

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Katedra informatiky

# Fyzika a bezpečnost silniční dopravy

Diplomová práce

Autor: Bc. Pavel Hradský

Studijní obor: NFYSSK 2011 1 1 P Učitelství pro střední školy – fyzika  
7504T261 Učitelství pro střední školy - informatika

Vedoucí práce: doc. RNDr. Jan Kříž, Ph.D.

Oponent: RNDr. Michaela Křížová, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval (pod vedením vedoucího diplomové práce) samostatně a uvedl jsem všechny použité prameny literatury.

Prohlašuji, že diplomová práce je uložena v souladu s rektorským výnosem č. 4/2009 (Řád pro nakládání se školními a některými jinými autorskými díly na UHK)

V Hradci Králové dne 1. 1. 2016

[Pavel Hradský](#)

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu doc. RNDr. Janu Křížovi, Ph.D. za odborné vedení, všechny podnětné rady, které mi během zpracování práce poskytl, připomínky, psychickou podporu a za důvěru.

## **Anotace**

Bc. Pavel Hradský, *Fyzika a bezpečnost silniční dopravy*. Hradec Králové, 2016. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové, Vedoucí diplomové práce doc. RNDr. Jan Kříž, Ph.D.

Diplomová práce je zaměřena na dopravní nehody, které se dějí na našich silnicích, z hlediska školské fyziky a na propojení školské fyziky s realitou formou vlastních fyzikálních úloh s tematikou bezpečnosti provozu a dopravních nehod.

## **Klíčová slova**

Vozidlo, bezpečnost, dráha, odstup, střet, chodec

## **Annotation**

Bc. Pavel Hradský, *Physics and safety of road transport*. Faculty of Science, University of Hradec Králové, 2015.

Diploma thesis

The thesis is focused on traffic accidents, that occur on our roads, in terms of school physics and physics education links with reality through their own physical problems with the theme of traffic safety and traffic accidents.

## **Keywords**

Vehicle, safety, track, distance, conflict, pedestrian

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Automobil.....</b>	<b>9</b>
2.1	Původ slova Automobil.....	10
2.2	První automobily.....	10
2.3	Ford model T.....	16
<b>3</b>	<b>Automobilový průmysl a automobilky .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Dopravní nehoda .....</b>	<b>18</b>
4.1	Hlavní příčiny dopravních nehod.....	20
<b>5</b>	<b>Řidič a chování řidiče .....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Měření reakčních dob .....</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Význam fyzikální úlohy ve výuce fyziky .....</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>Strategie řešení úlohy .....</b>	<b>27</b>
<b>9</b>	<b>Fyzikální úloha - bezpečnost silniční dopravy a její řešení ve výuce.....</b>	<b>30</b>
<b>10</b>	<b>Soubor úloh.....</b>	<b>35</b>
10.1	Úlohy o předjíždění .....	35
10.2	Úlohy o bezpečnosti v zatáčkách .....	44
10.3	Úlohy o převrnutí v zatáčce.....	51
10.4	Úlohy o brzdě dráze.....	56
10.5	Úlohy o kinetické a potenciální energii.....	68

<b>11 Závěr .....</b>	<b>72</b>
<b>12 Seznam použité literatury .....</b>	<b>73</b>

# 1 Úvod

Automobilismus je obor, který doznal velký rozvoj a zároveň také velmi zasáhl do života populace. Málokdo z nás ví, že první automobil neutil spalovacího motoru, ale byl poháněn parním strojem, stejně jako tomu bylo u železnice. V 18. století vznikaly první automobily, které jezdily právě na páru. Jejich konstruktéry byli James Watt a Nicolas Josef Cugnot. Parní automobily ovšem nejezdily moc dlouho. V roce 1866 byl sestaven první spalovací motor, který sestavil Nicolaus Otto. Spalovací motor byl v porovnání s parním strojem hotový zázrak. Nebylo tedy divu, že velice brzy začal být využíván právě v automobilovém průmyslu. V roce 1886 se velmi proslavil německý automobilový konstruktér Carl Friedrich Michael Benz, který v německém Mannheimu předvedl světu svůj první automobil, respektive motorovou tříkolku poháněnou právě spalovacím motorem. Na začátku 19. století se objevil další vynález aplikovatelný v automobilismu, a sice takzvaný vznětový motor, který sestrojil opět německý konstruktér a vynálezce, Rudolf Christian Carl Diesel. Posledním krokem ke vzniku automobilového průmyslu bylo založení sériové výroby automobilů, kterou světu dopřál na počátku 20. století americký podnikatel a nyní slavný průkopník automobilového průmyslu, Henry Martin Ford, který předvedl svůj nejslavnější automobil Ford T zvaný „Plechová Líza“. Tento automobil dokázal postavit na kola celou Ameriku, a automobilovému průmyslu vdechl život. Od těchto časů uplynulo přes sto let a automobilismus, jako ho známe nyní, se od tehdejších dob značně liší. S pokročilými technologiemi výroby se snížily ceny, a dospěli jsme do stavu, kdy automobil vlastní téměř každá rodina ve vyspělých zemích. V mnohých rodinách se najde i automobilů víc. Úspěch říkáte si? Ano, do jisté míry ano. Ale s množstvím aut se rovněž objevuje mnoho potíží. Zaplněné silnice, znečištěné ovzduší, ale hlavně riziko dopravních nehod, při kterých dochází ke ztrátám na majetku, ale rovněž a to v horším případě na zdraví, nebo dokonce na životech.

Cílem mé diplomové práce je pojednat o dopravních nehodách, které se dějí na našich silnicích, z hlediska školské fyziky a poukázat na propojení školské fyziky s



realitou formou vlastních fyzikálních úloh s tematikou bezpečnosti provozu a dopravních nehod.

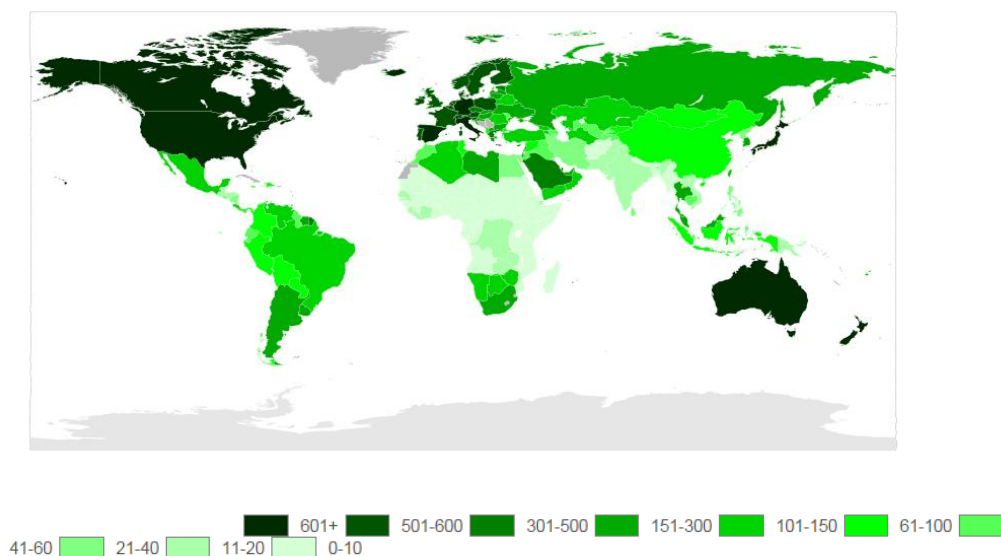
V teoretické části pojednáme o historii automobilového provozu, o tom co je to dopravní nehoda, jaké jsou její příčiny a jaké typy nehod známe. V praktické části se zaměříme na sestavení souboru úloh pro žáky střední školy na téma bezpečnost silničního provozu, které velmi dobře demonstují využití fyziky v praxi. Rovněž jsem se snažil upravit zadání úloh tak, aby byla žákovi nejen bližší, a uměl si situaci dobře představit, ale rovněž pro jeho mysl atraktivní, a aby ho řešení bavilo a vedlo k dalšímu studiu fyziky. Součástí praktické části je rovněž krátký výzkum reakčních dob lidí v různých situacích, jako je střízlivost a bdělost, střízlivost a únava, opilost a podobně. [1]

## 2 Automobil

Pod pojem automobil, neboli hovorově auto, spadá dvoustopé osobní, nebo nákladní silniční motorové vozidlo. Do této definice by si člověk rovněž zařadil i autobus, ale není tomu tak. Ten zařazujeme zvlášť, ačkoli tuto definici víceméně splňuje. Automobil spadá mezi jeden z mnohých dopravních prostředků a dělíme ho dle druhu pohonu. Patří sem například vozy se zážehovým, nebo vznětovým motorem a jiné. Poslední dobou se mnohem častěji objevují vozidla s elektromotorem. V těchto vozech vidím možnou budoucnost pro případ, až dojdou vyčerpatelné zdroje (ropa).

V roce 2003 proběhlo sčítání, při kterém se ukázalo, že na světě je 590 milionů zaregistrovaných vozidel. Pro obyčejného člověka je to skoro až nepředstavitelné číslo. Ovšem když došlo na další sčítání, které proběhlo v roce 2009, vyšplhal se počet na světě zaregistrovaných vozidel na 980 milionů! A v roce 2010 napočítali dokonce 1 015 milionů zaregistrovaných osobních automobilů!!! To činí nárůst automobilů za období 7 let o 425 milionů. Při přepočtu na jeden rok to odpovídá nárůstu 60,7 milionů zaregistrovaných automobilů za rok!!! Tento nárůst je nepředstavitelně obrovský a domnívám se, že velmi dobře odpovídá stavu vozovek a provozu ve velkých městech. Naštěstí v naší zemi není tak vysoký počet automobilů, ačkoli velká města, jako je Praha, Brno, nebo například Hradec Králové či České

Budějovice již svým provozem v ulicích tato velká světová centra typu New York s trochou nadsázky často připomínají.



Obrázek 1 - Počet osobních automobilů ve světě na 1000 obyvatel[16]

## 2.1 Původ slova Automobil

Slovo automobil nebylo v našich zemích dlouho známo. Toto slovo pochází z řeckého slova *áuto*, jež znamená samostatně a ze slova latinského původu, *mobilis*, což znamená pohyblivý. Do té doby, než k nám přišel tento výraz, se užívalo slova kolojezd. Druhý ze starších názvů užívaných u nás byl doslovný překlad, který zněl samohyb. Automobil tedy můžeme etymologicky definovat jako samostatně se pohybující pozemní dopravní prostředek, který není nijak závislý na trolejích, nebo kolejích a k jeho pohonu není třeba žádných tažných zvířat či lidské síly, a tudíž je schopen se samovolně pohybovat díky svému vlastnímu pohonu, kterým je v tomto případě jeden z několika typů motoru. Tato definice však zahrnuje rovněž jednostopá vozidla (motocykly, mopedy, motorová jízdní kola či koloběžky) a také autobusy a jiné pojízdné pracovní stroje. Těmto ostatním strojům však odpovídá právně jiný název, a sice motorové vozidlo. Slovo automobil, nebo auto se užívá pouze ve významu popsaném výše.

## 2.2 První automobily

Jak bylo uvedeno výše, první automobily byly poháněny pomocí parních strojů. Byl to jakýsi ne příliš povedený pokus o zvýšení mobility strojů ne nepodobných vla-

kům. Ovšem výrazně menších vlaků a s možností volnějšího pohybu. Přeci jen jízda parního vozu bez nutnosti kolejí byla lákavá. K těmto prvním pokusům o sestavení parních automobilů došlo již v 18. století, kdy James Watt, nebo Nicolas Joseph Cugnot dali parní vůz dohromady. Jejich parní stroj dokázal uvést již v roce 1769 čtyři pasažéry a dosáhnout rychlosti 9 kilometrů za hodinu.

Na počátku 19. století se stále jednalo především o zlepšování a zrychlování parních strojů. Ovšem s těžkopádností a provozní náročností těchto vozidel nedokázali tehdejší konstruktéři udělat prakticky nic. Jako zvrát považujeme moment, kdy se konstruktérům podařilo zprovoznit první spalovací motory. K tomu došlo v druhé polovině 19. století, konkrétně v letech 1862 až 1866, kdy Nicolaus Otto vyvinul první čtyřdobý spalovací motor.

Vývoj automobilů, jako ho známe dnes, začal v roce 1885 v německém Mannheimu. V tomto roce si slavný konstruktér Carl Friedrich Michael Benz nechal patentovat svou motorovou tříkolku. První dálkovou jízdu s touto tříkolkou provedla 5. srpna 1888 jeho žena Bertha Benzová, která je za svůj přínos v podobě cesty automobilem z Mannheimu do Pforzheimu označována za průkopnici automobilismu a rovněž první řidičku automobilu vůbec.

Již v roce 1887 pro pana Benze vznikala konkurence, neboť nezávisle na něm začal stavět automobily rovněž konstruktér Gottlieb Daimler, spolupracující s konstruktérem a vynálezcem Wilhelmem Maibachem. K tomu všemu navíc v roce 1897 rovněž německý konstruktér Rudolf Diesel sestrojil první provozuschopný vznětový motor. A tak se stalo, že začal dlouhodobý závod v automobilovém průmyslu, který trvá do současnosti.

Na území České republiky byl první automobil vyroben v letech 1888-1889. Jednalo se o druhý automobil Siegfrieda Marcuse, který byl vyroben v Adamovském podniku nedaleko Brna. Tento vůz byl ovšem technicky nedokonalý a nefunkční.

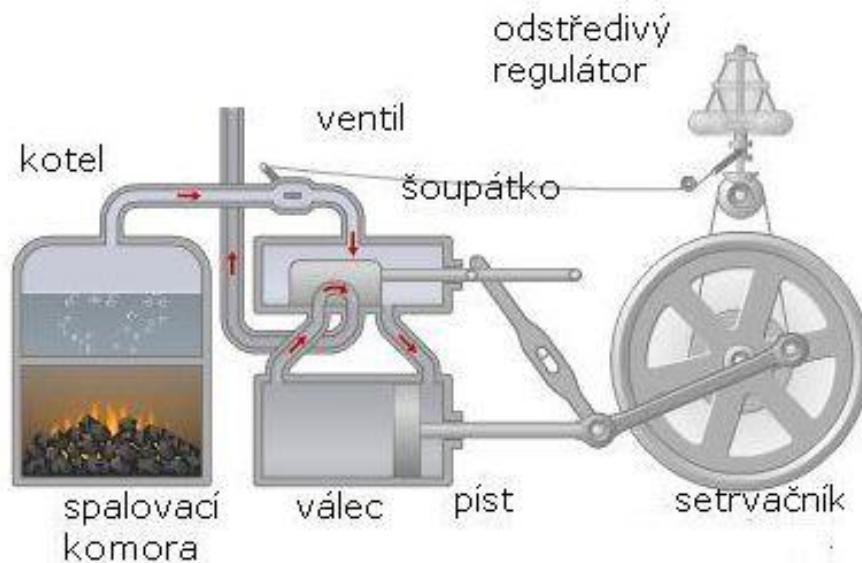
Prvním funkčně nezávadným automobilem sestrojeným na našem území se v roce 1897 stal automobil Präsident (na počest prezidenta rakouského autoklubu), který byl sestaven v Kopřivnici (tehdy NesselsdorferWagenbaufabriksgesellschaft – ve zkratce NW), kde nyní sídlí automobilka Tatra. V roce 1898 byl v této fabrice sestaven první nákladní automobil.

Až v roce 1898 začaly být automobily značky Benz vybavovány otočným řídicím čepem, který umožňoval konvenční řízení, vzdáleně podobné tomu dnešnímu.

Na počátku 20. století se začínají objevovat rovněž první elektromobily. V této době začal závod mezi automobily se spalovacím, elektrickým, nebo parním motorem. Tento závod trval až do konce prvního desetiletí 20. století. Až v této době začaly převládat automobily se spalovacím motorem. Pokud se ale na tuto problematiku podíváme z hlediska efektivity přenosu energie, jasně vítězí elektromobil, který je i po století vývoje pořád zhruba dvakrát výhodnější. Důvod, proč nepřekonal automobily se spalovacími motory, bude hlavně ten, že stále ještě nejsou dostatečně rozšířené dobíjecí stanice a dojezd na jedno nabití není tak velký, ačkoli poslední dobou šla tato technologie hodně dopředu, a mnohým připadá, že budoucnost automobilismu je právě v elektromobilech.

Ve 20. století se benzínem či naftou poháněné automobily staly naprosto jistě nejvýznamnějším prostředkem k dopravě. V USA Henry Ford rozběhl hotovou revoluci automobilismu a automobilového průmyslu tím, že zavedl sériovou výrobu vozů, jakým byl třeba slavný Ford model T, zvaný "Plechová Líza". Tento automobil byl cenově dostupný i pro obyčejné lidi, čímž jeho popularita značně stoupla a vyrábělo se hned několik typů tohoto slavného vozítka. Vyrábět se tento automobil začal v roce 1908 a byl vyráběn až do roku 1927. [2]

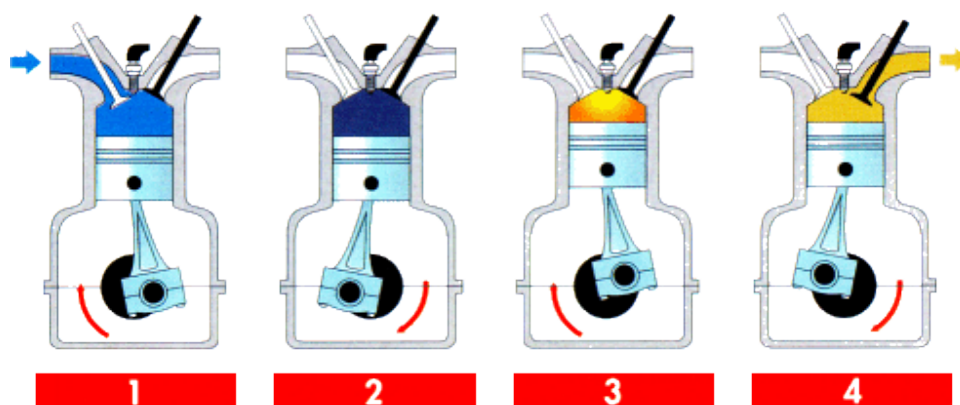
Pro představu nyní uvedeme ještě schéma parního stroje a schéma spalovacího motoru spolu s popisem jeho funkce:



Obrázek 2 - Parní stroj [17]

- Popis funkce parního stroje:

Pára z kotle je vedena přes regulátor do šoupátkové komory a odtud je rozdělována do válce. Tam svým tlakem způsobuje pohyb pístu. Použitá pára je přes šoupátkovou komoru vypouštěna ven. Posuvný pohyb pístu je přes pístní tyč přenášen na setrvačnick s klikou. Zde se posuvný pohyb převádí na rotační.



Obrázek 3 - Čtyřdobý spalovací motor (1 - sání, 2 - komprese, 3 - expanze, 4 - výfuk) [18]

- Popis jednotlivých fází práce spalovacího zážehového motoru:

*„**Sání** – Píst se pohybuje směrem do dolní úvrati (DÚ), přes sací ventil je nasávána pohonná směs. (Při přímém vstřikování se nasává pouze vzduch a benzín se vstříkne tryskou umístěnou v hlavě válce.)*

***Komprese** – Píst se pohybuje směrem do horní úvrati (HÚ). Oba ventily jsou uzavřené. Nasátá směs zmenšuje svůj objem, zvětšuje tlak i teplotu. Těsně před horní úvratí se směs **zapálí elektrickou jiskrou svíčky.***

***Expanze** – Oba ventily jsou uzavřené. Směs paliva a vzduchu zapálená jiskrou shoří. V pracovním prostoru válce se prudce zvýší teplota a tlak vzniklých plynů. Ty expandují a během pohybu pístu směrem dolů konají práci.*

***Výfuk** – Píst se pohybuje směrem do HÚ. Výfukový ventil je otevřený. Spaliny z pracovního prostoru válce jsou vytlačovány do výfukového potrubí.“*

- Popis jednotlivých fází práce spalovacího vznětového motoru:

*„**Sání** - Píst se pohybuje směrem do dolní úvrati (DÚ), přes sací ventil je nasáván vzduch.*

***Komprese** - Píst se pohybuje směrem do horní úvrati (HÚ). Oba ventily jsou uzavřené. Nasátý vzduch zmenšuje svůj objem, zvětšuje tlak a teplotu. Těsně před horní úvratí je do válce vstříknuto palivo.*

***Expanze** - Oba ventily jsou uzavřené. Směs paliva a vzduchu zapálená **samovznícením** shoří. V pracovním prostoru válce se prudce zvýší teplota i tlak vzniklých plynů. Ty expandují a během pohybu pístu směrem dolů konají práci.*

**Výfuk** - Píst se pohybuje směrem do horní úvrati. Výfukový ventil je otevřený. Spaliny z pracovního prostoru válce jsou vytlačovány do výfukového potrubí. Výfuk je rozdělen na dvě části. Výfuk volný - následuje ještě pře DÚ a výfuk nucený - vzniklý následkem vytlačování spalin pístem.“ [3]



Obrázek 4 - Replika tříkolky Benz patentované roku 1886. [19]



Obrázek 5 - První sériově vyráběný automobil v Česku i ve střední Evropě - Präsident [20]

## 2.3 Ford model T

*"Ford model T (hovorově zvaný také Tin Lizzie, plechová Líza, nebo Flivver, Kraksna) byl strojem v roce 1908. Rok 1908 se díky němu stal historickým milníkem, počátkem široké popularity automobilu v USA, první masově motorizované zemi světa. Model T je všeobecně pokládán za první cenově dostupný vůz, který „postavil Ameriku na kola,“ a to díky Fordovým inovacím, jako byla výroba na montážní lince namísto individuální ruční výroby nebo myšlenka platit zaměstnancům mzdu úměrnou ceně vozu. První sériový vůz modelu T byl postaven 27. září 1908 v továrně Piquette Plant v Detroitu.*

*Od založení automobilky v roce 1903 do příchodu modelu T Ford vyráběl nebo navrhl několik modelů automobilů. Řada začala modelem A, nebylo zde však 19 vyráběných modelů (od A do T), některé totiž zůstaly jen prototypem. Bezprostředně před modelem T se vyráběl Ford model S, vylepšená verze do té doby nejúspěšnějšího Fordu – modelu N.*

*Oproti očekávání nenásledoval po Fordu T model U, ale Ford model A. Společnost veřejně prohlásila, že nové auto je o tolik lepší než staré, že Henry Ford chtěl začít znovu od písmene A. Poté, cok tomu došlo, byl první automobil značky Plymouth postavený konkurenčním Chryslerem přezdíván „Model U“.*

*V roce 1999 byl Ford model T vyhlášen Automobilem století. O rok později byl motor Ford model T zařazen mezi 10 nejlepších motorů století."*

*"Postavím auto pro masu. Bude dost velké pro rodinu, ale také dost malé na to, aby s ním jeden člověk mohl jezdit a starat se o ně. Bude vyrobeno z nejlepších materiálů, nejlepšími zaměstnanci, s nejjednodušší konstrukcí, kterou je moderní inženýrství schopno vymyslet. Ale bude tak levné, že každý člověk pracující za dobrý plat bude vlastnit jedno - a užívat si se svou rodinou mnoho hodin radosti pod božím širým nebem."*

- Henry Ford

[4]





**Obrázek 6 - Ford T z roku 1910 [21]**



**Obrázek 7 - Ford T z roku 1925 s karoserií Tudor Sedan [21]**

### 3 Automobilový průmysl a automobilky

Strojírenské průmyslové odvětví s názvem automobilový průmysl se zabývá vývojem, výrobou, marketingem a rovněž prodejem motorových vozidel. Nepatří sem však pouze automobilky, ale rovněž i jejich subdodavatelé. Jako příklad subdodavatelé firmy bychom mohli uvést německou firmu Kiekert, která vyrábí centrální zámky pro automobily a sídlí i v České republice, konkrétně v Přelouči. Největší světovou automobilkou je Toyota, která na trhu předběhla General Motors, který držel prvenství do roku 2008. Toyota zabrala jeho místo na trhu až po dvaceti sedmi letech. Největším subdodavatelem je vskutku veleúspěšná německá firma Bosch, zabývající se strojírenstvím a která má kontakty a obchodní vztahy s téměř všemi automobilovými firmami na světě. Stejně jako u většiny průmyslových odvětví dochází i u automobilového průmyslu k prolínání s jinými odvětvími průmyslu, jako je například strojírenství, elektrotechnický průmysl, chemický průmysl, nebo též v neposlední řadě průmysl těžební a hutní. V roce 2010 bylo na světě vyrobeno téměř 78 milionů motorových vozidel. Toto číslo nám udává, že vzhledem k předchozímu roku jsme zaznamenali nárůst o 25,8% automobilů. Celosvětově je v provozu určitě přes 1015 milionů automobilů, protože počet registrovaných vozů byl již na konci roku 2010 o něco vyšší než 1015 milionů. Největší vzestup motorizace zažívá hlavně Čína a Indie, jakožto značně lidnaté státy. [5]

### 4 Dopravní nehoda

Dopravní nehoda ve vztahu k provozu na komunikacích je definována ustanovením § 47 odst. 1 zákona č. 361/2000 Sb., zákon o silničním provozu. [6]

Definice:

*„Dopravní nehoda je událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu.“* [6]

Za pozemní komunikaci považujeme rovněž účelovou komunikaci, například u supermarketu, popřípadě čerpací stanice. Tyto účelové komunikace nejsou ovšem přesně definované, ani evidované. To způsobuje spory při vyšetřování dopravních

nehod vzhledem k působnosti zákona. Mezi dopravní nehody nelze zařadit situace, kdy nedojde ke hmotné škodě, ani ke zranění.

Důležitou podmínkou definice dopravní nehody je rovněž účast vozidla v pohybu. Za vozidlo považujeme rovněž jízdní kolo, koloběžku, potahové vozidlo, ruční vozík od šířky 60 cm, tramvaj, prázdný pracovní stroj, sněžnou rolbu, nebo sněžný skútr. Za vozidlo naopak nepovažujeme například jezdce na zvířeti, osobu vedoucí nebo ženoucí zvířata, chodce, nebo jejich útvar, lyžaře nebo jezdce na kolečkových bruslích či skateboardu. Za chodce považujeme i osoby s úzkým ručním vozíkem nebo s dětským kočárkem. Také je nutno mezi chodce zařadit pěšky jdoucího člověka vedoucího kolo, nebo motocykl. Do této kategorie spadají i osoby na vozících pro invalidy. Z předešlého tedy vyplývá, že za dopravní nehodu můžeme považovat i pád cyklisty z kola za předpokladu, že dojde k sebemenšímu zranění, nebo hmotné škodě, ale nikoli například srážku jezdce na koni s chodcem nebo náraz lyžaře do zaparkovaného automobilu. Dopravní nehodou může být například i zranění přepravované osoby způsobené nedbalou jízdou, ale nikoli zranění při nastupování do vozidla, nebo vystupování z něj.

Objasněním a vyšetřením dopravních nehod se zabývá Policie České republiky, státní zastupitelství a soudy. Všechny informace jsou zahrnuty do statistik nehodovosti, z kterých vyplývá, že nejpočetnější jsou silniční dopravní nehody. [7]

*„Skutečnost současné doby zvaná nehodovost není spojena pouze s rozmachem dopravy, výrazný vliv na její růst má neukázněné a nezodpovědné chování řidičů, špatný stav komunikací a vozového parku. Nepříznivý stav si vynutil opatření na vládní úrovni, byl nastaven represivnější způsob dopravní politiky. O zlepšení dopravy se zasazují i nadnárodní organizace, např. EU. Zejména se jedná o Evropský akční program pro bezpečnost silničního provozu a Evropskou chartu bezpečnosti silničního provozu. Dopravní nehody jsou ve své podstatě jevy, které zanechávají přechodné, ale i trvalé změny na zdraví jejich účastníků, na technickém stavu dopravních prostředků.“ [8]*

## 4.1 Hlavní příčiny dopravních nehod

Mnohé analýzy přivedly na světlo několik hlavních příčin a důvodů. Proč dochází k dopravním nehodám.

Vznik takové nehody je výsledkem působení tří nejčastějších faktorů:

1. Řidič a jeho chování (ovlivňuje až 95% nehod)
2. Technický stav vozidla (ovlivňuje až 14% nehod)
3. Provozní podmínky na komunikaci a stav komunikace (vliv u cca 35% nehod)

Působením kombinace těchto tří jevů se rapidně zvyšuje celková pravděpodobnost vzniku dopravní nehody. [1]

Policejní statistiky ukazují, že nepřiměřená rychlost, která spadá do bodu 1, není nejčastější příčinou dopravní nehody. Je ovšem nutné podotknout, že nehody způsobené právě nepřiměřenou rychlostí bývají nejtragičtější a často končí smrtí.

Seznam nejtragičtějších příčin dopravních nehod:

1. nepřizpůsobení rychlosti dopravně technickému stavu vozovky
2. jízda po nesprávné straně vozovky, vjetí do protisměru
3. řidič se plně nevěnoval řízení vozidla
4. nezvládnutí řízení vozidla
5. nepřizpůsobení rychlosti stavu vozovky
6. jiný druh nepřiměřené rychlosti
7. nepřizpůsobení rychlosti vlastnostem vozidla a nákladu
8. nedání přednosti proti příkazu dopravní značkou Dej přednost v jízdě
9. při předjíždění došlo k ohrožení protijedoucího řidiče vozidla

10. nedání přednosti při odbočování vlevo

11. nedání přednosti chodci na vyznačeném přechodu

[9]

## 5 Řidič a chování řidiče

*„Řidič je osoba řídící motorové nebo nemotorové vozidlo. Mezi nemotorová vozidla řadíme například jízdní kola, mezi motorová vozidla motocykly, automobily a autobusy. Řidič motorového i nemotorového vozidla se musí v silničním provozu řídit dopravními předpisy.“ [1]*

Ze spousty statistických výzkumů je jasné, že nejvíce dopravních nehod způsobuje lidský faktor. Člověk, jeho duševní stav a celková fyzická kondice má ohromný vliv na chování a přiměřené reakce řidiče při řízení vozidla.

Reakce řidiče ovlivňuje při řízení požití alkoholu, drog, kouření, telefonování a jiné.

Požívání omamných látek, kouření a telefonování při jízdě bych velmi přísně trestal.

V dnešní uspěchané době a hustému silničnímu provozu se může stát, že člověk udělá chybu, která vede k dopravní nehodě.

Následkem chybování dochází k velkým škodám na majetku a nejzávažnější jsou ztráty lidských životů. [1]

Policie se zamýšlí nad vytvořením nějaké definice agresivního řidiče. Spolupracuje na tom s odborníky, například psychology, aby došlo k zabránění nebezpečným situacím na pozemní komunikaci vlivem nevhodného až nebezpečného chování tzv. agresivních řidičů.

„V současnosti podobná statistika pro české silnice neexistuje. Výzkum, se kterým začalo ČVUT spolu s odborníky z BESIP, byl v polovině zastaven.

Odborníci si v případě vzniku takového seznamu slibují, že by odhalil řidiče, kteří se na silnicích dopouští agresivních činů opakovaně. Takovým lidem by poté sebrali řidičský průkaz.“[10]

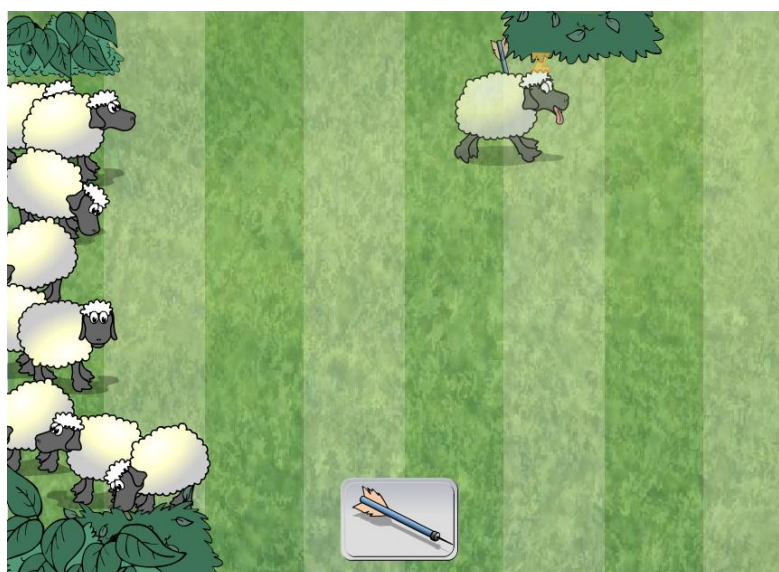
Se vzrůstající rychlostí se pravděpodobnost nehody zvyšuje. Vyšší rychlost vozidla zvyšuje nároky na řidičovu koncentraci, technický stav vozidla a stav komunikace a zvyšuje se i závažnost následků dopravních nehod. Nepřiměřená rychlost je z dlouhodobého hlediska hlavní příčinou dopravních nehod zaviněných řidiči motorových vozidel s následkem usmrcení.

Nebezpečných faktorů, které působí na řidiče je velké množství a při jejich sloučení dochází k dopravním nehodám. [11]

## 6 Měření reakčních dob

Jelikož reakční doba člověka má obrovský vliv na schopnosti řízení motorového vozidla, rozhodl jsem se pro vlastní měření reakčních dob lidí kolem sebe, abych zjistil, zda odpovídají reakčním dobám uvedeným v tabulkách, jež jsou dostupné. [28] Vlastní měření jsem prováděl na dobrovolnících, jež nemají cvičené reflexy, a proto nejlépe odpovídají běžným účastníkům silničního provozu. Měření proběhlo za čtyř různých podmínek: měření odpočatých dobrovolníků, měření dobrovolníků po osmi hodinách v práci, na lidech po konzumaci osmi dvanáctistupňových piv během 2 hodin a měření dobrovolníků, jež vypili 3 sklenky domácí slivovice o objemu 0,04 l (měřeno cca půl hodiny po vypití). Experiment jsem uskutečnil za pomoci již hotového programu, který je k nalezení na internetu, [12], viz obr. 8. Pro každou podmínku jsme naměřili 10 stejných dobrovolníků.

Měření spočívalo v odchytu prchajících ovcí, pomocí stlačení tlačítka, jež má vypustit šipku. Háček je v tom, že za předčasné vypuštění šipky, to znamená, když ovečka ještě neběží, je započítána časová penalizace. Tato penalizace činila velký problém, neboť se nedala vypnout. Opilí lidé měli tendence mačkat tlačítko často mnohem dříve. Stačilo jim, že viděli pohyb oveček ve stádu. Měření s podnapilými lidmi tedy trvalo mnohem déle, než jsem očekával. Naštěstí se mi nakonec podařilo získat dostatek potřebných hodnot. Viz obrázek 8



Obrázek 8 - Náhled programu pro měření reakčních dob [22]



Obrázek 9 – Náhled výsledné tabulky měření reakčních dob [22]

Následující tabulka reakčních dob platí pro situaci, kdy se problém vyskytne přímo před řidičem (řidič se na problém dívá – např. dítě vběhne přímo před automobil). Hodnoty pro reakční doby nutné k zaznamenání problému, který není přímo před řidičem, jsou pochopitelně vyšší, ale tyto situace pro naše úlohy nebudeme potřebovat.

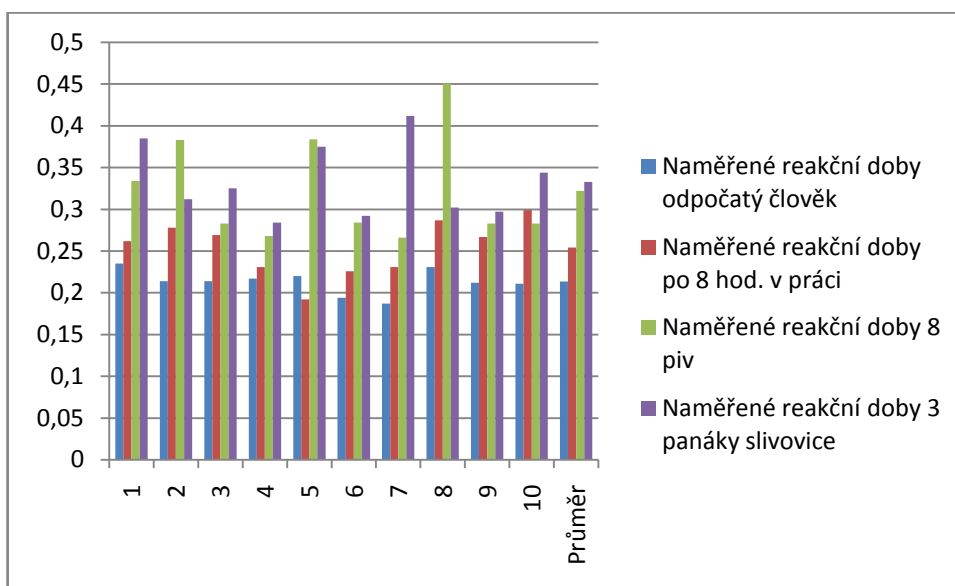
reakční doba řidiče při úhlu pohledu do 0.75 stupňů na objekt	
optická reakce	0.00 s
psychická reakce	0.22 – 0.58 s
svalová reakce	0.15 – 0.21 s
celková reakční doba	0.37 – 0.79 s

Obrázek 10 – Tabulka hodnot reakčních dob [23]

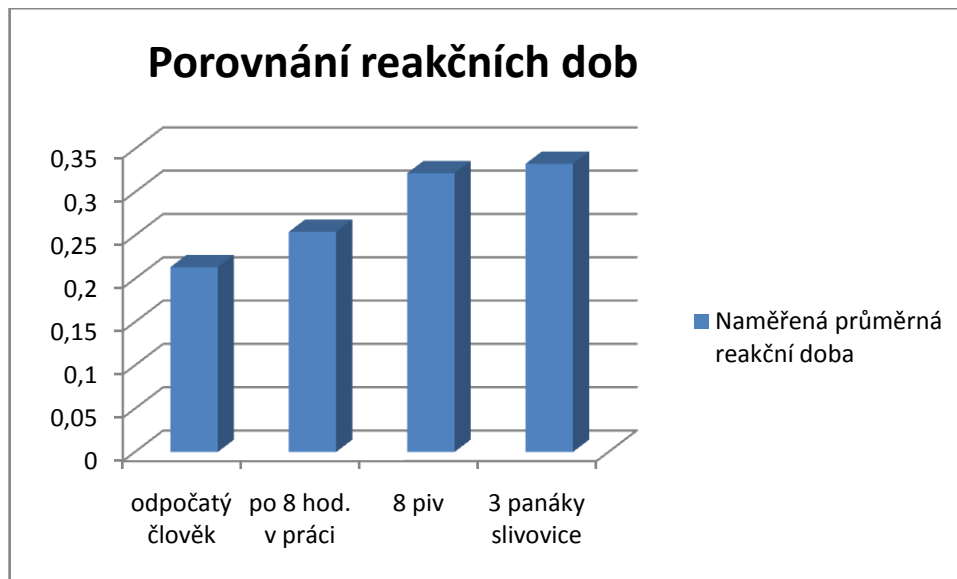


Naměřené reakční doby (v sekundách)				
Stav	odpočatý člověk	po 8 hod. v práci	8 piv	3 sklenky slivovice
1	0,235	0,262	0,334	0,385
2	0,214	0,278	0,383	0,312
3	0,214	0,269	0,283	0,325
4	0,217	0,231	0,268	0,284
5	0,22	0,192	0,384	0,375
6	0,194	0,226	0,284	0,292
7	0,187	0,231	0,266	0,412
8	0,231	0,287	0,451	0,302
9	0,212	0,267	0,283	0,297
10	0,211	0,299	0,283	0,344
Průměr	0,213	0,254	0,3219	0,332

**Tabulka 1 - naměřené reakční dob**



**Graf 1 porovnávající všechny naměřené hodnoty**



**Graf 2 srovnávající průměrné hodnoty reakčních dob.**

Závěr: Experiment potvrdil, že alkohol prodlužuje reakční dobu o přibližně 0,1s. To ovšem platí pouze pro náš experiment. Při zjištění 1,6 promile alkoholu v krvi je možné zaznamenat navýšení reakční doby v rozmezí 0,15s až 0,6s. V takovém případě má člověk již lehkou otravu alkoholem. Záleží samozřejmě na tom, jak často člověk alkohol konzumuje a jak moc je tělo alkoholu přivyklé. Proto je rozmezí nárůstu reakční doby poměrně velké.

V mém experimentu jsem rovněž zjišťoval navýšení reakční doby člověka po osmi hodinách v práci, vzhledem k člověku odpočatému. Průměrná hodnota reakční doby je u člověka odpočatého nižší o 0,04s.

## 7 Význam fyzikální úlohy ve výuce fyziky

Fyzikální úlohy byly vždy součástí výuky fyziky a rovněž sloužily jako ukázka praktického využití fyziky v praxi. Úloha samozřejmě slouží jako prostředek k diagnóze znalostí a schopností žáka v dané problematice, ale rovněž se jedná o způsob, jak žákům poskytnout návod na syntézu teoretických znalostí z fyziky.

V učebnicích didaktiky (například Ivo Volf: Několik úvah o výuce fyziky) se zdůrazňuje podíl fyzikálních úloh na výchovu žáků k myšlení při výuce fyziky. Význam úloh je ovšem mnohem širší. Samostatné řešení fyzikálních úloh procvičuje vůli žáků překonávat obtíže, napomáhá jasnějšímu a pevnějšímu osvojení učiva, rozvíjí

funkční myšlení žáků, pomáhá žákům osvojit si fyzikální veličiny a jednotky a dochází k účinnému opakování učiva. Řešení úloh „oživuje“ vzorce a ukazuje užitečnost fyzikálních zákonitostí v technice, ale i v popisu světa kolem nás. Ke splnění těchto cílů ovšem musí být úloha zadána správně. Ke správnému zadání úlohy nás vede těchto několik bodů popisujících správnou fyzikální úlohu:

1. Fyzikální porozumění je pro řešení důležitější, než matematické výpočty (u složitějších úloh pro nadané žáky)
2. Řešením úlohy získává žák fyzikální vhled
3. Úloha popisuje reálnou situaci (Lépe se řeší auto jedoucí po dálnici nepřiměřenou rychlostí, než hmotný bod pohybující se po určité dráze.)
4. Zadání úlohy je žákům blízké
5. Zadání je jednoznačné

[13]

## 8 Strategie řešení úlohy

*„Řešení fyzikální úlohy závisí na třech základních předpokladech:*

1. *Na znalosti učiva v rozsahu článků z učebnice*
2. *Na zvládnutí potřebných matematických dovedností (úprava výrazů, dosazování do vztahů, operace s číselnými výrazy, používání kapesních kalkulaček, a podobně.)*
3. *Na osvojení určité strategie při řešení fyzikální úlohy*

*Strategie řešení fyzikálních úloh zahrnuje u většiny úloh ve sbírkách deset základních kroků:“*[14]

1. **Porozumění obsahu úlohy** – Nejprve se na základě textu nebo obrazu seznámí s obsahem úlohy. Text se čte pomalu a pozorně, aby žák správně pochopil, co je dáno a co se od něj očekává. Svou pozornost by měl zaměřit především na podstatné údaje ze zadání (Fyzikální veličiny, druh pohybu, zjednodušující předpoklady, vliv prostředí, atd.)
2. **Zápis úlohy** – Fyzikální veličiny, s nimiž budeme v úloze pracovat, označíme smluvenými symboly (Dráhu  $s$ , rychlost  $v$ , energii  $E$ , tlak  $p$ , atd.) Nebojme se v případě vícero zastoupení fyzikální veličiny indexovat ( $s_1, s_2, s_3$ ). Je vhodné vyjádřit hodnoty veličin v jednotkách soustavy SI, hledanou veličinu označit otazníkem.
3. **Náčrt situace** – Ke slovnímu popisu se často vyplatí připojit náčrt situace, který obsahuje i záznam některých veličin a jejich symboliku. Náčrt je užitečný při popisu situace, která je pro žáka nová, se kterou se řešitel zatím nesešel, nebo jež připouští alternativy výkladu.
4. **Fyzikální rozbor situace** – Jde o nejdůležitější krok řešení. Prvním krokem je náčrt obrázku či schématu, do něhož zapíšeme symboly fyzikálních veličin (daných i hledaných, bez číselných hodnot). Na základě náčrtku a zápisu úlohy z bodu 2 bychom měli umět reprodukovat celé zadání, aniž bychom se podívali do textu. Proto se vyplatí náčrtek i v případě „jednoduché“ úlohy. Druhým krokem je popis situace pomocí pojmů příslušného učiva (Typ fyzikálního děje, vzorce  $s = vt - 0,5at^2$ ). Třetím krokem je zápis vztahů, kterými jsou dané a hledané veličiny navzájem vázány. ( $v = v_p + at$ ) Složitější úlohy vyžadují vyhledání některých údajů z fyzikálních tabulek, porozumění, jak se zjednodušující podmínky promítnou do řešení.
5. **Obecné řešení úlohy** – Ze vztahů z rozboru úlohy vyjádříme hledanou hodnotu fyzikální veličiny. (Např.  $F_4 = m_1 \cdot g \cdot \sin \alpha - F_2$  Výrazy na pravé

straně jsou dané ze zadání nebo získané třeba z fyzikálních tabulek). V případě složitějšího výpočtu můžeme provádět částečná číselná řešení.

6. **Určení jednotky výsledku** – V obecném řešení provedeme rozměrovou zkoušku. Tedy jestli veličina, kterou počítáme, skutečně vychází v jednotce, kterou dostaneme dosazením za jednotky na pravé straně tohoto řešení. Správnost rozměrové zkoušky ovšem nezaručuje, že fyzikální řešení úlohy je správné. Pokud nevyjde „zkouška jednotkou“, je třeba vrátit se na začátek úlohy a co nejrychleji objevit chybu v úvaze, v jednotkách.
7. **Řešení pro dané hodnoty** – Dosazení číselných hodnot daných veličin do obecného výsledku a zjištění číselné hodnoty hledané fyzikální veličiny.
8. **Konstrukce grafů, provedení experimentu** – Tato etapa je zařazena do procesu řešení úlohy z důvodu úplnosti a s cílem širšího využití předkládaného schématu. Právě graf v mnoha případech dovoluje řešiteli lépe pochopit funkční závislost fyzikálních veličin.
9. **Diskuse řešení** – Slouží k ověření hodnověrnosti řešení. Jestli číselná hodnota fyzikální veličiny je reálná (Např. je nereálná rychlost běžného auta 750 km/h, rychlost šíření světla v prostředí větší než rychlost světla ve vakuu, a podobně.) Do diskuse řešení patří také zkoumání, jestli v obecném řešení jsou zjištěné závislosti veličin reálné (Např. klesající energie u rozjíždějícího se auta je nereálná.).
10. **Formulace odpovědi** – Na závěr řešení formulujeme odpověď na otázku ze zadání úlohy. U číselně zadaných úloh obsahuje odpověď vždy číselnou hodnotu hledané veličiny, u obecně zadaných úloh jen obecné řešení. [15]

## 9 Fyzikální úloha - bezpečnost silniční dopravy a její řešení ve výuce

Téma diplomové práce jsem si vybral z důvodu, že úlohy o dopravě velmi dobře poukazují na využití fyziky v praxi. Již během studia na střední škole jsem pozoroval mezi žáky značný odpor k fyzice a typické narážky typu: „A k čemu mi to bude?“. Sám jsem ovšem lásku k fyzice našel, a její využití pochopil. Proto bych rád žákům ukázal, že fyzika má skutečné využití v praxi. Z vlastní zkušenosti vím velmi dobře, že se lépe řeší úloha o jedoucím vozidle, u kterého si situaci dovedu snadno představit, než o pohybujícím se hmotném bodě, kde si představu jen obtížně vytvořím. Problémem stále je, že ve většině škol se řeší právě tyto špatně představitelné úlohy, které žákům nejsou blízké.

Každá fyzikální úloha je jistým modelem, tedy zjednodušením, reálné situace. Níže uvedeme soubor úloh, ve kterém je model vždy volen tak, aby byl snadno řešitelný pro žáky středních škol. Tak například u předjíždění vozidel budeme zanedbávat samotný předjížděcí manévr, úlohu budeme tedy řešit „jednorozměrně“. Často budeme zanedbávat (fyzilogickou) reakční dobu řidiče, apod.

Než se však podíváme na samotný soubor úloh, musíme se nejprve seznámit s některými veličinami a vztahy, abychom byli schopni dané úlohy řešit. Typově jsem úlohy rozdělil na úlohy o předjíždění, brzdné dráze (včetně reakčních dob a bezpečné vzdálenosti), bezpečnosti v zatáčkách a kinetické a potenciální energii.

### 1. Úlohy o předjíždění

V nejjednodušším modelu předjíždění budeme uvažovat pouze rovnoměrný pohyb vozidla přejíždějícího i přejížděného, použijeme tedy známý vztah pro rovnoměrný přímočarý pohyb,

$$v = \frac{s}{t} \quad (1),$$

kde  $v$  je rychlost vozidla,  $s$ , ujetá dráha a  $t$  čas potřebný na ujetí dráhy.

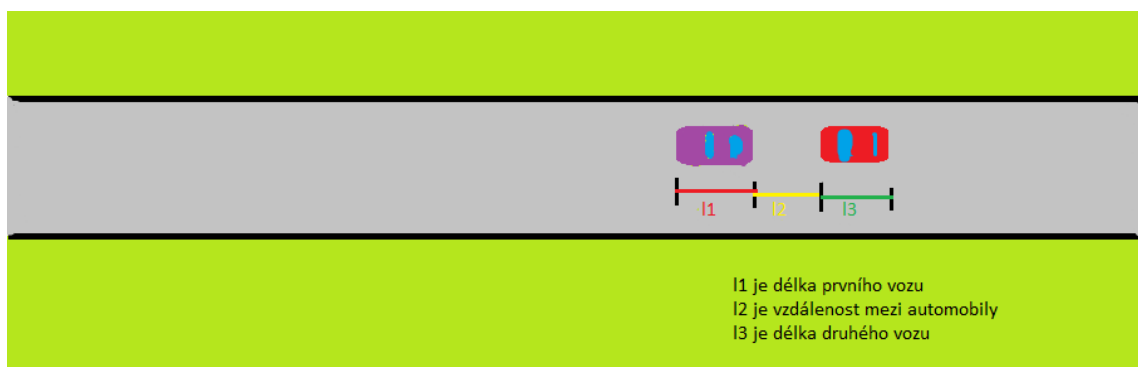
Úlohu je výhodné řešit ve vztažné soustavě spojené s předjížděným vozidlem. Necht' se předjížděné vozidlo pohybuje stálou rychlostí  $v_1$  a předjíždějící vozidlo

rychlostí  $v_2$  vzhledem k vozovce. Předjíždějící vozidlo se tedy pohybuje vůči přejížděnému rychlostí,

$$v = v_2 - v_1 \quad (2),$$

kde rychlost  $v$ , představuje rozdíl rychlostí obou vozidel, neboť v dané situaci se vozidla pohybují stejným směrem.

Dráha, kterou musí přejíždějící vozidlo urazit touto rychlostí je rovná minimálně součtu délek obou vozidel, je nutné k ní ještě připočítat vzdálenosti mezi vozidly před začátkem a po skončení předjížděcího manévru.



**Obrázek 11**

Ve složitějším modelu můžeme uvažovat, že obě vozidla před předjížděním jedou stejnou rychlostí. Předjíždějící vozidlo pak musí během manévru nejprve zrychlit. Tuto fázi budeme modelovat rovnoměrně zrychleným pohybem.

Vztahy pro rovnoměrně zrychlený pohyb jsou:

$$v_2 = v_1 + at \quad (3)$$

$$s = v_1 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (4)$$

kde  $a$  značí zrychlení vozidla a  $v_1$  je počáteční rychlost vozidla (před předjížděním).

## 2. Úlohy o bezpečnosti v zatáčkách

Úlohy o bezpečnosti v zatáčkách lze řešit dvojím způsobem, z pohledu inerciální soustavy spojené s vozovkou a z pohledu neinerciální soustavy spojené s automobilem. Použijeme následující vztahy mezi veličinami, které níže rozebereme,

$$F_{od} = m \frac{v^2}{R} \quad (5)$$

$$F_N = mg \quad (6)$$

$$F_{tmax} = F_{od} \quad (7)$$

$$F_{tmax} = fF_N \quad (8)$$

Auto je vzhledem k neinerciálnímu systému spojenému s autem v klidu, výslednice skutečných i setrvačných sil, které na auto působí, musí být tedy nulová.

Skutečné síly působící na automobil jsou, ve svislém směru tíhová síla a tlaková síla silnice (reakce vozovky na tlak), jejichž výslednice je nulová, a třecí síla  $F_t$ . Kromě nich působí ještě setrvačná odstředivá síla  $F_{od}$ , daná vztahem (5), ve kterém  $m$  značí hmotnost automobilu projíždějícího zatáčkou,  $v_1$  je jeho rychlost vůči vozovce a  $R$  je poloměr projížděné zatáčky. Maximální hodnota statické třecí síly  $F_t$  je dána dle vztahu (8) součinem přítláčné síly  $F_N$  a součinitele klidového tření  $f$ . Hodnota součinitele klidového tření je konstanta, a je k nalezení v tabulkách pro různé materiály a podmínky. Veličina přítláčné síly  $F_N$  je vyjádřena vztahem (6) jako součin hmotnosti vozidla v zatáčce  $m$ , a tíhového zrychlení  $g$ .

Vztah (7) vyjadřuje výše popsanou skutečnost, že součet všech sil, skutečných i setrvačných musí být nulový. Za tohoto předpokladu automobil projede bez obtíží zatáčkou. Ze vztahu pro odstředivou sílu (5) víme, že na velikost síly má vliv hmotnost vozidla, poloměr zatáčky a především jeho rychlost. Za předpokladu, že známe hmotnost vozidla a poloměr zatáčky, jsme schopni vypočítat, jakou maximální rychlostí je řidič schopen jet, aby jeho vozidlo bez obtíží projelo zatáčkou, a nedošlo k nehodě.

Když bude síla odstředivá větší než maximální statická třecí, dojde ke smyku vozidla. Snížení odstředivé síly může řidič ovlivnit snížením rychlosti vozu.



V případě popisu situace z pohledu inerciální soustavy představuje třecí síla sílu dostředivou. Veškeré rovnice mají tedy stejný tvar, ale interpretace je poněkud odlišná.

Poznámka: Koeficientu statického tření  $f$  závisí na typu materiálů v kontaktu a mění se také dle stavu materiálu. Rozdílné hodnoty má např. pro suchou, či vlhkou vozovku, popřípadě pro ojeté pneumatiky. Příklad viz tabulka 2.

Rozhraní	Součinitel tření
ocel-ocel	0,15
ocel-dřevo	0,65
pryž-led	0,15
pryž-mokrý asfalt	0,35
pryž-suchý asfalt	0,55

Tabulka 2 - Příklad hodnot součinitele statického tření [25]

### 3. Úlohy o brzdné dráze:

Pohyb vozidla při náhlém brždění řidiče budeme modelovat rovnoměrně zpomaleným pohybem. Rychlost a dráha rovnoměrně zpomaleného přímočarého pohybu se s časem mění podle níže uvedených vztahů:

$$v = v_p - at \quad (9)$$

$$s = v_p t - \frac{1}{2}at^2 \quad (10)$$

$$s = s_r + v_p t - \frac{1}{2}at^2 \quad (11)$$

Ve vztahu (9) hodnota  $v_p$  určuje rychlost původní (před časovou změnou) a součin  $at$  určuje změnu rychlosti, neboť veličina  $a$  je zpomalení a  $t$  je čas. Mínus v našich vztazích nám napovídá, že se jedná o zpomalený pohyb, veličina  $-a$  je tradiční zrychlení, v tomto případě záporné. Vztah (10) udává dráhu  $s$ , zpomaleného pohybu. Vztah (11) zahrnuje oproti vztahu (10) ještě dráhu  $s_r$ , kterou vůz projel během reakční doby řidiče.

#### 4. Úlohy o kinetické a potenciální energii:

V těchto úlohách procvičíme pojem mechanické energie na úlohách týkajících se automobilismu. Použijeme známé vztahy pro potenciální a kinetickou energii,

$$E_p = mgh \quad (12)$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (13)$$

Vztah (12) nám říká, na čem závisí velikost potenciální energie  $E_p$  v tíhovém poli. Za nulovou potenciální hladinu obvykle považujeme zemi.

V úlohách budeme používat zákon zachování mechanické energie v různých případech.

## 10 Soubor úloh

### 10.1 Úlohy o předjíždění

1. Zadání:

Kamion délky 16,5m jede po silnici první třídy rychlostí 70km/h. Ve vzdálenosti 10m od kamionu ho začne předjíždět osobní automobil délky 4,5 m jedoucí rychlostí 90km/h (skončí s předjížděním 10m před ním). Jak dlouho bude trvat osobnímu autu předjíždění a jakou vzdálenost za tu dobu osobní automobil ujede?

Řešení:

$$l_{kam} = 16,5m$$

$$l_{bezpečná} = 20m$$

$$v_{kamion} = 70km/h = 19,4m/s$$

$$l_{osobní} = 4,5m$$

$$v_{osobní} = 90km/h = 25m/s$$



Obrázek 12 - předjíždějící osobní vůz

Úlohu budeme řešit tak, jak jsme popsali ve druhém odstavci v kapitole 9. Podle vztahu (2) platí,

$$v = v_{osobní} - v_{kamion}$$

V soustavě spojené s kamionem, musí osobní auto urazit dráhu:

$$s = l_{kam} + l_{bezpečná} + l_{osobní}$$

Ze vztahu (1) vyjádříme čas  $t$ :

$$t = \frac{s}{v}$$

$$t = \frac{l_{kam} + l_{bezpečná} + l_{osobní}}{v_{osobní} - v_{kamion}}$$

$$t = \frac{16,5\text{m} + 20\text{m} + 4,5\text{m}}{25\text{m/s} - 19,4\text{m/s}} = 7,4 \text{ s}$$

Celková dráha, kterou ujede osobní automobil za dobu předjíždění:

$$s = v_{osobní} \cdot t$$

$$s = 25 \text{ m/s} \cdot 7,4 \text{ s} = 184,5 \text{ m}$$

Automobil předjede kamion za dobu 7,4 s a ujede při tom 184,5 m.

## 2. Zadání

Kamion délky 18,5m jede po silnici první třídy rychlostí 75km/h. Ve vzdálenosti 10m od kamionu ho začne předjíždět osobní automobil délky 4,5 m jedoucí rychlostí 90km/h (skončí s předjížděním 10m před ním). Proti němu jede osobní automobil rychlostí 100 km/h. V jaké vzdálenosti musí být protijedoucí osobní automobil, aby nedošlo ke střetu a ohrožení života při předjíždění? Pro klidné a bezpečné minuty vozů počítejte vzdálenost 30 m navíc.



Obrázek 13 – předjíždění kamionu s protijedoucím automobilem

Řešení:

$$l_{kam} = 18,5 \text{ m}$$

$$l_{bezpečná} = 20 \text{ m}$$

$$v_{kamion} = 75 \text{ km/h} = 20,8 \text{ m/s}$$

$$l_{osobní} = 4,5 \text{ m}$$

$$v_{osobní} = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$$

$$v_{proti} = 100 \text{ km/h} = 27,8 \text{ m/s}$$

$$l_{navíc} = 30 \text{ m}$$

$$s_{celková} = ?$$

Nejprve zjistíme dobu potřebnou pro předjetí kamionu (úpravou vztahu (1)):

$$t = \frac{l_{kam} + l_{bezpecna} + l_{osobni}}{v_{osobni} - v_{kamion}}$$

$$t = \frac{18,5 \text{ m} + 20 \text{ m} + 4,5 \text{ m}}{25 \text{ m/s} - 20,8 \text{ m/s}}$$

$$t = 10,24 \text{ s}$$

Po zjištění času potřebného pro předjetí můžeme dopočítat dráhu (dle upraveného vztahu (1)), kterou předjíždějící vůz ujede během samotného předjíždění:

$$s = v_{osobni} \cdot t$$

$$s = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10,24 \text{ s}$$

$$s = 256 \text{ m}$$

Po dokončení výpočtu víme, že automobil během předjíždění ujede dráhu dlouhou 256 m. To nám ovšem ke konečnému řešení nepostačí. K vyřešení úlohy musíme ještě připočítat dráhu, kterou za dobu předjíždění ujede protijedoucí automobil a přičíst rovněž vzdálenost  $l_{navic}$  pro klidné a bezpečné minutí vozů.

$$t = t_{proti} = 10,24 \text{ s}$$

$$s_p = s_{vp} + l_{bezpečná}$$

$$s_{vp} = v_{proti} \cdot t_{proti}$$

$$s_{vp} = 27,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10,24 \text{ s}$$

$$s_{vp} = 284,7 \text{ m}$$

$$s_p = 284,7 \text{ m} + 30 \text{ m}$$

$$s_p = 314,7 \text{ m}$$

Zjistili jsme vzdálenost, kterou během předjíždění prvního vozu ujede protijedoucí vůz a přičetli jsme k té hodnotě 30 m pro bezpečné a klidné minutí vozů. Nyní jen dosadíme do finálního vzorce a získáme řešení celé úlohy:

$$s_{celková} = s + s_p$$

$$s_{celková} = 256 \text{ m} + 314,7 \text{ m}$$

$$s_{celková} = 570,7 \text{ m}$$

Před zahájením předjíždění musí být mezi protijedoucími vozy minimálně 570,7 m volného místa. Za těchto podmínek nedojde ani k omezení protijedoucího řidiče (nebude nucen snížit svou rychlost).

### 3. Zadání:

Na dálnici s dvěma jízdními pruhy jede červený kamion délky 16,5 m rychlostí 120 km/h. Za ním jede stejně dlouhý modrý kamion rychlostí 123 km/h. Ve vzdálenosti 10 m od červeného kamionu začne modrý kamion předjíždět (skončí předjíždění 10m před červeným kamionem, neboť je rovněž dlouhý, a nevešel by se návěš). Jak dlouho budou pruhy dálnice zablokované pro volný provoz?

$$v_{\check{c}} = 120 \text{ km/h} = 33,3 \text{ m/s}$$

$$v_m = 123 \text{ km/h} = 34,2 \text{ m/s}$$

$$l_{\check{c}} = l_m = 16,5 \text{ m}$$

$$l_{\text{bezpečná}} = 20 \text{ m}$$

$$t = ?$$

Úlohu budeme řešit v soustavě spojené s kamionem. V této soustavě je rychlost předjíždějícího kamionu (užitím rovnice (2)) dána vztahem:

$$v = v_m - v_{\check{c}}$$

V soustavě spojené s kamionem, musí kamion urazit dráhu:

$$s = l_{\check{c}} + l_{\text{bezpečná}} + l_m$$

Ze vztahu (1) vyjádříme čas  $t$ :

$$t = \frac{s}{v} = t = \frac{l_{\check{c}} + l_{\text{bezpečná}} + l_m}{v_m - v_{\check{c}}}$$

$$t = \frac{16,5 \text{ m} + 20 \text{ m} + 16,5 \text{ m}}{34,2 \text{ m/s} - 33,3 \text{ m/s}}$$

$$t = 58,9 \text{ s}$$



Z uvedeného vyplývá, že předjíždějící se kamiony budou blokovat dálnici téměř jednu minutu. Mnoho řidičů již tuto situaci zažilo.

#### 4. Zadání:

Závodník ilegálního sprintu dohnal ve svém voze Mitsubishi Lancer Evolution X svého oponenta. Oponent řídil BMW i8 rychlostí 230km/h. Lancer začal předjíždět rychlostí 242km/h. Délka BMW je 4,7 m. Bezpečné předjíždění při závodě vyžaduje zahájit předjíždění alespoň 8 metrů před vozem a ukončit předjíždění 8 metrů za ním. Za jak dlouho dokázal BMW předjet? Kolik za danou dobu Lancer ujel?

$$v_{Evo} = 242 \text{ km/h} = 67,22 \text{ m/s}$$

$$v_{BMW} = 230 \text{ km/h} = 63,8 \text{ m/s}$$

$$l_{Evo} = 4,3\text{m}$$

$$l_{BMW} = 4,7\text{m}$$

$$l_{bezpečná} = 16\text{m}$$

Budeme uvažovat, že předjíždějící Evolution pojede vzdálenost  $s_{\text{předjíždění}}$  rychlostí, která je rovna rozdílu rychlostí našich dvou vozů.

$$v_{\text{předjíždění}} = v_{Evo} - v_{BMW}$$

Ze vztahu (1) vyjádříme čas  $t$ :

$$t = \frac{s}{v_{\text{předjíždění}}}$$

$$t = \frac{l_{Evo} + l_{BMW} + l_{bezpečná}}{v_{Evo} - v_{BMW}}$$

$$t = \frac{4,3\text{m} + 4,7\text{m} + 16\text{m}}{67,22 \text{ m/s} - 63,8 \text{ m/s}}$$

$$t = 7,3 \text{ s}$$

Lancer bude předjíždět BMW 7,3 s.

Dráha, kterou Lancer ujede za dobu předjíždění vyjádřená ze vztahu (1):

$$s_{\text{předjíždění}} = v_{Evo} \cdot t$$

$$s_{\text{předjíždění}} = 67,22 \text{ m/s} \cdot 7,3 \text{ s}$$

$$s_{\text{předjíždění}} = 490,7 \text{ m}$$

Lancer předjede BMW za dobu 7,3 s a ujede při tom vzdálenost 490,7 m.

## 10.2 Úlohy o bezpečnosti v zatáčkách

5. Zadání:

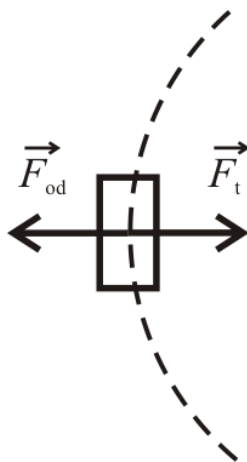
Jak velká je třecí síla mezi silnicí a pneumatikami dodávky o hmotnosti 2000 kg, která projíždí zatáčkou o poloměru 100 m? Rychlost dodávky je 72 km/h. Dodávka nedostala smyk.

$$m=2000\text{kg}$$

$$R=100\text{m}$$

$$v=72\text{km/h}=20\text{m/s}$$

Řešení:



Obrázek 14 - Síly působící na vůz v zatáčce.

Má-li být výslednice sil nulová, musí platit (ze vztahu (5) a (7)):

$$F_t = F_{od} = m \frac{v^2}{R}$$

Číselně:

$$F_t = 2000\text{kg} \cdot \frac{(20\text{m/s})^2}{100\text{m}} = 8000\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 8000\text{N}$$

Třecí síla mezi pneumatikami a silnicí je při dané rychlosti dodávky rovna 8000 N.

## 6. Zadání:

Jakou rychlostí jela dodávka, jestliže v zatáčce o poloměru 100 m dostala na mokré vozovce smyk? Koeficient klidového tření pneumatik na mokré vozovce je 0,35. Hmotnost dodávky je 2000 kg.

Řešení: Ke zjištění rychlosti, při které dojde ke smyku, potřebujeme zjistit maximální hodnotu klidové třecí síly. Platí pro ni (ze vztahů (6) a (8)):

$$F_{tmax} = fF_N = fmg(14)$$

kde  $F_N$  je velikost tlakové síly kolmé k silnici a  $g$  je tíhové zrychlení.

Jestliže bude rychlost auta taková, že dostředivá síla potřebná k zatočení auta přesáhne hodnotu maximální klidové třecí síly, dojde ke smyku.

Kritická podmínka je tedy (ze vztahů (6) a (8)):

$$F_{tmax} = fmg = m \frac{v_{max}^2}{R}(15)$$

Odtud vyjádříme:

$$v_{max}^2 = fgr$$

$$v_{max} = \sqrt{fgr}$$

Číselné dosazení:

$$v_{max} = \sqrt{100 \cdot 9,81 \cdot 0,35} \text{ m/s}$$

$$v_{max} = 18,5 \text{ m/s} = 66,6 \text{ km/h}$$

Aby dodávka dostala smyk, musela jet rychlostí větší než 66,6 km/h.

## 7. Zadání:

Sportovně laděný automobil Mustang Shelby GT 500 1964 má pohotovostní hmotnost 1478 kg. Jakou maximální rychlostí může projet profesionální závodník zatáčkou o poloměru 100m, aby nedostal smyk? Koeficient klidového tření za daných podmínek je 0,60.

Úlohu řešte z pohledu neinerciálního pozorovatele spojeného s vozem.

$$m=1478\text{kg}$$

$$R=100\text{m}$$

$$f=0,6$$



Obrázek 15 - Mustang Shelby GT 500 1964 [24]

Řešení: Ke zjištění rychlosti, při které dojde ke smyku, potřebujeme zjistit maximální hodnotu klidové třecí síly. Platí pro ni tedy vztah (14).

Jestliže bude rychlost auta taková, že dostředivá síla potřebná k zatočení auta přesáhne hodnotu maximální klidové třecí síly, dojde ke smyku.

Kritická podmínka je tedy opět dána vztahem (15).

Odtud dostáváme opět

$$v_{max} = \sqrt{fgR}$$

Číselné dosazení:

$$v_{max} = \sqrt{0,6 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 100 \text{ m}}$$

$$v_{max} = 24,26 \text{ m/s} = 87,3 \text{ km/h}$$

Závodník může projet zatáčkou maximální rychlostí 87,3 km/h.



### 8. Zadání:

Lupič ujížděl ve svém voze z místa činu. Když se blížil ke křižovatce, všiml si, že cesty rovně a doprava jsou blokovány policejním zátarasem s ocelovými hřeby, jež prorážejí pneumatiky. Jediná cesta vedla zatáčkou doleva o poloměru 25m. Jakou maximální rychlostí může pachatel projet zatáčkou, aby nedostal smyk a nepoškodil své pneumatiky o pás s hřeby? Součinitel smykového tření pneumatik vozu a vozovky je za daných podmínek 0,5.

$$R = 25 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$f = 0,5$$

Řešení: Obecné řešení viz předchozí úloha s Mustangem Shelby GT 500 1964:

$$v_{max} = \sqrt{fgR}$$

$$v_{max} = \sqrt{0,5 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 25 \text{ m}}$$

$$v_{max} = 11,1 \text{ m/s} = 39,96 \text{ km/h}$$

Pachatel může bezpečně projet zatáčkou maximální rychlostí 39,96 km/h.

9. Zadání:

Jak velká je třecí síla mezi silnicí a pneumatikami vozu Mustang Shelby GT 500 1964 o hmotnosti 1478 kg, která projíždí zatáčkou o poloměru 100 m? Rychlost vozu je 90 km h<sup>-1</sup>. Vůz nedostal smyk.

Pozn.: Nákres viz obr. 15, ilustrační foto vozu viz obr. 16

$$m=1478\text{kg}$$

$$R=100\text{m}$$

$$v=90\text{km/h}=25\text{m/s}$$

Řešení: Viz první příklad kapitoly 10.2

Úlohu řešíme stejným způsobem jako úlohu 5.

Číselně:

$$F_t = 1478\text{kg} \cdot \frac{(25\text{m/s})^2}{100\text{m}}$$

$$F_t = 9237,5\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_t = 9237,5\text{N}$$

Třecí síla mezi pneumatikami a silnicí je při dané rychlosti automobilu rovna 9237,5 N.

### 10.3 Úlohy o převrhnutí v zatáčce

#### 10. Zadání

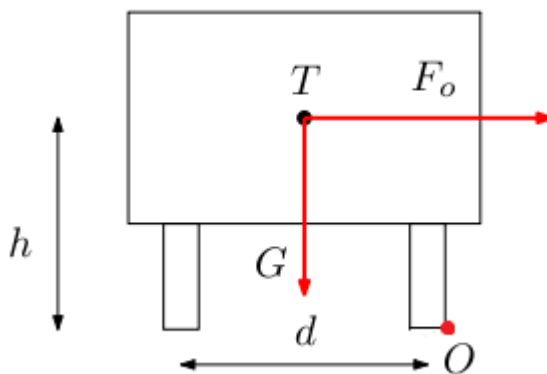
Osobní automobil o hmotnosti 1500kg projíždí neklopenou zatáčkou s poloměrem 50m. Rozchod kol je 1,4m a výška těžiště nad vozovkou je 0,6m. Jakou největší rychlostí může automobil projet zatáčkou, aniž by se převrátil? (Tření mezi koly a vozovkou je dostatečně velké, aby nedošlo ke smyku vozidla.)

$$m=1500\text{kg}$$

$$r=50\text{m}$$

$$d=1,4\text{m}$$

$$h=0,6\text{m}$$



Obrázek 16 – Síly působící na automobil v zatáčce

Řešení:

Moment odstředivé síly  $F_o$  (5) o velikosti  $F_o h$  způsobuje otáčení automobilu po směru hodinových ručiček. Proti tomuto pohybu působí moment tíhové síly,  $G d/2$ .

Auto se nepřevrhne, pokud bude platit:

$$G \frac{d}{2} \geq F_o h$$

$$\frac{mgd}{2} \geq m \frac{v^2}{r} h$$

$$v \leq \sqrt{\frac{gdr}{2h}}$$

$$v \leq \sqrt{\frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,4 \text{ m} \cdot 50 \text{ m}}{2 \cdot 0,6 \text{ m}}}$$

$$v \leq 23,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 86,04 \text{ km/h}$$

Automobil nesmí projet zatáčku rychlostí větší, než je 86,04 km/h.

## 11. Zadání

Automobil o hmotnosti 1650kg se v zatáčce o poloměru 75 m převrátil. Řidič vypověděl policii, že projížděl zatáčkou rychlostí 90 km/h. Rozchod kol vozu byl 1,5m a výška těžiště 0,7m. Je možné, aby se v dané rychlosti vozidlo za daných podmínek převrátilo, nebo řidič křivě vypovídal?

$$m=1650\text{kg}$$

$$r=75\text{m}$$

$$d=1,5\text{m}$$

$$h=0,7\text{m}$$

$$v=90\text{km/h}=25\text{m/s}$$

Řešení:Obecné řešení viz předchozí úloha.

Auto se nepřevrhne, pokud bude platit:

$$v \leq \sqrt{\frac{gdr}{2h}}$$

$$v \leq \sqrt{\frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 75 \text{ m}}{2 \cdot 0,7 \text{ m}}}$$

$$v \leq 28,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 101,16 \text{ km/h}$$

Aby se automobil za daných podmínek převrhl, musel by jet rychlostí vyšší, než je 101,16km/h. Je tedy jasné, že řidič při výpovědi lhal a jel moc rychle.

## 12. Zadání

Automobil o hmotnosti 1550kg projíždí zatáčkou o poloměru křivosti 55 m rychlostí 60 km/h. Rozchod kol automobilu je 1,4m a výška těžiště vozu je 0,6m. Koeficient klidového tření pneumatik na vozovce je 0,55. K čemu za daných podmínek dojde? (Smyk, převrácení, nebo automobil projede bez potíží?)

$$m=1550\text{kg}$$

$$r=55\text{m}$$

$$d=1,4\text{m}$$

$$h=0,6\text{m}$$

$$v=60\text{km/h}=16,67\text{m/s}$$

Řešení: Maximální hodnota klidové třecí síly je dána vztahem (14).

Jestliže bude rychlost auta taková, že dostředivá síla potřebná k zatočení auta přesáhne hodnotu maximální klidové třecí síly, dojde ke smyku.

Kritická podmínka je tedy dána vztahem (15).

Odtud vyjádříme:

$$v_{max} = \sqrt{fgr}$$

Číselné dosazení:

$$v_{max} = \sqrt{0,55 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 55 \text{ m}}$$

$$v_{max} = 17,23 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 62 \text{ km/h}$$

Automobil v zatáčce nedostane smyk.

Auto se snaží převrhnout (kolem osy O) odstředivá síla s momentem  $F_o h$ . Vychází ze vztahu (3).

Zpět ho tlačí tíha s momentem  $G \frac{d}{2}$ . Vychází ze vztahu (8).

Auto se nepřevrhne, pokud bude platit:

$$G \frac{d}{2} \geq F_o h$$

$$\frac{mgd}{2} \geq m \frac{v^2}{r} h$$

$$v \leq \sqrt{\frac{gdr}{2h}}$$

$$v \leq \sqrt{\frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,4 \text{ m} \cdot 55 \text{ m}}{2 \cdot 0,6 \text{ m}}}$$

$$v \leq 25,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 90,36 \text{ km/h}$$

Automobil se daných podmínek nepřevrhne.

Za daných okolností by snáze došlo ke smyku, ale v našem případě projede automobil zatáčkou bez potíží.

## 10.4 Úlohy o brzdě dráze

13. Zadání:

Automobil jede rychlostí  $v_p = 50$  km/h městem. Z nenadání ve vzdálenosti  $l = 25$  m vběhne do silnice dítě pronásledující fotbalový míč. Řidič začne brzdit okamžitě (zanedbejte reakční dobu) se zpomalením  $a = 5$  m/s<sup>2</sup>. Určete brzdou dráhu vozu. Stihne řidič zastavit, nebo dojde k neštěstí?

Řešení:

Rychlost a dráha rovnoměrně zpomaleného přímočarého pohybu se s časem mění podle výše uvedených vztahů (9) a (10).

V okamžiku zastavení bude rychlost auta nulová. Ze vztahu (9) pro rychlost zjistíme čas zastavení  $t_z$ . Platí:

$$0 = v_p - at_z$$

Odtud:

$$t_z = \frac{v_p}{a}$$

Dráhu zastavení  $s_z$  dostaneme dosazením za čas zastavení do vztahu (10):

$$s_z = v_p t_z - \frac{1}{2} a t_z^2 = v_p \frac{v_p}{a} - \frac{1}{2} a \left( \frac{v_p}{a} \right)^2$$

$$s_z = \frac{v_p^2}{2a}$$

Dráha zastavení vozu tedy bude:

$$v_p = 50 \text{ km/h} = 13,9 \text{ m/s}$$

$$s_z = \frac{v_p^2}{2a}$$



$$s_z = \frac{(13,9\text{m/s})^2}{2 \cdot 5\text{m/s}^2}$$

$$s_z = 19,3 \text{ m}$$

Automobil zastaví na dráze 19,3 m. K neštěstí nedojde.

#### 14. Zadání:

Dvě auta jedou přímo proti sobě. První rychlostí o velikosti 20 m/s, druhé rychlostí o velikosti 30 m/s. Obě auta jsou schopna zastavit z rychlosti o velikosti 25 m/s za 5 s.

Jak daleko musí být od sebe auta, aby se nesrazila? (reakční dobu zanedbejte)

$$v_1 = 20 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 30 \text{ m/s}$$

$$v_p = 25 \text{ m/s}$$

$$t = 5 \text{ s}$$

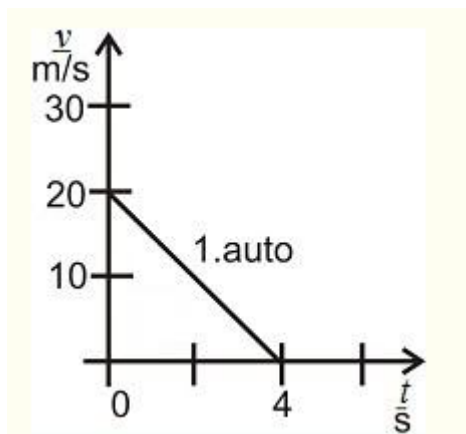
Předpokládáme, že pokles rychlosti je rovnoměrný. Určíme zpomalení obou automobilů. Dosadíme do vztahu (9)  $v = 0 \text{ m/s}$  a máme,

$$a = \frac{v_p}{t}$$

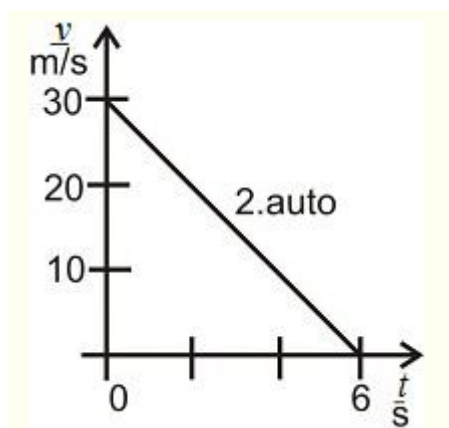
$$a = \frac{25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{5 \text{ s}} = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}.$$

Velikosti zpomalení obou aut je  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Dobu do zastavení obou automobilů lze snadno určit graficky. Z obr. 18 nahlédneme, že první auto zastaví za 4 s, z obr. 19 vidíme, že druhé auto zastaví za 6 s.



Graf 3 - Graf závislosti rychlosti prvního auta na čase.



Graf 4 - Graf závislosti rychlosti druhého auta na čase.

Nyní budeme řešit úlohu početně s využitím vztahů pro rovnoměrně zpomalený přímočarý pohyb.

Velikosti rychlostí aut:

$$v_1 = 20\text{m/s}$$

$$v_2 = 30\text{m/s}$$

Zpomalení aut:

Výpočet dráhy zastavení:

Rychlost a dráha rovnoměrně zpomaleného přímočarého pohybu se s časem mění podle vztahů (9) a (10).

V okamžiku zastavení bude rychlost auta nulová. Ze vztahu (9) pro rychlost zjistíme čas zastavení  $t_z$ . Platí:

$$0 = v_{1,2} - at_z,$$

kde za  $v_{1,2}$  dosadíme počáteční rychlosti obou automobilů.

Odtud vyjádříme:

$$t_z = \frac{v_{1,2}}{a}$$

Dráhu zastavení  $s_z$  dostaneme dosazením za čas zastavení do vztahu (8):

$$s_z = v_{1,2}t_z - \frac{1}{2}at_z^2 = v_{1,2}\frac{v_p}{a} - \frac{1}{2}a\left(\frac{v_{1,2}}{a}\right)^2$$

$$s_z = \frac{v_{1,2}^2}{2a}$$

Dráha zastavení prvního auta:

$$s_1 = \frac{v_1^2}{2a}$$

$$s_1 = \frac{(20\text{m/s})^2}{2 \cdot 5\text{m/s}^2}$$

Dráha zastavení druhého auta:

$$s_2 = \frac{v_2^2}{2a}$$

$$s_2 = \frac{(30\text{m/s})^2}{2 \cdot 5\text{m/s}^2}$$

Aby se auta nesrazila, musela by být od sebe vzdálena:

$$s = s_1 + s_2$$

$$s = \frac{(20\text{m/s})^2}{2 \cdot 5\text{m/s}^2} + \frac{(30\text{m/s})^2}{2 \cdot 5\text{m/s}^2}$$

$$s = 130\text{m}$$

Aby se auta nesrazila, musela by být od sebe vzdálena 130 m.

### 15. Zadání:

Ve městě došlo k dopravní nehodě. Osobní automobil porazil malé dítě, které mu vběhlo do cesty. Řidič vypověděl, že jel z práce rychlostí 50 km/h a dítěte si všiml, když míjel poštovní schránku vzdálenou od místa nehody 25m. Uvažujme, že reakční doba řidiče po osmi hodinách v práci je cca 0,2s. Zpomalení zastavujícího automobilu je  $5\text{m/s}^2$ . Jsou údaje vypovězené řidičem pravdivé?

Řešení:

$s_p$  ... vzdálenost, na kterou bylo dítě spatřeno

$s$  ... dráha potřebná pro zastavení

$v_p$  ... původní rychlost vozidla (dle řidiče 50km/h)

$a$  ... zpomalení brzdícího vozu ( $-5\text{km/s}^2$ )

$t_r$  ... reakční doba řidiče (v dané situaci hodnota odpovídá 0,2s)

Rychlost a dráha rovnoměrně zpomaleného přímočarého pohybu se s časem mění podle vztahů (9) a (10).

V okamžiku zastavení bude rychlost auta nulová. Ze vztahu (9) pro rychlost zjistíme čas zastavení  $t_z$ . Platí:

$$0 = v_p - at_z$$

Odtud:

$$t_z = \frac{v_p}{a}$$

$$t_z = \frac{13,9}{5} \text{ s}$$

$$t_z = 2,78\text{s}$$

Řidič si všiml dítěte ve vzdálenosti 25m. Ještě 0,2s jel rychlostí 50km/h. Za tuto dobu ujel vzdálenost  $s_r$ .

$$s_r = 13,9 \text{ m/s} \cdot 0,2 \text{ s}$$

$$s_r = 2,78 \text{ m}$$

Nyní můžeme dosadit hodnoty do vztahu (11) :

$$s = s_r + v_p t - \frac{1}{2} a t^2$$

$$s = 2,78 \text{ m} + 13,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2,78 \text{ s} - \frac{1}{2} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (2,78 \text{ s})^2$$

$$s = 22,101 \text{ m}$$

$$s < s_p$$

Z výpočtu vyplývá, že automobil by měl za daných podmínek zastavit na 22,101m. Znamená to tedy, že informace podané řidičem nejsou pravdivé, neboť by řidič automobil stihl zastavit včas.

### 16. Zadání:

Dva automobily jedou městem za sebou rychlostí 50 km/h. Červený automobil, který jede první, náhle zabrzdí až do úplného zastavení. V jaké minimální bezpečné vzdálenosti musí jet modrý automobil, aby dokázal zastavit nejméně 2 metry od červeného automobilu, když řidičova reakční doba bude 0,25 s? Jaká je brzdná dráha obou automobilů? Zpomalení brzdících automobilů je 5 m/s<sup>2</sup>.

$$v_p = 50 \text{ km/h} = 13,9 \text{ m/s}$$

$$a = 5 \text{ m/s}^2$$

Nejprve musíme vypočítat, jakou dráhu ujede červený automobil od okamžiku brzdění, do absolutního zastavení:

V okamžiku zastavení bude rychlost auta nulová. Proto platí:

$$0 = v_p - at_z$$

Odtud:

$$t_z = \frac{v_p}{a}$$

$$t_z = \frac{13,9 \text{ m/s}}{5 \text{ m/s}^2}$$

$$t_z = 2,78 \text{ s}$$

První automobil tedy zastaví za dobu 2,78s.

Nyní můžeme dosadit do vztahu pro dráhu:

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

$$s = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 2,78^2 \text{ m}$$

$$s = 19,32 \text{ m}$$



První automobil tedy zastaví na dráze 19,32 m.

Řidič druhého vozu ovšem nezačne brzdit ve stejnou chvíli, jako řidič prvního vozu, ale o dobu  $t_r$  později. Vypočítáme, jak velkou vzdálenost ujede druhý vůz za reakční dobu řidiče:

$$s_r = v_p \cdot t_z$$

$$s_r = 13,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,25\text{s}$$

$$S_r = 3,475 \text{ m}$$

Řidič druhého automobilu ujede za reakční dobu dalších 3,475 m. Požadovaná vzdálenost zastavení od prvního auta byla nejméně 2 metry. Výsledná minimální bezpečná vzdálenost automobilů by tedy byla 5,475 m. Pro danou situaci by měla tato vzdálenost stačit, ale není radno přeceňovat své schopnosti. Pro bezpečnou jízdu dodržujte bezpečnou vzdálenost větší!

### 17. Zadání:

Lupič ujížděl policii městem rychlostí 135 km/h. Policie před ním přichystala zátaras tak, aby byl nucen výrazně zpomalit, a odbočit do míst, kde ho snadněji chytí. Aby lupič projel přichystanou zatáčkou, musel by jet maximálně rychlostí 43,2 km/h. Dokáže pachatel zpomalit svůj vůz na požadovanou rychlost, když jeho auto zpomaluje se zpomalením  $5\text{m/s}^2$ , jeho reakční doba je 0,22s a zátarasu si všimne 135m od něj?

$v$ ... maximální povolená rychlost pro projetí zatáčky 43,2 km/h = 12 m/s

$v_p$ ... původní rychlost vozu 135 km/h = 37,5 m/s

$s_r$ ...dráha ujetá za reakční dobu

$a$ ... rychlení vozu  $5\text{m/s}^2$

$t_r$  ... reakční doba 0,22 s

Rychlost a dráha rovnoměrně zpomaleného přímočarého pohybu se s časem mění podle vztahů (9)

Nejprve zjistíme čas ze vztahu (9):

$$v = v_p - at$$

$$t = \frac{v_p - v}{a}$$

$$t = \frac{25,5\text{m/s}}{5\text{m/s}^2}$$

$$t = 5,1 \text{ s}$$

Nyní vyjádříme  $s_r$ :

$$s_r = v_p \cdot t_r$$

$$s_r = \frac{37,5\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,22\text{s}$$

$$s_r = 8,25 \text{ m}$$

Nyní známé hodnoty dosadíme do vztahu (11):

$$s = s_r + v_p t - \frac{1}{2} a t^2$$

$$s = s_r + v_p t - \frac{1}{2} a t^2$$

$$s = 8,25 \text{ m} + \frac{37,5 \text{ m}}{\text{s}} \cdot 5,1 \text{ s} - \frac{1}{2} \cdot 5 \text{ m/s}^2 \cdot 5,1^2 \text{ s}$$

$$s = 134,475 \text{ m}$$

$$134,475 \text{ m} < 135 \text{ m}$$

Prchající zločinec stihne snížit rychlost před zatáčkou.

## 10.5 Úlohy o kinetické a potenciální energii

18. Zadání:

Jakou kinetickou energii má sportovně laděný automobil Mustang Shelby GT 500 1964 o pohotovostní hmotnosti 1478 kg, který se pohybuje rychlostí 260 km/h? Vůz řídí řidič o hmotnosti 85kg.

$$m = 1478\text{kg}$$

$$m_{\text{řidiče}} = 85\text{kg}$$

$$v = 260 \text{ km/h}$$

$$E_k = ?$$

Dosadíme do vztahu (13) známé hodnoty. Za hmotnost dosadíme součet pohotovostní hmotnosti vozidla a hmotnost řidiče.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot (1478 + 85)\text{kg} \cdot 72,2^2\text{m/s}$$

$$E_k = 4073834,46\text{J} = 4,1 \text{ MJ}$$

Automobil Mustang Shelby GT 500 z roku 64 má kinetickou energii 4,1 MJ.

19. Zadání:

Z jaké výšky je třeba pustit testovaný automobil o hmotnosti 1450kg, aby simuloval rychlost nárazu 72 km/h? (Způsob testování čelních nárazů vozidla do pevné překážky.)

$$m=1450\text{kg}$$

$$v=72\text{km/h}=20\text{m/s}$$

Ze zákona zachování energie zde platí  $E_k = E_p$ , dosazení ze vztahů (12) a (13):

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

Hmotnosti můžeme zkrátit, takže na hmotnosti nezáleží. Následně vyjádříme výšku  $h$ :

$$h = \frac{v^2 \frac{1}{2}}{g}$$

$$h = \frac{20^2}{9,81} \text{ m}$$

$$h = 20,4 \text{ m}$$

Automobil je třeba shodit z výšky 20,4 m.

20. Zadání:

Automobil o hmotnosti 1465 kg byl spuštěn z výšky 14 metrů. Jakou rychlostí dopadl na testovací podložku?

$$m=1465\text{kg}$$

$$h= 14\text{m}$$

$$v=?$$

Obecně řešíme stejně, jako v předešlé úloze:

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

Hmotnosti můžeme zkrátit, takže na hmotnosti nezáleží. Následně osamostatníme rychlost  $v$ :

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 14} \text{ m/s}$$

$$v = 16,6 \text{ m/s}$$

Automobil dopadl na podložku rychlostí 16,6 m/s tj. téměř 60km/h.

21. Zadání:

Jakou hmotnost má dodávka jedoucí rychlostí  $v_2 = 55 \text{ km/h}$  když její kinetická energie byla stejná, jako kinetická energie osobního automobilu o hmotnosti  $1540 \text{ kg}$  jedoucího rychlostí  $v_1 = 72 \text{ km/h}$ .

$$v_1 = 72 \text{ km/h}$$

$$m_1 = 1540 \text{ kg}$$

$$v_2 = 55 \text{ km/h}$$

$$m_2 = ?$$

Ze vztahu (13) pišme

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

$$m_2 = \frac{m_1 v_1^2}{v_2^2}$$

$$m_2 = \frac{m_1 v_1^2}{v_2^2}$$

$$m_2 = \frac{1540 \text{ kg} \cdot 20^2 \text{ m/s}}{15,3^2 \text{ m/s}}$$

$$m_2 = 2631,5 \text{ kg}$$

Dodávka měla hmotnost  $2631,5 \text{ kg}$ .

## 11 Závěr

Nehodovost na pozemních komunikacích České republiky je stále velmi vysoká. Ve své diplomové práci zmiňuji historii silniční dopravy a automobilového průmyslu, typy nehod, chování řiče, technický stav vozidel i stav pozemních komunikací.

Praktická část řeší problematiku bezpečnosti silniční dopravy v podobě fyzikálních úloh pro žáky středních škol. Popisují bezpečné předjíždění, udržování bezpečné vzdálenosti s ohledem na reakční doby řidičů, bezpečnou rychlost v zatáčkách, či energii jedoucích vozidel. Pevně věřím, že tyto úlohy přivedou určité množství žáků ke studiu fyziky, neboť jsou navrženy tak, aby poukázaly na praktické využití fyziky.

Součástí praktické části byl rovněž malý výzkum reakčních dob, prováděný na lidech z mého okolí. Problematika měření byla vcelku snadná, dokud nedošlo na měření podnapilých lidí. Než se mi podařilo změřit reakční doby deseti lidí po osmi pivech 12°, popřípadě deset lidí po 3 sklenkách slivovice o objemu 0,04l, začínal jsem se bát, že měření ani nedokončím. Každé měření jedince jsem musel provádět několikrát, neboť program pro měření měl své drobné nedostatky, které bohužel značně ovlivňovaly výsledky měření. Získávání dat pro tento výzkum mi trvalo více než tři měsíce, ale nakonec bylo zakončeno úspěšně a výsledky vcelku odpovídaly tabulkovým hodnotám, které jsou dostupné.

I přes mnohé komplikace během psaní diplomové práce doufám, že jsem zadání splnil, a svou tvorbou příkladů decentně přispěl k přivedení více žáků ke studiu fyziky.



## 12 Seznam použité literatury

- [1] Šedivková Radka. Fyzika a bezpečnost silniční dopravy : Bakalářská práce. Hradec Králové : Univerzita Hradec Králové. Přírodovědecká fakulta. 2013. Vedoucí práce: prof. RNDr. Ivo Volf, CSc. 68 stran.
- [2] Automobil [online] [cit. 2015-04-23] Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Automobil#Historie>
- [3] Čtyřdobý spalovací motor [online] [cit. 2015-04-23] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cty%C5%99dob%C3%BD\\_spalovac%C3%AD\\_motor](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cty%C5%99dob%C3%BD_spalovac%C3%AD_motor)
- [4] Ford model T [online] [cit. 2015-04-25] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Ford\\_model\\_T](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ford_model_T)
- [5] Automobilový průmysl [cit. 2015-04-25] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Automobilov%C3%BD\\_pr%C5%AFmysl](https://cs.wikipedia.org/wiki/Automobilov%C3%BD_pr%C5%AFmysl)
- [6] Zákony ČR online - úplná znění zákonů, přehled právních předpisů platných v ČR a zákony zdarma. [online]. [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.zakonycr.cz/seznamy/361-2000-sb-zakon-o-provozu-na-pozemnich-komunikacich-a-o-zmenach-nekterych-zakonu.html>.
- [7] Dopravní nehoda. [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Silniční\\_dopravní\\_nehoda](https://cs.wikipedia.org/wiki/Silniční_dopravní_nehoda)
- [8] Pavel Bořek. Nedbalostní dopravní nehody a vybrané otázky jejich dokazování Právnická fakulta Masarykovy univerzity Katedra trestního práva. Vedoucí práce: JUDr. Vladimír Kratochvíl, CSc. 45 stran
- [9] Seznam nejtragičtějších příčin dopravních nehod: <http://www.autorevue.cz/policejni-statistika-rychlost-neni-nejcastejsi-pricinou-nehody>
- [10] Definice agresivního řidiče [online]. [cit. 2015-07-20]. Dostupné z: [http://zpravy.idnes.cz/chystana-evidence-agresivnich-ridicu-dwm-/krimi.aspx?c=A110919\\_134324\\_krimi\\_cen](http://zpravy.idnes.cz/chystana-evidence-agresivnich-ridicu-dwm-/krimi.aspx?c=A110919_134324_krimi_cen)

- [11] Kapitola V. Dopravní nehodovost (ČÁST 1) | Zvýšení vědeckovýzkumného potenciálu pracovníků a studentů. [online]. [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/97>.
- [12] Program: [http://www.bbc.co.uk/science/humanbody/sleep/sheep/reaction\\_version5.swf](http://www.bbc.co.uk/science/humanbody/sleep/sheep/reaction_version5.swf)
- [13] Ivo Volf: Několik úvah o výuce fyziky. Hradec králové, Gaudeamus 1997, ISBN 80-86148-05-X.
- [14] Strategie řešení fyzikální úlohy. [online] [cit. 2015-07-20]. [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4Is2VkSv\\_yIJ:www.jergym.cz/wp-content/uploads/2014/12/reseni\\_fyzikalni\\_ulohy.doc+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4Is2VkSv_yIJ:www.jergym.cz/wp-content/uploads/2014/12/reseni_fyzikalni_ulohy.doc+&cd=2&hl=cs&ct=clnk&gl=cz)
- [15] Volf Ivo. Metodika řešení úloh ve středoškolské fyzice. 3. Vydání. Hradec Králové : Gaudeamus, 1997, ISBN-80-7041-697-1. 49 stran.
- [16] Obrázek 1 z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Automobil#Historie>
- [17] Obrázek 2 z: [http://www.railian.com/Zpravodaj\\_2013/rijen.html](http://www.railian.com/Zpravodaj_2013/rijen.html)
- [18] Obrázek 3 z: [http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/ropa\\_2.html](http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/ropa_2.html)
- [19] Obrázek 4 z: <http://veteran.auto.cz/clanek/321/benz-patent-motorwagen-1885-1886-automobilu-je-125-let>
- [20] Obrázek 5 z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Automobil#Historie>
- [21] Obrázek 6 a 7 z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Ford\\_model\\_T](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ford_model_T)

- [22] Obrázek 8 a 9 screenshot z:  
[http://www.bbc.co.uk/science/humanbody/sleep/sheep/reaction\\_version5.swf](http://www.bbc.co.uk/science/humanbody/sleep/sheep/reaction_version5.swf)
- [23] Obrázek 10 z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/reakcni-doba-ridice/>
- [24] Obrázek 15 z: <http://www.pujcovna-legend.cz/a5-auto-s-ridicem-Ford-Mustang-GT500-Shelby-Eleanor-1967>
- [25] Tabulka 2 z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tření>
- Poznámka: Obrázky, grafy a tabulky bez uvedeného čísla zdroje jsou vlastní tvorba.