

### HISTORICKÝ PRÍSTUP K ZAVEDENIU POJMU SILA

Peter HORVÁTH

#### Abstrakt

Vo vyučovaní fyziky sa na všetkých úrovniach vzdelávania opakovane stretávame so žiackou predstavou, že ak sa teleso pohybuje, tak na neho musí pôsobiť sila v smere pohybu. Táto „šípka v smere pohybu“ je v súlade s historickou predstavou o pohyboch. Ak túto „šípku v smere pohybu“ stotožníme s hybnosťou telesa môžeme sa pohnúť smerom ku korektnému pochopeniu pojmu sila a k dôsledkom silového pôsobenia, podobne, ako to nastalo v histórii fyziky.

#### HISTORICAL APPROACH TO TEACHING FORCE

#### Abstract

In the teaching of physics, at all levels of education, we repeatedly encounter the student's idea that if a body moves, then a force must act on it in the direction of movement. This "arrow in the direction of movement" is consistent with the historical idea of movements. If we identify this "arrow in the direction of movement" with the momentum of the body, we can move towards a correct understanding of the concept of force and the consequences of force action, similarly as it happened in the history of physics.

#### Úvod

Už dlhšie je známe, že dôsledky silového pôsobenia na teleso súvisiace s pohybom telesa bývajú žiakmi nesprávne pochopené. Problematiku riešili už v minulosti napríklad Tarábek [1], Nachtigal [2], alebo Arons [3], ktorí odhalili miskoncepce u vysokoškolských študentov na základe riešenia napohľad jednoduchých úloh. Aj priamo na konferencii v Srní v roku 2023 sme sa uvedenej problematike venovali vo viacerých príspevkoch. Predstava, že na pohybujúce sa teleso musí v smere pohybu vždy pôsobiť sila, alebo, že výslednica pôsobiacich síl pôsobí na vždy v smere pohybu, a to aj ak je pohyb rovnomerný, býva asi najčastejšie identifikovaná žiacka miskoncepčia na všetkých úrovniach vzdelávania. Ak sa pozrieme do histórie fyziky, vidíme, že žiaci majú podobné, možno povedať totožné predstavy o pohyboch a príčinách, ako tomu bolo v minulosti. Ku korektnej predstave o príčinách zmien pohybového stavu telies, ktoré sú formulované v troch Newtonových pohybových zákonoch, viedla pomerne dlhá cesta, ktorej dôležitou časťou bolo správne uchopenie pojmu hybnosť. Veríme, že nasledovaním tejto historickej cesty vo vyučovaní môžeme prispieť k adekvátnemu pochopeniu príčin pohybu žiakmi. Navrhujeme postup, pri ktorom rešpektujeme a využívame prvotné žiacke predstavy. Historický prístup tu znamená zavádzať jednotlivé pojmy postupne tak, ako boli objavované a formulované v histórii vedy. Ako bonus pre žiakov máme, že „šípka v smere pohybu“ môže ostať, len ju treba správne zadefinovať, ako hybnosť telesa, nie sila. Cieľom je správne pochopenie príčiny zmeny pohybového stavu tak, ako ju formuluje W. Harlen v jednej z (desiatich) kľúčových téz prírodovedného vzdelávania: „Na zmenu pohybu telesa treba výslednú silu naň

působiacu.“ [4]. Ak sa to podarí, žiaci môžu získať aj predstavu a cit pre súvislosti a príčinné závislosti.

### Historický vývoj pojmu sila

Predstava, že sila zapríčiňuje pohyb telesa sa v histórii fyziky ťahá od Aristotela. V Aristotelovej práci „Fyzika“ nájdeme, že pohyb je vždy spôsobený nejakou silou, ktorá je v kontakte s pohybujúcim sa telesom a rýchlosť pohybu je priamoúmerná veľkosti sily [5]. „Nech je poháňacia sila  $\alpha$ , poháňané teleso  $\beta$ , prejdená vzdialenosť  $\gamma$  a čas potrebný na prejdenie tejto vzdialenosti  $\delta$ . Tak potom rovnako veľká sila, ináč povedané  $\alpha$ , posunie polovicu  $\beta$  o dvojnásobok vzdialenosti  $\gamma$  za rovnaký čas  $\delta$ . Pretože týmto spôsobom je pomer zachovaný.“ [6, str. 20] Predstava Aristotela a jeho žiakov o pohybe šípu vo vzduchu bola: „Potom ako je objekt hodený sa hnacia sila, ktorá zaisťuje pokračovanie pohybu, prenáša na vzduch, ktorý sa dostal do pohybu.“ [6, str. 21] Keďže vo vákuu nie je vzduch nič, čo by bolo v priamom kontakte s telesom, Aristoteles tvrdil, že teleso vo vákuu sa nemôže dostať do pohybu. Aristoteles ale v podstate odhalil poznatok, ktorý je v plnom súlade s 1. Newtonovým pohybovým zákonom: „Je nemožné povedať, či sa môže niekedy zastaviť teleso, ktoré sa začne pohybovať vo vákuu. Prečo by to teleso vlastne malo zastať na jednom mieste a nie na inom? Dôsledkom toho bude, že teleso ostane v pokoji, alebo ak sa pohybuje, tak sa bude pohybovať, kým mu nepríde do cesty nejaká prekážka, do ktorej narazí.“ [6, str. 21]. Aristoteles však tieto úvahy zavrhol ako nemožné, pretože neveril v existenciu vákuu.

Aristoteles delil pohyby telies na prirodzené a násilné. Prirodzený pohyb smerom k nebesiam, teda nahor, Aristoteles nazval „levitáciou“, prirodzených pohybov smerom k Zemi, teda nadol, nazval „gravitáciou“. Násilné pohyby sú podľa Aristotela spôsobené vonkajšími silami. Aristoteles taktiež naznačil, že rýchlosť pádu telies je priamoúmerná hmotnosti telesa a nepriamoúmerná odporu prostredia [5].

Jedným z prvých, ktorý pochyboval o Aristotelových predstavách bol v 5. storočí Jan Filiponus z Alexandrie. Filiponus uvažoval o tom, že pohyb projektilov po vypustení je vlastnosťou telesa a nie dôsledok pôsobenia prostredia, ako tvrdí Aristotelova Mechanika. Filiponus pochopil aj úlohu odporu prostredia pri pohybe. Navrhol experiment s voľným pádom, ktorý Galileo uskutočnil o tisícročie neskôr [7].

Filiponove myšlienky boli dlho odmietané. Až v 14. storočí na neho nadviazali Albert Magnus a Tomáš Akvinský, ktorý veril, že keby sme predpokladali existenciu vlastnosti spojenej s pohybujúcim sa telesom, tak potom „...násilné pohyby by vychádzali z vnútornej vlastnosti pohybujúceho sa telesa, ktorý je úplným protikladom násilného pohybu.“ [6, str. 48] Násilný pohyb podľa Aristotela bol vždy výsledkom sily, ktorou nejaký objekt pôsobí na pohybujúce sa teleso. V tomto období Thomas Bradwardinus formuloval pojem rýchlosť ako kinematickú veličinu a Jean Buridan a Nicole Oresme sformulovali teóriu Impeta [8]:

1. Impetus je moc, ktorá existuje vo fyzickom svete a dokáže pohybovať objekt v tom istom smere, aký má samotný impetus.
2. Objekt môže odovzdať svoj impetus inému objektu.
3. Objekt sa pohybuje podľa množstva impetu, ktorý mu bol udelený.
4. Impetus môže byť oslabený alebo zrušený odporom prostredia.

5. Impetus môže byť priamočiary alebo krivočiary, preto pohyb vytvorený impetom môže byť priamočiary alebo krivočiary.

S výnimkou bodu 5 vidíme jasnú zhodu s pojmom hybnosť. Buridan dokonca formuloval vzorec na výpočet veľkosti impeta:

$$I = \rho \cdot V \cdot v$$

kde  $I$  je impetus,  $\rho$  je hustota telesa,  $V$  jeho objem a  $v$  je rýchlosť pohybu telesa.

Na pád telies sa v tomto období zamerl Albert Saský: „Povedať, že ťažší objekt padá rýchlejšie ako ľahší objekt, alebo že kamene, ktoré sú spojené sa spomaľujú navzájom je falošné a je v rozpore s pozorovaním.“ [6, str. 53]. Albert Saský sa priklonil k Buridanovej a Oresmeho myšlienke o impete a pád telies vysvetlil nárastom impeta telesa. Nárast sa však pri páde postupne spomaľuje a stáva sa nulovým pod vplyvom odporu prostredia.

K poriadku v pojmoch výrazne prispel aj Leonardo da Vinci, ktorý odlíšil pojem sily od pojmu kinetická energia.

Poznatky v tomto období boli získavané pozorovaním, opisom a dedukciou. Zmenu v tomto prístupe priniesol Galilei, ktorý svoje hypotézy overoval experimentálne. Galilei skúmal voľný pád, ktorý sa snažil modelovať aj pohybom guľí na naklonenej rovine. Podľa legendy skúmal aj ich pád telies z veže v Pise. V každom prípade prišiel na poznatok, ktorý už pred ním slovne formuloval Nicola Oresme, že rýchlosť pri páde telesa s časom narastá a že dve telesá rôznych hmotností pustené z rovnakej výšky dopadajú na zem súčasne. [5]

Galilei experimentálne prišiel na vzťah medzi impulzom sily a zmenou hybnosti telesa. Spojil zmenu hybnosti telesa so silou, ktorá na neho pôsobí [6] v jeho práci nájdeme poznatok o zotrvačnosti telesa a samozrejme Galileiho princíp relativity. V práci *Discorsi* sa môžeme napríklad dočítať nasledovné: „Predstavujem si pohybujúce sa teleso, ktoré je hodené na vodorovnú rovinu, kde nie je žiadna prekážka. Hovoríme o tom, že jeho pohyb na rovine bude stále rovnomerný ak rovina pokračuje do nekonečna.“ [6, str. 141].

Po Galileim s hybnosťou ďalej pracovali Descartes a Jan Marek Marci. V práci Descartesa môžeme napríklad nájsť [9]:

1. Každá vec zotrvať vo svojom stave dovtedy, kým ho niečo nezmení.
2. Každé pohybujúce sa teleso má tendenciu zotrvať v priamočiariom pohybe. Kameň vyletí z praku v smere dotyčnice a má tendenciu v tomto smere pokračovať v priamočiariom rovnomernom pohybe.
3. Pri zrážke dvoch telies jedno teleso získa toľko pohybu, koľko ho druhé teleso stratilo.

Marci sa zamerl na zrážkové pokusy, svoje závery formuloval nasledovne [8]:

1. Ak narazí guľa na rovnakú nehybnú guľu, odrazí ju a zastaví sa.
2. Ak narazí väčšia guľa na menšiu nehybnú, odrazí ju a pokračuje v pohybe.
3. Ak narazí menšia na väčšiu nehybnú, pričom jej impulz preváži pomer hmotností, odrazí ju a sama sa odrazí alebo ostane v pokoji.

4. Ak narazí menšia guľa na väčšiu nehybnú, pričom pomer hmotností preváži jej impulz, zostane väčšia guľa v pokoji a menšia sa odrazí.
5. Ak narazia na seba v pohybe dve rovnako ťažké gule, obe sa odrazia.
6. Ak narazí väčšia guľa v pohybe na menšiu, pričom impulz menšej gule preváži pomer hmotností, obe sa odrazia.
7. Ak narazí väčšia guľa v pohybe na menšiu, pričom pomer hmotností preváži impulz menšej gule, odrazí ju a pohybuje sa ďalej.
8. Ak narazí väčšia guľa v pohybe na menšiu, pričom impulz menšej gule vyrovnáva pomer hmotností, menšia sa odrazí a väčšia ostane stáť.

Ich nasledovníkom bol Christian Huygens, ktorý sa skúmal zrážky pružných telies a prispel k formulácii zákona zachovania hybnosti, kinetickej energie, ako aj zákona zotrvačnosti: „Keby nepôsobila tiaž a vzduch nebránil pohybu, každé teleso uvedené do pohybu by sa pohybovalo stálou rýchlosťou pozdĺž priamky [8]. Huygens si taktiež uvedomil, že sila nemusí pôsobiť iba v smere pohybu, a že môže spôsobiť aj zmenu smeru rýchlosti.

Na tieto práce nadviazal v roku 1687 Newton s 3 pohybovými zákonmi. V tabuľke 1 uvádzame prehľad pojmov z mechaniky vyučovaných na strednej škole, ako boli postupne v histórii formulované.

Vyučovaný pojem	Historická pozícia
Rovnomerný pohyb	Oresme, 14. st.
Hybnosť	Buridan a Oresme, 14. st. (Impetus), Galileo, prelom 16. a 17. st.
Sila a zmena hybnosti	Galileo, prelom 16. a 17. st.
Rovnomerne zrýchlený pohyb	Galileo, prelom 16. a 17. st.
Newtonové pohybové zákony	Newton, prelom 17. a 18. st.

*Tab. 1: Vyučované pojmy a ich historické zavedenie.*

### Žiacke predstavy o súvislostiach sily a pohybu

Ak sa pozrieme na žiacke predstavy súvisiace s pojmom sila, vidíme, že sú takmer úplne v zhode s historickými predstavami, často aristotelovskými, ale aj Buridanovými, o impete. Typicky sa stretávame s predstavami, že pri uvádzaní telesa do pohybu sa na neho prenáša sila, ktorú teleso ďalej nesie, pri každom pohybe musí pôsobiť sila v smere pohybu, pri krivočiarych pohyboch sila pôsobí v smere dotyčnice k trajektórii, sila musí pôsobiť, pokým netrvá pohyb, na teleso, ktoré sa pohybuje rýchlejšie pôsobí väčšia sila, na teleso, ktoré je v pokoji nepôsobia žiadne sily. Žiaci si často myslia, že pohybujúce sa teleso zachováva tvar trajektórie aj po ukončení pôsobenia väzbových síl, a že ľahšie telesá padajú na zem pomalšie ako ťažšie.

Obrovské problémy identifikujeme s pochopením 3. Newtonovho pohybového zákona, čo dávame do súvisu s tým, že považujú silu za abstraktný pojem. Nemajú silové pôsobenie spojené s objektom, ktorý silu vyvolal, teda nerozumejú, že sily nejestvujú osve, ale každá sila má svojho pôsobiča. Niet sa čo čudovať, že takto si zamieňajú silu v zmysle silové pôsobenia telies a výslednicu pôsobiacich síl. Nešťastná je aj historická formulácia 3. Newtonovho pohybového zákona ako akcia a reakcia. Identifikovaný je aj neporiadok a zamieňanie pojmov hybnosť, sila, kinetická energia.

### Vyučovací postup rešpektujúci historický vývoj

Ak sa pozrieme na historický vývoj pojmu sila, tak môžeme vidieť, že až po dobrom pochopení a precíznom vyseparovaní pojmu hybnosť od pojmov sila a mechanická energia nasledovalo vymedzenie pojmu sila s pochopením dôsledkov silového pôsobenia, ktoré sú obsahom Newtonových pohybových zákonov. V učebnici z osemdesiatych rokov [10], ktoré sú dodnes základom aj pre české učebnice z mechaniky pre gymnáziá [11] a v učebnici Scholtza a Kíreša [12] je pojem hybnosť zavedený pred 2. Newtonovým pohybovým zákonom, avšak zákon zachovania hybnosti nasleduje až po 3. Newtonovom zákone. V aktuálnej učebnici Koubeka [13], podobne ako v historickej učebnici Mareka [14], postupnosť od hybnosti k silovému pôsobeniu nie je dodržaná. Len na okraj dodávame, na základnej škole pojem hybnosť nie je pomenovaný vôbec, aj keď predpokladáme, že mnohí učitelia sa mu venujú aj bez jeho explicitného pomenovania.

Učebnica	Zameranie učebnice	Poradie pojmov
Marek (1974)	Mechanika, Astronómia	Sila, Hybnosť, Zákon zachovania hybnosti
Vachek (1984)	Mechanika, Elektrina	Hybnosť, Sila, Zákon zachovania hybnosti
Scholtz, Kíreš (2007)	Mechanika	Hybnosť, Sila, Zákon zachovania hybnosti
Koubek (2009)	Mechanika, Elektrina	Sila, Hybnosť, Zákon zachovania hybnosti
Svoboda (2020)	Mechanika	Hybnosť, Sila, Zákon zachovania hybnosti

Tab. 2: Poradie pojmov hybnosť a sila v učebnici pre prvý ročník gymnázia.

Hybnosť naznačoval už v 5. storočí Filiponus myšlienkou, že pohyb je vlastnosťou telesa, nie dôsledok pôsobenia prostredia ako tvrdil Aristoteles. Experimenty Buridana a Oresmeho zo 14. storočia, ktorí opisujú vlastne hybnosť a zákon zachovania hybnosti, následná práca Galileiho s výsledkami v zhode s prvým a druhým Newtonovým zákonom, ako aj práce Descarta a J. M. Marciho venujúce sa hybnosti a odhaľujúce zákon zachovania hybnosti, predchádzali Newtona.

V súlade s historickým vývojom pochopenia pojmov sme pre vyučovanie na gymnáziu navrhli kurz, v ktorom dynamika začína hybnosťou. Náš bývalý doktorand J. Wannous vo svojom pedagogickom pôsobení na gymnáziu začína rovnomerným pohybom, pokračuje hybnosťou, silou v súvislosti so zmenou hybnosti, rovnomerne zrýchleným pohybom a silou v súvislosti s Newtonovými pohybovými zákonmi [15]. S kolegami učiteľmi na Gymnázium C. S. Lewisa v Bratislave vyučujeme témy v poradí:

Rovnomerný pohyb

Voľný pád, kinematický opis zrýchlených pohybov

Hybnosť, zákon zachovania hybnosti

(na ZŠ navrhujeme aspoň zrážkové pokusy aj bez zavedenia slova hybnosť)

Galileiho princíp relativity

Silové pôsobenie, Keď sila tak pôsobí

Čo rozbieha a zastavuje telesá

Voľný pád, dynamický opis zrýchlených pohybov

Sila a Newtonove zákony

Krivočiare pohyby, Newtonov gravitačný zákon

Konkrétne realizované aktivity určené gymnazistom sme publikovali napríklad v [15], [16], vyučovanie pre základnú školu sme riešili napríklad v [17]. Podobne postupujeme aj v prvom semestri vysokoškolského kurzu mechaniky pre študentov učiteľstva fyziky.

Naším cieľom je, aby žiaci mali jasno v pojme hybnosť a aby si uvedomili, že hybnosť nie je sila. Ak stotožníme „šípku v smere pohybu“ s hybnosťou, tak je to v poriadku.

Veľký dôraz kladieme na uvedomenie si, že sila pôsobiaca na teleso nejestvuje bez toho, aby niekto iný (niečo iné) na dané teleso silou pôsobil. Za silu je zodpovedný vždy niekto konkrétny, nejestvuje sila bez pôsobiča, teda platí: „Keď sila, tak pôsobič.“ Od žiakov a študentov vyžadujeme, aby za každým silovým pôsobením identifikovali, kto (čo) silovo pôsobí. Máme za to, že takto môžeme viesť žiakov aj ku korektnému pochopeniu 3. Newtonovho zákona, že silové pôsobenie je vždy vzájomné pôsobenie, interakcia dvoch telies, objektov. Nešťastne formulovaný 3. NPZ ako akcia a reakcia radšej nezdôrazňujeme.

Odlišujeme silu a výslednicu síl. Za silou je vždy pôsobič, výslednica vznikne započítaním všetkých síl pôsobiacich na teleso.

Ďalším cieľom je, aby žiaci rozumeli následkom silového pôsobenia. Keď je výslednica síl nulová, teleso stojí alebo ide rovnomerne priamočiario, teda nemení sa jeho hybnosť. Keď je výslednica síl nenulová, mení sa hybnosť telesa a teleso zrýchľuje, spomaľuje alebo mení smer.

Aby sme nenabúrali koncept vzájomného silového pôsobenia, čiže formulácie „Keď sila tak pôsobič“, nevenujeme sa na strednej škole fiktívnym silám a úlohy riešime výhradne v inerciálnych vzťahných sústavách.

### Záver

Ako bolo spomenuté, uvedený postup opakovane využívame vo vyučovaní na úrovni strednej aj vysokej školy. Prieskum na spolu 82 prvákov strednej školy, realizovaný prostredníctvom FCI testu, ukázal veľmi povzbudivé výsledky, keď normalizovaný zisk žiakov bol na úrovni 0,62 [16], [17], čo je výrazne nad obvyklým ziskom aj kvalitných kurzov mechaniky. Môžeme potvrdiť aj subjektívny postreh z vyučovacích hodín, že „aha“ efekt u žiakov a študentov, ktorý spôsobuje vyučujúcemu radosť, býva na takto vedených hodinách častým javom.

### PodĎakovanie

Tento text vznikol s podporou projektu KEGA č. 013UK-4-2021 *Metodické materiály zamerané na systematický rozvoj kritického myslenia*. Z uvedeného grantu boli autorovi hradené aj náklady spojené s účasťou na konferencii.

### Literatura

1. TARÁBEK, P. 1985. Formálnosť pochopenia fyzikálnych pojmov u študentov. In Zborník z konferencie DIDFYZ 85, Račkova dolina, s. 144. Nitra: JSMF, 1985
2. NACHTIGALL, D. K. 1990. What is wrong with physics teacher's education? In: European Journal of Physics. Roč. 11, č. 1, s. 1–14.
3. ARONS, A. B. 1985. Cesta k prírodovednej gramotnosti 1, 2 (Preklad z čas. Deadulus, Spring 1983. Scientific Literacy). In: Československý časopis pro fyziku, A35, s. 58–68, 151–158.
4. HARLEN, W., 2010. Principles and big ideas of science education. [online] Gosport : Ashford Colour Press, 2010. ISBN 978 0 86357 4 313. [cit. 22.5.2023] Dostupné online: [www.ase.org.uk/download/file/fid/6741](http://www.ase.org.uk/download/file/fid/6741)
5. BAEZ, J. 2008. A Tiny Taste of the History of Mechanics. 2008. [cit. 22.5.2023] Dostupné online: [goo.gl/QU3aa6](http://goo.gl/QU3aa6)
6. DUGAS, R. 1955. A History of Mechanics. London: 1955. ISBN 04-866-5632-2.
7. WILDBERG, Ch. John Philoponus. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2021 Edition), Edward N. Zalta (ed.), [cit. 22.5.2023] Dostupné online: [plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/philoponus/](http://plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/philoponus/)
8. ŠTOLL, I. 2009. Dějiny fyziky. Praha: Prometheus, 2009.
9. ŠEBESTA, J., ZAJAC, R. 1990. Historické pramene súčasnej fyziky 1. Bratislava: Alfa, 1990.
10. VACHEK, J. a kol. 1984. Fyzika pre prvý ročník gymnázia. Bratislava: SPN 1984.
11. SVOBODA, E. a kol. 2020. Fyzika pro gymnázia Mechanika. 6. vyd. Praha: Prometheus 2020.
12. SCHOLTZ, E., KÍREŠ, M. 2007. Fyzika dynamika pre gymnáziá s osemročným štúdiom. Bratislava: SPN 2009.
13. KOUBEK, V. a kol. 2009. Fyzika pre 1. ročník gymnázia. Prievidza: Educo, 2009.
14. MAREK, J. a kol. 1972. Fyzika pre 1. ročník gymnázií. Bratislava: SPN 1792
15. HORVÁTH, P., WANNOUS, J. 2020. Historický prístup vo vyučovaní pojmu sila na gymnáziu. In: Tvorivý učiteľ fyziky 10, 11. Národný festival fyziky 2017, 2018. Bratislava: Slovenská fyzikálna spoločnosť, 2020. s. 70–80.
16. HORVÁTH, P., WANNOUS, J. 2021. Zavedenie pojmu sila a energia pomocou historického prístupu. In: Tvorivý učiteľ fyziky 12. Národný festival fyziky 2020. Bratislava: Slovenská fyzikálna spoločnosť, 2021. s. 131–143. [cit. 22.5.2023] Dostupné online: [conf.ccvapp.upjs.sk/tuf/pages/archiv/tvorivy-ucitel-fyziky-xii/prispevky/](http://conf.ccvapp.upjs.sk/tuf/pages/archiv/tvorivy-ucitel-fyziky-xii/prispevky/)
17. HORVÁTH, P. 2019. K zmene pohybu telesa je potrebná výsledná sila naň pôsobiaca. In: (Held, L. ed) Konceptia prírodovedného kurikula pre základnú školu 2020. Trnava : Typi Universitatis Tyrnaviensis, spoločné pracovisko Trnavskej univerzity v Trnave a Vedy, vydavateľstva Slovenskej akadémie vied, 2019. s. 49–55. [cit. 22.5.2023] Dostupné online: [pdf.truni.sk/download?monografie/held-kol-kpkzs-2019.pdf](http://pdf.truni.sk/download?monografie/held-kol-kpkzs-2019.pdf)
18. WANNOUS, J., HORVÁTH, P. 2019. Momentum as a maintaining agency: A different approach to teaching force. In: The Physics teacher. - Volume 57, Issue 6, Pages 373–375. ISSN 0031921X, DOI 10.1119/1.5124273.

### Kontaktní adresa

PaedDr. Peter Horváth, PhD.  
Oddelenie didaktiky fyziky  
Katedra didaktiky matematiky, fyziky a informatiky  
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky  
Univerzita Komenského v Bratislave  
Mlynská dolina F1, 842 48 Bratislava  
E-mail: horvath@fmph.uniba.sk