

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko – fyzikální fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCE



Lucie Filipenská

Tvorba a ověření multimediálních vzdělávacích objektů z fyziky

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: *Doc. RNDr. Zdena Lustigová, CSc.*
Studijní program: *Fyzika (M1701), učitelství fyziky v kombinaci s
druhým aprobačním oborem pro SŠ*

Děkuji své rodině a všem přátelům za jejich ohromnou podporu a trpělivost.
Velmi děkuji své vedoucí diplomové práce paní Doc. RNDr. Zdeňce Lustigové, CSc. za odborné vedení, bezmeznou trpělivost a vstřícný přístup.
Děkuji panu Mgr. Jiřímu Mrhalovi za poskytnutí cenných informací z oblasti audio-vizuální techniky a softwaru.
Děkuji panu prof. PhDr. Jiřímu Strausovi, DrSc. a pplk. JUDr. Zdeňku Sadílkovi za poskytnutí cenných informací z oblasti forenzní biomechaniky a kriminalistiky.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci napsala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce.

V Praze, dne 6.8.2008

Lucie Filipenská

Název práce: *Tvorba a ověření multimediálních vzdělávacích objektů z fyziky*

Autor: *Lucie Filipenská*

Katedra (ústav): *Katedra didaktiky fyziky*

Vedoucí diplomové práce: *Doc. RNDr. Zdena Lustigová, CSc.*

E-mail vedoucího: *lustigo@kdf-30.karlov.mff.cuni.cz*

Abstrakt: *V této diplomové práci naleznete návrhy na projekty a pracovní listy vypracované pro středoškolské učitele fyziky. Jejich cílem je pomoci učitelům připravit pro studenty zajímavou hodinu fyziky, ve které se budou studenti aktivně zapojovat. Jejich úkolem často bude vytvářet vlastní teorie, které si následně musí ověřit a obhájit.*

Ve svých projektech jsem se zaměřila převážně na mechaniku (biomechanika pádu, biomechanika úderu, kinematický popis vozidla na silnici, ...) a interdisciplinární vazby fyziky s jinými předměty a to zejména s biologií (beztížný stav, biomechanika pádu a úderu).

Většina vytvořených projektů předpokládá použití obyčejné video kamery a softwaru pro zpracování video záznamu. Některé projekty vyžadují kameru vysokorychlostní a přestože v dnešní době již není velký finanční problém tuto kameru do škol pořídit, nabízím ve své práci několik vlastních video nahrávek, plně připravených pro další fyzikální zpracování.

Klíčová slova: *fyzika, interdisciplinární, forenzní biomechanika, beztížný stav*

Title: *Development and deployment of multimedia learning objects (physics)*

Author: *Lucie Filipenská*

Department: *Katedra didaktiky fyziky*

Supervisor: *Doc. RNDr. Zdena Lustigová, CSc.*

Supervisor's email address: *lustigo@kdf-30.karlov.mff.cuni.cz*

Abstract: *In this diploma thesis you'll find suggestions for projects and worksheets drawn up for high school teachers of physics.*

The aim is to help teachers to prepare interesting physics course for students, in which the students will participate actively. Their goal will often be to construct their own theories, which they should proof and defend.

In my projects I've mainly focused on mechanics (biomechanics of fall, biomechanics of stroke, kinematic description of vehicle on road, etc) and interdisciplinary links of physics with other courses, in particular with biology (zero gravity state, biomechanics of fall and stroke).

Most of created projects assume using of common camcorder and video editing software. Some projects require high-speed camcorder and although buying this camcorder into schools is not very expensive in these days, in my thesis I'm offering several own video recordings ready for subsequent physical processing.

Keywords: *physics, interdisciplinary, forensic biomechanics, weightlessness*

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. Úvod	7
2. Současný stav řešené problematiky	8
2.1 Definice pojmů	8
2.1.1 Problem-based learning	8
2.1.2 Inquiry-based learning	9
2.2 Přehled výukových materiálů s interdisciplinární vazbou	11
2.2.1 Internet	11
2.2.2 Časopisy	16
3. Použitá technika, software a metody zpracování	17
3.1 Použitá technika	17
3.2 Zpracování audio a video nahrávek	20
3.3 Vyhodnocování výsledků	21

II. VLASTNÍ TVORBA

4. Vyhqlazení dat	26
4.1 Návod použití filtru Savitzky-Golay v programu Excel	26
4.2 Pracovní list: Vyhqlazení dat pomocí S-G filtru, první a druhá derivace	28
4.3 Pracovní list: Parametry Savitzky-Golay filtru	29
5. Studium úderů	30
5.1 Predikce extrémního dynamického zatěžování organismu	30
5.1.1 Tolerance organismu na přežití	30
5.1.2 Kritéria tolerance organismu na extrémní dynamické zatížení	31
5.2 Úder do boxovacího pytle	33
5.2.1 Ukázka pro inspiraci	34
6. Studium pádů	37
6.1 Teorie biomechaniky pádu	37
6.2 Studium pádů	39
6.3 Pád do bazénu	40
6.4 Odpor vzduchu	44
7. Forenzní biomechanika: Pád z výšky	46
7.1 Úvod do forenzní biomechaniky pádu z výšky	47

7.2 Herní návod pro učitele	48
7.3 Pracovní list: Požadavky na dokumentaci místa nálezu pro studenty	49
7.4 Popis uložení stop	50
7.5 Pitevní protokol	51
8. Fyzika v silniční dopravě	52
8.1 Fyzika v silniční dopravě	53
8.2 Pracovní list:	
Snížení maximální rychlosti v obci ze 60 km.h^{-1} na 50 km.h^{-1}	57
8.2.1 Příloha pro učitele	58
8.3 Pracovní list:	
Zvýšení maximální rychlosti na dálnici ze 130 km.h^{-1} na 160 km.h^{-1}	61
8.3.1 Příloha pro učitele	62
9. Beztížný stav	64
9.1 Definice beztížného stavu	64
9.2 Rozvoj kritického myšlení	64
9.3 Parabolický let	65
9.4 Příprava na hodinu: Beztížný stav	66
9.5 Pracovní list: Beztížný stav – Mezinárodní vesmírná stanice ISS	69
9.5.1 Příloha pro učitele	70
9.6 Pracovní list: Beztížný stav – Parabolický let	72
9.6.1 Příloha pro učitele	74
10. Závěr	75
11. Literatura	76

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. ÚVOD

Během své tříleté učitelské praxe na ekonomickém lyceu jsem se velmi často setkávala s nezájmem a dokonce až odporem studentů k přírodním vědám, zejména pak k fyzice. Tento nezáměr mne velmi motivoval k tvorbě hodin nestandardních, obsahově a koncepčně zajímavých.

Snažila jsem se využít přirozené vlastnosti mladých studentů – radost z pohybu, touhy něco tvořit a budovat, touhy po silných a nevšedních zážitcích, touhy rozluštit záhadu, ...

Své hodiny jsem koncipovala zejména jako práci ve skupinách, které mezi sebou mnohdy soupeřily. Studenti byli vedeni nejen k rozluštění záhady či problému, ale také k obhajobě svého názoru.

Během vlastní výuky a konzultací se zkušenějšími učiteli jsem si všimla jednoho zásadního nedostatku. Studenti velmi často nebyli schopni „propojit“ informace a znalosti z různých oborů. Jestliže jsem se jich v hodině fyziky zeptala na základní otázku např. z biologie, mnozí nebyli schopni odpovědět a ještě argumentovali, že je přece hodina fyziky. Když se následně dověděli správnou odpověď, často uznali, že ji vlastně znali, ale v tu chvíli je to zrovna „nenapadlo“. Z tohoto důvodu jsem se snažila maximálně rozšířit výuku fyziky také do jiných předmětů a jiné předměty zařadit do vlastní výuky fyziky.

Přírodní vědy, jak už název napovídá, popisují přírodu kolem nás. A tento popis nelze roztrhnout na čistou fyziku, čistou biologii, čistou chemii, ... Vše souvisí se vším a proto je přirozené, aby se výukové předměty též prolínaly.

Z výše uvedených důvodů jsem tvořila přípravy na hodinu a fyzikální projekty s interdisciplinární vazbou a podle „nových“ trendů moderní výuky. Do výuky jsem se též snažila zahrnout různorodou techniku (počítač, fotoaparát, mikrofony a audio nahrávače) a různý fyzikální software pro zpracování.

Mým cílem bylo vytvořit objekty pro výuku fyziky na střední škole nespécializované na přírodní vědy.

Cílem mých objektů není vysvětlit danou látku do hloubky, ale

- přiblížit studentům základní fyzikální principy a zákonitosti zblízka, častokrát na vlastní kůži
- ukázat jim půvab a užitečnost fyziky a jiných přírodních věd
- vychovávat je k samostatnému a kritickému myšlení
- naučit je ověřovat si skutečnou pravdivost „obecných pravd“

2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 Definice pojmů

V následující kapitole bych ráda přiblížila pojmy Problem-based learning a Inquiry-based learning. Tyto výukové metody nejsou v českých příliš známy, uvádím proto jejich definice v původní, anglické verzi. Protože ani samotné definice těchto pojmů nejsou jednotné, uvádím jich několik, pro přesnější představu daných pojmů.

2.1.1 Problem-based learning

1.) „Problem-based learning (PBL) is a student-centered instructional strategy in which students collaboratively solve problems and reflect on their experiences. It was pioneered and used extensively at McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada. Characteristics of PBL are:

- Learning is driven by challenging, open-ended problems.
- Students work in small collaborative groups.
- Teachers take on the role as "facilitators" of learning.

Accordingly, students are encouraged to take responsibility for their group and organize and direct the learning process with support from a tutor or instructor. Advocates of PBL claim it can be used to enhance content knowledge and foster the development of communication, problem-solving, and self-directed learning skill.“

(převzato z http://en.wikipedia.org/wiki/Problem-based_learning, ke dni 1.8.2008)

2.) „Problem-based learning (PBL) is an educational format that is centred around the discussion and learning that emanates from a clinically-based problem. It is a method that encourages independent learning and gives students practice in tackling puzzling situations and defining their own gaps in understanding in the context of relevant clinical problems, making it more likely that they will be able to recall the material later in the clinical setting. It is a way of learning which encourages a deeper understanding of the material rather than superficial coverage.“

(převzato z <http://meds.queensu.ca/pbl/home>, ke dni 1.8.2008)

3.) Problem based learning (PBL) is a total pedagogical approach to education that focuses on helping students develop self-directed learning skills. It was originally developed in medical education in 1960s but has since spread into other subjects. It derives from the theory that learning is a process in which the learner actively constructs new knowledge on the basis of current knowledge. Unlike traditional teaching practices in higher education, where the emphasis is on the transmission of factual knowledge, the courses consists of a set of problems that are carefully sequenced to ensure the students are taken through the curriculum. The students encounter these problem-solving situations in small groups that are guided by a tutor who facilitates the learning process by asking questions and monitoring the problem-solving process.

(převzato z <http://physics.dit.ie/programmes/pbl.html>, ke dni 1.8.2008)

2.1.2 Inquiry-based learning

1.) „**Inquiry based learning** is a technique whereby a teacher involves students in the learning process through focusing on questions, through problem-solving activities, and the use of critical thinking. Some students prefer this type of learning approach because when they become involved they understand concepts better. While inquiry-based learning obviously works well in science, consider how you can this approach for all subjects. Here are some tips for the inquiry-based learning approach.“

(Převzato z <http://www.worksheetlibrary.com/teachingtips/inquirybasedlearningtips.html>, aktuální ke dni 1.8.2008)

10 Tips for Inquiry-Based Learning

„**Inquiry based learning** is a technique whereby a teacher involves students in the learning process through focusing on questions, through problem-solving activities, and the use of critical thinking. Some students prefer this type of learning approach because when they become involved they understand concepts better. While inquiry-based learning obviously works well in science, consider how you can this approach for all subjects. Here are some tips for the inquiry-based learning approach.

Give yourself time to prepare. Inquiry-based learning involves much more prep time than other lessons. It is important to give yourself proper time when preparing such lessons. You want to be sure that you are able to guide your students through the process and have proper closure to the lesson with the students' full understanding of what was taught.

Using collaborative learning. Inquiry-based learning generally works best in a collaborative setting. Try dividing your class into small groups. Give each group a question that they will work on together, and then let them develop a project based on the question that supports their answer.

Age-appropriate activities. This approach to learning works well with any age group and with any subject. The key is to make sure that you develop lesson plans that are age-appropriate. Since much of the planning falls on your shoulders, you need to keep your students abilities in mind at all times.

Developing good questions. Because inquiry-based learning is based on answering questions, your job is to develop strong questions that are applicable to your lessons. Make sure your questions are open-ended, giving students the ability to think out of the box. Ask other teachers how they would develop questions and use their examples.

Incorporate discovery into lessons. Giving students a chance to discover things on their own can make concepts click to where they understand what is being taught. Add questions to your lessons whereby students have to explore to find the answers. An example might be having students build a model in order to answer questions in a sequential order.

Incorporate observation into lessons. "Seeing is believing." Some students gain an advantage in learning when they have the opportunity to observe what is being taught. Of course, we generally think of science experiments when referring to this concept, but consider using this approach in all areas of learning. For instance, create a mystery box whereas you give a team of students a sealed box. After reading a story, let the student teams guess what might be in the box based on the story. Let them open the box and see if they made any correct guesses. Then explain why you put the particular items in the box in the first place.

Use measurement in lessons. This approach is best used with science lessons. When a student is given a chance to measure progress it helps them learn important concepts. An example exercise might include the bubble gum experiment. Here's how it works:

The flavor in gum is mostly due to the sugar content or other sweetener it might contain. While chewing gum, you notice the sugar dissolves and the gum loses its flavor. You are actually swallowing the sugar. Once the flavor is completely gone, sit the gum out in room temperature and use the difference in a new piece of gum compared to the chewed piece to measure the percentage of sugar that is in the gum. Now you can use this demonstration to come up with new questions related to gum and the ingredients they contain. Let students do more experiments to answer the new questions.

Use model-building exercises in lessons. Give your students something they can identify that can be changed into something else. Label the identifier as "A" and the change it can make as "B." Now have them make a model of "B" and then explain how the transformation takes place. This technique can be used in art context, through story reading and character changes, as well as with physical changes in science experiments.

Incorporate design techniques into lessons. This approach is best used with science lessons. This is a student's chance to design something physical and use it to prove or disprove a theory. For instance, when teaching about buoyancy, let students make boats out of clay. Of course, when they put their boats onto water, they will sink. Use this opportunity to explain about buoyancy and why it works.

Incorporate hands-on activities in lessons. Any opportunity to let students work with their hands is a good way to use inquiry-based learning. Hands-on activities can be used in all subjects. One such example might include giving students (either individually or in groups) unfamiliar objects. Let them look and hold the objects and speculate how they might be used. The goal is for students to observe the objects giving special attention to details. Now the students must give arguments to support their speculations. This is a great way to introduce a new subject in the classroom.“

(Převzato z <http://www.worksheetlibrary.com/teachingtips/inquirybasedlearningtips.html>, aktuální ke dni 1.8.2008)

2.) „Inquiry“ is defined as "a seeking for truth, information, or knowledge -- seeking information by questioning." Individuals carry on the process of inquiry from the time they are born until they die. This is true even though they might not reflect upon the process. Infants begin to make sense of the world by inquiring. From birth, babies observe faces that come near, they grasp objects, they put things in their mouths, and they turn toward voices. The process of inquiring begins with gathering information and data through applying the human senses -- seeing, hearing, touching, tasting, and smelling.“

(Převzato z <http://www.thirteen.org/edonline/concept2class/inquiry/index.html>, aktuální ke dni 1.8.2008)

3.) „Inquiry based or Project based education“ may seem to be new concepts, yet they dates back to the beginning of this century. For those who know of John Dewey these concepts will seem very familiar. For students this method of learning ends the listen to learn paradigm of the classroom and gives them a real and authentic goal and real challenges to overcome. For the teacher, inquiry based education ends their paradigm of talking to teach and recasts them in the role of a colleague and mentor engaged in the same quest as the other younger learners around. Much has been written about this type of pedagogy. Amongst our favorite sites for inquiry base pedagogy is the Collaboratory Visualization project at Northwestern University.“

(Převzato z http://archive.ncsa.uiuc.edu/Cyberia/DVE/FusionDVE/html/inquiry_based_education.html, aktuální ke dni 1.8.2008)

4.) „**Inquiry-Based Learning** - Effective inquiry is more than just asking questions. Inquiry becomes a complex process when students attempt to convert information and data into useful knowledge. Instructors must understand that curriculum needs to go beyond data and information accumulation and move toward generating useful and applicable knowledge; inquiry learning facilitates this process. Through the process of inquiry, individuals construct much of their understanding of the natural and human-designed worlds. Inquiry implies a "need or want to know" premise. Inquiry is not so much seeking the right answer—often there is none—but rather, it is seeking appropriate resolutions to questions and issues. For instructors, inquiry implies developing skills and nurturing attitudes or habits that will enable students to continue the quest for knowledge throughout life.“

(Převzato z <http://www.glencoe.com/ps/buscomm/article.php4?articleId=243&modId=3>, aktuální ke dni 1.8.2008)

2.2 Přehled výukových materiálů s interdisciplinární vazbou

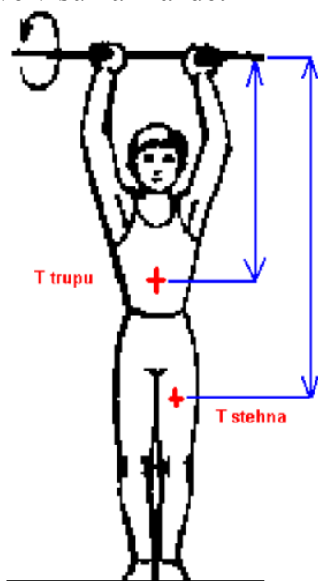
V následující kapitole bych ráda uvedla několik škol a autorů, kteří publikují velmi zajímavé přípravy na hodiny na internetu, či v časopisech. Soustředila jsem se hlavně na projekty a články s interdisciplinární vazbou. Neuvádím zde všechny zdroje, pouze ty, které mě přišly zajímavé.

2.2.1 Internet

I. Česká republika

1.) **Fakulta tělesné výchovy a sportu UK** – na stránkách katedry biomechaniky jsem našla velmi zajímavé Power Pointové prezentace paní PhDr. Evy Tlapákové, CSc. zabývající se mechanikou pohybu člověka. I když jsou tyto přípravy určené pro vysokoškolské studenty, domnívám se, že s menší obměnou jsou využitelné i pro středoškolské studenty.

Jako ukázkou uvádím pracovní list v Excelu pro výpočet momentu setrvačnosti člověka ve visu na hrazdě:



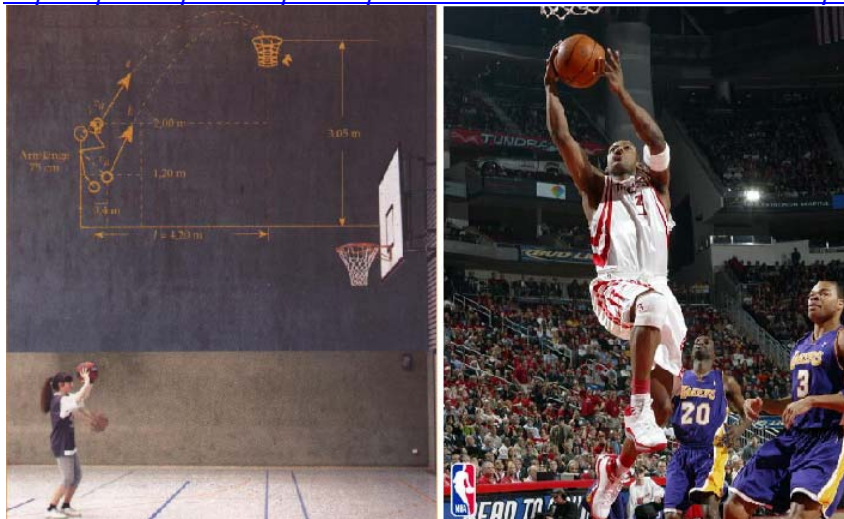
Microsoft Excel - moment.xls									
Moment setrvačnosti cvičence ve visu na hrazdě je									
zadej hmotnost(kg)=		frontální rovina		symetrická poloha		0,00 kg.m ²			
výšku(cm)=									
		$J_x = B_1 + B_2 \cdot m \cdot B_2 \cdot v$ $J = J_x \text{ (kgm}^2\text{)} + \text{hmotnost segmentu(kg)} \cdot d^2$							
segment	B ₁ [kg.cm ²]	B ₂ [kg.cm ²]	B ₂ [kg.cm]	hmotnost segmentu [kg]	J _x ^o [kgcm ²]	J _x ^o [kgm ²]	d- [m]	J-	
noha	-97,090	0,414	0,614	-0,83				0,000	
bérec	-1152,000	4,594	6,815	-1,59				0,000	
stehno	-3690,000	32,020	19,240	-2,65				0,000	
ruka	-13,680	0,088	0,092	-0,12				0,000	
předloktí	-67,900	0,855	0,376	0,32				0,000	
nadloktí	-232,000	1,526	1,343	0,25				0,000	
hlava	-112,000	1,430	1,730	1,30				0,000	
vrchní část trupu	367,000	18,300	-5,730	8,21				0,000	
střední část trupu	263,000	26,700	-8,000	7,18				0,000	nevypřítovat
spodní část trupu	934,000	11,800	3,440	-7,50				0,000	
trup celkem				7,90	0,00	0,000			
celkem				-0,04				0	

(převzato ze stránek <http://www.biomech.ftvs.cuni.cz/staff/tlapakova/>)

2.) Katedra teoretické fyziky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého

Mgr. Jan Říha nabízí přednášky pro středoškolské studenty, ve kterých studentům přibližuje vztah fyziky a sportu. Ve svých přednáškách rozebírá fyzikální zákonitosti v basketbalu, při skoku o tyči, golfu, vysvětluje princip chytání míče, ... Na internetu je volně ke stažení Power Pointová prezentace a video ukázky.

(více na : <http://optics.upol.cz/optics/optics/download/kal2004/Riha/Riha.pdf>)



(ukázka z Power Pointové prezentace Fyzika ve sportu - basketbal, autor: Mgr. Jan Říha)

II. Zahraničí

Na internetu je možné najít obrovské množství materiálu zabývající se vztahem fyziky k ostatním vědám. Na ukádku uvádím několik odkazů na anglické stránky, zabývající se fyzikou ve sportu:

Microsoft Excel - fyzika ve sportu - linky a hodnocení.xls							
Soubor Úpravy Zobrazit Vložit Formát Nástroje Data Okno Nápověda							
RK4							
F22							
	A	B	C	D	E	F	G
1	Sporty						
2	jazyk	obor	objekt	název	www	applet	video
3		baseball	rozcestník	vše o baseballu	http://webusers.npl.uiuc.edu/~a-nathan/pob/		
4	ENG	baseball	applet	výklad hry baseball	http://www.exploratorium.edu/baseball/scientificslugger.html	x	x
5	ENG			Baseball research center	http://m-5.eng.uml.edu/umlbr/c/		
6	ENG		video	video about baseball			x
7	ENG		video	stáhnuté video soubory z:	http://webusers.npl.uiuc.edu/~a-nathan/pob/video.html		
8	ENG	tennis, baseball		homepage fyzika	http://www.physics.usyd.edu.au/~cross/		
9	ENG		applet	baseball hází na zemi a jiných planetách	http://sun4.vaniercollege.qc.ca/golf/index.html		
10	ENG		applet		http://library.thinkquest.org/11902/physics/curveapp.html		
11	ENG	GOLF	animace	golf shop	http://sportsillustrated.cnn.com/augusta/cool_stuff/physics/tiger.html		
12	ENG			sonic golf	http://www.ivanhoe.com/science/story/2005/07/25si.html		
13	ENG			trajektorie	http://fiden-2.phys.uaf.edu/211_fall2002/web_dir/josh_fritts/flight.html		
14	ENG		obrázky	aerodynamika	http://www.titleist.com/technology/details.asp?id=21		
15	ENG				http://sun4.vaniercollege.qc.ca/golf/instruction.html		
16	ENG	tennis	video, ppt		http://www.physics.usyd.edu.au/~cross/presentations.html		x
17	ENG			Racquet Stringers Association	http://www.usrsa.com/store/ptot.html		
18	ENG	potápění se			http://entertainment.howstuffworks.com/scuba.htm		
19	ENG	Hokej	video	The Science of Hockey	http://www.exploratorium.edu/hockey/skating2.html		x

(soubor Excel je v příloze pod názvem Fyzika ve sportu.xls)

Problematikou fyziky ve sportu se snad nejvíce zabývá internetový portál **Exploratorium, the museum of science, art and human perception**:

<http://www.exploratorium.edu/sport/>

Zde můžeme nalézt velmi podrobný popis fyzikálních zákonitostí u mnoha sportovních odvětví. Jako příklad uvádím:

- Science of cycling
- Science of baseball
- Skateboard science
- Science of surfing

EXHIBITS
FASTBALL REACTION TIME
 -CAN YOU HIT A 90-MPH FASTBALL?
 (REQUIRES FLASH PLAYER)
SCIENTIFIC SLUGGER
 -SEE WHAT MAKES A HOME RUN.
 (REQUIRES SHOCKWAVE)

ARTICLES
TAKE ME OUT TO THE BESUBORU GAME
 -BASEBALL IN JAPAN
BIOLOGICAL BASEBALL

ACTIVITIES
THROWN FOR A CURVE
 -THROW A KILLER CURVEBALL
FINDING THE SWEET SPOT
BOUNCING BALLS -HOW HIGH?
HANDLE FORCES -GET A GRIP!
"BASEKETBALL" -ABOUT BOUNCE

FEATURES
HOW FAR CAN YOU HIT ONE?

THE GIRLS OF SUMMER

THE TIME MACHINE

PUTTING SOMETHING ON THE BALL

TOOLS OF THE TRADE

LINKS -COOL SITES
 BIBLIOGRAPHY
 CREDITS E-MAIL US

Project participants:

Louisville Slugger National Baseball Hall of Fame Oakland Athletics San Francisco Giants Total Baseball

© Exploratorium

(převzato z <http://www.exploratorium.edu/baseball/index.html>)

1.) **Holandsko – Universiteit van Amsterdam, Faculty of Science, AMSTEL Institute**
 Mezi inspirativní práce patří projekty holandského učitele André Hecka, který se středoškolskými studenty mimo jiné analyzuje chůzi člověka:

Ukázka z článku: **Gait analysis by high school students**

Abstract: Human walking is a complicated motion. Movement scientists have developed various research methods to study gait. This article describes how a high school student collected and analysed high quality gait data in much the same way that movement scientists do, via the recording and measurement of motions with a video analysis tool and via electromyography, i.e., the measurement of muscle activity. Physics, biology, and mathematics come together in this practical investigation work at a rather high level. It shows that science learning at school can resemble science practice in research laboratories, provided that students have adequate tools.

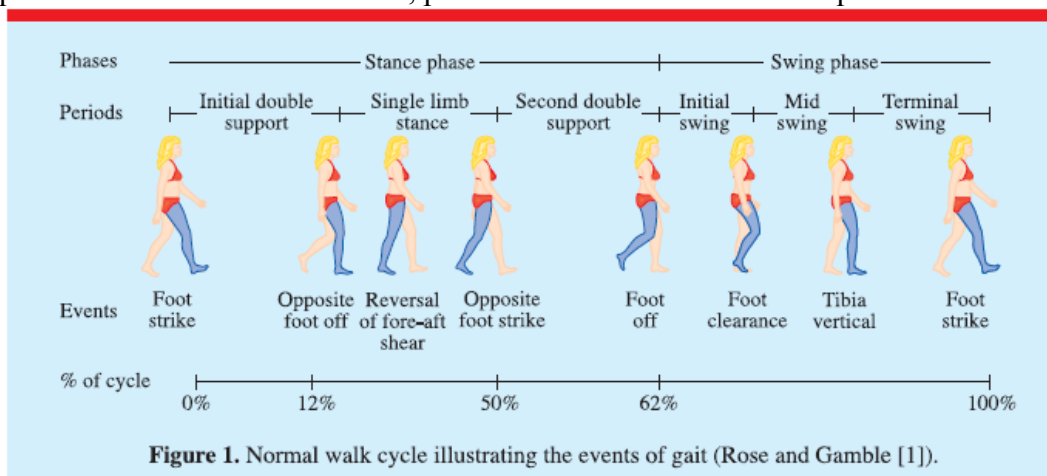


Figure 1. Normal walk cycle illustrating the events of gait (Rose and Gamble [1]).

(převzato z http://www.iop.org/EJ/article/0031-9120/43/3/005/pe8_3_005.pdf)

Ukázka z článku: **Capturing the Real World in the Classroom**

Eighty pupils in three classes in the theoretical learning pathway did the video measurement project. The main objective of this project was to let pupils carry out a short investigation on a self-selected type of motion, at their own educational level. Exploring attitude and adequate practical skills were assessed in this project. Focus was on preparation, implementation, and completion of the investigation, as well as effective collection, processing, and presentation of data that were obtained from self-made video clips.

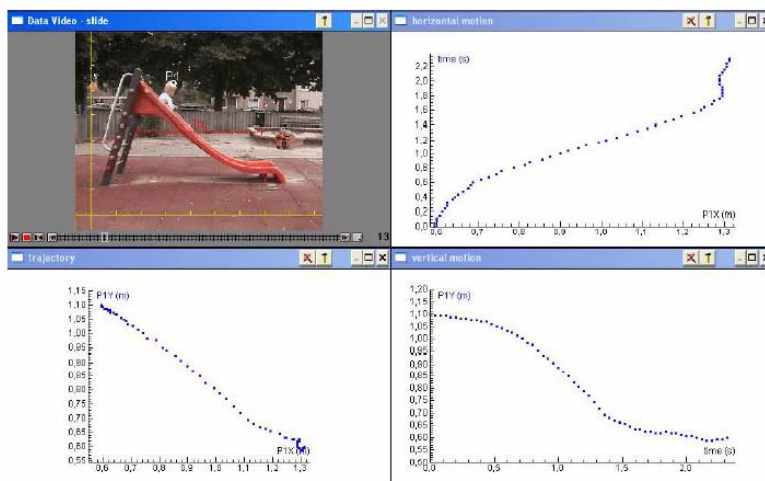


Figure 2. Sample video activity of a toddler on a slide in a playground.

(převzato z <http://staff.science.uva.nl/~heck/Research/art/IJTMEfinal.pdf>)

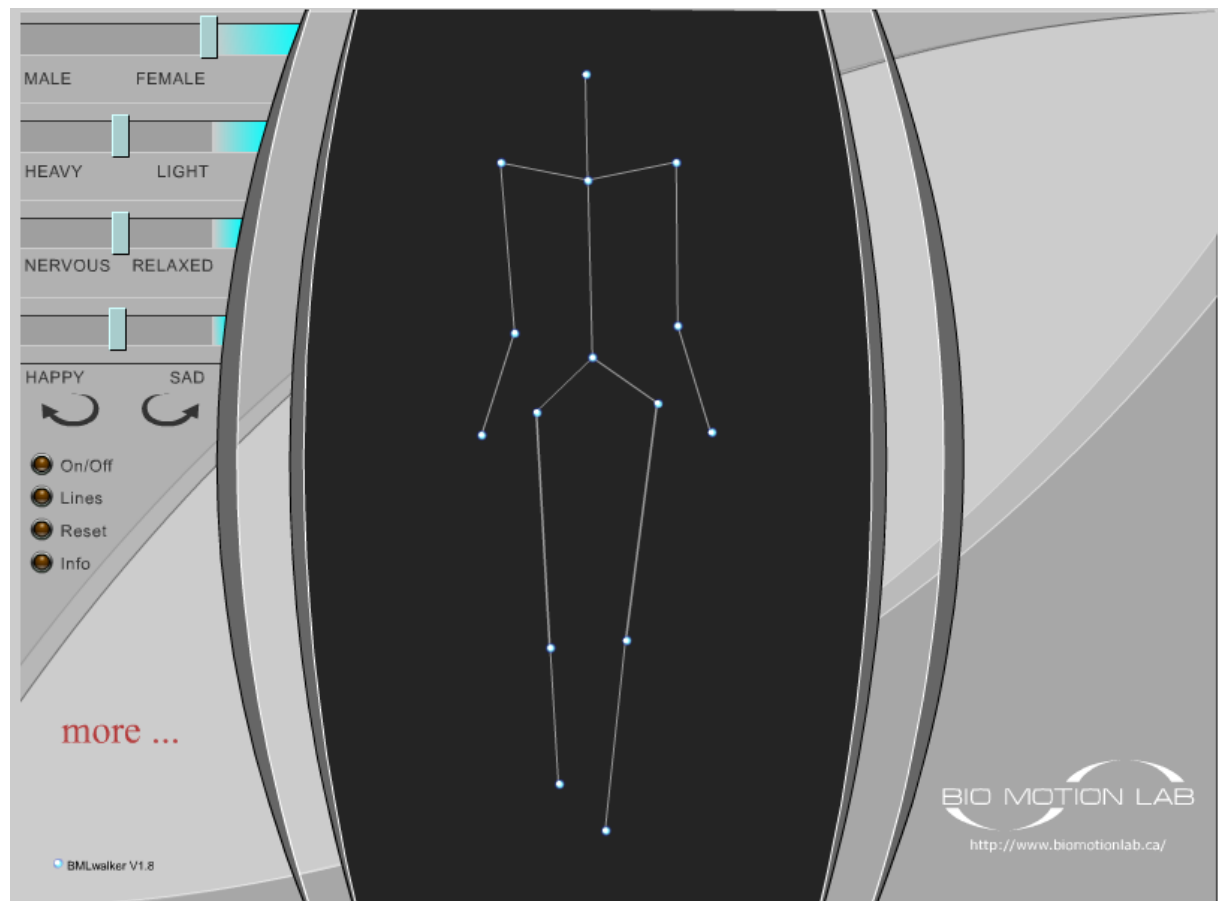
2.) Ontario - Queen's University in Kingston (<http://www.biomotionlab.ca>)

Další velmi zajímavou stránkou jsou stránky **The Biomotion Labu** vedené prof. Dr. Nicolaus Trojem:

„We are working on several aspects of visual perception and cognition. Our major interest is focussed on questions concerning the biology and psychology of social recognition. That is:

- *life detection*
- *conspecific recognition*
- *gender recognition*
- *individual recognition*
- *recognition of an agent's actions*
- *recognition of emotions, personality traits and intentionality“*

Na jejich stránkách můžeme nalézt aplet modelující rozdíly v chůzi ženy a muže, rozdíly chůze při změně nálady, ... Na stránkách si také každý může udělat test rozlišení pohlaví podle chůze a zapojit se tak do jejich výzkumu.



<http://www.biomotionlab.ca/Demos/BMLwalker.html>

2.2.2 Časopisy

I. Česká republika

Z českých časopisů bych ráda uvedla časopis **Golf**, ve kterém můžeme pravidelně sledovat seriál Ondřeje Trupla: **Golfová fyzika** (<http://www.casopisgolf.cz/>)

Z dalších časopisů, které jsem procházela mě velmi překvapil časopis **Vesmír**, ve kterém jsem od roku 2002 do roku 2007 nezaznamenala ani jeden článek týkající se popularizace fyziky ve sportu.

II. Zahraničí

Mnoho velmi zajímavých, i když mnohdy hodně obtížných článků popisující fyzikální zákony ve sportu můžeme najít v různých časopisech. Nejplodnějším časopisem tohoto druhu článků je **American Journal of Physics**. V následující tabulce uvádím přesné odkazy na články se sportovní tematikou pro případné prostudování. Kompletní svazky od roku 2002 do roku 2007 jsou k nahlédnutí v Národní knihovně v Praze:

American Journal of Physics		A publication of the american association of physics teachers			
ročník	číslo	interdisciplinarita	strana	autor	název
2002	5	sport	482	Rod Cross	Measurements of the horizontal coefficient of restitution for a superball and a tennis ball
	11	sport	1093	Rod Cross	Grip-slip behavior of a bouncing ball
2003	2	sport	134	Allan M. Nathan	Charakterising the performance of baseball bats
	2	sport	144	Takeshi Sugimoto	Mechanics of the surf skimmer revisited
	2	sport	150	L. Bocquet	The physics of stone skipping
	8	sport	791	Watts, Moore	The drag force on an American football
	11	sport	1152	Sawicki, Hubbard, Stronge	How to hit home runs: Optimum baseball bat swing ...
2004	9	sport	1170	Cliff Frohlich	What makes woeling balls hook?
2005	1	sport	28	A. Domenech	A classical experiment revisited: The bounce of balls and superballs in three dimensions
	6	sport	516	Burko, Price	Ballistic trajectory: Parabola, ellipse, or what?
	8	sport	722	Bacon	How balls roll off tables
	10	sport	914	Rod Cross	Bounce of a spinning ball near normal incidence
2006	1	sport	26	Rod Cross	The fall and bounce of pencils and other elongated objects
	3	sport	176	Hessel, Alfaro, Greschi	Force-versus-time curves during collision between two identical steel balls
	10	sport	896	Rod Cross	Scattering of a baseball by a bat
	11	sport	1088	Rod White	On the efficiency of the golf swing

3. POUŽITÁ TECHNIKA, SOFTWARE A METODY ZPRACOVÁNÍ

Ve své diplomové práci jsem se převážně soustředila na práci s video nahrávkami. Tato oblast mi byla nejbližší a technicky dobře dostupná. Protože v dnešní době není pro studenty větší problém pořídit kvalitní video nahrávky, rozhodla jsem se ve své diplomové práci o návrh projektů s využitím video techniky.

Osobní zkušenost mi potvrdila, že je pro studenty kombinace vytváření vlastních video nahrávek a jejich následné zpracování ve fyzikálním softwaru velmi atraktivní. Tato zkušenost mě motivovala k pořízení fotoaparátu s vysokorychlostním High Speed video režimem, který umožňuje podrobněji zkoumat jevy lidským okem či obyčejnou kamerou nepozorovatelné.

3.1 Použitá technika

I. Fotoaparát Casio Exilim F1

Tento fotoaparát s HS (*High Speed*) video režimem s volitelnou frekvencí snímání 300, 600 a 1200fps (fps = *Frames Per Second* – počet snímků za vteřinu) nám umožňuje až 40x zpomalený video záznam.

Ve své práci jsem HS režim hojně využívala při natáčení rychlých jevů – pohyb křídel hmyzu, časová změna intenzity zářivky (1200fps), pády a vrhy v tíhovém poli Země (300fps), ...

Pro další zpracování video nahrávek je velmi důležité, aby videem zachycený pohyb nebyl rozmazaný a byl dobře zaostřený.

Videa, které jsem dříve pořizovala obyčejnou kamerou s rychlostí snímání 30fps, byla pro další zpracování naprosto nevhodná a nepoužitelná. Obyčejný pád míčku byl již příliš rychlým jevem. V nejvyšších rychlostech byl míček výrazně rozmazaný a protože rychlost snímání byla pouze 30fps, nebyl zachycen okamžik dopadu míčku na podložku.

Na následujících ukázkách chci upozornit na důležitost úměrnosti frekvence snímání dat k frekvenci snímaného jevu. V první ukázce, při použití pro daný jev nedostatečné techniky, jsme došli k úplně nesmyslným hodnotám V druhé ukázce jsme přišli „pouze“ ke zkreslení jevu.

1. ukázka – „blikání“ žárovky

Pomocí vysokorychlostní kamery jsem snímala světlo obyčejné žárovky. V režimu HS s frekvencí snímání 1200 fps lze velmi pěkně pozorovat „blikání“ žárovky a to s frekvencí 120 Hz. (*frekvence blikání žárovky je 2x větší než frekvence zdroje, protože maximum svítivosti během jedné sinusoidy dosáhne žárovka 2x během jedné periody*).

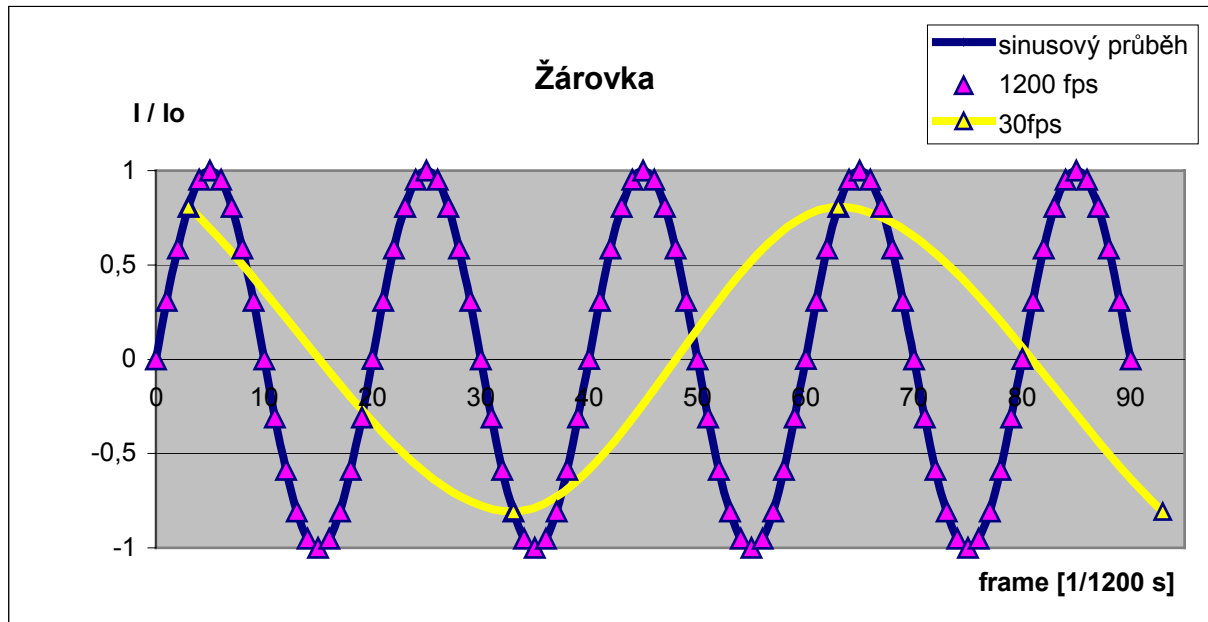
Stejný jev - „blikání“ jsem snímala také v režimu snímání HS s frekvencí 30 fps. Jestliže bychom podle video nahrávky bezmyšlenkovitě vypočítali frekvenci „blikání“ žárovky, zjistili bychom $f = 15$ Hz, což je naprosto chybný výsledek.

Uvedená chyba vzorkování, která nenávratně zkreslí signál se nazývá Aliasing. Abychom této chybě předešli, potřebujeme vzorkovací frekvenci minimálně 2x větší, než je frekvence zaznamenávaného jevu. Tuto minimální vzorkovací frekvenci nazýváme



Nyquistovou frekvencí. Protože očekávaná frekvence „blikání“ žárovky je 120 Hz, je frekvence 1200 fps dostačující a naopak frekvence snímání 30 fps nedostatečná.

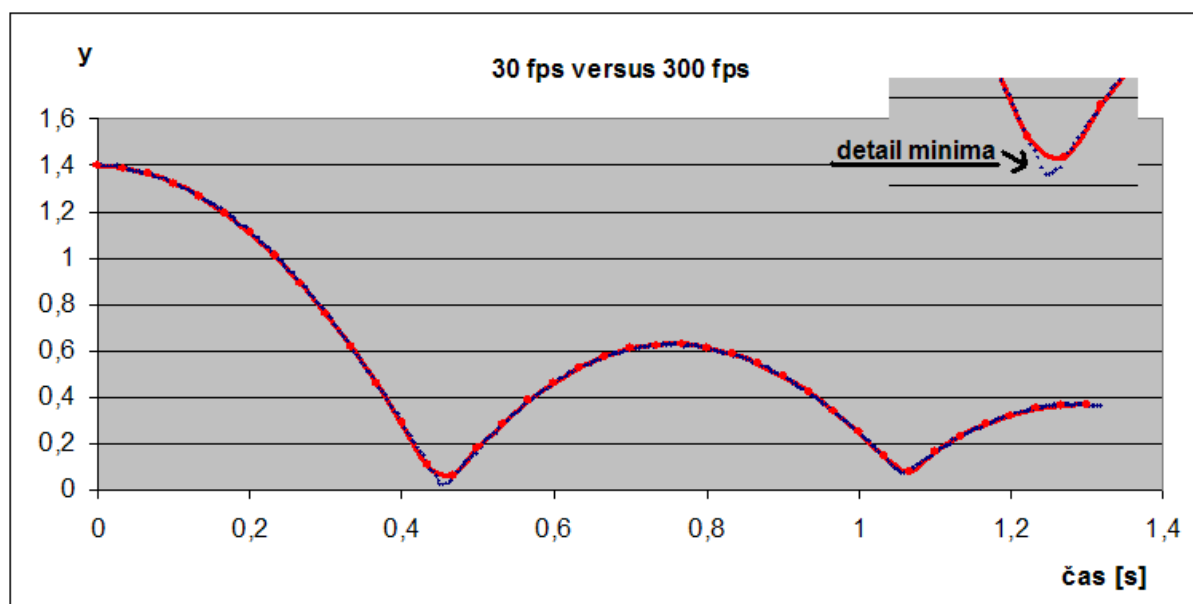
Pro lepší představu jevu jsem na následujícím sinusovém průběhu relativní intenzity na čase znázornila hustotu snímání dat a proložila jimi křivku. U žluté křivky (frekvence snímání dat 30 fps) vidíme, že propojená data nedávají absolutně žádný fyzikální smysl a jsou silně zavádějící.



2. ukázka – pohyb míčku

Následující graf závislosti y-ové souřadnice na čase t pro pohyb míčku znázorňuje rozdílnou hustotu dat při snímání video záznamů rychlostí 30 fps a 300 fps.

Z grafu je patrné, že rychlost snímání dat 30fps je málo i pro pohyb skákajícího míčku. Vidíme, že nejsou dost dobře zachycena minima y-ové složky a díky řídkosti dat se minima jeví mělkí a posunutá v čase. (pozn.: druhé minimum je v y-ové složce posunuto směrem nahoru díky nekvalitní video nahrávce – pohyb míče nebyl přesně v rovině, ale míč odskákal dál od kamery. Nahrávku jsem i přesto použila, protože daná chyba nemá vliv na pozorovanou hustotu dat měření).



červené body: 30 fps; modré body: 300 fps

Video nahrávky k výše uvedené problematice naleznete na příloženém CD ve složce **kapitola 3**, pod názvem: *žárovka30fps.avi*, *žárovka1200fps.avi*, *míč30fps.avi*, *míč300fps.avi*.

3.2 Zpracování video nahrávek

I. Software pro střihání a konverzi videa

Video nahrávky jsem pořizovala fotoaparátem **Casio Exilim F1**, který má výstupní formát videa mov. Před samotným zpracováním je třeba video sestříhat a překonvertovat do formátu avi.

Pro zpracování videa jsem použila program Sony Vegas 7.0. Tento program však není zdarma a proto doporučuji jakýkoliv konvertor volně ke stažení na internetu (např. **RAD Video Tools**, adresa: <http://www.slunecnice.cz/sw/rad-video-tools/>) a pro střih videa použít freeware program **VirtualDub** (adresa: <http://www.slunecnice.cz/sw/virtualdub/>).

Některá videa bylo potřeba nejen sestříhat a překonvertovat, ale také snížit počet fps. Volný pád a různé vrhy jsou pro obyčejnou kameru (30fps) většinou pohyby rychlé. Pro tyto pohyby by byla ideální snímací frekvence 60 nebo 100fps. Protože takovou snímací frekvenci kamera neposkytuje, bylo potřeba vystříhnout některé snímky, aby vzniklo video s požadovanou frekvencí. Jestliže bychom nesnížili frekvenci, pak bychom během zpracování videa v AviStepu měli výsledná data silně zašuměná, protože by byl pohyb sledovaného objektu v rámci sousedních snímků velmi malý.

II. Fyzikální software

Po zpracování videa již můžeme nahrávky studovat ve fyzikálním softwaru. Níže uvádím fyzikální programy, které jsou zdarma ke stažení z internetu:

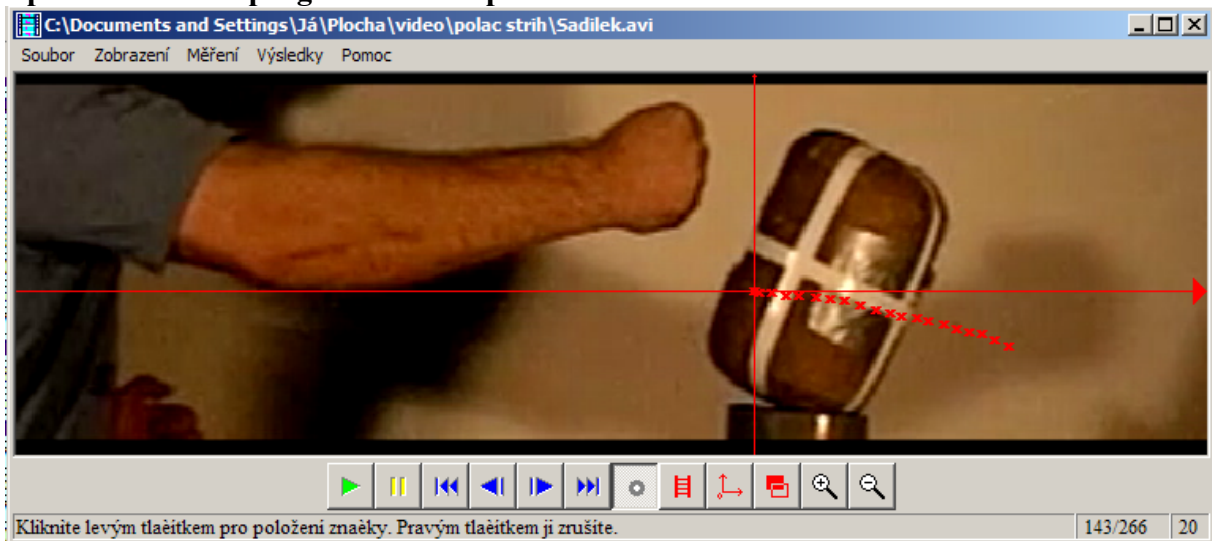
- **AviStep** (francouzsky, již existuje částečný překlad do češtiny)
<http://kdf.mff.cuni.cz/~koupil/pocitace/software.php>
- **Viana** (německy)
<http://kdf.mff.cuni.cz/~koupil/pocitace/software.php>
- **WorldInMotion** (anglicky)
<http://www.physicscurriculum.com/world-in-motion.htm>

Z uvedených softwarů jsem si pro zpracování video nahrávek zvolila program AviStep. Z mého pohledu je tento program nejvíce uživatelsky přátelský a jako jediný je alespoň z části přeložen do českého jazyka.

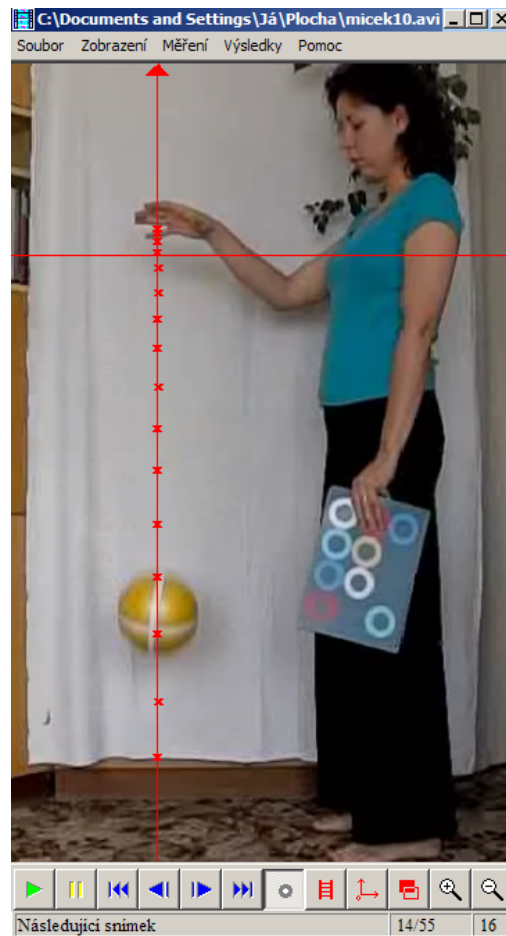
Ke stažení je též dostupný český základní návod práce v programu AviStep:
http://www.sost.lit.cz/projekt_video/files/navod_avistep.pdf

3.3 Vyhodnocování výsledků

Zpracování dat v programu AviStep:



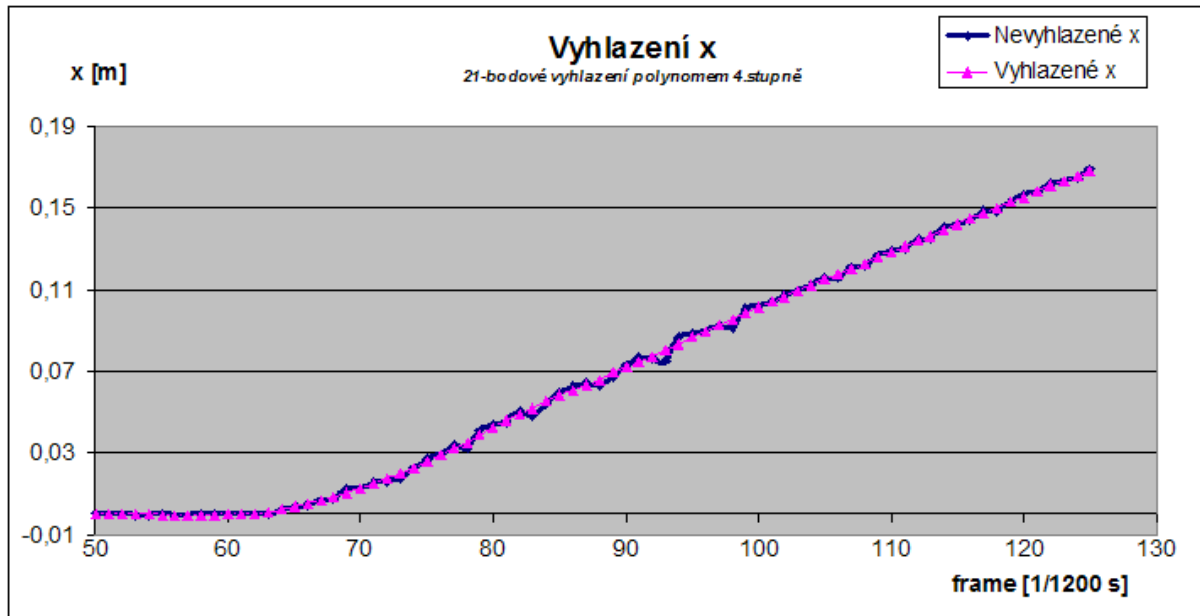
Program AviStep nám umožňuje sledovat a zaznamenávat pohyb tělesa snímek po snímku. Můžeme sledovat až 3 různé tělesa, resp. body na tělese najednou. Program nám pak vypočítá ze zaznamenaných x-ových a y-ových souřadnic rychlost a zrychlení a vykreslí nám vektor rychlosti pro každý zaznamenaný okamžik.



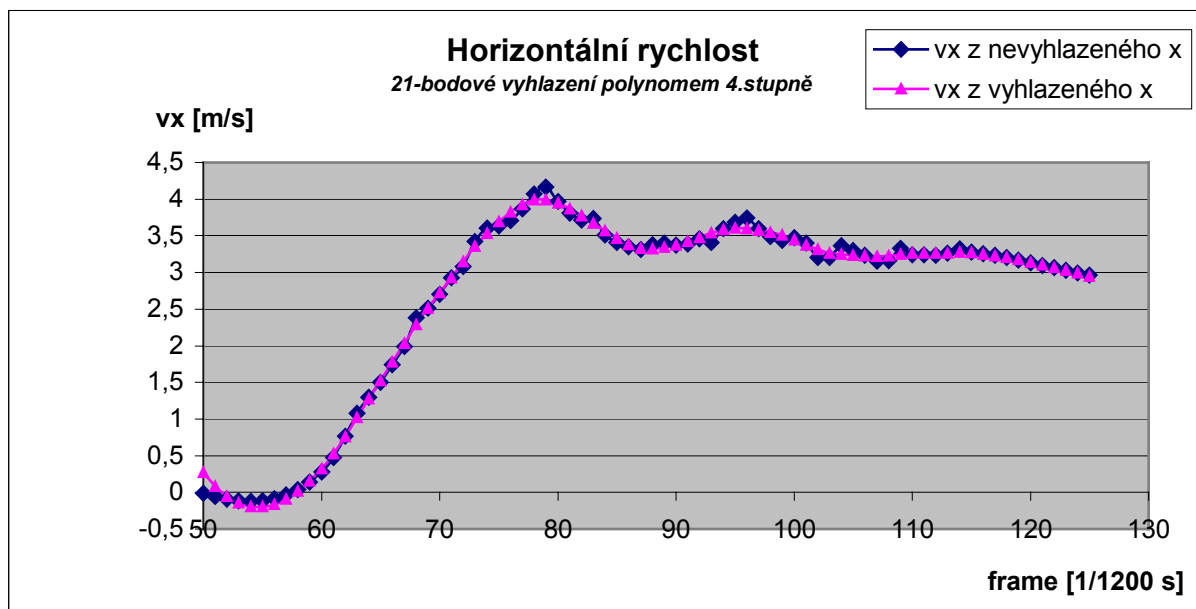
Během získávání x-ových a y-ových souřadnic těžiště jsme zanesli nemalý šum do dat, který se výrazně projeví při výpočtu první a druhé derivace. Tyto hodnoty jsou nepoužitelné, jestliže nejprve vstupní data nevyhladíme.

Na následujících grafech je znázorněna první a druhá derivace počítaná z dat před a po vyhlazení:

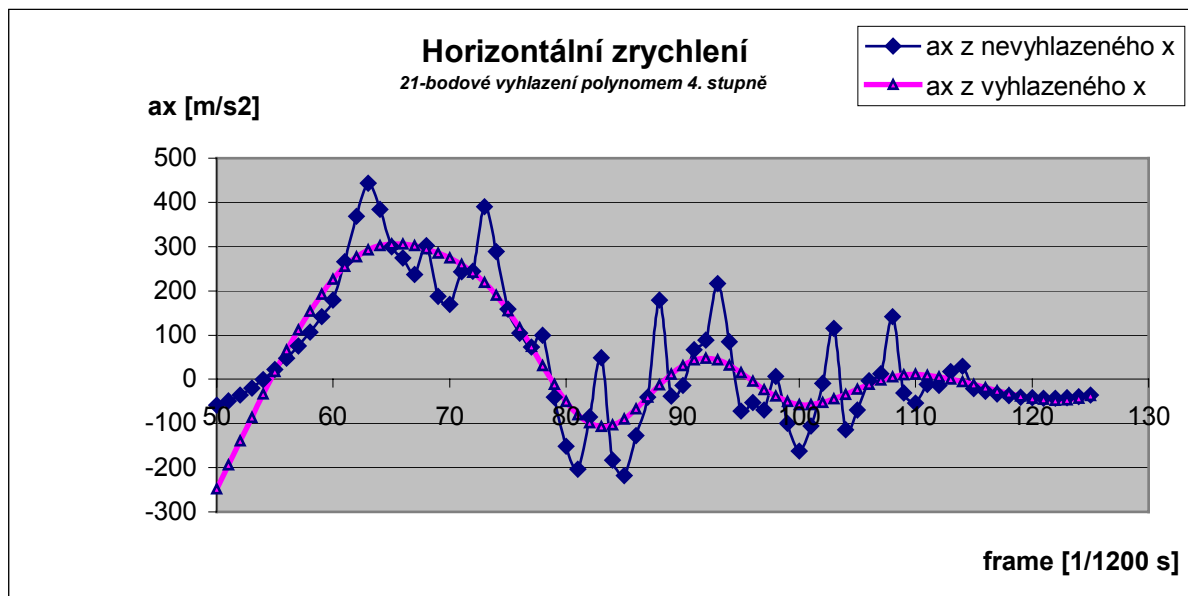
Vyhlazení x-ové souřadnice těžiště válce:



Horizontální rychlost těžiště válce (první derivace):



Horizontální zrychlení těžiště válce (druhá derivace):



Z grafů je patrné, že speciálně pro výpočet druhé derivace je vyhlazení a tím odstranění šumu naprosto nezbytné.

AviStep nám nabízí 5–ti bodové vyhlazení polynomu nejvýše 3. stupně. Ve většině případů je toto vyhlazení dostačující pro ilustrativní představu daného pohybu. V některých případech je však naprosto zkreslující a je potřeba použít přesnějších aproximačních metod.

Pro přesnější vyhlazení jsem si vybrala z široké škály filtrů filtr Savitzky-Golay, který pro mé účely nejlépe odstraní šum a spočítá 1. a 2. derivaci. Tento filtr pracuje na principu nejmenších čtverců. Předností tohoto filtru je jeho věrné zachovávání maxim a minim, která jsou pro nás důležitá

Savitzky - Golay filtr

„Nejjednodušší typ filtru nahrazuje každou hodnotu f_i lineární kombinací g_i sama sebou a jeho sousedů.

$$g_i = \sum_{n=-n_L}^{n_R} c_n f_{i+n}$$

n_L ... počet použitých bodů zleva od uzlového bodu i

n_R ... počet použitých bodů zprava od uzlového bodu i

Ideou Savitzky-Golay filtru je najít koeficienty c_n , které zachovávají špičky signálu. Ekvivalentně řečeno, filtr se snaží aproximovat základní funkci uvnitř pohybujícího se okna (oknem nazýváme $n_L + n_R + 1$ bodů v okolí bodu i) ne pomocí konstanty, ale pomocí polynomu vyššího stupně, typicky, druhého či čtvrtého:

Pro každý bod f_i , učiníme aproximaci nejmenších čtverců pro všechny body $n_L + n_R + 1$ v pohybujícím se okně a poté položíme hodnotu g_i tohoto polynomu na pozici i .

Hodnotu polynomu nepoužijeme pak už na žádný jiný bod. Pro výpočet následujícího bodu f_{i+1} činíme celou aproximaci pomocí nejmenších čtverců úplně znovu.

Naším úkolem je vypočítat polynom stupně M v bodě i , tj.: $a_0 + a_1i + \dots + a_Mi^M$, pro hodnoty f_{-n_L}, \dots, f_{n_R} . Hodnota g_0 bude hodnotou tohoto polynomu v bodě $i = 0$, resp. bodu a_0 .

Tvar matice pro tento případ je:

$$A_{ij} = i^j \quad i = -n_L, \dots, n_R \quad j = 0, \dots, M$$

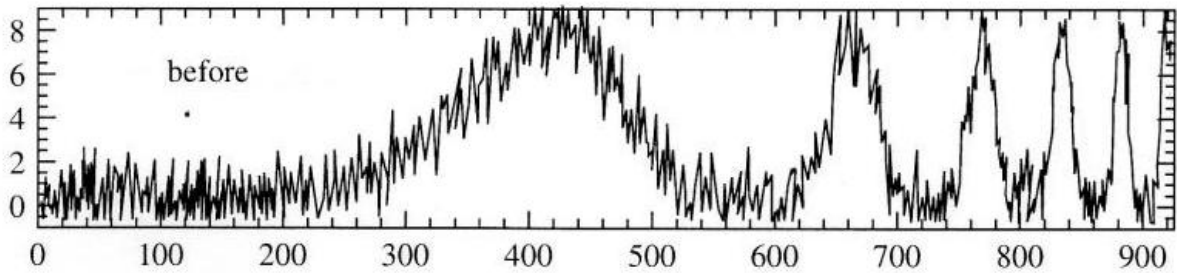
a rovnice pro vektor a_j v rámci vektoru f_i je v maticovém zápisu:

$$(A^T \cdot A)a = A^T \cdot f \quad \text{nebo} \quad a = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot (A^T \cdot f)$$

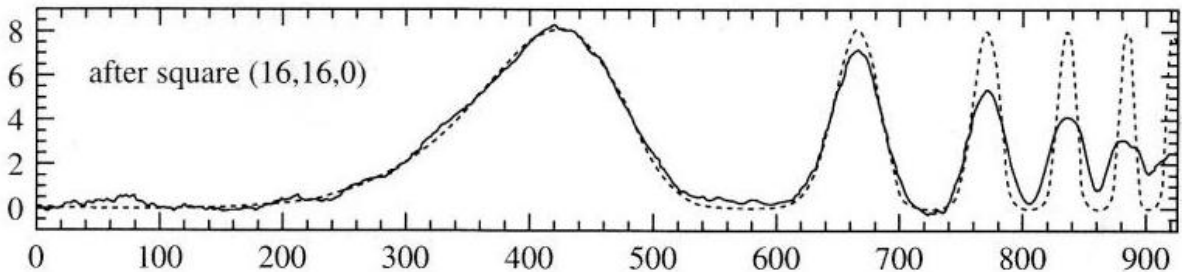
Protože koeficient c_n je člen a_0 když je vektor f nahrazen jednotkovým vektorem e_n , $-n_L \leq n < n_R$, dostáváme:

$$c_n = \left\{ (A^T \cdot A)^{-1} \cdot (A^T \cdot e_n) \right\}_0 = \sum_{m=0}^M \left\{ (A^T \cdot A)^{-1} \right\}_{0m} n^m$$

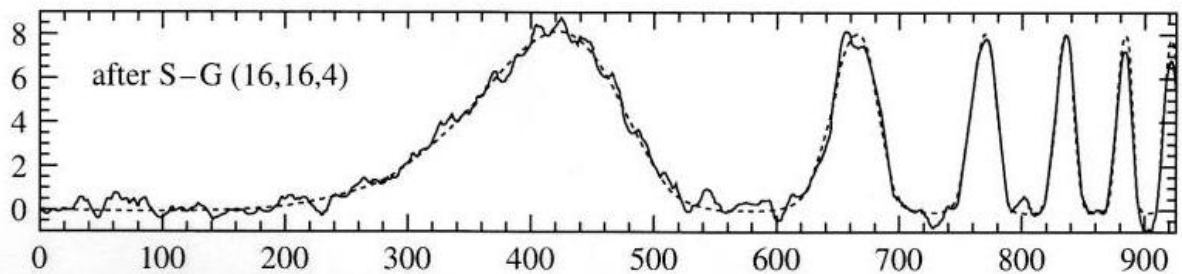
Následující obrázky ukazují numerický experiment používající 33-bodové vyhlazení, tj. $n_L = n_R = 16$. Testovací funkce má 6 „špiček“ různých šířek a výšky 8 bodů. Čárkovaně je zobrazen původní tvar funkce.



obr. 1: data před vyhlazením



obr. 2: data vyhlazena klouzavým průměrem



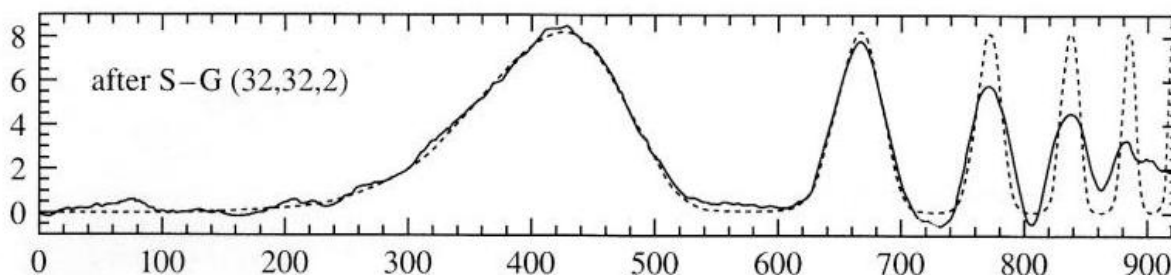
obr. 3: data vyhlazena Savitzky–Golay filtrem; 33-bodové vyhlazení polynomu 4. stupně

Obr. 1: zašuměná data před vyhlazením.

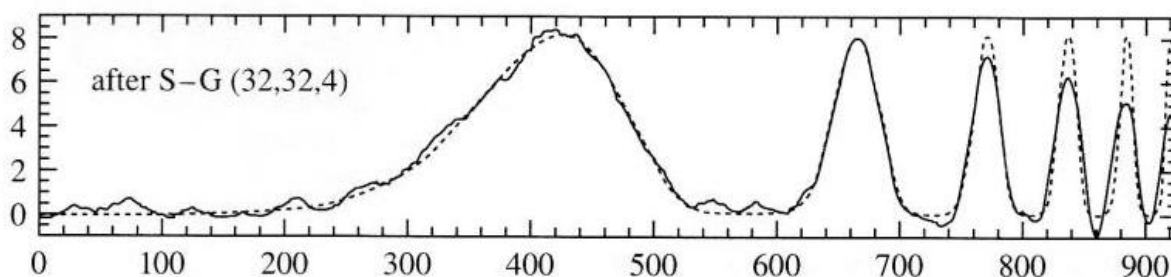
Obr. 2: data jsou vyhlazena 33-bodovým vyhlazením pomocí klouzavého průměru. Tato metoda velmi dobře aproximovala první, nejširší špičku. U dalších však silně ztratila výšku a zvětšila šířku píku.

Obr. 3: 33-bodové vyhlazení polynomem 4. stupně Savitzky-Golay filtrem. Je patrné, že výšky i šířky píků jsou věrně zachovány, nejširší pík je však nedostatečně vyhlazen. Je to způsobeno širší použitého 33-bodového pracovního okna.

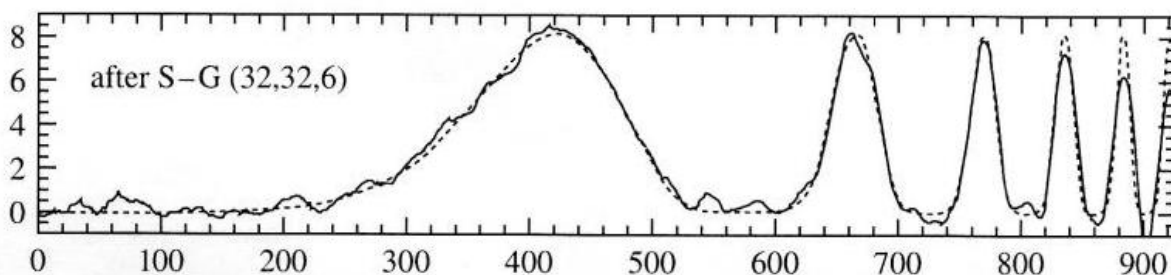
Obr. 4 - 6: obrázky ilustrují 65-bodové vyhlazení filtrem Savitzky-Golay s použitím polynomů různých stupňů (druhého, čtvrtého a šestého stupně). Z obrázku je patrné, že polynom vyššího stupně věrněji aproximuje původní křivku zobrazenou čárkovaně.



obr. 4: data vyhlazena Savitzky-Golay filtrem; 65-bodové vyhlazení polynomu 2. stupně



obr. 5: data vyhlazena Savitzky-Golay filtrem; 65-bodové vyhlazení polynomu 4. stupně



obr. 6: data vyhlazena Savitzky-Golay filtrem; 65-bodové vyhlazení polynomu 6. stupně“

(teorie k filtru Savitzky-Golay převzata z [10]).

II. VLASTNÍ TVORBA

4. VYHLAZENÍ DAT POMOCÍ FILTRU SAVITZKY-GOLAY

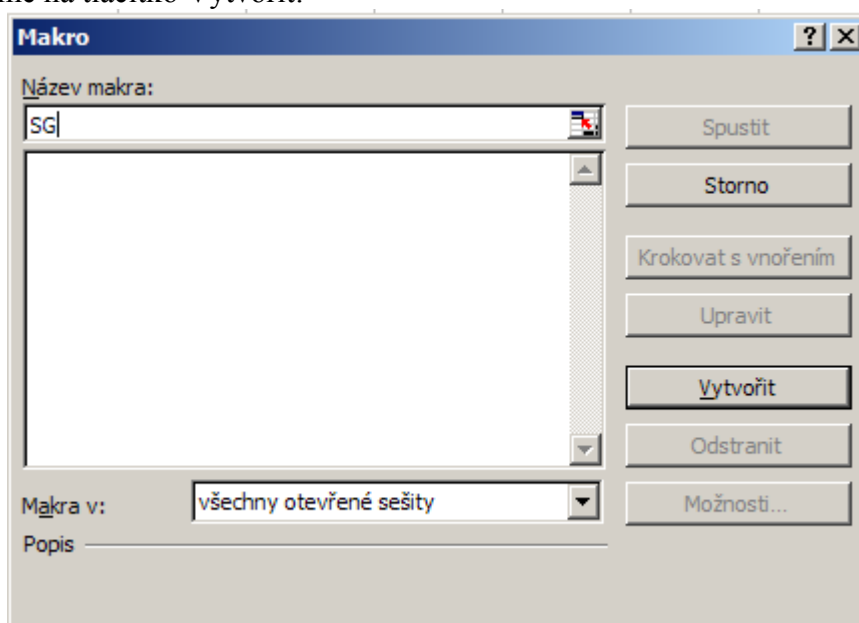
Následující návod a testové úlohy jsem připravovala pro studenty a učitele Policejní Akademie, se kterými spolupracuji na měřeních.

Protože zpracovávání dat je nedílnou součástí každého měření, zařadila jsem do své diplomové práce i následující pracovní listy a testové úlohy, i když nebyly „a priori“ určeny pro středoškolské studenty a vyčnívají z rámce učiva středoškolské fyziky.

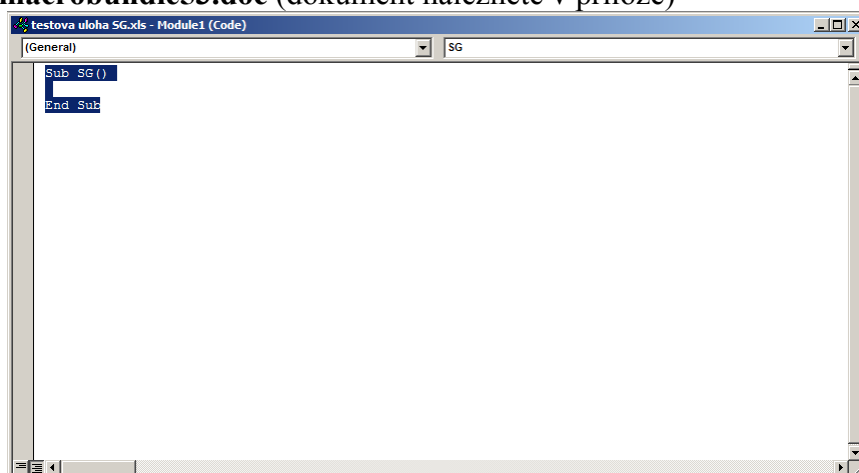
Domnívám se však, že i středoškolský student si s nimi dokáže velmi úspěšně pohrát a mohou být dobrým materiálem pro hlubší pochopení problému a také motivací k dalšímu studiu.

4.1 Návod použití filtru Savitzky-Golay v programu Excel

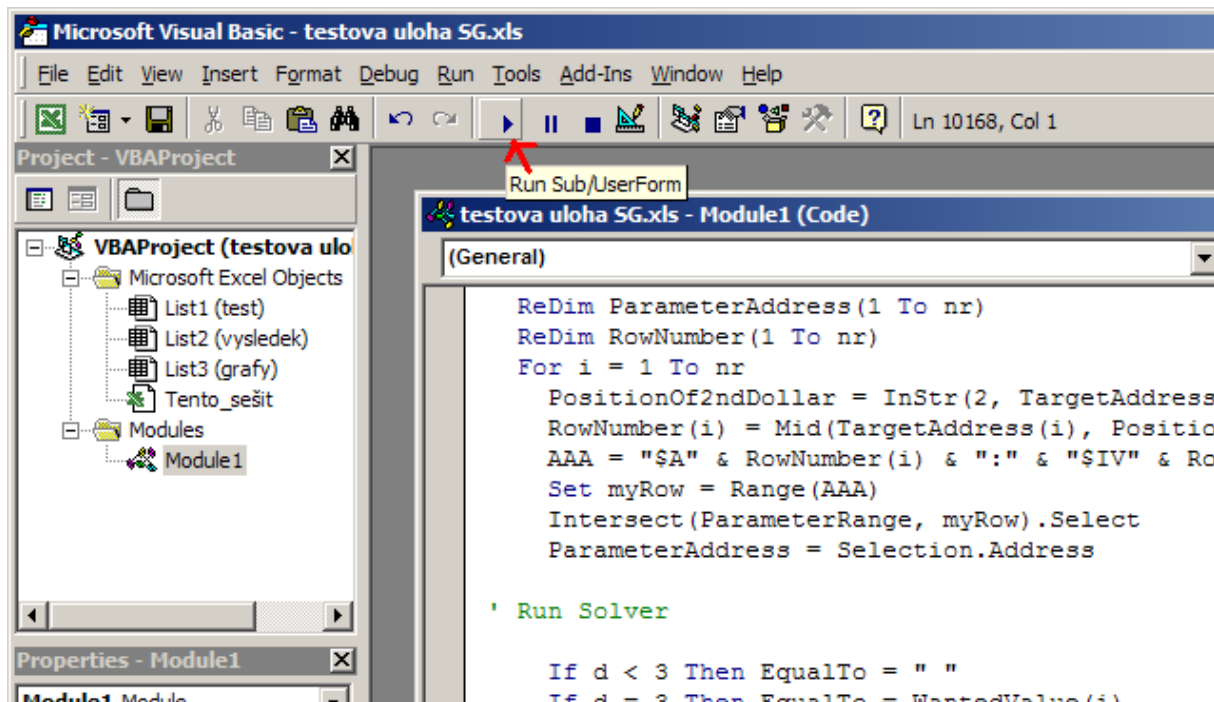
Makro Savitzky-Golay filtr zapneme pomocí klávesy Alt+F8. Nejprve musíme naprogramované makro nahrát. Do okna, které se nám objevilo napíšeme název makra (např. SG) a klikneme na tlačítko Vytvořit:



Otevře se nám Module, do kterého zkopírujeme naprogramované makro z Word dokumentu pod názvem **macrobundle53.doc** (dokument naleznete v příloze)



a klikneme na tlačítko **RUN**:



Z nabídky maker vybereme funkci pod názvem **ELSfixed**, což je zkratka pro filtr Savitzky-Golay.

Dále se nám v programu Excel objeví malé šedé okénko, kde potřebujeme zadat hodnoty:

- 1.) **The input data are located in column** – jako první musíme označit sloupeček dat, se kterými chceme pracovat - v tomto případě hodnoty x.
- 2.) **The length of the moving polynomial is:** určíme si, kolika bodové vyhlazení chceme použít. (doporučuji použít tolik bodů, aby zahrnuly celou šířku jevu - v našem případě doba dotyku ruky na Heroinu, protože pouze tehdy se Heroin pohybuje s horizontálním zrychlením). Z videa rana.avi určíme, že doba dotyku je od cca 35.-tého snímku do 60.-tého snímku, tj. celkem 25 snímku. Proto můžeme použít 21-bodové vyhlazení, nejlépe 4.stupně.
- 3.) **The order of the moving polynomial is:** zadáme stupeň polynomu, doporučuji 4.-tého stupně.
- 4.) **Select the order of the derivative (either 1 or 2); for smoothing, select 0:** jestliže nejprve budeme vyhlazovat x-ové souřadnice, zadáme pro vyhlazení (tj. *smoothing*) 0. Pro výpočet 1.derivace (tzn. *rychlosti*) zadáme 1, pro výpočet 2. derivace (tj. *zrychlení*) zadáme 2.
- 5.) **The data spacing in x is** – jestliže budeme počítat derivaci, v posledním kroku musíme zadat časový interval mezi jednotlivými daty. Pro náš případ rány, kdy frekvence snímání je 1200 fps (frames per second = snímků za sekundu) zadáme hodnotu:

$$\frac{1}{1200} = 0,000833333$$

V příloze emailu posílám testovou úlohu v Excelu. Dole můžete přepínat jednotlivé listy.

- 1.list pod názvem **TEST** obsahuje vstupní data
- 2.list pod názvem **VYSLEDEK** jsou již výsledné vyhlazené data
- 3.list pod názvem **GRAFY** tyto data zobrazuje do grafu.

4.2 Vyhlazení dat pomocí Savitzky-Golay filtru, výpočet první a druhé derivace (pracovní list)

Pomůcky: Počítač

Program: Microsoft Excel

Úvod: Tento pracovní list si klade za cíl ukázat základní práci s filtrem Savitzky-Golay. Předpřipravená data jsou odečtena z video záznamu úderu ruky do 5 kg válce, snímaného vysokorychlostní kamerou (1200 fps). Data byla snímána od 25.-tého do 100.-tého framu. Samotný úder trval od 35.-tého do 55(60).-tého framu.

1. Otevřete přílohu s názvem *testova uloha SG.xls*
2. V listu pod názvem TEST jsou hodnoty jednotlivých framů, časové intervaly a x-ová souřadnice odečtená z videa *rana.avi* (1200 fps).
3. Pomocí makra Savitzky-Golay filtru vypočítejte první a druhou derivaci (tj. horizontální rychlost a zrychlení) a vypočtená data vynesete do grafu v závislosti na framech.
4. Pomocí makra Savitzky-Golay filtru vyhleďte x-ovou souřadnici a z vyhlazených dat opět spočítejte první a druhou derivaci, vypočtená data vynesete do již připraveného grafu s nevyhlazenými hodnotami. Diskutujte různost křivek.
5. Správnost svého postupu a grafů si ověřte v listu pod názvem VYSLEDEK a GRAFY.
6. Diskutujte krajní hodnoty horizontální rychlosti a zrychlení vzhledem k video záznamu. Jsou tyto krajní hodnoty reálné?

4.3 Parametry Savitzky-Golay filtru (pracovní list)

Pomůcky: Počítač

Program: Microsoft Excel

Úvod: Tento pracovní list si klade za cíl pochopení významu jednotlivých parametrů u filtru Savitzky-Golay. Předpřipravená data jsou odečtena z video záznamu úderu ruky do 5 kg válce, snímaného vysokorychlostní kamerou (1200 fps). Data byla snímána od 25.-tého do 100.-tého framu. Samotný úder trval od 35.-tého do 55(60).-tého framu.

1. Otevřete přílohu s názvem *parametry SG.xls*
2. V listu pod názvem TEST jsou hodnoty jednotlivých framů, časové intervaly a x-ová souřadnice odečtená z videa **rana.avi** (1200 fps).
3. Pomocí makra Savitzky-Golay filtru vyhleďte x-ovou souřadnici.
4. Spočítejte první a druhou derivaci. Výpočet proveďte několikrát pro různé stupně použitého polynomu (2, 4, 6, ...) a data vynesete do grafu. Grafy porovnejte a diskutujte, který stupeň polynomu nejlépe vykresluje skutečný průběh?
5. Spočítejte první a druhou derivaci. Výpočet proveďte několikrát pro různý počet okolních bodů použitých pro vyhlazení (5, 10, 15, 20, 30, ...) a data vynesete do grafu. Grafy porovnejte a diskutujte, který počet použitých bodů je pro daný jev optimální – porovnejte též s délkou trvání samotného jevu!
6. Správnost vypočítaných grafů si můžete porovnat v listu pod názvem VYSLEDEK a GRAFY.

5. STUDIUM ÚDERŮ

V této kapitole navrhuji projekt koncipovaný pro středoškolské studenty. Cílem projektu je na vlastní kůži si osvojit fyzikální zákony a to hlavně silové působení na těleso, výpočet rychlosti, zrychlení, impulsu síly, energie předané tělesu, sledování destrukce objektu, ...

Dalším (výchovným) cílem tohoto projektu je přiblížit studentům problematiku úrazů a důležitost ochranných prvků např. při jízdě na kole, na koni, kolečkových bruslích, ...

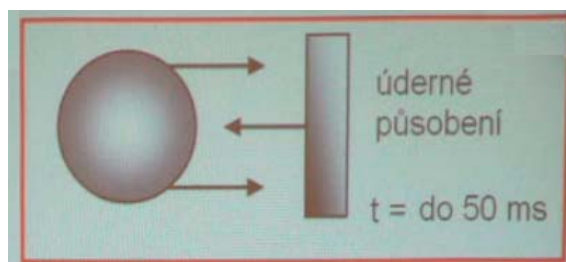
5.1 Predikce extrémního dynamického zatěžování organismu

Jedna z částí, kterou se biomechanika zabývá, je studium úrazů. Jsou hledány různé kritické hranice tolerance přežití pro různé typy úrazů a částí těla. V tomto projektu se budeme zabývat problematikou úrazu hlavy.

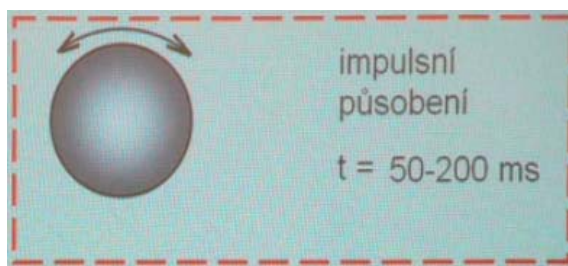
5.1.1 Tolerance organismu na přežití

Biomechanika rozděluje impakty (doby tlumení) na následující základní typy:

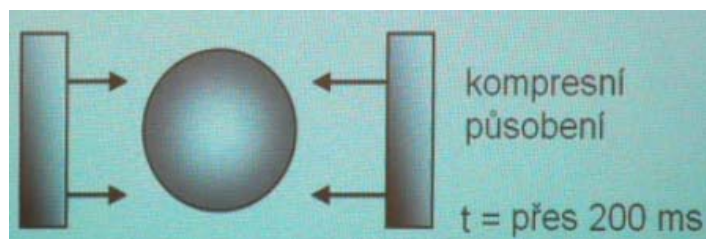
1. **Úderné působení do 50 ms** – v tomto časovém rozmezí se jedná o tzv. tvrdý úder. Úder sekerou, palicí či jiným tuhým předmětem do hlavy má dobu trvání 6 ms. Doba trvání úderu nechráněné hlavy o silnici či beton se též pohybuje v tomto časovém rozmezí.



2. **Implusní působení** – mezi tyto typy působení řadíme autonehody nebo tzv. SBS (Shaken Baby Syndrom = Syndrom třeseného dítěte).



3. **Kompresní působení** – stlačení po dobu větší jak 200 ms.

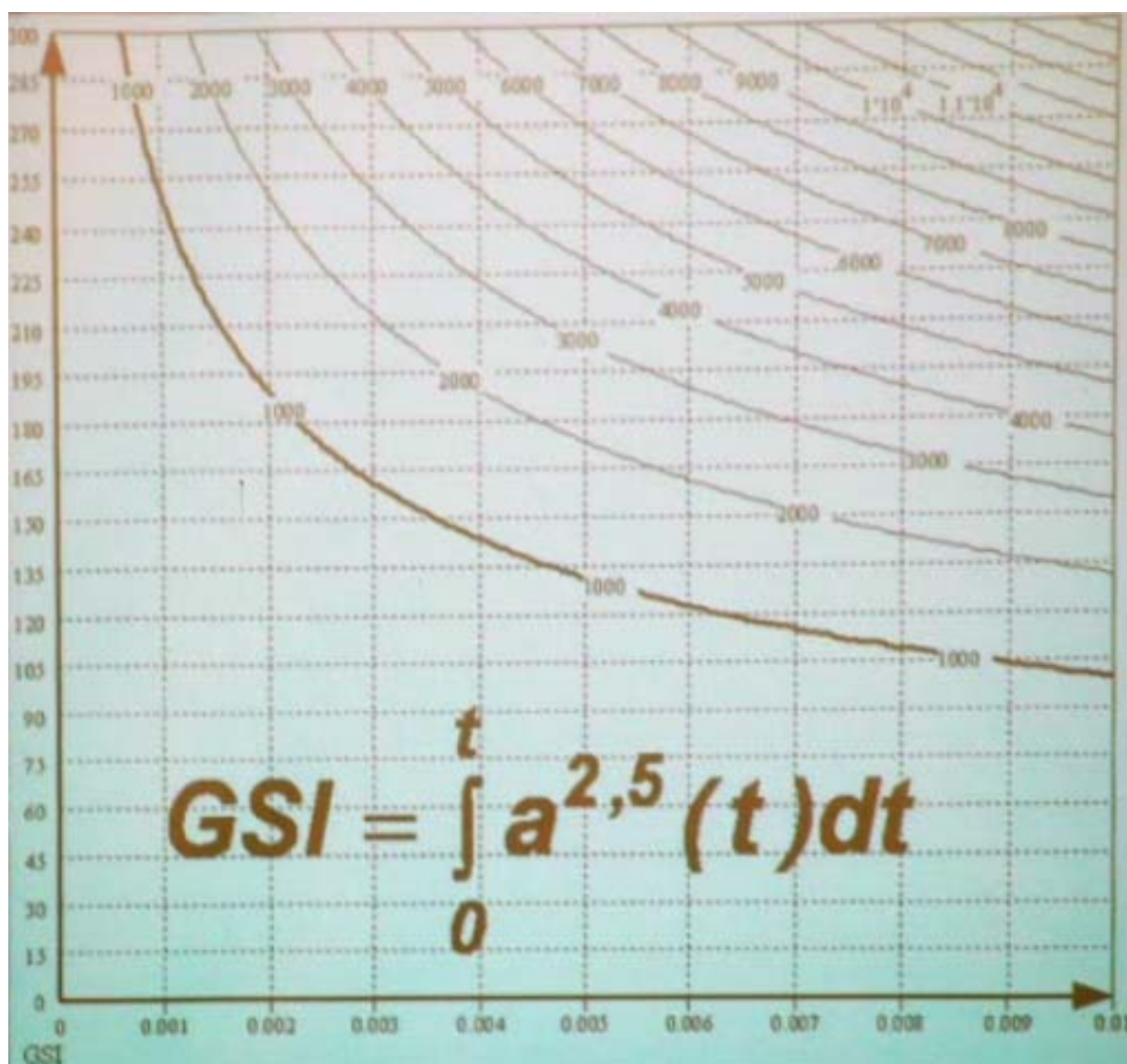


5.1.2 Kritéria tolerance organismu na extrémní dynamické zatížení

Toleranci přežití popisuje mnoho parametrů a faktorů. Níže uvádím faktory podle důležitosti. Hodnoty jsou uvedeny pro úderné působení do hlavy, s impaktem (dobou tlumení) do 50 ms:

1. Index GSI (Gadd Severity Index)

Nejdůležitějším parametrem určující toleranci přežití je tzv. Gadd Severity Index GSI. Je to integrální rovnice pro deceleraci (zpoždění) hlavy v intervalu destrukce (0,t) v impaktu. Decelerace musí být vyjádřena v násobcích g.



(s laskavým svolením převzato z přednášky prof. PhDr. Jiřího Strause, DrSc.)

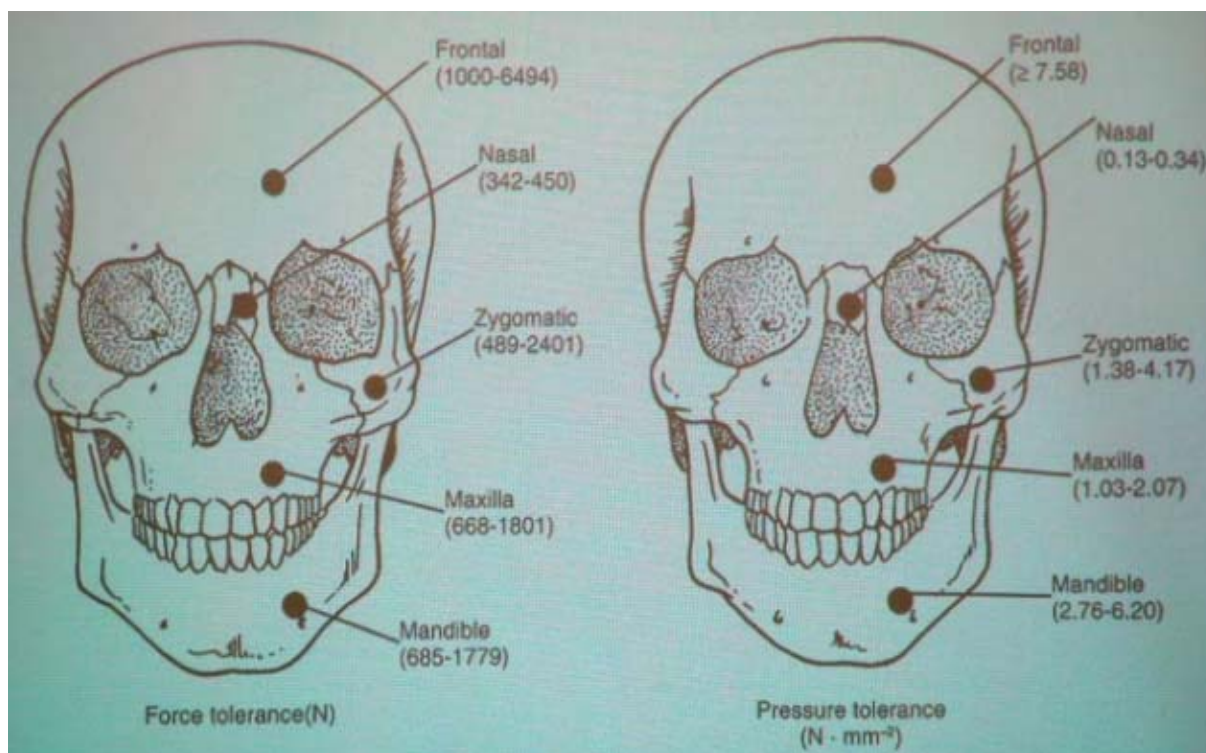
Kritická hranice tolerance je $GSI_{krit} = 1000$. Všechny hodnoty pod kritickou hranicí jsou přežitelné, hodnoty nad touto hranicí vedou k bezvědomí nebo ke smrti. Na ose x je vynesena doba impaktu (od 0 do 0,01s) a na ose y decelerace (záporné zrychlení) hlavy v násobcích g (od 0 do 300).

2. Nitrolební tlak

Mezi další parametry určující toleranci přežití patří nitrolební tlak. Kritická hodnota nitrolebního tlaku je $P_{krit} = 210$ kPa. Pod touto hranicí je člověk v bezpečí. Mezi hodnotou 210 kPa a 630 kPa se člověk dostává do bezvědomí. H nitrolebního tlaku vyšší jak 630 kPa jsou neslučitelné se životem.

3. Velikost destrukční síly

Velikost destrukční síly je 6-10 kN pro tloušťku lebeční kosti 0,42 – 0,66 cm. Na následujícím obrázku jsou uvedeny úderné síly a tlaková odolnost pro jednotlivé lebeční kosti.



(s laskavým svolením převzato z přednášky prof. PhDr. Jiřího Strause, DrSc.)

Při hodnotách 6 kN praskají lebeční kosti, při hodnotách nad 10 kN vznikají úlomky kostí.

Síla úderu člověka nezávisí na jeho hmotnosti ani výšce, ale zejména na jeho trénovanosti a stylu úderu.

Sportovci, trénující údery, jsou schopni vyvinout údernou sílu až 8 000 N a jejich dopadová rychlost přesahuje 10 m/s. Běžný, na údery netrénovaný člověk, se sportovní zkušeností dosahuje průměrně hodnot okolo 2 000 N - 2 500 N, tj. až 4x méně.

5.2 Úder do boxovacího pytle (návrh na projekt)

Otázky:

- Jakou rychlostí udeří člověk do boxovacího pytle?
- S jakým zrychlením se pytel pohybuje?
- Jak dlouho úder trvá? Jak dlouho trvá deformace tělesa?
- Jakou silou člověk udeří do pytle?
- Jakou energii člověk předá boxovacímu pytli?

(jakou silou se člověk udeří, jestliže ze stoje spadne hlavou na zem, když jede na kole, ...)

Co budete potřebovat:

- Vysokorychlostní kamera
- Program pro střih a konverzi videa (např. VirtualDub, Rad video Tools – freeware,)
- Program na zpracování (např. AviStep – freeware)
- Boxovací pytel, válec naplněný pískem, metr, pálka, ...
- Počítač

Jak můžete postupovat:

1. formulace problému

Sepište si otázky, které vás zajímají. Promyslete si, jaké veličiny budete chtít proměřit.

2. tvorba hypotéz

Pokuste se na internetu či v knihovně najít vše o dané problematice a zformulujte si na papír své hypotézy.

3. ověření hypotéz experimentem

- **Experiment:** Před samotným natáčením experimentu si připravte pomůcky. Zhotovte si měřítko, které by mělo být na každé video nahrávce. Nejlepší je měřítko ve tvaru L, abyste tak vyloučili zkreslení způsobené konverzí videa. Je důležité, aby bylo měřítko přísně v rovině jevu, který budeme natáčet. I malé posunutí mimo rovinu jevu nám dává nereálné hodnoty.

Vysokorychlostní kameru umístěte na stativ, abyste zamezili otřesům či jinému pohybu kamery a pomocí vodováhy nastavte osu kamery kolmo k rovině jevu.

Během natáčení kamerou nepohybujte, video by bylo nepoužitelné pro další zpracování. Doporučuji jevu natáčet venku za slunného počasí. V interiéru je třeba použít silný zdroj „neblíkajícího“ světla – např. halogenové.

Každý jev natočte hned několikrát, je důležité mít možnost výběru. Během natáčení neustále kontrolujte, zda jev po celou dobu probíhal v rovině.

- **Zpracování videa:** Pro střih a konverzi videa do požadovaného formátu doporučuji použít freeware programy: **RAD Video Tools** a **VirtualDub**
adresa: <http://www.slunecnice.cz/sw/rad-video-tools/>
adresa: <http://www.slunecnice.cz/sw/virtualdub/>

Pro další zpracování lze použít freeware fyzikální program AviStep, Viana, nebo WorldInMotion.

<http://kdf.mff.cuni.cz/~koupil/pocitace/software.php> (AviStep, Viana)

<http://www.physicscurriculum.com/world-in-motion.htm> (WorldInMotion)

Ke stažení je též dostupný český základní návod práce v programu AviStep:

http://www.sost.lit.cz/projekt_video/files/navod_avistep.pdf

Na následující stránce naleznete též velmi užitečné informace o zpracovávání video nahrávek:

http://kdf.mff.cuni.cz/~koupil/pocitace/videomereni_navod.php

4. vyvrácení či potvrzení hypotéz

Výsledky experimentů vám potvrdí či vyvrátí stanovené hypotézy. Potvrzení či vyvrácení vlastních domněnek má stejnou hodnotu, protože nejdůležitější je upřímně hledat pravdu.

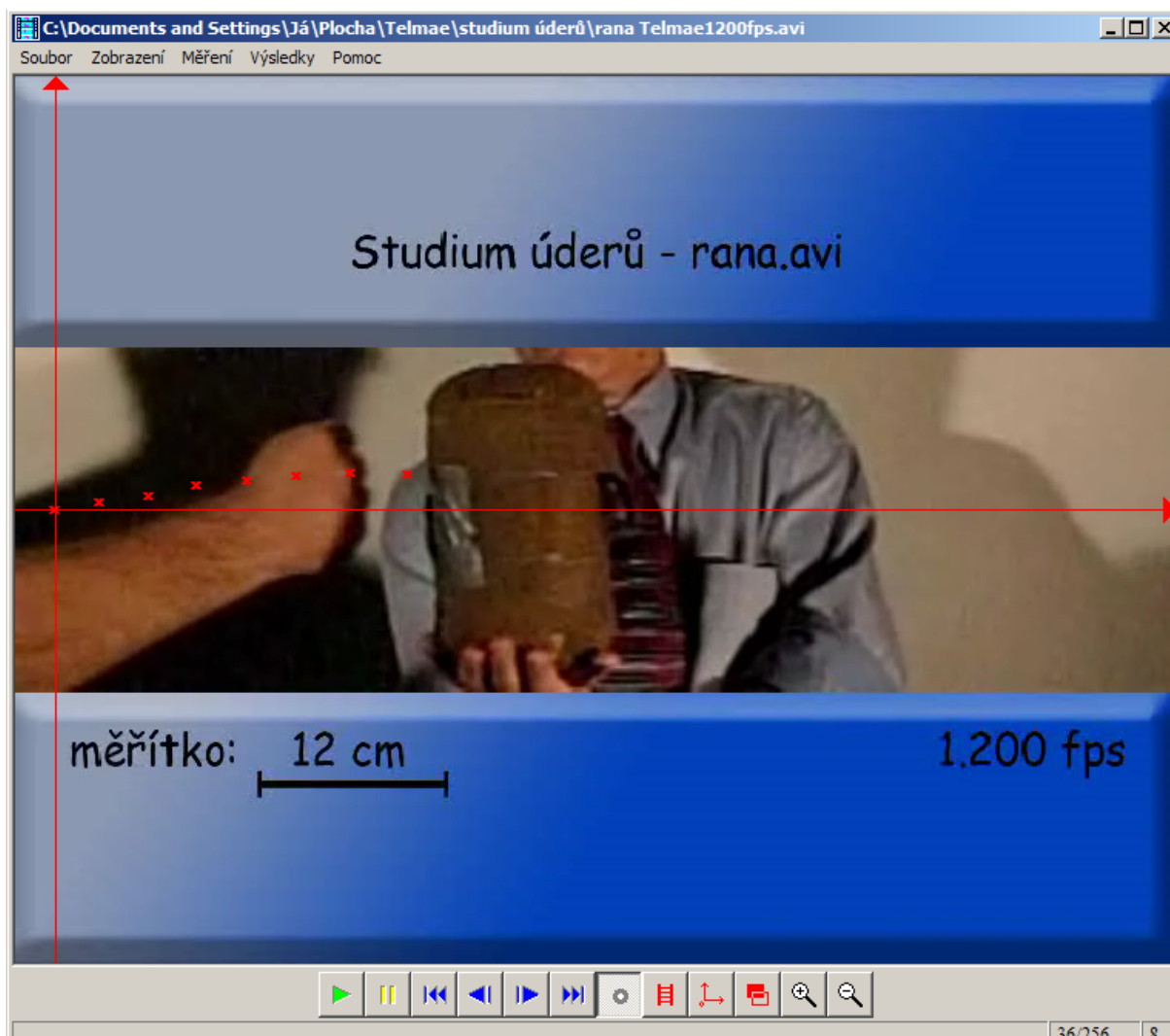
5. formulace závěrů (a námětů na další pokračování a ověřování)

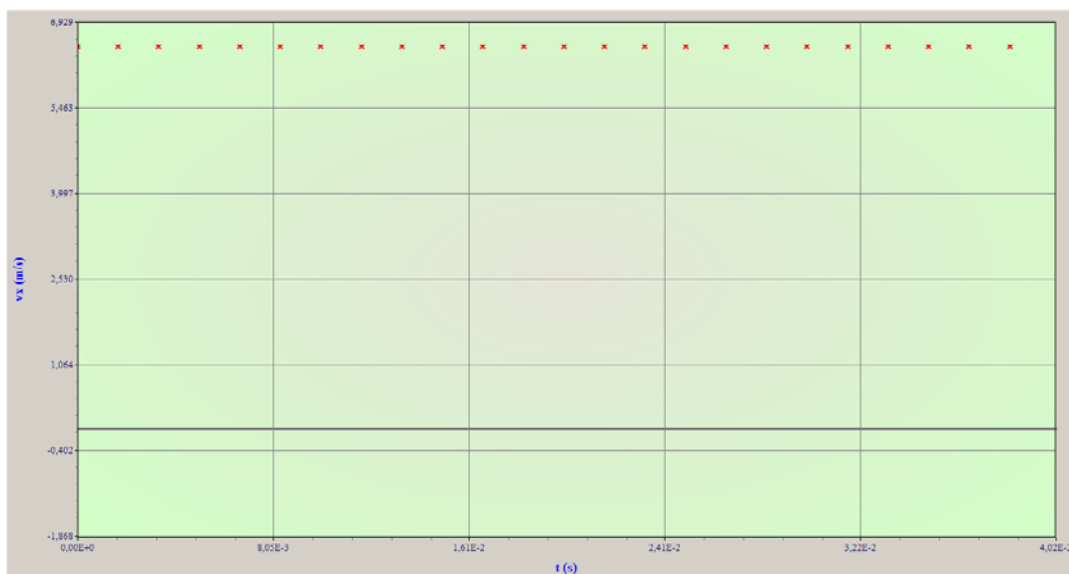
Podle vlastní zkušenosti v průběhu experimentu či zpracování vyvstávají nové nápady, otázky a další náměty. Již v průběhu práce si je pečlivě zaznamenávejte, mohou být dobrou inspirací do další výuky.

5.2.1 Ukázka pro inspiraci

Pomocí vysokorychlostní kamery jsem natočila úder ruky do 5 kg těžkého válce, vyrobeného z písku. Pomocí programu AviStep můžeme sledovat mnoho parametrů:

1. rychlost ruky před nárazem do válce

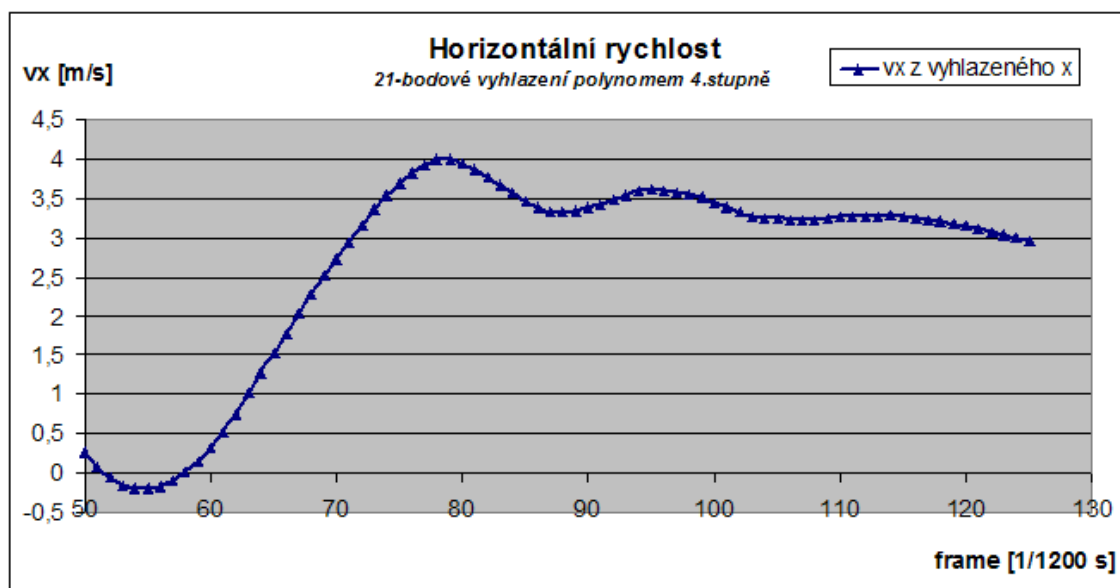


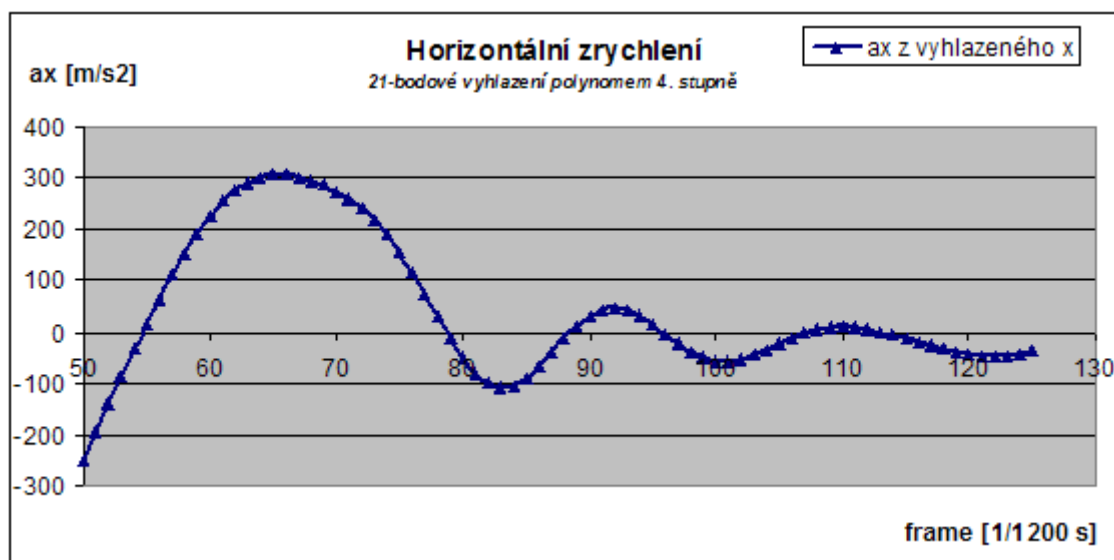


Program nám nejen odečte okamžitou polohu ruky, ale také vypočítá horizontální a vertikální složky rychlosti a zrychlení. Ruka před nárazem do překážky se pohybuje s konstantní horizontální rychlostí $v_x = 6,5 \text{ m/s}$. Vždy je třeba si uvědomit, že zaznamenáváním pohybu těžiště či nějakého bodu vnášíme nemalou chybu, proto je třeba výsledky vyhladit. Program AviStep nabízí (5, 7 bodové) vyhlazení polynomu nejvýše třetího stupně.

2. horizontální rychlost a zrychlení válce

Pro přesnější hodnoty můžeme použít vyhlazení, které jsou naprogramována pro Microsoft Excel – makro filtr Savitzky-Golay. Na následujících grafech vidíme průběh horizontální složky rychlosti a zrychlení.





Poučné je nejen sledovat maximální hodnotu, ale také celý průběh, počáteční a koncové hodnoty, které souvisejí s matematickým postupem zpracování dat.

Dále můžeme sledovat rotaci válce, dobu deformace, dobu dotyku ruky s válcem a tak vypočítat impuls síly,...

Po změření x-ové vzdálenosti dopadu válce od místa nárazu můžeme vypočítat celkovou energii předanou válci, ...

Pro snímání dat v AviStepu jsem používala upravenou nahrávku, s frekvencí 600 fps, se kterou se přesněji pracuje. Nahrávka 1200 fps je výborná pro přesnější určení doby deformace a styku ruky s válcem, pro odečítání jednotlivých poloh je už příliš podrobná a jejím použitím si zanášíme zbytečně velkou chybu.

Při vyhodnocování dat je velmi důležité zadat správný časový interval mezi 2 snímky.

6. STUDIUM PÁDŮ

Tento návrh na projekt si klade za cíl prostudovat kinematický popis pádů na nahrávkách pádů člověka do bazénu. Závěrem si ověříme, jak je to s odporem vzduchu při pádu člověka. Video nahrávky pádů do bazénu si lze stáhnout z portálu <http://telmae.cz/>.

6.1 Teorie biomechaniky pádu

Lidské tělo se při pádu chová jako otevřený kinematický řetězec řetězec (soustava kinematických dvojic, tj. dvojic těles spojených vazbou), pohyb těžiště těla je determinován v okamžiku odrazu. Uvažujeme-li pády z relativně malých výšek, pak se při pádu uplatňují jen ty síly, které byly přiloženy ke hmotné soustavě v okamžiku odpoutání od podložky. Odpor vzduchu je možné v těchto případech zanedbat. Experimentálně bylo zjištěno, že odpor vzduchu stabilizuje vertikální rychlost při pádech z výšky větší než 152 m.

Pro všechny následné úvahy předpokládejme následující mechanické podmínky:

1. Těžiště těla se při pádu pohybuje po parabole
2. Z polohy stoj do okamžiky ztráty kontaktu (horizontální poloha) se těžiště těla pohybuje po kružnici
3. Na tělo působí jen ty síly, které vznikly v okamžiku odrazu
4. Odporu vzduchu zanedbáme (pro pády do výšky 152 m)

Pro volný pád tuhého tělesa z výšky (y) platí vztah pro výpočet doby pádu (t):

$$y = \frac{1}{2}gt^2$$

doba pádu:

$$t = \sqrt{\frac{g}{2y}}$$

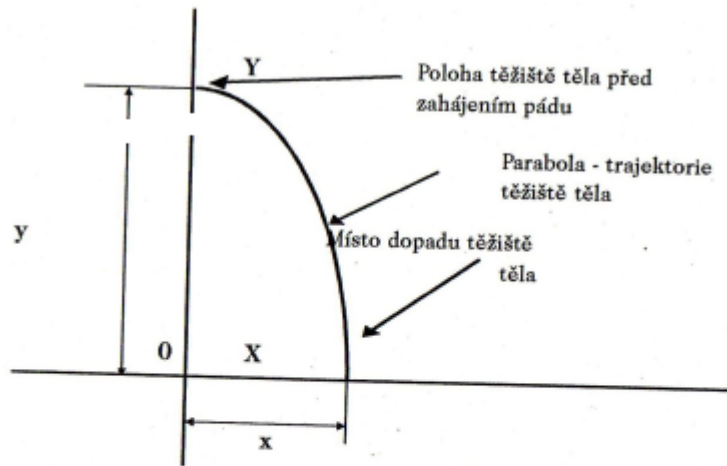
Dopřednou horizontální složku rychlosti (v) těžiště tělesa pak lze vyjádřit podle délky dopadu (x) jako

$$v = x \cdot \sqrt{\frac{g}{2y}}$$

Lidské tělo má ovšem odlišné mechanické vlastnosti než tuhé fyzikální těleso. Pro pád lidského těla budou sice platit obecné vlastnosti a fyzikální zákony, ale je třeba je mírně korigovat podle biologických vlastností lidského těla.

Analyzujeme-li podrobněji celou situaci pádu těla člověka z výšky, pak při přirozeném, nekoordinovaném pádu se tělo nejprve překlápí kolem osy vpřed a k vlastnímu pádu dochází až v okamžiku, kdy se přeruší kontakt chodidel a místem dopadu.

Tělo (a tedy i těžiště těla) opisuje v ideálním případě čtvrtkružnici a až se dostane délková osa těla do horizontální polohy, trajektorie těžiště těla se mění na parabolu.



Obr. 11.3. - Schéma trajektorie těžiště těla při pádu z výšky.

Y - místo polohy těžiště těla v okamžiku pádu.

X - místo dopadu těžiště těla.

$0Y = y$ - výška těžiště těla nad podložkou v okamžiku zahájení pádu.

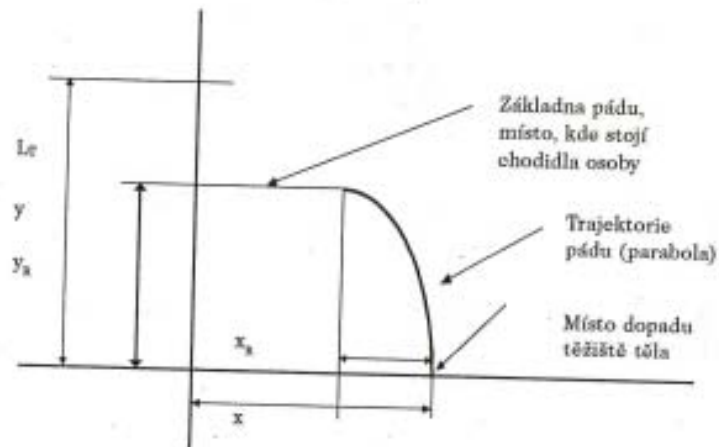
$0X = x$ - vzdálenost těžiště těla od svislice pádu v okamžiku dopadu těla.

(převzato z [11])

V okamžiku nástupu parabolického letu je těžiště těla vzdáleno od svislice pádu, zkráceno o vzdálenost těžiště těla od chodidel osoby (L_T). Označíme-li L jako tělesnou výšku osoby, L_T – je výška těžiště těla od chodidel, x – vzdálenost těžiště těla od dopadu od svislice pádu, y – výška těžiště těla stojící osoby ve stanovené výšce, pak fakticky lze říci, že redukovaná dráha těžiště těla (x_R) směrem vpřed je: $x_R = x - L_T$

analogicky je redukovaná i svislá výška (y_R) pro pohyb těžiště svisle dolů

$$y_R = y - L_T$$



Obr. 11.4. - Schématické znázornění trajektorie těžiště těla v případě redukovaného stavu

(převzato z [11])

6.2 Studium pádů

(pracovní list)

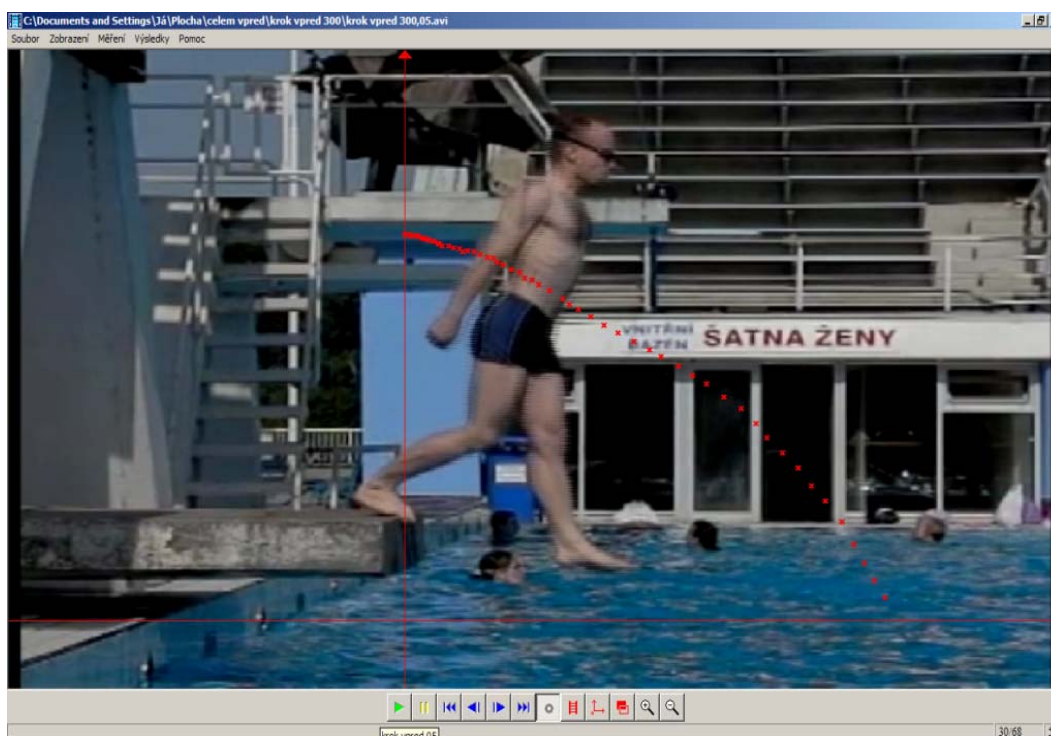
1. Sledujte trajektorii pohybu těžiště, hlavy, nohou a rukou při pádu.
2. Sledujte zpomalení při vstupu figuranta do vody.
3. Jak dlouho trvá pád figuranta do bazénu z 60 cm betonového stupínku?
4. Jaká je dopadová vzdálenost figuranta?
5. Porovnejte horizontální rychlosti těžiště figuranta v okamžiku přerušení kontaktu s podložkou u různých typů pádů.
6. Ověřte, jestli opravdu můžeme brát odpor vzduchu při pádu z výšek do 150ti metrů za zanedbatelný. Jaké síly působí na figuranta ve chvíli volného pádu do bazénu?

6.3 Pád do bazénu (příklad pro inspiraci)

V následující ukázce jsem zpracovávala video nahrávku pádu do bazénu – krok vpřed. Použila jsem software AviStep, který nám umožňuje nejen sledovat trajektorie např. hlavy, těžiště či rukou figuranta, ale zároveň nám vypočítá, s jakou okamžitou rychlostí a zrychlením se pozorované body pohybují.

Během zpracování je velmi důležité před zobrazením jednotlivých grafů nastavit vyhlazení dat, protože s nanášením poloh sledovaných bodů jsme zanesli šum do dat, který se výrazně projeví při výpočtu rychlosti a zrychlení, resp. 1. a 2. derivace.

Též je vždy třeba nastavit správný časový odstup mezi jednotlivými snímky, jinak získáme neprosto nesmyslné hodnoty.



Průběh pádu:

- 0 – 15 těžiště je nad pevnou podložkou
- 0 - 43 kontakt s podložkou
- 44 odlepení se od podložky a počátek vstupu do vody
- 53 voda po kolena
- 68 úplné ponoření do vody

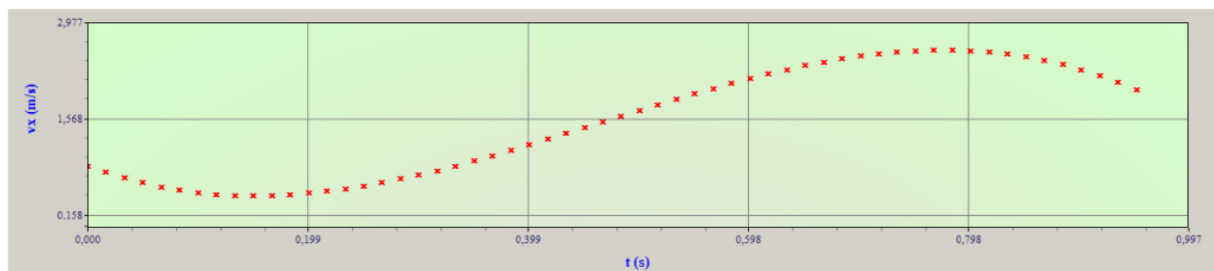
Průběh horizontální složky rychlosti:

Nevyhlazené hodnoty – program AviStep



Jestliže nejprve před počítáním derivace rychlosti zašuměná data nevyhladíme, šum se nám silně projeví při výpočtu první a ještě více druhé derivace.

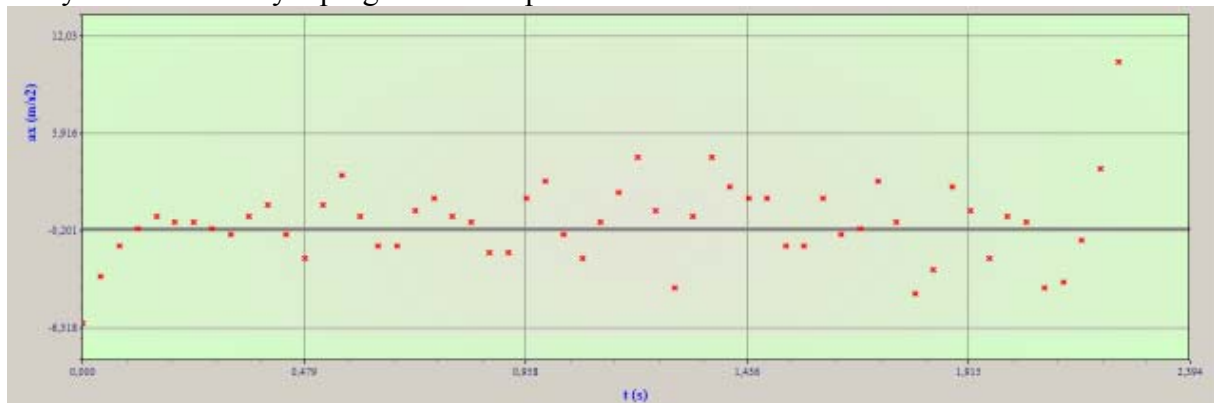
Vyhazení (5,7) bodové pomocí programu AviStep



Maximum horizontální rychlosti je okolo **43.-ho snímku** – tedy, kdy se cvičenec úplně odlepí od podložky. Maximální hodnota horizontální složky zrychlení $v_x = 2,66 \text{ m.s}^{-1}$.

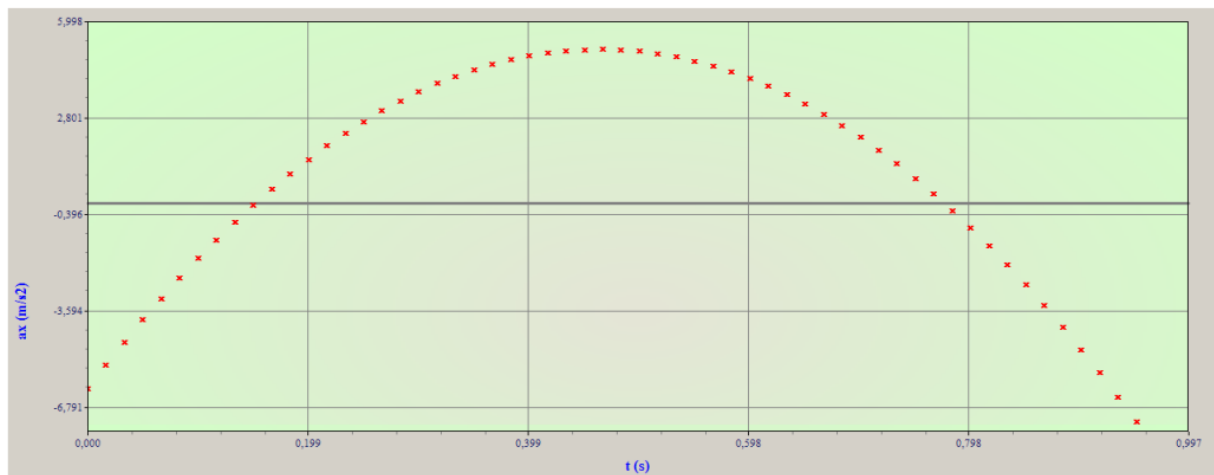
Průběh horizontální složky zrychlení:

Nevyhlazené hodnoty – program AviStep



Výpočet druhé derivace z nevyhlazených hodnot nám dává naprosto dále nepoužitelné hodnoty.

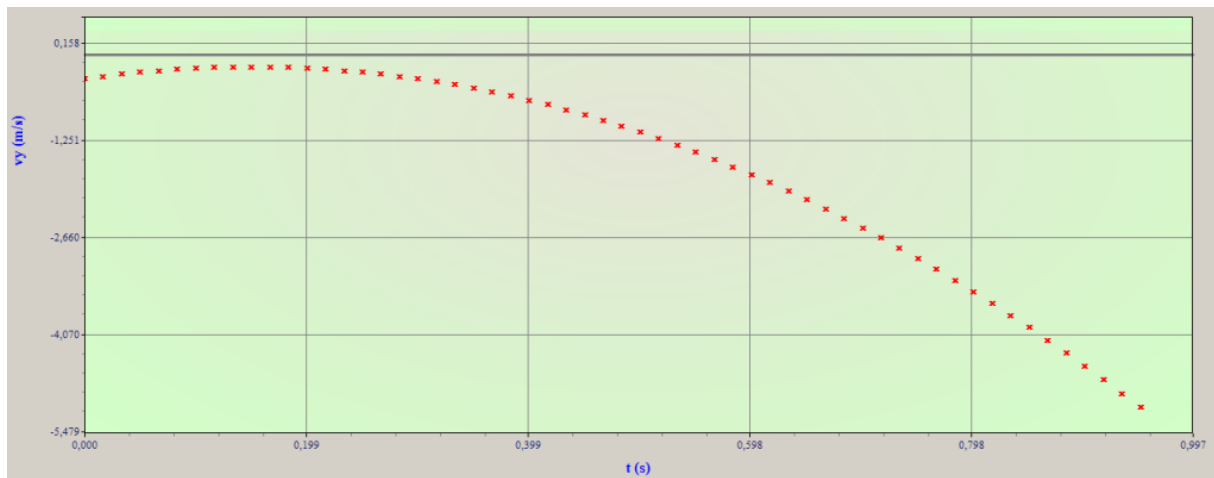
Vyhazení (5,7) bodové pomocí programu AviStep



Maximum zrychlení se nachází okolo snímku 35, kde cvičenec stojí jednou nohou na betonovém můstku, nohou se trochu odrazil.

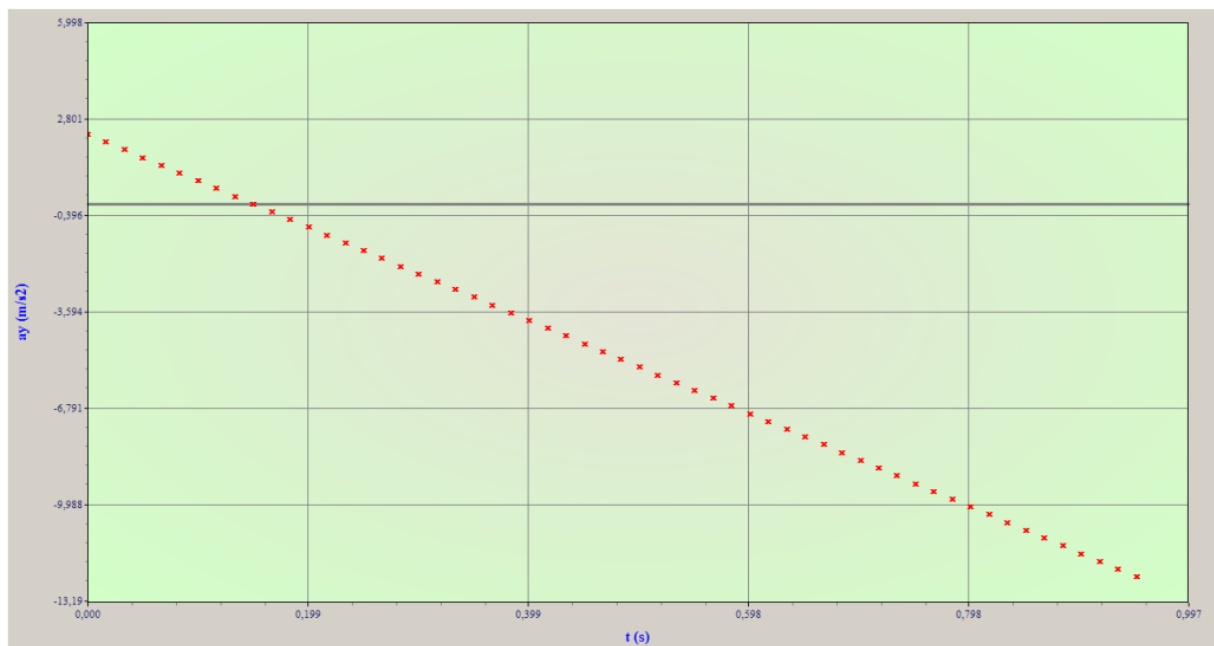
Průběh vertikální složky rychlosti:

Vyhlazení (5,7) bodové pomocí programu AviStep



Průběh vertikální složky zrychlení:

Vyhlazení (5,7) bodové pomocí programu AviStep



Grafy zaznamenávají průběh vertikálních a horizontálních složek rychlosti a zrychlení. Průběh grafů můžeme fyzikálně interpretovat a následně své názory srovnávat s průběhem pádu na video záznamu. Z grafů je patrné, že pohyb figuranta je složitější než pád míče, ...

6.4 Odpor vzduchu

V literatuře se dočítáme, že můžeme při pádu člověka z výšky zanedbat odpor vzduchu. Je tomu opravdu tak?

Během pádu na člověka působí tíhová síla F_G a odpor vzduchu F_o . Výslednice těchto sil je:

$$F = F_G - F_o$$

$$F = m \cdot g - \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot S \cdot v^2$$

m hmotnost

g ... tíhové zrychlení 8,91 m.s⁻²

C ... součinitel odporu

ρ ... hustota vzduchu (1,09 kg/m³ ve výšce 1200 m.n.m.)

S ... účinný průřez

v ... rychlost pádu

Součinitel odporu C si můžeme přibližně spočítat, jestliže známe mezní rychlost pro konkrétní polohu člověka při pádu a jeho účinný průřez.

Účinný průřez pro konkrétní polohu získáme obkreslením stínu ležícího figuranta vrhajícího od svislého zdroje světla (např. slunce v nadhlavníku).

poloha figuranta	mezní rychlost
horizontální - ležící na břichu	200 km/h
nohama napřed	230 km/h
hlavou napřed	300 km/h

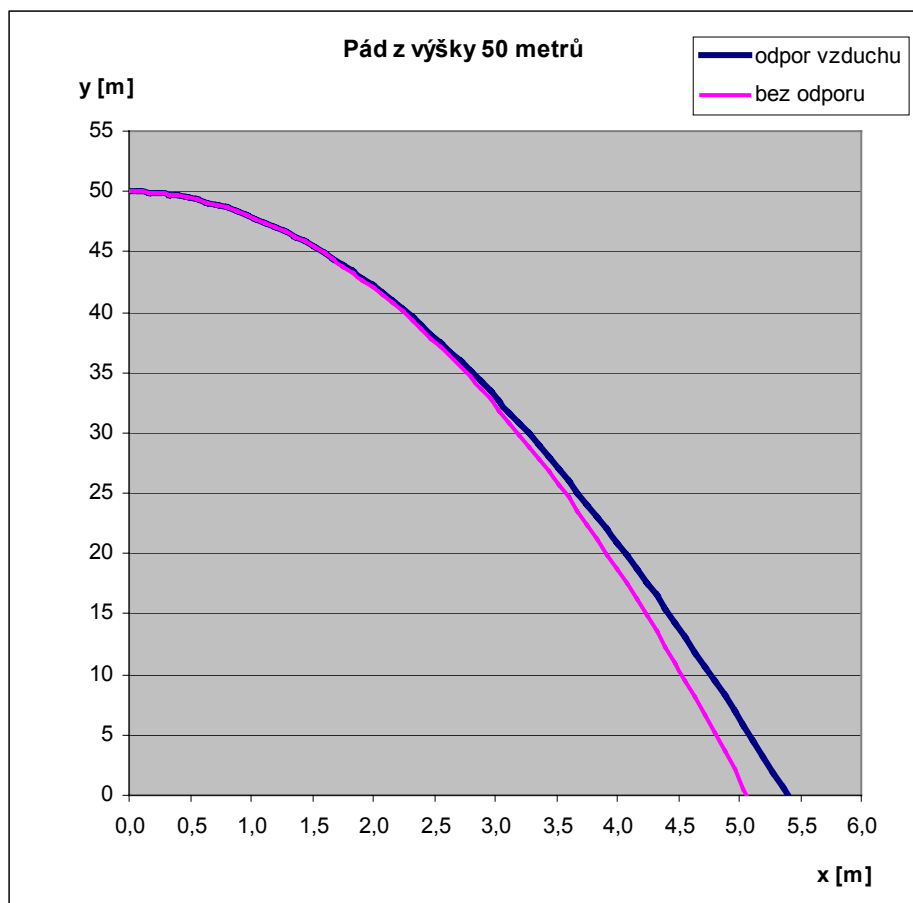
Během volného pádu vzrůstá odporová síla vzduchu, až vyrovná síly tíhovou a padající předmět se začne po nějaké době pohybovat pohybem rovnoměrným přímočarým. Jeho vertikální složka rychlosti se ustálí na tzv. mezní hodnotě:

$$F_G = F_o$$

$$m \cdot g = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot S \cdot v_{mezní}^2$$

pro součinitel odporu platí:

$$C = \frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho \cdot S \cdot v_{mezní}^2}$$



(výpočet x-ové souřadnice dopadu při pádu z výšky 50 metrů s počáteční horizontální rychlostí $v = 1,6$ m/s, účinným průřezem 1 m^2 a součinitelem odporu $C = 1$.
 (pozn. hodnoty jsem získala od sportovního parašutisty pana Ivo Krause,
<http://www.4000.cz/>, aktuální ke dni 6.8.2008)

Z grafu je patrné, že pro výšku 50 metrů můžeme odpor vzduchu zanedbat. V příloze v souboru *odpor_vzduchu.xls* lze jednoduše měnit vstupní parametry a tak lehce ověřit správnost tvrzení, že můžeme zanedbat odpor vzduchu do výšky cca 152 metrů.

7. FORENZNÍ BIOMECHANIKA PÁDŮ Z VÝŠKY



(převzato s laskavým svolením autora z www.jechy.cz)

V následující kapitole jsem připravila fyzikální detektivní hru, která může být pojata jako zábavná forma studia volného pádu.

7.1 Úvod do forenzní biomechaniky pádu z výšky

Velmi aktuální problematika forenzní biomechaniky je biomechanické řešení pádů, a to jak pádů z výšky, tak pádů osoby ze stoje na pevnou podložku.

Forenzní aplikace biomechaniky jsou **vždy záležitostí znaleckého zkoumání** a zřejmě nikdy nebudou záležitostí ryze praktického použití přímo na místě činu. Kriministický technik a vyšetřovatel nemusí zcela vyčerpávajícím způsobem znát všechny „vzorečky, grafy, výpočty“, je ale nutné, aby věděl, co vše je nutné na místě činu zajistit, změřit a přesně zdokumentovat a pak musí znát, kde nalezne adekvátní a relevantní odpověď z oboru forenzní biomechaniky. Je tedy nutné, aby:

- policejní komisař (vyšetřující) a kriministický technik znali možnosti a hranice forenzní biomechaniky, tedy věděli, co může biomechanika objasnit a znali na koho a s jakou otázkou se mohou obrátit.
- na místě činu bylo vše velmi podrobně zdokumentováno, zajištěny všechny stopy. Musí tedy vědět, které stopy, geometrické parametry místa činu a jak přesně je nutné je zdokumentovat.

Nezávisle na druhu pádu vznikají principiálně dva druhy poranění:

- primární (místní, kontaktní) – vzniká v místech bezprostředního kontaktu přiložených traumatizujících destruktivních sil v okamžiku dopadu na podložku, na kterou dopadlo.
- sekundární (vzdálené) – vznikají následně jako druhotná poranění vzdáleně od místa primárních poranění.

Při pádu těla ve vertikální poloze a dopadu na hlavu vzniká primární poranění na hlavě, velmi častá jsou při těchto pádech také poranění rukou. Tělo se obrací kolem hlavy a dopadá na přední, břišní část nebo na záda. Při překlolení těla vpřed vznikají jako sekundární poranění na kolenou, břicho a prstech nohou. Při dopadu na záda jsou sekundární poranění na krku, sedací části (kostrče) a na patách.

Při pádu těla ve vertikální poloze a dopadu na chodidla se nacházejí primární poranění v oblasti nohou, chodidel, sekundární poranění je opět závislé na dalším překlolení těla. Při překlolení těla vpřed jsou sekundární poranění na kolenou, loktech a břicho. Při překlolení těla vzad jsou sekundární poranění na sedací části těla, hrudníku a temenní části hlavy.

Při pádu s dopadem na kolena se primární poranění nacházejí na kolenou a přední části nohou.

Požadavky na dokumentaci místa nálezu těla:

Pro výpočet trajektorie těžiště je nezbytné získat následující informace:

1. Měření vzdálenosti dopadu těla od svislice pádu – nejkratší vzdálenost, nejdelší vzdálenost
2. Poloha těla při dopadu – skrčená, vzpřímená
3. Tělesná výška a hmotnost těla
4. Úhel délkové osy těla (osa trupu) k základně budovy
5. Posouzení druhu poranění a intenzity při primárním a sekundárním pádu, posoudí soudní lékař a popíše v pitevním protokolu.
6. Odlet oděvních součástí, především obuvi a pokrývky hlavy – zda při pádu odlétly boty, kde byly nalezeny, kde se našla např. čepice atd.
7. Výška předpokládaného pádu, tedy odkud oběť přibližně spadla, tj. například výška okna, parapetu atd.

Následující tabulka popisuje charakter skoku v závislosti horizontální složky rychlosti:

Charakter skoku	Horizontální složka rychlosti [m.s ⁻¹]
Odraz, aktivní skok	2,634
Spontánní pád	0,997
Strčení druhou osobou	1,438
Skok ze sedu	0,898
Krok vpřed - normální	0,649
Krok vpřed - maximální	1,041
Krok vzad – normální	0,598
Krok vzad - maximální	1,007
Pád vpřed ze dřepu s rotací na záda	1,304
Skok ze startovního bloku (výška 1 m)	3,032

(převzato z [9])

Výzkumem se potvrdil poznatek publikovaný v zahraniční literatuře, že největší horizontální složky rychlosti se dosáhne vždy aktivním odrazem

7.2 Herní návod pro učitele

Ráno byla u domu nalezena mrtvola. Je evidentní, že člověk vypadl z okna. Studenti mají za úkol odhalit pomocí svých fyzikálních schopností, zda se mohlo jednat o vraždu, sebevraždu či nešťastnou náhodu.

Studenty rozdělte cca do 3 skupin. Z každé skupiny vyberte právě jednoho studenta stranou a uložte jej k budově pod okno přesně podle přiloženého návodu. Vyberte si místnost, ze které fiktivně oběť „vypadla, vyskočila“ a připravte v okně kriminalistické stopy.

Asi týden dopředu před hraním hry rozdejte studentům teoretické základy na prostudování. (viz příloha: složka teorie)

Po přípravě všech indicií rozdejte studentům pracovní listy. Během měření dat a práci skupin hlídejte, aby spolu skupiny vzájemně nekomunikovaly.

Po podání žádosti předejte každé skupině pitevní protokol, který byl do té doby u vás.

Nestačí, aby studenti vytvořili vlastní teorii, co se mohlo stát. Je důležité, aby své poznatky experimentálně ověřili (tzn. jestlimají podezření, že oběť vyskočila, ať si vyzkouší na pískovišti, jestli jsou schopni za daných podmínek skočit tak daleko, ...)

Vytvořenou teorii bude následně každá skupina obhajovat před soudem. Oponenty jsou zbylé skupiny.

Pomůcky:

Pro učitele: bílý arch papíru, rozměrů 2xA0, červená tuž pro případné stopy, černá nebo bláto na vytvoření otisků na okenním parapetu

Pro studenty: metr, dlouhý provázek a zátež na výrobu olovnice, fotoaparát nebo mobil pro fotodokumentaci ohledaného místa, váha pro měření hmotnosti těla

7.3 Požadavky na dokumentaci místa nálezu (pracovní list pro studenty)

Brzké ráno zaznamenala městská policie telefonát vyděšené ženy, která při venčení svého pejska našla mrtvého muže.

Policie přijela ihned na místo i se záchranou službou, ale zjistili, že muži již nelze pomoci. Vypadá to, že muž vypadl z okna. Ležel v pyžamu před domem, okno do jeho pokoje bylo otevřené.

Protože jde o velmi významného člověka, policie prosí, abyste jí pomohli záhadu rozřešit. Jedná se o vraždu či sebevraždu? Co se mohlo stát???

I. část – ohledání místa pádu

1. Změřte vzdálenost dopadu těla od svislice pádu – nejkratší vzdálenost a nejdelší vzdálenost
2. Popište polohu těla při dopadu – skrčená, vzpřímená
3. Úhel délkové osy těla (osa trupu) k základně budovy
4. Všechny údaje přesně zakreslete do obrázku
5. Proveďte fotodokumentaci ohledaného místa
6. Určete tělesnou výšku a hmotnost těla
7. Změřte výšku předpokládaného pádu, tedy odkud oběť přibližně spadla - výška okna, parapetu atd.
8. Zadokumentujte a změřte přesně pozici oděvních součástí, které odletěly (obuv, pokrývka hlavy)
9. Ohledejte místo, ze kterého oběť nejspíše vypadla. Popište rozmístění nábytku, zajistěte všechny stopy a proveďte jejich fotodokumentaci.

II. část – rekonstrukce pádu

1. Podejte žádost soudnímu lékaři o posouzení druhu poranění a intenzity při primárním a sekundárním pádu
2. Rozhodněte podle změřených hodnot a posudku od lékaře, jakým způsobem se oběť pohybovala
 1. Určete horizontální rychlost v_H oběti na počátku trajektorie letu.
 2. Podle tabulkových hodnot rozhodněte, zda by byla schopna oběť vyvinout bez vnější pomoci danou počáteční rychlost.
 3. Ověřte výsledek experimentálním měřením. (ne však skokem z okna!!!)

III. část – soud

1. Vytvořte prezentaci rekonstrukce pádu pro soud

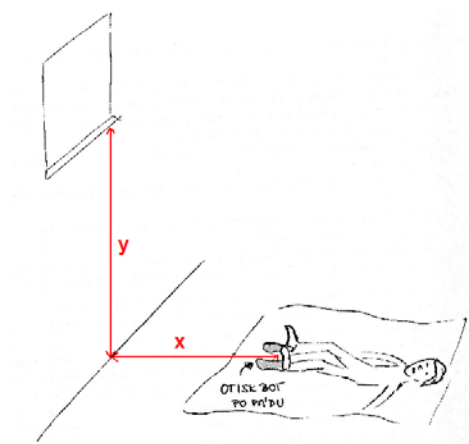
7.4 Popis uložení stop (pro učitele)

1. Popis uložení těla

Studenta položte na bílý arch papíru kolmo k domu, tak aby byly nohy k domu blíže než hlava (viz. obrázek). Na papír otiskněte stopu obuvi – místo prvního dotyku s podložkou padající oběti. Tělo položte na záda s mírně pokrčenýma nohama ve vzdálenosti:

$$x = 1,6 \cdot \sqrt{\frac{2(y + L_T)}{g}}$$

x ... vzdálenost otisknuté stopy obuvi od paty domu
y ... výška okenního parametru na zemi
L_T ... výška těžiště oběti (0,6 . celková výška)



Pro tento případ využijte okno cca 3. nebo 4. patra budovy – ve výšce okolo 13ti metrů.

2. Popis stop na okenním parapetu

Muž slyšel zvuky na schodišti a snažil se ukrýt. Vlezl do okna, ze kterého se chtěl dostat na střechu. V okamžiku, kdy stál v okně čelem do pokoje, vstoupili do místnosti dva pachatelé, kteří do oběti strčili v oblasti těžiště – pupku oběti.

Muž stál bosý na okenním parapetu špičkama do místnosti a držel se okenního rámu s prsty dovnitř místnosti. Otisky bosých nohou namalujte např. fixem a otisky na okenním rámu proveďte např. s rukou zamazanou od hlíny.

(pozn. tento popis neukazovat studentům)

7.5 Pitevní protokol (pro studenty)

Pitevní protokol č. 137/2008

Jméno: Otokar Bělavý
RČ: -----

Stav: rozvedený
Bytem: Lichkov 159

Zaměstnání: topič
Datum a hodina smrti: 7.6.2005, 5:35 hodin

Pitvu provedl: MUDr. Tichý
MUDr. Skořepová

Místo pitvy: Klatovy

Diagnóza klinická
Ohledal: Otáhal

Pitvu nařídil: Policie České republiky
Oddělení obecné kriminality

Posudek

1. **Proveďte vnější a vnitřní prohlídku těla** – během prohlídky těla byla shledána tato zranění:
 - Tříštivá kompresní zlomenina obou patních kostí
 - Tříštivá zlomenina kostí bérceových pravé i levé nohy
 - Tříštivá zlomenina kostrče
 - Mnohočetné zlomeniny žeber
 - Rozsáhlý krevní výron 105x75 mm v břišní oblasti 20 mm nad pupkem
 - Pohmoždění spodiny lebeční, ruptura kosti lebeční
1. **Jaký byl mechanismus vzniku poranění a stanovte pořadí vzniku** - zranění vznikla prudkým nárazem mohutnou silou do dolních končetin, těla a hlavy postiženého působící převážně ve směru zdola nahoru. Veškerá zjištěná zranění jsou takového charakteru, že je lze vysvětlit pádem na tvrdou podložku. Při zevní prohlídce a pitvě byl nalezen krevní výron v dutině břišní, který odpovídá silnému úderu do této oblasti.
2. **Stanovit bezprostřední příčinu smrti** - bezprostřední příčinou smrti postiženého bylo utržení srdečního svalu a jater.
1. **Zda se v krvi nalezeného nachází stopy alkoholu nebo jiných omamných a psychotropních látek** - v krvi nebyla prokázána přítomnost alkoholu či jiných omamných a psychotropních látek.

Nález zolpidemu v krvi a žaludečním obsahu svědčí pro to, že si podezřelý před smrtí aplikoval léčivo obsahující zolpidem – v množství odpovídající terapeutickým dávkám – např. Hypnogen, Stilnox. Jedná se o hypnotika, tj. léky podávané u poruch spánku.

Toxikologickým vyšetřením nebyly nalezeny žádné toxikologicky významné látky, vyjma výše uvedené, které by mohly samy o sobě vést ke smrti, spolupodílet se na smrti nebo významně ovlivnit stav jeho vědomí a vnímání krátce před smrtí.

8. FYZIKA V SILNIČNÍ DOPRAVĚ

Pro tuto kapitolu jsem vytvořila úvodní teoretickou hodinu a několik pracovních listů, ve kterých bylo mým hlavním cílem ukázat studentům jednoduchou aplikaci převážně rovnoměrně zpomaleného pohybu v praxi.

Otázky a pracovní úkoly jsem volila obzvláště pečlivě. Zpracovaná témata, zejména téma pracovního listu **Zvýšení maximální rychlosti na dálnici ze 130 km/h na 160 km/h** je dnes velmi aktuální a živě diskutované širokou veřejností.

Po projití těmito pracovními listy by měli mít studenti přesnější představu o některých fyzikálních zákonitostech na silnici. Rozhodně jim to pomůže si vytvořit hlubší představu a objektivnější názor na uvedenou problematiku.

Se zdokonalováním jízdních vlastností aut má řidič často pocit dokonalé ochrany a nesmrtnosti. Tento pocit je však velmi mylný a nebezpečný a mou snahou bylo poukázat na skutečnost, která je pro mnohé přinejmenším překvapivá.

Věřím, že se tyto pracovní listy stanou nejen dobrou pomůckou pro učitele fyziky rovnoměrně zpomaleného pohybu, ale také účinným výchovným prostředkem budoucích řidičů a řidiček motorových vozidel.

Hodnoty, které uvádím v pracovních listech, se přibližují reálným hodnotám reálných aut a řidičů.



8.1 Fyzika v silniční dopravě (příprava na hodinu)

Pomůcky: počítač, data projektor

Cíl: vysvětlení pojmů

- reakční doba
- brzdění vozidla
- součinitel adheze
- poranění chodce při srážce s automobilem

Pomůcky pro žáky: tužka, papír, guma, silniční kolo (horské, trekové, silniční)

Pomůcky pro vyučujícího: počítač, data projektor

Přiložené soubory: obrázky a grafy

Reakční doba

Reakční dobou ze soudně inženýrského hlediska nazýváme čas **od vjemu do uvedení (zabezpečovacího) zařízení v činnost naučeným způsobem.**

Reakční dobu subsystému řidič + vozidlo můžeme rozčlenit do několika fází:

Hranice časového úseku		Název časového úseku	
1	Počátek optického vnímání nebezpečného objektu	Optická reakce	Reakční doba řidiče
2	Počátek ostrého optického vnímání objektu	Psychická reakce	
3	Začátek svalové reakce	Svalová reakce	
4	Dotyk brzdového pedálu	Prodleva brzd	Odezva vozidla
5	První dotyk třecích ploch brzd	Náběh brzd	
6	Začátek zanechávání stop pneumatik na vozovce		

(převzato z [6])

Délka reakční doby je různá i u jednoho a téhož člověka. Mění se např. v závislosti na jeho **únavě, připravenosti** k určité činnosti a **možnosti předvídání** určité situace. Mění se také v závislosti **na denní době**. Svůj vliv má také **četnost úkonů** v určité době; při monotónní činnosti se reakční doba prodlužuje. Podstatně se také mění reakční doba při snížené viditelnosti v závislosti na kontrastu objektu.

Významný vliv na délku reakční doby (a také na správnost rozhodování) má též **koncentrace alkoholu v krvi**, příp. **požití některých léků nebo jiných drog**. Nejnebezpečnější je hodnota nad 1‰, která vede často k nekritickému sebevědomí při snížené reakční schopnosti.

Velmi zrádné je také telefonování za jízdy. Reakční schopnost během telefonování je přirovnávána k člověku s 0,8‰ alkoholu v krvi.

V následující tabulce je uveden přehled délky jednotlivých úseků reakční doby a odezvy vozidla při nouzovém brzdění osobního automobilu.

	Doba trvání (sekund)		
	Spodní mez	Průměr	Horní mez
Optická reakce (varianty)			
- řidič předem přímo pozoruje kritický objekt a)	0,00	0,00	0,00
- řidič sledoval jiný objekt b)	0,32	0,48	0,55
- v rozsahu do 5° c)	0,41	0,61	0,70
Psychická reakce (rozhodování)	0,22	0,45	0,58
Svalová reakce (přesun nohy z pedálu na pedál)	0,15	0,19	0,21
Odezva vozidla			
- prodleva brzd (od dotyku pedálu po první dotyk třecích ploch brzd)	0,03	0,05	0,06
- náběh brzdného účinku (od prvního dotyku třecích ploch brzd po začátek zanechávání stop pneumatik na vozovce)	0,07	0,15	0,49
Odezva celkem	0,10	0,20	0,55
CELKEM varianta a) (přímý pohled)	0,47	0,84	1,34
b) (do 5°)	0,79	1,32	1,89
c) (nad 5°)	0,88	1,45	2,04

(převzato z [6])

Ve svých pracovních listech jsem použila průměrnou hodnotu reakční doby, která je udávána pro soustředěného odpočínutého řidiče $t = 1 \text{ s}$, který zpozoroval nebezpečnou situaci v zorném úhlu do 5°.

Reakční doba indisponovaného řidiče (únavou, nemocí, požitím alkoholu, používáním telefonu) je **1,6 s** a více.

Informace jsem čerpala z literatury [6] a [7].

Brzdění vozidla

Brzdění vozidla je matematicky a fyzikálně velmi složité a přesahuje rámec středoškolské fyziky. Rozhodla jsem se model brzdění vozidla maximálně zjednodušit. Mým cílem bylo najít reálné hodnoty zpomalení, které bych mohla použít v navrhovaných příkladech.

Síla tření je za pohybu přímočarého po rovině v rovnováze se silou setrvačnou F_s . Z podmínky rovnováhy sil ve směru rovnoběžném s vozovkou platí:

$$F_t = F_s$$

$$m \cdot g \cdot \mu = m \cdot a$$

a z toho vyplývá velmi důležité omezení maximálně dosažitelného zrychlení resp. zpomalení na vodorovné vozovce:

$$a \leq g \cdot \mu$$

kde μ ... součinitel adheze

g ... tíhové zrychlení

a ... zpomalení

Teoreticky maximální zpomalení závisí na součiniteli adheze μ . Okamžitá velikost součinitele adheze μ závisí na mnoha faktorech:

- jakosti a stavu povrchu vozovky
- jakosti a stavu povrchu pneumatiky
- rychlosti jízdy
- poměrech ve stopě kola, především na velikosti skluzu.

Následující tabulka udává hodnoty součinitele adheze na různém povrchu (viz [6]):

Povrch vozovky	Součinitel adheze μ
Beton - suchý	0,8 – 1,0
- mokrý	0,5 – 0,8
Asfalt - suchý	0,6 – 0,9
- mokrý	0,3 – 0,8
Dlažba - suchá	0,6 – 0,9
- mokrá	0,3 – 0,5
Polní cesta - suchá	0,4 – 0,6
- mokrá	0,3 – 0,4
Tráva - suchá	0,4 – 0,6
- mokrá	0,2 – 0,5
Hluboký písek,	0,2 – 0,4
sníh, náledí 0°C	0,05 – 0,10
-10°C	0,08 – 0,15
-20°C	0,15 – 0,20

(převzato z [6])

Na základě uvedené tabulky a porovnáním výsledků testů různých typů aut jsem dospěla k následujícím hodnotám pro maximální zpomalení:

- na suché asfaltové silnici $a = 9 \text{ m.s}^{-2}$
- na mokré asfaltové silnici $a = 5 \text{ m.s}^{-2}$

Parametry jako stáří vozidla, opotřebenost pneumatik, nečistota na silnici, ... významně hodnoty zpomalení zmenšují.

Pro jednoduchost považuji brzdění za rovnoměrně zpomalený přímočarý pohyb. Pohyb prudce brzděného auta zdaleka není ani rovnoměrný ani přímočarý. Pro naše školní potřeby je toto zjednodušení přípustné a výsledné hodnoty takto zjednodušeného modelu nejsou příliš daleko od hodnot reálných.

Poznámka:

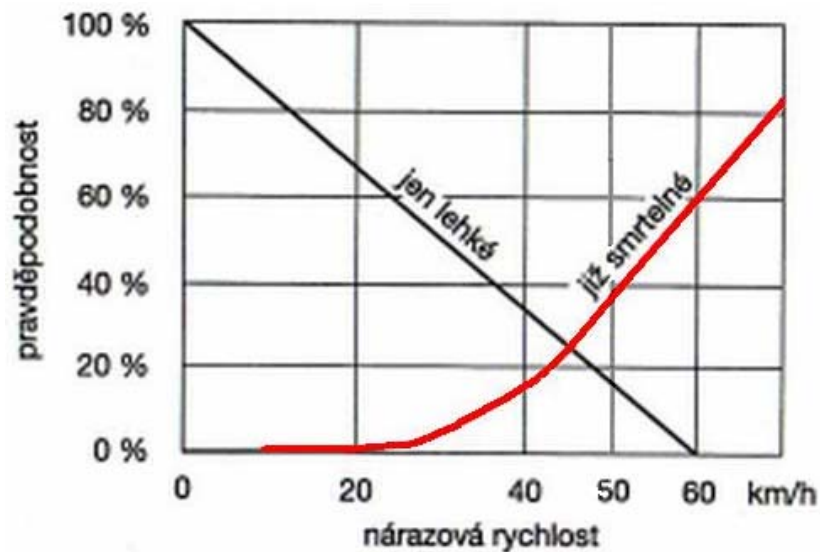
Pro lepší pochopení slova adheze doporučuji vyzkoušet jízdní vlastnosti různých typů kol (horské, trekové, silniční) na různých typech povrchů (asfalt – suchý, mokrý, beton, písek, trávník, ...)

Pravděpodobnost vzniku poranění chodce při srážce s osobním autem

Graf závislosti pravděpodobnosti vzniku poranění chodce při různých nárazových rychlostech srážejícího osobního auta jsem získala z [8].

Lehké úrazy (černá křivka) se stávají pouze u srážek s autem jedoucím maximální rychlostí 60 km/h. Smrtelné srážky chodce s osobním autem (červená křivka) jsou již od cca 30 km/h rychlosti srážejícího auta.

Pro mě byla velmi překvapující skutečnost, s jakou rychlostí se zvyšuje pravděpodobnost smrtelného poranění v závislosti na rychlosti srážejícího auta. Rozdíl mezi rychlostmi 50 km/h a 70 km/h řidič v autě skoro nerozpozná, za to pro chodce je tento rozdíl velmi zásadní. Pravděpodobnost smrtelného poranění se zvýší až o 40 %.



Pravděpodobnost vzniku poranění chodce při různých nárazových rychlostech srážejícího osobního auta

(převzato z [8])

8.2 Snížení maximální rychlosti v obci ze $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Téma hodiny: Rovnoměrně zpomalený přímočarý pohyb
(pracovní list)

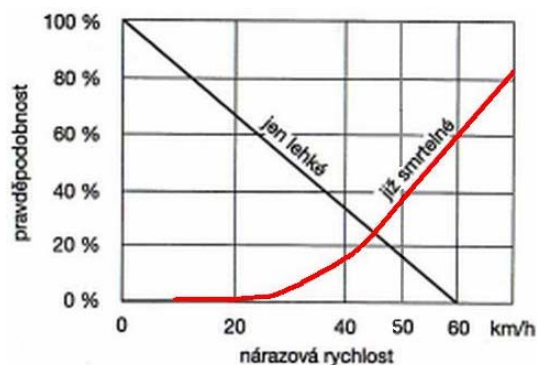
V roce 2000 bylo zákonem o provozu na pozemních komunikacích (zákon o silničním provozu) ustanoveno snížení maximální rychlosti v obci z původních $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na stávajících $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Má to smysl?

Odhad:

1. Odhadněte brzdnu dráhu auta jedoucího po suché silnici rychlostí $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
2. Dvě auta začnou brzdit ve stejné vzdálenosti od přechodu. První auto jedoucí rychlostí $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ stačí úplně zabrzdit před přechodem. Odhadněte o kolik metrů dál zastaví druhé auto, jestliže jelo rychlostí $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
3. Co myslíte, v jaké rychlosti vjelo druhé auto na přechod pro chodce?

Výpočet:

1. Vypočítejte dráhu potřebnou k zastavení auta jedoucího rychlostí $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ po suché silnici. Celková reakční doba člověka a auta je průměrně 1s. Uvažujme rovnoměrné zpomalený pohyb brzdícího auta s průměrnou hodnotou zpomalení $a = 9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ na suché silnici.
2. Dvě auta začnou brzdit ve stejné vzdálenosti od přechodu (vzdálenost počítáme od kapoty auta). První auto jedoucí rychlostí $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ plně zabrzdí před přechodem. Určete o kolik metrů dál zastaví druhé auto, jestliže jelo rychlostí $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$?
3. V jaké vzdálenosti bude záď tohoto auta po úplném zastavení vzhledem ke konci přechodu? Šířka přechodu je 3 m, průměrná délka auta jsou 4m. Pro lepší představu si nakreslete obrázek.
4. Vypočítejte v jaké rychlosti vjelo druhé auto na přechod pro chodce.
5. Vypočítejte v jaké rychlosti by vjelo auto na přechod pro chodce brzdící z rychlosti $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
6. Vypočítejte situaci všech tří aut pro mokrou silnici. Průměrné zpomalení auta na mokré silnici je $a = 5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
7. Následující graf zobrazuje pravděpodobnost vzniku poranění chodce při různých nárazových rychlostech srážejícího osobního auta. Určete o kolik % má podle statistiky chodec šanci na přežití, jestliže je sražen autem v rychlosti $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ nebo $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$? Jestliže auto začne brzdí z rychlosti, vstoupí na přechod v rychlosti přibližně $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Jakou má chodec šanci na přežití?



8.2.1 Snížení maximální rychlosti v obci ze 60 km.h⁻¹ na 50 km.h⁻¹
(příloha pro učitele)

Výsledky:

1. Celková brzdná dráha auta se skládá ze dvou fází. První fáze je reakční doba subsystému řidič-auto – v této fázi jede auto stále rovnoměrným přímočarým pohybem. Druhá fáze je samotné brzdění auta – auto se pohybuje rovnoměrně zpomaleným pohybem.

$$v_{50} = 50 \text{ km.h}^{-1} = 13,8 \text{ m.s}^{-1} \qquad a = 9 \text{ m.s}^{-1}$$

$$t_r = 1 \text{ s} \qquad s_{50} = ?$$

celková brzdná dráha: $s_{50} = v_{50} \cdot t_r + v_{50} \cdot t - \frac{1}{2} a \cdot t^2$ dosadíme brzdnu dobu: $t = \frac{v}{a}$

$$s_{50} = v_{50} \cdot t_r + \frac{v_{50}^2}{a} - \frac{1}{2} \frac{v_{50}^2}{a}$$

obecný vzorec pro celkovou brzdnu dráhu: $s_{50} = v_{50} \cdot t_r + \frac{v_{50}^2}{2a}$

Po dosazení hodnot ze zadání vyjde celková brzdná dráha auta na suché silnici a brzdícího z rychlosti 50 km.h⁻¹ přibližně **24,6 m**.

2. Určete o kolik metrů dál zastaví druhé auto?

$$v_{50} = 50 \text{ km.h}^{-1} = 13,9 \text{ m.s}^{-1} \qquad a = 9 \text{ m.s}^{-1}$$

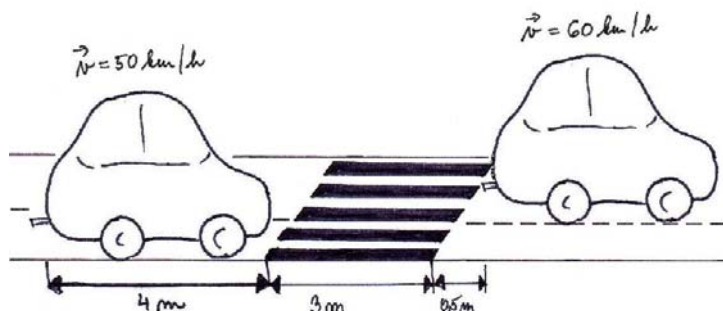
$$v_{60} = 60 \text{ km.h}^{-1} = 16,7 \text{ m.s}^{-1} \qquad s_{60} - s_{50} = ?$$

Z příkladu č. 1 známe obecný vzorec pro celkovou brzdnu dráhu, který dosadíme do hledaného vztahu a vztah algebraickými úpravami zjednodušíme:

$$s_{60} - s_{50} = v_{60} \cdot t_r + \frac{v_{60}^2}{2a} - v_{50} \cdot t_r + \frac{v_{50}^2}{2a} = (v_{60} - v_{50}) t_r + \frac{1}{2a} (v_{60}^2 - v_{50}^2) = 7,5 \text{ m}$$

Druhé auto zastavilo přibližně o **7,5** metru dál oproti autu prvnímu.

3. Zád' druhého auta bude vzdálena pouze **0,5** metru od konce přechodu.



4. Auto jedoucí rychlostí $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ začne brzdit pouhých $24,6\text{m}$ před přechodem (viz. výsledek z příkladu 1). Plných $16,6\text{m}$ spotřebuje na reakční dobu řidič a tak mu zbývá pouhých 8 metrů k samotnému brždění.

Dráha rovnoměrně zpomaleného pohybu je vyjádřena vztahem:

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

Z této kvadratické rovnice vypočítáme čas t , jestliže známe:

$$v_0 = 60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1} = 16,67 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}, \quad s = 8\text{m}, \quad a = 9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}.$$

Rovnice po dosazení konkrétních hodnot a malé úpravě má tvar:

$$9t^2 - 33,3t + 16 = 0$$

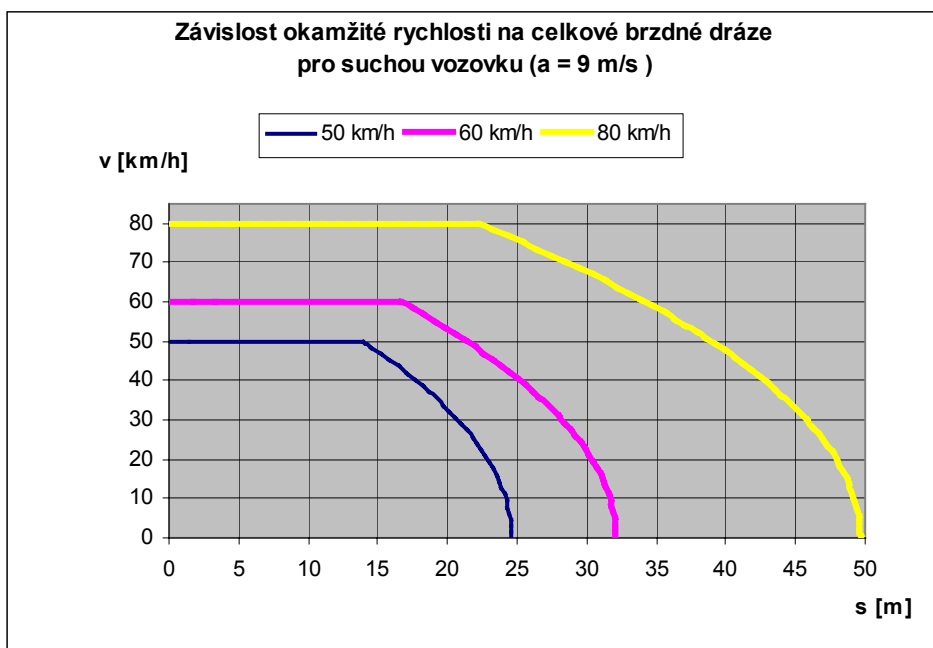
Kořeny této kvadratické rovnice jsou: $t_1 = 0,56 \text{ s}$ a $t_2 = 3,13 \text{ s}$. Druhý kořen nevyhovuje, protože celková doba potřebná pro úplné zastavení auta je pouhých $2,85 \text{ sekundy}$.

Okamžitou rychlost pak vypočteme ze vztahu: $v_{\text{okamž}} = v_0 - at$

Rychlost kterou vjede druhé auto na přechod pro chodce je $11,56 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, tj. $41,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$!

5. Využijeme stejných vztahů jako v příkladě číslo 4. Auto vjede na přechod pro chodce rychlostí $18,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, tj. $67,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

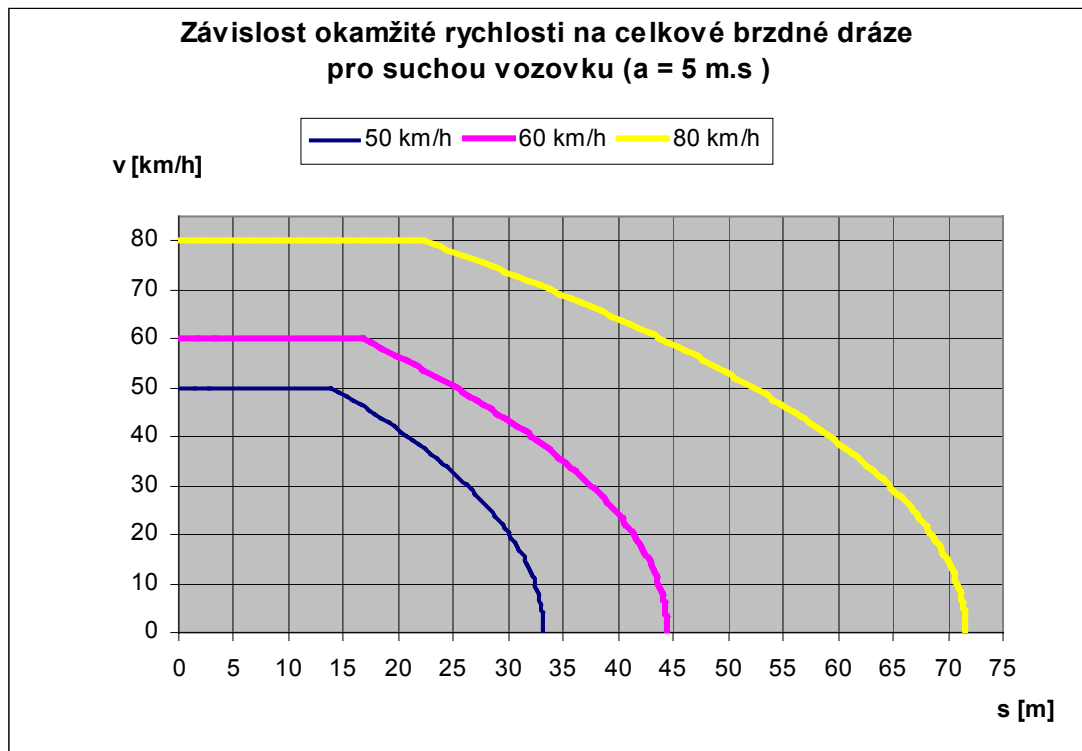
Pro lepší názornost můžeme porovnat brzdné dráhy v následujícím grafu:



Postupujeme stejně jako v předcházejících příkladech. Výsledky jsou vyneseny v tabulce:

Rychlost auta	50 km.h ⁻¹	60 km.h ⁻¹	80 km.h ⁻¹
Celková brzdná dráha	33,2 m	44,4 m	71,6 m
Rozdíl v brzdných drah vzhledem k prvnímu autu	0 m	11,2 m	38,4 m
Rychlost auta na přechodu	0 km.h ⁻¹	39 km.h ⁻¹	70,6 km.h ⁻¹

Pro lepší představu vyneseme závislost rychlosti na celkové brzdné dráze pro mokrou silnici do grafu:



6. Rozdíl mezi rychlostmi 50 km.h⁻¹ a 60 km.h⁻¹ činí přibližně **21%**.

Pozn.: jestliže hazardní řidič pojedou počáteční rychlostí 80 km.h⁻¹ a tak vjede na přechod rychlostí přibližně 70 km.h⁻¹, bude pravděpodobnost smrtelného zranění chodce větší jak **80%** a chodec má tedy pouhých **20%** na přežití.

8.3 Zvýšení maximální rychlosti na dálnici ze 130 km.h⁻¹ na 160 km.h⁻¹

Téma hodiny: Rovnoměrně zpomalený přímočarý pohyb
(pracovní list)

Ministerstvo dopravy uvažuje o zvýšení maximální rychlosti na dálnicích a to na **160 km.h⁻¹** ze stávajících **130 km.h⁻¹**. Jaké to může mít důsledky?

Odhad:

1. Odhadněte brzdnu dráhu auta jedoucího po suché silnici rychlostí **130 km.h⁻¹**.
2. Dvě auta začnou brzdit ve stejné vzdálenosti od překážky. První auto jedoucí rychlostí **130 km.h⁻¹** stačí úplně zabrzdit před překážkou. Odhadněte o kolik metrů dál zastaví druhé auto, jestliže jelo rychlostí **160 km.h⁻¹**.
3. Co myslíte, v jaké rychlosti vrazilo druhé auto do překážky?

Výpočet:

1. Vypočítejte dráhu potřebnou k zastavení auta jedoucího rychlostí **130 km.h⁻¹** po suché silnici. Celková reakční doba člověka a auta je průměrně 1s. Uvažujme rovnoměrně zpomalený pohyb brzdícího auta s průměrnou hodnotou zpomalení **$a = 9 \text{ m.s}^{-2}$** na suché silnici.
2. Dvě auta začnou brzdit ve stejné vzdálenosti od překážky. První auto jedoucí rychlostí **130 km.h⁻¹** stačí úplně zabrzdit před překážkou. Vypočítejte o kolik metrů dál zastaví druhé auto, jestliže jelo rychlostí **160 km.h⁻¹**.
3. Vypočítejte v jaké rychlosti by druhé auto vrazilo do překážky.
4. Auta jedoucí různými rychlostmi po mokré silnici začnou prudce brzdit v takové vzdálenosti od překážky, že před ní úplně zabrzdí pouze auto brzdící z rychlosti **130 km.h⁻¹**. Vypočítejte celkové brzdné dráhy, rozdíl brzdných drah a rychlost nárazu rychlejších aut do překážky. Uvažujte zpomalení auta na mokré silnici **$a = 5 \text{ m.s}^{-2}$** .

	130 km/h	140 km/h	150 km/h	160 km/h
s				
Δs	0			
Δv	0			

s ... celková brzdná dráha

Δs ... rozdíl brzdné dráhy vzhledem k brzdné dráze pro rychlost 130 km/h

Δv ... rychlost nárazu auta na překážku

5. Kolik řidič ušetří minut, jestliže pojedí různé trasy navrhovanou rychlostí **160 km/h** oproti stávající rychlosti **130 km/h**? Předpokládejme ideální případ, kdy auto pojedí nerušeně konstantní rychlostí na celé trase. Údaje vepište do tabulky v minutách.

Trasa	vzdálenost	ušetřené minuty
Praha – Brno	200 km	
Praha – Plzeň	70 km	
Praha – Ústí nad Labem	80 km	

8.3.1 Zvýšení maximální rychlosti na dálnici ze 130 km.h⁻¹ na 160 km.h⁻¹ (příloha pro učitele)

Výsledky:

1. Celková brzdná dráha auta se skládá ze dvou fází. První fáze je reakční doba subsystému řidič+auto. V této fázi jede auto stále rovnoměrným přímočarým pohybem. Druhá fáze je samotné brzdění auta. Auto se pohybuje rovnoměrně zpomaleným pohybem.

$$v_{130} = 130 \text{ km.h}^{-1} = 36,1 \text{ m.s}^{-1} \qquad a = 9 \text{ m.s}^{-2}$$
$$t_r = 1 \text{ s} \qquad s_{130} = ?$$

celková brzdná dráha: $s_{130} = v_{130} \cdot t_r + v_{130} \cdot t - \frac{1}{2} a t^2$ dosadíme brzdnu dobu: $t = \frac{v}{a}$

$$s_{130} = v_{130} \cdot t_r + \frac{v_{130}^2}{a} - \frac{1}{2} \frac{v_{130}^2}{a}$$

obecný vzorec pro celkovou brzdnu dráhu: $s_{130} = v_{130} \cdot t_r + \frac{v_{130}^2}{2a}$

Po dosazení hodnot ze zadání vyjde celková brzdná dráha auta jedoucího na suché silnici a brzdícího z rychlosti 130 km.h⁻¹ přibližně **108,6 m**.

2. Určete o kolik metrů dál zastaví druhé auto?

$$v_{130} = 130 \text{ km.h}^{-1} = 36,1 \text{ m.s}^{-1} \qquad a = 9 \text{ m.s}^{-2}$$
$$v_{160} = 160 \text{ km.h}^{-1} = 44,4 \text{ m.s}^{-1} \qquad s_{60} - s_{50} = ?$$

Z příkladu č. 1 známe obecný vzorec pro celkovou brzdnu dráhu, který dosadíme do hledaného vztahu a vztah algebraickými úpravami zjednodušíme:

$$s_{160} - s_{130} = v_{160} \cdot t_r + \frac{v_{160}^2}{2a} - v_{130} \cdot t_r + \frac{v_{130}^2}{2a} = (v_{160} - v_{130}) t_r + \frac{1}{2a} (v_{160}^2 - v_{130}^2) = 45,6 \text{ m}$$

Druhé auto zastavilo přibližně o **45,6** metru dál oproti autu prvnímu.

3. Auto jedoucí rychlostí 160 km.h⁻¹ začne brzdit 108,6m před překážkou (viz. výsledek z příkladu 1). Plných 36,1 m spotřebuje na reakční dobu řidič a tak mu zbývá 72,5 metru k samotnému brzdění.

Dráha rovnoměrně zpomaleného pohybu je vyjádřena vztahem:

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} a t^2$$

Z této kvadratické rovnice vypočítáme čas t, jestliže známe:

$$v_0 = 160 \text{ km.h}^{-1} = 44,4 \text{ m.s}^{-1}, \quad s = 72,5 \text{ m}, \quad a = 9 \text{ m.s}^{-2}.$$

Po dosažení konkrétních hodnot a malé úpravě má rovnice tvar:

$$9t^2 - 88,8t + 145 = 0$$

Kořeny této kvadratické rovnice jsou: $t_1 = 2,1 \text{ s}$ a $t_2 = 7,8 \text{ s}$. Druhý kořen nevyhovuje, protože celková doba potřebná pro úplné zastavení auta je pouhých 4,9 sekundy.

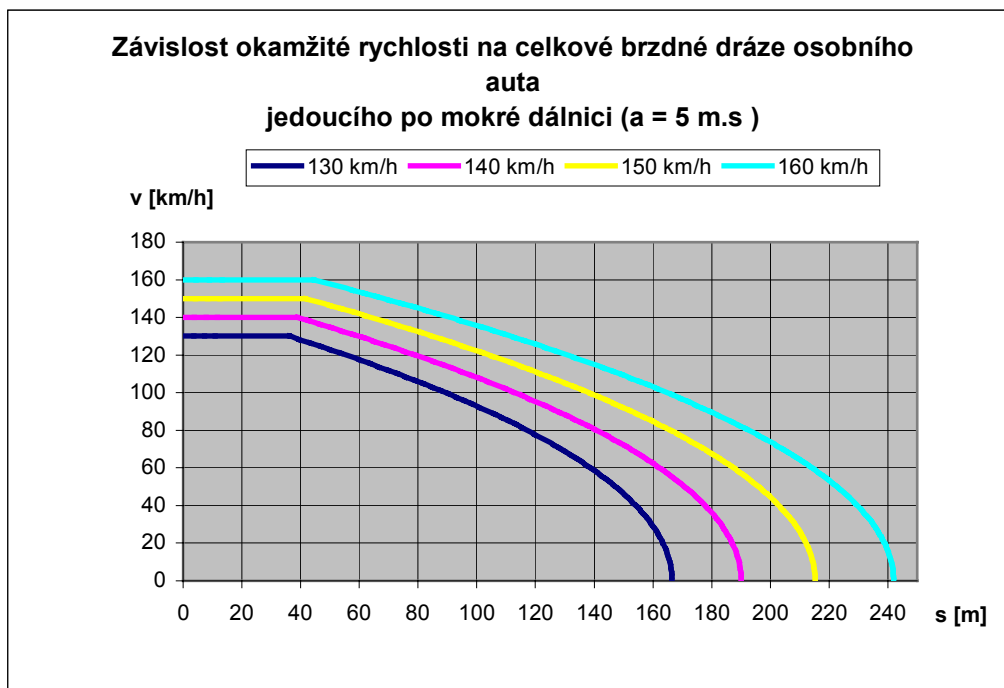
Okamžitou rychlost pak vypočteme ze vztahu: $v_{\text{okamž}} = v_0 - at$

Rychlost kterou vjede druhé auto na překážku je $25,5 \text{ m.s}^{-1}$, tj. 92 km.h^{-1} !

4.

	130 km/h	140 km/h	150 km/h	160 km/h
s	167 m	190 m	215 m	242 m
Δs	0	24 m	49 m	76 m
Δv	0	55 km/h	80 km/h	100 km/h

Pro lepší posouzení přikládám graf:



5. Kolik řidič ušetří minut, jestliže pojede různé trasy navrhovanou rychlostí 160 km/h oproti stávající rychlosti 130 km/h ? Předpokládejme ideální případ, kdy auto pojede nerušeně konstantní rychlostí na celé trase. Údaje vepište do tabulky v minutách.

Trasa	vzdálenost	ušetřené minuty
Praha – Brno	200 km	17 minut
Praha – Plzeň	70 km	6 minut
Praha – Ústí nad Labem	80 km	7 minut

9. BEZTÍŽNÝ STAV

Téma beztížný stav je v hodinách fyziky vyučován velmi okrajově, ačkoliv je toto téma v době sci-fi, Červených trpaslíků a otevřené nabídky zážitku beztížného stavu při parabolických letech pro veřejnost velmi aktuální a přitažlivé. A to nejen pro mládež.

Rozhodla jsem se proto této „přitažlivosti“ využít k zaujetí studentů pro fyziku a rozpracovala jsem téma do celé vyučovací hodiny. Soustředila jsem se zejména na neobvyklé jevy, které kosmonauti zažívají v kosmických stanicích na oběžné dráze okolo Země a také na následné zdravotní problémy, které se pojí s dlouhodobým pobytem v beztížném stavu.

Pro tuto kapitolu jsem vytvořila přípravu na hodinu obsahující několik video záznamů a fotek, pro studenty středních škol jsem vytvořila pracovní listy s početnými úlohami a s příklady na rozvoj kritického myšlení.

9.1 Definice beztížného stavu

Beztížný stav je stav tělesa (hmotného bodu) v neinerciální vztažné soustavě, vzhledem k níž je v klidu, který nastává, působí-li ostatní tělesa na ně pouze gravitačními silami a jejich výslednice \mathbf{F}_g je v rovnováze s výslednicí \mathbf{F}_s všech setrvačných sil působících na toto těleso v dané neinerciální vztažné soustavě, tj. jestliže platí $\mathbf{F}_g + \mathbf{F}_s = \mathbf{0}$. Zrychlení volného pádu tělesa vzhledem k takové vztažné soustavě, a tedy i jeho tíha v této soustavě, jsou rovny nule; odtud název beztíže pro popsáný stav.

V beztížném stavu je např. vzhledem k umělé družici těleso, které se pohybuje zároveň s ní, jestliže na družici působí jiná tělesa pouze gravitačními silami (Země, Slunce, Měsíc, popř. planety) a družice se pohybuje vzhledem k libovolně zvolené inerciální vztažné soustavě posuvným pohybem (tj. bez otáčení). Přesně to platí ovšem jen v případě, že rozměry tohoto tělesa i družice jsou tak malé, že intenzita výsledného gravitačního pole je ve všech jejich bodech stejná.

(jak tvrdí **Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz** [5], str. 75-76)

V angličtině se mimo jiné používá pro beztížný stav pojem Zero Gravity. Zero Gravity v doslovném překladu znamená nulová gravitace. Z vlastností gravitační síly víme, že na oběžné dráze na vesmírnou stanici a kosmonauty působí gravitační síla a jak jsme v pracovním listu vypočítali, její velikost je pouze o 10% menší než na Zemském povrchu.

Správně by tento název měl být změněn na Zero g, kde g znamená velikost zrychlení. Tím totiž popíšeme stav beztíže na oběžné dráze, na které na nás působí velká gravitační síla, která je však kompenzovaná silou odstředivou.

9.2 Rozvoj kritického myšlení

Během vytváření přípravy na hodinu o beztížném stavu jsem se na internetu setkala s mnoha velmi užitečnými a kvalitními zdroji informací. Musela jsem se však také prokousávat ještě více informacemi, které byly přinejmenším zavádějící, častokrát však nepravdivé. Rozhodla jsem se proto umístit do své diplomové práce svoji zkušenost s hledáním informací na internetu. Mým cílem je rozvoj kritického myšlení čtenáře a uživatele vytvořených objektů. Využila jsem obrázků z internetu k tématu parabolický let, na kterých si studenti mohou ověřit své znalosti grafů, rozvíjet svoji soudnost a kritické myšlení.

9.3 Parabolický let

Jednou z možností získání zkušenosti beztížného stavu je parabolický let, např. u společnosti Zero Gravity Corporation (ZERO-G), kterou využil sám profesor Stephen Hawking v dubnu 2007. Tato americká turistická společnost nabízí za 3 950,- \$ (tj. přibližně 65 000,- Kč) přibližně 5 minut zážitku v beztížném stavu.

Evropskou společností nabízející parabolický let je francouzská společnost Novespace Ltd.

Popis parabolického letu organizovaného společností Zero Gravity Corporation:

Tato společnost používá letadlo A300 - Zero G Airbus. Není možné úplně potlačit zemskou přitažlivost, ale je možné ji kompenzovat jinou silou. Při parabolickém letu je využívána síla odstředivá.

Z horizontální polohy letadlo zvedne trup do úhlu 45° a s přetížením 1,8g letí během 20-ti sekund do výšky 24 000 stop (7,315 km). Poté pilot podstatně sníží tah motorů – pouze aby vyrovnal odporovou sílu vzduchu a letadlo se pohybovalo rovnoměrně.

Přechod mezi fází s přetížením 1,8g do přibližně 0g trvá okolo 5ti sekund. Letadlo se pak ve skoro beztížném stavu nachází po dobu cca 20-ti sekund. Během dalších 20-ti sekund se letadlo opět vrací zpět do horizontální polohy. Cestující opět pocítují přetížení až 1,8g. Intervaly mezi fázemi bez tíže zpravidla bývají 2 minuty.



(zdroj: <http://www.gozerog.com/how-it-works.htm>)

9.4 Beztížný stav (příprava na hodinu)

Téma hodiny: Beztížný stav

Vybavení učebny: Počítač, data projektor

Cíl :

- opakování pojmů tíha tělesa, gravitační síla, odstředivá síla, setrvačná síla
- vysvětlení pojmu beztížný stav
- jak můžeme navodit tento stav
 - mimo Zemi
 - na Zemi
- důsledky dlouhodobého setrvávání v beztížném stavu na zdravotní kondici člověka
- rozvoj kritického myšlení



Pomůcky pro žáky:

- sešit, tužka

Pomůcky pro vyučujícího:

- počítač s data projektorem, připojení k internetu

Přiložené soubory:

- video ukázky z kosmické stanice Apollo,
- fotografie plamene svíčky na Zemi a v beztížném stavu, obrázky parabolického letu

Beztížný stav

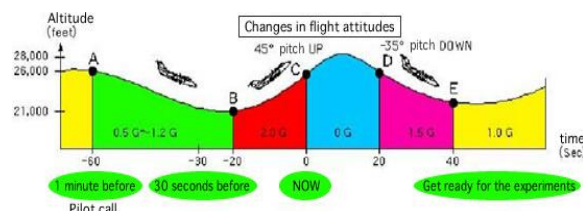
Těleso je v beztížném stavu, pokud nepůsobí svou tíhou na ostatní tělesa. Působící tíhová (resp. gravitační) síla je kompenzována nějakou jinou silou (nemající původ v jiných tělesech) stejné velikosti a opačného směru. Do beztížného stavu se můžeme dostat:

1. mimo Zemi

- Na oběžné dráze (*vyrovnávající silou je odstředivá síla kruhového pohybu družice okolo Země*)
- Volný let vesmírem (*gravitační působení od okolních těles je zanedbatelně malé*)

2. na Zemi

- Při parabolickém letu v letadle – doba trvání až 20 sekund. (*motory letadla vyrovnávají odporovou sílu vzduchu – viz. obrázek*)



- Při **volném pádu** z vysoko položeného místa - doba trvání do 5-ti sekund

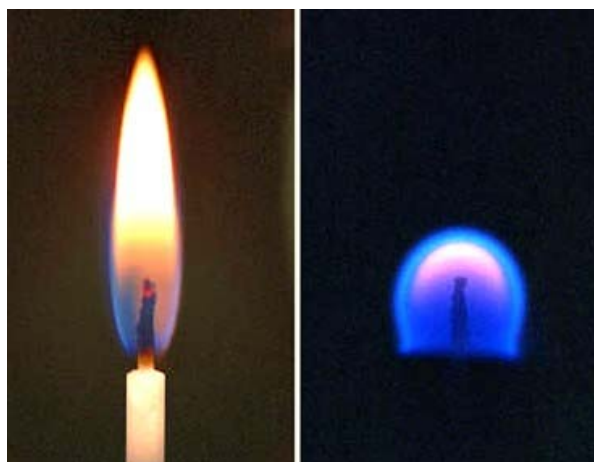
Otázky k zamyšlení:

1. Zapalte svíčku, popište a vysvětlete tvar jejího plamene. Jak vypadá plamen svíčky v beztížném stavu?
2. Nad umyvadlem vylijte kelímek s vodou a vysvětlete chování vody. Jak se bude chovat voda v beztížném stavu?
3. Navrhněte posilovací zařízení pro kosmonauty.
4. Zakreslete všechny síly, které působí na letadlo při parabolickém letu v místech A, B, C, D a E.
5. Rozmyslete, jak by bylo možné zvážit předmět v beztížném stavu.
6. Jsou astronauti ve stavu beztíže na oběžné dráze, protože jsou mimo dosah gravitačního působení Země?
7. Jestliže jsou astronauti v dosahu gravitační síly Země, jak to, že pociťují stav beztíže na oběžné dráze?
8. Rozmyslete si, co se stane při zážehu raketových motorů?
9. Rozmyslete si, jak byste vykonávali základní potřeby v beztížném stavu – spánek, ranní toaleta, mytí vlasů, přijímání potravy, ...

Odpověď:

1. Spalováním vznikají horké plyny, které mají tendenci se rozpínat. Na Zemi se plamen rozpíná do oblasti nižšího tlaku, tedy nahoru. Studený vzduch vstupuje ke knotu a zásobuje jej kyslíkem potřebným k hoření. V beztížném stavu není žádný směr privilegovaný, tak jako v tíhovém poli, a proto se plamen rozpíná všemi směry rovnoměrně. Plamen zde má tvar malé dokonalé koule a samotný jev hoření probíhá na povrchu koule, kde se palivo z voskové svíčky promíchává s kyslíkem z okolního vzduchu.

(viz. foto – plamen svíčky)



2. Voda je přitahována tíhovou silou a proto z kelímku poteče kolmo do umyvadla. V beztížném stavu na ni nepůsobí žádná síla a proto bude voda ve tvaru koule levitovat ve vzduchu. Kulový tvar má nejmenší povrch vzhledem ke svému objemu, tzn. že povrchová energie vody bude při tomto tvaru nejmenší. *(viz. video – kapka vody, hra s jídlem)*
3. Protože v beztížném stavu není přítomna tíhová síla, nelze ji tedy využít v posilovacích zařízeních. Odporovou silou zde může být např. tuhost pružinky. Je také třeba cvičence ke stroji připoutat. *(viz. video – činka, kliky, ranní rozcvička)*
4. Na letadlo působí gravitační síla, aerodynamická vztlaková síla, odstředivá síla, odporová síla vzduchu, tahová síla motorů letadla.
5. Například pomocí 2. Newtonova zákona: $F = m \cdot a$. Změříme-li sílu, kterou potřebujeme k urychlení astronauta a jeho zrychlení, snadno pak dopočítáme výslednou sílu.

6. Ne, dokonce i kdyby byli na stejné oběžné dráze jako Měsíc. Gravitační síla má daleký dosah, pouze se její velikost zmenšuje a to s druhou mocninou její vzdálenosti.
7. Gravitační síla Země je kompenzována setrvačnou odstředivou silou, která je přítomna díky nepřímému pohybu.
8. Raketa se začne pohybovat se zrychlením, na kosmonauty a předměty začne působit vnější síla. Ta způsobí, že předměty vzhledem ke stěnám rakety začnou „padat“ jako v tíhovém poli a to v opačném směru pohybu rakety a se zrychlením odpovídajícím zrychlení rakety. (*viz. video – zážeh motorů*)
9. Video ukázky: (*viz. video – spánek v beztížném stavu*) a odkazy na YouTube viz. odkazy dole.

Pokusy v hodině nebo doma:

1. Uzavřete fix do pet láhve a upust'te jej z výšky cca 2 metrů. Pozorujte, co se děje při pádu. (*Během volného pádu jsme uvedli fix do beztížného stavu*)
2. Naplňte pet láhev vodou a obarvte ji (např. hypermanganem). Víčko neuzavírejte příliš těsně, aby jím mohl procházet vzduch do láhve. Láhev propíchněte cca 3 cm ode dna špendlíkem tak, aby vytékala voda.
Vysvětlete, proč z láhve vytéká voda. Jak se bude chovat láhev s vodou v beztížném stavu? Ověřte své domněnky pokusem: upust'te láhev na Zem.
3. Ve stoji spatněm proveďte obrat vpravo o 180°. Prostě, že? Rozmyslete si, jak byste provedli tento úkon ve stavu beztíže (*viz. video – čelem v bok!*)

Zajímavé videa na YouTube:

- Život ve vesmíru - Living in Space - <http://www.youtube.com/watch?v=gkvS4o5ESDQ>
- Hra s kapkami - NASA - Space Shuttle Atlantis - <http://www.youtube.com/watch?v=S3dGBSggYq8>
- Pití vody - Greg Olsen - Drinking water on the ISS - <http://www.youtube.com/watch?v=Fg1RMEIP6i4>
- Čištění zubů - Brushing Teeth in Zero Gravity - <http://www.youtube.com/watch?v=vq-FrXO1coA&feature=related>
- Mytí vlasů - Washing Hair in Zero Gravity - <http://www.youtube.com/watch?v=h0dw-IzKxWU&feature=related>
- Snídaně - Anousheh Ansari eating onboard the ISS - <http://www.youtube.com/watch?v=Huqqa0PJgs0>

{Pozn.: další odkazy lze najít na YouTube pod klíčovými slovy weightlessness, microgravity, ISS (International Space Station), space toilet, living in Space, ...}

Důsledky dlouhodobého setrvávání v beztížném stavu na zdravotní kondici člověka

1. **Vnímání gravitace** – syndrom adaptace na vesmír je „formou mořské nemoci“. Vzniká z nesouladu mezi vizuálním, taktilními (hmatovými) a gravitačními vjemy, může přetrvávat až 4 dny, výsledkem je nechutenství, pocení, nevolnost, závrať, bolest hlavy, poruchy soustředění,
2. **Přesuny vody** – voda se přesouvá zdola nahoru, každá noha ztrácí asi 1 litr tekutiny během prvního dne. Výsledkem je otok obličeje, "rýma" po celou dobu ve stavu beztíže. Větší objem krve v hrudníku zvyšuje tepový objem a srdeční výdej, ten ale posléze klesá, protože neaktivní svaly ho méně potřebují.
3. **Kosti** - kosmonauti "povyrostou", protože na páteř netlačí žádná síla směrem dolů, je pozorována ztráta asi 1 – 1,5% kostní hmoty (a vápníku) za měsíc po celou dobu letu. Cvičením odvápnění kostí nelze zastavit, pouze zpomalit. K zastavení dochází asi až za měsíc po návratu na Zem.
4. **Svaly** - atrofují a ubývá v nich cév a nervových zakončení. Vymizí reflexy, které zaručují vzpřímený postoj. Astronauti se po návratu učí opět znovu chodit vzpřímeně.
5. **Psychologické faktory** – delší pobyt v malém prostoru může být příčinou vzniku ponorkové nemoci.

(převzato z [4])

9.5 Beztížný stav – Mezinárodní vesmírná stanice ISS (pracovní list)

ISS (International Space Station – Mezinárodní vesmírná stanice)

1. Nacházejí se astronauti na oběžné dráze ve stavu beztíže, protože jsou mimo dosah gravitačního působení Země?
2. Jestliže jsou astronauti v dosahu gravitační síly Země, jak to že pocítí ují stav beztíže na oběžné dráze okolo Země?
3. Nakreslete reálnou zmenšeninu Země a oběžné dráhy vesmírné stanice.
4. Do připraveného obrázku nakreslete vzájemné působení sil mezi Zemí a vesmírnou stanicí.
5. Nakreslete působící síly na astronauta. Za vztažnou soustavu zvolte vesmírnou stanicí. Určete výslednici působících sil.
6. Určete tíhu tělesa astronauta ve vesmírné stanici.
7. Vypočítejte o kolik % je působící gravitační síla na 80 kg vážícího astronauta v ISS menší než na povrchu Země. (střední vzdálenost vesmírné stanice od Země je 345 km)
8. Považujme trajektorii vesmírné stanice okolo Země za kružnici. Vypočítejte rychlost oběhu a oběžnou dobu vesmírné stanice okolo Země.
9. Pomocí programu Excel nakreslete průběh působící gravitační síly na vzdálenosti od Země na 80 kg vážícího kosmonauta v mezinárodní vesmírné stanici.

Důležité konstanty:

gravitační konstanta: $\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

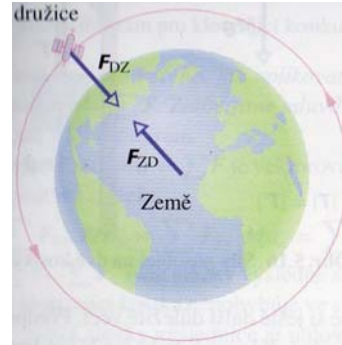
hmotnost Země: $M_Z = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

poloměr Země: $R_Z = 6\,378 \text{ km}$

9.5.1 Beztíživý stav – Mezinárodní vesmírná stanice ISS

(příprava pro učitele)

1. Ne, dokonce i kdyby byli na stejné oběžné dráze jako Měsíc. Gravitační síla má daleký dosah, pouze se její velikost zmenšuje a to s druhou mocninou její vzdálenosti.
2. Gravitační síla Země je kompenzována setrvačnou odstředivou silou, která je přítomna díky nepřímému pohybu.
3. Jestliže zvolíme poloměr modelu Země 11 cm, vesmírná stanice bude přibližně 0,6 cm na povrchu Země.



4. Na vesmírnou stanici působí gravitační síla Země F_{DZ} . Vesmírná stanice působí na Zemi stejně velkou silou F_{ZD} , ale opačného směru. Působíště této síly je na Zemi. (viz. ilustrativní obrázek)

5. Na kosmonauta působí síla gravitační F_g a síla odstředivá F_o . Obě síly mají své působíště v těžišti kosmonauta a jsou zhruba stejně velké, opačného směru.



6. Protože se astronaut nachází ve stavu beztíže, jeho tíha $G = 0 \text{ N}$.
7. Nejprve vypočítáme gravitační sílu astronauta na Zemi. Gravitační síla působící na astronauta na povrchu zemském je přibližně rovna síle tíhové:

$$F_{g(R)} \approx F_G = mg = 80,9,81 \approx 785 \text{ N}$$

Gravitační síla působící na astronauta ve vesmírné stanici má velikost:

$$F_{g(R+h)} = \kappa \frac{M_z \cdot m}{(R_z + h)^2} \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{6 \cdot 10^{24} \cdot 80}{(6378 \cdot 10^3 + 345 \cdot 10^3)^2} \approx 708 \text{ N}$$

Z vypočítaných hodnot již snadno určíme, např. pomocí trojčlenky, o kolik % je působící gravitační síla na astronauta ve vesmírné stanici menší než na Zemi:

$$\begin{array}{ccc} \uparrow F_{g(R)} & \dots\dots\dots & 100\% \uparrow \\ F_{g(R)} - F_{g(R+h)} & \dots\dots\dots & x \uparrow \end{array}$$

$$x = \frac{F_{g(R)} - F_{g(R+h)}}{F_{g(R)}} \cdot 100\% = \frac{785 \text{ N} - 708 \text{ N}}{785 \text{ N}} \cdot 100\% = 9,8\%$$

Na kosmonauta ve vesmírné stanici působí přibližně o 10% menší gravitační síla než na povrchu Země.

8. **Rychlost oběhu** v si vyjádříme z rovnosti odstředivé síly a síly gravitační:

$$F_o = F_{g(R+h)}$$

$$\frac{m \cdot v^2}{(R_Z + h)} = \kappa \frac{M_Z \cdot m}{(R_Z + h)^2}$$

Po úpravě dostáváme vztah pro oběžnou rychlost vesmírné stanice ve vzdálenosti h nad povrchem Země:

$$v = \sqrt{\kappa \frac{M_Z}{R_Z + h}}$$

Rychlost oběhu vesmírné stanice je přibližně $v = 7\,720 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, tj. zhruba $27\,770 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

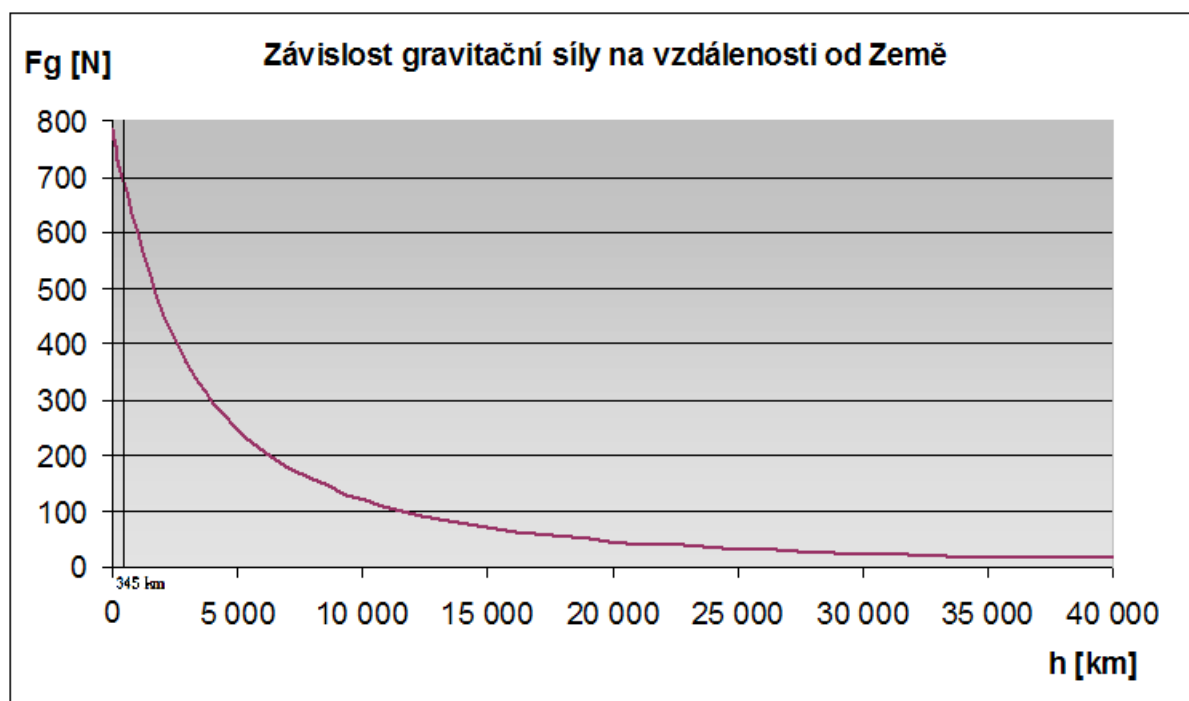
Oběžnou dobu T vypočítáme ze vztahu pro pohyb hmotného bodu po kružnici:

$$s = v \cdot T \quad \rightarrow \quad 2\pi \cdot (R_Z + h) = v \cdot T \quad \rightarrow \quad T = \frac{2\pi \cdot (R_Z + h)}{v}$$

$$T = 2\pi \cdot (R_Z + h) \cdot \sqrt{\frac{(R_Z + h)}{\kappa \cdot M_Z}}$$

Doba oběhu vesmírné stanice okolo Země je přibližně $T = 5\,475 \text{ s}$, tj. přibližně **91,25 minut**.

9. Pro lepší názornost se podívejme na graf závislosti gravitační síly F_g na vzdálenosti h od Země:



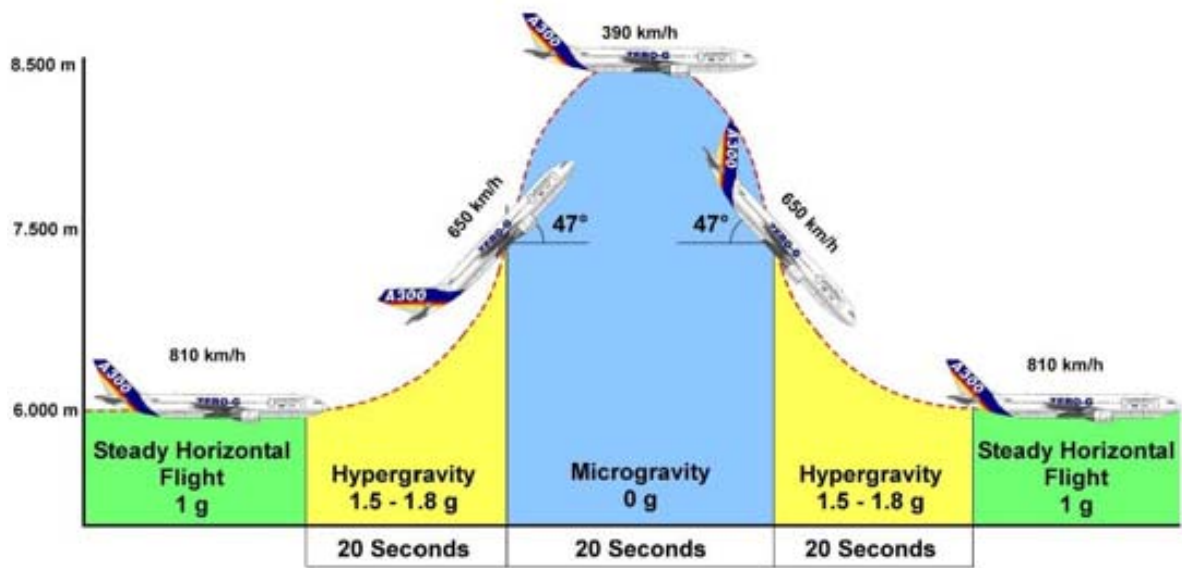
9.6 Beztížný stav – Parabolický let (pracovní list)

Popis parabolického letu:

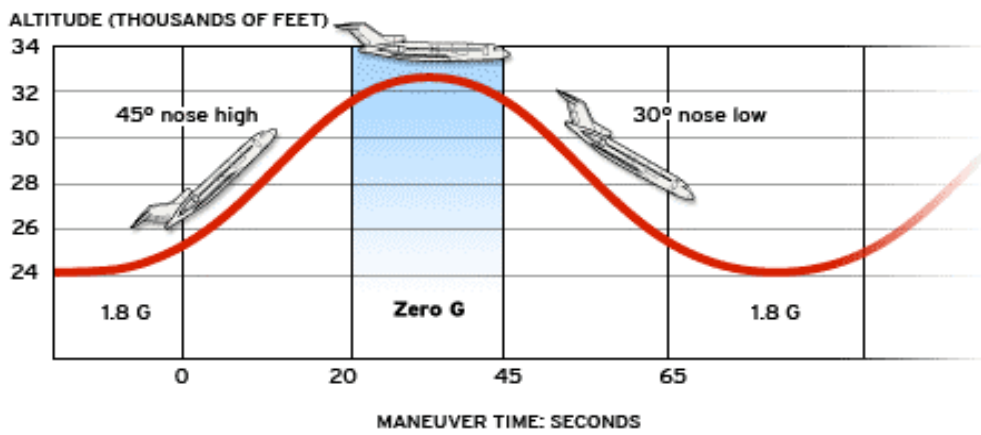
Z horizontální polohy letadlo zvedne trup do úhlu 45° a s přetížením $1,8g$ letí během 20-ti sekund do výšky 24 000 stop (7,315 km). Poté pilot podstatně sníží tah motorů – pouze aby vyrovnal odporovou sílu vzduchu a letadlo se pohybovalo rovnoměrně.

Přechod mezi fází s přetížením $1,8g$ do přibližně $0g$ trvá okolo 5ti sekund. Letadlo se pak ve skoro beztížném stavu nachází po dobu cca 20-ti sekund. Během dalších 20-ti sekund se letadlo opět vrací zpět do horizontální polohy. Cestující opět pociťují přetížení až $1,8g$. Intervaly mezi fázemi bez tíže bývají zpravidla 2 minuty. Během hodinového letu cestující zažijí beztížný stav až 20krát.

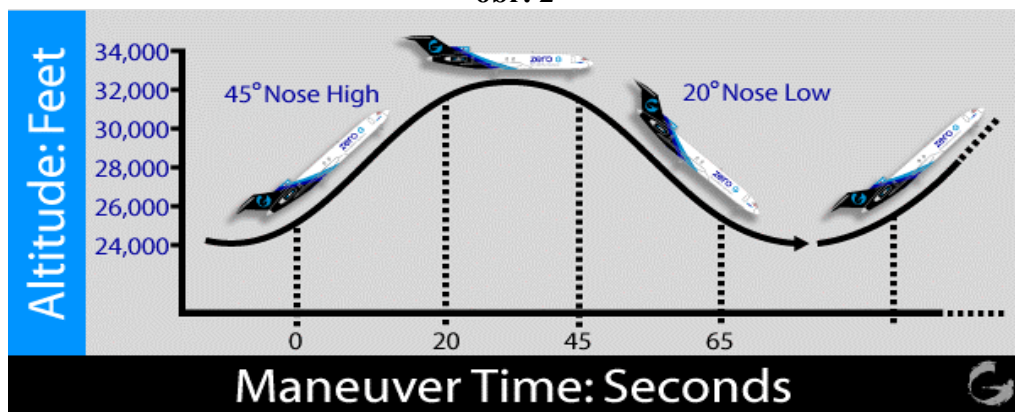
4. Diskutujte jakých chyb se dopustili autoři následujících obrázků při snaze přiblížit průběh parabolického letu Airbusu.
2. Pomocí popisu průběhu parabolického letu se pokuste nakreslit vlastní graf závislosti okamžité výšky s na čase t letadla.
3. Nakreslete graf závislosti zrychlení a na čase t pro parabolický let.
4. Nakreslete působící síly na pasažéry v letadle ve fázi beztížného stavu. Určete výslednici působících sil.
5. V angličtině je pro beztížný stav užíván mimo jiné termín Zero Gravity. Diskutujte nad správností tohoto termínu.



obr. 1



obr. 2



obr. 3

9.6.1 Beztížný stav – Parabolický let (příprava pro učitele)

1. Na všech obrázcích se vyskytují následující chyby:

- Nepoměrná velikost letadla vzhledem k rozměrům paraboly – autoři se snažili názorně ukázat let Airbusu, jeho velikost je však velmi matoucí
- Nesouměrnost velikosti intervalů

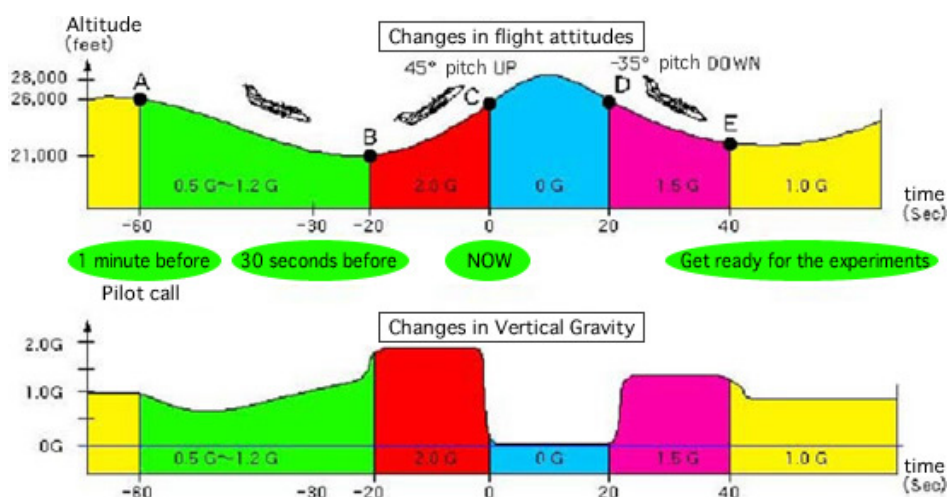
obr.1: nesmyslné vynesení hodnot sklonu trupu letadla přímo na křivku na počátku a konci „beztížného“ stavu. Křivka neznázorňuje trajektorii letu letadla, ale okamžitou časovou závislost na nadmořské výšce. Nesouměrnost intervalů stejné hodnoty na obou osách, přehnané znázornění vrcholku paraboly – ve skutečnosti je parabola široká minimálně 2 km a letadlo se po dobu beztížného stavu vznese maximálně o půl kilometru.

obr.2: na časové ose x je 25-ti sekundový interval výrazně menší než sousední 20-ti sekundové intervaly.

obr.3: nesouměrnost intervalů na časové (x -ové) ose, další náznak paraboly je příliš brzy - velmi matoucí.

5. Pomocí popisu průběhu parabolického letu se pokuste nakreslit vlastní graf závislosti okamžité výšky s na čase t letadla.

3. Nakreslete graf závislosti zrychlení a na čase t pro parabolický let.



obr. 4

obr.4: nesprávné označení 0G – ve skutečnosti vždy působí malá tzv. mikro-gravitace. Popisek bych opravila z 0G na μ G. Křivka již není souměrná podle svého vrcholu (mezi body C a D), je zde brán v potaz rozdílný sklon letadla na jeho vzestupu a sestupu.

4 Na pasažéry v letadle ve fázi bez tíže působí síla gravitační F_g a síla odstředivá F_o . Obě síly mají své působiště v těžišti kosmonauta a jsou zhruba stejně velké, opačného směru.



5 Zero Gravity v doslovném překladu znamená nulová gravitace. Z vlastností gravitační síly víme, že neexistuje ve vesmíru místo, kde by na nás nepůsobila žádná gravitační síla. Správně by tento název měl být Zero g , kde g znamená velikost zrychlení. Tím popisujeme stav beztíže na oběžné dráze, na které na nás působí relativně velká gravitační síla, která je však kompenzovaná silou odstředivou.

11. ZÁVĚR

Ve své diplomové práci jsem se snažila zpracovat několik zajímavých témat s cílem oživit hodiny výuky fyziky na střední škole.

Mezi prvními vznikla příprava na téma beztlákový stav, kterou jsem odučila ve svých hodinách fyziky na ekonomickém lyceu. Podle slov studentů byly hodiny zajímavé, i když úvodní hodina byla zčásti výkladová. Studenti ocenili vazbu na jiné předměty (biologii), která byla pro ně neobvyklá.

Z dlouhodobých vážných zdravotních problémů jsem neměla možnost osobně ověřit další ze svých projektů ve svých hodinách.

Během práce nad projekty jsem se seznámila a začala blížeji spolupracovat s panem prof. Jiří Strausem a pplk. Zdeňkem Sadílkem z Policejní Akademie. Z této spolupráce vznikl návod a testové úlohy k filtru Savitzky-Golay, který jsem s úspěchem ověřila na studentech Policejní akademie.

Studium úderů, pádů a detektivní hra z forenzní biomechaniky bude v následujícím školním roce 2008/2009 použita při výuce kriminalistické metodiky na Policejní akademii.

Spolupráce s katedrou kriminalistiky mě velmi obohatila a inspirovala pro další projekty. Ráda bych pokračovala ve tvorbě projektů a příprav na hodinu s vazbou na forenzní biomechaniku. Připravuji mimo jiné projekt přibližující problém Shaken Baby Syndrome (Syndrom třeseného dítěte), díky kterému pro neznalost rodičů a opatrovníků umírá ročně tisíce nemluvňat po celém světě.

Mezi další projekty, které připravuji, patří práce s vysokorychlostní kamerou. Vzhledem k velké spouště nasbíraného materiálu a zároveň nedostatku času ke zpracování jsem do diplomové práce nezařadila projekty studující pohyb a zvuk hmyzu, pohyb tanečnicků a sportovců, studium zrychlení v dopravních prostředcích s použitím akcelerometru, ...

Během práce nad diplomovou prací, která mne velmi nadchla a motivovala, jsem se seznámila s velmi zajímavými vědními disciplínami a lidmi, se kterými bych velmi ráda pokračovala ve spolupráci a přispěla tak k popularizaci ne příliš známých vědních disciplín mezi středoškolské studenty.

12. LITERATURA

- [1] RNDr. Josef Tillich, CSc. a kol. (1988): **Slovník školské fyziky**, Státní pedagogické nakladatelství, Praha
- [2] RNDr. Milan Bednařík, CSc. a kol. (1993): **Fyzika pro gymnázia**, Prometheus, Praha
- [3] ROZHLEDY MAT.-FYZ., ROČNÍK 75 (1998)
- [4] Doc. MUDr. Jozef Rosina a kol. (2006): **Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů**, Grada publishing, a.s., Praha
- [5] **Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz**, Prometheus
- [6] Porada V. a kol (2000): **Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi**, Linde, Praha
- [7] Czudková L.: **Fyzika a dopravní nehody**, Školská fyzika VI, číslo 04
- [8] Vorel F. a kol. (1999): **Soudní lékařství**, Grada publishing, Praha
- [9] J.Straus a kol. (2004): **Biomechanika pádu z výšky**, Vydavatelství PA ČR, Praha
- [10] W.H.Press, S.A.Teukolsky, a další (2000): **Numerical Recipes 3rd Edition: The Art of Scientific Computing**, Cambridge University Press, England
- [11] J.Straus (2001): **Aplikace forenzní biomechaniky**, Police history, Praha