

## Na akustiku s tabletem nebo smartphonem

OLGA SMETANOVÁ – LUKÁŠ RICHTEREK

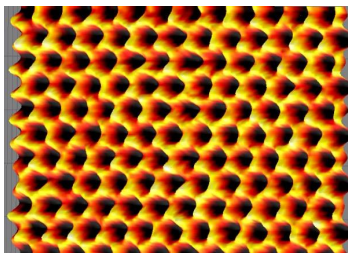
Přírodovědecká fakulta UP, Olomouc

Text článku vychází z diplomové práce [1], která je volně dostupná a zahrnuje experimenty z následujících tematických oblastí: demonstrace rázů pro kmitavé pohyby, akustická analogie řádkovací tunelové mikroskopie, měření rychlosti zvuku ve vzduchu, studium vlastností zvuku (především zvukových spekter tónů zahranych na různé hudební nástroje), orientační měření hlasitosti a intenzity zvuku, audiometrické měření, demonstrace principu sonaru a Dopplerova jevu. Měření pomocí tabletů a smartphonů je bezpochyby jednou z možností, jak tato zařízení smysluplněji využít ve výuce v duchu trendů „Bring Your Own Device“ a je mu věnována řada článků a návodů (poněkud reprezentativnější výčet aktuální k datu odevzdání je uveden v samotné diplomové práci [1], zde zmiňme alespoň přehledovou publikaci [2]). V práci se zaměříme na pokusy z akustiky a většina z nich využívá volně dostupné aplikace PhyPhox [3]. Jako „ochutnávku“ zde blíže rozeberme čtyři experimenty, k nimž bylo na smartphonu využito senzoru hladiny intenzity zvuku a tónového generátoru.

### 1. Akustická analogie řádkovací tunelové mikroskopie

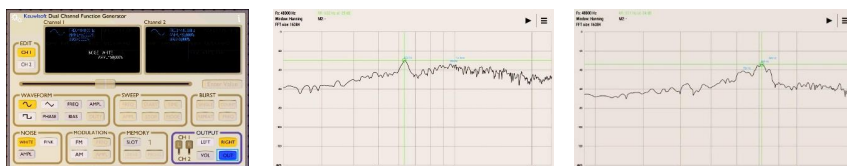
Vynález řádkovací tunelové mikroskopie (STM) hraje obrovskou roli při studiu mikroskopické struktury povrchů a rozvoji nanotechnologií. STM nám umožňuje zobrazovat atomy a molekuly, na druhou stranu teoretické pochopení této metody je pro středoškolského studenta náročné poměrně. Manfred Euler [4] navrhl akustický model, který dává do souvislosti zobra-

zení elektrického pole atomů mikroskopem (viz např. obr. 1) a „zobrazení“ či detekci dutin pomocí rezonance akustického signálu. Pro práci se dvěma smartphony (jeden v roli generátoru zvuku, jeden jako detektor) byla myšlenka rozpracována v [5]. Jako rezonátorové dutiny nám mohou posloužit prázdné plastové lahvičky od jogurtových nápojů uspořádané v řadě nebo rozmístěné na nějaké ploše, ty nám reprezentují „atomy na povrchu vzorku“. Namísto skenování pomocí tunelového jevu pak měříme zesílení či zeslabení amplitudy zvuku.



Obr. 1 Zobrazení vrstvy grafenu elektronovým mikroskopem (zdroj: Wikipedie)

Nejprve musíme najít rezonanční frekvenci lahviček pomocí bílého šumu. Můžeme k tomu použít např. aplikaci *Function Generator* (<https://www.keuwl.com/FunctionGenerator/>) spuštěné na jednom telefonu (obr. 2a) jako generátor bílého šumu. Druhým telefonem pak zobrazíme zvukové spektrum nad dutinou lahvičky (našeho rezonátoru), např. pomocí aplikace *Advanced Spectrum Analyzer* (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vuche.asap>), v našem případě vychází rezonanční frekvence 632 Hz (obr. 2b). Pokud do lahvičky nalijeme 40 ml vody, zkrátí se vzduchový sloupec v ní a rezonanční frekvence bude vyšší, v našem případě 811 Hz (obr. 2c).



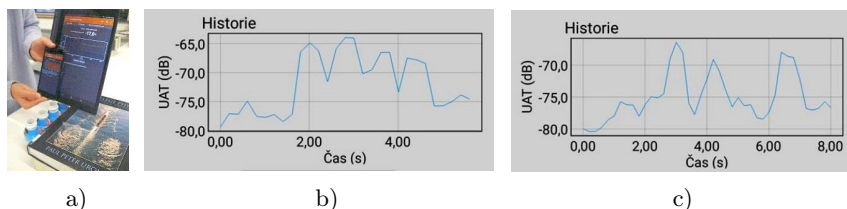
a)

b)

c)

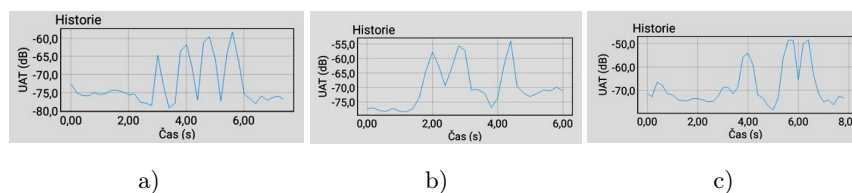
Obr. 2 Hledání rezonanční frekvence lahvičky pomocí bílého šumu: a) aplikace function generátor jako zdroj; b) spektrum nad prázdnou lahvičkou; c) spektrum nad lahvičkou se 40 ml vody

Při samotném měření pak nastavíme na generátoru harmonický tón nalezené rezonanční frekvence (např. 632 Hz pro prázdnou lahvičku) a projíždíme („skenujeme“) nad řadou lahviček, druhým telefonem zaznamenáváme zesílení a zeslabení zvuku (aplikací Phyphox/Amplituda zvuku [3]) jako na obr. 3a. Poloze lahviček odpovídá zesílení zvuku (obr. 3b). Pokud do jedné z lahviček (v našem případě třetí zleva) nalijeme vodu, změní se její rezonanční frekvence a k zesílení zvuku (nastaveného na rezonanci nad prázdnou lahvičkou) nedojde, bude „neviditelná“ (obr. 3c).



Obr. 3 Měření rezonančního zesílení zvuku nad soustavou lahviček: a) možné uspořádání experimentu; b) soustava čtyř prázdných lahviček; c) nad třetí lahvičkou, v níž je voda, k zesílení nedojde

Postup můžeme zopakovat pro lahvičky naplněné stejným množstvím vody (třeba 40 ml) a jejich nalezenou rezonanční frekvenci 811 Hz. Pokud obsahují všechny přibližně stejné množství vody, dojde k rezonančnímu zesílení zvuku nade všemi (obr. 4a), pokud např. třetí zleva vyprázdníme (obr. 4b) nebo do druhé zleva nalijeme 80 ml vody (obr. 4c), nad těmito lahvičkami k zesílení nedojde na záznamu je „nevidíme“.



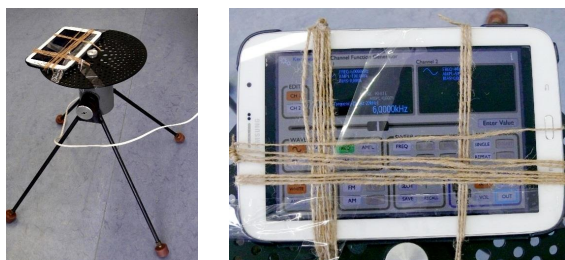
Obr. 4 „Skenování“ nad lahvičkami s vodou s nastavenou frekvencí 811 Hz: a) všechny lahvičky se 40 ml vody; b) třetí je prázdná; c) ve druhé je 80 ml

Experiment lze s větším počtem lahviček modifikovat rozmístěním na ploše namísto pouze v řadě, přesnějším zaznamenáváním polohy apod. Abychom nemuseli držet dva smartphony, je možné k záznamu zvuku použít sluchátka, jeden telefon pak může zůstat položený na stole. K udržení

alespoň přibližně stejné výšky telefonů nad lahvičkami lze ruku nebo telefon podepřít, např. knihami (obr. 3a). Lze si představit, že při uspořádání v rovině mohou „vrchy“ a „doly“ akustického signálu připomínat pole atomů na obr. 1.

## 2. Dopplerův jev

Jednou z možností demonstrace Dopplerova jevu je využití otáčivé desky (za předpokladu, že otáčení můžeme alespoň přibližně považovat za rovnoměrné). Telefon s reproduktorem umístěným na okraji otáčející se desky, se bude k přijímači (druhému telefonu) periodicky přibližovat a vzdalovat [6]. Abychom předešli poškození při sklouznutí přístroje, je nutné telefon nebo tablet na desce dostatečně připevnit (obr. 5). Jako zdroj můžeme opět použít aplikaci *Function generator*, která umožňuje zapnout či vypnout jednotlivé reproduktory (musíme se rozhodnout, který použijeme a změřit jeho vzdálenost od osy otáčení, v našem případě 15,5 cm).

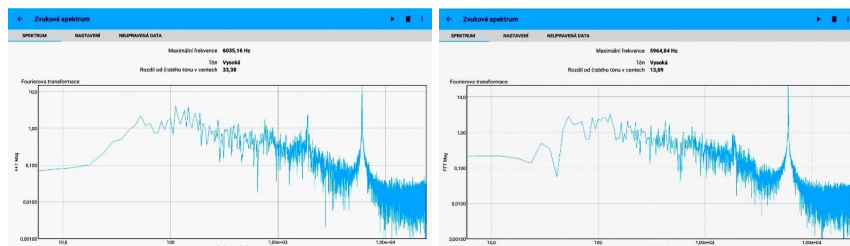


Obr. 5 Tablet jako generátor signálu o frekvenci 6 000 Hz na otáčivém kotouči a jeho upevnění se zapnutou aplikací *Function Generator*

Pomocí aplikace *Phyphox/Zvukové spektrum* lze zobrazit frekvenční spektrum a také hodnotu frekvence s maximální amplitudou, zvláště pro přibližování a zvláště pro vzdalování (obr. 6). Ze vztahů pro Dopplerův jev (viz např. [7]) pak můžeme dopočítat rychlost zdroje, např. pro údaje korespondující obr. 6 dostáváme

$$u = v_{\text{zvuk}} \left( 1 - \frac{f_0}{f_1} \right) = v_{\text{zvuk}} \left( \frac{f_0}{f_2} - 1 \right) = v_{\text{zvuk}} \left( \frac{f_1 - f_2}{f_1 + f_2} \right) \doteq 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

pro obvyklou hodnotu  $v_{\text{zvuk}} \doteq 340 \text{ m/s}$ . Rychlost můžeme odhadnout i změřením frekvence otáčení (např. z doby 100 nebo 50 otočení) a vzdálenosti reproduktoru od osy otáčení. V uvedeném případě vyšlo 2,1 m/s, chyba se tedy pohybovala do 4 %.



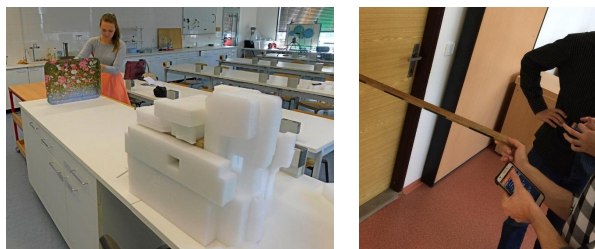
Obr. 6 Zaznamenané frekvence pro přibližování  $f_1 = 6035$  Hz a vzdalování  $f_2 = 5965$  Hz pro  $f_0 = 6000$  Hz; u výstupu programu byly invertovány barvy

K ověření či demonstraci Dopplerova lze použít i videozáznam jízdy automobilu po přímé silnici se zapnutým klaksonem při třech rychlostech: <https://www.youtube.com/watch?v=zF1g1vQvKzU>, analýzu bychom provedli analogicky.

### 3. Princip sonaru

Náš mobil nebo tablet se může proměnit i v jednoduchý sonar, který je jako přístroj příkladem aplikace znalostí šíření akustických vln. V praxi se využívá velmi často a princip je velice jednoduchý a snadno pochopitelný. Aplikace *Phyphox/Experiment Sonar* vysílá krátký zvuk a pomocí mikrofonu zaznamenává echa. Na základě toho pak vykresluje graf závislosti amplitudy ozvěny na vzdálenosti, popřípadě také závislosti amplitudy ozvěny na časovém zpoždění.

Při tomto experimentu je vhodné chránit telefon před nežádoucími ozvěnami (viz měření v laboratoři na obr. 7, kde je přístroj v krabici otevřeně pouze na jedné straně a ostatní stěny jsou obloženy izolací) nebo na základě vhodných indicií přiřadit měřené překážce správnou ozvěnu. Za vhodnou překážku může posloužit např. kovový táb, stěna nebo dveře (obr. 7).



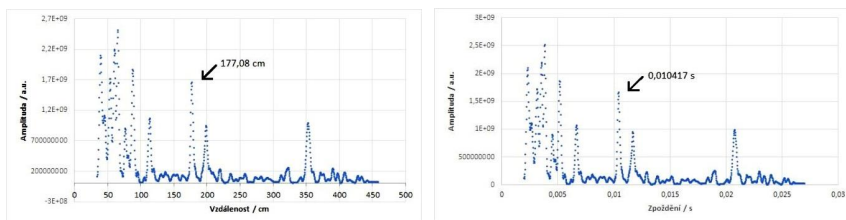
Obr. 7 Experiment sonar v laboratoři a při použití studenty Slovanského gymnázia v Olomouci

Při spuštění experimentu slyšíme „cvrlikání“ – zvuk s rychle se měnící frekvencí vysílaný aplikací. Podle popisu trvá každý takový signál 5 ms a frekvence se mění v rozsahu 1 kHz až 4 kHz, přičemž signál se opakuje vždy pětkrát v intervalu asi 30 ms.

Vyhodnocení vzdálenosti od překážky závisí na ručně zadávané rychlosti zvuku ve vzduchu. Při známé vzdálenosti překážky lze naopak odhadnout rychlost zvuku (viz údaje z grafů na obr. 8)

$$v = \frac{2l}{t} = \frac{2 \cdot 1,8 \text{ m}}{0,010417 \text{ s}} \doteq 346 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

což je v rozumném souladu s obecně přepokládanou hodnotou pro pokojovou teplotu okolo 20 °C (viz např. <http://www.converter.cz/tabulky/rychlost-zvuku-vzduch.htm>).



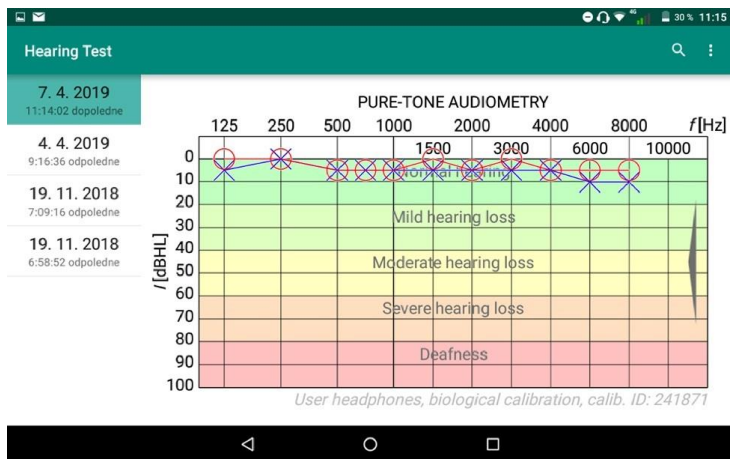
Obr. 8 Amplituda echa v závislosti na vzdálenosti a časovém zpoždění pro překážku ve vzdálenosti 1,8 m, rychlost zvuku ve vzduchu nastavena na 340 m/s

#### 4. Audiometrické měření

Audiometrie je jedna metod vyšetření sluchu, kterou se testuje citlivost na jednotlivé frekvence ve slyšitelné oblasti. K jednoduchému testování lze opět využít tablet nebo smartphone – studenti si pomocí sluchátek a smartphonu mohou měřit úroveň sluchového prahu v závislost na frekvenci zvuku. Mohou si tak prověřit kvalitu jejich sluchu, vyhodnotit naměřená data pro pravé a levé ucho zvláště či porovnat své výsledky s ostatními spolužáky či členy rodiny. Experiment nabízí mezipředmětové propojení mezi fyzikou a biologií případně medicínou.

Závislost hladiny intenzity zvuku, který ještě slyšíme, na frekvenci nazýváme audiogram. Pro klinické použití je stupnice normalizována tak, že se stává přímkou při 0 dB pro všechny frekvence. Tato normalizovaná stupnice se vyznačuje jako dB HL. Pro normální sluch představuje tedy

závislost hladiny intenzity zvuku na frekvenci přímku v horní části audiogramu (viz obr. 9). Hodnota 0 dB pak představuje hodnotu, kterou mladý a zdravý jedinec ještě může slyšet. Čím níže se odchyľují naměřené hodnoty, tím větší je ztráta sluchu.

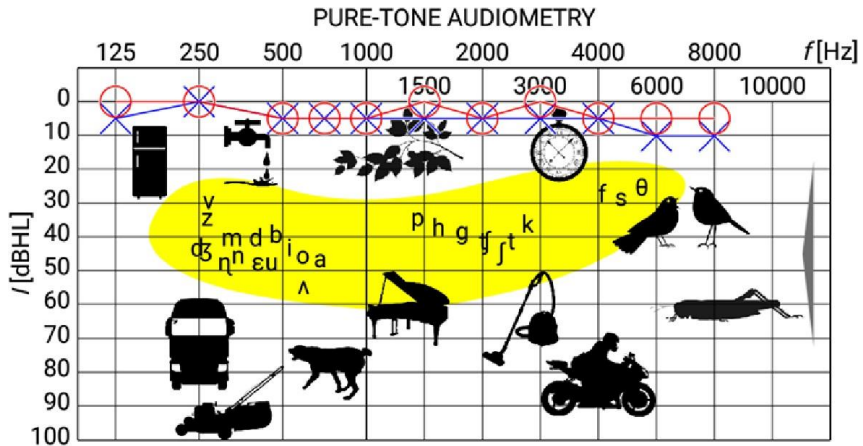


Obr. 9 Typický záznam měření v aplikaci *Hearing test* s barevně vyznačenou škálou ztráty sluchu pro nízké frekvence

Aplikace *Hearing test* (<https://www.e-audiologia.pl/HearingTest/>) dokáže generovat tóny různých frekvencí a různé intenzity a následně vykreslit audiogram. S originálními sluchátky ke smartphonu ani není nutná kalibrace. U vysokých frekvencí může dojít ke zkreslení díky frekvenční charakteristice reproduktorů, popř. sluchátek, neboť kvalitní přenos a podání vysokých frekvencí nejsou pro běžné telefonní hovory nutné.

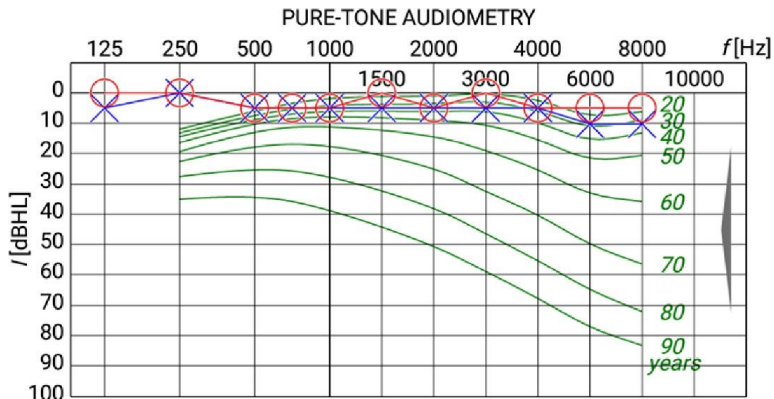
Aplikace postupně „pouští do ucha“ frekvence v rozsahu 125 Hz až 18 000 Hz pro každé ucho zvlášť. V záznamu měření pak může být barevně odlišena míra snížení sluchu (obr. 9). Dodejme ale, že získané výsledky nelze brát jako rovnocenné lékařskému vyšetření nebo jako podklad k vyslovování diagnózy. Závěry jsou orientační, ale mohou upozornit na případný problém či potřebu konzultace s lékařem, specialistou v oboru otorhinolaryngologie (ORL).

Aplikace také dokáže znázornit typické frekvence některých běžných zvuků, jako se kapající kohoutek, vysavač, ptačí zpěv či některé hlásky lidské řeči (obr. 10).



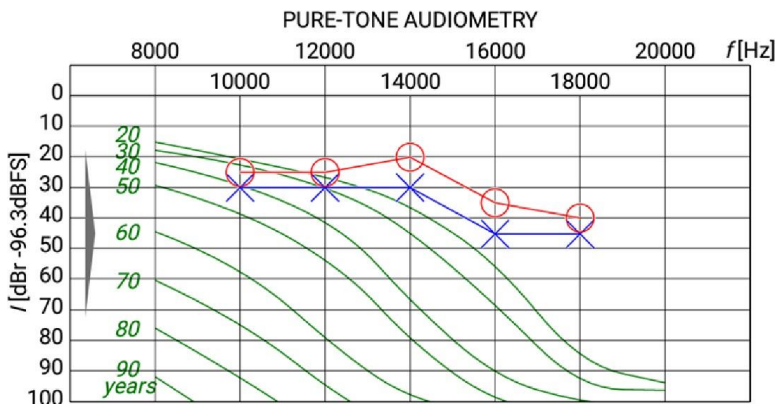
Obr. 10 Audiogram s typickými zvuky („Speech banana“) pro nižší frekvence v aplikaci *Hearing test*

Provedli jsme měření na 3 osobách ve věku 22, 50 a 73 let (obr. 11, 12 a 13). Program v interpretačních diagramech znázorňuje i orientační normy pro daný věk. U padesátiletého muže (obr. 13) je patrné zhoršení sluchu oproti normativním hodnotám, naopak sluch mladé ženy odpovídá věku nebo je dokonce v oblasti vyšších frekvencí lepší (obr. 12).

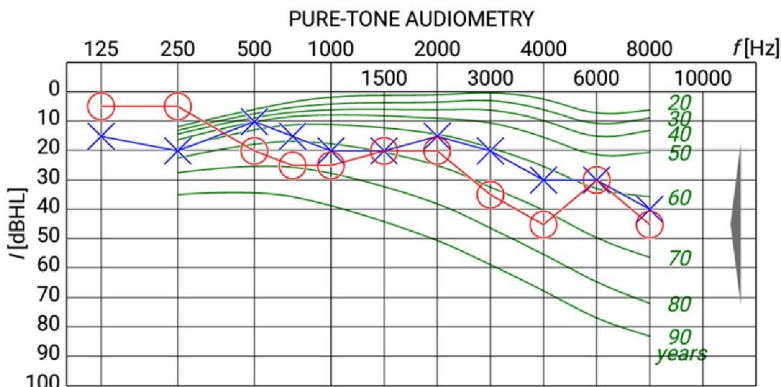


Obr. 11 Audiogram ženy ve věku 22 let pro oblast nízkých frekvencí





Obr. 12 Audiogram ženy ve věku 22 let pro oblast vysokých frekvencí



Obr. 13 Audiogram muže ve věku 50 let pro oblast nízkých frekvencí, je patrné, že sluch je horší, než by odpovídalo věku

Naším cílem bylo realizovat experimenty bez speciálního drahého vybavení (smartphone nezapočítáváme, neboť žáci ho většinou mají) a pokud možno s běžně dostupnými pomůckami. Popsaná měření nevyžadují teoretické znalosti nad rámec učiva SŠ (konkrétně gymnázií) a zároveň jsou poměrně jednoduchá na realizaci i interpretaci naměřených dat. Naše zkušenosti z reakcí studentů gymnázia potvrzují, že využití smartphonů je pro ně velmi přirozené a snad by do určité míry mohlo podpořit jejich zájem a motivaci.

## Literatura

- [1] *Smetanová, O.*: Jednoduchá fyzikální měření s tabletem nebo chytrým telefonem. Diplomová práce, UP, Olomouc, 2019. Dostupné z: <http://mujoptol.cz/richterek/doku.php?id=vyuka>.
- [2] Smartphones in Science Teaching iStage 2. In: Science on stage [online]. Berlin, 2014. Dostupné z: [https://www.science-on-stage.eu/images/download/iStage\\_2\\_Smartphones\\_in\\_Science\\_Teaching.pdf](https://www.science-on-stage.eu/images/download/iStage_2_Smartphones_in_Science_Teaching.pdf).
- [3] *Phyphox*: Physical phone experiments. Dostupné z: <https://phyphox.org/>.
- [4] *Euler, M.*: Getting in touch with the nanoworld: Hands-on experiments and models to visualize nanoscale structures. In: Science and technology Education for the 21st Century (2014), DOI 10.13140/2.1.1728.2881.
- [5] *Thees, M. et al.*: Adaptation of acoustic model experiments of STM via smartphones and tablets. *The Physics Teacher*, roč. 55 (2017), č. 7, s. 436–437.
- [6] *Klein, P. et al.*: Classical experiments revisited: Smartphones and tablet PCs as experimental tools in acoustics and optics. *Physics Education*, roč. 49 (2014), č. 4, s. 412–418.
- [7] *Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.*: Fyzika 1. VUTIUM, Brno, 2013.

# Určenie rýchlosti elektromagnetického vlnenia pomocou dvojvodičového vedenia z videozáznamu

ZUZANA GIBOVÁ – JÁN KECER

Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, SLOVENSKO

Obdobie pandémie koronavírusu donútilo aj nás hľadať spôsob ako umožniť študentom merať experimenty dištančne. V minulosti sme pre našich študentov v rámci projektu Kega natáčali videá z rôznych oblastí fyziky a to nás podnietilo k natočeniu videozáznamov, ktoré sa môžu použiť pri meraní. Takéto meranie má svoje výhody aj nevýhody, ale prináša možnosť merať danú úlohu aj iným študentom a žiakom, ako aj pomôcť kolegom pri príprave a tvorbe hodín, ak sú videá prístupné na internete. V článku prezentujeme úlohu na určenie rýchlosti elektromagnetického