, záleží na tom? Přijde na to. Je zřejmé, že slovo „závěr“ pomáhá výkladu sadu alternativních hypotéz, které je možné zformulovat, rychle překročit. To má samozřejmě svůj dobrý pedagogický důvod, je však dobré si uvědomit, že se tak překračuje také mnoho problematik, které by jinak mohly být zvědavými žákyněmi a žáky lehce otevřeny. Uvedme alespoň tři:

(1) Správa hypotéz: Při vytváření hypotéz se můžeme řídit těmi nejrozmanitějšími pohnutkami, odtud jejich zmnožení, se kterým je potřeba nějak se vypořádat. Hypotézy jsou navíc formulovány s různou mírou přesnosti a jednoznačností, jsou různě komplexní. Nejsou si tak rovny: některé by si zasloužily pře-

formulování (např.  $H_1$ ), některé se jeví jako banální (např.  $H_2$ ), některé naopak jako extravagantní ( $H_5$ ); některé jsou jednoduché (např.  $H_4$ ), jiné složené ( $H_6$ ). Ne všechny hypotézy si tak zaslouží další výzkumnou pozornost, která je vzácným statkem. Podobné situace známe i ze skutečného vývoje fyziky, jehož se také účastnily „různě hodnotné“ hypotézy: některé přechodné, některé pomocné, některé „prostě jen ad hoc“ atd.

(2) Replikace experimentu: Před vlastní snahou přiměřenost nějaké hypotézy testovat je jistě na místě ověřit, že pozorovaný fenomén nastává systematicky (k tomu mohou posloužit žakovské experimenty v hodinách či cílená laboratorní praktika). Problematika replikací experimentů je ve své obecnější formě poměrně komplexní, alespoň nahlédnout však do ní lze i prostřednictvím tak jednoduchého případu, jakým je ten náš.

(3) Testování vybraných hypotéz: Jak platnost či alespoň vhodnost formulované hypotézy ověřit? Mezi hypotézou a vědeckým faktem leží celá plejáda vědeckých procesů. Těch se ovšem neúčastní pouze experimentální vybavení a znalost matematiky, ale také vědci, jejich vzájemné vztahy, jazyk, instituce, materiální, finanční i symbolické zdroje atp. Nevpuštění těchto problematik do výkladu může být vědomou volbou – ostatně tak je tomu jistě i v námi citované učebnici. To však ještě neznamená, a sem bychom si dovolili položit veškerý důraz, že by se učebnicový text dokázal popisu vědecké praxe vyhnout. I v našem příkladu určitý „marginální“ popis nacházíme, když se užitím slova „závěr“ naznačuje, že experiment navádí k jedinému výsledku, který stačí správně dovodit. Vědecká praxe zde vlastně spadá v jedno s „logikou“.

### 3. Učebnicový obraz „živé“ vědy

Že se řada *Fyzika pro gymnázia* programově soustředí na výklad fyzikálních poznatků, a nikoli na výklad živé vědy, je i jen po zběžném prolistování jejích 8 dílů zřejmé (i proto se opíráme právě o ně). Z poskytování určitého popisu vědeckých postupů se ale nelze nijak snadno vyvázat. Tyto učebnice žákům a žákyním nepředávají pouze hotové poznání (s jeho racionálním zdůvodněním); nabízejí jim také určitou reprezentaci toho, jak se k poznání dospívá. Děje se tak nejen ve výukových experimentech „na papíře“, jako je tomu v námi výše popsaném případě, ale také třeba v historických výkladech (např. Rutherfordův experiment v [4]), v dodatcích (např. vymezení vědy jako „souboru pravidel, podle kterých se zkoumá pravdivost různých tvrzení“ v [5]), v doplňujících poznámkách, mimochodem (např. uvádění výhradně mužských objevitelů v [6]). Obraz vědy, který je takto jako by mimochodem vytvářen, je přitom nikoli náhodným způsobem stylizovaný:

(1) Vědecké poznání je dílem mužů-geniů, mužů-objevitelů. Zamlčena je tak – kromě účasti žen, ale také třeba technických pracovníků na vědeckém úsilí – kolektivní dimenze vědecké práce (vědecké instituce, vědecké týmy, vědecká komunita...) i její sociální charakter (včetně samotné kategorie „objevu“).

(2) Vědecké výsledky jsou nepochybné a nezpochybňované. Věda jako by se obešla bez „metodologického skepticismu“, bez potřeby obhájit své výsledky před vědeckou komunitou (a tedy také bez vědeckých konferencí, recenzních řízení atd.).

(3) Vědecké experimenty navádějí k jednoznačným závěrům. Design experimentu i interpretace experimentálních výsledků jsou něčím neproblematickým, nejsou předmětem sporů ani kontroverzí (či naopak stvrzení).

(4) Věda nepracuje s hypotézami ani teoriemi, které by podléhaly testování. Starší poznání je neproblematicky překonáváno poznáním novějším, správným.

Nejde zde však o kritiku konkrétních učebnic, které ani nemusí být pro skutečnou pedagogickou praxi nutně reprezentativní. Opíráme se o ně pouze pro následující konstatování: *Ani v takových učebnicích, které se úzce zaměřují na výklad fyzikálních poznatků, se dost dobře nelze určitému popisování vědecké praxe vyhnout. Procesy fyzikálního výzkumu patří nejen k vlastní fyzice, ale také k její výuce, a to i tam, kde o ně moc nestojí.*

#### 4. Projekt „Science Studies ve středoškolské výuce přírodních věd“

Náš návrh je vlastně pozváním: Pokud i středoškolská výuka fyziky, a širěji přírodních věd, žákům a žákyním předává nějakou obecnější představu o vytváření vědeckých poznatků, mohlo by pro ni být užitečné vědomě využívat poznatků etablovaných oborů, které se studiu vědecké praxe dlouhodobě věnují. Tato jednoduchá idea stojí za projektem „Vědecká gramotnost pro 21. století: Science Studies ve výuce přírodních věd“, který na půdě Filosofického ústavu AV ČR [7] řešíme ve spolupráci s kolegy z dalších výzkumných či vzdělávacích institucí (mj. s pražským Gymnáziem Jana Nerudy). Z mnohých důvodů, které zde nelze vypočítávat, věnujeme naši pozornost nejprve fyzice, a to v podobě, v jaké je od 70. let 20. století reflektována v tzv. *Science Studies*, tj. ve studiích spadajících do výzkumného prostoru sociologie, antropologie, historie a filosofie vědy.

Již samotný výčet podílejících se oborů naznačuje, že ani *Science Studies* nemluví jedním hlasem. Sociologie vědeckého poznání, které v našem projektu dáváme značný prostor, tak například svým empirickým zaměřením a otevře-

ností ke kategorii „vědeckého“ cíleně zpochybňuje převážně normativní a systematický přístup služebně starší filosofie vědy. Ta však zase do našeho projektu přináší jednak důležitou část jeho konceptuální výbavy, jednak množství originálních problematik (povaha vědeckých teorií, varianty vědeckých vysvětlení, „čisté“ metody testování ad.). Ať už se ale jedná o otázky spojené s testováním hypotéz či redukcí teorií, o roli experimentů ve vědeckém poznávání, jejich replikace, o problém demarkace vědy (rozlišení vědeckého od ne-vědeckého), o mechanismy vytváření vědecké shody, či naopak o zákonitosti vědeckých kontroverzí, zdá se nám možné vyčíst z rozsáhlé literatury *Science Studies* dostatek společného poznání, které vědeckou praxi popisuje s citlivostí pro její barvitost.

Jakkoli kabinetně může takový projekt na první pohled vypadat, velkou pozornost věnujeme propojení – či ještě lépe prolnutí – jeho badatelské složky se složkou praktickou, tj. didaktickou a pedagogickou. Prvního cyklu badatelského semináře, který proběhl v prvním pololetí r. 2022, se tak kromě organizátorů z univerzitního prostředí a studentů (zejména z Filosofické fakulty UK, ale také z Fakulty sociálních studií, Přírodovědecké fakulty a z Matematicko-fyzikální UK) účastnili také učitelé fyziky z partnerského Gymnázia Jana Nerudy. Volně spolupracujeme také s didaktiky fyziky, na které spoléháme při převádění výsledků našeho semináře i jemu předcházejících workshopů (2021) v pedagogicky realistické nástroje. Je jasné, že si jednotlivé fáze projektu – od selekce vhodného učebního obsahu přes zpracování pracovních listů až po pilotáže a vyhodnocení jejich výsledků – žádají různé intenzivní zapojení různých profesí. Protože ale považujeme jejich součinnost po celou dobu trvání projektu za klíčovou, doufáme, že naše idea včas osloví dostatek zástupkyň a zástupců dotčených odborností, kteří se budou chtít na jejím rozpracování konstruktivně podílet.

Úspěch našeho projektu se bude měřit jeho praktickými dopady. Některé naše zásahy do výuky fyziky budou docela drobné – nahrazení slova „závěr“ slovem „hypotéza“ ve výše popsaném experimentu s valící se ocelovou kuličkou by mohlo představovat jednu takovou nepříliš nápadnou změnu, která nejspíš neurazí, a přitom otevře dveře k možným rozvedením. Naopak úprava zaměření otázek spojených s dokumenty, jejichž analýza je součástí písemné maturity z fyziky v dvojjazyčných, francouzsko-českých sekcích čtyř domácích gymnázií (Gymnázium Matyáše Lercha v Brně, Slovanské gymnázium Olomouc, Gymnázium Pierra de Coubertina v Táboře, Gymnázium Jana Nerudy v Praze), jednoznačně spadá do našich masivnějších intervencí. Tento konkrétní pokus již zkušebně probíhá („Maturita des sections bilingues franco-tchèques“, 2022), plné prosazení takové úpravy by však vyžadovalo určité

změny ve vzdělávacím plánu minimálně těch žáků a žákyní, kteří se k takové maturitě chystají, a z naší strany tedy i podporu učitelů a učitelek, kteří své svěřence k maturitě připravují.

## 5. Závěr

Lze samozřejmě s veškerou legitimitou namítnout, že studium vědecké praxe do výuky fyziky jednoduše nepatří, a že má být naopak jediným cílem výuky fyziky předání fyzikálního poznání. Námi zvolený příklad učebnicové řady *Fyzika pro gymnázia*, která se na výklad fyzikálních poznatků programově soustředí, však naznačuje, že se ani při tomto zaměření nelze komunikaci určitého obrazu vědecké praxe zcela vyhnout. Otevření se oborům tzv. *Science Studies*, které reálné mechanismy vytváření vědeckého poznání systematicky studují, pak může být prostředkem k tomu, jak nad žákům a žákyním předávaným popisem vnitřního fungování vědy získat větší kontrolu.

Proti opačné strategii, která by spočívala v důslednějším vytěsnění vyobrazování – a to i tacitního – vědecké praxe z výuky přírodovědného poznání, pak lze uplatnit argument, kterému můžeme říkat „občanský“: Troufáme si totiž tvrdit, že ve společnostech skrz naskrz prostoupených vědou, tak jako je tomu i ve společnosti naší (období pandemie v tomto nikoho nenechalo na pochybách), by mělo povědomí o vědecké praxi patřit k běžné výbavě *občanů* [8]. Chtít žáky a žákyně vybavit „vědeckou gramotností“, jejíž součástí by byla mj. základní realistická představa o tom, jak věda dospívá ke svým výsledkům, naplňuje velmi starý princip: občan by měl světu, kterému vládne, co nejlépe rozumět [9].

## Literatura a poznámky

- [1] Svoboda E., Bednařík M., Šířoká M.: *Fyzika pro gymnázia – Mechanika*. Prometheus Praha, 5. vydání, 2013, s. 75.
- [2] V námi citované učebnici je experiment využit pro účely zavedení modelu izolovaného tělesa, o který se následně opírá výklad prvního pohybového zákona. Vlastní koncept tření je v učebnici zaveden o několik kapitol později.
- [3] Svoboda E., Bednařík M., Šířoká M.: *Fyzika pro gymnázia – Mechanika*. Prometheus Praha, 5. vydání, 2013, s. 76.
- [4] Štoll I.: *Fyzika pro gymnázia – Fyzika mikrosvěta*. Prometheus Praha, 4. vydání, 2002, s. 26-29.



- [5] Macháček M.: *Fyzika pro gymnázia – Astrofyzika*. Prometheus Praha, 3. vydání, 2004, s. 112.
- [6] Lepil O., Šedivý P.: *Elektrina a magnetismus*. Prometheus Praha, 7. vydání, 2017.
- [7] Projekt „Vědecká gramotnost pro 21. století: Science Studies ve výuce přírodních věd“ je součástí výzkumného programu „Odolná společnost pro 21. století“ Akademie věd České republiky (Strategie AV21), díky jehož podpoře vznikl i tento příspěvek. Pro více informací vizte <http://odolnaspolecnost.cz/vedeckagramotnost/>
- [8] Trnka J.: „Covid nám odhalil vědu, která se dělá“. *Vesmír* 101, duben 2022, s. 262-264. Dostupné online: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2022/cislo-4/covid-nam-odhalil-vedu-ktera-se-dela.html>. Srov. také Maršálek J.: „Poznámky ke Strategii 2030+.“ *Čs. čas. fyz.* 7, č. 1 (2021), s. 4-5.
- [9] Získávání kompetencí potřebných „pro aktivní občanský život“ jako cíl vzdělávání uvádí vládní vzdělávací Strategie 2030+, ale Rámcový vzdělávací program pro gymnázia, který „občanskou kompetenci“ řadí mezi tzv. klíčové kompetence, jež by si žáci a žákyně měli osvojit.

## Absolventské práce na SPŠST Panská

OTAKAR MATOUŠ, JAROSLAV REICHL

SPŠST Panská, Praha

### Abstrakt

*V příspěvku jsou popsány absolventské práce, které jsou součástí profilové maturitní zkoušky na SPŠST Panská v Praze. Z řady prací, které byly obhájeny v květnu 2022, jsou popsány ty, kterým žáci čtvrtého ročníku věnovali zvlášť pečlivou pozornost. Práce popsané v příspěvku mohou sloužit jako námět (ne nutně v uvedeném rozsahu) pro ostatní učitele fyziky na různé typy seminářích, ale i laboratorních prací.*

### Absolventské práce

Nedílnou součástí maturitní zkoušky na Střední průmyslové škole sdělovací techniky v Praze jsou i praktické maturitní práce. Během let prošly řadou názvů, nicméně základní princip zůstává stejný i v současně platné legislativě. V současné době se jedná o absolventský projekt, který žák čtvrtého ročníku vytváří na dané téma patřící do jednoho z maturitních předmětů. Téma práce, které musí spadat do jedné z připravených kategorií (řešerše, sbírka úloh/experimentů, výroba technického zařízení, tvorba programu, ...) může žák získat dvojím způsobem.

Dále budou popsány práce žáků technického lycea. Na ostatních oborech školy (viz [1]) je princip zadávání prací a průběh jejich řešení stejný, liší se jen témata prací tak, aby vycházela z profilových předmětů daného oboru.

Nadaní žáci (většinou účastníci různých fyzikálních, matematických či programátorských soutěží) si mohou připravit své vlastní téma. Rozsah, náročnost i způsob realizace daného tématu je vhodné, aby žák předem konzultoval s vyučujícím předmětu, do kterého vybrané téma majoritně přísluší. Tak získá žák meze, ve kterých bude dané téma zpracovávat. Téma ovšem žákovi musí povolit komise složená z vyučujících maturitních předmětů a zástupců vedení školy. Důvody pro tuto obhajobu vlastního tématu jsou dva. Jednak je nutné, aby komise posoudila rozsah práce, kterou žák chce zpracovávat (ne každý žák totiž předem své téma s vhodným učitelem konzultuje). Druhým důvodem je, aby se mezi učiteli našli minimálně dva, kteří se v problematice tématu vybraného žákem dobře orientují a mohou tak práci vést jako vedoucí a po jejím odevzdání ji i opakovat. Zabrání se tak situacím, kdy vedoucí poměrně speci-

fické práce vážně onemocněl a roli vedoucího musel předbrat jiný, v dané problematice ne tolik zběhlý, kolega.

Pokud si žák vlastní téma nepřipraví, musí si vylosovat jedno z témat, která jsou připravena a schválena učiteli všech maturitních předmětů. V tomto případě žák riskuje, že bude zpracovávat téma, které pro něj nebude právě oblíbené.

Po výběru tématu práce jedním z výše uvedených způsobů (přibližně na konci září) je žákovi napsáno oficiální zadání práce a žák může začít pracovat. Při své práci může využívat všechny dostupné zdroje (knihy, časopisy, internet, ...), které v práci musí správně citovat. Může pochopitelně využívat i možnost konzultace se svým vedoucím. Ten žákovu práci v pravidelných intervalech kontroluje, aby byla jistota, že žák na tématu pracuje průběžně a jeho řešení vede k plánovanému výsledku.

Žáci téma vypracovávají samostatně nebo ve skupinách; v případě prací z fyziky a podobných předmětů jsou skupinky většinou maximálně dvoučlenné. Přibližně v polovině dubna pak žáci vypracovanou práci odevzdávají – tištěnou i elektronickou podobu textové části práce a „přílohy“ (napsaný a odladěný program, výsledky měření, fotodokumentaci resp. videodokumentaci z měření, vyrobený přístroj a jeho technickou dokumentaci, ...). Nejpozději ve lhůtě stanovené zákonem dostanou žáci posudky od vedoucího práce a od oponenta a na základě nich si připraví obhajobu svého absolventského projektu. Na tu mají 15 minut a probíhá v maturitním týdnu dané třídy před maturitní komisí.

Známka, kterou navrhuje zejména vedoucí práce a oponent práce a která je schválena maturitní komisí, je součástí maturitního vysvědčení žáka.

### **Ukázky absolventských prací (květen 2022)**

V této části budou popsány vybrané absolventské projekty, které byly obhájeny v květnu 2022 a které mohou být zdrojem inspirace do hodin nejen fyziky.

#### **Kladky**

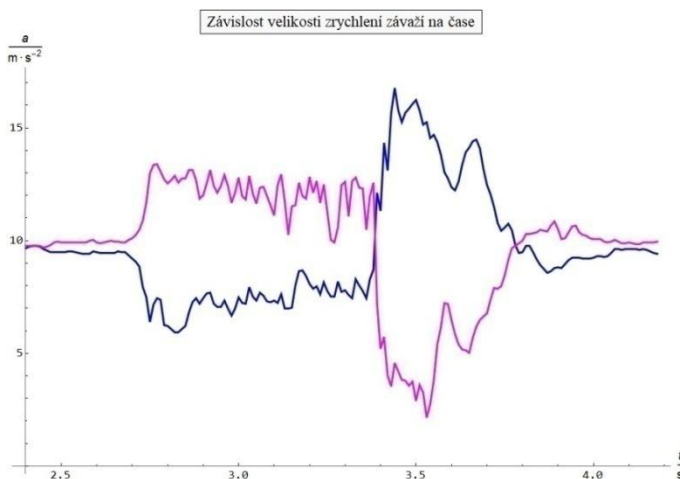
Barbora Dusilová a Tomáš Wenigr si zvolili (a před komisí i obhájili) téma týkající se kladek (viz práce [2]). Téma se rozdělili tak, jak odpovídá přístupu obou žáků. Bára se pustila do odvozování vztahů, které popisují zejména síly a zrychlení těles zavěšených na jedné kladce či kladkostroji. Odvození prováděla Bára obecně včetně nezanedbání momentu setrvačnosti samotných kladek. „Učebnicové“ vztahy platící při zanedbání momentu setrvačnosti kladek z nich pak velmi rychle odvodila také.



Obr. 1 Vyrobený kladkostroj

Tomáš navrhl a sestavil vlastní kladkostroj (jehož finální verze je zobrazena na obr. 1). Při navrhování jednotlivých částí vznikajícího kladkostroje využil své znalosti z práce se softwarem firmy Autodesk (viz [3]), s nimiž se žáci v hodinách CAD systémů ve škole učí pracovat. Kladky a jejich držáky vymodeloval a následně vytiskl na 3D tiskárně. Zvolil velmi kvalitní tisk, a proto jsou držáky i kladky pevné. Na kovovou konstrukci, kterou navrhl, umísťuje kladky a úchyty pro lana (např. při realizaci volné kladky) pomocí silných magnetů.

Součástí práce byla též sada měření, která autoři provedli po sestavení kladkostroje a po odvození příslušných vztahů. Na kladkostroji postupně realizovali různé typy jednoduchých strojů (pevná kladka, volná kladka, různé kladkostroje), na ně zavěšovali tělesa různých hmotností, na nichž byly připevněny senzory zrychlení firmy Vernier, a proměřovali velikosti zrychlení, s nimiž se daná tělesa na konkrétním jednoduchém stroji pohybovala po uvolnění. Na obr. 2 je zobrazen graf časové závislosti velikostí zrychlení závaží o hmotnostech 0,5 kg a 1 kg zavěšených na pevné kladce. Je patrné, že obě tělesa se pohybují (v souladu s teorií) s navzájem stejně velkými zrychleními; navíc hodnota přibližně  $3 \text{ m.s}^{-2}$  velmi dobře souhlasí s teorií (píky grafu v čase po 3,3 s odpovídají zastavení těles rukou).



Obr. 2 Závislost velikosti zrychlení dvou těles na pevné kladce

### Měření velikosti rychlosti střely vystřelené z pistole

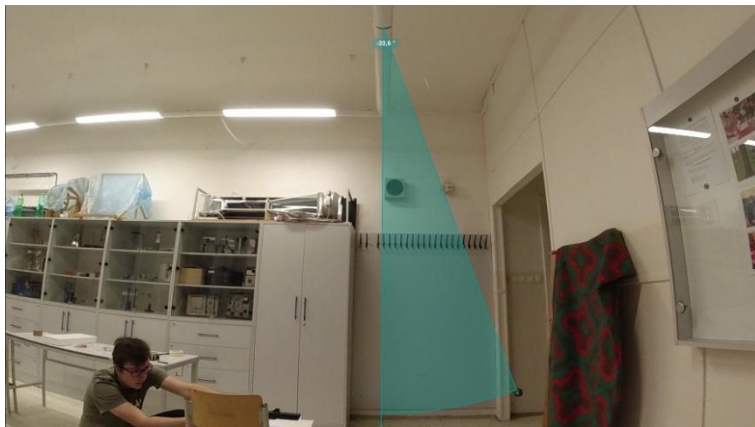
Ondřej Balvín a Ondřej Blahovský si vybrali práci měření rychlosti střely ze vzduchovky (viz práce [4]). Práce obsahuje stručný historický vývoj vzduchových pušek, princip fungování a základy balistiky. Těžištěm této práce jsou tři různé metody měření rychlosti střely – posun dřevěného kvádru, balistické kyvadlo a rotující kotouče. Každá z metod obsahuje fyzikální rozbor, výpočty, obrázky z průběhů měření a tabulky naměřených hodnot. Jednotlivé metody nabízejí názornou demonstraci fyzikálních zákonů.

První metodou bylo měření posunu dřevěného kvádru. Kluci našroubovali do smrkového dřevěného hranolu háček, za který mohli zaháknout siloměr od firmy Vernier. Cílem bylo dosáhnout co nejmenší třecí síly mezi dřevěným kvádrem a podložkou. To se jim povedlo tak, že na dřevěný hranol přilepili „lyže“ z plastové fólie o tloušťce cca 1 mm. Následně z grafu na měřicím přístroji odečetli největší sílu, při které se kvádr tažením dal do pohybu. Vzduchovku umístili tak, aby byla v těsné blízkosti kvádru a zároveň aby mířila na jeho střed (obr. 3). Po vystřelení ze vzduchovky změřili svinovacím metrem posun kvádru. Měření zopakovali desetkrát. Z naměřených hodnot (hmotnost kvádru, hmotnost diabolky, dráhy zastavení kvádru a klidového součinitele smykového tření) pak pomocí zákonů zachování hybnosti a energie vypočítali velikost rychlost diabolky vystřelené z pistole.



Obr. 3 Měření pomocí posunu dřevěného kvádrů

Druhou metodou bylo měření pomocí balistického kyvadla. Zde bylo nutné vymyslet vhodnou konstrukci kyvadla a způsob měření výchylky z rovnovážné polohy. Kluci vyrobili kyvadlo z korkové zátky, kterou obalili v modelíně. Zátku zavěsili ve dvou bodech (bifilární závěs) za zářivky v učebně, aby závěs kyvadla byl dostatečně dlouhý. Pro bezpečnost si kluci vytvořili za kyvadlem zástěnu z tlusté deky. Toto opatření zabránilo ničení zdi a nežádoucím odrazům diabolky. Nabitou a upevněnou zbraň ve stojanu umístili ve vzdálenosti 1 cm od balistického kyvadla. Po spuštění kamery GoPro pak vystřelili do balistického kyvadla. Záznam vychýlení kyvadla z rovnovážné polohy analyzovali v programu Kinovea (obr. 4). K výpočtu velikosti rychlosti střely opět využili zákon zachování hybnosti a zákon zachování energie.



Obr. 4. Vychýlení kyvadla z rovnovážné polohy po výstřelu



Obr. 5 Aparatura rotujících kotoučů k měření rychlosti

Poslední metodou bylo měření pomocí rotujících kotoučů (terčů). Při tomto pokusu vystřelená diabolka z hlavně střelné zbraně, umístěné v těsné blízkosti terče prorazí první terč v určitém místě. Soustava se během doby letu diabolky mezi prvním a druhým terčem otočí o úhel, který je daný rychlostí rotace vrtačky pohánějící kotouče. Poté diabolka prorazí druhý terč. Pomocí tohoto úhlu a vzdálenosti terčů můžeme vypočítat rychlosti diabolky mezi dvěma terči. Tato rychlost se přibližně rovná ústřové rychlosti diabolky, jelikož je mezi terči malá vzdálenost.

Autoři opět museli vymyslet vhodnou konstrukci, na kterou umístí papírové terče. Jako první nařezali dva stejně dlouhé kusy plastového prkna, na které si vyznačili středy k vyvrtání otvorů. Do každého z otvorů vsunuli čtyři kuličková ložiska, která umožnila rotaci tyče bez zadrhávání. Připravená prkna s ložisky nasadili na závitovou tyč. Tuto sestavu připevnili k dřevěnému prknu. Papírové terče připevnili na tyč pomocí kovových podložek a matic. Terče roztáčeli pomocí vrtačky, která roztáčela závitovou tyč s papírovými terči (obr. 5). Rychlost otáčivého pohybu měřili pomocí laserového otáčkoměru. Vypočet rychlosti diabolky pak provedli pomocí základních kinematických vztahů pro otáčivý pohyb.

Kluci ještě zkoušeli rychlost diabolky měřit pomocí vysokorychlostní kamery. Tato metoda se však ukázala jako nerealizovatelná. Rozlišení záznamu bylo natolik malé, že nebylo možné zachytit předmět o tak malých rozměrech, jako je diabolka.

### **Fyzikální vlastnosti alkoholu**

Tento absolventský projekt si Vít Šerý a Kryštof Záruba vybrali sami. Téma je napadlo již v průběhu studia fyziky a chtěli detailně dozvědět, jaké vlastnosti mohou různé typy alkoholů mít. Pro svou práci vybrali: pivo Kozel černý (3,8 % alkoholu), Portské víno (19 %), Božkov Originál Tuzemský (37,5 %), Vodka Pražská (37,5 %) a technický líh (94 %). Práce [5] popisuje tři experimenty s uvedenými alkoholickými nápoji.

V prvním experimentu autoři zkoumali teplotu tuhnutí při stálém atmosférickém tlaku za pomoci kapavého dusíku. Do plechového hrnku nalili cca 50 ml daného alkoholu, ke kterému přidali zhruba stejný objem kapalného dusíku. Plechový hrnek zakryli polystyrenem, aby se kapalný dusík rychle neodpařoval. Teplota tuhnutí piva byla  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Portského vína  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , rumu  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vodky  $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$  a technického líhu  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zajímavé bylo také pozorovat zmrzlé alkoholy – např. rum (obr. 6).





Obr. 6 Pohled na zmrzlý rum

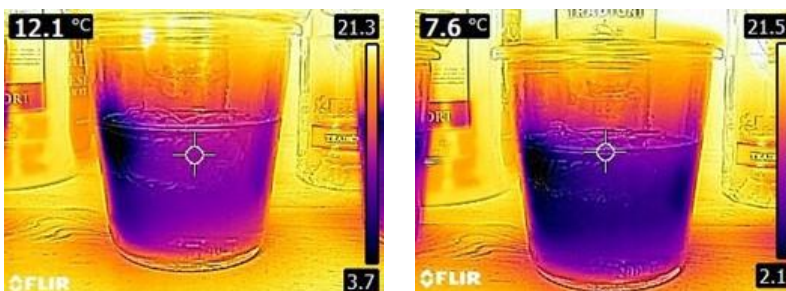
Ve druhém experimentu kluci určovali součinitel objemové teplotní roztažnosti pro jednotlivé alkoholické nápoje. Alkohol zahřívali ve vodní lázni. Do menší kádinky nalili 50 ml alkoholu. Větší kádinku naplnili vodou tak, aby při vložení menší kádinky s alkoholem byla hladina alkoholu pod hladinou vody, a zároveň se kádinky nedotýkaly dny (obr. 7). Alkohol zahřívali kahanem na teplotu 60 °C a poté opět určili objem alkoholu. Součinitel objemové teplotní roztažnosti spočítali ze vztahu:  $V = V_0 (1 + \beta \Delta t)$ .



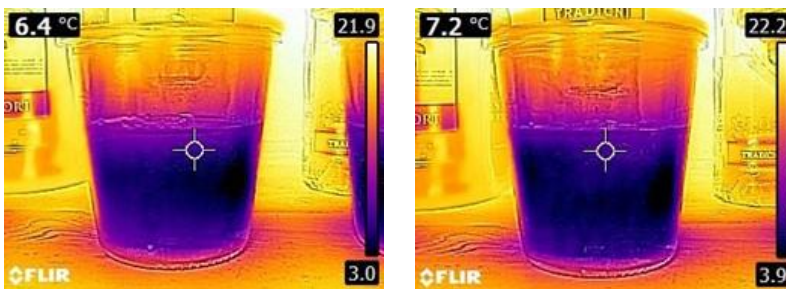
Obr. 7 Zahřívací aparatura s vodní lázní

Třetí experiment byl věnován schopnosti alkoholu rozpouštět vodní led a konvektivním proudům. Konvektivní proudění v alkoholech vzniká v důsledku rozdílných hustot a teplot v různých částech kapaliny. Led se v kapalinách rozpouští kvůli nižší teplotě a odebírá teplo z kapalin do té doby, než se teploty kapaliny a ledu vyrovnají. Ovšem nesmíme zapomínat na anomálii vody.

Kluci nalili do sklenice 150 ml rumu. Do sklenice s rumem vložili led a spustili stopky. Tento děj postupně v časech: 1,5 minuty, 10 minut, 30 minut a v čase rozpuštění dokumentovali termokamerou (obr. 8)



Obr. 8 Rozpuštění ledu – čas 1,5 minuty a 10 minut



Obr. 9 Rozpuštění ledu – čas 30 minut a 56 minut

Na obr. 8 v čase 1,5 minuty lze na levé straně kádinky vidět, jak se kostka ledu začíná rozpouštět a začíná ochlazovat okolí. Po deseti minutách se tekutina v kádince výrazně ochladila. Díky tomu, že se teplo přenáší kapalinou prouděním, taje led relativně rychle. V čase 10 minut je konvence vidět zhruba uprostřed, vedoucí zleva doprava.

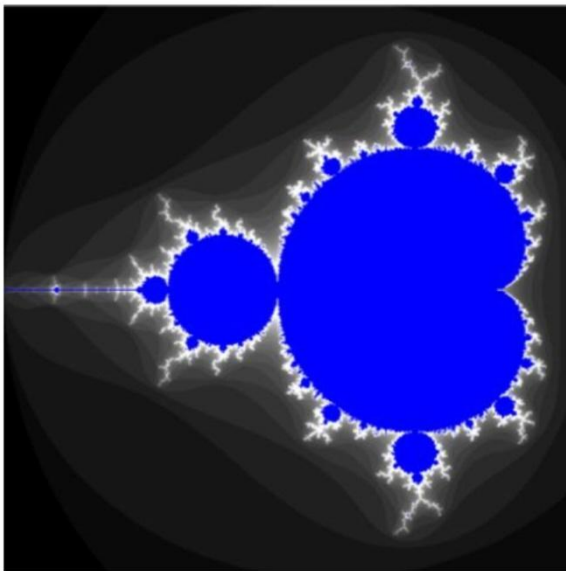
Po třiceti minutách se teplota kapaliny ustálila na  $6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na snímku z termokamery (levá část obr. 9) můžeme pozorovat téměř stejnou teplotu v celém objemu kapaliny.

Po padesáti šesti minutách se led kompletně rozpustil, a na dalším snímku (pravá část obr. 9) můžeme vidět, že teplota kapaliny opět začíná stoupat.

### **Mandelbrotova množina**

Práci, která sice přímo nespadá do fyziky, vytvářel žák Matyáš Kafka. I on si vybral téma sám proto, že ho matematické vlastnosti Mandelbrotovy množiny fascinovaly. Mandelbrotovu množinu ve své práci [6] popsal nejdříve teoreticky, poté se zaměřil na její vizualizaci v software *Mathematica*.

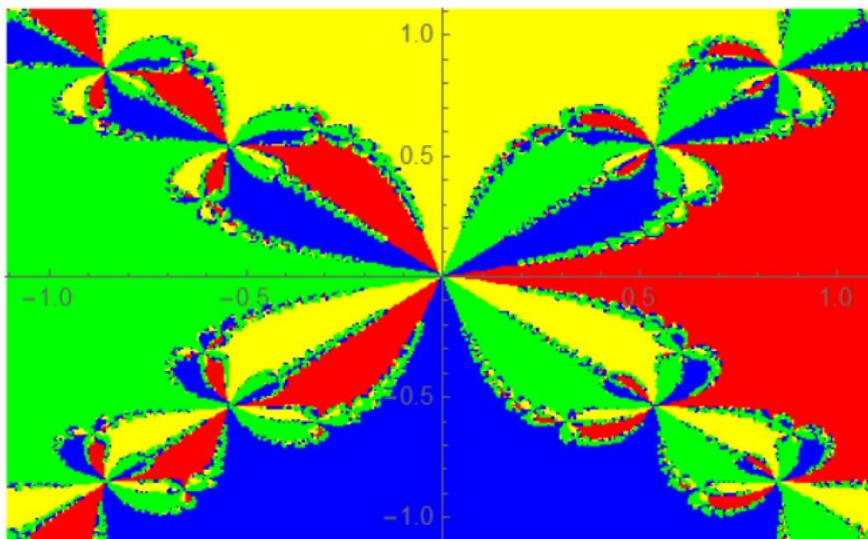
Mandelbrotovu množinu objevil polský matematik *Beniot Mandelbrot* a množina vzniká iterací relativně jednoduchého procesu, který je popsán rovnicí  $f(z) = z^2 + c$ , kde  $z$  a  $c$  jsou komplexní čísla. Číslo  $c$  je pro daný výpočet konstantní, číslo  $z$  se postupně mění: hodnota získaná jako řešení v  $n$ -tém kroku se použije jako vstupní proměnná do  $(n+1)$ -ního kroku iterace. Pokud takto získaná posloupnost komplexních čísel  $z$  nediverguje, tvoří tato čísla (resp. body v Gaussově rovině) Mandelbrotovu množinu (obr. 10).



Obr. 10 Vizualizace Mandelbrotovy množiny

Množinu autor vizualizovat třemi různými matematickými přístupy, které vedly k témuž výsledku. V rámci vizualizace porovnával výsledný obraz množiny v závislosti na počtu iterací, které ve svém programovém kódu použil. Jednu z teoretických metod pak aplikoval dvěma různými postupy – vlastním programovým kódem („hrubou silou“) a s využitím vestavěné funkce v programu *Mathematica*, která je pro podobné iterační úlohy vhodná.

V další části práce pak autor vysvětlil Newtonovu metodu tečen pro hledání kořenů polynomických rovnic. Pokud se tato metoda aplikuje na hledání kořenů v množině komplexních čísel, vykazuje fraktální chování. Základem metody je počáteční odhad kořene, od kterého začíná vlastní iterace. Skript, který autor napsal, volil za počáteční bod Newtonovy metody postupně body Gaussovy rovny a hledal kořen příslušné rovnice. Tato rovnice měla přitom jednoduše počítatelné kořeny, takže bylo možné po nalezení kořene Newtonovou metodou obarvit bod, v němž metoda začínala, barvou, která byla přiřazena příslušnému kořenu nalezenému předem. Obarvení Gaussovy roviny pak tvoří fraktál; na obr. 11 je zobrazen fraktál vzniklý hledáním kořenů rovnice  $x^4 - 1 = 0$ .



Obr. 11 Newtonův fraktál pro rovnici  $x^4 - 1 = 0$

## **Závěr**

Žáci maturitních ročníků školy vytvořili řadu kvalitních prací napříč všemi obory, které lze ve škole studovat. Do tohoto článku se dostaly jen ty, které souvisí s fyzikou a byly zdařilé. Řada dalších velmi zdařilých prací se netýká fyziky ale chemie, programování, konstrukce různých zařízení, ..., proto by bylo možné je prezentovat na jiném místě. Stejně tak to platí i pro práce ostatních oborů školy, které jsou zaměřeny více na konstrukce elektro-technických zařízení nebo na výrobu audiovizuálních děl.

## **Literatura**

- [1] SPŠST Panská [online]. Dostupné z: <https://www.panska.cz/> [citováno 26. 7. 2022].
- [2] Dusilová B., Wenigr T.: *Kladky*. SPŠST Panská, Praha, 2022.
- [3] Autodesk [online]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/> [citováno 26. 7. 2022].
- [4] Balvín O., Blahovský O.: *Měření rychlosti projektilu vystřeleného ze vzduchové pistole*. SPŠST Panská, Praha, 2022.
- [5] Šerý V., Záruba K.: *Fyzikální vlastnosti alkoholu*. SPŠST Panská, Praha, 2022.
- [6] Kafka M.: *Mandelbrotova množina*. SPŠST Panská, Praha, 2022.

## Co je nového v Turnaji mladých fyziků?

STANISLAV PANOS

Gymnázium F. X. Šaldy, Liberec

### Abstrakt

*Přestože Turnaj mladých fyziků existuje již 35 let, stále se jedná o méně známou soutěž s menším počtem účastníků. Svůj podíl na tom může mít náročnost soutěže nebo fakt, že se jedná o týmovou soutěž. S cílem podpořit zejména začínající týmy zavedl organizační výbor některé nové podpůrné aktivity. Cílem tohoto příspěvku je seznámit posluchače s vlastní soutěží i postupně zaváděnými novinkami.*

### Stručná historie

Turnaj mladých fyziků je soutěží pětičlenných družstev složených z žáků středních škol. Nejedná se o sportovní soutěž, jak by snad název mohl napovídat, ale o soutěž vědomostní a dovednostní.

Historie Turnaje mladých fyziků sahá do roku 1978, kdy skupina pracovníků Fyzikální fakulty Moskevské univerzity kolem profesora *Jevgenije Junosova* připravila fyzikální soutěž pro družstva žáků moskevských středních škol a gymnázií pod názvem „*Turnir junnych fizikov*“. Díky obrovskému nadšení se podařilo lokální soutěž postupně přeměnit v soutěž celostátní. Již v roce 1988 tehdejší 10. ročník Moskevského turnaje mladých fyziků probíhal jako celostátní v tehdejším Sovětském svazu a jako 1. Mezinárodní Turnaj mladých fyziků neboli *International Young Physicists' Tournament* (IYPT), tehdy ještě zvaný „*Intěrnacionalnyj turnir junnych fizikov*“. Je třeba připomenout, že ona mezinárodnost spočívala v účasti družstev z Bulharska, Československa a dalších 29 soutěžních družstev ze 14 svazových republik tehdejšího Sovětského svazu. Hned v následujícím roce 1989 se do soutěže zapojila družstva Polska, Maďarska, ale i Nizozemí a tehdejšího tzv. Západního Německa. Po roce 1990 se přidávaly další státy z Evropy, Asie, Jižní a Severní Ameriky, dále družstva z Austrálie a Nového Zélandu. Jednácím jazykem se stala angličtina a soutěž dostala svůj současný název *International Young Physicists' Tournament* (IYPT). V posledních letech počet států zapojených do soutěže kolísá kolem 30 až 35 států [1].

### Charakteristika soutěže

Každý rok vybere mezinárodní organizační výbor 17 soutěžních úloh, tzv. problémů. Problémy, které prošly několikastupňovým oponentním řízením, jsou náročné, komplexní, originální a obecně formulované. Co si představit pod pojmem otevřená obecně formulovaná úloha? Asi každý se někdy setkal s úlohou:

*„Bazén se jedním přívodem naplní za 3 hodiny, druhým přívodem se naplní za 7 hodin. Za kolik hodin se bazén naplní, jestliže budou otevřeny oba přívody?“*

Tuto úlohu bystrý student vyřeší za 5 minut. Méně bystrý, ale snaživý, student možná i za kratší čas, protože se naučil mechanický postup, který jednoduše aplikuje bez většího přemýšlení. Může se zdát, že se jedná o jednoduchou uzavřenou úlohu. Tato úloha se objevuje ve sbírkách příkladů v různých modifikacích. Problém nastává, pokud zadání poněkud upravíme. Extrémním případem může být modifikace:

*„Holič A ostříhá zákazníka za 20 minut, holič B ostříhá stejného zákazníka za 15 minut. Jak dlouho bude trvat stříhání, budou-li oba holiči stříhat společně?“*

Je zřejmé, že dva holiči stříhající stejnou hlavu si budou při práci překážet, tedy výsledný čas nebude odpovídat času získanému stejným řešením jako v předchozím případě bazénu. Tato spíše úsměvná formulace chce ukázat na důležitý fakt, který byl v původní úloze s bazénem opomenut, že množství vody přitékající prvním a druhým přívodem je vzájemně nezávislé. Úlohu lze modifikovat třeba takto:

*„Voda v boileru se jedním topným tělesem ohřeje za 3 hodiny, druhým topným tělesem za 7 hodin. Za kolik hodin se voda v boileru ohřeje, jestliže budou zapojena obě topná tělesa?“*

Budeme-li uvažovat, že výkon topných těles je stálý, pak úlohu lze řešit stejně jako bazén. V praxi ale může nastat několik komplikací:

Obě topná tělesa nemohou pracovat společně, protože jejich proudový odběr je větší než jmenovitá hodnota jističe, na který je boiler připojený.

Elektrické vedení mezi boilerem a nejbližší transformátorovou stanicí je natolik dlouhé, že elektrické ztráty ve vedení už nelze zanedbat.

Úloha není nijak neobvyklá, přesto, pokud budeme požadovat přesné řešení, budeme nuceni sestavit mnohem komplikovanější model celé situace než jen

výkony topných těles. V úloze není definován objem bojleru, kvalita izolace, účinnost ohřevu topnými tělesy a další podstatné parametry a startovní a konečné teploty ohřívání vody. A přesně takovými úvahami se musí zabývat soutěžící v Turnaji mladých fyziků.

Vlastní výběr zadaných úloh má zavedený postup. Každý ze států zapojených do IYPT je povinen dodat každoročně minimálně 3 náměty. Přestože ne všichni tuto povinnost splní, má komise pro výběr problémů každoročně k dispozici mezi 150 až 250 náměty. Komise vyřadí úlohy nevhodné, špatně formulované nebo úlohy, které již byly zadány někdy v minulosti. Tím se soubor zmenší na cca 100 námětů. Poté zástupci jednotlivých států problémy oznámují. Z nejlépe hodnocených problémů je vybrán mix 17 úloh obsahující úlohy z nejrůznějších partií fyziky. Podmínkou pro dobrý problém je, aby byl zajímavý, řešitelný a možná i hravý. Namátkou lze jmenovat problém z minulého ročníku[2], který zní: „*Při točení tyčkou obalenou viskózní kapalinou (např. medem) přestane tato kapalina za určitých podmínek stékat. Prozkoumejte tento jev.*“ Je zde popsána situace, kterou mnozí z nás jistě znají. Možná tuto skutečnost vzali jako fakt, ale dále o příčině tohoto jevu neuvažovali. Do jaké hloubky se tým při řešení „ponoří“, záleží pouze na samotných studentech. Velmi často se ukáže, že z počátku jednoduše vypadající problém, je ovlivněn obrovským množstvím dalších jevů. Nejednou bylo třeba sáhnout po znalostech z řady dalších vědních oborů jako chemie, zeměpis nebo biologie. Samotné řešení úloh má velmi blízko k dnes velmi populární metodě badatelsky orientované výuky.

První úrovní soutěže je školní kolo. Hlavním posláním školního kola je se-stavení soutěžního družstva. Úkolem družstev je vyřešit čtyři tzv. povinné úlohy, které vybere ČV TMF. Při výběru povinných úloh je brán zřetel na to, aby řešení úloh nevyžadovalo speciální experimentální vybavení, aby řešení úloh bylo bezpečné a zejména, aby úlohy motivovaly začínající týmy k účasti v soutěži. Písemná řešení povinných úloh anonymně ohodnotí komise složená z minimálně tří nezávislých hodnotitelů. Výsledné bodové ohodnocení dané úlohy je stanoveno jako aritmetický průměr bodů jednotlivých hodnotitelů. Hodnocení povinných úloh se později připočítává k bodovému zisku týmu v regionálním kole.

Regionální a ústřední kola jsou druhou, resp. třetí úrovní soutěže. Regionální kola a ústřední kolo probíhají v anglickém jazyce formou vědecké diskuse mezi týmy nad řešenými úlohami. Družstva si rozloží jednotlivé role pro diskusi – referující, oponent a recenzent. Družstvo v roli oponenta zadá týmu v roli referenta úlohu. Pokud družstvo úlohu přijme, předvede své řešení úlohy. Následně nad úlohou oponent s referentem diskutují. Závěrem třetí družstvo



v roli recenzenta zhodnotí vystoupení obou družstev. Průběh diskuse veřejně hodnotí komise odborníků z oblasti fyziky. Během soutěže se družstva vystřídají ve všech rolích. V regionálním kole je možné, aby v anglickém jazyce probíhalo pouze vystoupení referujícího při prezentaci řešení, ostatní části mohou být v češtině. V ústředním kole se předpokládá vyšší úroveň družstev, proto již celá soutěž probíhá v angličtině. Nejlepší družstva z regionálních kol postupují do ústředního kola soutěže. Vítězné družstvo z ústředního kola získává právo reprezentovat Českou republiku na světovém finále.

### **Co je nového?**

V následujícím odstavci budou zmíněny některé novinky a připomenuty některé skutečnosti, které nejsou úplně známé.

### **Soutěžní družstvo**

Pravidla pro složení soutěžního družstva pro TMF nejsou příliš přísná, přesto stojí za připomenutí. Soutěžní družstvo je složeno z 3-5 studentů středních škol doplněné o maximálně 2 náhradníky. Protože někdy bývá obtížné sehnat 5 zapálených studentů, je možné soutěžit i v menším počtu. Škola může, ale nemusí přihlásit až 2 náhradníky, kteří mohou nahradit libovolné členy soutěžního družstva, pokud by se ti nemohli soutěže z nějakého důvodu zúčastnit. Po dohodě s vedením soutěže může škola přihlásit více soutěžních družstev. Pravidla také připouštějí soutěžní družstvo složené z žáků více škol. Soutěžní družstvo může přihlásit nejen škola i jiný právnický objekt, např. středisko volného času, TALNET, ...

### **Úvodní soustředění**

Staronovou aktivitou je pořádání Úvodního soustředění pro řešitele TMF. Tato aktivita bude od podzimu 2022 obnovena po nucené pauze vyvolané protiepidemickými opatřeními v letech 2020-2021 vyhlášenými MZ ČR. Soustředění proběhne pod patronací FJFI ČVUT, FzÚ a JČMF ve dnech 7.-8. 10. 2022 v Praze. Cílem je dát soutěžícím určitý návod k jednotlivým úlohám, naznačit, kudy se do řešení pustit a na co se zaměřit. V neposlední řadě se začínající družstva seznámí se soutěží a dostanou rady do začátku.

### **„Restart“ po pandemii**

V důsledku pandemie covid 19 došlo v TMF k poklesu soutěžících podobně jako i v jiných soutěžích. Po analýze příčin tohoto stavu došel Český výbor TMF k závěru, že to může být způsobeno únavou nejen žáků, ale i učitelů fyzi-

ky po 1,5 roce distanční výuky a jednom školním roce opakovaně přerušovaném karanténami tříd nebo učitelů. Jako řešení současné situace a pro usnadnění vstupu nových družstev do soutěže byly navrženy následující dvě novinky. Jedná se o spolupráci s projektem VYDRA a zavedení konzultantů k jednotlivým úlohám. Obě aktivity mají ulehčit práci učitelům při vedení soutěžních družstev.

### **Spolupráce s projektem VYDRA**

VYDRA je zkrácený název pro aktivitu nazvanou „Výlet do reálné vědecké práce ve fyzice“. Tento projekt existuje nezávisle na TMF a snaží se studentům přiblížit práci vědců. Studenti si projdou celým procesem řešení určitého problému. Začíná se analýzou zadání, pokračuje se přes rešerši zdrojů informací k návrhu experimentu a teoretického modelu až k provedení experimentu a jeho vyhodnocení. V neposlední řadě je třeba srovnat teoretický model s experimentem a z výzkumu sepsat zprávu nebo připravit prezentaci výsledků. K výše popsanému VYDRA po-užívá velmi podobné problémové úlohy, jaké jsou řešeny v TMF. Protože fyzikální komunita v ČR není velká, je logické, že mnozí lidé podílejících na organizaci VYDRY a TMF nemají prázdný průnik. Vznikla tak přirozená spolupráce, kdy v rámci VYDRY bude řešeno několik úloh TMF. VYDRA tým získá zajímavé náměty a TMF další formu konzultací pro účastníky. Nadále ale zůstávají VYDRA a TMF nezávislými. Pro účast v TMF není nutná účast ve VYDŘE a naopak.

### **Konzultanti k jednotlivým úlohám**

Velká část úloh TMF jde svou náročností za rámec středoškolského učiva, což klade velké nároky na vyučující–vedoucí družstev. Někdy je potřeba získat informace z odborných článků ze zahraničních časopisů nebo použít některé speciální experimentální vybavení. Pravidla povolují družstvům požádat o pomoc materiální (za-půjčení vybavení, umožnění provedení měření v laboratorii, ...) nebo odbornou další subjekty, např. pracoviště FzÚ AV ČR, VŠ atd. Ne každý vyučující má kontakty na taková pracoviště nebo odborníky z VŠ. Z tohoto důvodu byli k jednotlivým úlohám určení konzultanti, kteří jsou schopni poradit případným zájemcům, kam mají směřovat řešení, pomohou zprostředkovat kontakt na odborné pracoviště nebo pomohou se zapůjčením vybavení. Studenti samotní nebo jejich vyučující–vedoucí družstev budou tedy vědět, na koho se u dané úlohy s prosbou o pomoc mají obracet.

### **Konzultace s hodnotiteli**

Úlohy školního kola posuzuje několik hodnotitelů a jednotlivá družstva dostávají nejenom bodové, ale i slovní hodnocení. Ve snaze posunout zpětnou vazbu, kterou družstva k odevzdaným řešením dostanou, byla v roce 2022 zavedena online konzultace s hodnotiteli. Online forma byla zvolena z důvodu úspory času. Ve většině případů by cesta jednotlivých účastníků diskuse (porotců nebo soutěžících) zabrala více času než samotná diskuse. Je technicky zabezpečeno, aby o dané úloze s hodnotiteli diskutovalo pouze družstvo, které úlohu vypracovalo, nikoliv jeho soupeři. Během online diskuse je možné podrobně probrat připomínky a náměty porotců, zodpovědět dotazy soutěžících nebo objasnit případné chyby v řešení. Ta-to forma posouvá zpětnou vazbu k řešení na zcela jinou, vyšší úroveň. Samotnými účastníky byla tato aktivita hodnocena velmi kladně. V následujících ročnících bude v této aktivitě pokračováno.

### **Symposium TMF**

Jedním z benefitů TMF není jen soutěžení, ale i diskuse mezi samotnými soutěžícími o řešených úlohách během přestávek, pauzy na oběd a ve všech dalších volných chvílích. TMF tak není jen soutěžením, ale i setkáváním mladých talentovaných lidí zapálených pro přírodní vědy. Symposium TMF vzniklo jako určité nouzové řešení v roce 2020 v době covidových omezení a zákazu soutěží. Přestože situace okolo omezení a zákazů vyvolaných pandemií byla velice nepřehledná, studenti na řešení úloh stále pracovali, i když s různými obtížemi. Vedení soutěže usoudilo, že by bylo škoda, aby řešení úloh skončila v šuplíku nebo v koši. V okamžiku, kdy vládní opatření umožnila pořádání konferencí, bylo uspořádáno nulté Symposium TMF jako vědecká konference na půdě FzÚ AV Praha. Ve dvou dnech se setkali okolo deseti účastníků, kteří předvedli svá řešení vybraných úloh a následně o nich všichni podiskutovali. Akce se setkala s pozitivním ohlasem, proto byla s odstupem 2 let letos na přelomu dubna a května zopakována. V soutěži je zadáno 17 úloh, ale ne všechny úlohy mohou být během postupových kol nebo během ústředního kola prezentovány. Právě Symposium je vhodným místem, kde mohou řešitelé předvést svým kolegům svá řešení. Zúčastnit se mohou i ti studenti, kteří nějakou z úloh vyřešili, ale soutěžní tým nakonec nesestavili.

Účastníci se sešli v Kempu Kajlovec v Kajlovci u Hradce nad Moravicí. Symposium bylo spojeno s přípravou reprezentačního družstva pro IYPT 2022. Účastníci prodiskutovali předvedená řešení a reprezentanti získali některé

náměty na možná vylepšení úloh před odjezdem na IYPT 2022. Všichni si užili i doprovodný program přednášek a výletů.

### **Závěr**

Turnaj mladých fyziků je středoškolská týmová soutěž, která kromě fyzikálních dovedností rozvíjí i schopnosti jazykové, organizační, komunikační, manuální a technické a v neposlední řadě schopnost spolupráce několika lidí v týmu. V mnohém se podobá reálné práci ve vědě a výzkumu, kdy na první pohled jednoduchý problém generuje během řešení množství dalších otázek či experimentálních výzev.

Soutěžní družstva jsou složená z 3-5 žáků středních škol. Soutěž probíhá na třech úrovních: školní kolo, regionální kolo a ústřední kolo. Soutěž má pouze jednu kategorii, družstva mohou být složena z žáků napříč jednotlivými ročníky SŠ. Tato skutečnost napomáhá udržet kontinuitu soutěžení na škole, kdy po odchodu maturantů nemusí dojít ke ztrátě dříve nabytých zkušeností. Český výbor Turnaje mladých fyziků v posledních letech zavedl řadu podpůrných aktivit s cílem podpořit soutěžící i pedagogy.

### **Literatura**

- [1] *Web IYPT* [cit. 21. 8. 202]. Dostupné online: <https://iypt.org> (anglicky)
- [2] *WebČV TMF*. [cit. 21. 8. 2022]. Dostupné online: <https://tmf.fzu.cz> (česky)

## 10 let Náboje Junior

KATEŘINA ROSICKÁ

Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy

### Abstrakt

*Soutěž Náboj Junior je soutěž pro žáky druhého stupně základní školy v matematice a ve fyzice. Soutěž se koná na mnoha místech zároveň, což umožňuje se zúčastnit žákům ze všech koutů republiky bez nutnosti příliš daleko cestovat. S desetiletou historií se soutěž již řadí mezi tradiční, se vzrůstající tendencí počtu soutěžících, který se v posledních letech vyšplhal až k tisícovce. Soutěž rovněž roste mezinárodně z původního zapojení České republiky a Slovenska až po letošní zapojení sedmi států.*

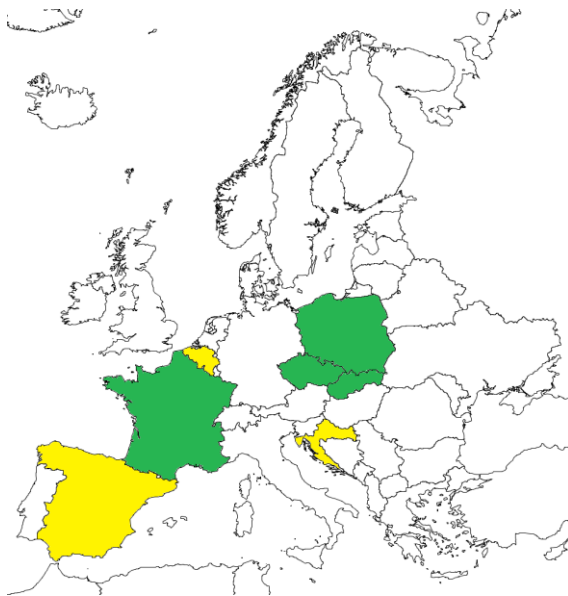
### O soutěži

Soutěž Náboj Junior je týmová soutěž v matematice a fyzice pro čtyřčlenné týmy složené z žáků 2. stupně základních škol. Týmový charakter soutěže vyžaduje od soutěžících žáků nejen schopnost řešit úlohy, ale také efektivní spolupráci a rozvržení práce mezi jednotlivými členy týmu. Soutěžní úlohy jsou přizpůsobené žákům 8. a 9. tříd a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií a jsou navrženy tak, aby vyžadovaly nejen bezhlavou aplikaci nabitých vědomostí, ale také vlastní invenci a logické myšlení. Žáci také dostanou k dispozici seznam všech potřebných vzorců a konstant, aby je nemuseli vědět z paměti. Soutěž se koná na několika soutěžních místech zároveň, aby každý tým mohl soutěžit v blízkosti své školy a nemusel daleko cestovat. Zároveň však díky hernímu systému umožňuje v reálném čase porovnání se soutěžními týmy v jiných soutěžních místech v rámci celé České republiky i mezinárodně.

### Historie

Soutěž Náboj Junior začínala jako MF Náboj v roce 2012 v České republice a na Slovensku. V dalších letech byla soutěž přejmenována na Náboj Junior a postupně se zvyšoval počet soutěžních míst a zapojených soutěžících. Na přípravě úloh spolupracovala česká a slovenská strana, přičemž posledních několik ročníků je plně v gesci slovenských organizátorů. Ke dvěma zakládajícím státům se v roce 2017 přidalo Polsko nejprve pouze s jedním soutěžním místem pro 20 týmů, což se v následujícím roce rozšířilo na více míst a srovnatelný počet týmů jako zakládající státy. V roce 2020 soutěž z důvodů probíhají-

cí pandemie koronaviru nekonala, protože z důvodů uzavření škol a omezení volného pohybu nebylo možné, aby se členové týmu sešli na jednom místě, což by omezilo možnost spolupráce mezi členy týmu. V roce 2021 uspořádání soutěže v tradičním formátu možné nebylo, avšak díky otevření škol bylo možné soutěž uspořádat v online podobě se soutěžením ve školách pod dozorem učitelů. Tento ročník v online podobě byl také vhodným ročníkem pro širší expanzi do dalších evropských států. V roce 2021 se tak soutěž kromě České republiky, Slovenska a Polska uskutečnila také ve Francii a se čtyřmi týmy ze Španělska v mimořádně zřízené kategorii Open. V roce 2022 se pak soutěž v tradičních třech zemích vrací do prezenční podoby a ve Francii, Španělsku, Nizozemí a Chorvatsku se koná v online podobě.



Obr. 1 Mapa zapojených států v roce 2021 (zeleně)  
a nových států v roce 2022 (žlutě)

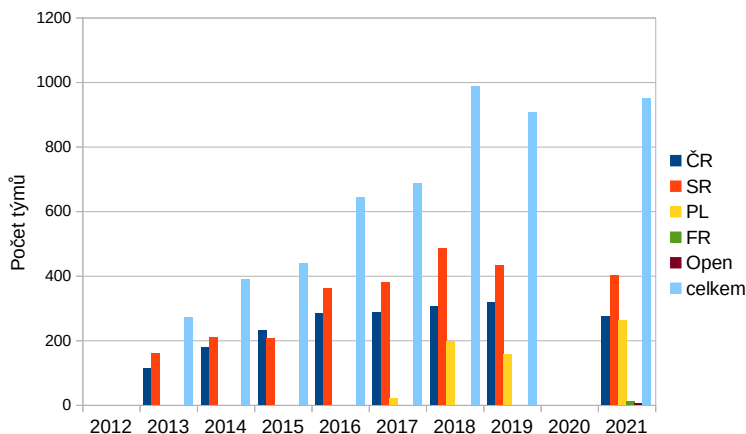
### **Průběh soutěže**

Soutěž probíhá podle klasického schématu soutěží typu Náboj, které je shodné i pro středoškolské soutěže Matematický a Fyzikální Náboj a v pozmě-

něné podobě se s ním setkáváme i u soutěží Fyziklání a Fyziklání Online. Soutěž probíhá tak, že každý tým má na počátku soutěže na stole 6 úloh, které po spuštění soutěže může začít řešit. Když má úlohu vyřešenou, napíše na papírek se zadáním svůj výsledek a vyše svého zástupce k opravovatelům. Pokud je řešení úlohy správné, tým dostane za úlohu bod a úloha mu je vyměněna za novou, a to až do vyčerpání připraveného počtu úloh. Pokud je řešení úlohy špatné, je s ní soutěžící poslán zpět ke svému týmu s možností si výsledek opravit. Když však tým odevzdá již třetí špatnou odpověď, můžou po něm opravovatelé chtít vysvětlit postup řešení, aby se zabránilo náhodnému tipování. Po skončení časového limitu soutěže vyhrává tým, který získal nejvíce bodů, v případě rovnosti bodů pak tým, který vyřešil úlohu s nejvyšším pořadovým číslem.

### Statistiky

V průběhu deseti let své existence zažil Náboj Junior devět ročníků, kdy až do roku 2018 počet zúčastněných týmů rostl, od té doby zůstává i přes pandemii koronaviru stabilní a drží se na počtu kolem 300 týmů v České republice a kolem 900 týmů mezinárodně. To odpovídá přibližně tisíci zúčastněným žákům v ČR, což řadí Náboj Junior k největším týmovým soutěžím pro žáky základních škol. V loňském roce se bylo možné soutěže zúčastnit na celkem 19 soutěžních místech, které byly rozmístěné ve všech krajích kromě Středočeského, který ovšem zastřešovala dvě soutěžní místa v Praze. Vývoj počtu přihlášených týmů v předcházejících letech můžeme vidět na obrázku 2.



Obr. 2 Vývoj počtu týmů v průběhu posledních let

## Obecná teorie relativity středoškolsky – učební web pro zájemce o relativitu

MATĚJ RYSTON

Katedra didaktiky fyziky, MFF UK, Praha

### Abstrakt

*V tomto příspěvku stručně představíme online materiály vytvořené v rámci autorovy dizertační práce a určené pro středoškolské studenty a učitele. Účelem materiálů je nabídnout zájemcům mezi studenty možnost seznámení se se základními myšlenkami obecné teorie relativity (OTR) co nejnázorněji a v řeči středoškolské matematiky a fyziky, ale zároveň technicky správně. Pro učitele byla také navržena a vyzkoušena ucelená učební sekvence, tzv. „relativistická dílna“, která může být použita přímo ve výuce jako samostatné několikahodinové seznámení se základní myšlenkou OTR pomocí praktických aktivit.*

### Představení materiálů

Hlavními dvěma výstupy autorovy dizertační práce „Teorie relativity – jak na středoškolské úrovni rozvíjet její pochopení“ (v době psaní tohoto příspěvku ještě neobhájena) jsou učební web pro zájemce o OTR mezi středoškolskými studenty, učiteli ale i absolventy (myšleno kdokoli, kdo prošel střední školou s alespoň základní výukou matematiky a fyziky) a návrh několikahodinové učební sekvence, umožňující učiteli zařadit alespoň stručně téma OTR do své výuky. Oba materiály jsou k dispozici na webové stránce [1] a nyní si je stručně popíšeme.

### Učební web

Z dotazníkového výzkumu mezi gymnaziálními učiteli fyziky (a stejně tak z autorovy osobní zkušenosti) poměrně jasně vyplývá obtížnost zavádění nových, byť atraktivních témat do výuky fyziky díky relativně malé hodinové dotaci. To byl hlavní důvod, proč namísto uceleného tématu o obecné relativitě do výuky byl vytvořen učební web pro zájemce. Středoškolským učitelům fyziky může tedy sloužit primárně jako reference pro studenty, kteří se o OTR chtějí dozvědět více.

Online forma umožňuje kromě běžného učebního textu s ilustracemi využití i dalších prvků jako animace, videa, přímé odkazy na další informace

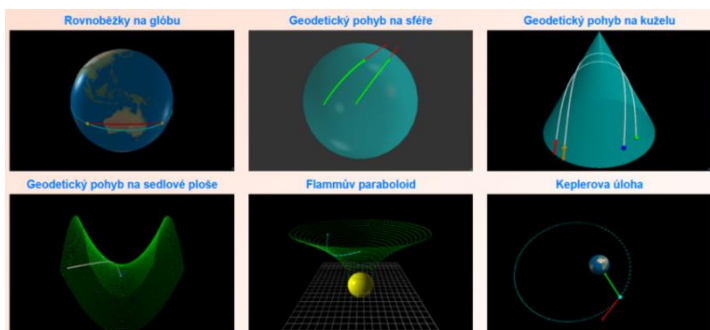


a fyzikální applety, proto byla zvolena jako primární. Na webu je také k dispozici mírně upravená offline verze ve formátu PDF. Učební text si klade za cíl přístupnou ale technicky správnou a detailní formou seznámit čtenáře se základními myšlenkami, ale i postupy OTR. Za tím účelem ale obsahuje i několik předchozích kapitol vymezujících základní pojmy z klasické fyziky a speciální teorie relativity (STR). Kapitola o STR sice také seznamuje čtenáře s jejími základy a je tak například detailnější než známá gymnaziální učebnice o STR [2], ale je třeba dodat, že hlavním účelem této části je připravit půdu pro poslední a nejobsáhlejší část o OTR. Hlavním cílem bylo vytvořit jakýsi kompromis mezi populárně naučnými knihami, které sice o OTR hovoří, ale poměrně v dosti obecné rovině, a vysokoškolskými učebnicemi, které jsou z hlediska střední školy technicky náročné a zejména matematicky složité. Ve výsledku to znamená, že se v textu nevyhýbáme matematice a technickým detailům, vždy ale takovým, které by měly být pro středoškoláka pochopitelné. Vstupní požadavky na čtenáře nejsou nikterak vysoké. Text počítá se základní znalostí jednoduchých matematických funkcí (mocniny, odmocniny, goniometrické funkce) a schopností typu dosazení do vzorce a úprava výrazu. Z fyzikálního hlediska nejsou žádné předchozí vlastnosti striktně vyžadovány, ale je praktické, pokud čtenář prošel alespoň částečně středoškolskou mechanikou, aby mu pak byly použité příklady a vzorce povědomé (např. pro rovnoměrně zrychlený pohyb), a mohl se více soustředit na novou „látku“.

Téměř všechny použité vztahy jsou v textu odvozeny, ale jejich znalost není vyžadována, takže odvození si mohou zájemci rozbalit, aby nenarušovala plynulost textu. Některá složitější odvození vyžadující například derivace jsou zjevně označena a jsou určena pro zkušenější čtenáře. Prakticky tak tvoří matematicky sofistikovanější doplnění textu, které by ale nemělo být překážkou pro ostatní čtenáře.

Jak už bylo zmíněno, text je doplněn i o interaktivní applety, jejichž přehled vidíme na obr. 1. Je na ně odkazováno v příslušných částech textu a také ze samostatné stránky. Applety jsou vytvořeny pomocí grafické knihovny Visual Python a jsou vloženy přímo do webového prohlížeče, takže není třeba nic instalovat ani stahovat.

Tematická náplň učebního webu byla zvolena na základě rešerše vybraných učebnic a dalších populárních a polo-populárních knih o relativitě. Text byl pročitán třemi recenzenty, mimo jiné odborníkem z Ústavu teoretické fyziky MFF UK a dále středoškolským učitelem. Části textu byly pročitány i středoškolskými studenty.



Obr. 1 Přehled appletů doplňujících učební text

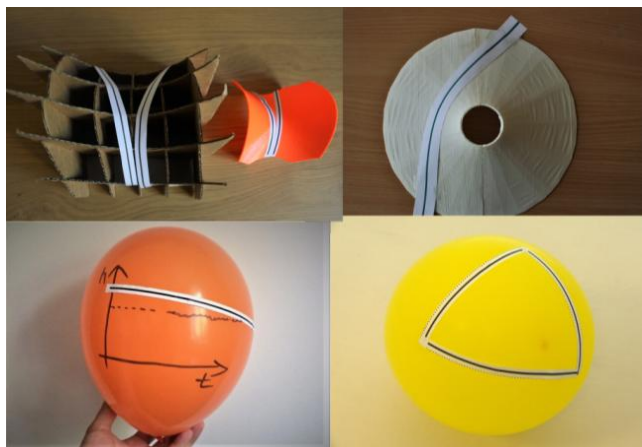
## Relativistická dílna

Kromě učebního webu, který je zamýšlen jako mimoškolní aktivita pro zájemce, byl vytvořen také návrh výukové sekvence, jak studentům přiblížit základní myšlenku OTR. I když zavádění nového tématu do výuky je z časových důvodů náročné, přece jen konkrétní situace na každé škole je jiná a je možné, že některý učitel bude mít možnost a zájem toto téma přece jen zařadit. Popis celé dílny můžete najít na zmíněném učebním webu [1] v sekci *Relativistická dílna*.

Navrhovaný postup je založen na několika základních principech:

**Praktičnost a názornost:** Označení dílna používáme proto, že se nejedná o čistě teoretickou přednášku, ze které by si studenti toho zas tak moc neodnesli. Ačkoli jistě teorii a výkladu se neubráníme, těžiště celého návrhu spočívá v praktických aktivitách. Studenti si tak budou moci předváděné koncepty přímo osahat (aktivity zaměřené na neeukleidovskou geometrii – obr. 2) či něco spočítat (dilatace času v satelitu globální navigace).

**Časová flexibilita:** Protože se konkrétní situace a hlavně časové dispozice na každé škole mohou lišit, návrh dílny je možné uzpůsobit konkrétním potřebám. Návrh obsahuje několik aktivit „navíc“, které nejsou pro průběh nezbytné, ale hezky ilustrují či rozšiřují již dříve řečené. Časovou náročnost proto uvádíme jako 3-5 vyučovacích hodin. Dílna se také dá uskutečnit v kuse, jako jednorázový (například odpolední) seminář pro zájemce. V této podobě byl také několikrát zorganizován autorem příspěvku na čtyřech různých gymnáziích a postupně vylepšován na základě průběhu dílny a zpětné vazby získávané od studentů na konci.

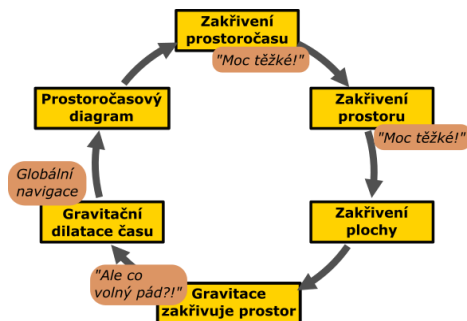


Obr. 2 Příklady geometrických aktivit představujících neeukleidovskou geometrii

**STR netřeba:** Ačkoli OTR vychází ze své speciální předchůdkyně, a na vysoké škole se učí tedy typicky až v návaznosti na STR, v případě střední školy se může jednat o velkou překážku, protože na školách často STR vyučována není nebo je vyučována třeba až ve čtvrtém ročníku, což opět limituje, kdy toto téma zařadit. Samozřejmě za optimální situace při dostatku času můžeme dílnu zrealizovat pro studenty až po tématu STR a probíranou látku více provázat. Na druhou stranu, dílna je koncipována tak, že základy STR pro ni nejsou potřeba, čímž se otvírá možnost při omezené časové dotaci a případném zájmu studentů mluvit pouze o OTR. Dílna si klade za cíl vysvětlit základní myšlenku OTR, a to sice, že „gravitace je zakřivení prostoročasu“. A pojem prostoročasu je právě typicky zaváděn už v STR v souvislosti s dilatací času a dalšími jevy, zatímco obecná relativita interpretuje gravitaci geometrickým způsobem jako jeho zakřivení.

V dílně se pokoušíme dojít k pojmu prostoročasu jiným způsobem, který je naznačen na obr. 3. Komplikované a těžko představitelné zakřivení prostoročasu si pomyslně rozdělíme na zakřivení prostoru a „zakřivení“ času (tedy gravitační dilataci času, slovo zakřivení je zde použito čistě návodně). Zakřivení prostoru je ale stále těžko představitelné, takže se věnujeme zakřiveným plochám, na kterých si ukazujeme existenci neeukleidovské geometrie. Po jejím prozkoumání se její závěry pokusíme zobecnit i pro zakřivený prostor a poukážeme na podobnost chování těles v gravitačním poli a zakřiveném pro-

storu. Snadno ale ukážeme, že takový přístup není dostatečný, protože nedokáže například vysvětlit volný pád (zakřivený prostor stáčí trajektorie těles, ale nerozpohybuje je).



Obr. 3 Myšlenkové schéma průběhu relativistické dílny

Následuje část věnovaná gravitační dilataci času, ve které rozebíráme zjednodušený model satelitní globální navigace a spočítáme si, jak se liší plynutí času na Zemi a v satelitu systému Galileo. Výsledkem je, že bez relativistických korekcí by satelitní navigace nefungovala.

Na závěr propojíme tyto dvě části a ukážeme, že až když uvažujeme zakřivení ne jen prostoru, ale i času (tj. čas neplyne všude v gravitačním poli stejně), dohromady tedy prostoročasu, lze volný pád a potažmo veškeré známé gravitační jevy vysvětlit tímto způsobem.

## Závěr

Všechny uvedené materiály jsou volně dostupné na zmíněném odkazu. Pokud Vás zaujaly, přemýšlíte o jejich využití, máte k nim nějaký dotaz, připomínku či návrh na zlepšení, prosím pište na [matej.ryston@mff.cuni.cz](mailto:matej.ryston@mff.cuni.cz). Budu si velmi cenit i třeba jen stručné zprávy o Vaší zkušenosti s těmito materiály.

## Literatura

- [1] *Relativita: Proč a jak?* [online]. 2022 [cit. 2022-08-29]. Dostupné z: <https://kdf.mff.cuni.cz/relativita-stredoskolsky/>
- [2] Bartuška, K.: *Fyzika pro gymnázia: Speciální teorie relativity*. Prometheus, Praha 2010 (4. vydání). ISBN 978-80-7196-388-2

## **Částice + difuze + fluorescence – aneb co často chybí středoškolákům pro zvládnutí technických a biomedicínských univerzitních oborů**

JOSEF SKOPALÍK<sup>1,2</sup>, JIŘÍ SEKORA<sup>3</sup>, JAN BELZA<sup>4</sup>, TOMÁŠ HORÁK<sup>4</sup>,  
TOMÁŠ PARÁK<sup>2</sup>

(1) FBMI – České vysoké učení technické v Praze, (2) Farmaceutická fakulta MU Brno, (3) UBMI – Fakulta el. a kom. technologií – Vysoké učení technické v Brně, (4) Regional Centre of Advanced Technologies and Materials, Czech Advanced Technology and Research Institute (CATRIN), Palacký University Olomouc, (4) FSI – Vysoké učení technické v Brně

### **Abstrakt**

*Difuze a s ní související vědomosti o škále částic a možnostech jejich vizualizace jsou klíčové pro pochopení základních jevů v buňkách a tkáních, také však pro řadu teorií i praktických aplikací ve farmakologii, medicíně a oborech technického směru. Přesné matematicko-fyzikální vyjádření difuze ve výuce se v ČR tradičně omezuje na vybrané obory vysokoškolského studia, základy difuze jsou běžnému absolventovi střední školy představeny jen ve velmi omezené míře (cca ve 4 výukových hodinách za dosavadní 9+4roky studia; z větší části ve výuce chemie), což řadě z nich přináší značné potíže. Příspěvek shrnuje zkušenosti autorů se základními dotazy studentů na teorii difuze (a související klasifikaci částic) při jejich studiu řady problematických kapitol vysokoškolského studia (farmakokinetika, ředění plynů, difuze plynů, přesuny iontů na membráně buněk, transport léčiv a škodlivin). Ve finále je představen návrh „user-friendly“ výukových modulů a interaktivních simulátorů, které by mohly být vhodné jak pro doplnění středoškolských předmětů (hlavně termodynamiky a částicové fyziky), ale také pro určitý přípravný proseminář u řady oborů na VŠ. Všímáme si také, jak minimalismus výuky tohoto tématu v ČR kontrastuje s trendy v několika ostatních zemích.*

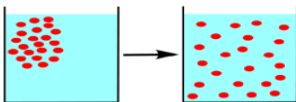
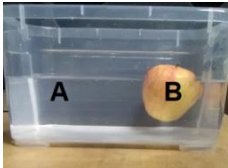
### **Problémové znalosti studentů a motivace pro návrh výukových změn**

Dobrá představa o difuzních jevech (difuze farmaka z krve, přechod molekul přes membránu, kinetika difuze škodlivin nebo virových částic do místnosti) je dnes u českých maturantů velmi omezená, velmi zarážející je také malá znalost základních veličin a pojmů spojených s difuzí a jejím měřením. Čerstvě zapsaným studentům 1. ročníku VŠ, (vždy 10 náhodně vybraných studentů z oborů biomedicínské inženýrství, farmakologie, všeobecné lékařství a molekulární biologie) byly položeny otázky týkající se znalostí teorie difuze a základních logických úvah o difundujících částicích nebo iontech – viz Tab. 1. Těchto 8 základních otázek bylo úmyslně „zamícháno“ do 25-otázkového testu všeobecných znalostí (jiné praktické otázky ohledně hustoty, plavání, tlaku plynů, ionizujících částic, optických soustav), tak aby studentům nebylo ze sady otázek jasné, že se dotazujeme právě cíleně hlavně na teorii difuze a s ní související osmotické jevy. V tabulce jsou statisticky vyneseny i úspěšnosti v odpovědích studentů.

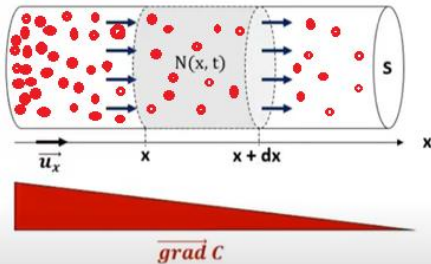
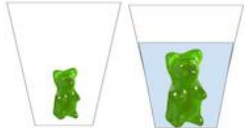
Absolventi středních škol z ČR v testových otázkách měli největší problém se stanovením relevantních veličin, které ovlivňují tok difundujících látek (otázka 5) a prakticky vůbec nebyli seznámeni s definicí gradientu (otázka 7), který se užívá v rámci vysvětlení Fickova zákona, celkové skóre úspěšně zodpovězených otázek bylo pro celý soubor 40 studentů z ČR 40,3 %. Paralelní testy vrstevníků ze Slovenska, Řecka, Turecka a Ukrajiny (opět 40 studentů / stát) ukázaly obdobnou míru znalostí pro tyto státy (celkové skóre: S 38,4 / Ř 33,5 / T 54,8 / U 52,1 %).

Díky kontaktu s vyučujícími v prvním ročníku oborů VŠ vyučovaných v anglickém jazyce a online komunikace se spolupracujícími pracovišti byly otestovány ještě 20ti členné skupiny studentů prvních ročníků obdobných oborů s absolvovaným sekundárním vzděláním v Indii, Francii, Alžírsku, Íránu a na školách v Jižní Korei. O 23 % větší úroveň znalostí oproti studentům ČR prokázali dotazovaní studenti z Indických škol (vše střední školy britského typu s výukou dle britských kurikul), nepatrně více znalostí prokázali studenti z Francie a Alžírských škol (lycea francouzského typu). Překvapivě ještě vyšší úroveň vykazaly testovani z Íránu a nejlepší průměrné skóre vykazali absolventi jihokorejských středních škol (souhrnně Tab. 2).

Tab. 1. Analýza znalostí českých studentů

Otázky připravené pro 40 studentů z ČR	Správně	Špatně	Úspěšnost
<p>1/ Na obrázku je 1 mililitrová zkumavka, do jejího levého horního rohu nakápneme 22 toxických molekul. Jaký fyzikální jev nastane po pár minutách? Umíte odhadnout koncentraci v horní čtvrtině zkumavky na začátku a pak na konci pokusu?</p> 	33	7	82,5 %
<p>2/ Umíte posoudit, zda rozložení molekul do celého objemu v předchozí otázce bude rychlejší při vyšší teplotě?</p>	23	17	57,5 %
<p>3/ Umíte posoudit, ve kterém kompartmentu (A = voda okolo jablka, B = vnitřek jablka) je vyšší koncentrace fruktózy (cukru)? A ve kterém vyšší koncentrace vody?</p> 	14	26	35 %
<p>4/ Pokud by byla „polopropustná slupka“ jablka propustná jen pro vodu a nikoli pro fruktozu, nakreslete směr přechodu molekul přes membránu.</p>	10	30	25 %
<p>5/ Dovedete zakroužkovat, na které z níže uvedených veličin závisí masivní nebo mírný přesun molekul přes membránu v minulé otázce? Připište, zda velikost veličiny přímo úměrně urychluje přesun.  <i>S Povrch jablka</i>  <i>T Teplota vody</i>  <i>n Index lomu vody</i></p>	5	35	12,5 %

## Veletrh nápadů učitelů fyziky 27

$\rho$ Aktuální hustota vody $\Delta\rho$ Rozdíl hustoty látky v A a B $\Delta c$ Rozdíl koncentrace fruktózy v A a B			
6/ Pokud máme v bazénu milion jedovatých molekul Novičoku a potapěč X se ponoří do poloviny těla a druhý potapěč Y se ponoří do 2/3 těla, který bude mít větší pravděpodobnost otravy? Proč?	24	16	60 %
7/ Víte, co znázorňuje schéma níže? Víte co je veličina „grad c“ ? 	2	38	5 %
8/ Dovedete vysvětlit, jaký jev způsobí zvětšení želé-medvídky poté, co ho zalijeme studenou neperlivou čistou vodou? 	18	22	45 %

Tab. 2 Analýza znalostí cizojazyčných studentů

Indie	Francie + Alžírsko	Írán	Jižní Korea
63,8 %	68,2 %	70,3 %	87,5 %



## Analýza výukových materiálů teorie difuze - krátký pohled do tuzemska a ciziny

Při pohledu na současné středoškolské učebnice z České republiky a okolních států je vidět klasický historický přístup – tedy nekvantitativní velmi stručný popis jevu „difuze“, následně uvedení i pojmu „osmóza“ a v některých učebnicích (zejména chemie) jeden po staletí opakovaný zástupný příklad (ovoce nebo erytrocyt v hypotonické nebo hypertonické lázni). Stěžejní základní pojem „koncentrace“ není však připomenut z dřívějších ročníků resp. „gradient koncentrace“ vlastně není až na výjimky matematických tříd vysvětlen studentům na školách vůbec, jakákoli kvantitativní formulace zákonitostí difuzního toku chybí, nástin Fickova zákona je velmi nedokonalý. Situace není lepší ani v sadě starších učebnic (shrnutých např. v [1]).

Francouzské kurikulum a typické učebnice (pozn.: ve frankofonních zemích je typická dvojučebnice Fyzika-Chemie pro jednotlivé ročníky SŠ) ukazují, že pojem „difuze“ je v seznamu kapitol u všech variant učebnic a při bližším pohledu na pomocné výukové materiály z řady škol je vidět, že se žáci seznámí s existencí Fickova zákona a to velmi elegantně – nepotřebují k tomu často znát ani pojem gradient, neboť Fickův zákon je často představen v „praktickém tvaru“ (Tab. 3 levý sloupec) bez nutnosti vysvětlovat diferenciální počet.

Tab. 3. Reprezentativní přehled zpracování tématiky difuze

FRANCOUZSKÁ OBLAST	ANGLO-SASKÁ OBLAST	KOREJSKÉ MATERIÁLY
<p>masse diffusant per unité de temp</p> $\frac{\Delta n}{\Delta t} = -D S \frac{\Delta c}{\Delta x}$ <p><b>koeficient difuze</b>  <math>D = k T / f</math>              (zavisi na teplotě)</p> $\left[ \frac{\Delta n}{\Delta t} \right] = \text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$	<p>rate of diffusion</p> $\frac{\Delta n}{\Delta t} =$ <p>= - <b>DIFFUSIVE CONSTANT</b> <math>\frac{\text{Surface area}}{\text{Membrane thick.}}</math> <math>\frac{\text{Conc. difference}}{\text{Membrane thick.}}</math></p>	<p>diffusion flux vector</p> $\mathbf{J} = \frac{\Delta n}{\Delta t} \frac{1}{S} = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$ $[\mathbf{J}] = \text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
<p>Další varianty výuky:</p> $\frac{dm}{dt} = -D \frac{dc}{dx} S$ <p>Flux de matiere <math>[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]</math> Gradient de concentration <math>[\text{kg} / \text{m}^3]</math></p>	<p>Další varianty:</p>	<p>Nástin i pro navazující pokročilé učivo (2. Fickův. zákon)</p>

	$Jd = D \times A \times T \times \left( \frac{dc}{dx} \right)$ <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 20px; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <math>dx</math> = Membrane thickness  <math>T</math> = temperature  <math>A</math> = surface area of membrane  <math>D</math> = diffusivity coefficient of the solute         </div> </div>	
--	---	--

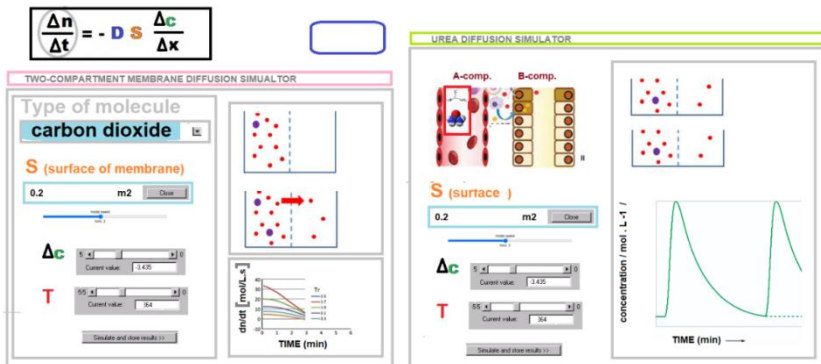
Ve stejné Tab. 3 v dalším sloupci je pak překopírován typický zápis Fickova zákona z anglo-saských učebnic a výukových modulů (nutno podotknout, že ne všechny regionální verze učebnic obsahují Fickův zákon). Propracovanější učebnice se snaží vzorec dobře ilustrovat příklady a pomáhají tak dobře si uvědomit praktickou závislost difuzního toku na teplotě a povrchu styčných ploch (používají označení  $A$  místo středoevropského  $S$ ). Formu popisu „difuze/osmózy/Fickova zákona“ pak často přebírají do výukových materiálů i některé blízkovýchodní státy a elitnější střední školy z Indie. Vzhledem k značné lokální odlišnosti základních a výběrových předmětů u sekundárního levelu anglo-saského školství (pro studenty ve věku 12-16 let) však lze podrobným dotazováním studentů zjistit, že s exaktním Fickovým zákonem se seznámí prakticky jen ti, kteří míří ke zkoušce z fyziky nebo chemie v rámci britské CGSE zkoušky (obdobu maturity ve střední Evropě – tedy závěr ze sekundárního vzdělávacího modulu). Samostatnou kapitolou jsou pak kurikula a učební testy korejských středních škol. Jejich dostupnost online je extrémně omezená, skeny papírových výukových materiálů jsou často odvislé od zaměření školy a je obtížné kopie získat, z části se jedná o modifikace anglosaského výkladu přetřansformovaného do korejského jazyka, ve věku 17 let však studenti ovládají i definici derivace a počítání s gradientem a jasně chápou i pokročilé vzorce pro difuzní tok, které středoevropské školy vyučují až v prvních ročnících v rámci odborné termodynamiky a fyzikální chemie.

Nepříjemnou zprávou pro české studenty, je také fakt, že ani pro zájemce z řad maturantů prakticky nejsou dostupné srozumitelné texty rozšiřujícího učiva tohoto tématu. Zásadním problémem z pohledu edukace je ve středoevropském („post-rakouském“) prostředí fakt, že rovnice Fickova zákona se historicky stále píše ve skriptech i monografiích zásadně ve tvaru  $J = -Dx$  gradientu koncentrace (tedy nevystupuje explicitně veličina plocha  $S$  – tj. „styčná plocha dvou kompartmentů“, viz např. i české webové zdroje [2, 3], nebo weby cizojazyčné nejvíce navštěvované na youtube [4]), tedy není explicitně pro středoškolačky viditelná veličina „difuzní množství za čas“ ale celkem méně

srozumitelní veličina „difuzní množství/sekunda a metr čtverečný“. Dobrou praktickou představu o vlivu „velikosti membrány“ a souhry dalších parametrů (teplota, rozdíl koncentrací, difuzní koeficient atd.) si tak český středoškolák velmi těžko odvodí a přijme za své. Ani na cizojazyčných webech pak studenti nenaleznou dobré vysvětlení moderních poznatků, tj. mechanismy ovlivnění toku například semipermeability membrán či dodatkové akcelerace toku ultrazvukem či elektromagneticky, což je poměrně velké téma moderního českého výzkumu [5].

### Vznik výukových modulů

Z výše uvedených důvodů byly pro první ročníky VŠ navrženy výukové moduly obsahující: (A) základní výklad teorie (zejména inspirované francouzskými učebnicemi, bez nutnosti vysvětlení derivací a gradientů), (B) sadu praktických měření s fluorescenčními značkami pomocí elisa readru, (C) praktické user-friendly simulační aplikace. Zatím jsou laboratorní i simulační moduly v testovacím režimu v cvičeních a seminářích našich škol. Náhled na dvě základní simulační utility je na Obr. 1 (přechod oxidu uhličitého přes variabilní membránu; simulace přechodu močoviny v ledvinách z kompartmentu krve do kompartmentu primární moči)



Obr. 1 Ukázky simulačních modulů pro samostatné procvičování studentů.

### Závěr

Prohlubující se nedostatečnost základních znalostí z tématiky difuze a osmózy u absolventů českých maturantů je možno pozorovat již řadu let, situace hendikepuje studenty při pochopení farmakokinetických a dalších technických teorií na VŠ. Vytvořené Interaktivní výukové moduly by mohly tuto situaci zlepšit. Zároveň by mohly efektivně a srozumitelně seznámit studenty i s moderním výzkumem a směry vývoje analytické techniky pro technické i biomedicínské aplikace v této oblasti, jež jsou tradičními učebnicemi i populárními youtube příspěvky prakticky ignorovány.

### Poděkování

Práce byla podpořena z TAČR – projekt FW01010106 a FV30393, resp. Specific Graduate Research BUT FEKT-S-20-6206.

### Literatura

- [1] Lepil, O. (2013). K vývoji učebnic fyziky pro střední školu gymnaziálního typu. *Matematika–fyzika–informatika*, 22 (4), P16-P30.
- [2] Fickův zákon – [https://www.wikiskripta.eu/w/1.\\_Fick%C5%AFv\\_z%C3%A1kon](https://www.wikiskripta.eu/w/1._Fick%C5%AFv_z%C3%A1kon)
- [3] [https://wikijii.com/wiki/Fick%27s\\_laws\\_of\\_diffusion](https://wikijii.com/wiki/Fick%27s_laws_of_diffusion)
- [4] Fickův zákon – <https://www.youtube.com/watch?v=2ZHPcPEuFvg>
- [5] Prucha, J., Socha, V., Sochova, V., Hanakova, L., & Stojic, S. (2018). Effect of high-induction magnetic stimulation on elasticity of the patellar tendon. *Journal of healthcare engineering*, 2018.

## Maličkosti, které vám usnadní přípravu a realizaci pokusů

JANA ŠESTÁKOVÁ

Projekt Žiju fyzikou, Kokořín

### Abstrakt

*Sehnat pomůcky a připravit vše na pokus tak, aby to fungovalo, dá dost práce. Objevila jsem pár vychytávek, které určitě u pokusů a přípravy "fyzikálních hraček" oceníte. Vyrábíte do hodin cédéčková vznášedla na ukázkou pohybu na vzduchovém polštáři a trápíte se vrtáním dírek do víček? Našla jsem cestu, jak vrtání obejít! Stejnou vychytávku můžete použít i na výrobu odpalovacích ramp pro rakety na vzduch. Nefungují vám pokusy s elektrostatikou? Mně se nedařily do chvíle, než jsem objevila "perfektní alobal", který ukáže, že se plechovka nabíjí dokonce i u otevřeného okna, když venku prší, takže v pořádném vlhku. A už jste někdy viděli LEDku, jak blikne jen díky náboji z brčka? Pojďte to zkusit! Stojí to za to!*

### Domácí vznášedlo

#### Pomůcky pro výrobu

CD, nafukovací balónek, tavná pistole, víčko od PET lahve.

#### Výroba a použití

Do víčka od lahve vyvrtejte otvor, víčko přilepte tavnou pistolí nad díru uprostřed CD a na víčko navlékněte nafouknutý balónek. Unikající vzduch z balónku nadzvedává CD a to se po šťouchnutí pohybuje na vzduchovém polštáři výrazně lépe, než když ho necháte jet přímo po podlaze a brzdí ho tření.

Ukažte žákům, jak jede nejdřív CD bez balónku – změřte, jak daleko dojde. Vytvořte ve třídě několik vznášedel a na chodbě mezi třídami uspořádejte závody.

#### Tipy

Nejobtížnější částí výroby je vrtání otvoru do víčka. To můžete obejít použitím rozebíratelného víčka, například z vody Rajec (je vidět na obr. 1). Otvírací část lze snadno odtrhnout a střed víčka vymáčkнуть. Výsledný otvor je ale

poměrně velký a vzduch z takového vznášedla utíká zbytečně rychle. Jako nejefektivnější řešení z pohledu obtížnosti výroby a efektivity uvolňování vzduchu doporučuji propíchnutí víčka větším hřebíkem. Jde to celkem snadno a i malý otvor stačí pro dostatečný proud vzduchu.

“Vyšší verze” domácího vznášedla může mít “startovací víčko”. V tuto chvíli je na nápojích jen málokdy k sehnání, ale pokud na něj narazíte, určitě ho použijte. Trik spočívá v tom, že při navlékání nafouknutého balonku na víčko můžete mít víčko zavřené (zamáčknuté) a otevřít ho až ve chvíli, kdy vznášedlo startujete. Víčko je vidět na obr. 1 a 2.



Obr. 1 Tři druhy víček: s dírou od hřebíku, startovací a s rozebíratelným víčkem



Obr. 2 Domácí vznášedlo před startem se zabrzděným startovacím víčkem

### Zdroj

Domácí vznášedlo znám z Dílen projektu Heuréka.

### Odpalovací rampa

#### Pomůcky pro výrobu

Vodovodní trubka a zahradní hadice (oboje délky cca 30 cm), velká PET láhev, víčko s dírou, lepicí páska. Na výrobu raket: list papíru A4, kousky čtvrtky.

#### Výroba a použití

Spojte lepicí páskou PET láhev, hadici a trubku (v tomto pořadí). Vyrobtě raketu: kolem trubky omotejte list papíru A4 a po délce ho slepte lepicí páskou,

tím získáte tělo rakety. Jeden konec zmáčkněte do špičky a také slepte. Na druhý konec přilepte křídélka z tvrdého papíru ve tvaru trojúhelníku.

Tipy k odpálení rakety: je dobré odpalovat raketu ve dvou lidech, kdy jeden míří a druhý dupe na láhev. Raketa létá opravdu daleko, proto pozor na stromy a střechy, ať při prvním letu nepřijdete o munici. Samozřejmě také dejte při střílení pozor na ostatní lidi.

Jak odpálit raketu? Nafoukněte PET láhev skrz trubku a hadici, nasuňte raketu na trubku, zamiřte a dupněte na láhev.

Se žáky trénujte odhad vzdálenosti doletu rakety, krokování a měření vzdálenosti. Zkoušejte různé elevační úhly a závislost doletu na počtu a velikosti křidélek.



Obr. 3 Odpalovací rampa s raketou



Obr. 4 Rozebíratelné víčko vhodné na propojení hadice a láhve

### **Tip k výrobě**

V jednodušší verzi odpalovací rampy lze pouze slepit láhev, hadici a trubku lepicí páskou. Při opakovaném odpalování ale některé lahve praskají a proto je dobré láhev s hadicí spojit víčkem. Zde se velmi hodí rozebíratelné víčko, protože svým vnitřním průměrem odpovídá nejběžnější zahradní hadici. Víčko stačí rozebrat, přišroubovat na láhev a do víčka vsunout hadici. Při zničení láhve pak stačí jen láhev odšroubovat a vyměnit za jinou. Samotné hadice s trubkami jsou také výrazně lépe skladovatelné bez přilepených velkých PET lahví.

### **Zdroj**

Odpalovací rampu znám z Dílen projektu Heuréka.

## **Nabíjení plechovky**

### **Pomůcky pro pokus**

Plechovka (například od fazolí), vhodná izolační podložka (kyblík na písek, pěnové puzzle, polystyren, karimatka, ...), kancelářská sponka, brčko, papírový kapesník, andělské vlasy – lamety.

### **Použití - tipy**

Jedná se o jeden ze základních pokusů z elektrostatiky, který ale často nefunguje spolehlivě. Tipy tohoto příspěvku spočívají v doporučení na “vychytávky”, které se mi při pokusu opakovaně osvědčily, na použití vánočních ozdob a kancelářské sponky. Plechovku postavíme na izolační podložku. Kancelářskou sponku zohýbáme do tvaru, který lze zavěsit na okraj plechovky, a zároveň ze sponky vytvoříme háček na zavěšení alobalu. Jako vhodně tenký a lehký alobal se mi osvědčila vánoční ozdoba na stromček, která je známá pod názvem lameta nebo andělské vlasy. Jedná se o velmi tenký a úzký proužek alobalu, který se zahákne kolem sponky tak, aby se mohl volně pohybovat.

Třením papírovým kapesníkem o brčko přeneseme z kapesníku na brčko a poté na okraj plechovky záporný náboj. Tenký proužek alobalu se od plechovky odklání a spolehlivě detekuje přítomnost náboje na plechovce, dokonce i za deště u otevřeného okna.



Obr. 5 Zavěšení alobalové lamety na zohýbané kancelářské sponce

## **Zdroj**

Původní pokus “pověste alobal na plechovku” znám z hodin didaktiky.



## **Rozsvícení LEDky brčkem**

### **Pomůcky pro pokus**

Vysocesvitivá červená LED dioda, brčko, papírový kapesník.

### **Použití - tipy**

Pokus zařazují po pokusech ověřujících existenci náboje a před zapojováním obvodů jako “mezikrok”, na kterém je vidět, že náboj dokáže “něco udělat” – blikne díky němu LEDka. Diodě odkloňte drátky od sebe, abyste spolehlivě chytli do ruky jen jeden z konců. Držte rukou záporný konec - delší drátek a po kratším přejed'te brčkem, které jste předtím nabili třením papírovým kapesníkem. Při průchodu náboje z brčka skrz diodu do ruky LEDka bliká.

Na co si dát při pokusu pozor: diodu držte za správný konec a pozorujte diodu z vrchu tak, abyste ji viděli jako kruh. Při pokusu je vhodné mít alespoň lehce zatemněnou místnost.



Obr. 6 LEDku držte za správný konec a pozorujte ji shora

### **Zdroj**

Pokus je původní, vznikl při tvorbě fyzikálního kurzu v projektu Žiju fyzikou.

## Úlohy přírodovědné olympiády EOES jako inspirace pro výuku fyziky

JAN ŠLÉGR, JAN KRÍŽ, FILIP STUDNIČKA A LEONTÝNA ŠLÉGROVÁ

Katedra fyziky Přírodovědecké fakulty Univerzity Hradec Králové

### Abstrakt

*V květnu 2022 proběhla v Hradci Králové mezinárodní přírodovědná soutěž European Olympiad of Experimental Science (EOES). Ve dvou dnech týmy složené z mladých biologů, chemiků a fyziků řešily mezipředmětové experimentální úlohy. V příspěvku představíme popis fyzikální úlohy, které mohou sloužit jako inspirace pro laboratorní práce na střední škole. Jedná se o měření viskozity, součinitele smykového tření, povrchového napětí a tloušťky lidského vlasu pomocí difrakce světla.*

### O soutěži EOES

Evropská olympiáda experimentální vědy (*European Olympiad of Experimental Science*, EOES, [1]) je mezinárodní týmová přírodovědná soutěž pro šestnáctileté a mladší žáky ze zemí Evropské unie. Během soutěžního týdne řeší soutěžící dvě úlohy, které jsou založeny na praktickém experimentování, přičemž integrují tři přírodovědné disciplíny: biologii, chemii a fyziku do jednoho logického celku. Úlohy vyžadují kreativní interpretaci experimentálních dat včetně často překvapivých a vysoce kladně hodnocených alternativních řešení. Tradičně jsou úlohy problémově orientované a propojené s reálným světem, přičemž vždy reflektují témata typická pro pořádající zemi.

Když se podobná soutěž konala v České republice v roce 2011 [2], byla první úloha zaměřena na studium vlastností piva (v biologické části soutěžící studovali kvasinky, v chemické části samotný proces kvašení a ve fyzikální části měřili stupeň piva a množství vzniklého oxidu uhličitého) a druhá úloha na kontaktní čočky.

Během příprav EOES 2021 byli osloveni představitelé České republiky s žádostí o uspořádání EOES v roce 2022. Soutěž proběhla pod záštitou MŠMT a rektorů Univerzity Karlovy a Univerzity Hradec Králové. V roce 2022 uplynulo 200 let od narození *Johana Gregora Mendela*, objevitele zákonů dědičnosti, proto jedno z témat bylo jasné. V biologické části úlohy tedy soutěžící zkoumali zákony genetiky, v chemii deoxyribonukleovou kyselinu a antiviroti-

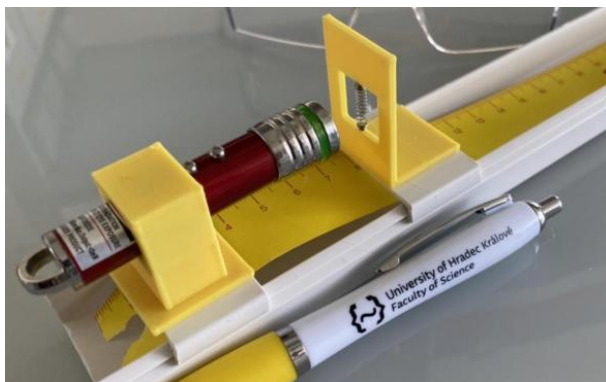
ka z dílny *prof. Holého*. Fyzikální část úloh byla zaměřena na slavný difrakční rentgenový snímek pořízený v roce 1953 *Rosalindou Franklinovou* a jejím studentem *Raymondem Goslingem*, který prokázal, že molekula DNA má tvar dvoušroubovice. Druhá úloha se týkala kyseliny hyaluronové, protože ČR je jedním z jejích největších vývozců.

### Úloha 1: struktura DNA

V zadání úlohy bylo nutné vyložit základní pojmy vlnové optiky, zejména interference a difrakce. První experimentální úloha se pak týkala měření tloušťky lidského vlasu pomocí laseru. Pro maximum a minimum při difrakci na válcové překážce platí v prvním přiblížení

$$d \sin \theta_{\min} = k\lambda,$$
$$d \sin \theta_{\max} = (2k - 1) \frac{\lambda}{2},$$

kde  $k$  je řád maxima (minima),  $\lambda$  vlnová délka použitého záření a  $d$  průměr překážky. Vzorce lze odvodit buď z úvah o interferenci paprsků, nebo využít Babinetův princip – vzorce pro maxima a minima jsou opačné než pro případ štěrbin. Soutěžící měřili polohu minim, protože ta jsou stejně daleko od sebe (naopak nulté maximum je trochu širší než maxima vyšších řádů). Typický výsledek tloušťky vlasu byl  $d = (75 \pm 3) \mu\text{m}$  a výsledky se mezi jednotlivými skupinami příliš nelišily (všechny skupiny měly jako vzorek vlas od stejného člověka).

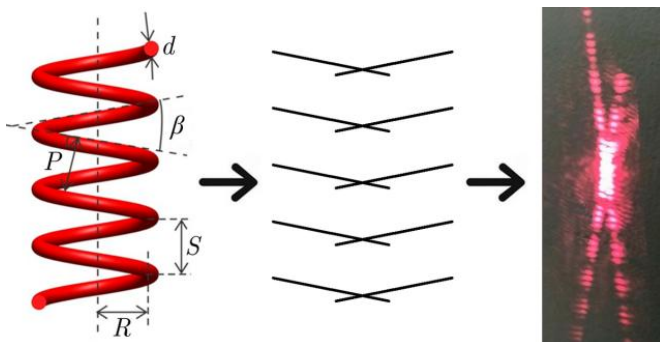


Obr. 1 Držák laseru a pružinky na optické lavici

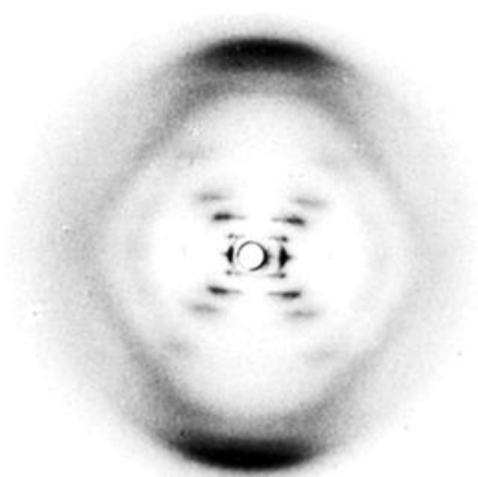
Pro měření byla navržena optická lavice. Stejně jako pro měření čoček v roce 2011 tvoří základ optické lavice elektrikářská lišta, po které lze jednotlivé optické prvky posunovat. Ale zatímco v roce 2011 bylo nutné držáky prvků ručně ohýbat z plechu, pro EOES 2022 byly držáky laseru, vlasu, pružinky (viz dále) a stínítka vytištěny na 3D tiskárně. Taková optická lavice sice neposkytuje stejnou mechanickou pevnost jako kovové optické lavice, ale stále je pro běžná měření dobře použitelná (a přibližně o řád levnější než lavice z nabídky firem dodávajících školní pomůcky).

Po tomto úvodním seznámení s difrakcí byly následně experimentálně určovány parametry šroubovice, kterou byla pružinka patrná v držáku na obr. 1. Zde jsme se inspirovali úlohou mezinárodní fyzikální olympiády [3]. Pružina se efektivně chová jako dvojice mřížek vzájemně pootočených o úhel  $\beta$  (obr. 2). Proto má interferenční obrazec tvar písmene X. Lze ukázat, že studiem jemné struktury lze určit vzdálenost závitů šroubovice  $P$  a z větší (hrubé) struktury tloušťku  $d$  drátu, ze kterého je pružina namotána. Soutěžící určovali obě tyto veličiny a dostali se k typickým výsledkům  $d = (0,20 \pm 0,02)$  mm a  $P = (1,2 \pm 0,1)$  mm, které jsou v souladu s hodnotami určenými z makrofotografie pružinky při přípravě úlohy.

Posledním úkolem byla analýza originálního rentgenového snímku z roku 1953 (obr. 3). Bylo zadáno měřítko snímku, na kterém za pomoci posuvného měřítka odměřovali vzdálenost minim (na obr. 3 se jako tmavé proužky objevují minima jemné struktury), ze kterých následně určovali úhel  $\beta$  a vzdálenost závitů dvojšroubovice DNA. Soutěžící se dostali k typickým výsledkům  $P = (3,9 \pm 0,2)$  nm,  $\beta = (79 \pm 1)^\circ$ .



Obr. 2 Pružina a vznik difrakčního obrazce při rozptylu světla na pružině



Obr. 3 RTG difrakční snímek molekuly DNA

I když v běžné výuce na střední škole pravděpodobně nebude čas na podobnou laboratorní úlohu, ukázka difrakce světla na pružině a rentgenového snímku z obr. 3 může být zajímavým doplňkem výuky vlnových vlastností světla (nebo vlastností rentgenového záření).

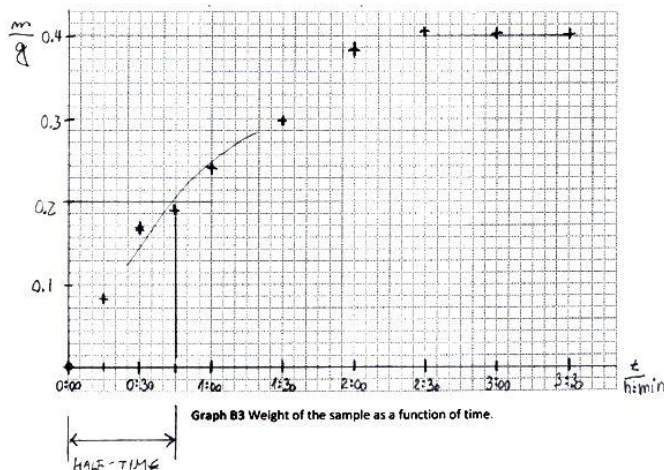
## **Úloha 2: Fyzikální vlastnosti kyseliny hyaluronové**

Česká republika je jedním z největších producentů kyseliny hyaluronové na světě. Kyselina hyaluronová je lineární polysacharid s vysokou molekulovou hmotností a běžně se vyskytuje v lidském organismu. Má ale i různá lékařská využití: Pro své lubrikační vlastnosti se používá jako náhradní výplň kloubů, v oftalmologických operacích a podobně. Často (zejména v televizních reklamách) jsou jí připisovány až zázračné účinky: Používá se v různých krémech proti vráskám (mechanismus účinku by měl pravděpodobně spočívat v hydrataci, protože kyselina hyaluronová velmi dobře váže vodu).

V první části úlohy právě takové vázání vody soutěžící zkoumali. Nepoužívali k němu však kyselinu hyaluronovou, protože rozpouštění krystalické kyseliny hyaluronové ve vodě je velmi „špinavý byznys“. Proto jsme se rozhodli pro použití materiálového modelu – místo kyseliny hyaluronové obdrželi soutěžící kuličku z hydrogelu. Jedná se o gelové kuličky používané v květinářství. Hydrogel vytváří síťovanou strukturu, která je schopna navázat velké množství

vody (až stonásobky hmotnosti v suchém stavu)<sup>1</sup>.

Soutěžící v pravidelných intervalech měřili průměr a hmotnost kuličky. Z původního průměru 1,9 mm a hmotnosti 0,002 gramu se po vložení do vody kulička zvětšila na 9,5 mm a 0,42 gramu, a to exponenciálně (obr. 4). Ze začátku totiž hydrogel váže vodu velmi ochotně, ale čím více vody ve struktuře je, tím pomaleji se váže další. Poločas tohoto děje byl soutěžícími určen jako přibližně tři čtvrtě hodiny.



Obr. 4 Závislost hmotnosti kuličky na čase

Ve druhé části úlohy již soutěžící používali roztok skutečné kyseliny hyaluronové, přičemž měřili jeho povrchové napětí kapkovou metodou. Opatrně vytlačovali roztok z injekční stříkačky, přičemž k odtržení kapky došlo těsně po překonání podmínky

$$mg = \sigma 2\pi r,$$

<sup>1</sup> Protože pak naprostou většinu objemu kuličky tvoří voda, má kulička stejný index lomu jako voda. Dá se proto velmi účinně použít ve škole při výkladu indexu lomu: Pokud takovou kuličku ponoříme do vody, jednoduše *zmizí* – protože má stejný index lomu jako okolní voda, nedochází na rozhraní k lomu paprsků a kulička splyne s okolím. Pak se dá diskutovat, jak vlastně vidíme předměty, které jsou průhledné a podobně.

kde  $\sigma$  je hledané povrchové napětí,  $m$  hmotnost kapky a  $2\pi r$  obvod otvoru hrdla injekční stříkačky. Soutěžící opakovaně kapali padesát kapek vody a kyseliny hyaluronové na Petriho misku umístěnou na digitálních vahách, poloměr  $r$  byl zadán.

Pro vodu byly typické výsledky  $\sigma = (76,4 \pm 0,7) \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ , pro kyselinu hyaluronovou  $\sigma = (64,6 \pm 0,8) \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ . Pro některé soutěžící bylo překvapivé, že kyselina hyaluronová má menší povrchové napětí než voda, přestože má větší viskozitu. Tyto dvě veličiny ale nemusí být nutně korelovány.

Ve třetí části úlohy soutěžící zkoumali lubrikační vlastnosti kyseliny hyaluronové. Jako nejjednodušší způsob určování součinitelů smykového tření byla zvolena nakloněná rovina. Jednalo se o dva elementy vytištěné na 3D tiskárně a spojené závitovou tyčí (obr. 5). Zároveň bylo na 3D tiskárně vytištěno zkušební tělísko. Spodní strana, která byla při tisku na podložce, je hladká, kdežto horní strana je hrubá, protože vrstvy tiskového materiálu nebyly natlačeny na tiskovou podložku. Bylo tak možné naměřit součinitel smykového tření mezi nakloněnou rovinou a hladkou a hrubou stranou tělíska. Těsně před tím, než se dá tělísko po nakloněné rovině do pohybu, platí

$$mg \sin \alpha_{\max} = f mg \cos \alpha_{\max} \quad \Rightarrow \quad f = \frac{\sin \alpha_{\max}}{\cos \alpha_{\max}} = \tan \alpha_{\max}.$$



Obr. 5 Nakloněná rovina se zkušebním tělískem

Pro hrubou stranu byl určen součinitel smykového tření kolem 0,21. Hladká strana má pak na nakloněné rovině součinitel smykového tření asi 0,16. Následně bylo na nakloněnou rovinu nakapáno několik kapek kyseliny hyaluronové a pokus byl opakován. Při tomto měření došlo k poklesu součinitele smykového tření přibližně o dvě třetiny.

Pokud nejsou ve škole sady pro studium tření, ale je k dispozici 3D tiskárna, může být výše popsaná nakloněná rovina zajímavým doplňkem pro školní laboratorní práci prvního ročníku.

## **Závěr**

Popsané úlohy mohou být inspirací pro demonstrační a frontální experimenty na střední škole. Díky dostupnosti 3D tisku lze dnes jednoduše vytvářet nejen výukové pomůcky, ale experimentální sady pro laboratorní úlohy. Staré pomůcky jsou obvykle lepší, ale pokud ve sbírkách nejsou, lze experimentální sady vyrábět za zlomek nákladů, které by byly nutné pro nákup stejného množství sad od firem, které dodávají didaktické pomůcky.

## **Literatura**

- [1] *European Olympiad of Experimental Science*. Dostupné online:  
<https://www.eoes.science/>
- [2] Kabrhel, P., Kříž, J., Šlégr, J. Fyzikální úlohy z mezinárodní přírodovědné olympiády EUSO 2011. *Matematika – Fyzika – Informatika* **21** (2011/2012), s. 475.
- [3] Diffraction due to Helical Structure. *46<sup>th</sup> International Physics Olympiad 2015 Mumbai – India*. Dostupné online:  
<http://www.ipho2015.in/images/qna/ind/EI-Questions.pdf>



## Přehled fyziky pro 2. stupeň ZŠ

JIŘÍ TESAR

Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

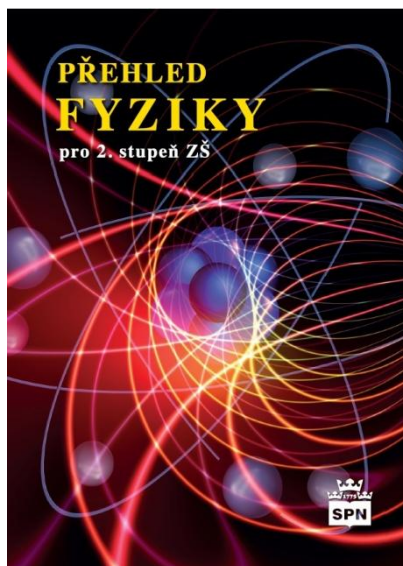
### Abstrakt

*Poster představuje publikaci Přehled fyziky pro 2. stupeň ZŠ jak po stránce obsahové, tak i její formální usprádaní. Kromě toho jsou součástí posteru ukázky různých didaktických přístupů k vytvoření pojmové struktury fyzikálních poznatků pro žáky i pro samotné učitele fyziky.*

### Důvody vzniku publikace

Současná doba je charakteristická příklonem k humanitnímu vzdělání, přestože společenská a ekonomická poptávka preferuje obory technicky zaměřené, které vycházejí z matematicko-fyzikálního vzdělání. Proto je nanejvýš žádoucí co nejvíce podporovat zájemce o tyto obory a to včetně toho, že budeme vytvářet vhodné výukové potupy a studijní materiály, které podají žákům rychle a efektivně požadované informace a vytvoří logickou poznatkovou strukturu. Proto vznikla v produkci Nakladatelství SPN, a.s. [1] publikace Přehled fyziky pro 2. stupeň ZŠ. Tato publikace vychází z ucelené řady učebnic fyziky pro ZŠ [2] a je logickým vyústěním mnohaleté práce autorů těchto učebnic.

Hlavním cílem publikace je zopakovat a prohloubit základní fyzikální poznatky v rozsahu očekávaných výstupů stanovených RVP [3]. Je určena především pro žáky s hlubším zájmem o fyziku a technické obory, resp. pro žáky, kteří řeší úlohy fyzikální olympiády. Samozřejmě uplatnění najde i mezi studenty učitelství fyziky a samotnými učiteli



Obr. 1 Obálka publikace

fyziky jako vhodný didaktický doplněk pro výuku fyziky na ZŠ a nižších stupních gymnázií. Z hlediska žáků lze tuto publikaci chápat jako doplňkovou učebnici.

### **Struktura a uspořádání učebnice**

Struktura učebnice vychází z tradičního dělení fyziky na základních školách, tj. je rozdělena do 8 tematických celků:

Stavba látek

Fyzikální veličiny a jejich měření

Síla a její účinky

Pohyb

Energie

Elektřina

Optika

Akustika

Tyto názvy samozřejmě nemohou vystihovat celý obsah jednotlivých celků, tak např. v celku Elektřina je zahrnut i magnetismus, v celku Akustika vlnění apod. Všechny tematické celky mají stejné uspořádání a strukturu:

vysvětlení základních pojmů,

zavedení odpovídajících vztahů a vzorců,

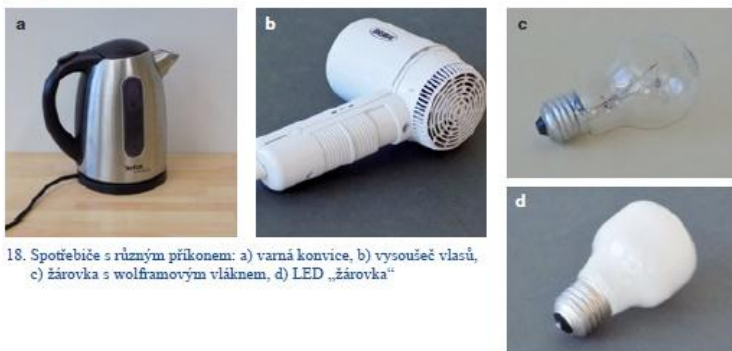
uvedení mnoha tabulek, grafů a obrázků pro lepší pochopení a aplikaci na praxi,

shrnutí tématu v podobě pojmových map,

krátký blok různých úloh a návodů pro vytvoření zpětné vazby.

Následující ukázky z této učebnice dokumentují výše uvedenou didaktickou strukturu, jejímž cílem je zaujmout žáka a vytvořit mu přehledný prostředek pro zopakování, nebo pro vysvětlení pojmů, které nechápe, resp. doplnění poznatků ke známým pojmům, o kterých se potřebuje dozvědět více.

Jednotkou příkonu stejně jako výkonu je **watt (W)**. Užívají se také jednotky **kilowat (kW)** a **megawatt (MW)**.



18. Spotřebiče s různým příkonem: a) varná konvice, b) vysoušeč vlasů, c) žárovka s wolframovým vláknem, d) LED „žárovka“

**Příkony některých spotřebičů – orientační hodnoty**

Spotřebič	Příkon (W)	Spotřebič	Příkon (W)
Varná deska	2 500	Vysoušeč vlasů	600
Pračka	2 300	Chladnička	100
Varná konvice	2 000	Televizor	40–80
Žehlička	1 800	LED „žárovka“	3–10
Mikrovlnná trouba	1 000	Kalkulačka	0,000 2

6 ELEKTRINA

Při činnosti různých elektrických zařízení má větší význam znalost spotřebované energie. Elektrická energie  $E$  je rovna součinu příkonu  $P$  a času  $t$ :

$$E = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$$

Jednotkou elektrické energie stejně jako elektrické práce je **wattsekunda<sup>4</sup> (Ws)**. Užívají se také jednotky **kilowathodina (kWh)** a **megawathodina (MWh)**.

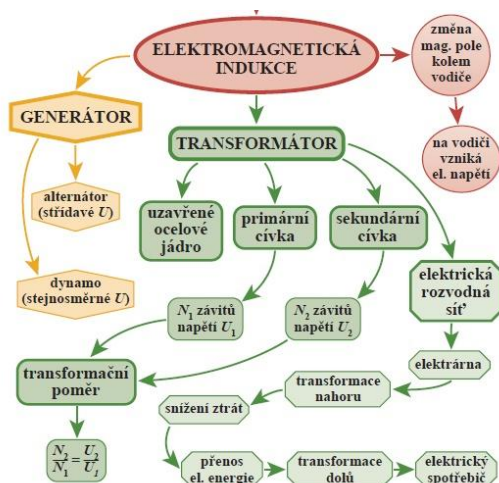
$$1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ Wh}$$

$$1 \text{ MWh} = 1\,000 \text{ kWh}$$

Obr. 2 Elektrický příkon a energie

Z obrázku je zřejmé, že kromě vysvětlení obou pojmů elektrický příkon a energie se uživatel seznámí s jejich praktickým využitím v každodenní praxi a získá orientační přehled o energetické náročnosti různých spotřebičů.

Pojmové mapy jako moderní didaktický prostředek pomáhají vytvořit vizuální podobu vztahů mezi jednotlivými pojmy a z hlediska psychologického využívají kapacitu obou mozkových hemisfér a tím přispívají k lepšímu zapamatování a pochopení učiva. Žáci se s nimi musí naučit pracovat. Jakmile se s nimi ztotožní, jsou velmi dobrým prostředkem pro vytvoření poznatkové struktury daného tematického celku.



Obr. 3 Pojmová mapa Elektromagnetická indukce

6. Prohlédněte si doma různé „žárovky“ a podle údajů na krabičce nebo na jejich patičce určete jejich světelnou účinnost.

7. Jak se odráží světelný paprsek, který dopadá kolmo k rovině zrcadla, tj. ve směru kolmice dopadu?

8. Jak musí být velké zrcadlo, abychom v něm viděli celou svoji postavu (obr. 23)? Jak daleko od zrcadla musíme stát?



23. Člověk stojící před zrcadlem

9. Zmačkejte kousek alobalu a potom trochu vyrovnejte. Posviťte na takto vytvořené zrcadlo a popište, jak se bude světlo odrážet. Kde v praxi se podobný jev využívá?



24. Odraz paprsků od zmačkaného alobalu



**Co lze vyčíst z grafu 1?**

- A – žák jde pěšky na zastávku autobusu ( $v = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ )
- B – žák stojí – čeká na zastávce autobusu ( $v = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ )
- C – žák jede autobusem ( $v = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ )
- D – žák jde pěšky ke škole ( $v = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ )
- E – žák stojí – čeká např. na otevření školy ( $v = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ )

Obr. 4 Úlohy pro zpětnou vazbu

Protože je tato publikace určena především pro individuální studium žáků, je logické, že každý tematický celek uzavírá ukázkou řešení typových fyzikálních úloh, zadání dalších kvantitativních úloh, námětů na samostatné bádání, resp. návodů na provedení zajímavých fyzikálních pokusů.

Aby žáci dostali zpětnou vazbu k úlohám uvedeným na konci každého tematického celku, jsou na konci učebnice uvedeny výsledky s jednoznačnou odpovědí a řešením, resp. krátký návod na řešení problémových úloh.

## Závěr

Cílem tohoto příspěvku je ukázat obsah a formu zpracování učebnice Přehled fyziky pro ZŠ. První ohlasy od učitelů z praxe ale i studentů učitelství fyziky ukazují, že tato publikace může přispět k zefektivnění výuky fyziky a nalezne uplatnění v přípravě nadaných žáků při řešení úloh fyzikální olympiády, resp. v různých fyzikálně technických zájmových kroužcích.

Rovněž neaprobovaní učitelé naleznou v této publikaci ucelený přehled učiva fyziky základní školy a získají tak jednoduchý studijní materiál, který vhod-

ným způsobem doplňuje učebnice fyziky při přípravě a realizaci vyučovacích hodin.

Kromě výše uvedených zkušeností lze tento přehled využít při diskusi, která v současné době probíhá v rámci revize Rámcových vzdělávacích programů [3], neboť tato publikace podává učivo, které se ve většině případů na našich základních školách při výuce fyziky probírá.

## **Literatura**

[1] [spn.cz](http://spn.cz)

[2] <https://www.naseucebnice.cz/fyzika/>

[3] <https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcove-vzdelavacici-program-pro-zakladni-vzdelavani-rvp-zv/>

## **Poděkování**

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu GAJU 041/2022 STEM.

## **Bádání s nadšením 2022**

*KATEŘINA VÁGNEROVÁ*

Masarykova ZŠ Klatovy; Gymnázium Jaroslava Vrchlického Klatovy;  
Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy Praha

### **Abstrakt**

*Představení 3 nejpovedenějších badatelských aktivit pro zvědavé prvostupňové děti z letošní činnosti LogIQ klubu nadaných dětí v Klatovech. Tyto aktivity byly součástí letošního ročníku soutěže Pohár vědy.*

Účast na konferenci VNUF byla podpořena v rámci projektu Projekt Specifického vysokoškolského výzkumu SVV, MFF UK.

### **Klub nadaných dětí**

Klub nadaných dětí je volnočasová aktivita pro zvědavé školáky I. stupně ZŠ, která běží přímo na škole jednou týdně v době odpolední družiny. Program klubu je zaměřen na logické úkoly, badatelství, jazykové hry, diskusní aktivity. V rámci klatovského klubu jsou děti rozděleny na kroužek pro 1. a 2. třídu ZŠ a 3. – 5. třídu ZŠ. Pro vstup do klubu není žádné výběrové kritérium kromě zájmu dítěte. Více o klubech nadaných dětí: <https://deti.mensa.cz/>

### **Pohár vědy**

Pohár vědy je badatelská biologicko-fyzikálně-chemická soutěž s přesahem do čtenářských kompetencí pro dětské týmy všech věkových kategorií. Je zdarma, rozvíjí nadšení pro experimentování a zkoumání společně s týmovou prací. Pro věkovou kategorii předškoláků a mladších školních dětí se u nás jedná o jedinou takovou soutěž. Na tuto věkovou kategorii se také zaměřuje příspěvek.

Soutěž má 4 domácí kola v měsících leden až duben, při kterých vždy přihlášené týmy plní zadané úkoly v kategoriích Kreativita a nápad, Teorie a výzkum a Praxe a projekt. Nejúspěšnější řešitelé z každé kategorie vyjma té nejmladší na závěr postupují do prezenčního finále v České republice.

Jedná se o mezinárodní soutěž. Tradičně se zapojují celé školní třídy, kluby i rodinné týmy z České republiky, Slovenska a Turecka, nicméně soutěž je zcela otevřena celosvětově. Veškerá zadání jsou zveřejňována česky i anglicky a řešení mohou účastníci odevzdávat také tak. Velkou devizou této soutěže je

fakt, že po každém kole přijde řešitelům písemná pozitivní zpětná vazba. Celkově je soutěž pojata velmi motivačně, povzbudivě a pozitivně.

Soutěžní úkoly jsou ze všech oblastí přírodních věd. Většina úkolů vyžaduje bádání a měření. Děti se tak učí vyhledávat informace, ale také popisovat svá pozorování i zaznamenávat výsledky svých experimentů. Na úkoly nejsou potřeba žádné speciální pomůcky, při úkolech si děti všechno potřebné vyrábí z běžně dostupného domácího materiálu.

Každý soutěžní rok se nese v jiném tématu. V roce 2022 byla soutěž inspirována *Leonardem da Vincim*, v roce 2023 má podtitul „kolem světa“. Více o soutěži, včetně přihlášek: <https://www.debruar.cz/science-cup/>

## ÚKOL: MOST

Vytvořte **jen za použití** papíru a lepidla most, který překlene propast širokou alespoň 30 cm a udrží závaží alespoň 250 g.

Děti zkoušely různé stavitelské přístupy a popisovaly svá zjištění ohledně stability a nosnosti jejich vytvořených mostů. Objevily a formulovaly 3 různé principy:

a) zvolíme dostatečnou vrstvu papíru, která unese závaží, a most na obou stranách zatížíme velkou plochou rozloženého papíru – nejde ani tak o váhu papíru na krajích, jako o plochu;

b) rozložíme hmotnost závaží do mnoha malých plošek – buďto do hrotů složené harmoniky, nebo obloučků složených ruliček;

c) zvolíme konstrukci s podpěrami a oblouky (jako mají třeba kamenné mosty přes řeky).

Společně s úkolem stavby papírových mostů měly děti v tomto kole soutěže ještě **další „mostní“ aktivity**: postavit samonosný most, postavit jakýkoliv vlastní most z nějakého jiného materiálu a vydat se ve své obci k prohlídce mostů – k čemu slouží, jak jsou stavěné. Také najít odpovědi na otázky, který most v České republice je nejdelší, nejstarší, nejhezčí. I tyto úkoly jsou velmi důležité zvláště u mladších dětí. Učí je totiž práci s informacemi, postupovat podle návodu a komplexnímu myšlení. Navíc je nutné každý splněný úkol nějak zaznamenat, např. zápisem do badatelského deníku nebo týmové badatelské kroniky, který je nedílnou součástí vypracování soutěžních úkolů.



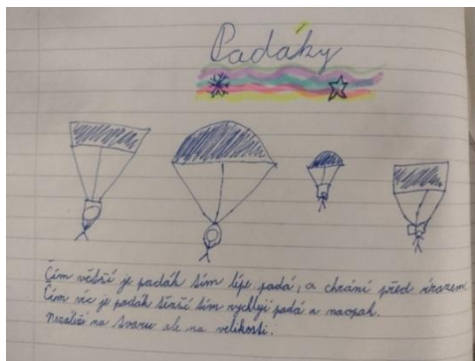


Obr. 1 Příklady dětských papírových mostů

## ÚKOL: PADÁK

*Na čem všem závisí padací vlastnosti padáků? Z novin vystříhnete různě velká kolečka, čtverce, obdélníky, jiné tvary, po obvodu vždy umístíte 4 stejně dlouhé provázky, které spojte pod padákem kolíčkem na prádlo, to bude váš parašutista.*

Jiným typem úkolů jsou výzkumné úkoly, při kterých děti musí soustavně nasbírat informace pomocí experimentu a formulovat závěr. Je vidět velký posun v myšlení a způsobu práce dětí podle věku. Zatímco prvňáčci mají potřebu zkoušet extrémní případy (největší padák, nejmenší padák) každý sám, aby formulovali své závěry, pátáci si již dokáží rozdělit práci a pokrýt tak širokou škálu výzkumných situací a lépe pak celkově vyhodnotit pozorování. Děti také musí vymyslet způsob měření a zaznamenávání výsledků svého badání, aby s informacemi mohly následně dále pracovat. Jedná se tedy o velmi komplexní úkol, zároveň ale spojený s velkou zábavou a nadšením ze strany dětí.



Obr. 2 Příklad dětského zpracování úkolu v badatelském deníku

Jiným úkolem byl vlastní padák **jen z povolených pomůcek**: 2 mikrotenové sáčky 30-40 l, 2 m provázku, izolepa, 10 špejlí, 10 brček, kolíček na prádlo (parašutista), plastový / papírový kelímek, nůžky. Tento typ úkolů učí děti také důležitému faktu, že není nutné použít všechny povolené pomůcky, ale umět kreativně zacházet s omezenými zdroji. Děti, které úkol plnily až po výzkumu novinových padáků, mohly využít předchozí zkušenosti, což se odrazilo na jejich konstrukcích.



Obr. 3 Příklady dětské konstrukce vlastního padáku a záznamu této konstrukce v badatelském deníku

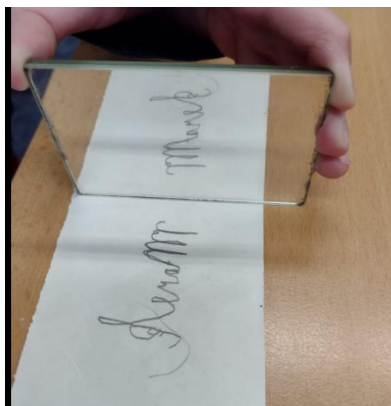
## ÚKOL: ZRCADLENÍ

*Nakreslete takovou polovinu obrázku, aby zrcátko přidalo tu druhou půlku.*

*Těžší: podepište se tak, aby to bylo čitelné až v zrcátku.*

*Nejtěžší: vymyslete a napište taková slova, kterých napišete jen půlku, a tu druhou přidá zrcátko.*

Tento úkol je opět velmi komplexní. Nutí děti kombinovat znalosti (v tomto stupni vzdělávání zatím jen zkušenostní) ohledně osové symetrie, jazykové a motorické schopnosti. Zvláště u nejtěžšího úkolu musí děti pracovat v několika postupných krocích: najít symetrická písmena a skládat smysluplná slova pouze jejich kombinací.



Obr. 4 Příklady vypracování úkolů zrcadlení

Zrcadla a zrcadlicí plochy obecně mohou být velkým zdrojem úkolů. Součástí soutěžního kola zaměřeného na zrcadla byly také úkoly: projděte se doma, ve škole i venku a najděte všechny plochy, které něco zrcadlí. Pozorujte a popište, co vidíte. Vezměte si do ruky lžíci a pečlivě pozorujte, co se v ní odráží.

### **Závěr**

Soutěž Pohár vědy pro kategorii ZŠ I. stupeň přináší kvalitní badatelská zadání pro děti této věkové kategorie. Komplexní úkoly umožňují dětem rozvinout své badatelské schopnosti, jazykové kompetence, kritické myšlení i schopnost spolupráce a komunikace.

## Jak FYKOS přibližuje (nejen) experimentální fyziku

MARTIN VANĚK, DANIELA DUPKALOVÁ

Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, Praha

### Abstrakt

*Fyzikální korespondenční seminář MFF UK (FYKOS) probíhá již šestatřicátým rokem. Za tu dobu rozšířili organizátoři FYKOSu svoji působnost o mnoho akcí, od tradičních soustředění pro nejlepší řešitele semináře, přes Den s experimentální fyzikou a Týden s aplikovanou fyzikou, při kterých žáci získají možnost podívat se do špičkových vědeckých pracovišť v Praze a okolí, ale i zahraničí, až po Fyziklání, největší týmovou fyzikální soutěž v ČR, a její online variantu Fyziklání Online. Organizátoři FYKOSu však stále hledají další způsoby, jak středoškolským žákům a veřejnosti přiblížit fyziku (a vědu obecně) a podnítit jejich zájem o ni. Nejnovějším z plánovaných projektů FYKOSu jsou stáže, při kterých nejlepší řešitelé experimentálních úloh FYKOSu získají možnost uskutečnit vědecký projekt na některé z kateder MFF UK s dohledem a podporou tamějšího vědeckého pracovníka. Příspěvek pojedná o této a dalších novinách, a zároveň krátce představí stávající aktivity FYKOSu.*

### O FYKOSu

Fyzikální korespondenční seminář (FYKOS) byl založen v roce 1987. Tehdejší poměrně malý projekt několika studentů MFF UK se ale během let významně rozrostl. Kromě korespondenčního semináře, v rámci kterého je pro středoškoláky připraveno šest sad osmi zajímavých fyzikálních úloh ročně, dnes organizátoři FYKOSu pořádají soutěže Fyziklání, Fyziklání Online či akce jako Den s experimentální fyzikou či Týden s aplikovanou fyzikou. Prostřednictvím této široké nabídky mají středoškoláci možnost rozvíjet se ve fyzice (a v dalších přírodních vědách) poměrně komplexním způsobem napříč jejími disciplínami. Velmi důležitou součástí fyziky, ke které ale žáci středních škol nemívají velký přístup, je experimentální fyzika. Ve FYKOSu se proto i s ohledem na její významné uplatnění snažíme klást na experimentální část této vědy velký důraz. V následujících odstavcích krátce představíme některé ze zmíněných aktivit FYKOSu s vyzdvížením způsobů, kterým pomáhají experimentální fyziku přibližovat.

### Fyzikální korespondenční seminář a soustředění

Jak již bylo zmíněno výše, FYKOS zveřejňuje za rok šest sérií osmi úloh. Tyto úlohy obsahují pět početních úloh (dvě jsou jednodušší, tři zpravidla složitější), které mají za úkol prověřit schopnost žáka řešit problémy z různých oblastí fyziky, jednu problémovou úlohu, jejíž řešení by mělo obsahovat spíše diskusi než uzavřený výsledek, čímž podporuje žákovo analytické uvažování nad neznámou situací z více pohledů, jednu seriálovou úlohu, která navazuje na studijní text zveřejňovaný během roku a tím usnadňuje přístup k jinak složitějšímu tématu například z fyziky vyučované na vysokých školách, a nakonec jednu experimentální úlohu. Většinou mají řešitelé za úkol provést například jednoduché měření či pozorování a získaná data správně zpracovat a interpretovat. Experimentální úlohy (ostatně jako všechny ostatní úlohy) ve FYKOSu volíme s ohledem na přínos pro řešitele. V každém ročníku se proto objevují úlohy více zaměřené na návrhy vhodných experimentů, na rozsáhlejší diskusi nebo třeba na zpracování dat a jejich porovnávání s vhodnou teoretickou závislostí.

Kromě úloh, které jsou přímo na experimentální fyziku zaměřené, mají nejlepší řešitelé FYKOSu možnost zúčastnit se soustředění, na kterých bývá tradičně celý den vyhrazený pro experimenty. V rámci těchto *experimentálních dnů* účastníci absolvují přednášky týkající se jednak samotného provádění experimentů a zpracování dat, jednak prezentování výsledků své práce, které je neméně důležité nejen pro vědeckou praxi, ale i další život. Následně jsou rozděleni do menších skupin, ve kterých pod dohledem organizátora provádějí samotná měření a naměřená data zpracovávají. Své výsledky pak následující den prezentují ostatním účastníkům a organizátorům a na své prezentace získají hodnotnou zpětnou vazbu. Experimentální dny mohou i díky zmíněné cílené zpětné vazbě a možnosti průběžných konzultací žákům výrazně napomoci v rozvoji experimentálních dovedností.

### Den s experimentální fyzikou

Další z projektů FYKOSu podporujících zájem o experimentální fyziku je Den s experimentální fyzikou (dále DSEF; více informací lze nalézt na stránkách [dsef.cz](http://dsef.cz)), který probíhá tradičně každý rok v listopadu. V rámci jednoho dne mají přihlášení středoškoláci možnost zúčastnit se exkurzí na různá vědecká pracoviště a získat tak představu o tom, jak vypadá experimentální fyzika v praxi. Exkurze poskytují sami pracovníci navštívených laboratoří, kteří také mají možnost předávat své zkušenosti a například pomoci žákům s výběrem budoucí kariéry. Během dopoledne žáci rozdělení do menších

skupin navštíví několik pracovišť na MFF a následně se v rámci delších odpoledních exkurzí podívají do dalších vědeckých center v Praze a v okolí (např. laboratoře Fyzikálního ústavu AV ČR, ČHMÚ, FEL ČVUT, ...). Že je o akci zájem potvrzuje i rekordní počet přihlášených účastníků na letošní ročník, kterého bylo dosaženo již zhruba týden po začátku přihlašování.

### **Další akce**

Podobných exkurzí jako v rámci DSEFu se mohou zúčastnit i žáci přihlášení na soutěž Fyziklání (fyziklani.cz). S touto největší prezenční týmovou fyzikální soutěží v ČR, která do Prahy každoročně přiláká vyšší stovky žáků středních škol z Česka, Slovenska i dalších zemí, je spojený bohatý doprovodný program. Ten kromě přednášek, besed a socializačních aktivit obnáší také prohlídky vědeckých pracovišť, díky čemuž není Fyziklání jenom soutěží, ale komplexní událostí pro všechny středoškoláky se zájmem o fyziku.

FYKOS také nepravidelně pořádá Týden s aplikovanou fyzikou – jednu velkou exkurzi/sadu exkurzí do významných vědeckých pracovišť, ze kterých stojí za zmínku například CERN, do kterého účastníci vyjeli naposledy v roce 2015. Týden s aplikovanou fyzikou má také vysokou přidanou hodnotu v podobě netradičního zážitku.

### **Stáže na MFF – letošní novinka**

Na závěr zmíníme nejnovější z projektů FYKOSu přímo rozvíjejících experimentální dovednosti účastníků. Nejlepší řešitelé experimentálních úloh v letošním ročníku FYKOSu získají příležitost zúčastnit se letních stáží na vybraných pracovištích Matematicko-fyzikální fakulty. Od projektu si slibujeme jednak zvýšení zájmu o experimentální úlohy, jednak otevření nových možností pro středoškoláky, kteří budou tímto způsobem odměněni. Pro letošní ročník jsme také na webu zveřejnili návod na vypracování experimentálních úloh a na popularizaci experimentální fyziky budeme pracovat i nadále.

Více informací o našich akcích, ať už zaměřených na experimentální fyziku či nikoliv, a také zmíněné návody na vypracování experimentálních úloh, naleznete na našem webu fykos.cz.

## Zpracování dat naměřených pixelovým detektorem

VLADIMÍR VÍCHA

Gymnázium, Pardubice, Dašická 1083; ÚTEF ČVUT v Praze

### Abstrakt

*Na českých školách, v centrech Elixíru do škol a v dalších institucích se již několik let využívají pixelové detektory MX-10 a v poslední době také MiniPIX EDU. Pixelové detektory umožňují mapovat radioaktivitu tím nejnázornějším možným způsobem, a tak nalézají využití od základních škol až po školy vysoké. Pomůcka je to ovšem finančně velmi nákladná, a tak má učitel k dispozici většinou jen jeden detektor, který využívá k demonstračním měřením. Pokud si vyučující detektor vypůjčí v ÚTEF ČVUT nebo v Elixíru do škol, je to vždy jen na omezenou dobu, a ve zbývajícím čase může svým žákům ukazovat pouze naměřené obrázky. Můj příspěvek ukazuje možnost, jak mohou žáci frontálně na libovolném množství počítačů zpracovávat data naměřená pixelovým detektorem bez připojeného detektoru. Zájemci si pro tento účel mohou na <http://www.utef.cvut.cz/vzdelavani-a-popularizace> stáhnout upravený software „Pixelman bez detektoru“ a také pracovní listy „Radioaktivita pro ZŠ“ s předem naměřenými daty.*

### Co se vám vybaví, když se řekne radioaktivita?

Zkusme položit tuto otázku žákům na základní škole nebo ve třídě nižšího gymnázia a ať napíšu na papírek jedno nebo dvě slova. Dvouhodinové cvičení, které budu v tomto příspěvku popisovat, proběhlo v květnu 2022 v tercii osmiletého gymnázia Pardubice, Dašická v rámci projektového týdne. Téměř všechny odpovědi (záření, nebezpečí, elektřina, bomba, Černobyl, smrt, houby,...) by se daly propojit slovem obavy nebo i strach. Tento strach z neviditelného smrtícího záření zřejmě podvědomě provází lidstvo od použití atomových bomb v Hirošimě a Nagasaki, přes havárii v Černobylu a Fukušimě, až k dnešnímu obsazení ukrajinských jaderných elektráren ruskou armádou. Smyslem cvičení bylo ukázat studentům, že záření není tak neviditelné, jak se může laikovi zdát, a že se před ním lze chránit, když poznáme, o jaké záření jde.



## Detektory

Téma radioaktivita je ve výuce součástí kapitoly jaderná fyzika a s tou se žáci ZŠ a nižších stupňů gymnázia asi většinou seznamují až v 9. třídě, resp. v kvartě. Proto v tercii je třeba předpokládat, že žáci mají jen poznatky, které získali mimo školu. V úvodu je dobré zmínit, že první zviditelnění neviditelného záření umožnily fotografické materiály a jako zřejmě nejslavnější ze starých snímků je ruka paní Röntgenové:

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Wilhelm\\_Conrad\\_R%C3%B6ntgen](https://cs.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Conrad_R%C3%B6ntgen)

Historicky se při dalším zkoumání radioaktivity stavěly stále dokonalejší detektory. Na školách se můžeme setkat s Geiger-Müllerovými čítači soupravy Gamabeta (obr. 1), které mohou akusticky signalizovat dopad ionizujícího záření a mohou také počítat impulzy.



Obr. 1 Geiger-Müllerův čítač ze školní soupravy Gamabeta

Když čítač zapneme a postavíme na katedru, signalizuje občasným pípnutím, že v místnosti je radioaktivní záření. Už to je pro žáky překvapivé a můžeme vyvolat diskusi, odkud měřená radioaktivita pochází. Můžeme zavést pojem radiační pozadí. To se nám bude plést do všech experimentů.

Přiblížením celkem nevinně vyhlížejícího kamene (obr. 2) jsem žákům ukázal, že se dají najít kameny, které jsou i silně radioaktivní. K těm je třeba mít respekt. Ale zároveň ukážeme, že při vzdálení kamene od detektoru (např. již o půl metru) začne detektor měřit zase jen radiační pozadí. Žáci ve svých lavicích se tedy nemusejí záření obávat.



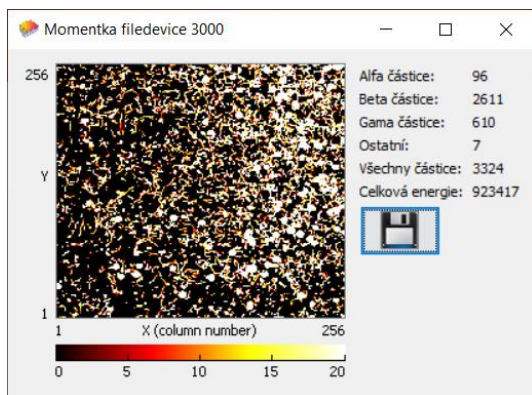
Obr. 2 Kámen s uranovou rudou

### **Pixelový detektor**

Abychom názorně demonstrovali přednosti pixelových detektorů (výuková pomůcka MX-10 nebo MiniPIX EDU), položíme náš radioaktivní kámen na detektor.



Obr. 3 Kámen s uranovou rudou na detektoru MX-10



Obr. 4 Vizualizace záření zaznamenaného MX-10 během desetisekundového měření

Žáci rychle pochopí, že MX-10 funguje jako částicová kamera, která umí daleko více než Geiger-Müllerův čítač. MX-10 vizualizuje stopy jinak neviditelného záření, počítá je, třídí a měří i energii. Každá stopa je způsobena dopadem nějaké částice: alfa – velké kulaté stopy, beta - malé i delší zakřivené stopy a gama – malé jedno nebo dvojpixelové stopy.

Při měření s reálným detektorem žáky naučíme nastavit dobu měření, počet snímků, prohlížet si jednotlivé snímky nebo složený (integrální) snímek, udělat zvětšení (zoom) a zmenšení, rozumět analýze alfa, beta, gama, počítání částic, určení energie částic, vytvoření momentky. Pak již můžeme přejít k tomu hlavnímu, a to je samostatná týmová práce studentů.

### Práce v týmech

Výuka probíhala v počítačové učebně, kde bylo 15 počítačů. U každého počítače seděla dvojice, která společně pomocí programu Pixelman-Simple Preview studovala již naměřená data a podle zadaných úkolů vypracovávala řešení do pracovních listů. Vzorový pracovní list byl připraven ve Wordu a text by zamčený tak, aby se dalo psát, vybírat z menu nebo vkládat obrázky jen do povolených oblastí. Tím je zajištěno, že si někdo nedopatřením nesmaže text se zadáním. Wordovský soubor si týmy přejmenovaly svými příjmeními a po skončení práce odevzdali do určeného úložiště. Všechny týmy dostaly stejná naměřená data, takže při správném postupu mohly mít stejné, či velmi podobné výsledky.

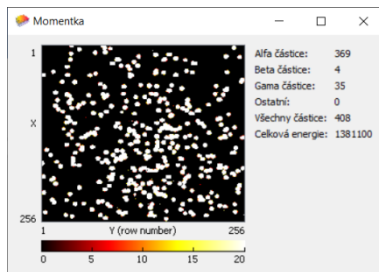
### **Radioaktivita – pracovní list**

1. **Uranové sklo.** Uranové sklo bylo přisunuto těsně k detektoru a proběhlo dvouminutové měření (120 snímků po 1 s). Nastavte adresář 1 Uranové sklo a načtěte 120 snímků měření uranového skla. Odpovězte či splňte následující úkoly.
  - 1.1. Z naměřených snímků udělejte společný (integrální) snímek a momentku vložte sem do pracovního listu.
  - 1.2. Které radioaktivní záření má na horním snímku největší zastoupení?
  - 1.3. Které radioaktivní záření má na horním snímku nejmenší zastoupení?
  - 1.4. Kdo najde stopu alfa s největší energií? Stopu zvětšete, udělejte momentku a vložte ji sem do pracovního listu.
  - 1.5. Kdo najde stopu beta s největší energií? Stopu zvětšete, udělejte momentku a vložte ji sem do pracovního listu.
2. **Svářecí elektroda.** Svářecí elektroda byla přisunuta těsně k detektoru a proběhlo dvouminutové měření (120 snímků po 1 s). Nastavte adresář 2 Svářecí elektroda a načtěte 120 snímků měření. Odpovězte či splňte následující úkoly.
  - 2.1. Z naměřených snímků udělejte společný (integrální) snímek a momentku vložte sem do pracovního listu
  - 2.2. Jaké výrazné odlišnosti vidíte mezi radioaktivitou uranového skla a svářecí elektrody?
  - 2.3. Kdo najde stopu záření alfa s největší energií? Stopu zvětšete, udělejte momentku a vložte sem do pracovního listu.
3. **Elektroda a papír.** Mezi elektrodu a detektor byl vložen list kancelářského papíru a proběhlo dvouminutové měření (120 snímků po 1 s). Nastavte adresář 3 Elektroda a papír a načtěte 120 snímků měření. Napište jednu nejvíce nápadnou věc, která se změnila.
  - 3.1. Co nám tento pokus o pronikavosti záření alfa prozradil?

4. **Draselná sůl.** Držák s draselnou solí byl přisunut těsně k detektoru a proběhlo dvouminutové měření (120 snímků po 1 s). Nastavte adresář 4Draselnasul a načtěte 120 snímků měření. Odpovězte či splňte následující úkoly.
  - 4.1. Z naměřených snímků udělejte společný (integrální) snímek a momentku vložte sem do pracovního listu.
  - 4.2. Jaký druh radioaktivity u draselné soli nevidíme?
  - 4.3. Kde se dá najít největší energie záření alfa? U uranového skla, svářecí elektrody nebo draselné soli?
5. **Školní americiový zdroj záření.** Zdroj byl přisunut těsně k detektoru a proběhlo jednosekundové měření (10 snímků po 0,1 s.) Nastavte adresář 5Školni zdroj zareni a načtěte 10 snímků měření. Odpovězte či splňte následující úkoly.
  - 5.1. Z naměřených snímků udělejte společný (integrální) snímek a momentku vložte sem do pracovního listu.
  - 5.2. Jakou radioaktivitu převážně vidíme?
6. **Oddálení školního zdroje záření od detektoru.** Školní zdroj záření byl postupně oddálen o 1 cm (adresář 6 Oddaleni 1 cm), o 2 cm (adresář 7 Oddaleni 2 cm) a o 3 cm (adresář 8 Oddaleni 3 cm). Pro každou vzdálenost udělejte společný (integrální) snímek a momentku vložte sem do pracovního listu.
  - 6.1. Co pozorujete na záření alfa u pokusů se vzdalováním zdroje záření?
  - 6.2. Jak byste fyzikálně vysvětlili předchozí pozorování?
  - 6.3. Z pokusů 3 a 6 byste měli již uhádnout, jak se lze chránit před radioaktivním zářením alfa. Napište to.
7. **Prvky v Mendělejevově tabulce.** Ve skle byl radioaktivním prvkem uran, ve svářecí elektrodě thorium, v draselné soli draslík a ve školním zdroji záření prvek americium. Najděte v Mendělejevově tabulce chemické značky těchto prvků a napište je od nejlehčího k nejtěžšímu.

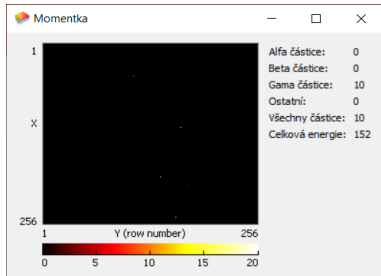
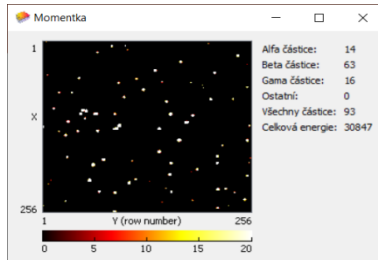
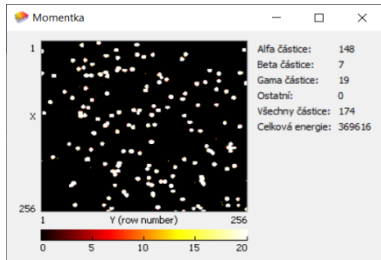
### Vybrané odpovědi k úkolům 6.1, 6.2 a 6.3

Úkol 6 se týkal školního zdroje záření, který obsahuje  $^{241}\text{Am}$  a vyzařuje majoritně záření alfa a minoritně záření gama. Pokud byl zdroj nejbližší k detektoru, získali žáci obr. 5.



Obr. 5 Vizualizace záření školního zdroje záření obsahujícího  $^{241}\text{Am}$ . Převažují kruhové stopy záření alfa

Při vzdálení zdroje záření od detektoru o 1 cm, 2 cm a 3 cm získali žáci snímky jako na obr. 6.



Obr. 6 Vizualizace záření školního zdroje záření obsahujícího  $^{241}\text{Am}$  při vzdálení o 1 cm, 2 cm a 3 cm

V tabulce 1 jsou odpovědi několika týmů, které se vztahují k obr. 5 a obr. 6.

Tabulka 1. Několik odpovědí na otázky 6.1, 6.2 a 6.3

- |     |  |
|-----|--|
| 6.1 | Čím dále je zařízení, tím méně je alf.   |
| 6.2 | Alfy jsou silné, ale nedoletí moc daleko.  |
| 6.3 | Když jsme dál a jsme chráněni vrstvou odolnějšího materiálu, radioaktivita na nás méně působí. |
| 6.1 | Alfa záření postupně mizí.   |
| 6.2 | Alfa záření působí na krátkou vzdálenost.  |
| 6.3 | Jít od něj co nejdál.  |
| 6.1 | Počet částic alfa klesá se vzdalováním.  |
| 6.2 | Alfa částice se hůře transportují vzduchem a hůře se probíjejí skrz materiál.                  |
| 6.3 | Zakrýt své tělo, alfa částice se zachytí na oblečení a neublíží nám.                           |
| 6.1 | Čím více oddalujeme, tím méně je alfa částic.  |
| 6.2 | Radioaktivita by se měla měřit co nejblíže u tělesa, kvůli přesným výsledkům.                  |
| 6.3 | Schovat se za papír, posolit se draselnou solí a držet se co nejdále od tělesa.                |

Myslím, že odpovědi v tabulce 1 jsou dobrou demonstrací toho, jak žáci, kteří na začátku cvičení nevěděli o radioaktivitě téměř nic, došli vlastním výzkumem ke smysluplným (vesměs 😊) fyzikálním závěrům.

Všechny pracovní listy jsem si pečlivě prošel a obodoval, maximálně se dalo dosáhnout 34 bodů. Průměrná úspěšnost byla 81 %, přičemž nejnižší bodový zisk byl 22 bodů a nejvyšší 31 bodů. Z toho je vidět jak efektivním nástrojem ve výuce fyziky je pixelový detektor. Především se mi ale líbila pracovní atmosféra ve třídě a zájem o téma radioaktivita.

### **Závěr**

Zveřejněním této aktivity na webu ÚTEF ČVUT dávám možnost všem učitelům, aby si podobnou aktivitu vyzkoušeli se svými žáky. Správné řešení jsem

na webu nezveřejnil, ale zašlu jej každému učiteli, který si o něj napíše na můj mail [vlada.vicha@seznam.cz](mailto:vlada.vicha@seznam.cz).

Pokud se učitel rozhodne vypracovat si své pracovní listy, budu jen rád a kvalitní materiály ochotně na zmíněném webu uveřejním. Berte prosím můj popis jako návod k mnoha možným měřením, které si může připravit každý učitel, který si na pár týdnů vypůjčí pixelový detektor. Pomoci v ovládní detektoru vám může dvoudenní seminář, který pořádáme v ÚTEF koncem listopadu. Velmi podrobně jsou experimenty s MX-10 popsány v [1].

### **Literatura**

- [1] Vicha V.: *Experimenty s pixelovým detektorem pro výuku jaderné a částicové fyziky*. České vysoké učení technické v Praze, Praha 2016.



## Měření délky zvukovodu pomocí rezonance

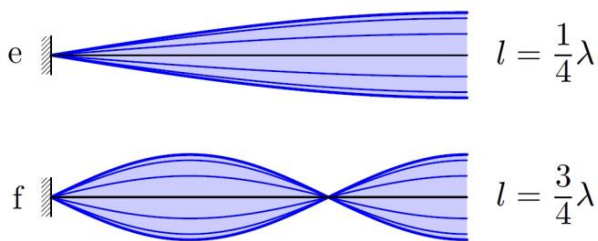
KATEŘINA VOGLOVÁ

Přírodovědecká fakulta, Univerzita Hradec Králové

Nápad měření délky zvukovodu pomocí rezonance vznikl při „klasickém“ pokusu měření rychlosti zvuku pomocí trubky. Postupným ponořováním a vynořováním trubice lze nalézt takovou délku, při které dochází k rezonanci. Z délky a známé frekvence je možné dopočítat rychlost zvuku (viz [1]). Otázkou je, zda je možné postupovat i opačně a ze známé frekvence a rychlosti dopočítat délku trubice. Je pak možné změřit délku zvukovodu?

Pro pokus je potřeba pouze vlnový generátor (je možné použít [tento](#)), kde postupně narůstá frekvence zdroje. Je lepší měřit délku každého zvukovodu zvlášť. Pustíme zdroj do sluchátek, sluchátko vložíme do jednoho ucha, druhé si zacpeme (např. špunty do uší). Posloucháme a v místě, kde se nám zdá zdroj „nejhlasitější“, zdroj zvuku vypneme. Podíváme se na hodnotu frekvence na zdroji. Tato frekvence by měla odpovídat rezonanční frekvenci zvukovodu. Měření opakujeme pětkrát.

Z naměřené rezonanční frekvence určíme průměrnou hodnotu. Pomocí vztahu  $\lambda = \frac{f}{v}$  vypočítáme vlnovou délku. Zvukovod si můžeme představit jako trubici na jednom konci otevřenou. To odpovídá stojatému vlnění s jedním volným a jedním pevným koncem. (viz obr. 1, e).



Obr. 1 Chvění struny v závislosti na upevnění (viz např. [2], str. 225)

Z naměřené zvukové délky dopočítáme délku zvukovodu  $l = \frac{1}{4} \lambda$ .

Výsledky z mého měření vypadaly následovně:

Ucho	$f$ [Hz]	$\lambda$ [m]	$l$ [cm]
1. pravé	4953	0,0693	1,73
2. pravé	4691	0,0731	1,83
3. pravé	4913	0,0698	1,75
4. pravé	4945	0,0694	1,74
5. pravé	5081	0,0675	1,69
1. levé	4428	0,0775	1,94
2. levé	4485	0,0765	1,91
3. levé	4448	0,0771	1,93
4. levé	4400	0,0780	1,95
5. levé	4414	0,0777	1,94

Obr. 2 Ukázka hodnot pro pravé a levé ucho

Jak je vidět v tabulce, průměrná délka zvukovodu pravého ucha vychází 1,75 cm a levého 1,93 cm. Mohlo by také dojít k rezonanci při vyšších frekvencích, to jsem však nezaznamenala.

Jedná se pouze o aproximaci a během měření zanedbáváme mechanické vlastnosti bubínku, stejně jako výstelku zvukovodu. I přes to si žáci mohou zkusit měření na vlastním těle a měření lze dobře využít v rámci integrované výuky.

### **Literatura**

- [1] DVOŘÁK, L.: Rychlost zvuku stokrát jinak. In: Souhrnný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky. Veletrh 12, Praha, 2007. Dostupné on-line z: <https://vnuf.cz/sbornik/prispevky/12-21-Dvorak.html>
- [2] SVOBODA, E.: Přehled středoškolské fyziky. 4., upr. vyd., Praha: Prometheus, 2006, 531 s. ISBN 80-7196-307-0.

## Teplota varu kapalin v elektrické konvici

VLADIMÍR VOCHOZKA, PAVLA WEGENKITTLOVÁ

Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

### Abstrakt

Běžná elektrická „rychlouhřevná“ konvice vypne ohřev vody okolo 100 °C. Jak se ale bude chovat při ohřevu ethanolu (technického lihu, ethanolu pro biokrbý) či směsi vody a ethanolu (30 % a 50 % vodky) už není tak předvídatelné. V příspěvku jsou popsána jednotlivá měření.

### Teplota varu a měrná tepelná kapacita

Teplota varu  $\theta$  je teplota, při které kapalina mění v celém svém objemu své skupenství na plynné. Teplota varu závisí na atmosférickém tlaku a látce.[1]

Měrná tepelná kapacita udává, jaké množství tepla je třeba dodat jednomu kilogramu látky, aby se její teplota zvýšila o jeden Kelvin (resp. o jeden stupeň Celsia). [1]

Základní hodnoty pro vybrané látky shrnuje Tabulka 1.

Tabulka 1. Teplota varu a měrná tepelná kapacita vybraných látek. [2]

Látka	Teplota varu $t_{\text{var}}$ (°C) <sup>a</sup>	Měrná tepelná kapacita $c$ (J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>
Voda	100,0	4 183
Ethanol	78,3	2 437

a Za normálního atmosférického tlaku  $p_n = 1\,013,25$  hPa.

b Při teplotě 25 °C. Měrná tepelná kapacita není pro látku konstantou, ale závisí na teplotě. Například ethanol má při teplotě 50 °C hodnotu  $c_{50} = 2\,674$  J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>; při teplotě 75 °C hodnotu  $c_{75} = 2\,963$  J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>.

### Elektrická konvice

Všechny elektrické konvice se automaticky vypínají díky termostatu (mechanickému, elektrickému nebo elektronickému zařízení, která reagují na změny teploty). [3]

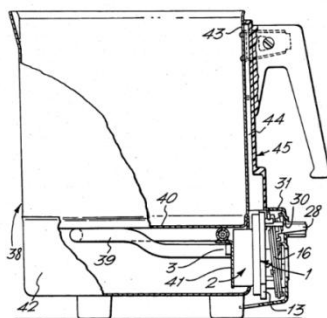
Nejjednodušší jsou mechanické termostaty používající bimetalový termostat. Skládá se z kotouče ze dvou různých kovů pevně spojených dohroma-

dy, z nichž se jeden při zvyšování teploty rozpíná rychleji než druhý. Normálně je termostat prohnutý jedním směrem, ale když voda dosáhne bodu varu, vzniklá pára předá teplo bimetalovému termostatu, a to způsobí, že se náhle zlomí a prohne v opačném směru. Když se termostat deformuje, stiskne páčku, která rozpojí obvod, přeruší elektrický proud a bezpečně vypne konvici (obr. 1). [3; 4; 5]

Druhým typem termostatu, který je využívám v elektrických konvicích, je elektronický termostat využívající přesnější elektronické teplotní senzory, jako jsou například NTC (*Negative Temperature Coefficient*) termistory. Tyto termostaty jsou schopny snímat teplotu v širším intervalu hodnot místo pouze při jedné teplotě. Na výstupu čidla je informace předávána v digitální formě, číselný údaj se mění podle okolní teploty.[5]

U.S. Patent Nov. 2, 1982 Sheet 1 of 4 4,357,520

FIG.1.



Obr. 1 Řez elektrickou konvicí s bimetalovým termostatem [4]

Z horní části vodní komory číslo 38 vede dolů k bimetalovému termostatu a spínači č. 1 a č. 2 odvod páry a trubice č. 43 a 44. Když voda v konvici vře, vzniklá pára postupuje touto trubicí, ohřívá termostat a způsobuje jeho sepnutí, čímž vypíná topné těleso č. 39 a zastavuje další ohřev. [4]

### Naměřené hodnoty

Měření bylo prováděno v nadmořské výšce 381 m (České Budějovice) za konstantní okolní teploty 25 °C při tlaku vzduchu 968,4–969,2 hPa.

### **Pomůcky**

K měření byla použita měřidla:

- teploměr Vernier Go!Temp  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ , přesnost  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- software Vernier Graphical Analysis;
- skleněný odměrný válec Simax Kavalier 1634 BB 250 ml/1 ml;
- digitální váha Kern EMS 6K0. 1, 6 kg/0,1 g;
- analogové stopky TFA Dostmann 38.1022 30 min/0,2 s.

Porovnávány byly kapaliny:

- voda;
- vodka Hanácká Trendy 30 % (dále již jen jako vodka 30 %);
- vodka Smirnoff Blue 50 % (vodka 50 %);
- líh Severochema technický 93 % [6] (líh technický);
- líh SOLO Ethanol pro biokrbý 90 % [7] (bioethanol).

### **Elektrické konvice**

Všechna měření probíhala v elektrických konvicích Xiaomi Mi Smart Kettle a Mi Smart Kettle Pro (Obr. 2). Obě mají příkon 1 800 W; objem 1,5 l; vložku z nerezové oceli a jsou si na první pohled velmi podobné. Rozdílné jsou v termostatu, Smart Kettle má mechanický termostat – bimetalový plíšek, Smart Kettle Pro má elektronický termostat – termistor NTC. [8]



Obr. 2 Vlevo elektrická konvice Xiaomi Mi Smart Kettle, vpravo Xiaomi Mi Smart Kettle Pro

### **Postup měření**

1. Všechny látky a měřidla byly v předstihu umístěny do laboratoře, aby došlo k získání termodynamické rovnováhy mezi všemi tělesy a látkami.
2. V odměrném válci bylo odměřeno 250 ml měřené kapaliny.

3. Na váze byla určena hmotnost odměrného válce s kapalinou.
4. Po vlití kapaliny do konvice byly současně spuštěny stopky, sběr dat v dataloggeru a ohřev.
5. Po skončení ohřevu byla přelita zbývající kapalina (pokud nějaká zůstala) do odměrného válce a opětovně určena hmotnost.
6. Elektrické konvice byly po ohřevu mezi jednotlivými měřeními odstaveny na dostatečně dlouhou dobu, aby došlo opět k vyrovnaní jejich teploty s okolím.

### **Výsledky měření**

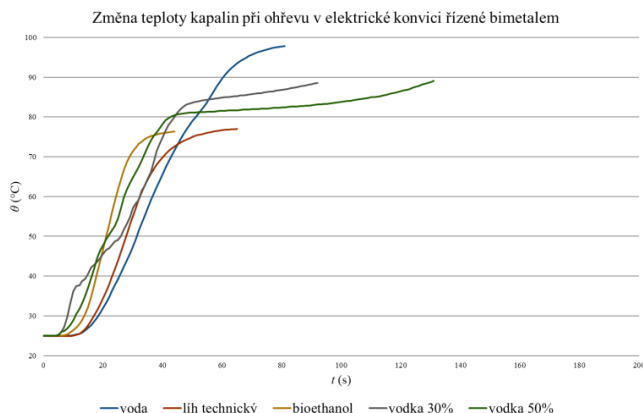
Konvice řízená bimetalem

Naměřené hodnoty času jsou zaznamenány od spuštění ohřevu kapaliny po vypnutí spínače konvice. Při vypnutí ohřevu byla současně odečtena aktuální teplota (Tabulka 2).

Tabulka 2. Doba ohřevu a teplota při vypnutí ohřevu [2]

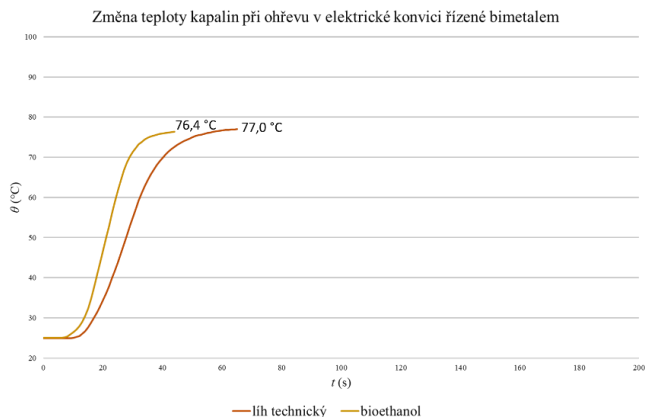
Látka	Čas ohřevu $t$ (s)	Teplota při vypnutí $\theta$ (°C)
Voda	81	97,9
Líh technický	65	77,0
Bioethanol	44	76,4
Vodka 30 %	104	88,6
Vodka 50 %	131	89,1

Teplota při vypnutí vody a ethanolů odpovídá tabulkovým hodnotám (Tabulka 1). Ohřev látek s menší měrnou tepelnou kapacitou (ethanolů) skončil dle očekávání dříve než u vody, to je také v souladu s tabulkovými hodnotami (Tabulka 1). Směsi vody a ethanolu (vodky) musely být ohřívány delší dobu, než předaly potřebné teplo bimetalovému spínači pomocí par. Proč tomu tak bylo lze zjistit analýzou průběhu ohřevu kapalin z následujících grafů.



Obr. 3 Graf změny teploty kapalin ohříváných v elektrické konvici řízené bimetalem

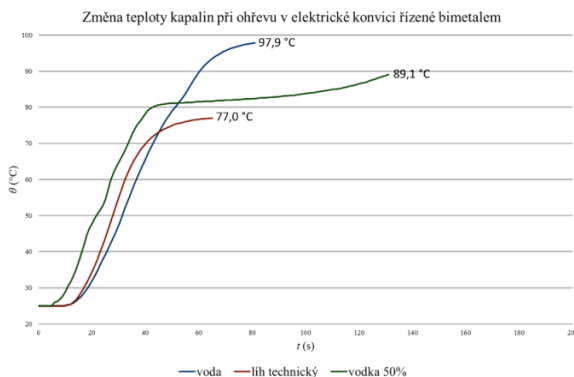
V grafu můžeme pozorovat, že teplota varu a zároveň i teplota při vypnutí u obou ethanolů (technický líh a bioethanol) je téměř totožná (vybrané křivky obr. 4).



Obr. 4 Graf změny teploty technického lihu a bioethanolu

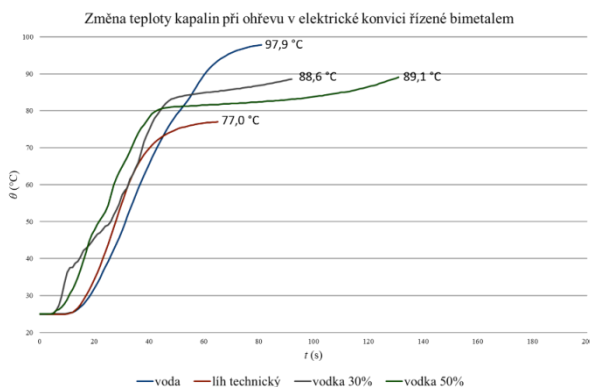
Při pokusech lze tedy jeden zaměnit druhým. Aroma par bioethanolu je subjektivně příjemnější.

Směs ethanolu a vody (vodka 50 %) se ohřívá nejdelší dobu. Z křivky změny teploty je možné usuzovat, že teplota varu směsi se posunula k  $79\text{ }^{\circ}\text{C}$  a poté se pomalu zvyšovala s úbytkem množství ethanolu, který se již vyvařil (obr. 5).



Obr. 5 Graf změny teploty vody, technického lihu a 50 % vodky

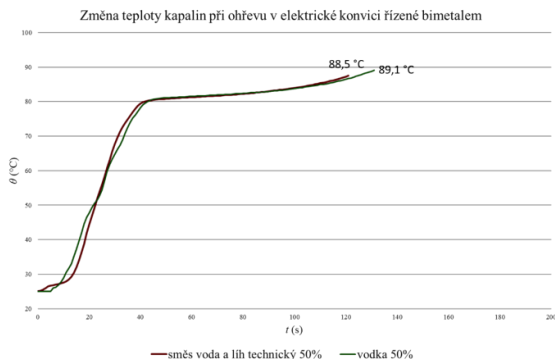
Tvrzení je možné podpořit pozorováním směsi s větším obsahem vody (30 % vodka) (obr. 6), kde je na začátku teplota varu okolo  $82\text{ }^{\circ}\text{C}$  a opět lze pozorovat její postupné zvyšování.



Obr. 6 Graf změny teploty vody, technického lihu, 30 % a 50 % vodky



50 % vodka je velmi drahá látka (cena za 0,7 l byla 499 Kč 24. 08. 2022) k znehodnocení v rámci pokusu. Proto se nabízí řešení v náhradě směsi vody a technické lihu ve stejném poměru. Výsledky měření s takto namíchanou směsí jsou velmi podobné 50 % vodce (obr. 7) a jde o náklady v hodnotě desítek korun, nikoliv stovek.



Obr. 7 Graf změny teploty 50 % směsi vody a technického lihu a 50 % vodky

Teplota při vypnutí  $\theta$  se liší o pár jednotek stupňů, její hodnota nabývá 88,5 °C (50 % vodka 89,1 °C) a stejně tak i čas ohřevu  $t$ , který byl 125 s (50 % vodka 131 s).

### Konvice řízená termistorem

Zajímavé chování je možné pozorovat u konvice, která spíná ohřev na základě termistoru. Chování termostatu je samozřejmě naprogramováno podle chování ohřevu vody. Stejně jako v předchozím odstavci i nyní jsou naměřené hodnoty zaznamenány (Tabulka 3) od spuštění ohřevu kapaliny po vypnutí ohřevu, nejde však vždy o vypnutí hlavního spínače.

Tabulka 3. Teplota a uběhlá doba při vypnutí ohřevu. [2]

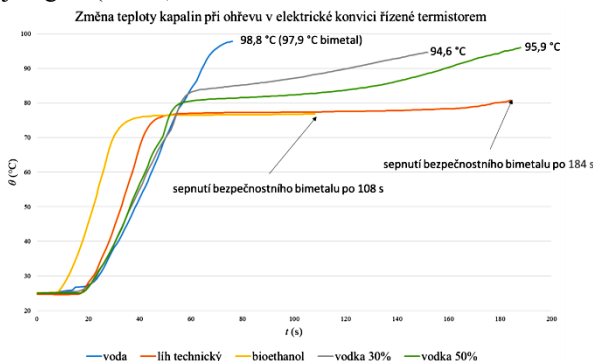
Látka	Čas ohřevu $t$ (s)	Teplota při vypnutí $\theta$ (°C)
Voda	81	98,8 <sup>a</sup>
Lih technický	184	80,7 <sup>bc</sup>
Bioethanol	108	76,7 <sup>b</sup>
Vodka 30 %	152	94,6
Vodka 50 %	188	95,9

a Kapalina dosáhla vyšší teploty než při ohřevu v konvici řízené bimetalem (Tabulka 2).

b Došlo k rozpojení bezpečnostního bimetalu.

c V 171. s od spuštění ohřevu se vyvařil všechen objem kapaliny.

Průběh ohřevu kapalin v konvici s termostatem na principu termistoru shrnuje následující graf (obr. 8).



Obr. 8 Graf změny teploty kapalin ohříváných v elektrické konvici řízené termistorem

Všechny kapaliny se chovají stejně (mají totožný průběh), jako při ohřevu v konvici řízené bimetalem, pouze dochází k jejich ohřevu delší dobu, někdy až za hranu bezpečnosti. Zajímavý je především průběh obou směsí (50 % a 30 % vodky). Dochází ke zvyšování jejich teploty delší dobu až skoro k teplotě varu vody. Lze tedy tvrdit, že jde o potvrzení závěru z předchozí části.

## Náklady

Pro provedení pokusu je nezbytné počítat s náklady, které shrnuje tabulka 4.

Tabulka 4. Finanční rozvaha pokusu

Položka	Cena (Kč)
Elektrická konvice Rohnson R-7630	399
Vodka Hanácká Trendy 30 %	99
Vodka Smirnoff Blue 50 %	499
Lih Severochema technický 93 %	69
Lih SOLO Ethanol pro biokrbý 90 %	129

50 % vodku lze nahradit směsí bioethanolu a vody v poměru 1,25 : 1 (například cca 139 ml bioethanolu a 111 ml vody). Bioethanol i technický líh mají velmi podobné vlastnosti, a proto lze doporučit práci například pouze s bioethanolem, pro jeho subjektivně méně intenzivní aroma. Pokud lze předpokládat, že učebna je již vybavena elektrickou konvicí, jde pouze o nákup kapalin v hodnotě 228 Kč.

## **Závěr**

Hlavním přínosem popsaného pokusu je aplikace učiva fyziky základní školy (vypařování/var, měrná tepelná kapacita, teplo) na příkladu s jednoduchými pomůckami z domácnosti, který může představovat problémovou úlohu s experimentálním ověřením.

Pokus demonstrující, pro některé žáky překvapivý, průběh ohřevu směsi ethanolu a vody je finančně nenáročný.

Chování kapalin v konvici řízené termistorem lze považovat za rozšiřující a zajímavé spíše pro oblast automatizace.

Příspěvek vznikl v rámci projektu GAJU 041/2022/S „Klíčová místa kurikula pro integraci vzdělávacích obsahů v oblasti STEM“.

## **Literatura**

- [1] SVOBODA, E., BARTUŠKA, K.: *Fyzika pro gymnázia*. 7. vydání. Praha: Prometheus, 2020. ISBN 978-80-7196-484-1.
- [2] MIKULČÁK, J. a kol.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 6. vyd. Praha: Prometheus, 2022. ISBN 978-80-7196-507-7.
- [3] MURRAY, D. M., J. LIAO, L. STANKOVIC a V. STANKOVIC.: Understanding usage patterns of electric kettle and energy saving potential. *Applied Energy*. 2016, 171, 231-242. ISSN 03062619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2016.03.038
- [4] TAYLOR, J.: *Electricwater-Boiling Container Having Switch-On Or and Stream Sensitive Thermally Responsive Control Unit*. United States. US4357520A. Přihlášeno Mar. 18, 1980. Uděleno Nov. 2, 1982. Dostupné z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ea/83/a2/9346018652b07f/US4357520.pdf>

- [5] JINJUAN, Fan, Zhao XU a Tao CHUNHU. Failure evaluation of coffee maker. *Engineering Failure Analysis* [online]. 2009, 16(6), 1948-1954 [cit. 2022-08-23]. ISSN 13506307. Dostupné z: doi:10.1016/j.engfailanal.2008.10.
- [6] SEVEROCHEMA. *Lih technický: Bezpečnostní list* [online]. 6.0. Liberec, česká republika: Severochema družstvo pro chemickou výrobu, 2021 [cit. 2022-08-23]. Dostupné z: [https://www.severochema.cz/storage/Download\\_DownloadTranslation/1-2000/70-file-lih-technicky-11.pdf](https://www.severochema.cz/storage/Download_DownloadTranslation/1-2000/70-file-lih-technicky-11.pdf)
- [7] SOLO MATCHES & FLAMES, A.S. *Ethanol pro krby: Bezpečnostní list* [online]. 2019. 3. Cejl, Česká republika: SOLO MATCHES & FLAMES, 2019 [cit. 2022-08-23]. Dostupné z: <https://pemi.cz/uploads/0/SafetyDatasheets/bl-solo-ethanol-pro-krby.pdf>
- [8] XIAOMI GLOBAL COMMUNITY. *MiJia Smart Kettle: Technical specifications* [online]. 1. [cit. 2022-08-23]. Dostupné z: [https://files.xiaomi-mi.com/files/mijia\\_smart\\_kettle/Kettle-EN.pdf](https://files.xiaomi-mi.com/files/mijia_smart_kettle/Kettle-EN.pdf)

## **Praktické úlohy okresního kola Archimediády**

PAVLA WEGENKITTLOVÁ, VLADIMÍR VOCHOZKA

Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

### **Abstrakt**

*V příspěvku jsou popsány praktické úlohy z posledních dvou ročníků okresního kola Fyzikální olympiády kategorie G (Archimediády) v Českých Budějovicích. Analyzovány jsou strategie řešení, výsledky a možnost využití úloh v hodinách fyziky.*

### **Okresní kolo fyzikální olympiády kategorie G**

Fyzikální olympiáda (FO) se v České republice pořádá v kategoriích A až D pro střední školy a v kategoriích E až G pro základní školy. Kategorie G, označovaná také jako Archimediáda, je tudíž určena nejmladším žákům, žákům sedmých tříd a sekund víceletých gymnázií. Archimediáda se koná ve dvou kolech. Školní kolo je organizováno celorepublikově, a žáci z něho postupují do okresního kola. Podoba okresního kola je poté v kompetenci každého okresu.[1]

V Českých Budějovicích je organizátorem Dům dětí a mládeže. U žáků jsou ověřovány nejen teoretické znalosti, ale i praktické dovednosti v podobě praktických úloh. U té především musejí být organizátoři obezřetní při výběru tématu. Rámcový vzdělávací program (RVP) pro základní vzdělání nedefinuje očekávané výstupy do určitých ročníků základních škol, proto je třeba udělat rešerši školních vzdělávacích programů zúčastněných škol, aby někteří řešitelé nebyli diskriminováni.

### **Navržené úlohy**

Praktické úlohy byly navrženy a pilotovány v rámci diplomové práce (DP) Praktické úlohy okresního kola fyzikální olympiády kategorie G[2]. Pilotáž probíhala na školách mimo Českobudějovický okres, aby nenastala situace, že by nějaký žák na FO již úlohu znal. V průběhu pilotáže byly úlohy měněny do podoby, která je uvedena v tomto příspěvku. Hlavním požadavkem zadání úlohy bylo, aby nebylo příliš triviální a zároveň řešitelné a obsahovalo více řešení. K tomu dopomáhá i velké množství poskytnutých pomůcek k řešení úlohy. Některé se mohou zdát nadbytečné či přímo nevhodné, ale je jen na žákovi, které zvolí. Cílem je neomezovat řešitelovu tvořivost.

První úlohou, která byla použita z DP na okresním kole fyzikální olympiády, byla úloha určování hmotnosti svazku klíčů v roce 2019. Ta v souladu s RVP z roku 2017 využívá očekávaný výstup *Žák aplikuje poznatky o otáčivých účincích síly při řešení praktických problémů* [3]. V roce 2022 byla použita úloha určování průměru hrdla a obvodu lahve od mléka, která reprezentuje očekávaný výstup *Žák změří vhodně zvolenými měřidly některé důležité fyzikální veličiny charakterizující látky a tělesa* [4]. Dále v textu budou podrobněji popsány zadání úloh a výsledky jejich řešení z okresního kola FO.

### Určování hmotnosti svazku klíčů

#### Zadání

Řešitelé v této úloze určí hmotnost svazku klíčů za pomoci obdržených pomůcek. Úloha je založena na znalostech učiva o jednoduchých strojích, pomocí nichž se dá vyřešit. Záleží pouze na žákovi, pomocí kterého jednoduchého stroje úlohu vyřeší. Následně zaznamená do pracovního listu svůj způsob řešení včetně pomůcek, náčrtu, výpočtů a diskuse.

#### Pomůcky

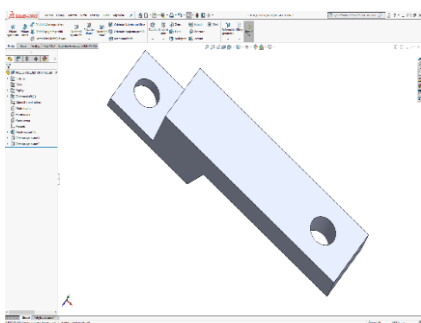
Obdržené pomůcky jsou následující: *upravená páka, tyč s vrutem, základní deska, dva kusy modelíny, provázek, nůžky, svazek klíčů, kladka volná, upravená kladka volná, dvě kladky pevné, dvě 10 g závaží, dvě svorky se šroubem a hlavou „krátké“, svorka se šroubem a hlavou „dlouhá“, tři čepy a kancelářské sponky* (obr. 1).



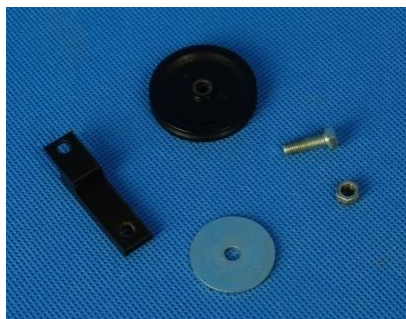
Obr. 1 Pomůcky k úloze Určování hmotnosti svazku klíčů

Většina pomůcek pochází ze sady pro mechaniku [5], avšak některé byly, jak už jejich popis napovídá, upraveny. Přesněji se jedná o páku, z které bylo vyndáno gumové uložení. To způsobilo nevyvážení samotné páky. Žák si ji tedy musel před samotným měřením nejprve vyvážit např. pomocí kancelářských sponek. Dále byla upravena kladka volná, která byla v úloze použita v upravené i neupravené verzi. Její změna proběhla v navýšení hmotnosti samotné kladky. Pokud ji žák použil, nemohl pak při výpočtech zanedbat její hmotnost.

Pro výrobu upravené kladky volné sloužila jako vzor variabilní kladka z již zmíněné sady pro mechaniku. V 3D CAD programu byl vymodelován tvar (obr. 2), který byl následně vytvořen pomocí 3D tisku. K tisku byl použit polyethylene terephthalate glycol (PETG) filament pro jeho vhodné mechanické vlastnosti.



Obr. 2 Model držáku kladky



Obr. 3 Pomůcky k vytvoření zatížené kladky volné

Pro zvýšení hmotnosti je kladka spojená s držákem pomocí šroubu M5×16 a matice M5. Mezi ně je ještě přidána velkoplošná podložka o průměru 30 mm (obr. 3).

Svazek klíčů, jehož hmotnost byla v úloze určována, se skládá ze tří klíčů a jednoho kroužku o průměru 20 mm. Jedná se o klíče FAB 100 ND, R1 N R11N, které nejsou vyfrézované. K dostání jsou například u firmy Kukačka.cz za cenu 19 Kč za kus (5. 8. 2022) [6]. Kroužek se dá koupit v libovolném železářství, cena se pohybuje kolem 4 Kč.

## Řešení

Jak již bylo napsáno výše, úloha je zaměřena na znalosti učiva o jednoduchých strojích. Lze ji vyřešit za pomoci rovnováhy na dvojzvrtné páce, kladce pevné, či jednoduchém kladkostroji.

Pokud se žák rozhodl využít k řešení dvojzvrtnou páku, musel si ji nejprve sestavit, a poté vyvážit za pomoci kancelářských sponek. Dále už jen na jednu stranu páky zavěsil svazek klíčů a na druhou stranu jedno, či dvě závaží tak, aby nastala rovnováha. Výpočtem zjistil, že svazek klíčů má hmotnost 40 g.

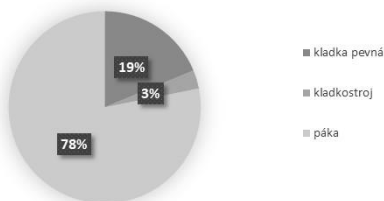
Dalším způsobem řešení bylo využití kladky pevné. Žák si opět nejdříve sestavil aparaturu. K dispozici měl však pouze dvě 10 g závaží, přičemž hledaná hmotnost svazku klíčů byla vyšší. Musel si tedy vytvořit další závaží. K tomu sloužila přiložená modelína. Pokud poté dal na jednu stranu kladky pevné svazek klíčů a na druhou stranu dvě 10 g závaží včetně modelínového 20 g závaží, nastala na kladce pevné rovnováha.

Třetí způsob řešení byl za pomoci sestavení jednoduchého kladkostroje. Při sestavování aparatury musel být žák obezřetný. Pokud vybral zatíženou kladku volnou, musel samotný kladkostroj před měřením vyvážit. Dále na připraveném kladkostroji už jen zavěsil svazek klíčů na kladku volnou a na provázek vedený přes kladku pevnou dvě 10 g závaží, čímž nastala rovnováha. V posledním kroku žák dopočítal hledanou hmotnost svazku klíčů, 40 g.

## Výsledky z Archimediády

Archimediády se v roce 2019 zúčastnilo 32 žáků ze sekund víceletých gymnázií a sedmé třídy jedné základní školy. Úloha mohla být řešena třemi možnými způsoby. Procentuální zastoupení využití jednotlivých postupů uvádí obr. 4.

Procentuální zastoupení způsobů řešení úlohy



Obr. 4 Procentuální zastoupení způsobů řešení úlohy



Páku využilo pro řešení úlohy dvacet pět žáků (78 %), kladku pevnou použilo šest řešitelů (19 %) a kladkostroj jeden žák (3 %). Každý z těchto způsobů měl jinou procentuální úspěšnost při hledání správné hmotnosti svazku klíčů. Obr. 5. uvádí úspěšnost žáků při použití páky.



Obr. 5 Úspěšnost řešení při použití páky

Žáci uvedli správnou hmotnost ve 12 % případů, tj. tři řešitelé. Zbylí řešitelé uvedli buď špatnou hmotnost z důsledku nevyvážení páky, nebo neuvedli žádnou hmotnost.

Obr. 6. uvádí úspěšnost žáků, kteří k řešení využili kladku pevnou. Ke správné hmotnosti svazku klíčů se dostala polovina řešitelů, ostatní buď neuvedli žádnou hmotnost, nebo uvedli chybnou.



Obr. 6 Úspěšnost řešení při použití kladky pevné

Kladkostroj použil pouze jediný žák, avšak na počátku měření kladkostroj nevyvážil, tudíž mu vyšla nesprávná hodnota hmotnosti svazku klíčů.

Celkově úlohu správně vyřešilo šest žáků (19 %). Tři z nich za pomoci páky a tři za pomoci kladky pevné.

Z vyplněných pracovních listů, zvláště z postupu řešení, lze vyčíst další zajímavou informaci. Tou je hloubka znalostí žáků v tematické oblasti Otáčivé účinky síly, přičemž její procentuální zastoupení uvádí obr. 7.



Obr. 7 Procentuální zastoupení hloubky znalostí zúčastněných žáků v tematické oblasti Otáčivé účinky síly

Ze 32 zúčastněných žáků použilo správný vzorec pro výpočet hledané hmotnosti svazku klíčů čtrnáct žáků (44 %), avšak v důsledku nevyvážení páky či kladkostroje došlo pouze šest žáků ke správné hmotnosti. U dalších jedenácti řešitelů (34 %) je z postupu patrné, že vědí, jak nalézt rovnováhu, ale nevedli žádný výsledek. Pět žáků (16 %) nevyplnilo pracovní postup vůbec, nelze u nich tedy říct, do jaké hloubky otáčivým účinkům síly rozumí. Dva žáci (6 %) uvedli správný postup měření, ale použili chybný vzorec pro výpočet, tudíž jim vyšel špatný výsledek.

Dále můžeme na výsledky úlohy nahlížet také z pohledu výsledného bodového ohodnocení žáků, jehož četnost uvádí obr. 8.



Obr. 8 Histogram výsledného počtu bodů získaných v praktické úloze Archimediády 2018/2019



Většina pomůcek je běžně dostupná v obchodě a může být libovolně zaměněna za jiný druh (značku). Pouze laťka a trojúhelníky jsou speciálně vyrobené pro tuto úlohu.

Laťka je použita místo 30 cm pravítka. To by bylo k vyřešení úlohy ideální, avšak příliš triviální. Proto je žákům k dispozici laťka ze sololitu o délce větší, než je výška lahve, která na sobě nemá stupnici.

Dva rovnoramenné trojúhelníky jsou žákům k dispozici na rýsování. Avšak běžné trojúhelníky na sobě mají stupnici, kterou by žáci mohli využít pro změření hledané délky, čímž by si úlohu značně zjednodušili. Proto místo nich byly vytištěny pravoúhlé rovnoramenné trojúhelníky na 3D tiskárně. Přepona trojúhelníku má délku 162,63 mm a odvěsny 115,00 mm. Před exportem k tisku byl 2D model trojúhelníku vysunut o hloubku 1,5 mm. K tisku byla použita tiskárna Prusa i3 MK3S, která umožnila tisk čtyř kopií trojúhelníku současně, a filament byl zvolen polyactic acid (PLA).

### **Řešení**

Způsob řešení této úlohy se nedá rozdělit do kategorií jako u předchozí úlohy. Zde se řešení odlišují pouze v dílčích krocích, a to v závislosti na použitých pomůckách.

Řešitel mohl například přenést výšku lahve na papír za pomoci laťky, nebo špejle. Vzniklou úsečku délky 24 cm rozdělit kružítkem na poloviny (hledáním středu úsečky), ty dále na poloviny atd., čímž vytvořil měřidlo délky s dostatečně drobnou stupnicí, které se dá použít jako běžné pravítko. Nebo mohl rozdělit úsečku v daném poměru, čímž mu opět vzniklo měřidlo délky.

Po vytvoření měřidla mohl žák přenést rozměr obvodu lahve ve vyznačené části za pomoci provázku, jehož délku následně změřil. Hledaný obvod  $o = 25,5$  cm. Jako správné řešení jsou považovány hodnoty od 24,5 cm do 26,5 cm.

Průměr hrdla lahve mohl určit např. za pomoci dvou pravoúhlých trojúhelníků. Hledaný průměr hrdla  $d = 3,75$  cm. Jako správné řešení jsou uznány hodnoty od 3,5 cm do 4 cm.

### **Výsledky z Archimediády**

Archimediády se v roce 2022 zúčastnilo 10 žáků ze sekund víceletých gymnázií. Překvapivě ani jeden žák neřešil úlohu přes vytvoření si měřidla.

Průměr hrdla určovali tři řešitelé pomocí několika obkreslení hrdla na úsečku dlouhou 24 cm za sebe a následného vydělení čísla 24 počtem obkreslení. Obdržená hodnota průměru hrdla byla u všech v toleranci.

Jeden žák určoval průměr hrdla lahve přes obvod hrdla. V posledním kroku výpočtu však vynásobil nalezený průměr dvěma, tudíž byl výsledek chybný.

Tři řešitelé neuvedli v pracovním listě svůj postup měření, nelze tedy určit, jak k výsledkům dospěli. Jen jeden z nich měl výsledek správný.

Poslední tři řešitelé také nepopsali v pracovním listě svůj postup měření, ale ani ve výsledcích neměli uvedenou výslednou hodnotu průměru hrdla.

Při určování obvodu lahve ve vyznačené oblasti postupovalo osm žáků stejným způsobem, jen s různými pomůckami. Obkroužený obvod pouze porovnávali s výškou lahve. Zbylí dva žáci svůj postup nepopsali, ale z použitých pomůcek lze odvodit, že postupovali podobně. Pět řešitelů použilo k určení obvodu provázek, čtyři vodič s pryžovou izolací a jeden žák gumičku.

Ideální volbou k měření je provázek vzhledem k jeho pevnosti v tahu a zanedbatelné tloušťce. Oproti tomu vodič s pryžovou izolací je velmi tuhý, nelze ho ideálně vytvarovat do tvaru kružnice a zároveň zkresluje přenesení délky obvodu o tloušťku pryžové izolace. Elastická gumička je samozřejmě k měření nevhodná.

Osm řešitelů uvedlo, že obvod lahve je totožný s výškou lahve. Jelikož hodnota 24 cm je těsně pod tolerancí, získali za tento výsledek 0,5 bodu.

Obr. 10 uvádí výsledné bodové ohodnocení řešitelů praktické úlohy Archimediády.

řešitel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
body celkem	7,5	0	1	1,5	4	3,5	2,5	6,5	7	4,5

Obr. 10 Výsledné bodové ohodnocení řešitelů praktické úlohy Archimediády 2021/2022

Žáci mohli za vyplnění pracovního listu obdržet opět maximálně 10 bodů. Nejúspěšnějším řešitelem se stal žák se 7,5 body. Jeden žák skončil s celkovým nulovým bodovým ohodnocením z důvodu bodových ztrát za nápovědu.

Jak již bylo napsáno u předchozí úlohy, i u této mohli žáci využít nápovědu, která byla penalizována bodovou ztrátou. Využilo toho pět řešitelů, z čehož dva řešitelé dvakrát.

Výsledné bodové ohodnocení je také ovlivněno tím, že pouze 3 žáci vyplnili diskuzi. A to jen částečně, tudíž z možných dvou bodů získali jeden.

## Závěr

Na závěr se hodí upozornit na fakt, že použití úlohy založené na otáčivých účincích síly by bylo v dnešní době diskutovatelné. Během revize RVP bylo

totiž toto učivo vyškrtáno. Proto by bylo nutné opět provést rešerši ŠVP zúčastněných škol, která by možné použití úlohy dovolila.

Popsané úlohy mohou sloužit jako inspirace nejen pro praktické úlohy fyzikální olympiády v jiných okresech, ale také jako laboratorní úlohy do běžné výuky fyziky. Pokud jsou laboratorní úlohy zadány neprodleně po probrání tématu, tak žákům nedělá potíže jejich vyřešení.

Naopak jako problematické se pro žáky jeví vyplnění diskuze. Ze 42 řešitelů Archimediády za dva sledované ročníky vyplnilo diskuzi pouze 13 žáků (31 %).

Příspěvek vznikl za podpory projektu GAJU 041/2022/S „Klíčová místa kurikula pro integraci vzdělávacích obsahů v oblasti STEM“.

### **Literatura**

- [1] PRACHAŘ, Jan, ed. Co je Fyzikální olympiáda. *Fyzikální olympiáda* [online]. Česká republika: Fyzikální olympiáda České republiky, 2022 [cit. 05. 08. 2022]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/co-je-fo>
- [2] WEGENKITTLOVÁ, Pavla. *Praktické úlohy okresního kola fyzikální olympiády kategorie G*. České Budějovice, 2019. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- [3] *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání*. Praha: MŠMT, 2017.
- [4] *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání*. Praha: MŠMT, 2021.
- [5] ŠUP, Rudolf. *ŽEP-II*. Praha: Komenium, n. p., 1980. 57-134-80.
- [6] Klíč 100 ND, R1 N R11N. *Dárky, designové předměty, hry a hračky e-shop Kukačka.cz* [online]. Copyright © [cit. 05. 08. 2022]. Dostupné z: <https://bit.ly/2RnCPQz>

## **Seznam účastníků konference**

ANDRÝSKOVÁ Alžběta, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
BARCALOVÁ Miroslava, Základní škola Campanus, Praha  
BEDNÁŘ Vít, Základní škola Máj I, České Budějovice  
BĚLAŠKOVÁ Pavla, Gymnázium a SOŠ, Rokycany  
BÖHM Pavel, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
BOCHNÍČEK Zdeněk, Přírodovědecká fakulta MU, Brno  
BUCHAL Leona, Brno  
ČERMÁKOVÁ Aneta, ZŠ a MŠ Červený Vrch, Praha 6  
DANEŠ Michal, Gymnázium a SOŠ zdravotnická a ekonomická, Vyškov  
DAVID Vojtěch, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
DESENSKÝ Petr, IQLANDIA o. p. s., Liberec  
DIRLBECK Jan, Gymnázium Cheb  
DIVIŠOVÁ Hana, Základní škola Bratří Čapků, Příbram  
DOSTÁLOVÁ Magda, Gymnázium Jeseník  
DOSTÁLOVÁ SEKANINOVÁ Iva, Základní škola Olomouc, Mozartova  
DROZD Zdeněk, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
DUPKALA Daniel, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
DVOŘÁK Leoš, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
DVOŘÁKOVÁ Irena, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
FRANC Tomáš, ESA ESERO Česká republika, Praha  
FRÁŇKOVÁ Klára, Gymnázium Bohumila Hrabala v Nymburce  
GETKO Jan, Základní škola, Česká Skalice  
HASIL Jiří, Klvaňovo gymnázium a střední zdravotnická škola, Kyjov  
HEJNOVÁ Eva, Přírodovědecká fakulta UJEP, Ústí nad Labem  
HEJSKOVÁ Pavlína, Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická TUL, Liberec  
HENC Marek  
HENCOVÁ Zdeňka  
HLOŽEK Filip, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
HOLUBOVÁ Renata, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
HORENSKÝ Radek, Gymnázium Šternberk  
HORVÁTHOVÁ Martina, Základní škola, Brno, Jasanová  
HRDÝ Jan, Gymnázium Jana Pivečky, Slavičín  
HROUZKOVÁ Tereza, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
HRUBÁ Anna, Střední průmyslová škola stavební, České Budějovice  
HUBÁČEK Jakub, SPŠ elektrotechniky a informatiky, Ostrava  
HUBÁČEK Zdeněk, Gymnázium Kroměříž  
HUBEŇÁK Josef, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Hradec Králové

HUBENÁK Jiří, Gymnázium Boženy Němcové, Hradec Králové  
HÝBLOVÁ Radmila, Česká Třebová  
CHVÁTAL Roman, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
IVANIČ Roman, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
JANDÍKOVÁ Věra, Gymnázium F. X. Šaldy, Liberec  
JERMÁŘ Jakub, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
JEŘÁBKOVÁ Irena, Základní škola, Chrudim, Dr. Peška  
JÍROVÁ Eva, Gymnázium a SOŠ, Rokycany  
JUCHELKOVÁ Dana, Základní škola a mateřská škola, Český Těšín Hrabina  
JUREČEK Pavel, Církevní základní škola ve Veselí nad Moravou  
KAMARÁDOVÁ Zdeňka, Základní škola Libina  
KAMARÁDOVÁ Zdeňka, ZŠ a MŠ Ústavní, Praha  
KIELBUSOVÁ Zdeňka, Fakulta pedagogická, ZČU v Plzni  
KOČIŠOVÁ Patricie, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
KOČVARA Jaroslav, Gymnázium Cheb  
KOHOUT Jiří, Fakulta pedagogická ZČU v Plzni  
KOLÁŘ Karel, PROMETHEUS, Praha  
KOLÁŘOVÁ Květa, ZŠ s rozšířeným vyučováním matematiky a přírodovědných  
předmětů, Teplice  
KOLÁŘOVÁ Lucie, FZŠ dr. Milady Horákové a MŠ Olomouc  
KOLAŠINOVÁ Zuzana, Mateřská škola a Základní škola Slatinice  
KONEČNÝ Pavel, Přírodovědecká fakulta MU, Brno  
KONÍČEK Libor, Přírodovědecká fakulta OU, Ostrava  
KOPECKÁ Václava, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
KOŘÍNEK Jaroslav, Smíchovská střední průmyslová škola a gymnázium, Praha  
KOUDELKOVÁ Věra, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
KOUPIJL Jan, DELTA - Střední škola informatiky a ekonomie, Pardubice  
KOUPILOVÁ Zdeňka, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
KRAMÁŘOVÁ Lenka, Gymnázium Brno, Vídeňská  
KRÁSNÝ Jiří, Základní škola Chropyně  
KRÁSNÝ Vladimír, Základní škola Libina  
KUBICOVÁ Jitka, Klvaňovo gymnázium a střední zdravotnická škola, Kyjov  
KUBÍNEK Roman, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
KUNZOVÁ Hana, Gymnázium Trhové Sviny, Školní 995  
KVAŠŇOVSKÁ Marie, Brno  
LEPIL Oldřich, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
LEPIŠOVÁ Zuzana, Spojená škola sv. Františka Assiského, Malacky, Slovensko  
LETANOVSKÁ Ľubica, Gymnázium Jura Hronca, Bratislava, Slovensko  
LUSTIG František, Přírodovědecká fakulta UJEP, Ústí nad Labem



MACHALA Libor, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
MANDÍKOVÁ Dana, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
MARKOVÁ Milada, Letohradské soukromé gymnázium  
MARŠÁLEK Jan, Filosofický ústav AV ČR, Praha  
MASOPUST Pavel, Fakulta pedagogická ZČU v Plzni  
MATOUŠ Otakar, Střední průmyslová škola sdělovací techniky, Praha 1, Panská  
MICHÁLEK David, Základní škola a Mateřská škola Nymburk, Tyršova  
NOVOTNÝ Jan, Pedagogická fakulta MU, Brno  
OGROCKI Petr, Základní škola Havířov-Šumbark  
OPATRNÝ Tomáš, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
PANOŠ Stanislav, Gymnázium F. X. Šaldy, Liberec  
PANOŠOVÁ Dagmar, Střední průmyslová škola technická, Jablonec nad Nisou  
PAZDERA Václav, Gymnázium, Olomouc, Čajkovského  
PFEIFEROVÁ Pavlína, Základní škola, Rumburk  
PITTNEROVÁ Daniela, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
PLACHTOVÁ Lenka, Gymnázium, Ostrava-Zábřeh  
POLÁK Zdeněk, Jiráskovo gymnázium, Náchod  
PUCHOLT Zdeněk, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
PULÍČEK Jindřich, Gymnázium Dr. Antona Randy, Jablonec nad Nisou  
REICHL Jaroslav, Střední průmyslová škola sdělovací techniky, Praha 1, Panská  
RICHTEREC Lukáš, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
RICHTERKOVÁ Šárka, Gymnázium, Olomouc-Hejčín, Tomkova  
ROSICKÁ Kateřina, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
RYSTON Matěj, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
ŘÍHA Jan, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
SEMRÁD Petr, Střední škola obchodu, služeb a řemesel a Jazyková škola s právem státní jazykové zkoušky, Tábor  
SKOPALÍK Josef, Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT, Kladno  
SLEZÁKOVÁ Jana, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
SMRČKA David, Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc  
STANĚK Miroslav, PROFIMEDIA, Opava  
STASZEWSKI Piotr, Polskie Towarzystwo Fizyczne, Lubelskie Towarzystwo Edukacyjno-Naukowe, Lublin, Polsko  
STEINSDÖRFER Jan, Gymnázium Teplice  
STEKLÁ Ivana, Gymnázium, Praha 10, Přípotoční  
SVOBODOVÁ Jindřiška, Pedagogická fakulta MU, Brno  
ŠEBELÍK Václav, Přírodovědecká fakulta JČU, České Budějovice  
ŠESTÁKOVÁ Jana, Žiju fyzikou, Kokořín  
ŠKRABÁNKOVÁ Jana, Přírodovědecká fakulta OU, Ostrava

ŠLÉGR Jan, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Hradec Králové  
ŠLÉGROVÁ Leontýna, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Hradec Králové  
ŠMÍDOVÁ Kateřina, Gymnázium Františka Palackého, Neratovice  
ŠTĚPANCOVÁ Martina, Základní škola Uničov, U Stadionu  
ŠTUMPFOVÁ Petra, Masarykovo gymnázium Plzeň  
ŠUSTEK Zdeněk, Gymnázium a SOŠ zdravotnická a ekonomická, Vyškov  
TARICS Jan  
TESAŘ Jiří, Pedagogická fakulta JČU, České Budějovice  
TRHLÍKOVÁ Hana, Základní škola Sokolov, Křížíkova  
TRINKEWITZOVÁ Kamila, Gymnázium Rožnov pod Radhoštěm  
VACKOVÁ Dagmar, Základní škola, Kroměříž, Komenského náměstí  
VÁGNEROVÁ Kateřina, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha, Masarykova ZŠ,  
Klatovy  
VÁCHA Zdeněk, Gymnázium Teplice  
VAKOČ Pavel, Fast ČR, Říčany  
VÁLEK Jiří, Základní škola Dubeč  
VANČUROVÁ Yvonna, Základní škola, Kroměříž, U Sýpek  
VANĚK Martin, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha  
VAŠUTOVÁ Karla, Základní škola P. Bezruče, Frýdek-Místek  
VÍCHA Vladimír, Gymnázium, Pardubice, Dašická  
VOGLOVÁ Kateřina, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Hradec Králové  
VOCHOZKA Vladimír, Pedagogická fakulta JČU, České Budějovice  
VYBÍRALOVÁ Iva, Gymnázium a SOŠ zdravotnická a ekonomická, Vyškov  
VÝLETOVÁ Renata, Klvaňovo gymnázium a střední zdravotnická škola Kyjov  
VYŠINKA Marek, Brno  
WEGENKITTLOVÁ Pavla, Pedagogická fakulta JČU, České Budějovice  
ZACHAROVÁ Alena, Základní škola a Mateřská škola, Určice  
ZAKOPALOVÁ Eva, Gymnázium Rožnov pod Radhoštěm  
ZÁMEČNÍK Lukáš, Filozofická fakulta UP, Olomouc  
ZEDNÍK Michal, Základní škola, Pečky  
ŽÁK Vojtěch, Matematicko-fyzikální fakulta UK, Praha

## **VELETRH NÁPADŮ UČITELŮ FYZIKY 27**

sborník z konference

Za odbornou správnost odpovídají autoři.

Příspěvky ve sborníku neprošly jazykovou úpravou.

Editorka RNDr. Renata Holubová, CSc.

Odpovědná redaktorka Mgr. Tereza Vintrová

Technický redaktor doc. RNDr. Oldřich Lepil, CSc.

Vydala Univerzita Palackého v Olomouci

Křížkovského 8, 771 47 Olomouc

[www.vydavatelstvi.upol.cz](http://www.vydavatelstvi.upol.cz)

Olomouc 2022

1. vydání

**ISBN 978-80-244-6217-2** (online : PDF)

VUP 2022/0417