

## VYUŽITIE VIDEOANALÝZY REÁLNYCH DEJOV VO VÝUČBE FYZIKY

Peter Hockicko

Katedra fyziky, Elektrotechnická fakulta, Žilinská Univerzita

**Abstrakt:** Videoanalýza fyzikálnych dejov pomáha vyučujúcim prezentovať aj tie deje, ktoré v rámci edukačného procesu nie je vždy možné priamo demonštrovať. Na druhej strane napomáha študentom rozvíjať ich predstavivosť a zručnosti. V príspevku sú prezentované deje a videoanalýzy, ktoré je možné vo výuke použiť pre lepšie a názornejšie vysvetlenie fyzikálnych zákonov. Testy kontroly vedomostí u experimentálnej a kontrolnej skupiny ukázali štatisticky významný nárast vedomostí pri skupine, ktorá využívala videoanalýzu vo vyučovacom procese v porovnaní s kontrolnou skupinou, ktorá využívala štandardné metódy riešenia fyzikálnych úloh.

**Kľúčové slová:** videoanalýza, rozvoj kľúčových kompetencií, IKT, program Tracker

### Úvod

Jedna z možností, ako možno motivovať a aktivizovať študentov na technických vysokých školách k štúdiu fyziky a aplikovaniu poznatkov získaných pri štúdiu je využitie videoklipu a jeho následná analýza v programe napr. Coach, prípadne Tracker. Určovaním kvantitatívnych údajov o prebiehajúcom deji využitím matematickej analýzy je možné dopracovať sa k hľadaným fyzikálnym parametrom. Využitím videoanalýzy vo vyučovacom procese možno riešiť problémové úlohy s dobre definovaným problémom (DDP) na vyšších úrovniach podľa Bloomovej taxonómie poznávacích cieľov – na úrovni analýza, syntéza alebo hodnotenie [1]. Využívaním multimédií vo výučbe možno docíliť lepšie pochopenie, zapamätanie si, špecifický transfer a aktivitu žiakov už v primárnom vzdelávaní [2].

### Videoanalýza v programe Tracker

Program Tracker [3] je voľne prístupný pre všetkých, okrem toho, že ho môžu využívať pedagógovia v škole, môžu ho využívať aj študenti v domácej príprave. Jeho ovládanie je nenáročné, zo skúseností možno povedať, že po krátkej hodinovej inštrukčnej zvládnu študenti základné operácie a sú schopní urobiť jednoduché analýzy. Program ponúka analýzu časových závislostí polohy, rýchlosti, zrýchlenia, hybnosti a ďalších veličín (program má ich preddefinovaných 22) pričom je taktiež možné zdefinovať aj iné parametre (ako napr. silu, potenciálnu energiu a pod.) [4]. Pomocou funkcií *slope* a *area* je možné študentom ukázať grafický význam pojmov derivácia a integrál a vzájomné súvislosti niektorých fyzikálnych veličín, program taktiež ponúka možnosť modelovať priebeh daného deja za pomoci analytického modelu (zadanie rovníc pre výchylku v smere osi  $x$  a  $y$ ) a dynamického modelu (zadanie rovníc pre silu  $F_x$ ,  $F_y$ ) [5].

Videoanalýzou v programe Tracker možno u študentov rozvíjať ich kompetencie, naučiť ich pracovať s grafmi, analyzovať grafy, určovať hľadané fyzikálne parametre, aplikovať vzťahy medzi fyzikálnymi veličinami, porozumieť a osvojiť si pojmy derivácia a integrál, popisovať ľubovoľné deje pomocou matematických funkcií.

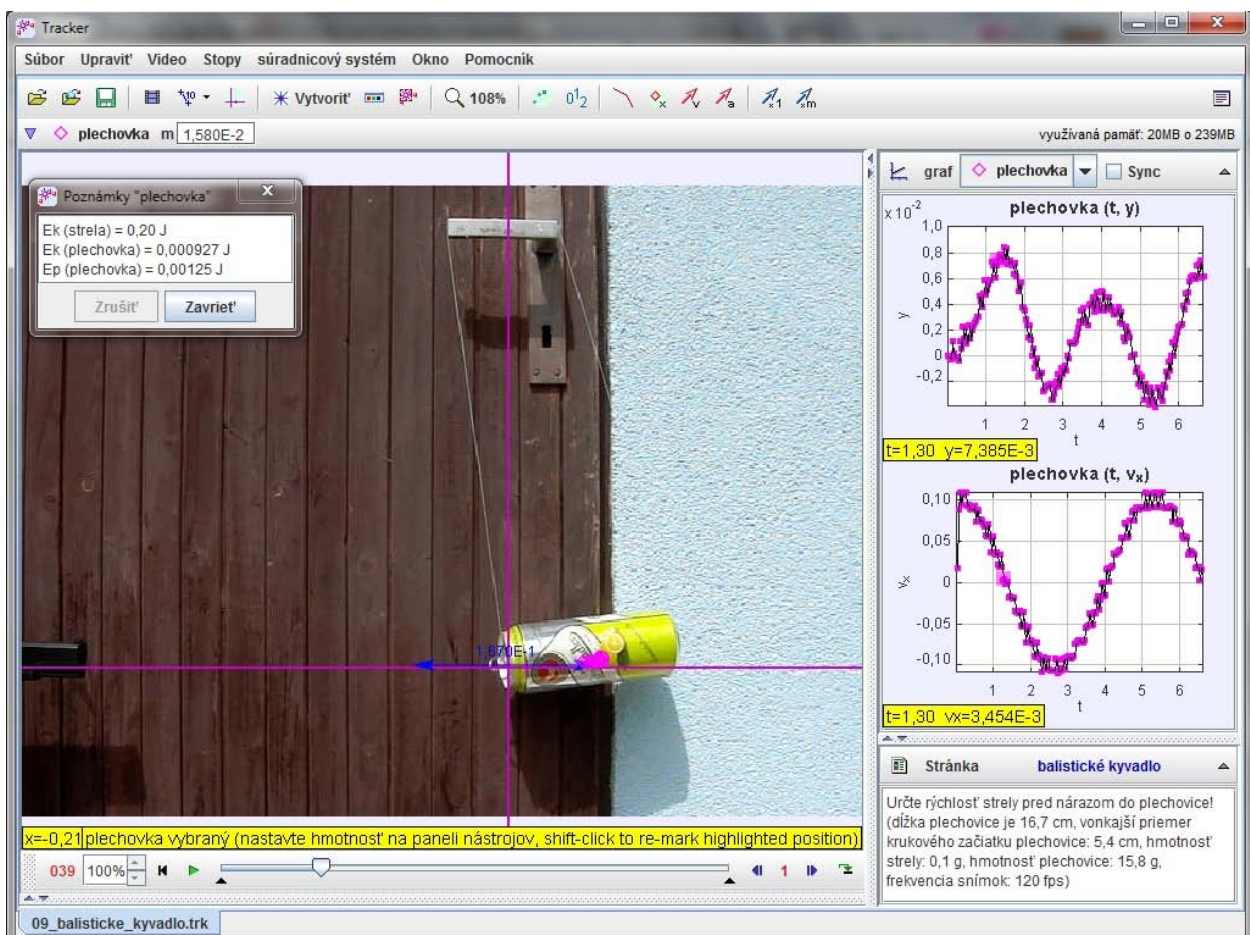
### Videoanalýza vo vyučovacom procese

V rámci riešenia projektu KEGA č. 075-008ŽU-4/2010 sme vytvorili interaktívne DVD a webovú stránku [6], ktorá ponúka sadu videí vhodných pre fyzikálne analýzy. Jednou z úloh, ktorá robí študentom problémy, je úloha „balistické kyvadlo“: Do akej výšky sa vychýli balistické kyvadlo hmotnosti 10 kg, keď v ňom uviazne strela hmotnosti 100 g letiaca rýchlosťou 200 m/s? [7] (Ešte

zaujímavejšie je príklad riešiť tak, že zadáme, do akej výšky sa kyvadlo vychýli (napr. 0,2m) a pýtame sa na počiatočnú rýchlosť, akou strela letí.)

Pri riešení daného príkladu je možné využiť didaktickú metódu riešenia úloh, a to metódu pokus-omyl. (Zvyčajne pri riešení takto zadaného príkladu, kedy sa pýtam na rýchlosť strely a je zadaná výška, do akej sa kyvadlo vychýli, sú prvé odpovede študentov:  $v = 2 \text{ m/s}$ ,  $20 \text{ m/s}$ , prípadne  $0,2\text{m/s}$ .)

Pre lepšie pochopenie a analýzu daného deja je možné použiť video, ktoré je k dispozícii na webe [6].



Obr. 1: Analýza pohybu plechovice po náraze strely vystrelenej z guľôčkovej pištole

Vzhľadom k tomu, že daný dej je natoľko rýchly, že nie je možné zaznamenať polohu vystrelenej strely (video má 120 fps a vystrelenú guľôčku je možné zaznamenať len počas jedného záberu), je potrebné určovať rýchlosť strely z analýzy pohybu plechovice po náraze. Zvolením vhodných časových závislostí je možné určiť maximálnu výšku, do ktorej sa plechovica dostane a rýchlosť plechovice tesne po zrážke. Využitím vzťahov pre zákon zachovania mechanickej (ZZME) a celkovej energie sa študenti dopracujú k počiatočnej rýchlosti strely. Či však ZZME aplikovali správne, o tom sa môžu presvedčiť analýzou ďalšieho videa (obrázku), ktoré bolo zosnímané rýchlosťou 1000 fps (obr. 2).

Vzhľadom k tomu, že daný záber trval  $t = 1/1000 \text{ s}$ , z odhadu prejdenej dráhy guľôčky (biely pás) je možné vypočítať rýchlosť strely pred zrážkou a overiť tak, či predchádzajúci výsledok a analýza boli správne.

V prípade, že sa vypočítané rýchlosti líšia o jeden až dva rády, je potrebné so študentami prediskutovať, kedy je možné použiť ZZME a kedy ho zase použiť nemôžeme, premenu

mechanickej energie na iné formy energie, problém trecích a odporových síl. Následnými korekciami úvah sa dá dopracovať k dobrej zhode výsledkov z oboch videí (obr. 2).

**Balistické kyvadlo**

Určte rýchlosť strely pred nárazom do plechovice!  
(priemer krúkového začiatku plechovice: 5,2 cm, hmotnosť strely: 0,1 g, hmotnosť plechovice: 16 g, frekvencia snímok: 120 fps)  
zdroj: [balisticke\\_kyvadlo.avi](#)

Overte vypočítanú rýchlosť stely z predchádzajúceho príkladu výpočtom na video s 1000 fps.  
(priemer krúkového začiatku plechovice: 5,2 cm, frekvencia snímok: 1000 fps)  
zdroj: [rychlost\\_strely.avi](#)

Obr. 2: Zadania úloh k videoanalýze dejov [6]

Ďalším zaujímavým problémom, ktorý možno podrobiť videoanalýze je pád voľne pustených loptičiek. Budú približne rovnako veľké loptičky padať vždy rovnako? Odpoveď na túto otázku dá analýza jedného z videí.

**Model Builder: Dynamic Particle (model\_viscous)**

Name	Expression
m	0,025
g	9,81
n	17,6E-6
b	6*pi*n*r
r	0,02

**Initial Values**

Name	Expression
t	0,001
x	-0,1
y	0,0
vx	-0,15
vy	0,0

**Force Functions**

Name	Expression
fx	0,0
fy	-m*g+b*vy

**Model Builder: Dynamic Particle (model\_drag)**

Name	Expression
m	0,0025
g	9,81
C	0,4
ro	1,276
d	0,04
A	pi*(d^2)/4
k	0,5*C*ro*A

**Initial Values**

Name	Expression
t	0,001
x	0,0
y	0,0
vx	0,0
vy	0,0

**Force Functions**

Name	Expression
fx	0,0
fy	-m*g+k*vy^2

Obr. 3: Analýza pádu približne rovnako veľkých guľôčok avšak nerovnakých hmotností

Na obr. 3 je znázornený voľný pád súčasne pustených loptičiek (gumená (ball\_1) a pingpongová (ball\_2)), záznam ich polohy (posledných 15 polôh) a modelovanie polôh loptičiek využitím dynamického modelu s rôzne zadefinovanými odporovými silami (viskózny model s využitím Stokesovho vzorca pre modelovanie pohybu gumenej loptičky a odporový (drag) model využívajúci

odporovú *aerodynamickú silu* pre modelovanie pohybu pingpongovej loptičky). (Počiatočné parametre  $x$  a  $v_x$  pri viskóznom modeli sú nastavené pre lepšie znázornenie a porovnanie s pohybom gumenej guľôčky.) Zmenou parametrov vo vzťahoch pre odporové sily je možné skúmať, ako jednotlivé parametre vplývajú na výsledný pohyb guľôčok.

**Valivý pohyb na naklonenej rovine**

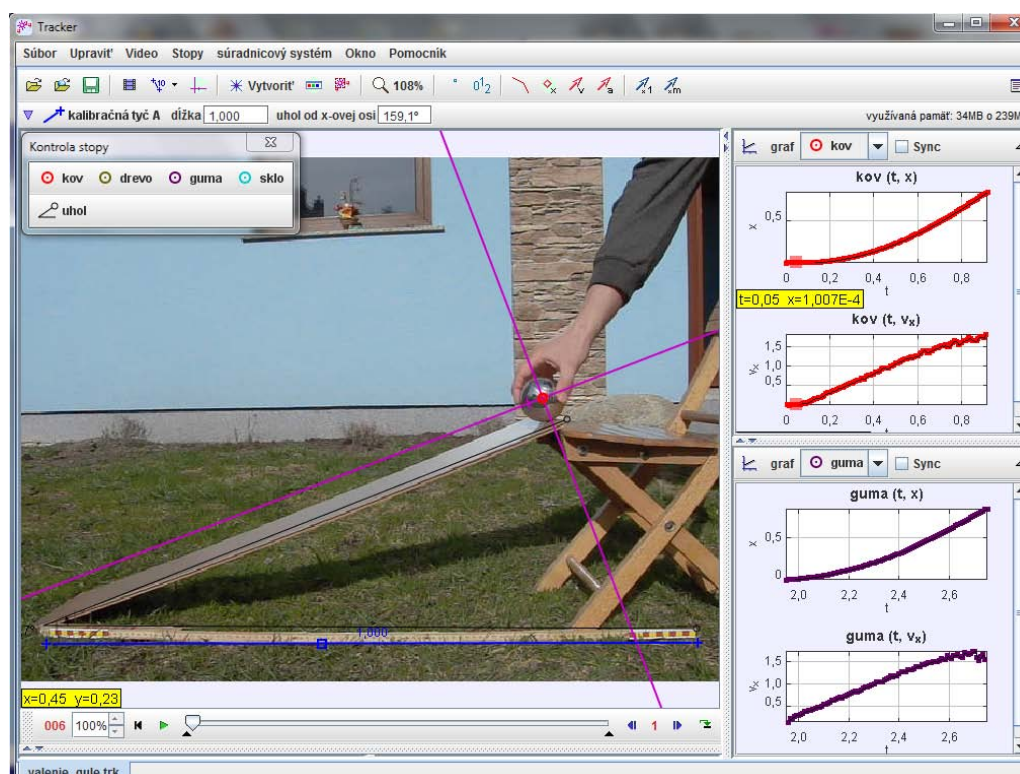


Analyzujte valivý pohyb gúl' na naklonenej rovine. Ktorá z gúl' rôznych hmotností, priemerov a materiálov (kov ( $m = 727$  g,  $d = 72$  mm), drevo ( $m = 5,9$  g,  $d = 29$  mm), guma ( $m = 6,6$  g,  $d = 23$  mm)) dosahuje na konci naklonenej roviny najvyššiu rýchlosť? Vysvetlite!  
(frekvencia snímok: 120 fps, dĺžka meradla: 1m)  
zdroj: [valenie\\_gule.avi](#)  
Závisí rýchlosť valenia gúl' od hmotnosti? ([valenie.flv](#))



Analyzujte pohyb plechovic na naklonenej rovine. Ktorá z plechovic je plná ( $m = 523,2$  g) a prázdna ( $m = 15,8$  g)? Určte momenty zotrvačnosti daných plechovic.  
(frekvencia snímok: 120 fps, dĺžka meradla: 1m, priemer plechovice  $d = 65,6$  mm)  
zdroj: [plechovice.avi](#)  
Závisí rýchlosť pohybu valcov na naklonenej rovine od ich hmotnosti? Vysvetlite! ([dva\\_valce.flv](#))

Obr. 4: Videopríklady zamerané na analýzu valivého pohybu na naklonenej rovine [8]



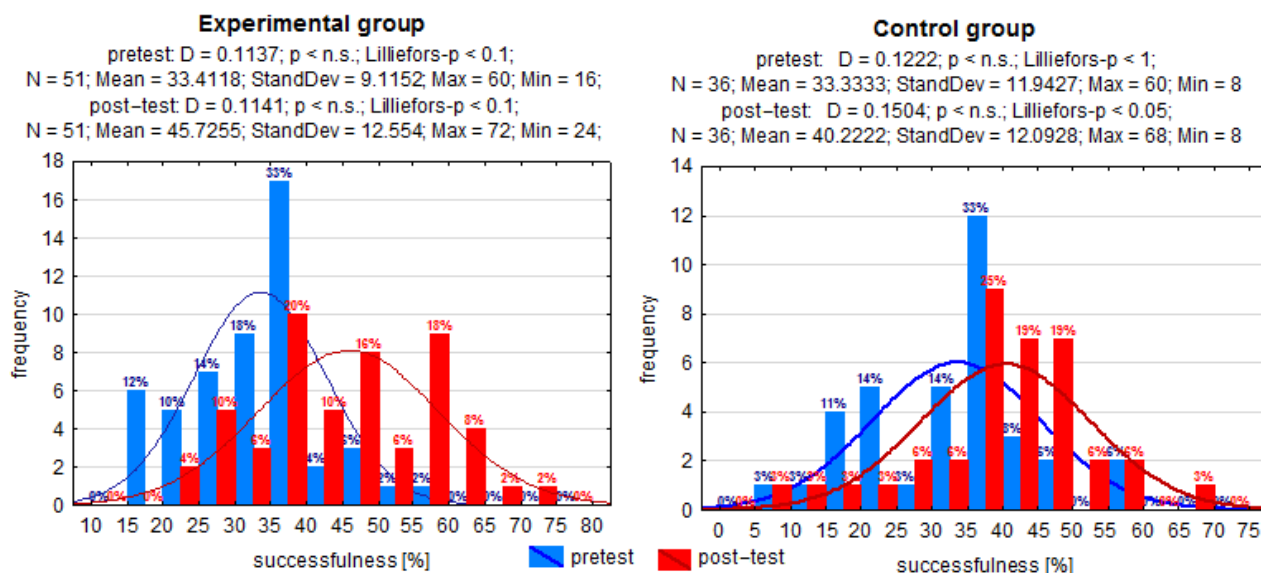
Obr. 5: Analýza valivého pohybu pre kovovú a gumenú loptu

Využitím videoanalýz možno formovať predstavy študentov, ktoré nie vždy sú správne. V úvode riešenia úloh znázornených na obr. 4 študenti odhadovali, ktorá z plných gúľ rôznych hmotností a polomerov bude mať na konci naklonenej roviny najvyššiu rýchlosť (prípadne, ktorá z gúľ sa bude pohybovať maximálnym zrýchlením). Z 34 študentov študujúcich na Stavebnej fakulte ŽU boli odhady nasledovné: 20 študentov (59%) odhadovalo, že najrýchlejšie sa bude pohybovať kovová guľa, 2 študenti (6%) predpokladali drevenú guľu, 1 študent (3%) uvažoval o gumenej guľi, 8 študentov (24%) považovalo sklenú guľu za najrýchlejšiu, 3 študenti (8%) predpokladali, že všetky gule sa budú na konci naklonenej roviny pohybovať rovnako. Na tú istú otázku mali možnosť odpovedať aj študenti gymnázia (11), 8 (73%) predpokladalo, že najrýchlejšie zide naklonenou rovinou drevená guľa, 3 (27%) predpokladali, že to bude gumená guľa.

Následná analýza v programe Tracker poukázala na to, že počiatočné odhady väčšiny študentov neboli správne a rýchlosti plných gúľ na konci naklonenej roviny budú takmer rovnaké, pričom zrýchlenia nezávisia od hmotností a polomerov daných gúľ [9].

### Analýza pretestov a post-testov

Je možné využitím videoanalýzy dosiahnuť štatisticky významné zlepšenie v zručnostiach a vedomostiach študentov? Pre zodpovedanie tejto otázky bol použitý šandardizovaný vstupný a výstupný test [10], z ktorého bolo pre účely testovania vybraných 26 otázok týkajúcich sa obsahu preberaného učiva v rámci predmetu Fyzika na Stavebnej fakulte ŽU. Testovania sa zúčastnilo dohromady 5 skupín (3 skupiny tvorili experimentálnu skupinu (51 študentov) pracujúcich s využívaním videoanalýz, 2 skupiny (36 študentov), ktorí riešili úlohy štandardným spôsobom, tvorili kontrolnú skupinu.) Získané výsledky pretestov a post-testov pre experimentálnu a kontrolnú skupinu sú znázornené na obr. 6.



Obr.6: Porovnanie výsledkov pretestov a post-testov pre experimentálnu a kontrolnú skupinu

Sú dané výsledky štatisticky významné? Pre zodpovedanie danej otázky sme si stanovili počiatočnú hypotézu:  $H_0$ : priemerná úspešnosť experimentálnej a kontrolnej skupiny je rovnaká:  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  (verzus  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ ) (pričom rozdiel stredných hodnôt  $\mu_1 - \mu_2$  dvoch normálnych rozdelení  $N(\mu_1, \sigma_1^2)$  a  $N(\mu_2, \sigma_2^2)$  post-testov pre experimentálnu a kontrolnú skupinu považujeme za rovnaký).

Na overenie vyslovených hypotéz bol použitý *test rozdielu aritmetických priemerov*, pričom sme testovali na hladine významnosti  $\alpha = 5\%$  a predpokladali sme, že rozdiel stredných hodnôt  $\mu_1 - \mu_2$

dvoch normálnych rozdelení  $N(\mu_1, \sigma_1^2)$  a  $N(\mu_2, \sigma_2^2)$  padne do  $100 \cdot (1-\alpha) \%$  obojstranného intervalu spoľahlivosti.

Na začiatku testovania bola zisťovaná zhoda medzi testovaným výberom a teoretickým rozdelením s predpokladom normálneho (Gauss) rozdelenia využitím jednovýberového neparametrického Kolmogorov-Smirnovho (K-S) testu, ktorá potvrdila normálnosť oboch rozdelení (kritické hodnoty pre K-S test normality na hladine významnosti  $\alpha = 5\%$  sú:  $D_{\max, \alpha}(n_1 = 51) = 0.187$ ,  $D_{\max, \alpha}(n_2 = 36) = 0.221$ , hodnoty určené pre obe rozdelenia využitím programu Statistica [11] boli menšie  $D < D_{\max, \alpha}$  (obr. 6). Skôr, ako bolo možné začať testovanie hypotézy  $H_0: \mu_1 = \mu_2$ , bolo potrebné použiť *F-test* (Fisher-Snedecor test) rovnosti rozptylov dvoch normálnych populácií ( $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  verus  $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ). Po stanovení rovnosti (prípadne nerovnosti) rozptylov bol pre testovanie hypotézy  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  použitý dvojparametrický *Studentov t-test* pre nerovnaké veľkosti skupín s rovnakými (prípadne rôznymi) rozptylmi [12]. Nasledujúca tabuľka získaná programom Excel ponúka výsledné hodnoty:

	Variable 1	Variable 2
Mean	45.7254902	40.22222222
Variance	157.6031373	146.2349206
Observations	51	36
df	50	35
F	1.077739411	
F Critical two-tail ( $F < F_{1-\alpha/2}(50,35)$ or $F_{\alpha/2}(50,35) < F$ )	(0.547429569, 1.890229034)	
Pooled Variance	152.9221069	
Hypothesized Mean Difference	0.05	
df	85	
t Stat	2.025808622	
P(T<=t) one-tail	0.022960445	
t Critical one-tail ( $t > t_{1-\alpha}(85)$ )	1.6629785	
P(T<=t) two-tail	0.045920889	
t Critical two-tail ( $ t  > t_{1-\alpha/2}(85)$ )	1.988267907	

Tab.1: *F-Test*: dvojparametrický pre rozptyly a *t-Test*: dvojparametrický s predpokladom rovnosti rozptylov

Keďže vypočítaný parameter  $F$  spĺňa podmienku:  $F_{critical_{1-\alpha/2}} < F < F_{critical_{\alpha/2}}$ , predpokladaná hypotéza rovnosti rozptylov  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  bola potvrdená.

Keďže vypočítaný parameter  $t > t_{critical(two-tail)}$  pre obojstranný interval spoľahlivosti, hypotéza  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  bola zamietnutá a bola teda potvrdená hypotéza  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ .

Na základe toho sme zvolili novú hypotézu:  $H_0: \mu_1 > \mu_2$  (pre  $100 \cdot (1-\alpha) \%$  ľavostranný interval spoľahlivosti pre rozdiel  $\mu_1 - \mu_2$ ). Keďže  $t \in < t_{critical(one-tail)}, \infty$ ), hypotéza  $H_0: \mu_1 > \mu_2$  bola potvrdená. Štatistické testovanie využitím *t-testu* potvrdilo štatisticky významný rozdiel vo vedomostiach experimentálnej a kontrolnej skupiny.

### Záver

Analýza videosekvencií zobrazujúcich reálne deje napomáha študentom rozvíjať ich manuálne zručnosti a intelektuálne spôsobilosti, schopnosť pozorovať, analyzovať, hodnotiť a v neposlednom rade aj logicky uvažovať. Samostatná aktivita študentov napomáha rozvoju ich kľúčových kompetencií, t.j. prírodovednej, matematickej a informačnej gramotnosti, riešeniu problémov,

kritickému a tvorivému mysleniu prostredníctvom moderných informačno-komunikačných technológií (IKT). Bol potvrdený štatisticky významný rozdiel v získaných vedomostiach študentov, ktorí využívali videoanalýzu a tými, ktorí využívali štandardné metódy riešenia príkladov.

### Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Slovenskou grantovou agentúrou KEGA na základe zmluvy č. 002KU-4/2011 a 035ŽU-4/2012.

### Literatúra

- [1] HOCKICKO, P. 2010. *Nontraditional Approach to Studying Science and Technology*, In: Communications, Volume 12, No. 3, 66-71. ISSN 1335-4205  
Dostupné na <[http://www.uniza.sk/komunikacie/archiv/2010/3/3\\_2010en.pdf](http://www.uniza.sk/komunikacie/archiv/2010/3/3_2010en.pdf)>
- [2] STEBILA, J. 2011. *Research and Prediction of the Application of Multimedia Teaching Aid in Teaching Technical Education on the 2nd Level of Primary Schools*, In: *Informatics in Education*, Vol. 10, No. 1, 105 – 122. ISSN 1648-5831, dostupné na:  
<[http://www.mii.lt/informatics\\_in\\_education/pdf/INFE182.pdf](http://www.mii.lt/informatics_in_education/pdf/INFE182.pdf)>
- [3] program Tracker – dostupný na <<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker>>
- [4] HOCKICKO, P. 2011. *Rozvoj manuálnych zručností a intelektuálnych spôsobilostí študentov použitím videoanalýzy pohybov*. Zborník príspevkov z konferencie Tvorivý učiteľ fyziky IV Národný festival fyziky 2011, Kongresové centrum SAV Smolenice, vydala Slovenská fyzikálna spoločnosť, Bratislava, 85-91, ISBN 978-80-970625-3-8
- [5] HOCKICKO, P. 2011. *Forming of Physical Knowledge in Engineering Education with the Aim to Make Physics More Attractive*. Proceedings of international conference Physics Teaching in Engineering Education PTEE 2011, Mannheim, Germany, ISBN 978-3-931569-18-1.
- [6] HOCKICKO, P. – KÚDELČÍK, J. – JAMNICKÝ, I. 2011. *Základy fyziky – elektronický materiál k videoanalýze fyzikálnych dejov*. Žilina: Žilinská univerzita, ISBN 978-80-554-0431-8  
dostupné na: <<http://fyzika.uniza.sk/sk/zaklady>>
- [7] HAJKO, V. a kol. 1988. *Fyzika v príkladoch*. Bratislava, ALFA 1988, 6. vydanie, 592 s.
- [8] videopríklady <<http://hockicko.uniza.sk/Priklady/videopríklady.htm>>
- [9] KÚDELČÍK, J. - HOCKICKO, P. 2011. *Základy fyziky*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 272 s. ISBN 978-80-554-0341-0
- [10] KRIŠŤÁK, Ľ. - NĚMEC, M. 2011. *Inovácia fyzikálneho vzdelávania na technickej univerzite vo Zvolene*, Zvolen: Vydavateľstvo TU, 160 s. ISBN 978-80-228-2218-3
- [11] program STATISTICA (trial version), StatSoft, Inc. (2011): <http://www.statsoft.com>
- [12] MARKECHOVÁ, D. – STEHLÍKOVÁ, B. – TIRPÁKOVÁ, A. 2011. *Štatistické metódy a ich aplikácie*. Nitra: Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, 534s. ISBN 987-80-8094-807-8

### Adresa autora

PaedDr. Peter Hockicko, PhD.  
Katedra fyziky, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
hockicko@fyzika.uniza.sk