ZJIŠTĚNÍ HODNOT ZRYCHLENÍ A ZPOMALENÍ JÍZDNÍCH KOL

Tomáš Fedra[41]

Abstrakt

Pro řešení dopravních nehod jsou v dnešní době kromě početní analýzy metodou zpětného odvíjení nehodového děje hojně používány počítačové simulační programy, které výrazně ulehčují práci soudních znalců. Aby také výsledky těchto simulací byly co nejvíce ve shodě s realitou, je nutné používat správná vstupní data. Tento příspěvek se zabývá vybranými měřeními pohybu jízdních kol, a to zjištěním hodnot zrychlení a zpomalení jízdních kol. V textu je uveden postup měření a popis vstupních parametrů pro experimenty provedené na Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně. Výsledné hodnoty jsou porovnány s experimenty provedenými v zahraničí. V příspěvku je dále rozpracován návrh metodiky měření zrychlení a zpomalení jízdních kol, který by měl sloužit jako postup pro další měření, aby byly srovnatelné.

ÚVOD

V dnešní době je cyklistika velmi oblíbeným sportem, který provozuje stále více lidí různých úrovní a dovedností, např. profesionálové, rekreační sportovci nebo rodiny s dětmi. Došlo také k velkému technickému pokroku jízdních kol, zlepšení jízdních vlastností, účinnosti brzd, ovladatelnosti jízdního kola a další. Zlepšila se také viditelnost cyklistů pomocí dokonalejších předních i zadních svítilen a různých reflexních prvků připevněných na jízdním kole nebo na oblečení.

Tento pokrok přispívá ke zvýšení bezpečnosti cyklistů. I tak se každoročně stane mnoho dopravních nehod, ve kterých jsou účastni právě cyklisté. Při jízdě na kole provádí cyklista různé manévry, které mohou vést k nehodě. Těmi závažnými jsou rozjezd, brzdění, manévrování v jízdním koridoru, jízda v oblouku a další. Pro správné posouzení dopravních nehod s cyklisty je nutné použít správné vstupní hodnoty, aby se výsledky počítačových simulací shodovaly s realitou. Hodnoty zrychlení a zpomalení cyklistů budou rozebrány v této práci.

STATISTIKA NEHODOVOSTI CYKLISTŮ

Na pozemních komunikacích stále dochází k velkému počtu dopravních nehod s cyklisty. Spolu s chodci jsou cyklisté nejvíce ohroženou skupinou účastníků silničního provozu, protože při dopravní nehodě dochází přímo ke střetu jejich těl s poměrně tuhou bariérou (vozidlo, strom, vozovka,…) zatímco řidiče motorových vozidel chrání konstrukce vozidla. Proto bývají následky těchto nehod pro cyklisty velmi závažné.

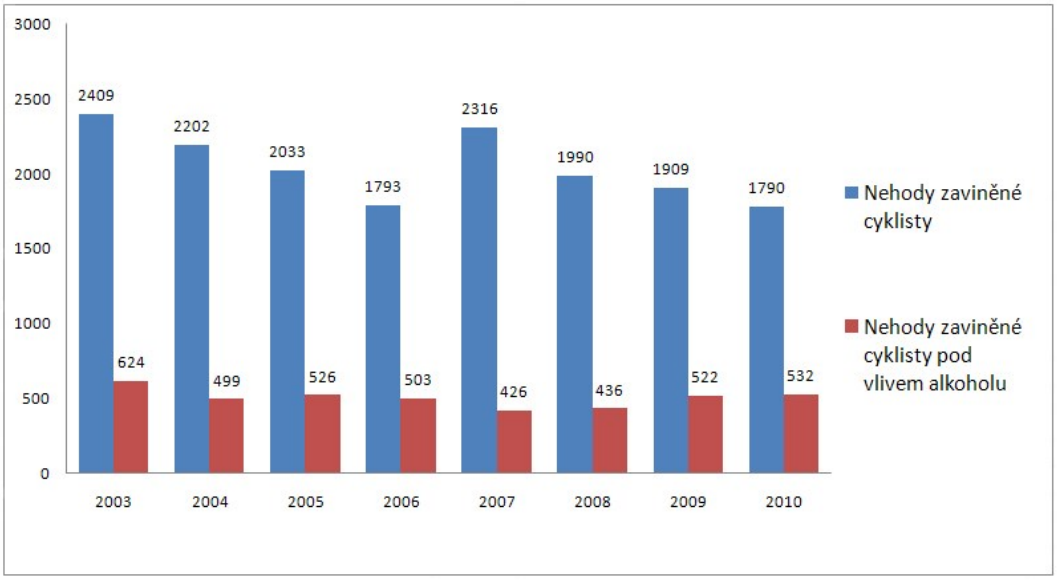
Ze statistik nehodovosti zveřejněné Policií ČR v letech 2003 až 2010 byly vybrány hodnoty, které ukazují důležité trendy nehod s cyklisty. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty nehod zaviněných cyklisty a nehod zaviněných cyklisty pod vlivem alkoholu [4].

[41] Fedra, Tomáš, Ing. – Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Údolní 244/53, 602 00 Brno, +420 777 627 421, tomas.fedra@usi.vutbr.cz

Tabulka č. 8 – Nehody zaviněné cyklisty [4]

Rok	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Nehody zaviněné cyklisty	2409	2202	2033	1793	2316	1990	1909	1790
Nehody zaviněné cyklisty pod vlivem alkoholu	624	499	526	503	426	436	522	532

Tyto hodnoty jsou pro názornost převedeny do grafické podoby:



Obrázek č. 13 – Nehody zaviněné cyklisty [4]

Z tohoto grafu vyplývá, že za sledované období má počet nehod zaviněných cyklisty mírně klesající tendenci. Z porovnání počtu nehod zaviněných střízlivými a opilými cyklisty vyplývá, že průměrně *25* % cyklistů, kteří způsobili dopravní nehodu, bylo pod vlivem alkoholu. Tento fakt ukazuje na malou zodpovědnost cyklistů, kteří stále berou jízdu na kole jako druh relaxace spojený s návštěvou restauračních zařízení a konzumací alkoholu. Pro srovnání je uveden poměr nehod zaviněných střízlivými a opilými řidiči motorových vozidel, ze kterého vyplývá, že průměrně *4,3* % řidičů, kteří způsobili dopravní nehodu, bylo pod vlivem alkoholu. Z důvodu nedostatečných údajů o počtu nehod zaviněných cyklisty v letech 2003 – 2007 byla tato hodnota dopočítána ze závažnosti nehod, která je zaokrouhlena na jedno desetinné místo, a proto se tato hodnota může drobně lišit (+/- 10 nehod). Na výše uvedené trendy to ovšem nemá podstatný vliv.

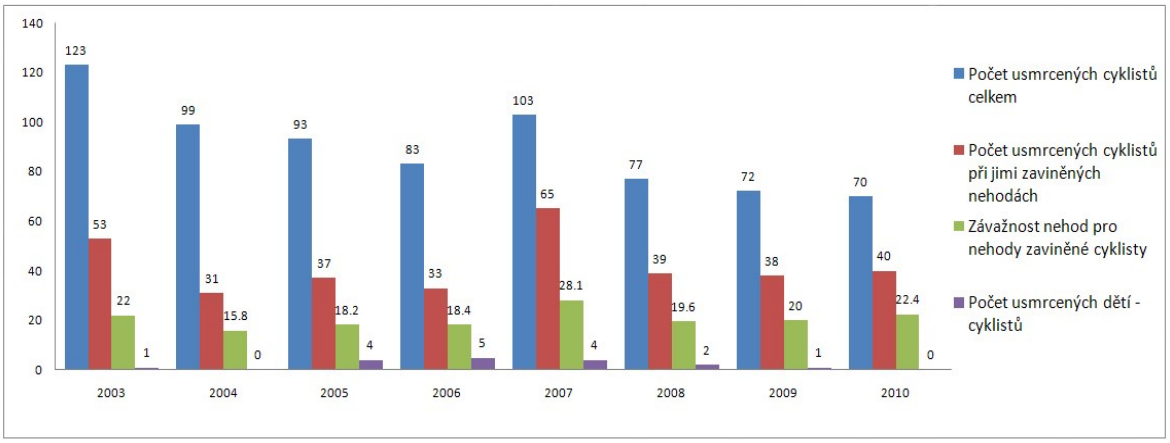
V následující tabulce je uveden počet usmrcených cyklistů, počet usmrcených cyklistů při jimi zaviněných nehodách, závažnost nehod a počet usmrcených dětí – cyklistů v letech 2003 – 2010 [4].

Tabulka č. 2 – Počty usmrcených cyklistů [4]

Rok	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Počet usmrcených cyklistů celkem	123	99	93	83	103	77	72	70
Počet usmrcených cyklistů při jimi zaviněných nehodách	53	31	37	33	65	39	38	40
Závažnost nehod	22	15.8	18.2	18.4	28.1	19.6	20	22.4
Počet usmrcených dětí - cyklistů	1	0	4	5	4	2	1	0

Ve sledovaném období má počet usmrcených cyklistů mírně klesající tendenci, stejně jako množství nehod způsobených cyklisty, které spolu do značné míry souvisí. Z průměrného porovnání počtu usmrcených cyklistů celkem a při cyklisty zaviněných nehodách vyplývá, že *47,2* % usmrcených cyklistů zavinilo dopravní nehodu. Závažnost nehod, ukazující počet usmrcených osob připadajících na 1000 nehod zaviněných cyklisty, má mírně vzrůstající charakter a za sledované období má průměrnou hodnotu *20,6* [4].

Hodnoty z tabulky *Tab. 2* jsou ukázány v následujícím grafu:



Obrázek č. 2 – Počty usmrcených cyklistů [4]

MĚŘENÍ JÍZDNÍCH MANÉVRŮ

Nejen při tvorbě počítačové simulace je nutné zadávat správné hodnoty charakteristik jízdních manévrů, aby jejich výsledky byly co nejvíce ve shodě s realitou. V rámci zpracování závěrečných prací byla na Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně provedena měření rozjezdu cyklistů a brzdění jízdních kol. Metodika měření a výsledné hodnoty jsou rozebrány v následujícím textu.

Měření zrychlení cyklistů na ÚSI VUT – 1. experiment

Měření zrychlení cyklistů bylo provedeno na rovném úseku vozovky. Zde byla vytyčena dráha o délce *15* m. Zrychlení bylo měřeno pro 7 různých převodových stupňů. Pro zpřesnění výsledků bylo každé měření opakováno 5krát. Čas byl měřen pomocí stopek. Cílem figurantů bylo projet měřený úsek co nejrychleji a s co největší počáteční akcelerací [3].

Vstupní parametry

Pro měření byli vybráni následující dva cyklisté:

- Muž: věk *34* let, výška *188* cm, váha *102* kg, relaxační sportovec
- Žena: věk *32* let, výška *170* cm, váha *62* kg, relaxační sportovkyně

Měření bylo provedeno na dlážděném suchém povrchu při teplotě *16*°C. Bylo použito horské kolo značky Heavy Tools s přehazovačkou Shimano. Při měření používali cyklisté pouze vybrané převodové stupně [3]:

$$i_1 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{28}{49} = 0{,}57 \qquad (1)$$

$$i_2 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{21}{38} = 0{,}55 \qquad (2)$$

$$i_3 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{24}{49} = 0{,}49 \qquad (3)$$

$$i_4 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{21}{49} = 0{,}43 \qquad (4)$$

$$i_5 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{18}{49} = 0{,}37 \qquad (5)$$

$$i_6 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{15}{49} = 0{,}31 \qquad (6)$$

$$i_7 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{13}{49} = 0{,}27 \qquad (7)$$

Naměřené hodnoty

V následující tabulce jsou zaznamenány všechny naměřené hodnoty z experimentu:

Tabulka č. 3 – Hodnoty získané při měření zrychlení cyklistů [3]

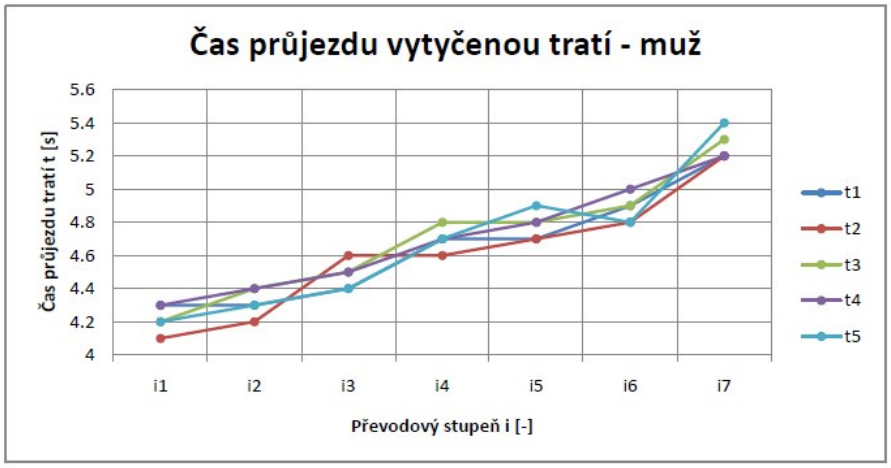
	Převodový stupeň i [-]	Čas průjezdu vytyčenou tratí					Průměrné zrychlení a [m/s^2]
		t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	t_4 [s]	t_5 [s]	
Muž	i_1	4,3	4,1	4,2	4,3	4,2	1,68
	i_2	4,3	4,2	4,4	4,4	4,3	1,61
	i_3	4,4	4,6	4,5	4,5	4,4	1,49
	i_4	4,7	4,6	4,8	4,7	4,7	1,36
	i_5	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	1,31
	i_6	4,9	4,8	4,9	5,0	4,8	1,26
	i_7	5,2	5,2	5,3	5,2	5,4	1,08
Žena	i_1	4,5	4,4	4,5	4,4	4,3	1,54
	i_2	4,5	4,5	4,4	4,3	4,5	1,52
	i_3	4,6	4,6	4,7	4,5	4,5	1,43
	i_4	4,6	4,7	4,7	4,8	4,6	1,37

	i_5	4,8	4,8	5,1	5,0	4,9	1,24
	i_6	5,1	5,1	5,2	5,1	5,3	1,13
	i_7	5,2	5,3	5,4	5,3	5,3	1,07

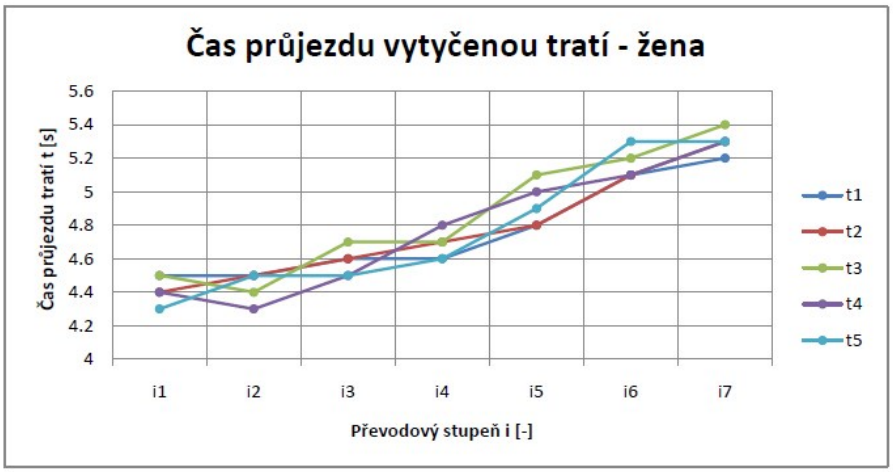
Průměrné zrychlení v tabulce **Tab. 3** bylo počítáno podle následujícího vzorce [1]:

$$a = \frac{2 \cdot s}{t^2} \tag{8}$$

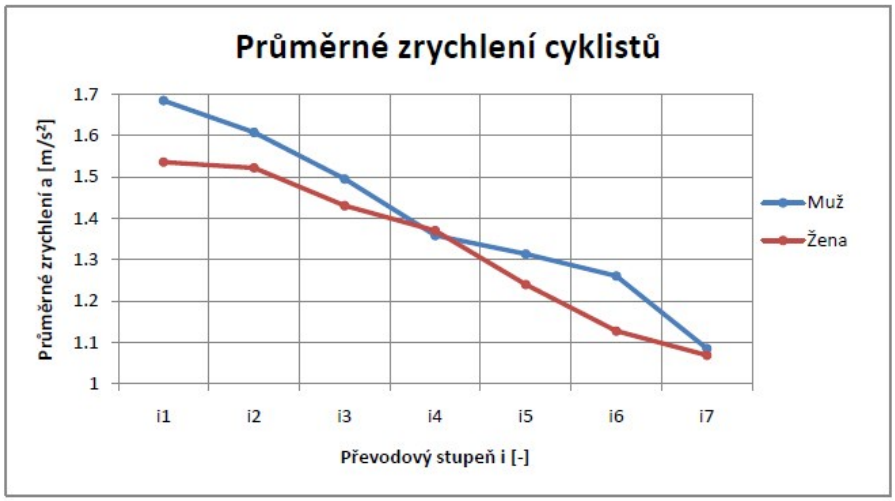
V následujících grafech jsou znázorněny časy průjezdů vytyčenou tratí pro muže a ženu a průměrné zrychlení cyklistů:



Obrázek č. 3 – Čas průjezdu vytyčenou tratí – muž [3]



Obrázek č. 4 – Čas průjezdu vytyčenou tratí – žena [3]



Obrázek č. 5 – Průměrné zrychlení cyklistů [3]

Vyhodnocení naměřených hodnot

Experiment byl prováděn na dráze dlouhé *15* m. Cyklisté potřebovali pro ujetí této vzdálenosti z klidové polohy *4,1* až *5,4* sekund. Tento čas byl ovlivněn použitým převodovým stupněm, který byl volen v rozmezí *0,57* až *0,27*, a také fyziologickými schopnostmi figurantů. Muž dosahoval průměrně o *0,12* s lepších časů než žena. Z naměřených hodnot je patrné, že při snižování převodových stupňů docházelo k prodlužování časů o *0,1* až *0,3* s. Dosažené zrychlení cyklistů se v závislosti na zvoleném převodovém stupni pohybovalo v rozmezí *1,07* až *1,68* m/s^2. U brzdění s kotoučovými brzdami je z důvodu jejich vysoké citlivosti obtížné brzdit na hranici blokace, a proto je uváděné rozmezí poměrně velké [3].

Měření zrychlení cyklistů na ÚSI VUT – 2. experiment

Cílem tohoto měření bylo stanovení průběhu rozjezdu cyklistů. Proto byl měřený úsek o délce *8* m rozdělen ještě na jednotlivé podúseky o délkách *2* m (tedy *2*, *4*, *6* a *8* m). Měření probíhalo na suchém vodorovném, asfaltovém povrchu. Zúčastnilo se celkem 119 cyklistů (muži i ženy), kteří byli podle svého věku a uplatněné metodiky měření rozděleni do následujících skupin:

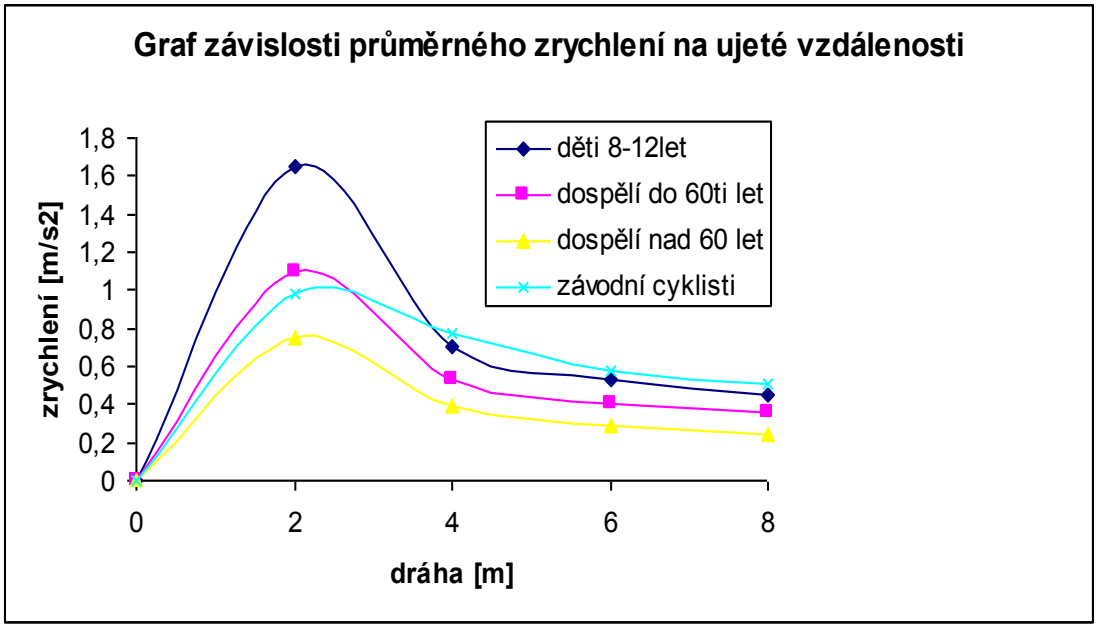
1. metodika: a) děti *8* až *12* let
   b) dospělí *13* až *60* let
   c) *61* let a více
   d) trénovaní a závodní cyklisté
2. metodika: a) děti *6* až *14* let
   b) mladí *15* až *25* let
   c) dospělí *26* až *50* let
   d) dospělí *51* až *65* let
   e) *66* let a více

Při testech jezdili cyklisté na svých kolech, která byla v dobrém stavu a byla ideálně nahuštěna. Před jízdou byli o experimentu informováni a zrychlovali s maximálním možným zrychlením. Vyznačené měřené úseky byly připraveny pomocí pásma. Čas byl měřen od odpoutání volné nohy cyklisty od země až po průjezd jednotlivými úseky a to pomocí

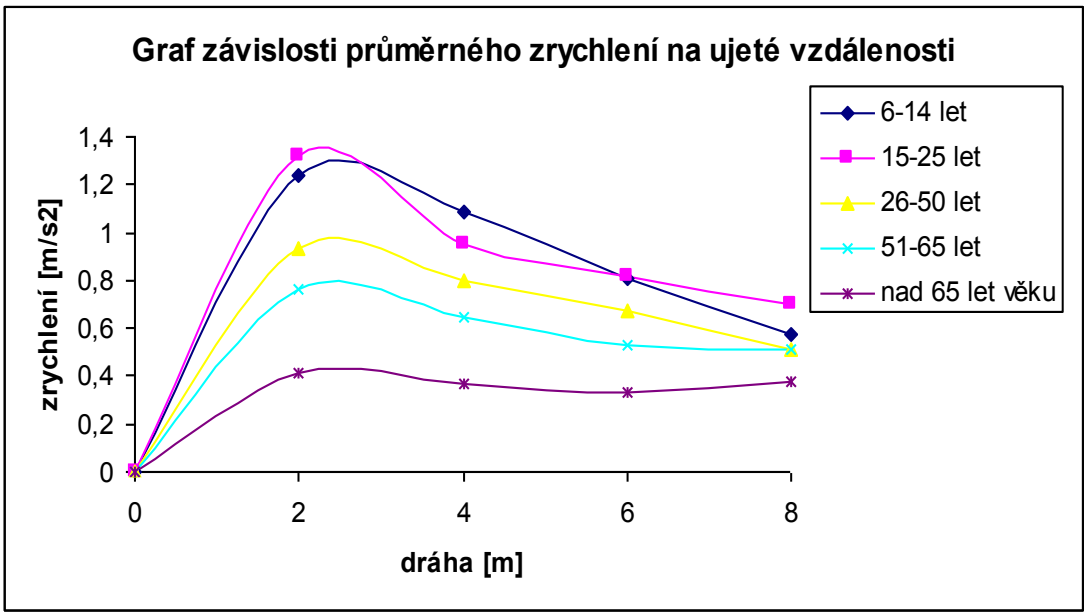
stopek s přesností *0,01* s. Výsledné hodnoty zrychlení pro jednotlivé věkové skupiny jsou uvedeny v následující tabulce a grafech [6]:

Tabulka č. 4 – Hodnoty zrychlení cyklistů [6]

			Úsek měření [m]				Prům. zrychlení pro 8 m úsek [m/s^2]
			0 až 2	0 až 4	0 až 6	0 až 8	
Průměrné zrychlení úseku [m/s^2]	1. metoda	8 až 12	1,65	0,7	0,53	0,45	0,9
		13 až 60	1,1	0,53	0,40	0,36	0,72
		61 a více	0,75	0,39	0,29	0,24	0,48
		sportovci	0,98	0,77	0,58	0,51	1,02
	2. metoda	6 až 14	1,24	1,09	0,81	0,57	1,14
		15 až 25	1,32	0,95	0,82	0,70	1,41
		26 až 50	0,93	0,80	0,67	0,51	1,03
		51 až 65	0,76	0,65	0,53	0,51	1,03
		66 a více	0,41	0,37	0,33	0,38	0,76



Obrázek č. 6 – Graf závislosti průměrného zrychlení na ujeté vzdálenosti – 1. metodika [6]



Obrázek č. 7 – Graf závislosti průměrného zrychlení na ujeté vzdálenosti – 2. metodika [6]

Z předcházejících grafů je patrné, že největší zrychlení dosahovali cyklisté v prvních dvou metrech měřeného úseku a následně velikost zrychlení klesala [6].

Zahraniční studie zrychlení cyklistů [7]

Tato studie se zaměřila na měření zrychlení a zpomalení horských kol (výsledky pro zpomalení budou popsány později). Měření probíhalo na vodorovné asfaltové komunikaci a polní cestě. V den experimentu byl povrch obou cest suchý a teplota vzduchu byla cca *19 °*. Při měření byl použit profesionální radar Stalker ATS a ruční kamera. Experimentu se zúčastnilo 6 cyklistů s jejich vlastními koly. Pět kol mělo brzdy typu Contilever nebo V – brzdy, pouze jedno kolo mělo kotoučové brzdy [7].

Při startu každé jízdy měl cyklista jednu nohu na pedálu a druhou na zemi. Pro měření průměrného zrychlení byl počáteční bod brán jako první kladná změna zrychlení a poslední bod byl brán jako poslední kladná hodnota zrychlení před tím, než zrychlení začalo být nulové nebo záporné. Doba trvání byla v rozsahu *4* až *7* sekund. Výsledky měření jsou v následující tabulce [7]:

Tabulka č. 5 – Hodnoty zrychlení cyklistů – horská kola[7]

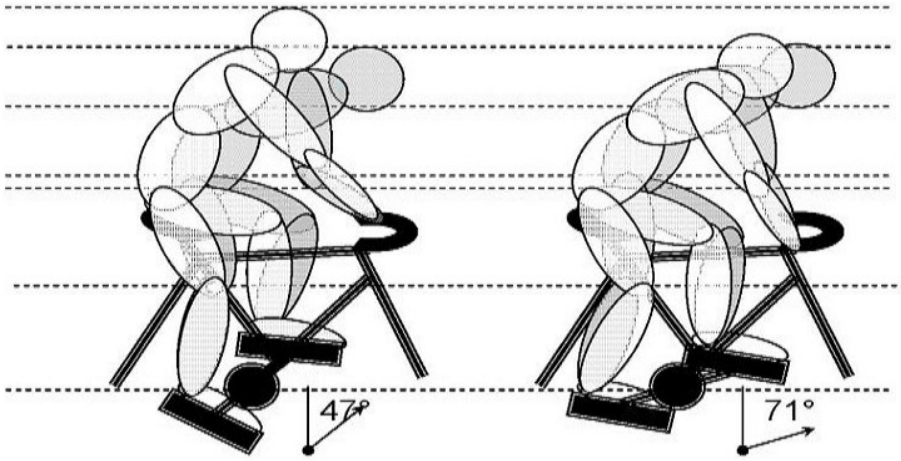
Druh povrchu	Průměrné zrychlení [m/s^2]	Rozsah [m/s^2]
Polní cesta	0,98	0,78 až 1,18
Asfaltová komunikace	1,28	0,98 až 1,47

Z výsledků je patrné, že zrychlení bylo větší na asfaltové komunikaci než na polní cestě [7].

Zahraniční studie zrychlení cyklistů se zaměřením na startovní pozici [8]

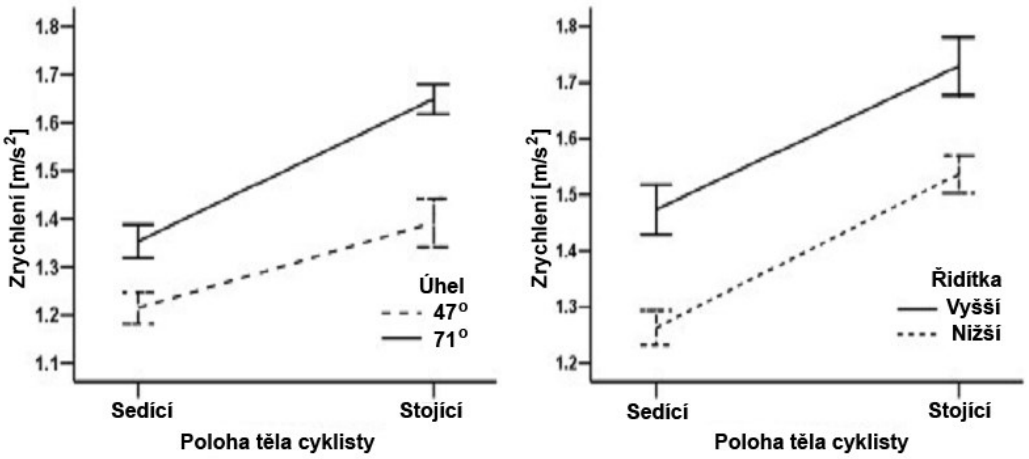
Tato studie se zaměřila na optimalizaci startovní pozice cyklisty pro dosažení co nevyššího počátečního zrychlení. Experimentu se zúčastnilo 6 profesionálních cyklistů, kteří měli srovnatelné fyzické parametry. Cyklisté jezdili na závodních kolech s tradičními řidítky.

Měření probíhalo v laboratorních podmínkách na úseku dlouhém *5* m a celý průběh byl zaznamenáván vysokorychlostní kamerou. Počáteční polohy cyklistů byly následující: sedící vs. stojící cyklista, vyšší vs. nižší držení řidítek, úhel natočení kliky *47°* vs. *71°* (viz následující obrázek) [8].



Obrázek č. 8 – Počáteční polohy cyklistů [8]

Výsledky experimentu jsou ukázány na následujících grafech:



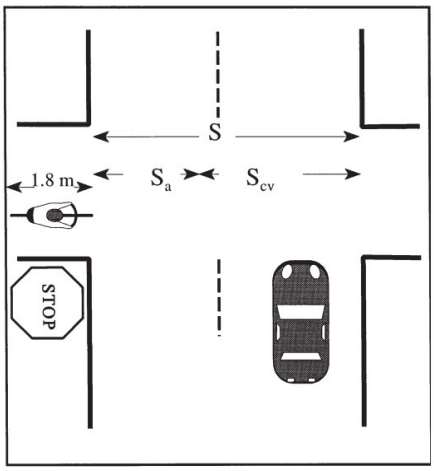
Obrázek č. 9 – Grafy zrychlení cyklistů v závislosti na počátečních podmínkách [8]

Levý graf ukazuje závislost zrychlení na poloze cyklisty a úhlu natočení kliky. Z grafu je patrné, že sedící cyklista s úhlem natočení kliky *47°* má o cca *0,45* m/s^2 nižší zrychlení než stojící cyklista s úhlem natočení kliky *71°*. Pravý graf ukazuje závislost zrychlení na poloze cyklisty a na výšce držení řidítek. Z grafu je patrné, že sedící cyklista s nižším držením řidítek má cca o *0,45* m/s^2 nižší zrychlení než stojící cyklista s vyšším držením řidítek [8].

Výsledky studie ukazují na fakt, že při zdánlivě nepodstatné změně startovací polohy cyklisty dochází k velkým rozdílům ve výsledném zrychlení. Proto je třeba tuto problematiku vzít v potaz při dalším měření zrychlení cyklistů [8].

Zahraniční studie zrychlení cyklistů se zaměřením na neinformované cyklisty [9] [10]

Cílem obou následujících studií bylo stanovení zrychlení cyklistů, kteří o experimentu nevěděli. Projížděli tedy měřeným úsekem tak, jak je jejich zvykem, nesoustředili se na svůj výkon, a neovlivnili výsledky měření. Data pro obě nezávislé studie byly získány měřením cyklistů, kteří přijížděli po vedlejší silnici a potřebovali přejet přes hlavní silnici na druhou stranu, aby mohli pokračovat svým směrem. Situace je ukázána na následujícím obrázku [9] [10]:

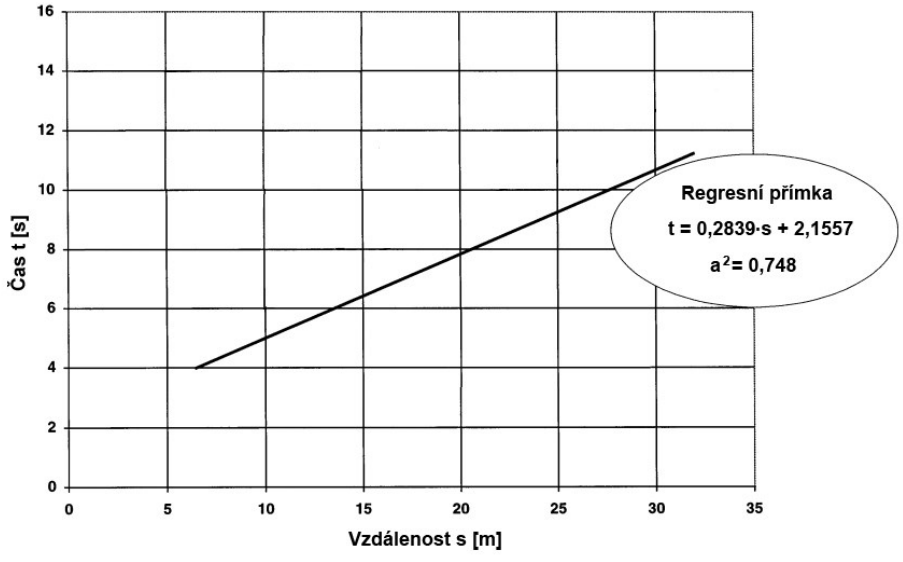


Obrázek č. 10 – Nákres místa pro měření zrychlení [9]

Data byla zaznamenávána pomocí speciálního kamerového systému s centrálním měřením času. Pro měření byli vybráni pouze cyklisté, kteří před křižovatkou zastavili a sundali alespoň jednu nohu z pedálu na zem. Pokud cyklista zastavil příliš daleko od křižovatky, byla tato jeho vzdálenost z video záznamu určena a připočítána k měřenému úseku pro zrychlení [9] [10].

Studie číslo 1

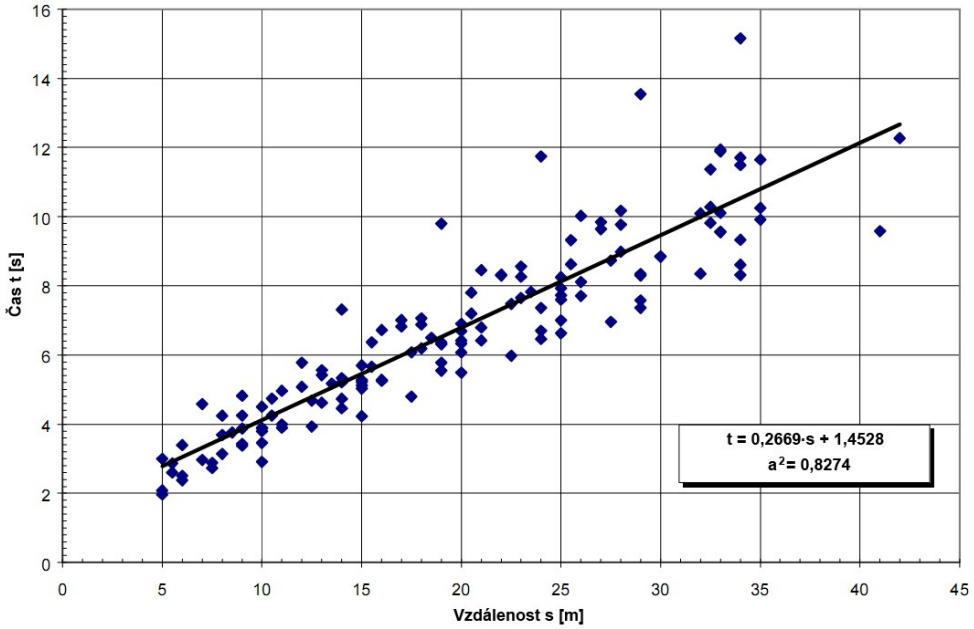
Při tomto experimentu bylo změřeno 442 cyklistů, jejichž věková struktura byla velmi rozmanitá (od dětí až po seniory). Pro měření byla použita šířka hlavní silnice *6* až *32* m. Výsledky jsou ukázány na následujícím grafu [9]:



Obrázek č. 11 – Výsledky studie neinformovaných cyklistů [9]

Studie číslo 2

Při tomto experimentu bylo změřeno 24 cyklistů. Nebylo hlavním cílem studie sledovat věk, ale většina cyklistů byla *20* až *40* let stará. Tento experiment se odehrál na křížení hlavní silnice s cyklostezkou. Na silnici byly nakresleny značky v intervalech o délkách *1* m před křižovatkou a *5* m v křižovatce. Pohyb cyklisty byl po startu vždy zaznamenáván v době, kdy projel značkou s intervalem *5* m. Výsledky jsou ukázány na následujícím grafu [10]:



Obrázek č. 12 – Výsledky studie neinformovaných cyklistů [10]

Výsledky předchozích studií jsou patrné z obrázků 11 a 12, kde je zobrazena regresní přímka a výsledné průměrné zrychlení. Pomocí rovnice regresní přímky je možné určit zrychlení cyklistů v jakékoli vzdálenosti od startu a určit také jejich rychlost.

Měření brzdění jízdních kol na ÚSI VUT

Cílem experimentu bylo zjištění brzdného zpomalení jízdních kol z různých rychlostí a při použití různých typů brzd. Při měření se cyklista rozjížděl z mírného kopce, aby dosáhl vyšších vstupních rychlostí. Samotné brzdění pak probíhalo na vodorovném úseku. Brzdění bylo prováděno s blokací kola a na hranici blokace. Měření bylo provedeno pomocí přístroje XL – meter, který je určený pro přesné měření zrychlení resp. zpomalení ve dvou osách. Tento přístroj byl připevněn speciálním držákem na sedlovku jízdního kola. Po upevnění byla provedena kalibrace, která zaručila optimální přesnost měření. Při každém měření zaznamenává XL – meter následující parametry [2]:

- s_0 [m] – délka brzdné dráhy
- v_0 [km/h] – rychlost na počátku brzdění
- t_{BR} [s] – čas od začátku do konce brzdění
- MFDD [m/s^2] – brzdné zpomalení podle evropských norem ECE R 13 a EEC71/320

Vstupní parametry

Měření bylo prováděno na komunikaci bez znečištění, jejímž povrchem byla živice. Pro měření byla vybrána dvě celoodpružená kola od firmy Merida, která jsou normálně používaná v provozu i v terénu. Tato kola jsou pravidelně servisována a před měřením nebyla speciálně připravována [2].

- Merida Big Air: - V – brzdy na předním i zadním kole
  - pneumatiky Michelin – opotřebení 10 %
- Merida Big Air Pro: - mechanické kotoučové brzdy na předním i zadním kole
  - pneumatiky Maxxis – opotřebení 10 %

V následující tabulce jsou zaznamenány všechny naměřené hodnoty z experimentu:

Tabulka č. 6 – Hodnoty získané při měření brzdného zpomalení [2]

	V – brzdy					Kotoučové brzdy				
	v_0 [km/h]	s_0 [m]	t_{BR} [s]	MFDD [m/s^2]	Brzd. stopa [m]	v_0 [km/h]	s_0 [m]	t_{BR} [s]	MFDD [m/s^2]	Brzd. stopa [m]
1	18,9	3,9	1,2	5,0	Stopa	16,8	3,1	1,1	4,2	1,3
2	13,8	3,0	1,1	5,2	Stopa	16,1	2,6	1,0	5,1	1,0
3	17,4	4,5	1,3	5,5	Stopa	15,7	3,1	1,1	6,5	1,9
4	36,2	19,6	3,0	4,7	Stopa	15,1	3,1	1,2	4,3	Beze stopy
5	34,8	20,7	3,1	4,8	Stopa	14,9	2,7	1,1	4,5	Beze stopy
6	39,6	20,6	3,0	4,7	Beze stopy	29,9	13,0	3,6	3,0	Beze stopy
7	38,8	20,7	3,0	4,5	Beze stopy	21,7	5,7	1,4	5,3	2,4
8	26,8	19,7	3,5	4,5	Stopa	24,7	5,9	1,4	5,4	2,6
9	26,3	7,1	1,7	4,7	3,8	15,2	2,9	1,2	3,7	2,8
10	25,3	7,2	1,8	4,1	Beze stopy	21,6	10,6	2,4	3,6	Beze stopy
11	20,6	6,5	1,8	4,4	Beze stopy	24,6	7,5	1,8	4,3	1,7
12	26,7	9,0	1,9	5,1	Beze stopy	33,0	14,9	2,3	5,4	4,7
13	-	-	-	-	-	37,8	20,5	3,2	3,9	Beze stopy
14	-	-	-	-	-	38,6	44,8	5,1	5,6	7,4

Vyhodnocení naměřených hodnot

Kolo s V – brzdami dosahovalo při experimentu zpomalení v rozmezí *4,2* až *5,5* m/s^2. Naměřené hodnoty zpomalení jsou poměrně vyrovnané a v podstatě nezávisí na počáteční rychlosti. Do hodnoty zpomalení cca *4,6* m/s^2 kolo ještě nezanechávalo brzdnou stopu na vozovce. Při měření nastal i případ, kdy kolo nezanechávalo brzdnou stopu při zpomalení *5,1* m/s^2. To je ovšem závislé na zdatnosti cyklisty a jeho schopnosti brzdit přední brzdou na hranici blokace.

Kotoučové brzdy dosahovaly brzdného zpomalení v rozmezí *3,0* až *6,51* m/s^2. Tento druh brzd je velmi citlivý na ovládání a je obtížné brzdit na hranici blokace, což bylo cílem měření. Tím lze vysvětlit i relativně velký rozptyl hodnot zpomalení. Kolo nezanechávalo brzdnou stopu na vozovce do hodnot zpomalení cca *4,3* m/s^2 [2].

Brzdná účinnost [5]

Určení brzdného zpomalení je prováděno také v zahraničí. V německých normách DIN je uváděno minimální zpomalení jednotlivých kol v závislosti na stavu povrchu vozovky, viz *Tab. 5*. Hodnoty uvedené v této tabulce jsou normované požadavky na účinnost. Pro soudně - inženýrskou praxi je ovšem třeba znát reálné hodnoty zpomalení, a proto němečtí odborníci provedli mnoho experimentů k jejich určení. Naměřené hodnoty pro účinnosti jednotlivých brzd jsou uvedeny v tabulce *Tab. 6* [5].

Tabulka č. 7 – Zpomalení podle DIN 79100, část 2 [5]

Kolo/stav povrchu	Minimální zpomalení [m/s^2]
Přední kolo na suchu	3,4
Zadní kolo na suchu	2,2
Přední kolo na mokru	2,2
Zadní kolo na mokru	1,4

Tabulka č. 8 – Účinnosti jednotlivých brzd, 100% = 1g = 9,81 m/s^2 [5]

Brzda	Zpomalení [%]	Zpomalení [m/s^2]
Přední brzda	20 – 40 %	1,96 – 3,92
Zadní brzda	20 – 30 %	1,96 – 2,94
Obě brzdy	40 – 45 %	3,92 – 4,41

Zahraniční studie brzdění jízdních kol [7]

Toto měření je součástí již dříve zmiňované studie, která se zaměřila na zpomalení horských kol. Měření zpomalení probíhalo na vodorovné asfaltové komunikaci. Měření na polní cestě se konalo na vodorovném úseku a na úseku s průměrným klesáním *11°* [7].

Měření průměrného zpomalení bylo podobné jako pro zrychlení. Jako počáteční bod měření byla brána první záporná změna zrychlení a poslední bod byl brán jako poslední záporná hodnota zrychlení před tím, než zrychlení začalo být nulové. Doba trvání byla

v rozsahu *2* až *3* sekund. Ostatní podmínky byly stejné jako při měření zrychlení. Výsledky měření jsou v následující tabulce [7]:

Tabulka č. 9 – Hodnoty zpomalení cyklistů – horská kola [7]

	Použitá brzda	Střední hodnota zpomalení [m/s^2]	Rozsah zpomalení [m/s^2]
Polní cesta	Obě	4,1	3,0 až 5,3
	Pouze přední	3,5	2,6 až 4,5
	Pouze zadní	2,7	2,4 až 3,1
Asfaltová komunikace	Obě	4,3	3,4 až 5,1
	Pouze přední	3,7	2,8 až 4,6
	Pouze zadní	2,7	2,5 až 3,2

Z výsledků je patrné, že zpomalení při všech kombinacích použití brzd bylo větší na asfaltové komunikaci než na polní cestě [7].

Zahraniční studie brzdění jízdních kol se zaměřením na pozici cyklisty [11] [12]

Studie číslo1

Cílem této studie bylo určit vliv polohy cyklisty při brzdění, který buď sedí na sedle, nebo stojí na pedálech s velkou částí těla za sedlem a tím mění polohu těžiště soustavy kolo - cyklista. Určení vlivu bylo provedeno vyjádřením analytických rovnic pro maximální zpomalení bez zvednutí zadního kola při brzdění. Pro obě varianty pozice cyklisty bylo určeno těžiště soustavy kolo - cyklista v závislosti na rozměrech standardních kol. Podle těchto rozměrů a určené závislosti lze spočítat maximální brzdné zpomalení bez zvednutí zadního kola. Výsledky jsou v následující tabulce [11]:

Tabulka č. 10 – Hodnoty zpomalení jízdních kol vzhledem k pozici cyklisty [11]

Pozice cyklisty	Zpomalení [m/s^2]
Na sedle	6,2
Za sedlem	8,1

Studie číslo 2

Cílem tohoto experimentu bylo prověřit dvě metody brzdění s různou polohou cyklisty. Pro měření byla vybrána rychlost *20* km/h, kterou lze považovat za průměrnou rychlost většiny cyklistů. Experiment byl proveden na vodorovné asfaltové silnici. První metoda spočívala v tom, že cyklista se rozjel na požadovanou rychlost a v místě označeném na silnici začal brzdit s maximálním zpomalením. Při tom se pořád snažil sedět na sedle. U druhé metody se cyklista opět rozjel na požadovanou rychlost, v místě označeném na silnici se rychle zvednul ze sedla a přesunul se dozadu za sedlo (tato poloha je ukázána na obrázku 13), a pak se snažil brzdit s maximálním zpomalením. Přesun za sedlo trval vždy jen zlomek sekundy. Bylo provedeno 18 měření na jednom kole, které bylo vybaveno kotoučovými brzdami [12].

Obrázek č. 13 – Poloha cyklisty za sedlem [12]

Průměrná hodnoty zpomalení u obou metod byla *4,5* m/s^2 (zahrnující reakční čas), maximální hodnota byla *5,8* m/s^2. Pro obě metody byla brzdná dráha přibližně *3,45* m. U druhé metody cítil cyklista větší kontrolu nad kolem, protože u první metody se dvakrát zvedlo zadní kolo a jízda skončila nekontrolovaným zastavením. Při druhé metodě ovšem cyklista spotřeboval nějaký čas na přesun těla za sedlo, ovšem brzdné dráhy zůstaly stejné. Z toho vyplývá, že od zmáčknutí brzdové páky bylo u druhé metody větší zpomalení. Při rychlostech okolo *20* km/h jsou vzhledem k celkové brzdné dráze obě metody srovnatelné. Při rychlostech nad *20* km/h je předpoklad, že pro brzdění bude třeba více času a přesun cyklisty vzad na začátku brzdění bude poměrově kratší. Proto by při vyšších rychlostech měla být druhá metoda účinnější vzhledem k celkové brzdné dráze [12].

METODIKA MĚŘENÍ

Při provádění jakéhokoliv měření v jakémkoliv oboru je velmi důležité dodržovat určité postupy, abychom na konci dostali správné výsledky, které budou porovnatelné s případným opakovaným měřením. To je zvláště důležité v soudně – inženýrské praxi, protože každý znalecký posudek i znalecký experiment musí být zpětně přezkoumatelné. Metodika měření je také důležitá pro to, aby následná měření mohla aktuální výsledky potvrdit nebo vyvrátit, nebo aby následná měření byla specializovaná na trochu odlišnou problematiku
a mohla být s aktuálními výsledky porovnána. V následujícím textu jsou popsány společné zásady, které je třeba dodržovat při stanovení zrychlení i zpomalení. Jednotlivé specifické zásady budou popsány v následujících podkapitolách.

Pro potřeby soudních znalců by bylo vhodné vytvořit velkou databázi zrychlení a zpomalení cyklistů, která by byla provedena různě zdatnými cyklisty, s různým věkem, s odlišným vybavením, atd. Proto je nutné při měření zaznamenávat co nejvíce informací o figurantech, které budou následně sloužit pro jejich vyhodnocení podle jednotlivých kritérií. Protože výkonnost cyklisty je proměnlivá s věkem, je vhodné je rozdělit do následujících kategorií: *6* až *14* let, *15* až *24* let, *25* až *34* let, *35* až *50* let, *51* až *65* let, *66* a více let. Dále je u cyklistů třeba zaznamenat jejich výška, váha, pohlaví a jezdecká úroveň, kterou by bylo

vhodné rozdělit do následujících skupin: začátečník, rekreační jezdec, pokročilý, trénovaný profesionál.

Pro měření by měli cyklisté používat vlastní kola, aby byla zaručena rozmanitost jako v normálním silničním provozu. Kola by neměla být před měřením nijak speciálně servisovaná. U každého kola je třeba zaznamenat jeho druh (horské, silniční, dětské), značku, typ, stav a vybavení (typ brzd, pneumatiky a jejich tlak, odpružené vidlice, přehazovací mechanismus). Zaznamenávání informací o měření by mělo probíhat pomocí ručně psaných poznámek (věk, pohlaví, cyklistická úroveň, atd.), pomocí fotek (cyklista, kolo, místo měření, atd.) a také pomocí videozáznamu (především chování cyklistů při jednotlivých jízdách).

Měření je vhodné provádět pomocí přístroje XL – meter, který je určený pro přesné měření zrychlení resp. zpomalení ve dvou osách. Výsledkem jsou grafy veličin v závislosti na čase. Podle těchto grafů můžeme určit všechna potřebná data. Každý cyklista by měl 5x opakovat měření při stejných podmínkách, aby došlo k jejich zpřesnění. Na začátku experimentu je třeba vysvětlit figurantům průběh měření a hlavní zásady, kterých se mají držet. Jednou z nich je, aby zrychlovali resp. zpomalovali co nejrychleji. Před měřením je třeba zkontrolovat nastavení výšky sedla. Správná výška se určí tak, že když cyklista sedí na sedle, tak při natočení kliky do dolní úvrati by měla cyklistova noha natažená.

Základní měření by měla probíhat na suchém vodorovném asfaltovém úseku. Další variace by měly být: mokrý vodorovný asfalt, suchý a mokrý asfalt se sklonem *10°*, suchá a mokrá polní cesta vodorovná a se sklonem *10°*, suchá a mokrá štěrková cesta vodorovná a se sklonem *10°*, vodorovná cesta s náledím. Také je třeba zaznamenat polohu měřeného úseku (nejlépe GPS souřadnice), den a hodinu měření, stav počasí a teplotu.

Metodika pro měření zrychlení

Před měřením je na vybraný úsek nakreslena startovací čára a za ní dalších 6 čar, které budou ve vzdálenostech *2*, *4*, *6*, *8*, *10* a *15* m od startovní čáry. Na tyto čáry se postaví pomocníci se stopkami a budou měřit průjezd cyklisty a zapisovat výsledky do připravených tabulek. Toto měření je prováděno, abychom dostali přesnější charakteristiku průběhu zrychlení. Dále je třeba před měřením zaznamenat všechna data o cyklistech, o kolech a měřeném úseku. Také bude před měřením nastavena správná výška sedla. Další pomocník bude stát na značce *6* m s dostatečným bočním odstupem a bude natáčet rozjíždějícího se cyklistu. Před experimentem bude cyklistům vysvětlen postup měření a jakých zásad se mají držet (maximální zrychlení a pokud možno bez sedění na sedle). Na měřené kolo bude připevněn XL – meter, který bude následně kalibrován.

Cyklista se postaví se svým kolem na startovní čáru, jednu nohu na pedálu a druhou pevně na zemi. Zde další pomocník zajistí nastavení úhlu kliky přibližně na *70°* od horní úvratě ve směru hodinových ručiček. Tento pomocník zadá povel ke startu a cyklista se začne rozjíždět. V ten okamžik spustí stopky i pomocníci na čarách, kteří je budou postupně zastavovat při jednotlivých průjezdech cyklisty. Až cyklista projede poslední čárou ve vzdálenosti *15* m, přestane šlapat, aby na videozáznamu bylo lépe rozpoznatelný průjezd koncovou čárou. Po chvilce odpočinku se toto měření 5x opakuje za stejných podmínek. Po odměření všech cyklistů bude všem změněn převodový stupeň a procedura se bude opakovat.

Metodika pro měření zpomalení

Před měřením bude na silnici nakreslena čára, aby cyklisté věděli, kde mají přibližně začít s brzdným manévrem. Pomocník s kamerou si stoupne cca *8* m od této čáry s dostatečným bočním odstupem a bude zaznamenávat celý brzdný manévr. Dále je třeba před

měřením zaznamenat všechna data o cyklistech, o kolech a měřeném úseku. Všem cyklistům bude před měřením nastavena správná výška sedla. Před experimentem bude cyklistům vysvětlen postup měření a jakých zásad se mají držet (maximální zpomalení, použít obě brzdy). Cyklisté by měli brzdit tak, jak je jim to přirozené a v dalších jízdách by se měli pokusit na začátku brzděno manévru posunout těžiště dozadu za sedlo.

Cyklista se rozjede přibližně na rychlost *10* km/h a při průjezdu čárou začne maximálně brzdit až do zastavení. Brzdné zpomalení bude odečteno z XL – meteru, kdy první bod bude brán jako první záporná změna zrychlení a poslední bod jako poslední záporná změna zrychlení. Po chvíli odpočinku bude cyklista opakovat měření 3x za stejných podmínek. Po odměření všech cyklistů se počáteční rychlost zvedne na *20* km/h a pak na *30* km/h.

ZÁVĚR

Tento příspěvek je věnován analýze pohybu cyklistů na pozemních komunikacích. V první části je uvedena statistika nehodovosti cyklistů v letech 2003 až 2010. Z té vyplývá, že za sledované období mírně klesá počet nehod zaviněných cyklisty. Ovšem velmi alarmujícím faktem je, že průměrně každý 4. cyklista, který způsobil dopravní nehodu, byl pod vlivem alkoholu. Tento fakt ukazuje na malou zodpovědnost cyklistů, kteří si neuvědomují závažnost situace a berou cyklistiku jako relax. Dále ze statistik vyplývá, že *47,2* % usmrcených cyklistů zavinilo dopravní nehodu.

Druhá část tohoto příspěvku se zabývá analýzou rozjezdů a brzdění jízdních kol. Pro oba manévry byla provedena měření s cílem zjistit jednotlivé charakteristiky pohybu cyklistů. Tyto výsledky byly srovnány s experimenty provedenými v zahraničí. Pro každý experiment jsou popsány vstupní parametry (zúčastnění figuranti, použitá jízdní kola, charakteristiky místa měření, měřicí přístroje). Srovnání výsledků studií je uvedeno v následující tabulce:

Tabulka č. 11 – Shrnutí hodnot zrychlení a zpomalení cyklistů

	Zrychlení / zpomalení [m/s^2]
Měření zrychlení na ÚSI 1	1,07 až 1,68
Měření zrychlení na ÚSI 2	0,48 až 1,41
Měření zrychlení	0,78 až 1,47
Měření zrychlení – poloha cyklisty	1,2 až 1,73
Měření zrychlení – neinformovaní cyklisté 1	0,86
Měření zrychlení – neinformovaní cyklisté 2	0,91
Zpomalení na ÚSI	3,0 až 6,51
Měření zpomalení	3,0 až 5,3
Měření zpomalení – poloha cyklisty 1	6,2 až 8,1
Měření zpomalení – poloha cyklisty 2	4,5

Ve třetí části příspěvku je rozpracována metodika měření rozjezdů a zpomalení cyklistů. Pro obě měření je uveden popis jejich průběhu a všech důležitých podmínek, které je třeba zajistit před měřením. Uvedená metodika ukládá cyklistům, aby zrychlovali (resp.

zpomalovali) co nejrychleji a nejefektivněji, a proto bude možné hodnoty považovat za maximální. Z tohoto důvodu lze v soudně - inženýrské praxi používat i nižší hodnoty. V této části je také popsáno jaké další měření bude potřeba v budoucnu provést.

LITERATURA

[1] BRADÁČ, Albert a kol. ***Soudní inženýrství.*** Brno, CERM Akademické nakladatelství, s.r.o.. 1999. 725 s. ISBN 80-7204-133-9 (dotisk)

[2] FORMAN, Jiří. ***Brzdění jízdních kol***. Brno, 2003. 35 s. Absolventská práce. Vysoké učení technické, Ústav soudního inženýrství

[3] HRADEC, Milan. ***Analýza rozjezdu cyklistů***. Brno, 2010. 16 s. Absolventská práce. Vysoké učení technické, Ústav soudního inženýrství.

[4] ***Sdružení automobilového průmyslu*** [online]. 29. března 2011 [cit. 2011-03-29]. Vývoj nehodovosti na českých silnicích. Dostupné z WWW: <http://www.autosap.cz/sfiles/a1-95.htm>.

[5] HUGEMANN, Wolfgang, et al. ***Unfallrekonstruktion***. Vyd. 1. Darmstadt: Schönbach Druck, 2007. 1254 s. ISBN 3-00-019419-3.

[6] SEMELA, M. ***Analýza rozjezdu cyklistů***. In Sborník konference doktorského studia Juniorstav 2003. FAST Brno: VUT v Brně, 2003.

[7] BECK, R.F. ***Mountain Bicycle Acceleration and Braking Factors***. In Proceedings of the Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference XIV [online]. Ottawa : [s.n.], 30.6.2004 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <http://www.beckforensics.com/CMRSC14BeckBicycle.pdf>.

[8] PADULO, J. ***Optimisation of starting conditions in track cycling competitions*** [online]. Roma, [200?]. 1 s. Oborová práce. Universita degli Studi di Cagliari. Dostupné z WWW: <http://www.dartfish.com/data/htmleditor/file/Cycling-Optimisation.pdf>.

[9] PEIN, Wayne. ***Bicyclist Performance on a Multiuse Trail*** [online]. Chapel Hill, [1997]. 5 s. Oborová práce. University of North Carolina. Dostupné z WWW: <http://www.enhancements.org/download/trb/1578-16.PDF>.

[10] GOUGH, Jonathan. ***Traffic Accident Reconstruction : Cyclist Acceleration Study*** [online]. 10.11.2003 [cit. 2011-05-22]. Pedestrians/Bicycles. Dostupné z WWW: <http://www.tarweblog.com/membersonly/view_attachment.cfm?twattachmentid=59>.

[11] S.RIEL, Joseph. Maximal Braking on a Standard Bicycle. In ***Maximal Braking on a Standard Bicycle*** [online]. [s.l.] : [s.n.], 5.7.2005 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <http://www.industrializedcyclist.com/braking-pitchover.pdf>.

[12] ARUNDELL, Leon. Grapevine [online]. 7.5.2006 [cit. 2011-05-22]. ***Does moving back off the seat mean better braking?***. Dostupné z WWW: <http://grapevine.net.au/~mccluskeyarundell/Braking_technique.pdf>.