

Vysoké učení technické v Brně

Ústav soudního inženýrství

ANALÝZA SILNIČNÍCH NEHOD I

Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.

Brno 2016



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tyto e-learningové studijní opory byly napsány a vytisknuty za přispění prostředků z operačního programu pro vzdělávání a konkurenceschopnost MŠMT prostřednictvím realizace projektu registrační číslo: CZ.1.07/2.2.00/15.0151 - „Modernizace výuky magisterského studijního programu Soudní inženýrství na Vysokém učení technickém v Brně“.

Název: Analýza silničních nehod I
Autor: Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.
Vydalo: Vysoké učení technické v Brně
Ústav soudního inženýrství
Vyšlo: **2016**
Vydání: **druhé přepracované vydání**
ISBN: **978-80-214-5037-0**
Oponoval: doc. RNDr. Karel Pellant, CSc.
Neprošlo jazykovou úpravou

Obsah

1	ÚVOD DO ANALÝZY SILNIČNÍCH NEHOD, ZÁKLADNÍ VELIČINY A JEDNOTKY.....	7
2	ZÁKLADNÍ VZTAHY, POHYBOVÉ ZÁKONY, SÍLY PŮSOBÍCÍ NA VOZIDLO, JÍZDA V OBLOUKU, BEZPEČNÁ VZDÁLENOST.....	13
3	DRUHY STOP, SBĚR DAT NA MÍSTĚ NEHODY A MĚŘÍCÍ TECHNIKA.....	19
4	POHYB STŘEPIN, POHYB TĚLESA VZDUCHEM, PŘÍČNÉ PŘEMÍSTĚNÍ A PŘEDJÍŽDĚNÍ.....	24
5	PRVEK ČLOVĚK – BIOMETRICKÁ DATA, REAKČNÍ DOBA ŘIDIČE, PARAMETRY POHYBU, SMYSLOVÉ VNÍMÁNÍ, POZORNOST.....	29
6	PRVEK VOZIDLO.....	34
7	PRVEK OKOLÍ – TVARY A PARAMETRY KOMUNIKACE, PROHLÍDKA MÍSTA NEHODY, ZNALECKÝ EXPERIMENT, VYŠETŘOVACÍ POKUS.....	40
8	BRZDĚNÍ, NÁBĚH, PRODLEVA BRZD, ZRYCHLENÍ, VIDEOZÁZNAMY.....	45
9	ANALÝZA KORESPONDENCE POŠKOZENÍ, VÝBĚHOVÁ ANALÝZA.....	50
10	DIAGRAMY PŘI ANALÝZE SILNIČNÍCH NEHOD – DIAGRAM DRÁHA-ČAS, DALŠÍ UŽÍVANÉ DIAGRAMY, OBLAST ZAKRYTÉHO VÝHLEDU	57
11	INTERVALOVÉ DIAGRAMY, SEKVENCE A ODVRACENÍ NEHODY	64
12	DOPRAVNÍ NEHODY S CHODCI.....	69
13	DOPRAVNÍ NEHODY S CYKLISTY.....	75

Úvod

Tento studijní distanční text slouží jako další podpůrný podklad pro zvládnutí úvodního kurzu dvousemestrového studia předmětu Analýza silničních nehod v navazujícím magisterském studiu oboru Soudní inženýrství. Struktura a obsah textu reflektují osnovu studia předmětu. Na tento text navazuje druhá část textu předmětu Analýza silničních nehod II.

Po prostudování textu budete umět:

- zařadit technickou analýzu silničních nehod mezi ostatní disciplíny
- základní veličiny a jednotky, názvosloví
- druhy stop a jejich dokumentaci a identifikaci
- základní vztahy, pohybové zákony, síly působící na vozidlo
- parametry člověka a jeho roli
- parametry vozidla, síly, pneumatiky a jejich modely
- parametry okolí
- dynamické parametry vozidla
- analyzovat poškození a korespondenci poškození
- diagramy dráha – čas, dráha – rychlost, příp. jiné
- intervalové diagramy, odvracení nehody
- analyzovat nehody s chodci
- analyzovat nehody s cyklisty

Po prostudování textu budete schopni:

- aplikovat základní pohybové vztahy
- hledat a identifikovat stopy a jejich souvislosti s pohybem prvků systému dopravní nehody
- analyzovat poškození vozidel a vzájemnou korespondenci poškození vozidel či jiných prvků pro stanovení střetové konfigurace
- uvědomit si vlastnosti a parametry jednotlivých prvků ve fázích nehodového děje
- popsat pohyb účastníků v prostoru a čase
- tvořit diagramy dráha – čas a intervalové diagramy pohybu účastníků dopravní nehody
- analyzovat základní nehody s chodci a cyklisty

Prostudováním textu získáte zejména:

- základní přehled o analýze silničních nehod
- přehled o prvcích systému analýzy nehod
- přehled o analýze nehod s chodci a cyklisty

Čas potřebný k prostudování učiva opory:
37 + 32 hodin (teorie + řešení úloh)

	Klíčová slova
	Korespondenční úkol
	Úkol k textu
	Pro zájemce
	Shrnutí
	Příklad
	Pro zájemce
	Otázky a úkoly k zamyšlení
	Úkol
	Průvodce studijní oporou
	Průvodce textem
	Další zdroje
	Řešení úkolů



Studijní opora je rozdělena do třinácti kapitol podle jednotlivých týdnů výuky v rámci semestru a slouží k doplnění základních poznatků a zvládnutí kurzu Analýzy silničních nehod.

Zkuste si vždy:

- kapitolu nejprve přečíst celou pro celkový základní pohled,
- následně pracujte s dalšími zdroji uvedenými na konci kapitoly,
- pokuste se plnit úkoly a odpovídat na otázky.

Po prostudování si zkuste vlastními slovy odpovědět na otázky:

- o čem kapitola byla,
- zda jste problematice porozuměli,
- a pokuste se reprodukovat svými slovy obsah kapitoly.

V případě potíží s pochopením problematiky kontaktujte autora.

1 Úvod do analýzy silničních nehod, základní veličiny a jednotky

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- zařadit oblast ASN a definovat její cíle, systém veličin a podklady

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- definovat typy podkladů a jejich minimální rozsah a kvalitu

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

- základní přehled o veličinách a jednotkách používaných při ASN

Klíčová slova kapitoly:

dopravní nehoda, havárie, systém veličin

Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:

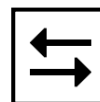
2 + 1 hodin (teorie + řešení úloh)

Základní začlenění analýzy silničních nehod (zkr. ASN) mezi ostatními disciplínami a základní metodologie uvozují základní používané veličiny a jednotky.

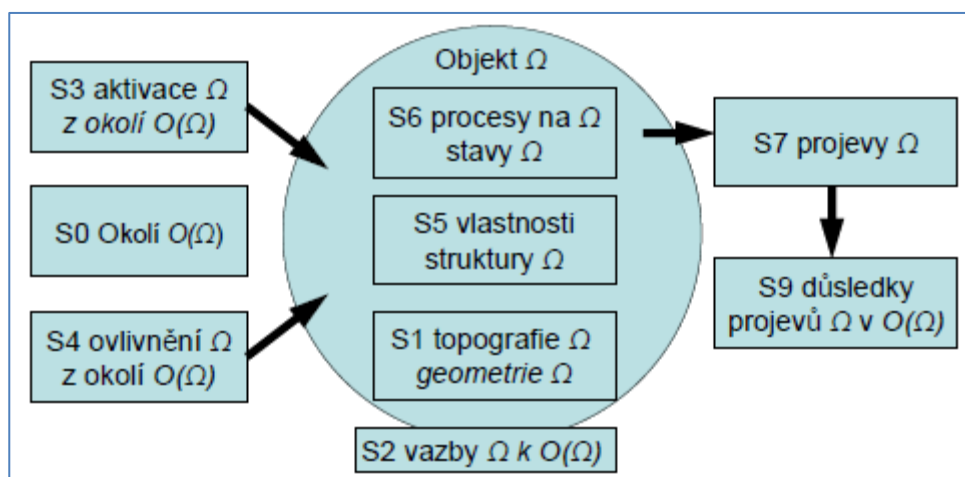
Dopravní nehoda je definována zákonem¹ jako *událost v provozu na pozemních komunikacích, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby, nebo ke škodě na majetku v příčinné souvislosti s provozem vozidla v pohybu*. Jedná se tedy o neočekávanou událost, ale vzhledem k chování či jednání účastníků lze předpokládat, že k nim dojde. Nehody lze z technického hlediska klasifikovat zejména podle typu zúčastněných objektů, podle kolizních postavení objektů, podle místa nehody, doby a nehodového charakteru (průběhu), případně následků, na rozdíl od pohledů právních, hovořících o právních příčinách, právní kvalifikaci či zavinění (odkazy na paragrafy). Porušení paragrafů nemusí mít za následek dopravní nehodu, některé přečiny jsou sankcionovány jako přestupky (dle zákona²) s odpovídající vazbou na výši pokut, zákaz činnosti či bodové tresty³ (pokud za daný přestupek náleží bodový postih), v případě dopravních nehod se zraněním však může vzniknout trestní odpovědnost ve formě spáchání trestného činu, obvykle přečinu⁴ (ublížení na zdraví, pojištný podvod, ohrožení pod vlivem návykové látky, obecné ohrožení, neposkytnutí pomoci apod.).

O **havárii** hovoříme tehdy, pokud se události účastní pouze jeden objekt (vyjetí vozidla, převrácení, náraz do překážky, ztráta stability).

Analýza silničních nehod je jednou ze specializací oboru Soudní inženýrství v oblasti dopravy, která má za úkol zkoumat příčiny a průběh negativních jevů v souvislosti se silničním provozem a pomáhat tyto jevy objasňovat. Je výrazným příkladem interdisciplinární disciplíny vyžadující znalosti z více technických oborů a její výsledky jsou užívány pro právní posuzování a rozhodování. Z inženýrských znalostí vyžaduje především znalosti a kompetence z matematiky a fyziky, resp. základních principů mechaniky. Dále jsou nezbytné znalosti konstrukce vozidel a



vozidlové techniky, strojírenství, práva a minimálně základy vnímání, reakční doby řidiče, psychologie řidiče a znalosti lidského těla a jeho vlastností. Řešení problémů ASN vyžaduje systémový přístup, tj. zobecnělou tvůrčí metodologii myšlení a konání, která je aplikována na systémové objekty. Systémová metodologie je vymezena systémovým přístupem, systémovým myšlením, systémovými metodami a systémovými postupy.⁵ Při analýze silničních nehod se nejčastěji užívají metody logické (analýza, syntéza, konkretizace) a modelování (abstraktní, hybridní, materiální). Z hlediska systémových postupů je základem vytvoření systému podstatných veličin s tím, že každý objekt má určitý tvar a strukturní vlastnosti (S1 a S5), má okolí (S0), ve kterém zaujímá určitou polohu a s okolím má vazby (S2). Přes vazby se realizují interakce ve formě aktivace (S3) či ovlivnění (S4). Dále procesy mění stavu objektu (S6). Objekt se navenek nějak projevuje (S7), což má nějaká důsledky (S9). Z praktického hlediska je nutné zkoumat vliv změny více vstupních veličin v technicky přijatelném rozmezí na výsledky veličin výstupních.



Obrázek 1 – Systém veličin⁶

V rámci řešení úkolů spojených s technickým znalectvím v oblasti analýzy silničních nehod se jedná o řešení nepřímých příčinných problémů, kdy na základě důsledků, strukturních a procesních vlastností technického objektu, nebo soustavy technických objektů, je nutno zjistit průběh a technické příčiny nehody či havárie. Vstupy jsou projevy objektu navenek (S7) a některé veličiny ze skupiny S0 až S5 a hledanými výstupy jsou zbývající neznámé veličiny skupin S0 až S5. Analýza silničních nehod řeší rekonstrukčními metodami stav, který již nastal na základě informací zjištěných zpravidla bezprostředně po události.

Valná většina silničních dopravních nehod je způsobena pouze lidským faktorem, nebo kombinací lidského faktoru a okolí, tedy nejčastěji silniční infrastruktury. Dopravní nehodu lze rozdělit do fází počáteční, kulminační a konečné.⁷

K řešení nehodového děje je třeba systematické vymezení postupů „krok za krokem“ a volba způsobů řešení. Při řešení nehody je třeba postupovat systematicky; mezníkem v řešení je samotný střet vozidel či náraz jednoho objektu

do jiného (v případě, že k němu dojde), který dělí nehodový děj na dvě samostatné části, a to pohyb postřetový a předstřetový, což je společné pro zpětný (od konečných poloh po počátek nehodového děje) i dopředný (s podporou simulačních programů od vzniku nehody do konečných poloh) způsob výpočtu. Cíl analyzovat nehody a zpětně tak popisovat jejich průběh má původ v objektivním zjištění skutkového stavu věci pro účely rozhodovacích orgánů. **Analyzovat silniční dopravní nehodu znamená:**

- popsat na základě všech známých skutečností a indicií z podkladů, zjištěných a dopočitatelných výsledků pohyb nejčastěji vozidel a chodců v průběhu nehody,
- nalézt, vyhodnotit a popsat možnosti, jaké měli jednotliví účastníci k tomu, aby nehodě zabránili,
- případně sdělit další skutečnosti, které jsou při vlastní analýze zjištěny a mají, nebo by mohly mít vliv na rozhodování ve věci.

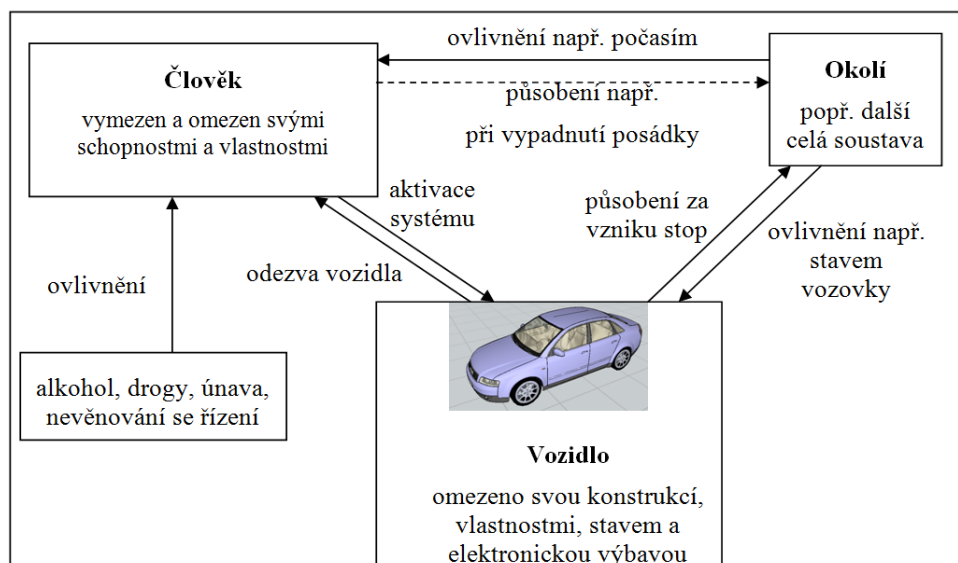
Analyzovat silniční dopravní nehodu neznámá:

- stanovovat podíl zavinění jednotlivých účastníků,
- či vyhodnocovat porušení konkrétních paragrafů účastníků.

Člověk je prvkem, který aktivuje celou soustavu, uvádí vozidlo do pohybu, do určité míry determinuje chování vozidla v mezích jeho konstrukčních technických parametrů. Aktivace spočívá v tom, že člověk prostřednictvím vozidla zrychluje, řídí i brzdí, popřípadě nečinně přihlíží (nekonání je rovněž možné). Tyto tři činnosti mají zásadní vliv na samotný pohyb, jehož správné popsání je úkolem analytika silniční nehody. Člověk jako prvek soustavy má však také určitá omezení, daná jeho motorickými, psychologickými, dovednostními či optickými vlastnostmi. Na druhou stranu může být prvek člověka jako řidiče také ovlivněn (např. působením alkoholu, drog, únavy či rozptýlením jiným objektem či subjektem apod.). Tato omezení se také promítají do soustavy a ovlivňují způsob aktivace vozidla. Omezení má však také druhý prvek soustavy, a tím je vozidlo. Jeho omezení jsou dána jeho konstrukcí, technickým stavem, případně moderními elektronickými systémy, které zasahují do řízení, podílejí se tedy také na aktivaci vozidla, a to zpravidla až v mezních situacích. Soustava je však také tvořena třetím prvkem, kterým je okolí.

Okolí lze rozdělit na živé a neživé, přičemž tyto oba druhy okolí tvoří elementy, které by mohly přijít, nebo již přišly, do interakce s vozidlem. Živým okolím se rozumí např. člověk nebo zvíře, ovlivňující reakci řidiče, nebo s vozidlem přímo kolidující. Neživé okolí je tvořeno zejména vozovkou, se kterou je vozidlo v trvalé interakci, okolními objekty (okolní vozidla), okolím vozovky, které může a nemusí s vozidlem kolidovat (tvar vozovky, stromy, svodidla, příkopy, sloupy, výmoly, předměty jako překážky, objektivní snížení viditelnosti v noční době atd.) a také dalšími okolními vlivy, které mají společný základ v tom, že mohou ovlivnit

způsob aktivace vozidla (např. snížený výhled). Vazba mezi vozidlem a okolím je také oboustranná, neboť v případě nehody lze na vozovce často nalézt stopy po interakci vozidla (jízdní, smykové, blokové, brzdné, dřecí, rycí, stopy kapalin, střeptů atd.).



Obrázek 2 – Schéma možných vztahů⁸

Pro analýzu nehody jsou zásadní **technické podklady**, které lze hodnotit jako **dostatečné**, **podmíněně dostatečné** a **nedostatečné**, tyto neumožňují korektní analýzu nehody.

Technické podklady pro ASN lze dále hodnotit jako **objektivní** a **subjektivní**. Pod pojmem objektivní lze v této souvislosti chápat jako údaj změřený či měřitelný, a to nejlépe opakovaně s podobným výsledkem. Subjektivními prameny jsou nejčastěji výpovědi účastníků, jejichž vypovídací schopnost a správnost ve vztahu k technickým údajům je dána schopností odhadu technických veličin konkrétními osobami či zkušenostmi (nejčastěji odhady dráhy, rychlosti, času), tak i jejich zdravotním a duševním stavem po nehodě, popřípadě vyjadřovacími schopnostmi. Subjektivní podklady by měly být chápány jako dodatečné či ověřovací po analýze nehody na základě objektivních podkladů, za předpokladu, že se nejedná o podklady jediné dostupné. **Ne vždy je však míra a úroveň objektivních podkladů taková, aby bylo možno zpracovat bez výhrad technicky přijatelnou analýzu nehody.**

Technické podklady pro ASN lze tedy dále dělit na **technicky přijatelné** a **technicky nepřijatelné**. Technicky nepřijatelným podkladem lze chápat například plánek místa nehody, který svou konstrukcí a zakreslenými stopami zásadně nekoresponduje se zjištěným skutečným stavem po nehodě. V případě, že by byl užít pro vlastní analýzu, ani v případě použití korektních metod řešení by nebylo dosaženo technicky přijatelných výsledků. Technicky nepřijatelná výpověď může být zjištěna už při vlastním studiu podkladů (např. svědek si splete strany, vozidla, místo apod.).

Při analýze silničních nehod dochází k aplikaci teoretických základů (např. pohybových zákonů) na základě tvorby výpočetních modelů, volbě hypotéz, s myšlenkovými pochody, které směřují k tvorbě modelů, které je třeba před vlastním závěrem různými metodami verifikovat, neboť s ohledem na neurčitost vstupních hodnot nelze obvykle dosahovat jednoznačných výsledků.

Korektnost a technická přijatelnost analýzy nehody předpokládá nutnost disponovat **alespoň** následujícími podklady:

- popis místa nehody (např. náčrtek nebo plán s vhodně zvoleným výchozím bodem měření - VBM) se zdokumentováním konečných poloh vozidel, svědků a všech zjištěných stop,
- popis a identifikace vozidel, účastníků, poškození (např. protokol o nehodě),
- fotodokumentace a videozáznam (vozidel, místa, stop, okolí, světelných podmínek apod.),
- záznam o poškození vozidla (např. likvidátor pojišťovny),
- zpráva o případných zraněních, případně posudky z jiných oborů,
- výpovědi účastníků a svědků a jiné podklady.

Při jednoduchých nehodách bez účasti policie, kdy škoda nepřesáhne zákonem danou hranici (t.č. 100.000,- Kč), nevznikne škoda třetím osobám a řidiči jsou schopni dohodnout se na zavinění, vyplňují účastníci tzv. Záznam o dopravní nehodě, kde vyplní osobní údaje, údaje o vozidlech včetně pojištění, popíší poškození vozidel a vylíčí průběh a případné zavinění nehody včetně grafického průběhu nehody.

Z vlastního primárního cíle analýzy silniční nehody vyplývají zásadní technické parametry, jejichž zjištění je předmětem znaleckého či expertního zkoumání. Jedná se nejčastěji o parametry umožňující popis pohybu účastníků v jednotném čase či vysvětlení vzniku stop, jejich interpretaci a korektní začlenění do analýzy.

Veličiny a jednotky: Mezi nejzákladnější hledané a používané veličiny v oblasti analýzy silničních nehod patří rychlost – v [m/s], úhlová rychlost k jednotlivým osám – ω [rad/s], čas – t [s], délka dráhy v různých formách a modifikacích – s [m], úhel [rad] či [stupeň], zrychlení v jednotlivých osách – a [m/s²], hmotnost – m [kg], síla – F [N], práce a energie E , W apod. [J], frekvence – f [Hz] a výkon [W]. Dále nelze opomenout moment setrvačnosti k různým osám – J či I [kg.m²], poloměr setrvačnosti – i [m], moment síly – M [N.m], impuls síly – I [N.s], hybnost [kg.m/s] a moment hybnosti – L [N.m.s].

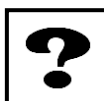
Pro analýzu pohybu objektů, které byly v kontaktu s vozovkou, je velmi důležitý součinitel adheze μ [-] mezi povrchem vozovky či okolí (asfalt, beton, tráva, sníh) a kolidujícím prvkem, tj. pneumatikou, resp. karoserií, oděvem, plasty apod. (součinitel vlečného tření, obvykle značen jako f [-]).

Adheze neboli přilnavost, je tedy schopnost materiálu (především dvou rozdílných materiálů) spolu přilnout, odborněji fyzikálně je to schopnost přenosu tečných sil ve styku dvou povrchů bez zřetelného pohybu. Na rozdíl od tření zahrnuje adheze u vozidla i další odpory. O tření lze hovořit v souvislosti s kontaktem pneumatiky a povrchu pouze v případě plně zablokových kol, tedy když skluz je 100 %. Podstatné veličiny z oblasti analýzy střetu vozidel budou zmíněny později v dalších kapitolách či druhé části textu.



Shrnutí:

Po prostudování této kapitoly a souvisejících zdrojů byste měli být schopni zařadit analýzu silničních nehod do systému oborů či na jejich pomezí a definovat požadavky na znalosti a potřebné kompetence. S posláním a úkoly analýzy silničních nehod v úvodu úzce souvisí systém veličin a požadavky kladené na technické podklady, které jsou k vlastní analýze nutné, či které jsou k dispozici včetně jejich hodnocení. Pro výstupy a jednotlivé či komplexní závěry jsou podstatné znalosti základních veličin a jejich jednotek, které se obecně při analýze silničních nehod užívají.



Otázky:

1. Kam byste zařadili oblast analýzy silničních nehod a jaké znalosti předpokládá?
2. Jaké základní veličiny jsou užívány v oblasti analýzy silničních nehod včetně jednotek?
3. Jaké základní podklady jsou pro analýzu nehod potřebné a k dispozici?
4. Jak by bylo možno rozdělit podklady?
5. Co je výsledkem analýzy nehody?
6. Popište prvky soustavy a vztahy mezi nimi na příkladech.



Další zdroje

BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.

JANÍČEK, Přemysl. *Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky - hledání souvislostí*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2007. str. 1234. Sv. 1+2, 1. vydání. ISBN 978-80-7204-554-9.

PORADA, Viktor. a kol. *Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi*. Praha : Linde Praha a.s., 2000. str. 378. ISBN 80-7201-212-6.

ČEČOT, Vladimír. a kol. *Dopravné nehody*. Bratislava : respo. s.r.o., 2003. str. 206. 1. vydání. ISBN 80-968953-5-4.

2 Základní vztahy, pohybové zákony, síly působící na vozidlo, jízda v oblouku, bezpečná vzdálenost

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- počítat časy, dráhy a rychlosti ke stanovení jejich poloh v průběhu nehody

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- nalézt a aplikovat základní matematické vztahy
- zakreslit síly působící na vozidlo a odvodit mezní rychlosti

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

- základní přehled o vztazích k určení pohybových parametrů

Klíčová slova kapitoly: vztah, pohybové zákony, vozidlo, síly, jízda v oblouku, bezpečná vzdálenost

Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:
3 + 2 hodin (teorie + řešení úloh)



Systémový přístup k řešení dané problémové situace je zobecnělá tvůrčí metodologie myšlení a konání a posloupností postupů, aplikovaná na reálné nebo abstraktní objekty. K úspěšnému zvládnutí tohoto cíle je třeba postupovat krok za krokem od vzniku dopravní nehody až po zodpovězení položených otázek, tj. vyřešení expertního technického problému, resp. úlohy. Řešení problémové situace je obecnou soustavou, aplikovatelnou i na jiné technické postupy, která je složena z:

- formulace problémové situace,
- analýzy problémové situace,
- cílů řešení problémové situace,
- formulace problému,
- řešení problému,
- diskuse získaných výsledků a ověření správnosti řešení.

Cílem analýzy silničních nehod je popsat pohyb prvků, které se nehody účastní v prostoru a jednotném čase v celém průběhu nehody, tento pohyb technicky analyzovat a technicky interpretovat. K tomuto účelu je nutné umět popsat pohyb těchto objektů výpočtem.

Ke zjištění nehodových parametrů a vlastního řešení nehody jsou v současné době užívány postupy:

- postup zpětného výpočtu – v případě zpravidla kinematického výpočtu (pohyb hmotného bodu, bez zjišťování příčiny pohybu), kdy jedná se o zjišťování vstupních parametrů od konečných poloh zpětně až po samotný vznik nehody, a to analytickými výpočty,

- či postup dopředného kinetického výpočtu (obor zabývající se určováním dráhy pohybujících se těles) s podporou simulačních programů, kdy obměnou (variací) vstupních statických či dynamických parametrů vozidel či střetu hledáme výstupní a kontrolní veličiny tak, aby vypočítaný pohyb objektů odpovídal zdokumentovaným stopám a konečným polohám. Kinetický výpočet nachází vztahy mezi reálně působícími silovými účinky a vyvolanými pohyby či následky.

Dynamické dopředné postupy umožňují zahrnutí působení mnoha vnějších vlivů a současnou varianci mnoha vstupních veličin spočívají v tvorbě výpočetních modelů definovaných vlastností, přičemž složitost modelů závisí na množství sledovaných veličin. Rozvoj výpočetní techniky umožnil snadnou změnu modelů a sledování vlivu modifikací v modelech na výsledky v reálném čase včetně grafického vyjádření.

Analýzou nehod se obecně prolínají tzv. **Newtonovy pohybové zákony**, které byly formulovány jako pohybové rovnice pro hmotné body a zobecněny pro tuhá tělesa:

- zákon setrvačnosti
- zákon síly
- zákon akce a reakce

a dále **zákony zachování**:

- energie
- hybnosti
- momentu hybnosti (točivosti)

Základní vztahy popisující jízdu a brzdění je nutno nastudovat v doporučené literatuře. Jedná se zejména o vztahy pro výpočet dráhy, času a rychlosti rovnoměrného a zrychleného či zpomaleného přímočarého a rotačního pohybu. Dále je nutno tyto vztahy na příkladech aplikovat. Tyto vztahy umožňují analýzu dráha-čas, tj. zjednodušený popis poloh objektů v jednotném čase.

Na vozidlo obecně při pohybu působí tíhová síla v těžišti a proti tíhové síle pak normálové reakce podložky v místě kontaktu jednotlivých kol podle polohy těžiště. Ve styku s vozovkou na jednotlivých kolech působí dále třecí síla, daná součinem normálové složky a součinitele tření. V případě rovnoměrného pohybu je síla tření v rovnováze se silou setrvačnou (hnací), působí stejnou velikostí proti síle setrvačné. Dále na vozidlo působí vnější síly ve formě jízdních odporů, které musí setrvačná síla překonat. V případě rovnoměrného přímočarého pohybu je setrvačná síla nulová a odporová síla je v rovnováze se silou hnací. V případě skloněné vozovky nepůsobí normálová složka kolmo proti síle tíže.

Síly mezi pneumatikou a vozovkou jsou zásadní pro chování vozidla během jeho pohybu a jsou ovlivněny:

- adhezí – primární vliv (molekulární vazby),
- hysterezními komponenty (deformace pneumatiky),
- viskózními komponenty (tekuté vrstvy v kontaktní ploše),

- kohezními komponenty (ztráta energie otěry).

Adhezní síla je definována **adhezní elipsou**⁹, resp. kružnicí, když s rozvojem elektronických systémů je dosahováno adheze shodným v podélném a příčném směru. Při přímé jízdě, tj. akceleraci či brzdění, je využívána adheze zejména v podélném směru a v případě vozidla bez ABS by při plném intenzivním brzdění na mezi adheze nezbývala využitelná adheze na vyhýbání, tj. v příčném směru. Přenositelné síly v podélném a příčném směru jsou měřeny jako funkce skluzu a úhlu směrové úchylky. Směrová úchylka je úhel mezi směrem rychlosti vozidla a podélnou osou pneumatiky, obvykle se pohybuje v rozmezí 3 až 8 stupňů a souvisí se vznikem boční vodící síly při příčném smýkání pneumatiky, tj. závisí primárně na konstrukci a směsi pneumatiky. Vzhledem k pružnosti pneumatiky působí ve styku pneumatiky s vozovkou i při přímé jízdě na pneumatiku boční – vodící síla, která je kolmá k rovině otáčení kola. Dalšími vlivy na síly mezi pneumatikou a vozovkou jsou kvalita a stav povrchu a technický stav pneumatiky. **Skluz s** vyjadřuje rozdíl mezi rychlostí vozidla v_v a obvodovou rychlostí kola v_k . V případě plně zablokováného kola je skluz 100 %.

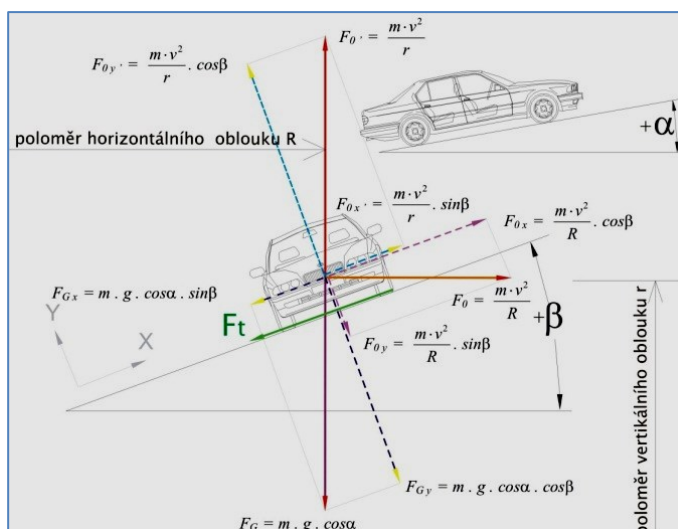
$$s = \frac{v_v - v_k}{v_v} 100\% \quad (1)$$

Síly pneumatiky závisí na svislé složce tíhové síly příslušného kola, brzdné síle, úhlu směrové úchylky a součiniteli adheze. Maximální brzdné síly na hranici adheze v podélném směru je obvykle dosahováno u skluzu mezi 10 a 20 %. Antiblokovací brzdové systémy regulují brzdné síly v této oblasti za současného zachování maximální řiditelnosti. ABS zajišťuje, že nedochází k zablokování kol při neúměrně silném brzděném tlaku a současně je umožněna plná řiditelnost vozidla i při intenzivním brzdění. Nevýhodou je často delší dráha potřebná k zastavení, odezva brzdového pedálu a s tím související možná neadekvátní reakce nezkušeného řidiče, s rozvojem brzdových asistentů i tyto nevýhody mizí. S výjimkou jízdy na vrstvě sněhu, kdy sníh před plně zablokovanou pneumatikou vytváří klín, vždy dosažitelná hodnota využitelné adheze se vzrůstajícím skluzem klesá. Formulace modelů pneumatik či jejich modifikací, např. pro verifikaci ABS systémů, je velice náročná disciplína, simulační programy plnou modifikací modelů pneumatik umožňují, problematická je však znalost analytika o konkrétní pneumatice, zejména v případech, kdy vozidla nejsou k dispozici.

Při jízdě v oblouku působí na vozidlo obecně a zjednodušeně síly zobrazené na následujícím obrázku, který vychází ze základní literatury Soudní inženýrství.¹⁰

Při jízdě v oblouku bez vertikálního sklonu na vozidlo působí v těžišti tíhová síla, odstředivá síla a v místě kontaktu pneumatik vozidla s podložkou v příčném směru působí tečná složka reakce, a to proti směru síly odstředivé. Proti síle tíhové působí v místě kontaktu vozidla s podložkou kolmo síly normálové. V případě skloněné zatáčky je směr odstředivé síly a tečné složky reakce různý a rovněž tíhová

síla není v rovnováze s normálovou složkou reakce. Odstředivá síla se také někdy nazývá setrvačná síla normálová.



Obrázek 3 – Síly působící na vozidlo při jízdě v oblouku¹¹

V nejjednodušším případě vozovky bez sklonu je **mezí rychlost** [m/s] možno stanovit z rovnováhy adhezní a odstředivé síly jako odmocninu ze součinu poloměru oblouku [m], tíhového zrychlení [m/s²] a součinitele adheze v příčném směru [-]. V případě horizontálního a vertikálního úhlu sklonu oblouku do rovnováhy vstupují jednotlivé složky třecí a odstředivé síly v příčném směru. Mezní rychlost je však vždy nezávislá na hmotnosti vozidla.



Například v oblouku o poloměru 30 m bez sklonů s uvažováním součinitele adheze v příčném směru 0,5 je mezní rychlost vozidla cca 73 km/h.

Pro obecný typ oblouku různého sklonu je užit následující komplexní vztah vycházející z předchozího obrázku pro **mezí rychlost vozidla**:¹²

$$v_{mez} = \sqrt{\frac{r \cdot R \cdot g \cdot (\mu_y + \tan \beta) \cdot \cos \alpha}{r \cdot (1 - \mu_y \cdot \tan \beta) - R \cdot (\mu_y + \tan \beta)}} \quad (2)$$

Kde: α je úhel podélného sklonu vozovky, β je úhel příčného sklonu vozovky, μ_y je dosažitelná adheze v příčném směru, r je vertikální poloměr oblouku a R je horizontální poloměr oblouku.

Velmi důležitým pojmem v souvislosti s mezní rychlostí je i **přiměřená rychlost**.¹³ Z technického hlediska se jedná o takovou rychlost, ze které je možno včetně reakční doby t_R [s], náběhu brzd (zpomalení při náběhu brzděného účinku zpomalení a_n [m/s²], doba náběhu t_n [s]) a brzdění (se zpomalením a [m/s²]) zastavit před překážkou, nebo místem, do kterého má řidič rozhled (výhled před vozidlo), tj. na zastavení na známou vzdálenost L [m]. Toto se týká i nočních nehod, kdy je dohlednost daná noční tmou, konstrukcí světlometů a kontrastem překážky. Přiměřená rychlost nemá žádnou popsateľnou souvislost s rychlostí na daném místě předpisem povolenou.

$$v = -a \cdot t_r - a_n \cdot t_n + \sqrt{a^2 \cdot t_r^2 + 2 \cdot a \cdot L} \quad (3)$$

Pokud má řidič rozhled na vzdálenost 60 m, jeho vozidlo na daném povrchu je schopno brzdit se zpomalením 8,5 m/s², řidič reaguje s reakční dobou 1,0 sekundy a náběh brzdného účinku trvá 0,2 sekundy, přiměřená rychlost vozidla je cca 85 km/h, a to i v místě, kde je jinak předpisem stanovená rychlost 90 km/h.



Bezpečná podélná vzdálenost není zatím v současné době odpovídajícím způsobem v ČR legislativou, na rozdíl od některých evropských zemí, regulována a problém nastává až v době, kdy dojde ke vzájemnému kontaktu vozidel. V zahraničí je dána časovým intervalem průjezdu za sebou jedoucích vozidel, dráhovým údajem ve vztahu k rychlosti na rychloměru či opticky na základě nutnosti viditelnosti značek vyznačených na okraji komunikace (např. i za situace mlhy apod.). Technicky je podélná bezpečná vzdálenost **b** [m] dvou za sebou jedoucích vozidel (první vozidlo index I, druhé index II) definována na základě výchozích rychlostí vozidel, dosažitelných zpomalení na daném povrchu **a** [m/s²] a reakční doby řidiče **tr** [s] zadního vozidla následovně:¹⁴

$$b \geq v_{II} \cdot t_{rII} + \frac{v_{II}^2}{2 \cdot a_{II}} - \frac{v_I^2}{2 \cdot a_I} \quad (4)$$

Pokud je rychlost a zpomalení při brzdění u zadního z vozidel větší, je nutno zkoumat, zda nedojde ke střetu během brzdění i při splnění podmínky bezpečné vzdálenosti.

Například při rychlosti obou vozidel 20 m/s, shodném dosažitelném zpomalení 8 m/s² a reakční době 1 sekunda je bezpečná vzdálenost 20 m, ale při reakční době 1,3 s a zpomalení zadního z vozidel o velikosti 7 m/s² (např. nákladní vozidlo či vozidlo) je již nutná bezpečná vzdálenost o třetinu delší. Naopak v případě, že zadní z vozidel je moderní, ve výborném stavu, s výbornými pneumatikami, brzdovým asistentem lze na kvalitním suchém povrchu dosahovat zpomalení až 11,5 m/s² (tedy i bezpečná vzdálenost může být teoreticky kratší).



S pojmy bezpečná vzdálenost a přiměřená rychlost souvisí i pojem **náhlá překážka**¹⁵, která je technicky definována jako taková, která vznikne na vzdálenost kratší, než na jaké je řidič schopen z přiměřené rychlosti zastavit. Z technického pohledu je to zpravidla náhlý vjezd jiného objektu do koridoru pohybu jiného objektu, na který je možné jen velmi obtížně reagovat. Otázka přiměřené rychlosti úzce souvisí s adhezními a tvarovými vlastnostmi povrchu komunikace, vlastnostmi vozidla a tomu, zda se jedná o denní či noční dobu. Z technického pohledu je proto zásadní rozdíl mezi rychlostí, jež je definována na daném úseku předpisem a rychlostí přiměřenou, která je vždy nižší, nejvýše stejná.

Při znalecké analýze silničních nehod se za „náhlé“ brzdění považuje takové, které odpovídá **polovině dosažitelného na daném povrchu**.

Naproti tomu **neočekávaná překážka**¹⁶, je technicky definována jako taková, která vznikla v rozporu s pravidly silničního provozu. V aplikační praxi jsou samozřejmě výkladové spory z hlediska technického a právního (např. ležící opilý chodec na vozovce, vozidlo stojící na zákazu či v zákrytu oblouku, apod.) i ve vztahu k porušení dalších souvisejících právních povinností.

Bezpečná příčná vzdálenost¹⁷ se týká bezpečného odstupu vozidel při předjíždění, resp. míjení, jelikož žádné vozidlo se nepohybuje po přímce, nýbrž po křivce tvaru vlny a tedy osciluje s nenulovou amplitudou a frekvencí. Velikost amplitudy a frekvence kmitání závisí na zkušenosti řidiče, charakteru a tvaru komunikace, vlastnostech a konstrukci vozidla a v neposlední řadě také na rychlosti. V případě míjení vozidel by měl být bezpečný odstup dle experimentálních měření a zkušeností s reálnými nehodami **minimálně 1,0 m**, při míjení v malých rychlostech může být nižší. V této souvislosti je předpisem stanovena jízda vpravo, tj. „*Na pozemní komunikaci se jezdí vpravo, a pokud tomu nebrání zvláštní okolnosti, při pravém okraji vozovky, pokud není stanoveno jinak*“.¹⁸ Za zvláštní lze považovat například chodce, kanál, či jinou překážku.



Úkoly k textu:

1. Zkuste se zamyslet nad možnou legislativní úpravou bezpečné podélné vzdálenosti a nad způsobem jejího měření a vyhodnocování.
2. Nakreslete síly působící na vozidlo v klidu, při přímé jízdě a jízdě v oblouku, při akceleraci, brzdění.



Shrnutí:

Po prostudování této kapitoly a souvisejících zdrojů byste měli být schopni užívat základní vztahy pro popis polohy, času a rychlosti objektů v průběhu nehodového děje, což předpokládá k aplikaci rovněž znalosti základních fyzikálních zákonů. S vlastním popisem pohybu úzce souvisí znalost sil působících na vozidlo v klidu, při přímé jízdě a jízdě obloukem. V této souvislosti byly rovněž zmíněny vztahy a podmínky pro bezpečnou vzdálenost a přiměřenou rychlost ve vztahu k jejich využití pro možnosti odvrácení nehody.



Korespondenční úkol:

Projděte níže uvedené další zdroje (zejména základní literaturu „Soudní inženýrství“) a shromážděte a na příkladu aplikujte základní vztahy pro popis pohybu objektů v průběhu nehody a zjišťování dynamických parametrů.



Další zdroje

BRADÁČ, A. *Soudní inženýrství*. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.
BURG, H. MOSER, A. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden : Vieweg, 2007. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2.

HUGEMANN, W. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.

Kolektiv autorů. *Wypadki drogowe – Vademecum bieglego sadowego*. Krakov : vydavatelství Instytutu Ekspertys sadowych, 2010. str. 1094. ISBN 83-87425-32-X.

PROCHOVSKI, L., UNARSKI, J., WACH, W., WICHER, J. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0.

3 Druhy stop, sběr dat na místě nehody a měřicí technika

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- teoreticky ohledat místo nehody se sběrem technicky relevantních dat pro její analýzu

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- vyjmenovat a charakterizovat druhy stop

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

- přehled o nutných veličinách, které je třeba pro analýzu nehod získávat

Klíčová slova kapitoly:

stopa, dokumentace, měřicí technika

Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:
2 + 3 hodin (teorie + řešení úloh)



Stopy jsou jedním z nejdůležitějších podkladů pro vyhodnocení technicky přijatelného pohybu objektů v průběhu nehodového děje. Stopy na místě nehody mohou být:

- stopy pneumatik, a to po jízdě vozidla v přímé jízdě bez zablokování kola (stopy jízdní), brzděné (kolo intenzivně brzdí, ale částečně se točí), blokovací (brzdění se zablokovánými koly – smýkání v přímém směru), stopy zrychlení (stopy prokluzu kola při rozjezdu), driftovací stopy, smykové stopy (stopy po rotaci vozidla) a zalomení stop v místě střetu (brzděné, blokovací i smykové),
- stopy dřecí – po pohybu sunutím či převrácením, jsou směrově neuspořádané s možnou přítomností materiálu působícího objektu,
- stopy rycí – hlubší rýhy v povrchu komunikace a okolí od kovových částí podvozků, směrově uspořádané
- kusy odpadlých částí vozidel a poškozených prvků okolí (střepy a plasty, bláto, vyhrnutý písek, štěrk, tráva, odpadlá rez apod.),
- stopy kapalin (olej, chladicí kapalina, ostřikovače),
- části oděvů, obuvi apod. (brýle, tašky apod. včetně stop na těchto částech),
- stopy biologické a mikrostopy na vozovce a objektech např. včetně směru stékání (krev, vlasy, části tkání a končetin, laky vozidel)
- stopy na okolních objektech a stopy po cizích nástrojích nebo stará poškození (pojistné podvody)
- a v neposlední řadě konečné polohy vozidel a zraněných osob.

Kvalita a možnosti technické analýzy nehod úzce souvisí s kvalitou sběru a zajišťováním technických podkladů.

Jízdní stopa vzniká v měkkém podkladu (zemina, sníh, písek), mokrou pneumatikou na suché vozovce nebo vrstvě znečištění a lze plně identifikovat profil volně se otáčejícího kola. Kriticky je potřeba zkoumat zejména příslušnost stop konkrétnímu objektu, např. analýzou rozměrů dezénových drážek.

Sběr dat na místě nehody

V případě přítomnosti analytika dopravních nehod na místě nehody bezprostředně po nehodě je třeba neprodleně zajistit a zaměřit stopy, které mohou být znehodnoceny. Jedná se zejména o zajištění:

- a zaměření brzdných, blokovacích, rycích, smykových, střepinových, biologických a kapalinových stop, na které působí nejrychleji atmosférické vlivy či rychlá práce záchranných složek či projíždějících vozidel (minimálně rychlá fotodokumentace),
- zaměření a dokumentaci konečných poloh vozidel a ostatních např. poškozených objektů,
- foto a video dokumentace stop, objektů, okolí a atmosférických podmínek tak, aby i s časovým odstupem dokumentace zachytila vše podstatné, velmi problematické je fotografování či videozáznam za snížené viditelnosti a následná interpretace výsledků ve vztahu k možnostem účastníků nehody nehodě zabránit (nelze seriózně užít).

Zajištěním stop se rozumí zejména jejich nalezení, označení, např. křídou či sprejem a označení pomocí tabulek s čísly či šipkami pro jejich snadnější identifikaci. Toto platí v maximální míře u drobných poškození či otěrů, např. na jízdním kole. Bez těchto označení je po časovém odstupu identifikace a uvědomění stop složité, až nemožné.

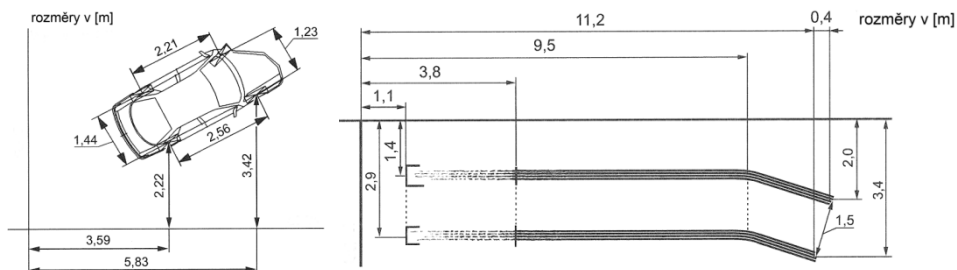
Digitální fotodokumentace:

- musí zachytit nejméně celkovou situaci ze směrů pohybu objektů a protisměrů nejlépe ze stativu s definovanou výškou a měřícím křížem na vozovce o známých rozměrech, který výrazně může usnadnit následnou fotogrammetrickou analýzu snímku v případě nejasností s polohou stop (i simulační programy dnes disponují možnostmi rektifikace fotografií),
- objekty a stopy musí být zachyceny nejprve kolmými pohledy z větší vzdálenosti a dále detaily při přiblížení k objektům, fotodokumentace může být spíše doplněna pohledy z šikmých směrů, vždy musí být zřejmé o jakou část či směr se jedná,
- videozáznam by měl postihnout kompletní systematický pohled na objekty a okolí nehody a měl by být doplněn hlasovým výkladem či poznámkami.

Měření musí být prováděno k vhodně zvoleným výchozím a pomocným bodům, které mají trvalou hodnotu a umožní měření reprodukovat (nikoliv sloupky, vodorovné značení, vyústění komunikace apod.). Ostatní měření je možno obvykle provádět s časovým odstupem, tj. reprodukovat.

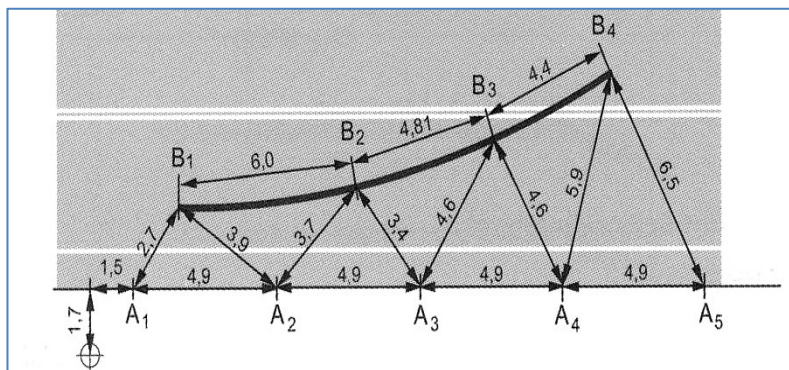
K měření délek od vhodně zvolených bodů trvalé hodnoty je možno v případě nemožnosti užití geodetických přístrojů (teodolit, dálkoměr, totální stanice, GPS, laserové dálkoměry apod.) užít:

- pravouhlou metodu k vyznačenému souřadnému systému XY



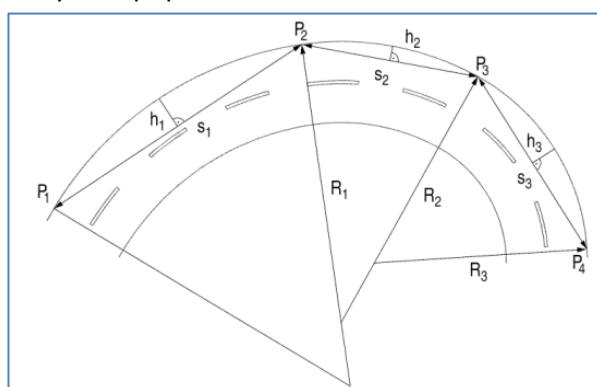
Obrázek 4 – Pravouhlé zaměření vozidla a stopy¹⁹

- trojúhelníkovou metodu – tvorba trojúhelníků z každého měřeného bodu ke dvěma dalším zaměřeným bodům



Obrázek 5 – Trojúhelníkové zaměření stopy²⁰

- metoda tětíva-výška v případě oblouků



Obrázek 6 – Možnost zaměření oblouku²¹

- nejlépe kombinace metod, či např. tvorba kontrolních úhlopříček již zaměřených bodů nejčastěji s pomocí měřicího kolečka, navíjecího a skládacího metru či laserového dálkoměru, nivelační latě, provázku a křídly, vodováhy pro zjištění podélného a příčného sklonu a v neposlední řadě papíru, tužky, vesty a pomocníka.

Mezi **další měřicí přístroje či pomůcky** kromě fotoaparátů a kamer lze zařadit:

- stativ, měřič tlaku pneumatik a měřič hloubky dezénu, měřič tloušťky laku,
- jasoměr a luxmetr, vesty v případě analýzy nočních nehod,
- lepicí páska, magnetické značky, kapesní svítilnu, fotografický kříž či latě známých délek, akcelerometr k možnému prověření brzdných a akceleračních schopností, v případě, že je vozidlo po nehodě pojezdne,
- drobné nářadí pro prohlídku vozidla po nehodě, či demontáž poškozených dílů pro jejich podrobnou prohlídku, vyčítač diagnostických závad případně kufrovou diagnostiku či endoskop, v případě analýzy tachografických záznamů rovněž mikroskop a v neposlední řadě obecně vhodný SW.

Prohlídka místa dále musí umožnit celkově popsat:

- stavebně technický stav povrchu komunikace včetně výmolů, výtluk a kanálů, či znečištění, které mohly nehodu ovlivnit, prvky či mohly ovlivnit vzájemný rozhled účastníků,
- osvětlení v případě nehody za snížené viditelnosti, meteorologické podmínky.

Prohlídka objektů, nejčastěji vozidel musí umožnit:

- celkovou identifikaci vozidla a technických údajů a prvků výbavy, zejména bezpečnostních, hmotnosti a rozměrů, identifikaci nákladu,
- celkový podrobný popis poškození, stav prvků pasivní bezpečnosti (bezpečnostní pásy), airbagy, zařazená rychlost, nastavení zrcátek a ovládacích prvků, natočení volantu, stav a typ pneumatik apod.,
- ověření funkčnosti a stavu světlometů,
- pokud je to alespoň trochu možné, zhodnocení technického stavu (brzdy, řízení, pohon kol apod.).

V případě, že jsou vozidla po nehodě provozuschopná, je možno s nimi provést brzdnu zkoušku a zjistit dosažitelné zpomalení na daném povrchu za daných podmínek, např. s pomocí ručních jedno či dvouosých decelerometrů (XL Meter, VZM100, Motometer, PocketDAQ, Racelogic) či optických snímačů pro měření rychlosti (např. Correvit) či s podporou systému GPS. Z pomocných měření při analýze nehod lze jmenovat měření tloušťky laku, měření zkrácení rozvoru u motocyklu, měření hloubky deformace na zakresleném rastrovém obrysu, výškové a směrové zaměření poškození (nejen při podezření na manipulované nehody), měření teploty a obecně měření související s posuzováním technického stavu a diagnostikou.



Úkoly k textu:

1. Nadefinujte, pokud možno co nejpresněji, jednotlivé druhy stop a rozlište je navzájem.
2. Popište kroky na místě nehody k vytěžení maxima informací k analýze nehody.

3. Navrhněte současné možnosti užití měřicí a dokumentační techniky na místě nehody.

Shrnutí:

Znalosti stop, jejich identifikace a zákonitosti a možnosti jejich vzniku představují prvotní sběr informací z technických podkladů či prohlídky místa nehody. Po prostudování této kapitoly a souvisejících zdrojů byste měli být schopni definovat a prakticky rozpoznat druhy stop na místě nehody, které by mohly mít souvislost s nehodovým dějem a vyhodnotit jejich význam, popsat možnosti a zásady sběru dat při prohlídce místa nehody včetně konkrétního provedení měření k vytěžení maxima informací o poloze stop a tvaru komunikace a okolí. Se sběrem a vyhodnocením dat úzce souvisí i schopnosti a možnosti měření zásadních parametrů komunikace a vozidla.



Otázky:

1. Vyjmenujte druhy stop pro analýzu silničních nehod a uveďte příklady.
2. Popište zásady měření na místě nehody.
3. Popište možnosti užití měřicí techniky pro sběr informací, včetně konkrétních aplikací.
4. Uveďte příklady nesprávného či žádného sběru dat a jejich vliv na možnosti analýzy nehody.



Korespondenční úkol:

Všimněte si v terénu stop a případně dokumentujte stopy na vozovce, vozidlech a okolí a pokuste se prakticky zjistit jejich původ. Provedte na vozidle, které máte k dispozici brzdovou zkoušku s pomocí autonavigace či chytrého telefonu z rychlosti 50 km/h na zdokumentovaném povrchu, vypočtete orientačně průměrnou hodnotu plného středního brzdného zpomalení. Zkuste si na klidném místě jednoduchými metodami zaměřit tvar komunikace (např. křižovatky v oblouku) a vytvořit plánec s vhodně zvoleným výchozím bodem měření.



Další zdroje

BRADÁČ, A. *Soudní inženýrství*. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.
BURG, H. MOSER, A. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden : Vieweg, 2007. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2.
HUGEMANN, W. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.
Kolektiv autorů. *Wypadki drogowe – Vademecum biegtego sadowego*. Krakov : vydavatelství Instytutu Ekspertys sadowych, 2010. str. 1094. ISBN 83-87425-32-X.
RIVERS, Robert W. *Technical traffic crash investigator's handbook*. Springfield : Charles C Thomas Publisher, 2010. str. 473. 3. vydání. ISBN 978-0-398-07908-6.
VAN KIRK, D.J. *Vehicular accident investigation and reconstruction*. Boca Raton : CRC Press, 2001. ISBN 0-8493-2020-8.
RIVERS, Robert W. *Evidence in traffic crash investigation and reconstruction*. Springfield : Charles C Thomas Publisher, 2006. str. 295. 1. vydání. ISBN 978-0-398-07644-8.



4 Pohyb střepin, pohyb tělesa vzduchem, příčné přemístění a předjíždění

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- pracovat s doplňkovými stopami charakteru střepin a na základě jejich rozptylu a polohy se budete učit posoudit jejich význam

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- aplikovat poznatky o příčném přemístění pro analýzu předjíždění

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

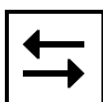
- základní přehled o poznatcích o pohybu střepin a pohybu těles vzduchem
- teoretický základ pro posuzování nehod s příčným přemístěním vozidel a předjížděním



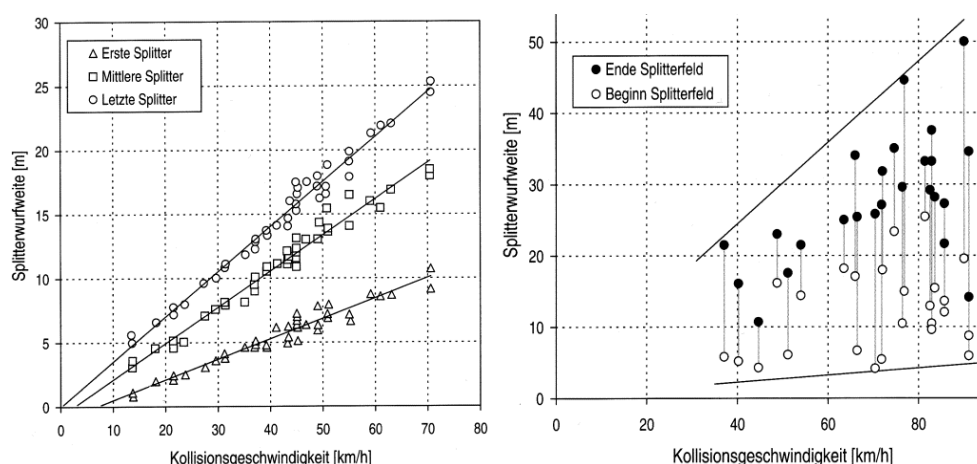
Klíčová slova kapitoly:

Střepiny, plasty, sklo, pohyb těles vzduchem, příčné přemístění, předjíždění

Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:
3 + 3 hodin (teorie + řešení úloh)



Střepiny jsou spolu se stopami kapalin jedním z doplňkových poznatků, které mohou pomoci odpovědět na otázku polohy místa střetu, charakteru a intenzity rotace, střetové rychlosti vozidel, či reálnosti popisovaného nehodového děje v případě podezření na pojistné podvody. Poloha střepin je ve vztahu ke stanovení střetové rychlosti pouze podpůrným pramenem, viz některé práce na obrázku, a v případech, kdy se není možno spolehnout na jiné technicky přijatelné podklady. Obrázky popisují závislost polohy odhození střepin od místa střetu v závislosti na kolizní rychlosti, na obrázku vlevo první střepina (Erste), střední (Mittlere) a poslední střepina (Letzte). Obrázek vpravo zobrazuje rozmezí pole střepin od začátku (Beginn) po konec (Ende).



Obrázek 7 – Závislosti polohy střepin (první střepiny, těžiště střepin a poslední střepiny) na nárazové rychlosti vozidla²²

Rozptyl střepin je velice složitou problematikou, bylo zjištěno, že větší kusy se pohybují dále a nejmenší kousky mohou dopadat prakticky v místě střetu.²³

V současnosti se jedná zejména o stopy plastů, neboť lepená čelní skla neuvolňují v takové míře střepiny (pouze drobné střípky), a světlomety jsou rovněž kryty plastovými krycími „skly“.

V případě střetu vozidel a uvolnění střepin má na jejich pohyb a dopad výrazný vliv střetová konfigurace vozidel, tj., zda dojde např. k zastavení střepin jiným objektem.

Pohyb předmětů po střetu, a to nejen střepin, ale i částí oděvů, nákladu a věcí účastníků se skládá ze tří fází:

- fáze letu vzduchem (odpoutání od vozidla rychlostí podobnou vozidlu za působení setrvačné síly a tíhové síly, proti pohybu působí odpor prostředí),
- fáze dopadu a přitížení (v okamžiku dopadu dochází k eliminaci svislé složky, a to deformací tělesa, svislá složka rychlosti se postupně snižuje k nule),
- a fáze sunutí po dopadu do konečné polohy (pohyb sunutím do konečné polohy dle součinitele smykového tření).

Ve fázi letu se obvykle jedná o vodorovný vrh (v případě zisku svislé rychlosti se může jednat o vrh šikmý), při pohybu motocyklů, či cyklistů se jedná o vrh šikmý z nenulové výšky. V případě analýzy nehod je podstatná zejména podélná vzdálenost letu vzduchem před dopadem závislá na rychlosti odpoutání v_0 a výšce odpoutání h a tato je dána u vodorovného vrhu vztahem:²⁴

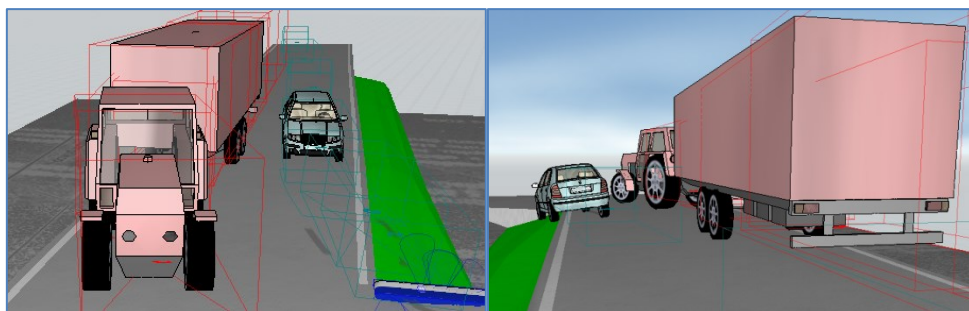
$$l = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} \quad (5)$$

U šikmého vrhu z nulové výšky pak s pomocí elevačního úhlu α :²⁵

$$l = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin(2\alpha) \quad (6)$$

Příčné přemístění (vyhýbání a předjíždění)

V případě příčného přemístění vozidla **jedním obloukem**, tj. při vyhýbání překážce, se vozidlo příčně přemístí o příčnou vzdálenost y [m]. Tento typ příčného přemístění je typický v případech odvracení nehody, zejména v případech nehod na křižovatce, kdy vozidlu jedoucímu po hlavní komunikaci „vyjede“ zprava vozidlo, na což reaguje prudkým vyhnutím jedním obloukem vlevo, často do protisměru, či až mimo komunikaci.



Obrázek 8 – Příčné přemístění jedním obloukem při odvracení nehody²⁶

Čas t [s] potřebný pro takové přemístění o příčnou vzdálenost y [m] lze odvodit teoreticky za předpokladu konstantního zrychlení v příčném směru a_y [m/s²]. Toto zrychlení však není konstantní, ale má na začátku přechodnici a postupný náběh. Empiricky zjištěný vztah pro minimální dobu příčného přemístění s užitím součinitele adheze v příčném směru (μ_y [-]) pro případ vyhýbání je tedy:²⁷

$$t \geq 1,57 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{y}{\mu_y}} \quad (7)$$

V případě osobních vozidel lze součinitel adheze v příčném směru pro běžné přemístění uvažovat v rozmezí 0,3 až 0,45. K zohlednění dynamiky příčného přemístění (pomalu, normálně či sportovně) se hodí lépe užití vztahu se zrychlením v příčném směru a_y [m/s²] z provedených měření, jehož hodnoty mohou dosahovat v případě sportovnějšího manévru 5 až 7 m/s² a v extrémních případech podélně krátkých a dynamických přemístění u vozidel vybavených stabilizačním systémem nelze vyloučit ani hodnoty okolo 9 až 10 m/s². V případech příčného přemístění **dvěma oblouky**, tj. např. při předjíždění²⁸, lze předpokládat skokovou změnu zrychlení nejprve do maxima vlevo, poté do maxima vpravo, aby bylo možné vozidlo opět ustálit do původního směru jízdy. Ve skutečnosti však má průběh zrychlení v příčném směru charakter cca sinusoidy. Pro sinusoidu lze opět odvodit teoretický vztah, ale opět jsou zde přechodnice na počátku a konci manévru, které celý manévr prodlužují. Opět se tedy používá empiricky zjištěný vztah pro minimální dobu příčného přemístění, označovaný jako **Kovaříkův vzorec**:²⁹

$$t \geq 3,13 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} = \sqrt{\frac{y}{\mu_y}} \quad (8)$$

Z hlediska stanovení podélné vzdálenosti příčného přemístění (s [m]) o příčnou vzdálenost (y [m]) dvěma oblouky v závislosti na rychlosti vozidla (v [m/s]) s užitím součinitele adheze v příčném směru (μ_y [-]) byl publikován následující vztah:³⁰

$$s = v \cdot \sqrt{\frac{y}{1,56 \cdot \mu_y}} \quad (9)$$

Při některých typech nehod je nutné rovněž řešit analýzu **předjíždění** ve vztahu k potřebné dráze a času. Pro technické řešení výpočtem může nastat několik kombinací:

- obě vozidla jedou konstantní rychlostí – méně obvyklá varianta,
- **předjížděné vozidlo jede konstantní rychlostí a předjíždějící zrychluje,**
- předjížděné vozidlo zpomaluje a předjíždějící jede konstantní rychlostí,
- předjížděné vozidlo zpomaluje a předjíždějící vozidlo zrychluje.

Řidič předjíždějícího vozidla nesmí „ohrozit“³¹ a „omezit“³² řidiče předjížděného vozidla, řidič předjížděného vozidla přitom *nesmí zvyšovat rychlost ani jinak bránit předjíždění*.³³

První fází předjíždění je zrušení bezpečné vzdálenosti, kterou předjíždějící vozidlo udržuje za předjížděným, která končí, když je přední částí podélně na úrovni zadní části předjížděného vozidla, jedná se tedy o přiblížení vozidel a příčné přemístění předjíždějícího vozidla do protisměrného pruhu. **Druhou fází** předjíždění je vlastní předjíždění, kdy tato fáze končí v době, kdy je předjíždějící vozidlo zadní částí na úrovni přední části předjížděného. K bezpečnému dokončení předjetí je třeba dále navýšit podélnou vzdálenost na nutně bezpečnou a dokončit předjetí opětovným příčným přemístěním vpravo. Toto je poslední – **třetí fáze** předjíždění. Celková dráha předjetí je rovna součtu drah jednotlivých fází, celkový čas předjetí je rovněž roven součtu časů v jednotlivých fázích. Rychlost předjíždějícího vozidla může být omezena, nebo může zrychlovat po celou dobu předjíždění i po zařazení před předjeté vozidlo. V praxi je velmi obtížné exaktně posoudit rychlosti obou vozidel, či vyhodnotit, zda řidič předjíždějícího vozidla zrychloval bez omezení a současně vyhodnotit, zda předjížděné vozidlo jelo konstantní rychlostí, či zpomalovalo, nebo naopak zrychlovalo, čímž manévr prodloužilo. Dalším problematickým bodem je posouzení dynamiky předjíždění, kdy se zpravidla výpovědi, jako často jediný podklad, rozcházejí. Pro vyhodnocení předjíždění je nutné provést prohlídku místa nehody a vyhodnotit tvar a charakter komunikace a výhledové možnosti obou řidičů pro dostupnou, resp. bezpečnou dráhu rozhledu.

Za vozidlem jedoucím rychlostí 45 km/h ve vzdálenosti 20 metrů jede vozidlo rychlostí 65 km/h, které začíná předjíždět. Po čase 2,5 sekundy je předjíždějící vozidlo plně zařazeno v protisměru 1,2 m za zadní částí předjížděného vozidla. V druhé fázi předjíždění je nutné vymazat vzdálenost do zadní části předjížděného vozidla, urazit vzdálenost rovnou součtu délek obou vozidel a vytvořit si minimální náskok před předjížděným vozidlem, tj. celkem například 14 metrů, to může trvat cca dalších 1,5 sekundy. Následuje zařazení zpět trvající dalších cca 2,5 sekundy. Celkový čas předjíždění byl tedy cca 6,5 sekundy na délce například cca 150 metrů. V případě bezpečného manévru je třeba počítat s možností výskytu protijedoucího vozidla o vyšší rychlosti (např. 100 km/h), tj. mít



na dobu trvání předjížděcího manévru volnou oblast výhledu (právně rozhledu) téměř na 400 m!



Úkoly k textu:

1. Vypočtete minimální dobu poměrně razantního příčného přemístění dvěma oblouky moderního vozidla o příčnou vzdálenost 3 a 4 metry.
2. Zjistěte odpovídající možnou podélnou vzdálenost tohoto přemístění.
3. Zjistěte výchozí rychlost předmětu vodorovného vrhu z výšky 1,3 metru, pokud je délka vrhu 13 metrů.



Shrnutí:

Po prostudování této kapitoly a souvisejících zdrojů byste měli být schopni chápat složitost posuzování polohy výskytu střepin ve vztahu k jiným podkladům a jejich pouze podpůrný význam. Dále byste měli být schopni analyzovat pohyb předmětů po střetu a analyzovat všechny obvyklé možnosti předjíždění dvou vozidel, včetně vyhýbání jedním obloukem.



Otázky:

1. Pod jakým úhlem v případě šikmého vrhu by se mohl po střetu s kolmo stojícím motocyklem pohybovat řidič motocyklu a pod jakým tandemista, který z nich dopadne po střetu dále?
2. Jaké nejobvyklejší varianty předjíždění je možno uvažovat v případě předjíždění na dálnici a na klikaté komunikaci a ve městě, popište rozdíly.



Korespondenční úkol:

Analyzujte předjížděcí manévr z hlediska časové a dráhové náročnosti za předpokladu, že předjížděné vozidlo jede rychlostí 70 km/h a zpomaluje po celou dobu předjížděcího manévru vlivem jízdy do svahu se zpomalením $0,4 \text{ m/s}^2$. Předjíždějící vozidlo jedoucí výchozí rychlostí 85 km/h ve vzdálenosti 25 m za vozidlem zrychlovalo s průměrným středním zrychlením během příčného přemístění $0,5 \text{ m/s}^2$, během jízdy protisměrným pruhem jelo konstantní rychlostí a během zpátečního přemístění zpomalovalo se zpomalením $1,0 \text{ m/s}^2$.



Další zdroje

BRADÁČ, A. *Soudní inženýrství*. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.
BURG, H. MOSER, A. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden : Vieweg, 2007. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2.

HUGEMANN, W. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.

Kolektiv autorů. *Wypadki drogowe – Vademecum biegtego sadowego*. Krakov : vydavatelství Instytutu Ekspertys sadowych, 2010. str. 1094. ISBN 83-87425-32-X.

VAVRA, L. Rozptyl střepin po střetu – rešerše, sborník doktorského konference JuFoS, Brno, 2011, ISBN 978-80-214-4276-4

5 Prvek člověk – biometrická data, reakční doba řidiče, parametry pohybu, smyslové vnímání, pozornost

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- chápat význam lidského faktoru a jeho podíl na vzniku silniční nehody

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- chápat pojem reakční doba a vlivy, který na její délku mají dopad

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

- základní přehled o pohybových a biomechanických parametrech člověka potřebných pro analýzu silniční nehody

Klíčová slova kapitoly:

člověk, biometrická data, reakční doba, pohybové parametry

Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:

3 + 2 hodin (teorie + řešení úloh)



Prvek člověk, podílející se na vzniku dopravní nehody majoritním dílem, je při analýze nehodového děje popsán svými antropologickými parametry, dále schopností k řízení vozidla (trénink, rutina řešení náhlých situací nebo stres z jízdy) a vnímání a reakce na okolí (reakční doba, doba na přesvědčení se o bezpečnosti situace) a znalost pravidel silničního provozu a míra jejich dodržování či agresivity.

Lidský faktor se podílí na vzniku silniční nehody v podobě řidiče motorového či nemotorového vozidla, chodce či vedlejšího účastníka. Lidský faktor je důležitý i zejména z hlediska subjektivního posouzení události z pozice svědka.

U osoby **řidiče** rozhodují nejvýznamněji:

- zkušenosti a řidičské schopnosti,
- povahové a osobnostní vlastnosti,
- znalost prostředí,
- schopnost předvídat vznik rizikové situace,
- schopnost správně vyhodnotit způsob reakce,
- **a zejména reakční doba.**

Reakční doba souvisí s pojmy jako čas na rozhodování, schopnost rozpoznání nebezpečí, ostré vidění, akomodace oka, rozhodovací čas, pozornost, zorné pole atd.

Doba reakce řidiče je ve forenzní praxi definována jako doba od spatření (uvidění) nebezpečí či podnětu k reakci do začátku brzdění či jiného konání (brzdění, vyhýbání, kombinace, nekonání apod.). Do reakční doby se tedy nezapočítá doba náběhu brzděného účinku, doba technické prodlevy.

Od místa spatření nebezpečí (oba objekty jsou navzájem viditelné) uběhne do počátku oční fixace objektu (rozpoznání nebezpečí) optická reakce 0,32 až 0,55 sekundy, následuje fixace objektu trvající od 0,22 do 0,58 sekundy (psychická reakce), poté svalová reakce přesunu nohy trvající od 0,15 do 0,21 sekundy a poté doba od počátku kontaktu nohy s brzdovým pedálem do začátku brzdného účinku v době trvání 0,03 až 0,06 sekundy. Samotná reakční doba je určována od počátku fixace objektu do počátku brzdění. Pro většinu řidičů lze uvažovat dobu od zafixování nebezpečného objektu po počátek brzdění ve výši 0,83 sekundy.³⁴

Reakční dobu lze tedy popsat jako součet složek **optické reakce, psychické reakce a svalové reakce**. V případě, že objekty jsou přímo viditelné bez nutnosti změny úhlu pohledu, pak lze optickou reakci řidiče uvažovat jako nulovou a celková reakční doba poté pouze součtem psychické a svalové reakce. Složky času reakce lze popsat jako **detekci (uvidění) objektu, jeho identifikaci, rozhodování a konání** před samotnou odezvou vozidla. Identifikace objektů z hlediska formy trvá od 0,036 do 0,161 sekundy. Celkový čas reakce na prostý signál (rozsvícení světla na vozovce) lze uvažovat v rozmezí 0,7 až 0,85 sekundy, čas reakce při očekávané překážce činí 1,0 až 1,15 sekundy a při neočekávané situaci 1,3 až 1,5 sekundy.³⁵

Doba složky optické reakce může být v rozmezí 0 až 0,7 sekundy a její délka závisí na velikosti úhlové odchylky objektu reakce od směru pohledu řidiče. Doba psychické reakce může být obecně v rozmezí 0,2 až 0,6 sekundy, zbývající doba svalové (fyzické reakce) může být cca 0,2 sekundy. Celkový čas reakce může být při neperiferním vnímání již od 0,45 s, při periferním až 2,0 s, přičemž např. dle zkoumání prof. Hartmanna může být v denní době cca 0,35 až 1,4 sekundy a v noční době 0,4 až 1,8 sekundy. Pro 95 % řidičů však lze v denní době uvažovat cca 0,9 sekundy, v noční době spíše 1,2 až 1,4 s. Z těchto měření rovněž vyplynulo, že muži mají reakční dobu o 0,1 až 0,2 s kratší.³⁶

Na reakční dobu mají obecně dopad tyto vlivy:

- věk řidiče,
- změna psychického stavu a ostražitost,
- typ dopravní situace či směr jízdy (doba pohledu do levého zrcátka 0,7 až 1,4 s),
- oslnění a kontrast v případě noční jízdy (silné prodloužení reakční doby bylo pozorováno při kontrastním poměru menším než 2, a to až o 0,3 až 0,5 s),
- únava,
- meteorologické podmínky,
- hluk,
- telefonování či rozhovory (0,3 až 0,4 s navíc při změně světelné signalizace či vkročení chodce až 0,6 s navíc při náhlém zastavení vpředu jedoucího vozidla či pádu překážky), pohled na rádio (1 až 1,5 s),
- alkohol či drogy (reakční doba byla např. sledována do hodnot 1,6 promile alkoholu v krvi, kdy bylo zjištěno její navýšení od 0,15 až 0,6 s).

Při přímém pohledu na objekt lze reakční dobu uvažovat na hodnotě 1,0 až 1,1 s, při nutnosti změny pohledu pak 1,5 až 1,6 s, tyto hodnoty postihují 98 % percentil osob.³⁷

Člověk je omezen zdravotními dispozicemi, fyzickými či motorickými předpoklady a v neposlední řadě také psychikou, zejména odvahou a mírou agresivity. Nejdůležitějším typem vnímání je vnímání zrakové, a to zejména vnímání celku, detailů, jasu, kontrastu a barev. Sluchové vnímání se při dopravních nehodách uplatňuje v menší míře, zejména při akustické signalizaci (železniční přejezdy, vnímání akustické signalizace vozidel vybavených zvukovou signalizací, nebo reakce na vnější hluk, či vnímání drobné kolize). Ovlivněn může člověk být nejen alkoholem nebo drogami, které mohou prodloužit jeho reakční dobu nebo zvýšit míru riskování a agresivity, ale také únavou a schopností s únavou bojovat. Dále může řidiče překvapit odezva vozidla a tím může být jeho naučená nebo instinktivní reakce nesprávná (např. chování vozidla s elektronickým systémem, resp. bez tohoto systému).

V případě chodců a střetů s vozidly rozhodují biometrické parametry, parametry pohybu, zejména rychlost chůze, postava, postavení končetin, délka dolních končetin, a tedy výška kolen, zad a hlavy a v případě nehod za snížené viditelnosti i oblečení. Stejně jako u řidičů v případě vzniku či odvrácení nehody rozhoduje reakční doba a schopnost odhadu vzniku rizikové situace.

Z fyzikálních vlastností člověka se jedná o celkový moment setrvačnosti těla, definovaný vztahem v závislosti na výšce těla v :³⁸

$$I_0[kg \cdot m^2] = 0,0008 \cdot v^2[cm] + 0,0106 \cdot v[cm] - 15,185 \quad (10)$$

Výška těžiště člověka je dána vztahem závislosti na výšce těla v :³⁹

$$v_T[cm] = 0,5893 \cdot v[cm] - 3,6976 \quad (11)$$

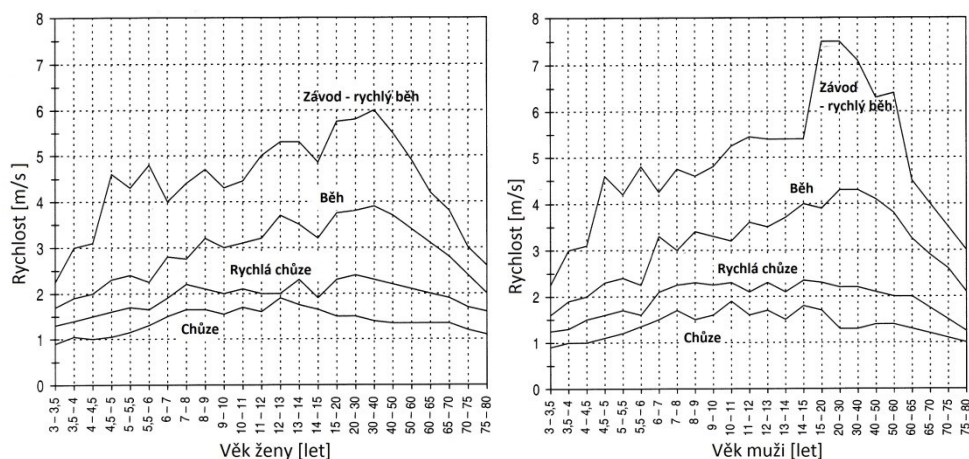
Poměr poloměru setrvačnosti k výšce člověka činí cca 0,232.⁴⁰ Dalším parametrem je tzv. Body Mass Index (BMI):

$$BMI = \frac{m[kg]}{v^2[m]} \quad (12)$$

BMI u dětí leží nejčastěji v rozmezí 15 až 20, u dospělých lidí bez nadváhy mezi 20 až 25, s nadváhou 25 až 30 či vyššími hodnotami ukazujícími na obezitu.

Z pohledu analýzy nehod je u chodců zásadní rychlost jejich pohybu či případné možnosti akcelerace z klidové polohy. Z akceleračních testů mj. vyplynulo, že při pomalé akceleraci lze uvažovat za jednu sekundu pohybu s uraženou dráhou od 0,3 do 1,1 m a za dvě sekundy s dráhou 1,1 až 2,7 m, při normální akceleraci lze uvažovat za jednu sekundu pohybu s uraženou dráhou od 0,5 do 1,2 m a za dvě sekundy s dráhou 1,5 až 3,1 m a při rychlé akceleraci lze uvažovat za jednu sekundu pohybu s uraženou dráhou od 0,6 do 1,5 m a za dvě sekundy s dráhou 2,2

až 3,5 m. V případě velmi rychlých startů byla uražená dráha v rozmezí 1,7 až 2,8 m za sekundu pohybu.⁴¹



Obrázek 9 – Rychlost pohybu osob⁴²

S ohledem na legislativní úpravu „přednosti chodců“, která uvádí, že řidič „nesmí ohrozit nebo omezit chodce, který přechází pozemní komunikaci po přechodu pro chodce nebo který zjevně hodlá přecházet pozemní komunikaci po přechodu pro chodce, v případě potřeby je řidič povinen i zastavit vozidlo před přechodem pro chodce“⁴³ je z pohledu prevence velmi důležité, aby účastníci silničního provozu bezprostředně navazovali oční kontakty, nebo si navzájem naznačovali své úmysly. Vstup chodce do komunikace, pokud se pohybuje v obci ve vzdálenosti menší než 40 metrů od vozidla, je vždy velmi rizikovým bez předchozího navázání kontaktu či naznačení vstupu. Pohyb chodců po komunikaci v podélném směru, tedy ve směru jízdy či protisměru jízdy vozidel je rizikovým zejména za snížené viditelnosti a ve stavech opilosti, neboť chodci nemají žádné povinnosti být označeni reflexním prvky či alespoň netmavým oděvem.

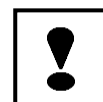
Vstup chodce do komunikace v místě, kde je již řidič jednoznačně schopen nebezpečí rozpoznat, se označuje jako tzv. **signální pozice**. V případě vstupu chodce do komunikace lze tuto pozici v případě přecházení uvažovat, pokud je chodec cca 0,5 m v komunikaci. Počátek dopravní nehody není zpravidla jeden, v případě pohybu chodce je počátkem nehody vstup chodce a druhým počátkem nehody je počátek reakce řidiče na pohyb chodce.

Význam biometrických dat a hmotnostní rozložení jednotlivých částí těla nabývá na důležitosti při analýze nehod s chodci či cyklisty s podporou simulačního programu. Člověk je v těchto software nahrazen soustavou elipsoidů definovaných rozměrů a hmotností spojených vazbami (klouby) definovanými vlastnostmi a limitními úhly natočení (například končetin). Korektnost vstupních dat (rozměry, hmotnosti, natočení končetin či celého těla, postoj a zatížení končetin) spolu s parametry vnějšími (rychlost, směr rychlosti, tření mezi povrchem a modelem, mezi vozidlem a modelem, restituce s povrchem a vozidlem) tvoří velmi citlivou soustavu mnoha „neznámých“ veličin, jejichž modifikace např. i v řádu milimetrů či zlomků stupňů znamená zásadní ovlivnění výsledků. Použitelnost vícetělesových

modelů primárně závisí na pregnantní znalosti popisu pohybu chodce v průběhu kontaktní fáze střetu. Orientace na bezmeznou důvěru výsledků takových simulací bez další kontroly a logické analýzy není správná.

Úkoly k textu:

1. Zjistěte velikost momentu setrvačnosti průměrného muže a ženy a výškovou polohu jeho těžiště při vzpřímené chůzi.
2. Popište vlivy působící na délku reakční doby řidiče a schopnost rozpoznání překážky či hrozícího nebezpečí.
3. Popište parametry ovlivňující rychlost pohybu chodce.



Shrnutí:

Lidský faktor při analýze silničních nehod je primárním prvkem, který ovlivňuje vznik i odvrácení (řešení) krizových situací v silničním provozu. Z hlediska analýzy nehod jsou podstatné jeho rozpoznávací schopnosti a schopnosti reakce, a to nejen z hlediska včasnosti, ale také z hlediska správnosti či adekvátnosti. Kromě toho se člověk jako řidič projevuje svými povahovými vlastnostmi, schopností řešit krizové situace, vnímat a empaticky interovat se svým okolím. Z hlediska stavby těla a psychiky je omezen svými fyzickými možnostmi, momentálním stavem a specifickými dovednostmi při řízení vozidla. Chodec, stejně jako řidič, by měl mít schopnosti správného vyhodnocení rizikové situace, protože je nejméně chráněným účastníkem silničního provozu. Schopnosti, dovednosti a správnost vyhodnocení rizikové situace nikterak nesouvisí s držením řidičského oprávnění.



Otázky:

1. Diskutujte nad současnou legislativní úpravou silničního zákona v oblasti chodců.
2. Popište omezení člověka z hlediska vnímání, vliv únavy a alkoholu na reakční dobu.
3. Zamyslete se nad nejlepšími způsoby reakce řidiče vozidla na nenadálé podněty a nad možnostmi jejich trénování během výcviku řidičů.
4. Seznámili jste se během výuky v autoškolě s pojmy přiměřená rychlost, bezpečná vzdálenost a podobně?



Další zdroje

BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X.

BURG, H. MOSER, A. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden : Vieweg, 2007. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2.

HUGEMANN, W. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.

Kolektiv autorů. *Wypadki drogowe – Vademecum bieglego sadowego*. Krakov : vydavatelství Instytutu Ekspertys sadowych, 2010. str. 1094. ISBN 83-87425-32-X.

PROCHOVSKI, L., UNARSKI, J., WACH, W., WICHER, J. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0.



6 Prvek vozidlo

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- chápat znalecký objekt zájmu o vozidlo jako významného faktoru při silniční nehodě

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- chápat význam prvků aktivní a pasivní bezpečnosti

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

- základní orientační přehled o prvcích aktivní a pasivní bezpečnosti



Klíčová slova kapitoly:

vozidlo, aktivní bezpečnost, technická závada, pasivní bezpečnost, černá skříňka

Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:

3 + 2 hodin (teorie + řešení úloh)

Prvek vozidlo je při analýze nehody dán zejména konstrukčními (stavba, koncepce) a technickými parametry (délka, šířka, výška, přední převis, rozvor, rozchod, poloha těžiště, moment setrvačnosti, hmotnost a zatížení, tvar karoserie, tuhost, model pneumatiky atd.), pohybovými parametry (jízdní vlastnosti, jízdní stabilita, schopnosti brzdění, akcelerace, řízení apod.). Omezení je dáno konstrukčně (rejd, výkon motoru, výkon brzd, převodování, posilovače, elektronické systémy jako antiblokovací systémy, stabilizační systémy, protiprokluzové systémy a systémy aktivní bezpečnosti např. radary, systémy hlídání jízdních pruhů, brzdové, řídicí asistenční systémy včetně systému proti převrácení, adaptivní prvky atd.), dále stavem konkrétního automobilu (pneumatiky ovlivňující velikost směrové úchylky, stav brzd, tlumičů, stav světlometů při nehodách za snížené viditelnosti). Vozidlo je konstrukčně uspořádáno rovněž pro omezení následků posádky. V případě, že dojde k negativní události, ochrana je realizována prvky pasivní bezpečnosti, jako například bezpečnostními pásy, deformační zónami, airbagy atd. Tyto součásti nejen zmírňují následky samotného negativního jevu, ale také v případě jejich použití, nepoužití či poruchy vstupují do samotného řešení nehodového děje, často ve vztahu k popisu možného pohybu posádky. Vozidlo je v neposlední řadě charakterizováno svým technickým stavem, který je často posuzován v případech uplatnění technické závady řidičem, či sporech mezi prodávajícím a kupujícím. Technická závada může vzniknout jako důsledek poruchy některého z prvků soustavy vozidla či konstrukční skupiny či z důvodu mimořádné okolnosti (únava materiálu, vada materiálu, která se projeví bezprostředně před vznikem nehody).

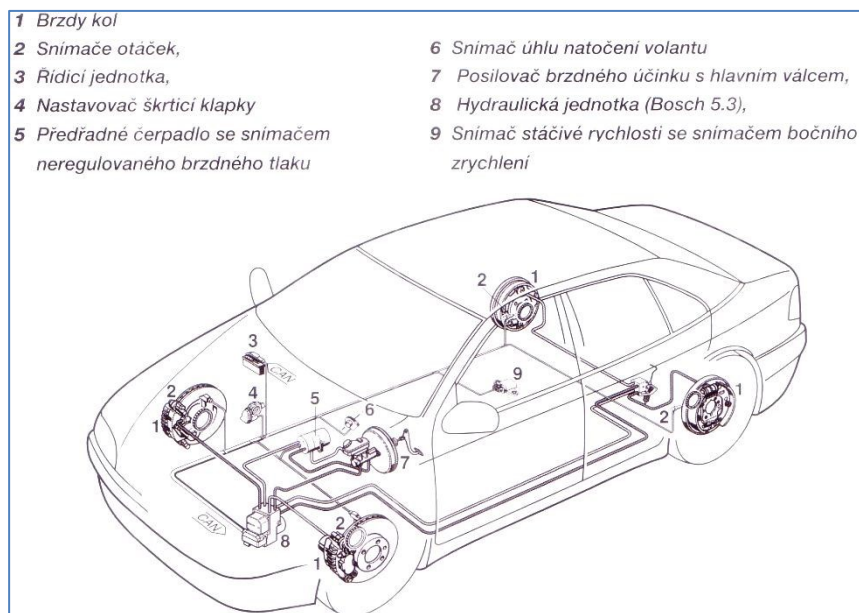
V souvislosti s analýzou silničních nehod jsou nejčastěji uplatňovány **technické závady** (mohly či měly mít vliv na vznik a průběh nehody):

- na brzdách (prasklé či utržené kotouče, únik kapaliny, ...),
- řízení (poruchy ovládání, ...),
- pohonu kol apod.

Vyloučení technické závady by mělo proběhnout expertem přímo na místě nehody nebo při podrobném ohledání s kontrolou funkčnosti jednotlivých skupin vozidla, bohužel se toto děje velmi zřídka.

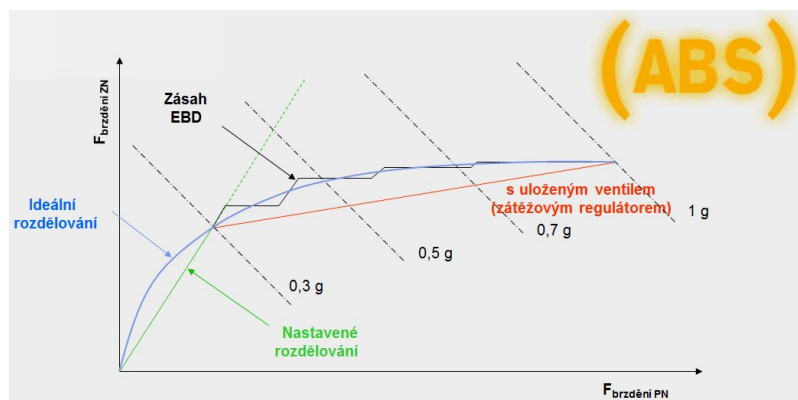
Vozidlo lze dělit pro účely analýzy nehody na **silniční** (motocykl, osobní vozidlo, nákladní vozidlo, autobus, přípojné vozidlo, speciální vozidlo či ostatní nemotorová vozidla typu jízdního kola, či potahu). Další kategorií vozidel jsou tzv. **zvláštní vozidla**, v případě dopravních nehod nejčastěji traktory a jejich přípojná vozidla, pracovní stroje či vozy. Z hlediska konstrukce karoserie zejména osobních vozidel rozlišujeme sedany, hatchbacky, liftbacky, limuzíny, kupé, kombi, kabriolety, roadstery apod. Pro účely analýzy nehody s chodcem je tvar vozidla primární pro popis pohybu chodce.

Bezpečnost silničního provozu vozidel související s prvkem vozidla se tedy dělí na **aktivní** a **pasivní**. Systémy aktivní bezpečnosti napomáhají předcházet nehodám, tedy působí preventivně stabilizací vozidla v kritických situacích a udržují jeho řiditelnost. Jedná se nejčastěji o antiblokovací systémy (ABS), protiprokluzové systémy (ASR), brzdové asistenty (pomocníci u nouzových brzdění) a stabilizační systémy (např. pod označením ESP, DSC, CST, DSTC).



Obrázek 10 – Umístění komponentů ESP na vozidle⁴⁴

Systémy **ABS** regulací brzdného tlaku udržují řiditelnost vozidla i v případě intenzivního brzdění a skládají se ze snímačů otáček kol, řídicí jednotky, hydraulické jednotky, která provádí příkazy řídicí jednotky a brzdového systému. V případě zjištění zablokování kol ze snímačů hydraulický systém prostřednictvím elektromagnetických ventilů reguluje otáčení kola. Systémy protiprokluzu, např. **ASR** jako rozšíření systémů ABS využívající stejné prvky jako ABS, zabraňují protáčení kol při rozjezdech či akceleraci zejména na povrchu se sníženou adhezí. Dalšími systémy obsaženými v ABS jsou EBD (rozdělování brzdných sil – zátěžová regulace) a ABD (přibrzdování kol hnací nápravy).

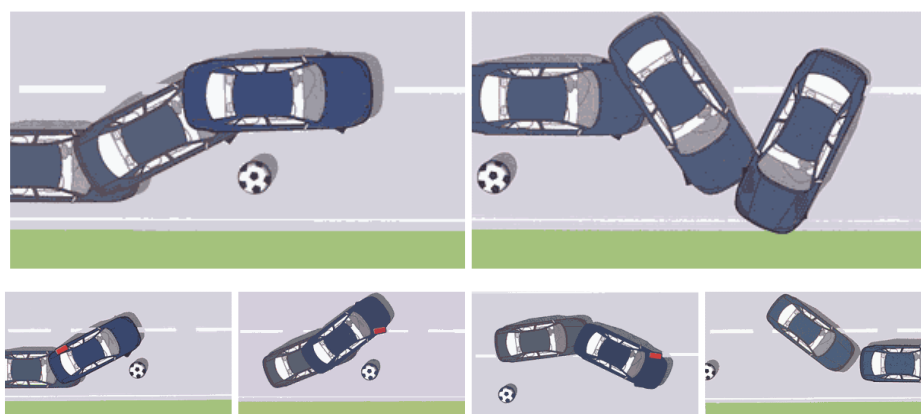


Obrázek 11 – Závislost brzdných sil na zadní a přední nápravě se zásahem EBD (odlehčení)⁴⁵

Regulace jízdní dynamiky využívá brzdovou soustavu vozidla k „řízení“ vozidla cíleným brzděním (či akcelerací) jednotlivých kol, tj. touto regulací v případě zjištění odchylek měřených veličin například nedovolí zvýšení rychlosti vozidla, v případě, že by mělo dojít ke směrové nestabilitě. Nejvíce se tato regulace projeví v případě jízdy v oblouku či manévrech souvisejících s příčnou změnou směru. Regulace jízdní dynamiky zahrnuje **snímače** (převádějí fyzikální veličiny na elektrické veličiny, např. snímač natočení volantu, bočního zrychlení, tlaku, otáček, síla na brzdový pedál, poloha plynového pedálu, rotace vozidla), řídicí jednotku (přijímá informace o aktivacích řidiče a pohybu vozidla a reguluje), hydraulickou jednotku (řídí tlak v kolových válcích pomocí elektromagnetických ventilů) a předradné čerpadlo (pro rychlé aktivní brzdění) se snímačem neregulovaného brzdného tlaku.

Nové modely vozidel uváděné na trh již musí být povinně vybaveny regulací jízdní dynamiky. Výhody stabilizačních systémů spočívají:

- v aktivní podpoře řidiče v kritických situacích, zejména při průjezdu obloukem,
- ve zvýšení jízdní stability při extrémních jízdních manévrech, tj. zachování směru jízdy za všech okolností (například brzdění v oblouku či příčné přemístění, atd.).



Obrázek 12 – Chování vozidla bez a se systémem ESP⁴⁶

Problematickým, pro analytika silničních nehod, velmi obtížně exaktně analyzovatelným, nadále zůstává popis chování vozidla vybaveného stabilizačním systémem při konkrétním analyzovaném jízdním manévru i za situací, kdy simulační programy disponují možnostmi aktivace těchto systémů. Problematické je zejména nastavení chování a mezí na jednotlivém vozidle prostřednictvím zadávaných regulačních veličin.

K **aktivní** bezpečnosti však patří i například ergonomie ovládacích prvků, výhled z vozidla a jízdní vlastnosti vozidla.

Prvky **pasivní bezpečnosti** chrání cestující před těžkým poraněním či snižují následky (tvar a deformační vlastnosti karoserie, airbagy, bezpečnostní pásy, sloupek řízení apod.).

Vozidlo je primárně v případě běžné jízdy v kontaktu s povrchem komunikace výhradně prostřednictvím svých pneumatik, které přenáší ve formě reakcí tíhovou sílu danou hmotností vozidla a dále přenáší akcelerační či brzdné síly. Kromě sil v **podélném směru** na pneumatiky působí **síly boční**. Poměr mezi bočně směřující rychlostí a rychlostí v podélném směru se nazývá příčný skluz. Při ustálené jízdě jsou boční síly působící na nápravě v rovnováze s bočními silami působícími na pneumatiku.

Příčná dynamika vozidla je dále ovlivněna vlastnostmi vozidla (přetáčivé, neutrální či nedotáčivé chování), bočním větrem a zejména odstředivými silami při průjezdu obloukem. Účinek těchto sil závisí na:

- poloměru oblouku,
- rychlosti vozidla,
- výšce těžiště a rozchodu vozidla,
- hmotnosti vozidla a jejím rozdělení,
- případné regulaci jízdní dynamiky,
- součiniteli adheze v příčném směru.

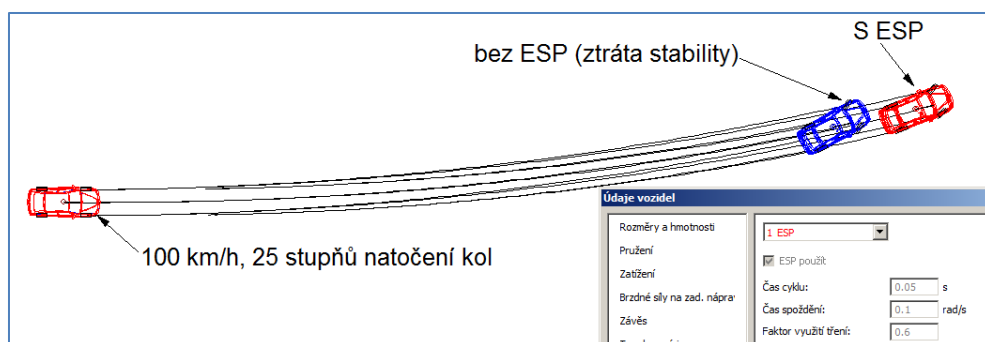
Z hlediska analytických možností k zohlednění vlivu vozidla při analýze silničních nehod a možností zahrnutí těchto vlivů jako vstupních dat jsou podstatné tyto informace:

V simulačním programu jsou **kinetickým** (dynamickým) modelem zohledněny také následující vnější síly působící na vozidlo: síly v pneumatikách, odpor vzduchu, gravitace a síly působící v místě spojení mezi tahačem a návěsem příp. přívěsem (u jízdních souprav). Simulační programy např. definují mj.:

- podélnou sílu na pneumatice jako funkci normálové síly, podélného skluzu a úhlu směrové úchylky. Podélný skluz je možno vypočítat ze složky absolutní rychlosti středu kola a z úhlové rychlosti kola,
- příčnou sílu na pneumatice jako funkci úhlu směrové úchylky.

Nelinearity a libovolné závislosti lze úspěšně simulovat v simulačním programu PC-Crash i Virtual CRASH verze 3.0. Lineární model pneumatiky předpokládá, že maximální horizontální síla na pneumatice nezávisí na směru pohybu pneumatiky, a tedy také, že není významný rozdíl mezi koeficientem tření odvalujícího a smýkajícího se kola. Jiný model pneumatiky (nazývaný např. STM nebo TMeasy) umožňuje definici účinků na pneumatice jak v podélném, tak v příčném směru. V podélném směru je možno definovat závislost podélné síly na skluzu. V příčném směru je možno definovat závislost příčné síly na tangentě úhlu směrové úchylny.

Simulační programy PC-Crash i Virtual CRASH umožňují aktivaci a užití modelu stabilizačního systému při kinetickém výpočtu.



Obrázek 13 – Vliv aktivovaného modulu ESP v prostředí simulačního programu PC-Crash⁴⁷

V neposlední řadě se analytik silniční nehody potýká s otázkou, zda byly v činnosti v době nehody bezpečnostní pásy a zda by případné upoutání osoby zmírnilo nebo eliminovalo následky nehody. Druhou část otázky by měl technický znalec konzultovat s lékařem. Použití pásů lze většinou dobře prokázat u moderních vozidel. Studie zkoumání pásů starších vozidel ukázala, že z poškození pásů a uchycení lze zjišťovat nebo upřesňovat nárazovou rychlost.



U změny rychlosti pod 21 km/h nebylo na pásech ani uchycení pozorovatelné nic, u změny okolo 40 km/h docházelo k přetvoření a rýhám na horním průvlečném oku, u změny od 80 km/h by mohlo dojít k natržení pásu.⁴⁸

U pojistných podvodů se velmi často řeší otázka přijatelnosti aktivace airbagů ve vztahu k poškození.

Velmi diskutovaným celoevropským a americkým problémem je dále problematika záznamových zařízení ve vozidlech. Jedná se o tzv. černé skříňky, kterými jsou v USA vybavena všechna nová vozidla (EDR - Event Data Recorder⁴⁹). Cílem je nasazení a povinné rozšíření záznamových zařízení i v Evropě. Právní otázky naráží na majetkový vztah majitele vozidla k zaznamenaným datům, zejména, zda je majitel jejich vlastníkem spolu s vozidlem a je povinen na sebe sbírat informace.



Příklad: Informace z pohybu během nehody byly staženy z vaku vozidla ve spolupráci s výrobcem a bylo zjištěno, že při rychlosti 83 km/h byl vypnut brzdový asistent, poté při rychlosti 82 km/h započala regulace systému ABS, poté opětovná

regulace stabilizačního systému při rychlosti 75 km/h a při rychlosti 46 km/h byla zjištěna závada na snímači otáček kola, která souvisela s destrukcí kola při nárazu. Bylo tak možno jak analyzovat nehodový děj, tak i vyloučit závadu na elektronických komponentech ABS nebo ESP. Další možnost analýzy dat je stažení uložených informací u vybraných značek automobilů z nárazového senzoru, který implikuje použití airbagu.⁵⁰

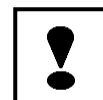
Shrnutí:

Po prostudování této kapitoly a souvisejících zdrojů byste měli být schopni pochopit význam prvku vozidla z hlediska jeho role při analýze nehod z hlediska konstrukce a bezpečnosti. Kontakt vozidla s povrchem se realizuje téměř výhradně prostřednictvím pneumatik a modely pneumatik, součinitele adheze a moderní prvky aktivní bezpečnosti ovlivňují tento pohyb velmi výrazně.



Otázky:

1. Popište prvky aktivní a pasivní bezpečnosti včetně jejich funkce.
2. Jaké technické závady na vozidle mohou nastat, aby měly přímý vliv na vznik a průběh nehod?
3. Co ovlivňuje jízdní stabilitu vozidla při průjezdu obloukem a během příčného přemístění?
4. Jakým způsobem navrhujete zlepšit výuku při výchově řidičů v oblasti technické připravenosti uchazečů.



Další zdroje

Regulace jízdní dynamiky ESP, technická příručka Bosch, Robert Bosch GmbH, 1. Vydání 2001, ISBN 80-902585-8-1.

KASANICKÝ, G., KOHÚT, P., LUKÁŠIK, M. Teória pohybu a rázu při analýze a simulácii nehodového deja. Žilina : Žilinská univerzita v Žilině, 2001. str. 349. ISBN 80-7100-597-5.

HUGEMANN, W. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.

PC-CRASH: A simulation program for Vehicle Accidents – Technical manual, 2001, Linz, Austria

Virtual CRASH: www.vcrash3.com



7 Prvek okolí – tvary a parametry komunikace, prohlídka místa nehody, znalecký experiment, vyšetřovací pokus

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- chápat význam ohledání při analýze silniční nehody

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- provést kvalitní a podrobné ohledání místa nehody
- připravit a realizovat znalecký experiment a vyšetřovací pokus

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

- základní přehled o hodnotách součinitele adheze na různých površích
- přehled o nejčastějších trestných činech v souvislosti s dopravními nehodami



Klíčová slova kapitoly:

okolí, komunikace, místo nehody, znalecký experiment, vyšetřovací pokus

Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:

3 + 2 hodin (teorie + řešení úloh)

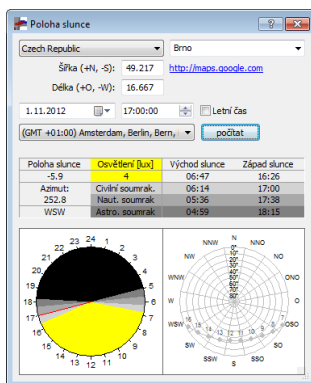
Prvek okolí může být popsán vozovkou, případně povrchem, který přichází do kontaktu s pneumatikami vozidel. Dále je okolí charakterizováno okolními živými a neživými objekty, které přicházejí do kontaktu s vozidlem, nebo ovlivňují, či pouze mají předpoklad ovlivnit také prvek řidiče a jeho aktivaci (svodidla, překážky, stromy omezující výhled, billboardy, zvířata a lidé). Prvkem okolí tedy může být i další vozidlo, ale častěji je další vozidlo pouze prvkem jiné soustavy, která koliduje s hlavní soustavou.

Komunikace a okolí jsou dány svými:

- rozměrovými vlastnostmi (šířka komunikace, jízdních pruhů, poloha objektů),
- tvarovými vlastnostmi (stoupání, klesání, přímé úseky, oblouky a jejich poloměry, tvar příkopu, příčný sklon vozovky),
- dopravním značením (svislé a vodorovné, případně světelná signalizace),
- adhezními vlastnostmi
- a technickým stavem (výmoly, výtlučky, praskliny, kanály, ...).

Meteorologické podmínky často výrazně ovlivňují podmínky vzniku a průběhu nehody. Může se jednat o rychlost a směr větru, zejména v souvislosti s pohybem lehkých objektů, tj. osob, cyklistů, motocyklistů a nákladních vozidel o velkých bočních plochách. Dalším faktorem je viditelnost, a to nejen za snížené viditelnosti, ale například za mlhy, oslnění jiným vozidlem či oslnění sluncem. **Mlha** vzniká v důsledku kondenzace v přízemní vrstvě vzduchu, pokud poklesne teplota vzduchu na teplotu rosného bodu, a to vznášením se kapek vody o průměru 5 až 50 μm vzduchem a o mlze hovoříme, pokud horizontální viditelnost klesne pod jeden

kilometr. I vliv mlhy, resp. jízdu za viditelnosti snížené mlhou, lze simulovat, opět je nutné objektivně znát skutečnou viditelnost z doby nehody.



Obrázek 14 – Stanovení světelných podmínek a polohy slunce v konkrétní čas na konkrétním místě⁵¹

Za přímý vznik silniční nehody, resp. technickou příčinou nehody lze meteorologické podmínky (ostatní vlivy) považovat snad například jen v případech prudké bouře a krup, či lokální olejové skvrny. V ostatních případech je nutné vždy pohybovat se takovou rychlostí, která odpovídá okolním podmínkám a technickému a stavebnímu stavu komunikace.

Z hlediska snížené adheze se nejvíce projevuje **náledí**, neboli vrstva ledu vznikající postupným mrznutím kapek deště nebo mrholení při teplotách pod bodem mrazu, případně zmrznutím roztátého sněhu. **Námraza** je charakterizována vznikem ledových krystalů při kontaktu kapek vzdušné vlhkosti s prochlazeným povrchem, vzniká při teplotách *0 až minus 4* stupně Celsia. Dalšími problematickými povrchy jsou:

- sníh v různých formách (poprašek, vrstva ujezděná či kyprý, namrzlý sníh, kroupy, vyjeté koleje...),
- písek, štěrk, tráva, vrstva hlíny, výskyt cizích těles,
- tzv. kočičí hlavy a ostatní povrchy se sníženou adhezí,
- a jakýkoliv povrch mokrá a s vrstvou vody (riziko aquaplaningu).

V případě kvalitních hrubých a suchých povrchů za použití kvalitních pneumatik lze u moderních osobních vozidel při brzdění v přímém směru dosahovat maximálních hodnot zpomalení i výrazně vyšších než 10 m/s^2 .

Střední plné zpomalení vozidel na rozdílných površích [m.s^{-2}]									
Povrch		Burg/Rau 1980	Danner/Halm 1980	Rathgeb Handbuch 1980	Dekra 1988	Fucik-Hartl-Schlosser 1998	Ilfa Jakubasch 1998	Tabulky EVU	Vlastní měření 2004
Asfalt	suchý	5,3-8,6	7,5±7%	6-9	6-9	5,5-8,0	6-10	6-11	6-8,5
	mokrá	5,5-7,4	5,5±10%	4-8	5-7	4-7	5-7	4-7,5	5-6,8
Beton	suchý		8,5±10%	6-9	6-9	6-8	6-10	6-11	6,5-9
	mokrá		5,5±10%	4-8	5-8	5,5-7	4-8	4-7,5	4,5-8
Kostky velké („Kočí hlavy“)	suché		8,2-9,2	6-8		5-7,5	4,5-9,2	4,5-7	5-9
	mokré		6,3	3,5-6		3,5-6	2-5	2-5	4-7,5
Betonová dlažba	suchá		7±5%						5-8,5
	mokrá								4-7,5
Kyprý sníh				1-2	1-3		1-4	1-4	2-3,5

Uježděná sněhová pokrývka			3,5±10%			0,2-1,5	1-3		1-3,5
Led			1,75±10%	0,5-3	0,5-3	0,2-1,5	0,5-3	0,5-3	0,5-3
Tvrdý písek	suchý		5,5	5-6	5-6		4-6	4-6	4-7
	mokrý			4-5			2,5-5	2,5-5	3,5-6
Štěrka	suchý	3,7-4,8	4,8			3-4,5			4-7,5
Tvrdá půda	mokrý		2,2	2-3	2-3		2-3		
Travnatá louka	suchá			4,5-6		3-6	4,5-6		2,5-5,5
	mokrý			3-4		1-4,5	3-4		2,5-4,5

Obrázek 15 – Vybraná dosažitelná zpomalení na různých typech povrchů⁵²

Při analýze silniční nehody je třeba vždy provést prohlídku místa nehody za účelem:

- ověření rozměrových údajů (šířka jízdních pruhů, šířka komunikace, celkový tvar křižovatky, chodníky, příkopy apod.),
- ověření tvarových údajů (sklony v podélném a příčném směru, poloměry),
- vodorovné a svislé značení, světelná signalizace (poloha značení, případně jeho délka),
- zjištění a zaměření prvků okolí (sloupy, stromy, svodidla, příkopy)
- posouzení adhezních vlastností povrchu,
- posouzení případné oblasti zakrytého výhledu (stromy, keře, značky, domy, zaparkovaná vozidla...).

V případech, kdy se jedná o pouhé ověření kdykoliv kontrolovatelných skutečností, se jedná o tzv. **prohlídku místa nehody znalcem**, případně o tzv. **znalecký experiment, či technické šetření**. Tyto úkony provádí znalec – analytik silniční nehody zpravidla sám, neboť jejich reálnost a pravdivost není dána subjektivním hodnocením a tato data lze kdykoliv ověřit, za předpokladu, že nedojde ke stavebně-technické změně na komunikaci či okolí.

Nejčastěji jsou drobné dopravní nehody řešeny bez účasti policie, nebo v případě, že se nejedná o podezření ze spáchání trestného činu formou blokové pokuty či **správního řízení** upraveného v tomto případě správním řádem⁵³, silničním zákonem⁵⁴ a zákonem o přestupcích⁵⁵. Správní řízení vydáním rozhodnutí zakládá, mění či ruší práva a povinnosti účastníků, tj. prakticky rozhodne o vině a případném trestu (peněžní trest, zákaz činnosti apod.), pokud o vině nebylo možno rozhodnout bez pochyb na místě (účastníci se nedohodli, viník odmítl vinu, apod.).

V případech podezření spáchání trestného činu se hovoří o tzv. **trestním řízení**, což je zákonem upravený postup orgánů činných v trestním řízení (policie, státní zástupce, soud), jehož cílem je bez důvodných pochybností rozhodnout, zda byl spáchán trestný čin, zjistit osobu pachatele a uložit případný trest.

Trestné činy kodifikované zákonem⁵⁶ připadající do úvahy v souvislosti s dopravními nehodami jsou zejména:

- Usmrcení z nedbalosti (§ 143), Ublížení na zdraví v nedbalosti (§ 147 a 148), Neposkytnutí pomoci řidičem dopravního prostředku (§ 151), Pojistný

podvod (§ 210), Poškození cizí věci (§ 228) – v případě úmyslu, Obecné ohrožení z nedbalosti (§ 273), Ohrožení pod vlivem návykové látky (§ 274), Maření výkonu úředního rozhodnutí a vykázání (§ 337), Opilství (§ 360) apod.

Ostatní tzv. **úkony trestního řízení** v oblasti dokazování nemohou být znalcem prováděny samostatně, jedná se např. o:

- **Vyšetřovací pokus⁵⁷**, který slouží k pozorování v uměle vytvořených či obměněných podmínkách za účelem upřesnění skutečností v trestním řízení.

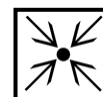
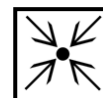
Vyšetřovací pokus při analýze silniční nehody je nutný např. při nehodách za snížené viditelnosti k ověření dohlednosti na překážku, chodce, či cyklistu. Dále například k ověření dohlednosti a možnosti uvidění či uslyšení výstražného světelného zařízení (sanitní vůz, policejní maják), či dohlednosti přes sloupek vozidla či do zpětného zrcátka. Princip při noční nehodě s chodcem spočívá v navození předmětné situace za stejných klimatických a okolních podmínek, stejného oblečení, tělesných parametrů a pohybu figuranta a vozidla. Cílem pokusu je na základě podrobně připraveného libreta vyšetřovacího pokusu zjistit výhledové možnosti obou účastníků navzájem v předem staničených polohách, a to za účasti řidiče vozidla, tj. nalézt polohy možného spatření chodce řidičem automobilu a naopak. Výsledkem je nejčastěji statickým způsobem nalezení či ověření technicky přijatelné vzdálenosti mezi vozidlem a chodcem, která již umožňuje jednoznačné spatření chodce řidičem vozidla, a to v závislosti na různých polohách a pozicích chodce. Ve formě dynamických pokusů lze užít například systémy sledování úhlu vidění řidiče, tzv. eyetracking. Jedině vyšetřovací pokus, pokud je vhodně proveden a odpovídá co nejvíce podmínkám v době nehody, může přinést nezkreslené a objektivní informace.

- **Rekonstrukce⁵⁸** je obnovení situace a okolností, za kterých byl čin spáchán, nebo které k němu mají podstatný vztah, případně k prověření výpovědí.

Někdy se pojmy rekonstrukce a vyšetřovací pokus nepřítli rozlišují. Při analýze silničních nehod není rekonstrukce tak rozšířená. Při rekonstrukci lze například porovnat videozáznam události s rozměrovými daty a simulovat polohu jednotlivých objektů v průběhu nehody či ověřovat na místě výpovědi dvou řidičů postavením vozidel do udávaných poloh. Pro provedení rekonstrukce platí obdobná pravidla jako u vyšetřovacího pokusu.

- **Prověrka na místě⁵⁹** se koná, pokud je zapotřebí osobní přítomnosti podezřelého, obviněného nebo svědka doplnit či upřesnit údaje vztahujícími se k určitému místu.

Prověrka na místě za osobní přítomnosti řidičů (zpravidla policistů, svědků, soudce či státního zástupce) slouží k ověření skutečností, které jsou zpochybňovány



či rozporovány, např. sklon silničního příkopu, přeměření údajů z plánu či protokolu či porovnání rozměrových či časových odhadů z výpovědí svědků.

- **Ohledání⁶⁰** slouží k objasnění skutečností pro trestní řízení formou přímého pozorování.



Ohledání místa nehody je v případě těžkých nehod, zejména při těžkých zraněních a úmrtí osob prováděno zpravidla za přítomnosti znalce z oboru doprava. Znalec dohlíží na výskyt a zejména dokumentaci všech stop, provádí ohledání komunikace a vozidel, upozorňuje na prvky, které je nutno dokumentovat za účelem vyloučení možné technické závady a aktivace bezpečnostních prvků.

O veškerých úkonech v rámci trestního řízení musí být orgány zpracovávány protokoly, které by měly poskytovat úplný a věrný obraz předmětu ohledání. V případě ohledání po dopravní nehodě hovoříme o tzv. **neodkladných** (provedení nesnese odkladu, hrozí ztráta, zmaření či zničení stop) a **neopakovatelných** úkonech či důkazech, (tj. takových, které není možné provést následně při jednání před soudem).



Úkoly k textu:

1. Popište ohledání místa nehody a okolí, znalecký experiment a vyšetřovací pokus, připravte návrh experimentu či vyšetřovacího pokusu.
2. Popište a uveďte příklady trestné činnosti v souvislosti s dopravními nehodami.



Shrnutí:

Komunikace, okolí svým stavebním uspořádáním, adhezní a meteorologické podmínky výrazně ovlivňují vznik a průběh silniční nehody i možnosti jejího odvracení. Prohlídky, měření, znalecké experimenty a vyšetřovací pokusy mohou zásadním způsobem objektivně popsat reálnou situaci, která panovala na místě nehody. V souvislosti s dopravními nehodami byly také zmíněny nejčastější trestné činy.



Další zdroje

BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X.
HUGEMANN, W. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.
BURG, H. MOSER, A. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden : Vieweg, 2007. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2.
PROCHOVSKI, L., UNARSKI, J., WACH, W., WICHER, J. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0.
Kolektiv autorů. *Wypadki drogowe – Vademecum bieglego sadowego*. Krakov : vydavatelství Instytutu Ekspertys sadowych, 2010. str. 1094. ISBN 83-87425-32-X.

8 Brzdění, náběh, prodleva brzd, zrychlení, videozáznamy

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- chápat význam znalosti kvality vstupních dat v oblasti popisu pohybu vozidel během nehodového děje

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- analyzovat průběh pohybu vozidla na různých površích
- měřit a vyhodnocovat akcelerační zkoušky vozidel v podélném i příčném směru
- chápat význam a možnosti využití videozáznamu

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

- základní přehled o hodnotách akcelerace a brzdění vozidel a hodnotách součinitele adheze na různých površích
- přehled o možnostech analýzy videozáznamu při analýze silničních nehod

Klíčová slova kapitoly:

brzdění, náběh, prodleva, akcelerace, videozáznam

Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:

3 + 2 hodin (teorie + řešení úloh)



Brzdňý manévř je složitý proces záviselý na mnoha skutečnostech. Před vlastním brzděním ve formě účinného projevu na změně rychlosti vozidla hovoříme o prodlevě. Prodleva stroje je časový okamžik od okamžiku, kdy je nejčastěji lidským faktorem dán pokyn k provedení určité činnosti (brzdění, akcelerace, zatáčení apod.) do okamžiku počátku vykonávání této činnosti strojem. Odezva stroje by měla být adekvátní pokynu řidiče, nicméně nelze adekvátnost očekávat za každých okolností, tj. například zatáčení vozidla na zmrzlém povrchu, i když i tyto situace jsou s vývojem elektronických stabilizačních systémů řešitelné. Náběh brzdňého účinku je počáteční oblastí brzdění, kdy dochází ke zvyšování brzdňého tlaku a tím i brzdňého účinku až na maximální dosažitelnou či požadovanou hodnotu. Při analýze silničních nehod se uvažuje během náběhu brzdňého účinku (u osobních vozidel 0,2 až maximálně 0,4 sekundy) při výpočtu s polovinou maximální hodnoty uvažovaného plného brzdňého zpomalení. Následuje fáze plného (částečného) brzdňého zpomalení.

Tab. 1 – Hodnoty plného brzdňého zpomalení u osobních vozidel⁶¹

Třída vozu	Stav	zpomalení [a]=m/s ²			
		Rozmezí hodnot zrychlení	Medián	Pozitivní extrém	Negativní extrém
Minivozy	SP	8,2 ÷ 9,2	8,7	9,4 (Lupo)	6,6 (Arosa)
	SN	8,0 ÷ 9,2	8,7	9,6 (Lupo)	6,2 (Arosa)
	TN	7,2 ÷ 9,0	8,5	9,2 (Lupo)	6,5 (Arosa)
Malé vozy	SP	8,0 ÷ 10,4	9,7	10,7 (Clio V6)	7,8 (Corsa)
	SN	8,0 ÷ 10,3	9,4	11,0 (Clio V6)	6,9 (Corsa)
	TN	6,9 ÷ 10,1	8,8	10,9 (Clio V6)	6,9 (Corsa)

Nižší střední třída	SP	8,7 ÷ 10,8	9,7	10,8 (Golf R32)	8,3 (Gran Move)
	SN	8,2 ÷ 10,6	9,5	10,8 (Golf V5)	7,6 (Gran Move)
	TN	7,1 ÷ 10,3	9,3	10,4 (A3 TDI)	7,0 (Gran Move)
Střední třída	SP	8,8 ÷ 10,8	9,7	11,7 (M3 CLS)	8,4 (626)
	SN	8,8 ÷ 10,5	9,6	11,8 (M3 CLS)	8,4 (626)
	TN	6,8 ÷ 10,4	9,4	11,9 (M3 CLS)	5,7 (Acord)
Vyšší střední třída	SP	9,0 ÷ 10,7	10,0	10,8 (Alpina B10)	9,0 (E 500)
	SN	9,2 ÷ 10,4	9,9	10,8 (E 200 K)	9,0 (A6)
	TN	8,8 ÷ 10,6	9,7	10,8 (530i)	8,7 (A6)
Luxusní vozy	SP	9,0 ÷ 10,5	9,9	10,6 (A8 4.2)	8,8 (Continental GT)
	SN	9,0 ÷ 10,5	9,7	10,5 (A8 4.2)	8,8 (Continental GT)
	TN	8,8 ÷ 10,3	9,7	10,4 (XJR)	8,7 (XJ 4.0)
Sportovní vozy	SP	9,1 ÷ 11,1	10,2	11,4 (CLK DTM AMG)	8,6 (Diablo SV)
	SN	9,0 ÷ 11,0	10,1	11,4 (CLK DTM AMG)	8,6 (Diablo SV)
	TN	9,0 ÷ 11,3	10,1	11,4 (CLK DTM AMG)	8,6 (C70 T5)
Terénní vozidla	SP	7,9 ÷ 10,3	9,4	10,6 (Tuareg V8)	7,3 (H2)
	SN	8,1 ÷ 10,1	9,3	10,5 (Tuareg V8)	7,3 (H2)
	TN	6,1 ÷ 10,1	9,1	10,2 (Tuareg V8)	5,1 (H2)

Tab. 2 – Hodnoty zrychlení osobních vozidel podle rychlosti, dráhy⁶²

Zrychlení vozů z 0 na 60 km/h				
Třída vozu	zrychlení [a]=m/s ²			
	Rozmezí hodnot zrychlení	Medián	Pozitivní extrém	Negativní extrém
Minivozy	2,2 ÷ 2,9	2,8	3,3 (C2)	2,2 (Smart)
Malé vozy	2,8 ÷ 3,9	3,3	6,0 (Clio V6)	2,3 (Saxo 1.5D)
Nižší střední třída	3,0 ÷ 5,2	3,7	5,6 (Golf R32)	2,8 (Golf 1.4)
Střední třída	3,3 ÷ 6,4	3,9	7,3 (M3 CLS)	2,8 (Octavia TDI)
Vyšší střední třída	3,6 ÷ 7,0	4,5	8,3 (RS6 Plus)	3,4 (E 200 K)
Luxusní vozy	4,1 ÷ 6,7	5,6	7,3 (S 600)	4,0 (A8 TDI)
Sportovní vozy	3,6 ÷ 8,0	6,3	8,3 (Carrera GT)	3,4 (Prelude 2.2)
Terénní vozidla	3,1 ÷ 5,8	3,7	6,2 (Cayenne Turbo)	3,0 (XC 90 D5)

Dráha (m)	Pohyb	Rozmezí zrychlení (m/s ²) v závislosti na akceleraci		
		pomalá	normální	rychlá
10	přímý	0,8 ÷ 1,1	1,6 ÷ 2,1	2,6 ÷ 3,8
20		1,1 ÷ 1,7	1,3 ÷ 2,6	2,8 ÷ 3,4
30		1,8 ÷ 2,4	2,1 ÷ 3,1	3,5 ÷ 4,5
10	odbočování	0,8 ÷ 1,1	1,1 ÷ 1,6	2,7 ÷ 3,2
20		1,2 ÷ 1,9	1,7 ÷ 2,4	2,6 ÷ 3,2
20	akcelerace z 5 km/h	0,7 ÷ 1,8	1,4 ÷ 2,5	2,4 ÷ 3,7

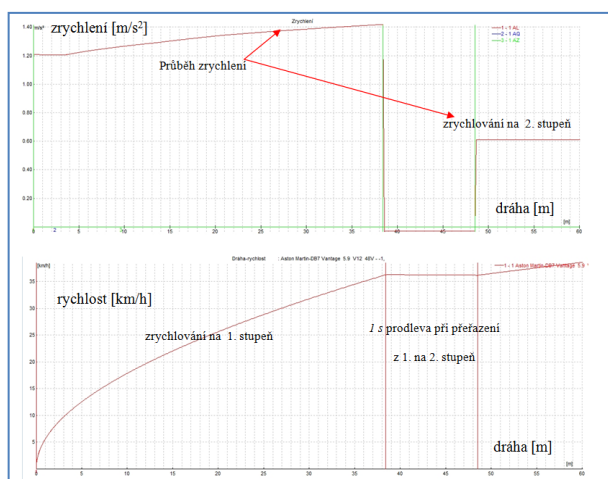
Z rešerší dostupných zdrojů vyplynuly předchozí tabulky rozmezí hodnot plného brzdného zpomalení na suchém povrchu a dále hodnoty zrychlení. Legenda ke stavu vozidla v době prováděných testů zpomalení: SP - studené brzdy a prázdné vozidlo, SN - studené brzdy a naložené vozidlo, TN - teplé brzdy a naložené vozidlo. Dosažitelné hodnoty zpomalení jsou úzce závislé na typu povrchu. Z rešerše prací mj. vyplynula následující tabulka.

Tab. 3 – Hodnoty součinitele adheze na různých površích

Materiál	Stav povrchu	Rozmezí součinitele adheze	
		sucho	mokro
Beton	nový, drsný	0,70÷1,20	0,40÷0,80
	ježděný	0,60÷0,80	0,45÷0,70
	zježděný	0,50÷0,75	0,45÷0,65
Asfalt	nový, drsný	0,65÷1,20	0,45÷0,80

	ježděný	0,55÷0,80	0,40÷0,70
	zježděný	0,45÷0,75	0,40÷0,65
	přebytek dehtu	0,35÷0,60	0,25÷0,60
Štěrk	zhutněný	0,50÷0,85	0,40÷0,80
	volně ložený	0,40÷0,70	0,45÷0,75
Struska	zhutněná	0,50÷0,70	0,65÷0,75
Kámen	lámaný	0,55÷0,75	0,55÷0,75
Led	ledovka	0,07÷0,25	0,05÷0,10
Sníh	utlačený	0,30÷0,55	0,30÷0,60
	neutlačený	0,10÷0,25	0,30÷0,60

Simulační program PC-Crash umožňuje na základě výkonu vozidla, na převodových poměrech, řadicích otáčkách, procentuálním využití akceleračního potenciálu a době řazení simulovat tzv. reálné zrychlení pro konkrétní vozidla.



Obrázek 16 – Aplikace tzv. reálného zrychlení (v závislosti na výkonu, otáčkách a době řazení) v PC-CRASH⁶³

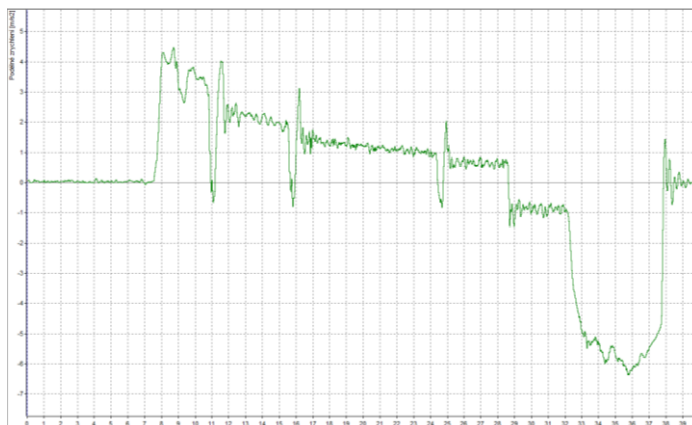
Při vyhodnocení brzdných zkoušek se užívá také veličina „středního plného brzdného zpomalení“, tzv. Mean Fully Developed Deceleration (MFDD):⁶⁴

$$MFDD[m/s^2] = \frac{v_B^2 - v_E^2}{25,92 \cdot (s_E - s_B)} \quad (13)$$

Kde: v_B [m/s] je hodnota 80 % výchozí rychlosti, v_E [m/s] je hodnota 10 % výchozí rychlosti, s_B [m] je dráha uražená mezi rychlostmi **výchozí** a v_B a s_E [m] je dráha uražená mezi rychlostmi **výchozí** a v_E .

Z akcelerační zkoušky (s pomocí XL Meteru) je patrný rozjezd vozidla s postupným řazením 1. až 3. rychlostního stupně (skokové poklesy zrychlení zleva doprava), následuje mírné brzdění motorem (cca 1 m/s²), dále náběh brzdného účinku a plné brzdění na mokřem povrchu.



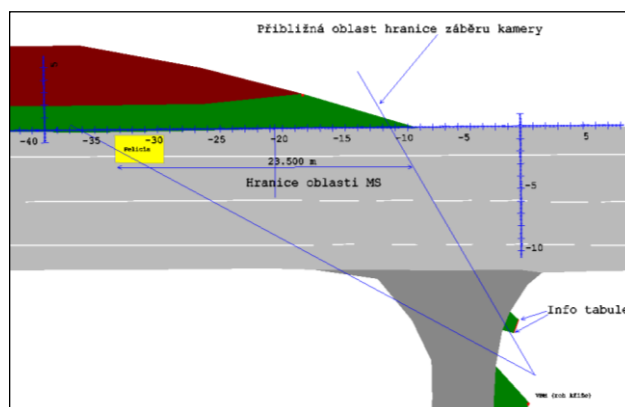


Obrázek 17 – Data z akcelerační a brzdné zkoušky vozidla Opel Astra na mokrém povrchu – data ze záznamu akcelerometru XL Meter (výchozí rychlost 108 km/h, doba brzdění 6,2 s, MFDD 5,68 m/s², brzdná dráha 103,4 m)⁶⁵

Pro jednoduché provedení zkoušek jízdní dynamicky lze užít například zařízení Racelogic Performance Box, které je vybaveno GPS, vyhodnocení je možno provést pomocí SW Performance tools či exportovat např. do MS-Excel. Uvedené zařízení umožňuje rovněž přímé vyhodnocení akceleračních či brzdných zkoušek v definovaných oblastech (např. 0 až 60 km/h, apod.).



Pokud je při analýze nehody k dispozici videozáznam události, výrazně pomáhá při verifikaci stanovených veličin. Na následujícím obrázku je například ukázka využití videozáznamu ke stanovení rychlosti vozidla, které z vedlejší komunikace vjelo na hlavní v době, kdy tudy projížděl motocykl. Na základě podrobně zaměřeného vodorovného značení bylo možno reprodukovat zorné pole záběru a ze znalosti polohy kamery a kvality záznamu v ekvidistančních časových krocích i rychlosti vozidla a motocyklu a místo střetu.



Obrázek 18 – Ze záznamu analyzované zorné pole kamery a místo střetu⁶⁶



Na dalším obrázku je ukázka využití videozáznamu k ověření doby trvání manévru příčného přemístění.



Obrázek 19 – Příčné přemístění vozidla s modrou tečkou za čas 2,2 sekundy⁶⁷

Záznam byl pořízen frekvencí snímání cca 4 fps (snímky za sekundu), což představuje časový krok mezi snímky cca 0,24 sekundy. Příčné přemísťování vozidla do pravého jízdního pruhu trvalo **2,2 sekundy** od počátku příčného přemísťování. Příčné přemístění vozidla činilo nejméně **4 m**. Odpovídající součinitel adheze v příčném směru o velikosti **0,8** svědčí o velmi razantním (agresivním) příčném přemístění vozidla vybaveného stabilizačním systémem.



Obrázek 20 – Nehoda na křižovatce zachycená na kamerovém záznamu⁶⁸

Shrnutí:

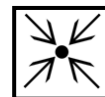
Procesy brzdění a akceleralace patří spolu s hodnotami dosažitelných zrychlení v příčném směru k velmi důležitým parametrům analýzy nehody, na jejichž přesnosti a správnosti závisí mnohdy celé řešení. Proto je nutno při jejich stanovování postupovat maximálně opatrně, důsledně a s pokorou. Využití videozáznamu vysoce závisí na jeho kvalitě a ekvidistantnosti a jako podpůrný či kontrolní parametr je analytikovi vysoce nápomocen.

Otázky:

1. Zhodnoťte dosažitelné hodnoty zrychlení a zpomalení a analyzujte rozdíly v uvedených tabulkách.
2. Jaké hodnoty akcelerace považujete za odpovídající „obvyklým rozjezdům“?

Další zdroje

BRADÁČ, A. *Soudní inženýrství*. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.
HUGEMANN, W. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.
BURG, H. MOSER, A. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden : Vieweg, 2007. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2.
PROCHOVSKI, L., UNARSKI, J., WACH, W., WICHER, J. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0.



9 Analýza korespondence poškození, výběhová analýza

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- zjišťovat výběhové parametry vozidel

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- vyhodnotit poškození objektů po nehodě
- hledat souvislosti mezi stopami, poškozením a střetovou polohou

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

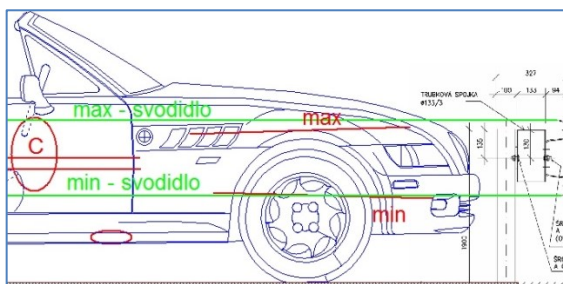
- základní přehled o možnostech stanovení výběhových parametrů
- orientaci k znaleckému postupu hodnocení poškození ke stanovení střetové polohy objektů



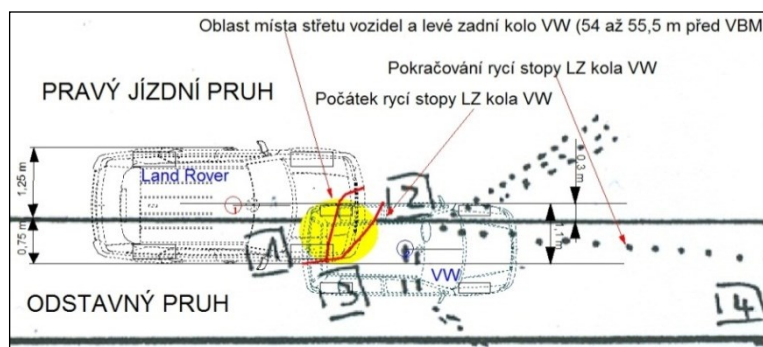
Klíčová slova kapitoly: korespondence poškození vozidel, matice stop, výběhové parametry, rychlost, rotace

Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:
3 + 3 hodin (teorie + řešení úloh)

Z hlediska systémového pojetí analýzy silničních nehod je třeba důsledně analyzovat kromě stop také poškození vozidel ve vztahu ke stanovení střetových poloh a místa střetu. Soudní inženýrství užívá systém tzv. logických matic, zejména matic hypotéz. Tento postup ve formě tabulek s řádky a sloupci dovoluje poměrně komplexně analyzovat jednotlivé interakce prvků, resp. objektů, při analýze nehody. V případě analýzy nehody je vhodné užití tzv. matice stop, či korespondence poškození, tj. analyzovat, co který z objektů zanechal na jiném objektu či okolí či porovnat vzájemné poškození na objektech z hlediska rozsahu.



Obrázek 21 – Ukázka výškové korespondence poškození vozidla se svodidlem⁶⁹



Obrázek 22 – Korespondence poškození vozidel ke stanovení střetové polohy a místa střetu ve vztahu ke zdokumentovaným stopám⁷⁰

Analýza korespondence poškození vozidel a následné stanovení střetových poloh a místa střetu patří mezi nejnáročnější a současně nejdůležitější úkony před řešením vlastního střetu. Chyby v této oblasti ovlivní výsledek analýzy natolik závažně, že i v případě správných postupů a korektních vstupních hodnot nelze dosáhnout technicky přijatelných výsledků.

V případě zpětného postupu analýzy silniční nehody, tj. od konečných poloh do okamžiku střetu, je nutné zjistit tzv.:

- **výběhové rychlosti**, tj. rychlosti objektů bezprostředně po střetu,
- následně zjistit změnu parametrů vlivem střetu (zjistit střetové, tzv. **doběhové rychlosti**),
- a na základě podkladů následně analyzovat předstřetový pohyb.

Takový postup předpokládá důkladnou znalost konečných poloh vozidel a stop zanechaných vozidly po střetu k pokud možno co nejpřesnějšímu popisu pohybu vozidel. Postřetový pohyb vozidel je poté třeba rozdělit do jednotlivých fází (brzdění, blokování, sunutí, dření, převrácení atd.) a jednotlivým fázím postřetového pohybu přiřadit na známých dráhách úseků jednotlivá zpomalení v rozmezí hodnot odpovídajícím charakteru a stavu povrchu (např. součinitel adheze pneumatiky na vozovce), popřípadě součinitelům tření (např. dření mezi kovem či plastem karoserie a asfaltem).

Při tomto zpětném výpočtu rychlosti a času pohybu po rozdělení pohybu na úseky se vychází ze základního vztahu s užitím zpomalení a , dráhy s a konečné, zbytkové rychlosti v_1 :

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2 \cdot a \cdot s} \quad (14)$$

Aplikací na konkrétní situaci, s užitím součinitele vlečného tření f v případě dření (kov - asfalt) na dráze s_1 + brzdění se zpomalením a do konečné polohy po střetu na dráze s_2 bude pro rychlost vozidla při pohybu na vozovce bez podélného sklonu platit:

$$v_2 = \sqrt{(2 \cdot a \cdot s_2) + (2 \cdot g \cdot f \cdot s_1)} \quad (15)$$

V případě výrazné postřetové rotace lze průměrné zpomalení vozidla během tohoto pohybu s užitím maximálního dosažitelného zpomalení na daném povrchu vypočítat na základě následujícího vztahu, kde například pro rotaci vozidla o 180 stupňů (tj. 0 až π) platí:⁷¹

$$\bar{a} = -\frac{a_0}{\pi} \cdot \cos \alpha \Big|_0^\pi = \frac{2}{\pi} a_0 = 0,64 \cdot a_0 \quad (16)$$

kde v případě rotace o 180 stupňů (tj., 0 až π) platí:

a_0 je maximálně dosažitelné zpomalení na daném povrchu,

$\bar{a}$ je hledané průměrné zpomalení během rotace.



Tedy, že při rotaci je možno uvažovat s velikostí zpomalení ve výši 64 % zpomalení dosažitelného, tj. například na suché vozovce cca 4 až 5 m/s².

Pro korektní analýzu pohybu objektů je nezbytné řešit kromě výběhové rychlosti i postřetové rotace, které mohou výrazně ovlivnit hodnoty střetových parametrů.

Ke stanovení výběhových parametrů objektů existuje celá řada metod či empirických vztahů, např.:

- metoda dle Marquarda⁷²,
- metoda dle Burga⁷³,
- metoda dle McHenryho⁷⁴.

1. Marquard

Výběhová rychlost (těsně po střetu) s uvažováním případné konečné rychlosti, pokud není nulová, se stanoví ze vztahu:

$$v_p = \sqrt{2 \cdot k_s \cdot \mu \cdot g \cdot s + v_{kon}^2} \quad (17)$$

Postřetová rotace s uvažováním případné úhlové rychlosti na konci počítaného úseku, pokud není nulová, se stanoví:

$$\omega_p = \sqrt{k_\psi \cdot \mu \cdot g \cdot R_v \cdot \frac{m}{J} \cdot \psi + \omega_{kon}^2} \quad (18)$$

Kde koeficienty ze vztahu jsou dány:

$$k_s = 0,17w^3 - 0,488w^2 - 0,034w + 1 \quad (19)$$

$$k_\psi = 0,328w^3 - 0,772w^2 + 1,072w \quad (20)$$

$$w = \frac{\psi \cdot R_v}{2 \cdot s} \quad (21)$$



Vozidlo o hmotnosti $m = 1500$ kg, délce $L = 4$ m, rozvoru délky $R_v = 2,6$ m, součiniteli adheze $\mu = 0,65$ rotovalo na dráze $s = 11$ m s natočením během postřetového pohybu o úhel $\psi = 2,8$ rad do nulové zůstatkové (konečné) rychlosti a rotace.

$$w = \frac{\psi \cdot R_v}{2 \cdot s} = \frac{2,8 \cdot 2,6}{2 \cdot 11} = 0,33$$

$$k_s = 0,17w^3 - 0,488w^2 - 0,034w + 1 = 0,94$$

$$k_\psi = 0,328w^3 - 0,772w^2 - 1,072w = 0,28$$

s užitím empirického vztahu pro stanovení momentu setrvačnosti osobního vozidla kolem svislé osy o hmotnosti m a délky L po dosažení:

$$J = 0,1269 \cdot m \cdot L \cdot R_v = 0,1269 \cdot 1500 \cdot 2,6 \cdot 4 = 1980 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Rotace vozidla během postřetového pohybu je poté:

$$\omega_p = \sqrt{k_\psi \cdot \mu \cdot g \cdot R_v \cdot \frac{m}{J} \cdot \psi + \omega_k^2} = \sqrt{0,28 \cdot 0,65 \cdot 9,81 \cdot 2,6 \cdot \frac{1500}{1980} \cdot 2,8 + 0} = 3,1 \text{ rad/s}$$

Rychlost vozidla těsně po střetu je poté:

$$v_p = \sqrt{2 \cdot k_s \cdot \mu \cdot g \cdot s + v_k^2} = \sqrt{2 \cdot 0,94 \cdot 0,65 \cdot 9,81 \cdot 11 + 0} = 11 \text{ m/s}$$

2. Burg

$$v_p = \sqrt{2 \cdot a \cdot s + v_{kon}^2} \quad (22)$$

$$\omega_p = \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot w_R \cdot R_v}{J} \cdot \psi} \quad (23)$$

kde:

f_h je součinitel odporu kol, který dosahuje rozmezí 0,1 až 1,0 podle toho, zda se všechna kola volně otáčela (0,1), jedno kolo bez tlaku vzduchu (0,15), jedno kolo zablokováno (0,25), dvě kola bez tlaku vzduchu (0,3), dvě kola stejné strany imobilní či částečné brzdění (0,5), dvě kola přední nápravy imobilní (0,7) až po všechna plně zablokována (1,0),

$w_R = 0,15$ (náraz na bok vozidla) nebo 0,35 (směr nárazu do ± 20 stupňů od podélné osy vpředu či vzadu) – součinitel odporu vozidla proti rotaci.

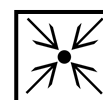
Zpomalení pro výpočet výběhové rychlosti je poté rovno:

$$a = \mu \cdot g \cdot [f_h + (1 - f_h) \cdot \sin \psi_m] \quad (24)$$

kde:

$$\sin \psi_m = \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \quad \text{pro } \psi \text{ menší než } 60 \text{ stupňů, jinak } \sin \psi_m = 0,5$$

Vozidlo o hmotnosti $m = 1500$ kg, rozvoru délky $R_v = 2,6$ m, součiniteli adheze $\mu = 0,65$ rotovalo na dráze $s = 11$ m s natočením během postřetového pohybu o úhel $\psi = 2,8$ rad do nulové zůstatkové (konečné) rychlosti a rotace se zablokovánými koly.



$$a = \mu \cdot g \cdot [f_h + (1 - f_h) \cdot \sin \psi_m] = 0,65 \cdot 9,81 = 6,38 \text{ m/s}^2$$

Rychlost vozidla těsně po střetu je poté:

$$v_p = \sqrt{2 \cdot a \cdot s + v_{kon}^2} = \sqrt{2 \cdot 6,38 \cdot 11 + 0} = 12 \text{ m/s}$$

Rotace vozidla během postřetového pohybu je poté:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot w_R \cdot R_v}{J}} \cdot \psi = \sqrt{\frac{1500 \cdot 9,81 \cdot 0,15 \cdot 2,6}{1980}} \cdot 2,8 = 2,8 \text{ rad/s}$$

3. McHenry

$$\omega_p = \sqrt{\frac{\mu \cdot g \cdot \psi^2}{\frac{J}{m \cdot R_v} \cdot \psi \cdot (1 - f_h) + \frac{s}{1,7}}} \quad (25)$$

$$v_p = 1,7 \cdot \left[\frac{\mu \cdot g \cdot \psi}{\omega_p} - \frac{J \cdot \omega_p \cdot (1 - f_h)}{m \cdot R_v} \right] \quad (26)$$

Kde:

$$f_h = \frac{f_{h1} + f_{h2} + f_{h3} + f_{h4}}{4}$$

(f_h nabývá hodnot 0 nebo 1 podle toho, zda je kolo-pneumatika v pořádku)



Vozidlo o hmotnosti $m = 1500$ kg, rozvoru délky $R_v = 2,6$ m, součiniteli adheze $\mu = 0,65$ rotovalo na dráze $s = 11$ m s natočením během postřetového pohybu o úhel $\psi = 2,8$ rad do nulové zůstatkové (konečné) rychlosti a rotace se zablokoványými koly.

$$\omega_p = \sqrt{\frac{\mu \cdot g \cdot \psi^2}{\frac{J}{m \cdot R_v} \cdot \psi \cdot (1 - f_h) + \frac{s}{1,7}}} = \sqrt{\frac{1,7 \cdot 0,65 \cdot 9,81 \cdot 2,8^2}{11}} = 2,8 \text{ rad/s}$$

$$v_p = 1,7 \cdot \left[\frac{\mu \cdot g \cdot \psi}{\omega_p} - \frac{J \cdot \omega_p \cdot (1 - f_h)}{m \cdot R_v} \right] = 1,7 \cdot \left(\frac{0,65 \cdot 9,81 \cdot 2,8}{2,8} \right) = 11 \text{ m/s}$$

Pokud najdeme aritmetický průměr výsledků stejného příkladu úhlová rychlost během takového pohybu dosahovala 2,9 rad/s a výběhová rychlost byla 11 m/s.

Další možností zjednodušeného stanovení výběhové rychlosti vozidla po střetu je na základě rozkladu sil na pneumatice do složek ve směru pohybu vozidla, konkrétně sil v podélném a příčném směru a následného **výpočtu zmařené energie během výběhového pohybu**⁷⁵. K aplikaci metody je třeba podrobnějšího popisu výběhového pohybu vozidla v jednotlivých krocích od počátku do konečné polohy, jedná se o vzdálenosti a odpovídající natočení vozidla v těchto vzdálenostech. Rozklad sil je dán vztahem:

$$F_i = m \cdot \mu \cdot g \cdot \sin(\alpha) + m \cdot a \cdot \cos(\alpha) \quad (27)$$

Následný výpočet ztracené energie třením mezi jednotlivými fázemi i od kroku 0 do kroku n pohybu je dán vztahem:

$$E = \sum_{i=0}^n \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \cdot (s_{i+1} - s_i) \quad (28)$$

Energie tření, resp. práce, je tedy dána součinem síly a dráhy mezi jednotlivými kroky a cílem je získat celkovou sumu energie, ze které lze následně vypočítat elementárně rychlost dle vztahu:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{m}} \quad (29)$$

či hodnotu středního zpomalení během rotace:

$$a_{stř} = \frac{v^2}{2 \cdot s} \quad (30)$$

Aplikací **energetické metody** na příkladu rotace vozidla o hmotnosti 1200 kg při užití součinitele adheze ve výši 0,6 při uvažování nulového zpomalení a při znalosti průběhu postřetového pohybu (tj. první 3 sloupce tabulky) dostaneme.



krok	vzdálenost	úhel natočení	síla F_i [N]	energie E [J]
0	0	0	0	0
1	3	5	615,5984422	923,3977
	4	9	1104,927913	860,2632
3	5	17	2065,079825	1585,004
4	7	26	3096,303084	5161,383
5	10	38	4348,540133	11167,26
6	12,5	51	5489,137355	12297,1
7	14,5	58	5989,933313	11479,07
8	20,3	73	6754,571752	36959,06
9	24,5	82	6994,461423	28872,97
10	29	94	7045,9944	31591,03
11	35	115	6401,433161	40342,28
12	37	130	5410,725111	11812,16
			SUMA	193051

Výběhová rychlost je cca 65 km/h a střední zpomalení během celé rotace cca 4,35 m/s².

Shodnými způsoby lze analyzovat pohyb i v případech, kdy je nutné postřetový pohyb rozdělit do fází, například když se vozidlo po určitou dráhu pohybuje po asfaltu a následně například po travnatém povrchu. Takto lze užít s úspěchem všechny představené metody.



Úkoly k textu:

Prostudujte pečlivě uvedené příklady a aplikujte vztahy pro libovolně zvolené výběhy vozidel, které si nakreslíte na libovolném povrchu. Zjistěte, nakolik jsou procentuálně odlišné závěry při použití jednotlivých metod v případě různého typu a délky výběhu a za situace, kdy lze postřetový pohyb včetně natočení vozidla popsat tak, aby bylo možno užít energetické metody.



Shrnutí:

Po prostudování této kapitoly a souvisejících zdrojů byste měli být schopni pochopit význam logických matic a procesu analýzy korespondence poškození objektů. Jedná se zejména o důležitost pečlivého hodnocení stop a poškození na objektech navzájem a na okolí. Tato hodnocení spolu s pečlivou identifikací a přiřazením stop na okolí umožní spolu s použitím korektních vstupních hodnot provedení technicky přijatelné analýzy nehodového děje. Problematika výběhové rychlosti velice úzce souvisí s vlastním řešením střetu či havárie a je velice závažnou částí každé analýzy, zejména v případě pohybu po různých površích. Ukázané metody představují základ pro orientační stanovení výběhových parametrů zpětným postupem analýzy či slouží jako kontrolní při užitím dopředných postupů analýzy s užitím simulačních programů.



Otázky:

1. Popište postupy znalecké analýzy k objektivnímu stanovení střetové polohy vozidel či jiných objektů.
2. Vysvětlete pojem korespondence poškození vozidla s jinými objekty a popište vzájemné posouzení poškození objektů.
3. Uveďte některé možnosti stanovení výběhových parametrů.



Korespondenční úkol:

Nadefinujte si tři hypotetické varianty výběhu vozidel včetně rotace a vypočtete výběhové parametry.

Dále z veřejných zdrojů zpracujte na základě poškození vozidel jejich vzájemnou korespondenci poškození a stanovte střetovou polohu, či případně i místo střetu.



Další zdroje

BRADÁČ, A. *Soudní inženýrství*. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.

BURG, H. MOSER, A. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden : Vieweg, 2007. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2.

HUGEMANN, W. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.

10 Diagramy při analýze silničních nehod – diagram dráha-čas, další užívané diagramy, oblast zakrytého výhledu

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- základní pravidla pro tvorbu diagramů

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- zkonstruovat diagramy dráha-čas pro libovolné pohyby účastníků

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

- přehled o nutnosti užívání diagramů pro zobrazení pohybu účastníků nehody

Klíčová slova kapitoly: diagram dráha-čas, dráha-rychlost

Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:

3 + 3 hodin (teorie + řešení úloh)



S grafickou či početní analýzou silničních nehod úzce souvisí možnosti a požadavky na grafické výstupy popisu pohybu účastníků nehodového děje v celém jeho průběhu.

Jedním z diagramů s vysokou vypovídací schopností je diagram závislosti času pohybu na uražené dráze v průběhu nehodového děje. V praxi analýzy silničních nehod je označován jako **STD** (dráha-čas diagram). Jedná se o metodu plynule zobrazující vzájemnou závislost dráhy a uplynulého času. Tímto diagramem se zobrazují nejen polohy objektů v průběhu nehodového děje v technicky přijatelných rozmezích hodnot, ale i možnosti odvrácení nehodě jednotlivými účastníky, či oblasti zakrytého výhledu.

Vlastní grafická konstrukce na základě početního řešení má svá **pravidla či zásady**:

- na svislé ose je čas, který je veličinou společnou svým měřítkem pro všechny objekty,
- měřítko dráhy se může lišit pro různé objekty a často se i liší, zejména při velkém rozdílu rychlostí, a tedy i drah objektů,
- místo střetu (za předpokladu dopravní nehody, nikoliv havárie) je v průsečíku obou os, tj. v bodě [0;0],
- události a vlastní pohyb před střetem zobrazovány jako kladné z hlediska času, děje po střetu jsou z hlediska času záporné,
- dráha je vždy skutečně uražená dráha (tj. celková uražená dráha i v případě pohybu po křivce),
- v případě, že je směr pohybu účastníků stejný, lze užít jednoho diagramu, v případě nestejného směru je nutné kreslit dva (či více) diagramy,
- křivky pohybu účastníků jsou plynulé, případně se jedná o přímky, zlomy přicházejí do úvahy pouze v případě střetu, kdy dojde k rázové změně rychlosti v krátkém čase.

Nejjednodušší případy konstrukce diagramu STD jsou v případě přímkového průběhu:

- stojící vozidlo (či např. chodec) – okamžitá poloha se nemění, pohyb je zakreslen svislou přímkou, tj. rovnoběžnou s osou času,
- objekt jedoucí konstantní rychlostí – ujetá dráha v závislosti na čase narůstá lineárně, čím nižší rychlostí se objekt pohybuje, tím strmější je křivka jeho pohybu,

$$s = s_0 + v_0 \cdot t \quad (31)$$

- v případě, že by se objekt pohyboval nekonečnou rychlostí, přímka jeho pohybu by byla rovnoběžná s osou dráhy.

Složitější případy nastávají v případě nerovnoměrného pohybu:

- objekt zrychlující s konstantním zrychlením (konkávní parabola)

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \quad (32)$$

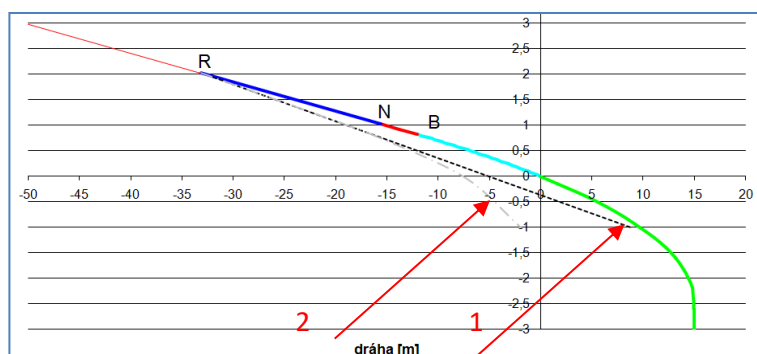
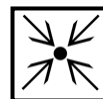
- objekt zpomalující s konstantním zrychlením (konvexní parabola)

$$s = s_0 + v_0 \cdot t - \frac{a \cdot t^2}{2} \quad (33)$$

Postup konstrukce ST diagramu je následující:

- vhodně zvolíme měřítko času a dráhy, v případě dráhy lze užívat různá měřítká pro různé objekty, a to pro maximální názornost,
- vypočteme s pomocí kinematických vztahů či s pomocí výpočtu s užitím simulačního programu polohy objektů v tzv. uzlových bodech, tj. takových, kde dochází ke změně v chování objektu či řidiče (počátek zrychlování, brzdění, počátek náběhu brzdného účinku, počátek reakce, počátek odbočování, příčné přemístění apod.),
- uzlové body ve vypočtených souřadnicích dráhy a času vyneseme do grafu,
- v případě rovnoměrného pohybu či stání, kde se jedná o přímkovou závislost, spojíme uzlové body přímkou,
- v případě nerovnoměrného pohybu objektů dopočteme pomocné body parabol (nejméně 3 body) a spojíme pomocí křivítka,
- v případě konstrukce pomocí tabulkového procesoru lze vykreslovat spojitě křivky, totéž platí o výstupech ze simulačních programů,
- při zakreslení pohybu všech podstatných objektů lze poté analyzovat vzájemný pohyb objektů v jednotném čase či dodatečně řešit a zakreslovat možnosti odvrácení nehody (další kapitola), analyzovat včasnost reakce či oblasti zakrytého výhledu.

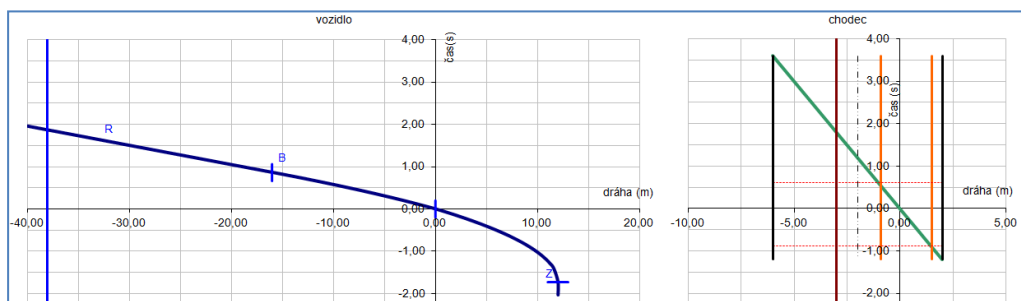
Uzlové body se obvykle označují **R** (reakce), **N** (náběh brzdného účinku), **B** (brzdění), apod. Na následujícím obrázku je ukázka STD v případě brzdícího vozidla včetně dvou naznačených možností zabránění nehodě (čárkovaně a čerchovaně). V daném případě řidič vozidla reagoval v čase cca 2 sekundy před střetem, ve vzdálenosti cca 33 metrů z předchozí konstantní rychlosti brzděním po uplynutí reakční doby 1 sekunda a v čase 0,8 s před střetem a cca 12 m před místem střetu (po náběhu brzd **N**) intenzivně brzdil s tím, že k zastavení vozidla došlo až po více než 2 sekundách a 15 metrech po kolizi. Možnost zabránění nehodě označená křivkou **1** ukazuje situaci za předpokladu konstantní nižší rychlosti od místa reakce řidiče, možnost označená křivkou **2** ukazuje situaci za předpokladu brzdění z nižší rychlosti po uplynutí reakční doby řidiče.



Obrázek 23 – Diagram dráha-čas (STD) v prostředí MS-Excel s dvěma možnostmi odvrácení střetu, a to plynulou jízdou nižší rychlostí (1) a brzděním (2)⁷⁶

Nezastupitelnou roli má diagram dráha-čas i v případě střetu vozidla s chodcem. Vzájemná korelace pohybů v různých směrech umožňuje navzájem porovnat polohu objektů během celého nehodového děje v jednotném čase a posoudit reálnost či logiku případné reakce řidičů či chodců ve vztahu ke vzniku nebezpečí (tzv. signální pozice) či oblasti zakrytého výhledu (OZV).

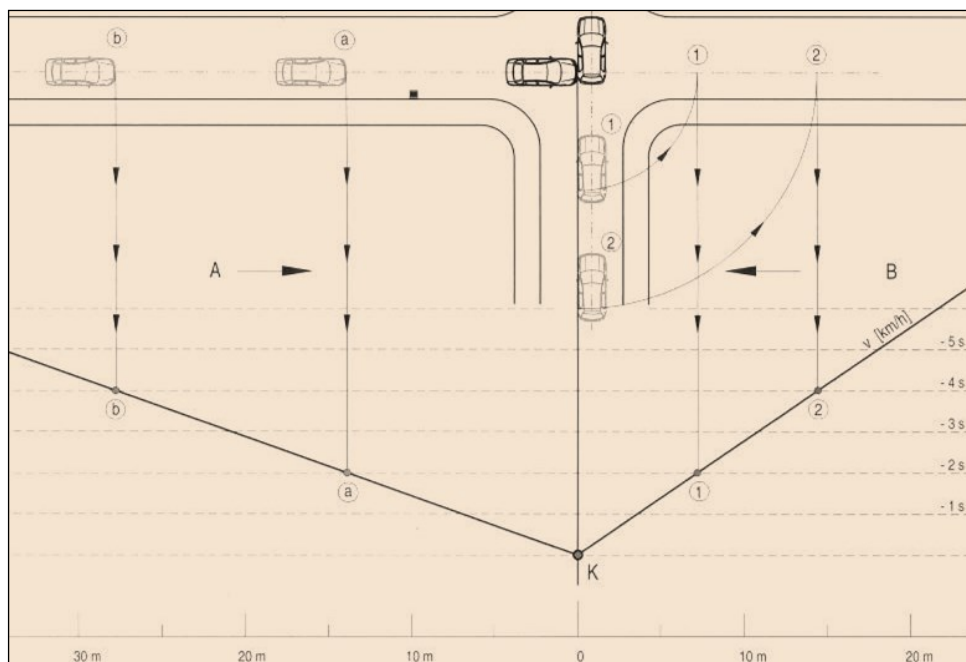
Oblast zakrytého výhledu je nutno do STD zakreslovat vždy, pokud má nějaký podíl na vzniku či průběhu nehody, či ovlivňuje možnosti účastníků k jejímu zabránění. Do zakresleného STD se vyznačí oblasti vzájemného zakrytého výhledu, které byly zaměřeny či ověřeny při prohlídce místa nehody.



Obrázek 24 – Diagram dráha-čas (STD) v případě střetu vozidla s chodcem⁷⁷

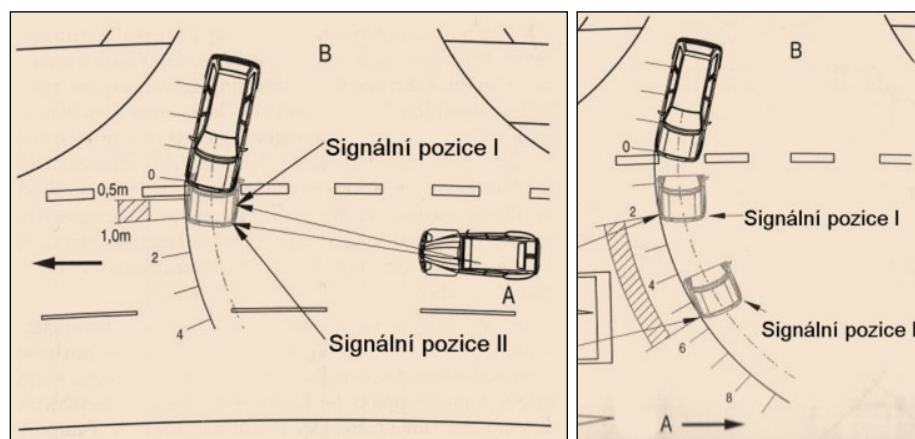
Do diagramu dráha-čas lze dále doplnit pro snadnější orientaci i naznačení polohy vozidel v jednotlivých význačných okamžicích, viz následující obrázek. Jedná

se o kolmý střet dvou vozidel na křižovatce s vyznačením odpovídajících poloh vozidel v čase 2 a 4 sekundy před střetem (tj. 1-a; 2-b).



Obrázek 25 – Diagram dráha-čas (STD) v případě kolmého střetu dvou vozidel na křižovatce s vyznačením odpovídajících poloh vozidel⁷⁸

Signální pozice je taková pozice jednoho z vozidel či objektů, která zakládá z technického hlediska druhému účastníkovi či více účastníkům nutnost, logiku, reálnost či povinnost nějakým způsobem na situaci reagovat. Signální pozice je takovou pozicí vozidla jedoucího z vedlejší silnice, na kterou lze již předpokládat nutnost adekvátní reakce řidiče vozidla, jedoucího po hlavní silnici. Samotná signální poloha není definována pouze polohou vozidla jedoucího z vedlejší silnice, ale závisí také na okamžité rychlosti tohoto vozidla a blízkosti vozidla jedoucího po hlavní silnici a jeho rychlosti, kdy je již zřejmé, že řidič jedoucí po hlavní silnici nestihne zastavit před koridorem pohybu. Posouzení polohy signální pozice je tedy komplexním úkolem znalce a musí být v souladu s posouzením nutnosti reakce řidiče jedoucího po hlavní silnici na vznikající nebezpečí.

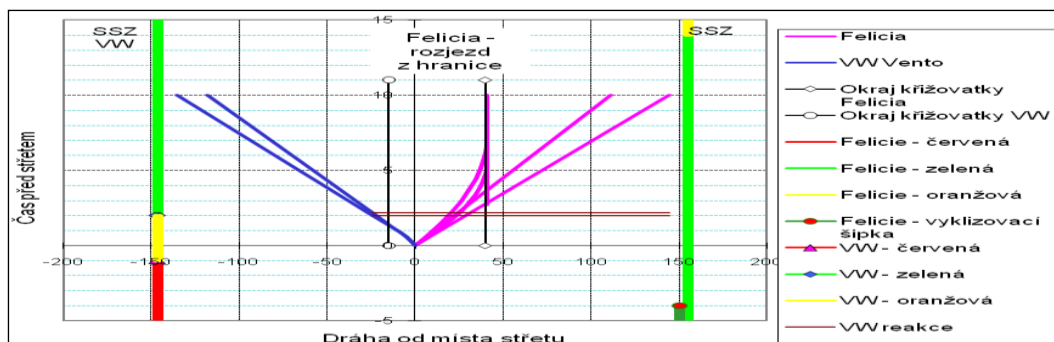


Obrázek 26 – Signální pozice – posouzení nutnosti reakce řidiče, příjezd zprava a zleva⁷⁹

Signální pozice, resp. rozmezí signálních pozic, poté slouží k vyhodnocení pohybu vozidla jedoucího po hlavní silnici, a to i v případě, že nezanechalo při brzdění stopy. Zpětným odvíjením děje je nalezena pozice vozidla jedoucího po hlavní silnici, kdy asi mohl začít řidič reagovat s následným brzděním. V případě, že je po uplynutí reakční doby k dispozici dráha na brzdění, je možno z této dráhy vypočítat rychlost vozidla na počátku reakce. Mezi další užívané závislosti v souvislosti s analýzou silničních nehod lze nejčastěji zařadit:

- závislost dráha-rychlost,
- závislost čas-rychlost.

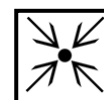
Kromě uvedených nejčastějších závislostí disponují simulační programy celou řadou závislostí popisujících zejména průběh dynamických parametrů nejčastěji vozidla, např. závislosti dráha či čas versus úhlová rychlost, zpomalení, natočení, úhel řízení či průběh bočních sil. V neposlední řadě lze do STD zakreslit i průběh světelné signalizace v případě střetu vozidel na světelné křižovatce.



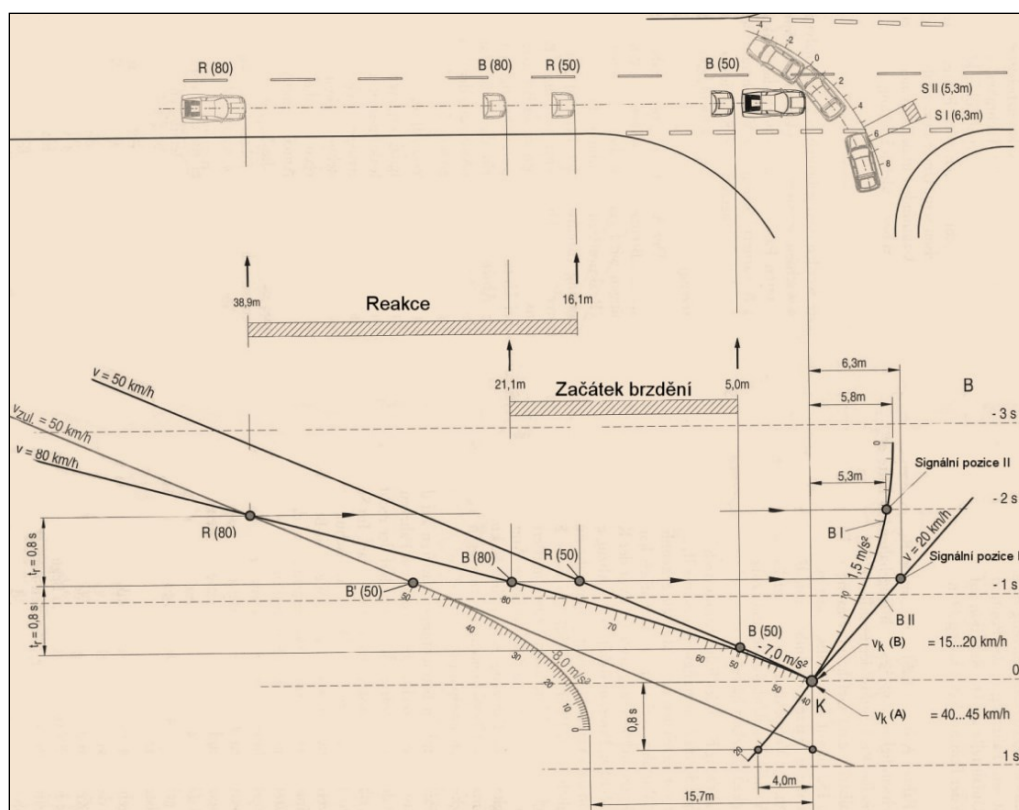
Obrázek 27 – Diagram dráha-čas (STD) v střetu vozidel na světelné křižovatce s vyznačením průběhu světelných signálů⁸⁰

Aplikace STD s vyznačením signálních pozic je ukázána na následujícím příkladu a obrázku.

Na následujícím obrázku je zobrazen intervalový diagram v případě odbočování vozidla z vedlejší silnice vlevo na hlavní, včetně možností odvrácení nehody. Nebyly zjištěny žádné stopy před střetem. Z analýzy střetu vyplynulo, že vozidlo jedoucí po hlavní silnici (**A**) narazilo rychlostí 40 až 45 km/h do vozidla odbočujícího vlevo (**A**), v okamžiku střetu jedoucího rychlostí 15 až 20 km/h. Vozidlo **B** se mohlo rozjíždět buď z nulové rychlosti se zrychlením $1,5 \text{ m/s}^2$, nebo projíždělo předmětný oblouk letmo bez zastavení rychlostí 20 km/h. Obě čáry pohybu vozidla **B** jsou zobrazeny. Dále byly vybrány signální pozice **I** a **II**. Signální pozice **I** odpovídá letmému průjezdu, kdy již mohl řidič vozidla **A** rozpoznat, že vozidlo nezastaví před křižovatkou a bude mu křižovat koridor pohybu. V případě rozjezdu je signální pozice vyhodnocena později, tedy dráhově blíže k místu střetu, až vozidlo **B** vjelo svou přední částí přes hranici křižovatky. Vyhodnocení signálních pozic je individuálním úkolem každého znalce a záleží také na rychlosti vozidel, nelze jednoznačně a obecně říci, kde signální pozice leží. Vzhledem k absenci stop vozidla **B** jsou v diagramu vyhodnoceny varianty předstřetového pohybu vozidla **A** brzděním od signálních



pozic po uplynutí reakční doby řidiče. V případě, že řidič vozidla **B** se rozjížděl z nulové rychlosti a řidič vozidla **A** na toto reagoval ze vzdálenosti 38,9 m před MS po uplynutí reakční doby 0,8 sekundy brzděním až do střetu, byla výchozí rychlost vozidla **A** cca 80 km/h. V případě, že vozidlo **B** projíždělo křižovatkou letmo, řidič vozidla **A** mohl na toto začít reagovat v čase signální pozice I (cca 1,2 s před střetem), jeho výchozí rychlost by byla cca 50 km/h. Součástí takového kombinovaného variantního diagramu je i křivka pohybu vozidla **A** z rychlosti 50 km/h bez brzdění a s brzděním z místa odpovídajícímu vzdálenější reakci (signální pozice II). Vozidlo **B** by opustilo koridor pohybu v čase 0,8 sekundy po střetu.⁸¹



Obrázek 28 – Diagram dráha-čas (STD) v střetu vozidel na křižovatce v rozmezí hodnot s vyznačením signálních pozic a odpovídajících poloh a rychlostí vozidel⁸²



Úkoly k textu:

- Prostudujte pečlivě uvedené příklady a přesvědčte se, že jim rozumíte.
- Nakreslete různé varianty pohybu vozidel včetně jejich zobrazení ve formě diagramu STD
- Zkuste připravit v případě střetu vozidel na křižovatce různé varianty signálních pozic

Shrnutí:

Po prostudování této kapitoly a souvisejících zdrojů byste měli být schopni formulovat zásady konstrukce STD, zkonstruovat libovolný příklad pohybu objektů během nehodového děje, popsat náležitosti a možnosti zakreslení včetně popisků.



Otázky:

1. Jaké jsou zásady konstrukce diagramu STD?
2. Popište jednotlivé typy křivek pro všechny možnosti pohybu či stání objektů.
3. Jak zjistíte a zakreslíte oblast zakrytého výhledu?
4. Popište důležitost STD a dalších diagramů pro analýzu nehod.



Korespondenční úkol:

Vytvořte situaci střetu vozidel na křižovatce zobrazenou na posledním obrázku, tj. graficky vytvořte průběh pohybu a střetu dvou vozidel na křižovatce s libovolně stanovenými střetovými rychlostmi bez zanechaných stop během předstřetového děje s použitím rozmezí hodnot na základě posouzených signálních pozic.



Další zdroje

BRADÁČ, A. *Soudní inženýrství*. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.

BRADÁČ, Albert. *Početně grafické řešení vzniku a průběhu silniční nehody*. Brno 1974.

RIVERS, Robert W. *Evidence in traffic crash investigation and reconstruction*. Springfield : Charles C Thomas Publisher, 2006. str. 295. 1. vydání. ISBN 978-0-398-07644-8.

BURG, H. MOSER, A. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden : Vieweg, 2007. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2.

HUGEMANN, W. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.



11 Intervalové diagramy, sekvence a odvrácení nehody

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- základní pravidla a možnosti tvorby výstupů z výsledků analýzy nehody

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- pochopit nutnost užití názorných komplexních grafických výstupů

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

- přehled o nutnosti komplexního posuzování možností zabránění nehody z hlediska časového a dráhového

Klíčová slova kapitoly: intervalový diagram, úsečka MOS, diagram dráha-čas, možnosti odvrácení nehody

Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:

3 + 2 hodin (teorie + řešení úloh)

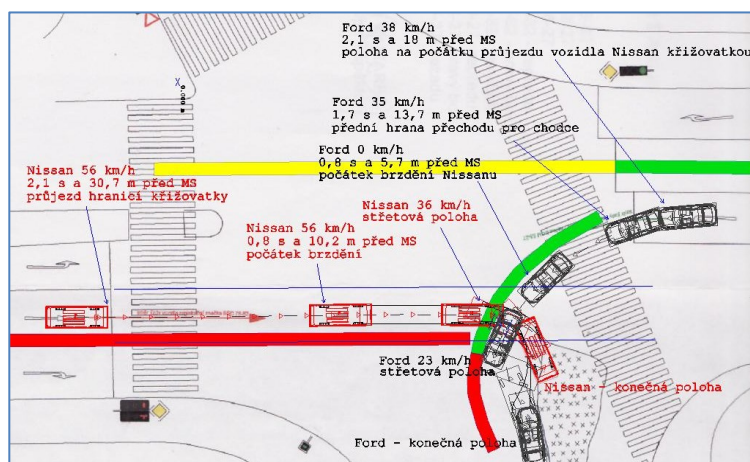


Mezi další výstupy grafické či početní analýzy silničních nehod patří i intervalové diagramy, diagramy sekvencí průběhu nehodového děje či výpočty a grafické zakreslení možností odvrácení nehody jednotlivými účastníky.

Pro větší názornost pohybu jednotlivých objektů v průběhu nehodového děje je možno užít tzv. **intervalový diagram**, ve kterém jsou patrné vzájemné polohy jednotlivých objektů nejen pomocí křivek. Každá poloha objektu nejvhodněji zobrazená v plánu místa nehody je odpovídajícím způsobem popsána tak, aby ji bylo možno vztáhnout z hlediska polohy, rychlosti a času k poloze jiných objektů. Rovněž, jako v případě STD, je možno vhodnými způsoby zaznamenat i případné oblasti zakrytého výhledu (OZV) či signály světelné signalizace.

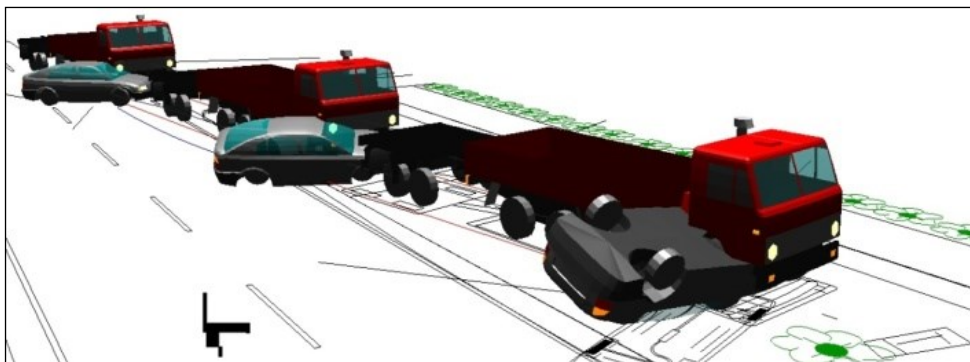


Na příkladě je zobrazen průběh nehody na světelné křižovatce, konkrétně jedna z možných variant, ze které lze dovodit, že vozidlo Nissan muselo vjet do křižovatky na červený signál. U každé polohy je uvedena rychlost, dráha a čas, či sekundární kolize a významné polohy jsou v jednotném čase.



Obrázek 29 – Intervalový diagram vozidel během pohybu v průběhu nehody na světelné křižovatce⁸³

Kromě intervalových diagramů a STD jsou vysoce názorné i tzv. sekvence průběhu nehody, nejčastěji jsou tvořeny s podporou simulačních programů.



Obrázek 30 – Sekvence průběhu střetu nákladního a osobního vozidla při odbočování⁸⁴

Výstupem každé analýzy nehody by kromě stanovení nejčastěji rychlostí a poloh objektů mělo být i stanovení **možností odvrácení nehody** jednotlivými účastníky.

Vznik nehodového děje lze obecně odvracet:

- brzděním,
- zrychlováním,
- příčným přemístěním nejčastěji jedním obloukem, tj. vyhýbáním,
- konstantní jízdou v přímém směru,
- či kombinací vyhýbání a brzdění.

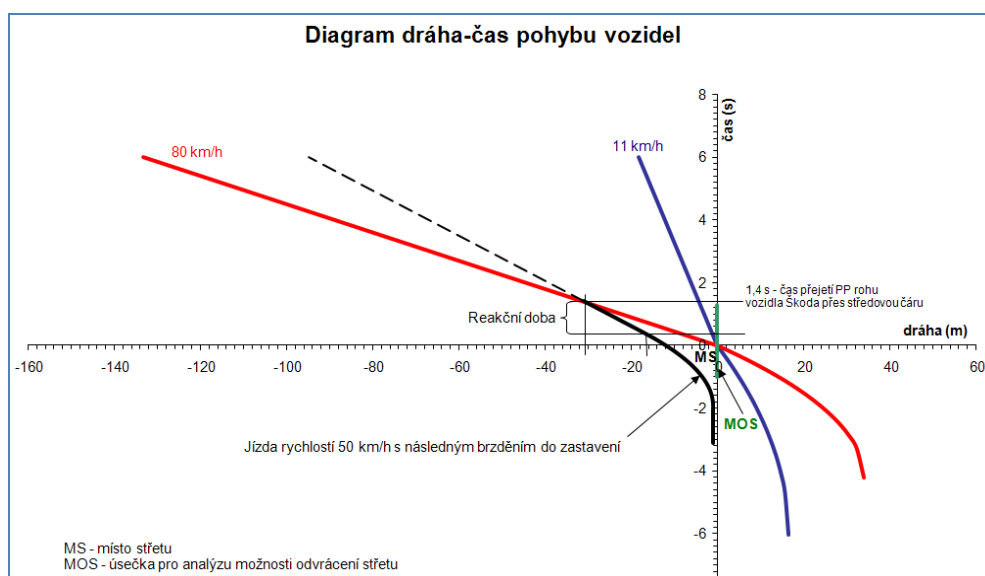
Odvracení, resp. zabránění nehodě lze z technického pohledu dělit na:

- dráhové odvrácení nehody,
- časové odvrácení nehody.

Odvracení dráhové je vždy bezpečnější, neboť řeší pohyb jednoho objektu téměř bez ohledu na chování druhého objektu. V praxi toto znamená, že objekt, jehož dráhová možnost odvrácení se řeší, má před místem střetu k dispozici určitou dráhu. Je otázkou definice a formulace možností, jak tento objekt dostupnou dráhu pro odvrácení využije a zejména z jaké výchozí rychlosti a případně s jakými parametry brzdění či vyhýbání. O dráhovém odvrácení lze hovořit i v případě, že řidič vyhodnotí situaci a dostupnou vzdálenost do místa střetu na komunikaci tak, že zvolí vyhýbání např. vpravo mimo komunikaci a nehodě zabrání pouze příčným minutím místa střetu, ačkoliv podélně se může pohybovat za místo střetu.

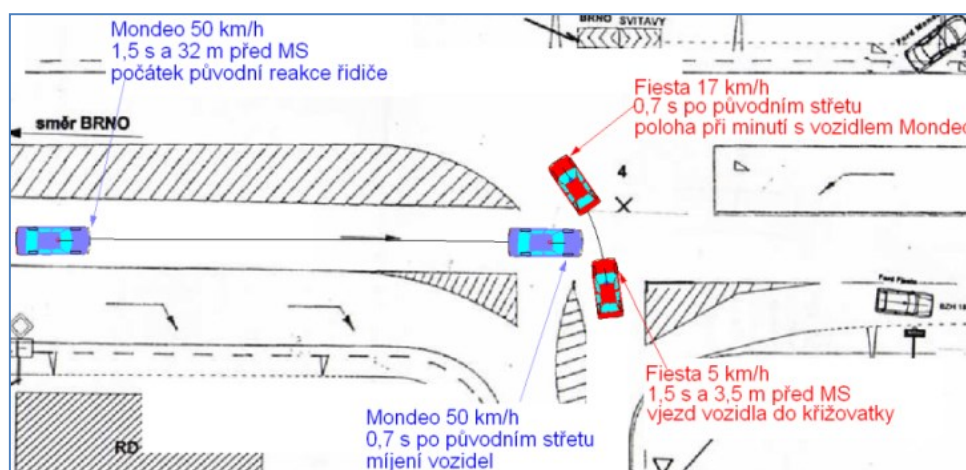
Odvracení časové, resp. prostorové naopak předpokládá minuty koridorů vozidel. Koridorem se rozumí prostorové vyjádření pohybu vozidla ve směru pohybu, tj. nejčastěji šířka včetně vnějších zrcátek a k tomu připočtená šířka cca 0,5 metru. V případě časového odvrácení primárně záleží na době, která zbývala účastníkům do střetu a jejich účelnému využití k odvrácení nehody. Nejčastěji se jedná o situaci, kdy by za předpokladu delšího dostupného času stihl druhý objekt opustit koridor pohybu prvního objektu a došlo by tak k jejich vzájemnému minutí, např. chodec má k dispozici delší čas a stihne opustit koridor pohybu vozidla.

Při zpětném ručním řešení se možnosti odvrácení střetu řeší i pomocí diagramu dráha-čas, a to zakreslením tzv. **úsečky možnosti odvrácení střetu (MOS)**. Tato úsečka definuje z časového a v případě nekolmého střetu i dráhového hlediska nebezpečnou oblast či dobu, kdy se kříží koridory objektů. Pokud čára pohybu příslušné části vozidla projde touto úsečkou, dojde ke střetu. Pokud se jeden z objektů pohybuje např. pomaleji, či brzdí s větší intenzitou a druhý objekt mezitím opustí jeho koridor, tj. přední částí mine úsečku MOS a ke střetu nedojde. V případě tzv. nekolmého střetu či pohybu v oblouku nemá úsečka MOS svislý nýbrž má šikmý, skloněný tvar, neboť reflektuje i dráhový zásah jednoho účastníka do dráhy druhého.



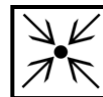
Obrázek 31 – STD s vyznačením dráhového zabránění za předpokladu výchozí rychlosti 50 km/h s následným brzděním – zastavení před místem střetu⁸⁵

Časové zabránění ve formě minutí koridorů lze ukázat i s použitím intervalového diagramu, či oba diagramy tzv. sdružit.



Obrázek 32 – Intervalový diagram zabránění nehodě – ukázka časového odvrácení minutím koridorů pohybu vozidel⁸⁶

Z analýzy střetu vyplynulo, že vozidlo jedoucí po hlavní silnici narazilo rychlostí 18 m/s (v_0) do jiného, kolmo jedoucího vozidla. Před střetem byla zjištěna brzdná dráha o délce 20 m (s_B). Při zpomalení 5 m/s² (a) byla výchozí rychlost vozidla 22,9 m/s a na začátku reakce řidiče ($t_R = 1$ s) bylo vozidlo 42,9 m ($s_A = s_B + s_R$) před místem střetu MS. Celkový čas od počátku reakce do kolize byl 1,98 sekundy ($t_A = t_B + t_R$). K nehodě došlo v obci ($v_{zul} = 50$ km/h). Otázka první, kterou je potřeba vyřešit je, zda by došlo ke kolizi, kdyby se toto vozidlo pohybovalo od počátku reakce řidiče rychlostí 50 km/h (13,9 m/s)? Ke střetu by v takovém případě nedošlo, poněvadž by vozidlo na zastavení potřebovalo dráhu cca 33 m (s_{Azul}) a zastavilo by tedy 10 m před MS.



Další otázkou je, z jaké maximální rychlosti by ještě při stejné reakci stejné vozidlo zastavilo před místem střetu, resp. před koridorem pohybu druhého vozidla? Z rychlosti 58 km/h by vozidlo při stejné reakci zastavilo na dráze 42,9 - 0,9 (minimální bezpečnostní odstup), tj. 42 m.

$$v_{\max} = -a \cdot t_R + \sqrt{(a \cdot t_R)^2 + 2 \cdot a \cdot s_A} = -5 + \sqrt{25 + 420} = 16,1 \text{ m/s} \quad (34)$$

Další otázkou je, zda bylo možno z vypočtené výchozí rychlosti zabrzdit za předpokladu kratší reakce řidiče, a vypočítat tak maximální účinnou reakci řidiče. Vyšel záporný čas, tudíž pouze kratší reakcí nebylo možno, z výchozí rychlosti v_0 , nehodě zabránit.

$$t_{R\max} = \frac{s_A}{v_0} - \frac{v_0}{2 \cdot a} = -0,46 \text{ s} \quad (35)$$

V případě, že by však řidič brzdil maximálním dosažitelným zpomalením na daném druhu povrchu (např. $a_{\max} = 9$ m/s²), s reakcí kratší než 0,56 sekundy by nehodě zabránil (stále technicky přijatelná, ale velmi krátká reakce). Je však další otázkou, zda je spravedlivé po řidiči požadovat krátkou reakci, když patří mezi řidiče s delší, ale stále vyhovující reakční dobou?⁸⁷

$$t_{R\max} = \frac{s_A}{v_0} - \frac{v_0}{2 \cdot a_{\max}} = \frac{42}{22,9} - \frac{22,9}{18} = 0,56 \text{ s} \quad (36)$$

Výsledkem analýzy střetu, pohybu po střetu a před střetem, včetně analýzy možností odvrácení nehody, by mělo být vyjádření k technické příčině nehody, pokud je to možné. Technický znalec se nezabývá právními otázkami, i shodné výsledky lze však slovně interpretovat různě, např.:

- Řidič vozidla jedoucí po hlavní silnici se na počátku své reakce pohyboval rychlostí přibližně 82 km/h a řidič vozidla jedoucí z vedlejší mu svým výjezdem do křižovatky vytvořil náhlou překážku.
- Příčinou předmětné nehody byla vysoká rychlost vozidla jedoucího po hlavní silnici.



Úkoly k textu:

Prostudujte pečlivě uvedené příklady a snažte se pochopit složitost problematiky formulace a technické interpretace výsledků analýzy a odvracení nehody a zkuste se zamyslet také nad složitostí následného právního hodnocení v tzv. otázce „přednosti v jízdě“, např. v případě střetu vozidel na křižovatce za předpokladu, že vozidlo jedoucí po hlavní silnici jelo v obci rychlostí 70, 80 a 90 km/h a dále za situace možného zakrytého výhledu při výjezdu z vedlejší komunikace.



Shrnutí:

Po prostudování této kapitoly a souvisejících zdrojů byste měli být schopni chápat a definovat možnosti odvracení nehody jejími účastníky, tyto možnosti zakreslit do STD či intervalového diagramu, dělat rozdíly v jednotlivých způsobech a možnostech odvracení a umět posuzovat jejich technickou realnost.



Otázky:

1. Definujte a popište druhy odvracení nehody na konkrétních příkladech.
2. Jaké náležitosti by měl mít intervalový diagram?
3. Popište důležitost variant možností odvrácení nehody pro analýzu nehod.



Korespondenční úkol:

Na základě korespondenčního úkolu z minulé kapitoly analyzujte, zakreslete a popište, pokud možno, vyčerpávající možnosti odvrácení nehody jejími účastníky a poté se rozhodněte, které z variant považujete za technicky přijatelné.



Další zdroje

BRADÁČ, A. *Soudní inženýrství*. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.

BURG, H. MOSER, A. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden : Vieweg, 2007. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2.

HUGEMANN, W. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.

12 Dopravní nehody s chodci

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- popsat fáze střetu vozidla s chodcem
- znát související pojmosloví
- představit si faktory mající vliv na možnosti a výsledky analýzy
- stanovit rychlosti vozidla a chodce, atd. a znát metodický postup řešení takové nehody od studia podkladů pro vyřešení odvrácení nehody

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- vyřešit jednoduchou nehodu vozidla s chodcem

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

- metodický postup řešení takové nehody od studia podkladů pro vyřešení odvrácení nehody

Klíčová slova kapitoly: chodec, vozidlo, střet, sunutí, odhození, rychlost, dráha-čas, navinutí, podélná a příčná vzdálenost odhození, ztráta rychlosti, vyosení pohybu chodce, nárazová vzdálenost, faktor nárazu



Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:
3 + 4 hodin (teorie + řešení úloh)

Nejčastěji dochází k čelním střetům vozidel a chodců a v prvotním kontaktu s chodcem je přední nárazník vozidla. Průběh kontaktní síly způsobí kombinaci rotačního a translačního pohybu. Čím dále je bod kontaktu chodce s vozidlem od výšky těžiště chodce, tím větší je podíl rotace. Kvůli rotačnímu impulsu naráží hrudník a hlava do oblasti víka motoru, okenního rámu, čelního skla nebo hrany střechy vozidla.

Fáze střetu vozidla s chodcem

- Primární

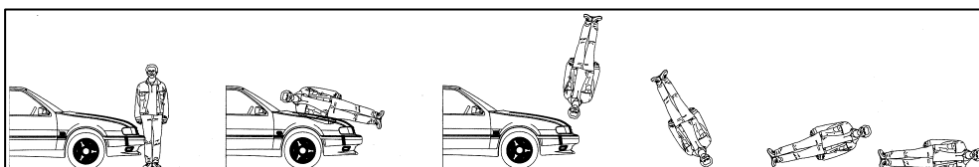
V kontaktní fázi se téměř, za předpokladu brzdění vozidla, vyrovná rychlost chodce a vozidla. Následuje fáze letu, kdy se pohyb chodce a vozidla liší. Při vyšších rychlostech a nebrzdění vozidla je možné, že chodec je vozidlem podtržen a dopadne za vozidlo.

- Sekundární

Náraz chodce na vozovku

- Terciární

Náraz chodce do překážky nebo jiného vozidla



Obrázek 33 – Fáze střetu vozidla s chodcem⁸⁸

Podélná vzdálenost odhození – podélná vzdálenost od místa kontaktu chodce s vozidlem do těžiště chodce v konečné poloze ve směru pohybu vozidla. Fáze se skládá z letu i sunutí.

Příčná vzdálenost odhození – rozumí se tím příčná vzdálenost mezi bodem kolize chodce na vozidle a konečnou polohou těžiště chodce ve směru pohybu vozidla.

Příčný offset nárazu noha-hlava – při kolizi chodce s vozidlem dochází obvykle ke dvěma kontaktům. Nejprve narazí přední nárazník do nohou chodce případně přední hrana kapoty, narazí do stehna chodce. Druhý kontakt následuje, když hlava nebo rameno po naložení narazí do vozidla. Z rychlosti pohybu a rotace chodce ke svislé ose pramení přesah (vzdálenost) mezi prvním a druhým výše popsaným kontaktem.

Navinutí – dráha dynamického navinutí chodce na vozidle měřená od vozovky po místo nárazu chodce hlavou, případně ramenem do vozidla (čelního skla).

Nárazová vzdálenost – podélná vzdálenost mezi místem nárazu středu hlavy a místem prvotního kontaktu chodce s vozidlem.⁸⁹

Ztráta rychlosti vozidla při kontaktu s chodcem je vzhledem k nepoměru hmotností marginální. Pokud je vozidlo brzděno a známe velikost zpomalení a dráhu výběhu vozidla, lze rychlost vozidla před střetem (doběhová rychlost v_d) stanovit na základě výběhové rychlosti vozidla (v_v) a poměru hmotností chodce (m_{ch}) a vozidla (m_v) následovně:

$$v_d = v_v \cdot \left(1 + \frac{m_{ch}}{m_v} \right) \quad (37)$$

V závislosti na tvaru karoserie hovoříme někdy o tzv. faktoru nárazu, což je poměr mezi rychlostí chodce těsně po střetu a nárazovou rychlostí vozidla. Dosahuje podle tvaru karoserie hodnot 0,82 až 1,27.



Vypočtěte dle uvedeného vztahu modelový příklad srovnání změny rychlosti v případě kolize vozidla o hmotnosti 850 kg s chodcem o hmotnosti 130 kg a pro případ střetu nákladního vozidla o hmotnosti 10 000 kg s chodkyní o hmotnosti 55 kg, a to pro výběhovou rychlost 50 km/h.

Při excentrickém střetu je zohledněn i moment hybnosti v podobě celkového momentu setrvačnosti vztahenému k ose procházející těžištěm chodce (I_{ch}) a vzdálenosti mezi těžištěm chodce a bodem nárazu (l). V takovém případě by bylo možno velice zjednodušeně ztrátu rychlosti vozidla při střetu s chodcem vypočítat následovně:

$$v_d = v_v \cdot \left(1 + \frac{I_{ch}}{I_{ch} + l^2 \cdot m_{ch}} \frac{m_{ch}}{m_v} \right) \quad (38)$$

Mezi faktory ovlivňující průběh kolize patří:

Kolizní rychlost vozidla

Do střetu přináší největší impuls vozidlo a jeho velikost a směr na průběh pohybu chodce jsou zásadní, zejména ve vztahu k podélné vzdálenosti odhození.

Statistiky ukazují, že až 84 % všech střetů vozidel a chodců je při rychlosti vozidla 20 až 60 km/h.

Rychlost pohybu chodce a pohyb paží

Bylo prokázáno, že při střetu chodce s osobním vozidlem je významná rychlost chodce a výška chodce. Rychlost chodce má zásadní vliv na vyosení pohybu chodce a příčnou vzdálenost odhození.

Tvar a kontura přídě vozidla – zásadní faktor ovlivňující pohyb chodce

Třídění tvarů přídí osobních vozidel na klínovou (typ A), pontonovou (typ B) a skříňovou karoserii (typ C) napovídá vlastnímu průběhu kolize chodce. Typ D by odpovídal nákladnímu vozidlu. Při nárazu skříňové karoserie vozidla do chodce dochází pouze k translaci chodce a pouze k minimální rotaci (např. VW Transporter vs dospělý chodec). Kromě bočního tvaru přídě vozidla kolidujícího s chodcem má vliv i vlastní půdorysný tvar obrysu přední části vozidla, tedy zda má hranaté či kulaté rohy či úhel mezi předním rohem vozidla a středem, tedy jeho nejpřednější částí.

Výška těla chodce

Čím větší je vzdálenost mezi výškou těžiště chodce a hranou přední kapoty, tím je větší následná rotace chodce. Výška těla chodce a výška jeho těžiště ve vztahu k tvaru karoserie kolidujícího vozidla má tedy výrazný vliv na postřetový pohyb chodce.

Zpomalení vozidla

Čím nižší je zpomalení vozidla, tím větší je podélná vzdálenost odhození chodce. V každodenní praxi není relevantní částečné brzdění. Buď se řidič snaží plným brzděním střetu zabránit, nebo na zabránění nemá čas a nebrzdí.

Méně významné faktory:

Vliv mokré nebo vlhké vozovky na primární náraz zatím nebyl detailně zkoumán. Při sekundárním nárazu, tedy nárazu chodce na vozovku a následném pohybu po vlhké či mokré vozovce, je zpomalení při dření nižší (4,4 až 4,8 m/s²). Střední hodnota zpomalení při dření (sunutí) chodce po vozovce činí 6,2 m/s². Délka dření (sunutí) chodce S_s [m] v závislosti na nárazové rychlosti v_s [km/h] je vyjádřena vztahem:⁹⁰

$$S_s = 0,0031 \cdot v_s^2 - 0,0212 \cdot v_s \quad (39)$$

Vybraná data pro analýzu nehod s chodci

Moment setrvačnosti lidského těla se v závislosti na výšce člověka od 150 do 180 cm pohybuje od 5,5 do 14 kgm². Výška těžiště vzpřímeného člověka se pohybuje cca od 0,85 m (150 cm výšky) do 1,05 m (190 cm výšky). V případě výšky 175 cm dosahuje cca 0,97 m. Parametry pohybu velice úzce závisí na kondici a věku chodce. Normální chůze v rozmezí 1,0 až 1,8 m/s, rychlá chůze 1,5 až 2,1 m/s, běh



3,0 až 4,1 m/s a rychlý běh 4,5 až 6,0 m/s (až 7,5 m/s). U žen jsou hodnoty v podstatě podobné, mohou se lišit v případě rychlého běhu.

Celková podélná vzdálenost odhození s_c [m] může být vyjádřena empirickými vztahy, např. podle Kühnela:⁹¹

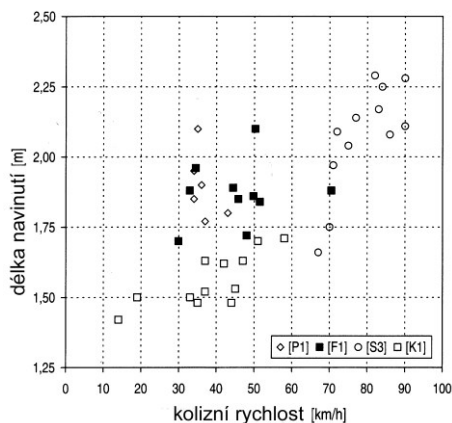
$$s_c = 0,0062 \cdot v_s^2 + 0,0272 \cdot v_s \quad (40)$$

Nebo také např. regresní funkcí v závislosti na zpomalení vozidla a [m/s²] (pro $a = 4,5$ až $8,5$ m/s²):⁹²

$$s_c = 0,0271 \cdot \frac{v_s^2}{a} + 0,0178 \cdot v_s \cdot a \quad (41)$$

Ke stanovení nárazové rychlosti existují další empirické vztahy, např. dle Pultara⁹³ při dosažení výšky těžiště chodce h_t [m] a rychlosti v_s [m/s]:

$$v_s = -\sqrt{2 \cdot g \cdot h_t} + \sqrt{2 \cdot g \cdot h_t + 2 \cdot g \cdot s_c} \quad (42)$$



Obrázek 34 – Závislost délky navinutí chodce na kolizní rychlosti dle různých zdrojů⁹⁴

V případě střetů nečelních, např. na roh vozidla, v případě vysokých rychlostí v souvislosti s amputací končetin či v případě přeletu chodce za vozidlo je použití empirických vztahů prakticky vyloučeno. Od prvního dotyku s chodcem do nárazu hlavy chodce trvá tato fáze 50 až 150 ms.

Při analýze nehody s chodcem při použití zpětného způsobu výpočtu, tj. od konečné polohy vozidla a chodce do střetu je třeba:

- analyzovat důkladně všechna technická vstupní data a vyžadovat jejich případné doplnění,
- vyhodnotit místo střetu, střetovou polohu vozidla a chodce dle stop, detailně poškození vozidla, směru pohybu po střetu a zranění chodce (případně otěry a střepiny),
- stanovit rozmezí přijatelné rychlosti chodce (věk, kondice, způsob pohybu, postavení apod.),

- na základě dráhy příp. drah po střetu a přijatelných součinitelů adheze mezi povrchem komunikací a pneumatikami příp. disky kol, stanovit výběhovou rychlost vozidla,
- ověřit rozmezí rychlosti kontrolními metodami (empirické vztahy, odhozové diagramy, navinutí, nárazová vzdálenost apod.),
- dopočítat dobu pohybu a rychlost vozidla po střetu výpočtem na základě adheze a výběhové vzdálenosti,
- na základě zákona zachování hybnosti při uvažování shodné výběhové rychlosti chodce a vozidla vypočítat střetovou rychlost vozidla,
- vypočítat parametry pohybu vozidla a chodce před střetem (čas, dráha, rychlost) s vypočtením rozhodných okamžiků nehody, tj. počátek brzdění, počátek reakce řidiče a případně i chodce, vstup chodce do vozovky, jízdního pruhu, apod.,
- nakreslit diagram dráha-čas vozidla i chodce ve vypočtených rozmezích s vyznačením rozhodných okamžiků včetně případných zhoršených výhledových poměrů,
- analyzovat možnosti odvrácení střetu oběma účastníky, a to jak dráhově, tak zejména časo-prostorově.

Při použití dopředného způsobu výpočtu, tj. s podporou simulačního programu, je třeba variovat vstupní parametry v technicky přijatelném rozmezí tak, aby pohyb vozidla a chodce během a po střetu odpovídal zdokumentovanému poškození, stopám a zranění chodce včetně závěrečné fáze většinou ve formě sunutí po povrchu. Výstupy s pomocí simulačního programu je třeba vždy pečlivě kontrolovat ve vztahu k ověřitelnosti kontrolními metodami (empirické vztahy, odhozové diagramy, navinutí, nárazová vzdálenost apod.), tj. užít kontrolně i zpětné výpočty.

Zranění chodců vznikají nejčastěji při primárním nárazu na čelní stranu vozidla (nohy, kyčle, záda) a dále ramena, krční páteř, lebka, hrudník apod., další zranění většinou již lehčího rázu vznikají při sekundárním nárazu, tj. kontaktu chodce s vozovkou. Při vyšších rychlostech vzniká současně poranění více orgánů, tzv. polytrauma, které je při těžkých kolizích s chodci pravidlem.

Úkoly k textu:

Vypočtete na základě empirických vztahů délku odhození a délku sunutí při nárazu vozidla do chodce rychlostí 50 km/h s tolerancí ± 5 %. Ověřte vzdálenost na základě odhozového diagramu a vzorce dle Pultara. S jakým průměrným zpomalením po střetu se pohybovalo vozidlo, pokud došlo až k ležícímu chodci?



Například při reálné kolizi vozidla narážejícího rychlostí 64,9 km/h do figuríny náraz trval cca 0,102 s a ztráta rychlosti vozidla byla 5,1 km/h. Početně na základě hybnostního řešení by byla ztráta rychlosti vozidla cca 5,2 km/h, tedy dobrá shoda ukazující použitelnost zjednodušeného hybnostního řešení.





Shrnutí:

Po prostudování této kapitoly a souvisejících zdrojů byste měli být schopni znát pojmy související s analýzou pohybu chodců směřující ke stanovení střetové rychlosti a rozlišit a popsat fáze pohybu. Nejen znalost pojmů, ale i schopnost popsat faktory mající vliv na průběh nehody s chodcem a základní data k analýze nehody s chodcem umožňují vyřešit nehodu s chodcem s ohledem na předchozí kapitoly komplexně, tj. včetně odpovídajících výstupů ve formě diagramů a možností odvrácení účastníků.



Otázky:

1. Jak hodnotíte použitelnost „odhozových“ diagramů v případě střetu s nákladním vozidlem?
2. Jak bude vypadat průběh střetu chodce s nákladním vozidlem?
3. Jak hodnotíte použitelnost „odhozových“ diagramů v případě nečelního střetu například rohem vozidla či zrcátkem?
4. Na čem závisí délka navinutí a čím může být ovlivněna?



Korespondenční úkol:

Vozidlo Ford Focus o hmotnosti 1200 kg a šířce 2 m po střetu středem přední části s kolmo zprava pomalu jdoucím chodcem o hmotnosti 85 kg brzdilo s plnou intenzitou brzdného zpomalení odpovídající mokré vozovce na dráze 12 m. Vzdálenost odhození chodce od místa střetu byla 14 m. Délka navinutí chodce cca 1,7 m, došlo ke zranění dolních končetin a poranění hlavy. Vozidlo před střetem dále brzdilo na dráze 4 m. V jaké vzdálenosti za předpokladu reakční doby řidiče 1,0 s bylo vozidlo na počátku reakce jeho řidiče od místa střetu a jaká byla jeho výchozí rychlost? Zjistěte jakou část pohybu se mohl chodec sunout po vozovce. Nakreslete diagram ST za předpokladu rychlosti kolmo přecházejícího chodce 4 km/h – čas včetně úsečky MOS a stanovte při jaké konstantní rychlosti vozidla od počátku reakce by ke střetu nedošlo.



Další zdroje

BRADÁČ, A. *Soudní inženýrství*. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. ISBN 80-7204-057-X.

BURG, H. MOSER, A. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden : Vieweg, 2007. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2.

HUGEMANN, W. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.

Kolektiv autorů. *Wypadki drogowe – Vademecum bieglego sadowego*. Krakov : vydavatelství Instytutu Ekspertys sadowych, 2010. str. 1094. ISBN 83-87425-32-X.

PROCHOVSKI, L., UNARSKI, J., WACH, W., WICHER, J. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0.

RÁBEK, V. *Interakce lidského těla s interiérem vozidla*. Žilina: EDIS vydavatelství Žilinské univerzity, 2009. str. 256. VPRA-SCP-2009-06-01.

13 Dopravní nehody s cyklisty

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- popsat nejběžnější typy nehod s cyklisty
- specifické aspekty analýzy nehod jízdních kol
- představit si základní data pohybu jízdního kola
- metodický postup řešení takové nehody od studia podkladů pro vyřešení odvrácení nehody

Po prostudování kapitoly a vypracování úkolů v rámci kapitoly budete schopni:

- vyřešit jednoduchou nehodu vozidla s cyklistou

Prostudováním kapitoly a vypracováním úkolů v rámci kapitoly získáte:

- metodický postup řešení takové nehody od studia podkladů pro vyřešení odvrácení nehody

Klíčová slova kapitoly:

cyklista, jízdní kolo, střet, sunutí, odhození, rychlost, dráha-čas, příčné přemístění jízdního kola; boční odstup, odhazový diagram



Čas potřebný k prostudování učiva kapitoly:
3 + 3 hodin (teorie + řešení úloh)

Nehody s cyklisty je možno rozdělit na čtyři skupiny. **První** skupinu tvoří případy nárazu mnohem rychlejšího vozidla do podélně nebo příčně jedoucího cyklisty, tady je jistá podoba s nehodami s chodci. **Druhou** skupinou jsou střety jízdního kola do stojícího nebo pomalu jedoucího vozidla, kdy je velmi podstatná vlastní rychlost jízdního kola. **Třetí**, velmi početnou, skupinu tvoří střety jízdního kola s vpravo odbočujícím nákladním vozidlem nebo autobusem. **Čtvrtou** skupinou nehod jsou střety vozidel a jízdních kol při jejich míjení, resp. objíždění ve vztahu k příčné bezpečné vzdálenosti.

Nejčastěji může dojít k nárazu vozidla do jízdního kola a cyklisty zezadu, popřípadě při natočení, čelně, nebo při kolmém přejíždění jízdního kola napříč komunikací. Pohyb cyklisty od začátku kolize do konečné polohy je výrazně ovlivněn rychlostí vozidla.

Do rychlosti vozidla cca 15 km/h dochází pouze k převrácení, pádu cyklisty spolu s kolem. Pokud dojde ke kontaktu těla s kapotou vozidla, dochází ke kontaktu v přední třetině. Při vyšší rychlosti je cyklista naložen na kapotu a průběh je obdobný střetu vozidla s chodcem. V případě částečného překrytí může dojít ke kontaktu cyklisty s bokem vozidla, totéž platí pro jízdní kolo, které může na boku vozidla zanechat stopy. Odhození cyklisty a jízdního kola je při částečném překrytí malé, např. při kolizní rychlosti vozidla 20 km/h byla měřena podélná vzdálenost odhození 3 metry. Pokud dojde k čelnímu nárazu vozidla a protijedoucího jízdního kola, cyklista letí přes řídítka a hlavou dopadá blíže na kapotu k přední části vozidla než v případě nárazu do jízdního kola zezadu. Přední kolo a vidlice jízdního kola jsou deformovány směrem vzad a zadní kolo se zvedá od vozovky. Naproti tomu, při nárazu vozidla do jízdního kola zezadu dojde k podtržení kola pod cyklistou. Cyklista dopadá zpravidla na kapotu osobního vozidla a rotuje směrem vzad. Od prvního

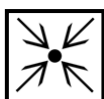
dotyku do nárazu hlavy cyklisty trvá tato fáze 60 až 300 ms. Vzhledem k výše položenému těžišti cyklisty jedoucího na jízdním kole jsou také místa dopadu a následné rotace chodců přes střechu často intenzivnější než v případě střetů s chodci. Díky vyššímu posezení zvýhodnění, když nedojde ke kontaktu hlavy s hranou střechy či jinou pevnou částí. Na místě dopadu hlavy cyklisty spíše záleží tvar karoserie vozidla. V případě analýzy nehody s chodci a cyklisty je nutné daleko větší důraz klást na detaily z fotodokumentace nebo ohledání vozidla a kola, jako jsou otěry pneu, škrábance od řídítek, směry poškození ráfku kola, stopy po smýkání pneu jízdního kola, polohu předmětů apod. Při jízdě na jízdním kole se nejedná o pohyb po přímce, cyklisté svou jízdou tvoří tzv. makrovlny délky 10 až 40 metrů s amplitudou, která závisí na jejich zkušenostech, schopnostech, okamžitému duševnímu stavu, či míře ovlivnění např. alkoholem a zejména rychlosti (např. minimálně $\pm 0,5$ m, ale u dětí až 1,5 m). Při rychlosti nad 25 km/h se amplituda snižuje a pohyb se za ideálních podmínek může blížit pohybu po přímce. Nebezpečné situace vznikají např. při otočení hlavy cyklistů směrem vzad, kdy se jejich příčná poloha může změnit až o 1 m.



Příklad 1: Například při reálné kolizi vozidla narážejícího rychlostí 92 km/h do figuríny na kolmo jedoucím jízdním kole byla podélná vzdálenost odhození figuríny 42,8 m a kola 43,1 m. Při rychlosti 82 km/h a totožné konfiguraci to bylo 32,1 m pro figurínu a až 50,7 m pro kolo, proto zde nelze užít exaktních závislostí.



Příklad 2: Při reálné kolizi vozidla narážejícího rychlostí 62 km/h do figuríny na kole zezadu jedoucím pod úhlem 15° byla podélná vzdálenost odhození figuríny 17,1 m a kola 15,8 m. Při reálné kolizi vozidla narážejícího rychlostí 80 km/h do figuríny na kole zezadu jedoucím pod úhlem 17° byla podélná vzdálenost odhození figuríny 32,6 m a kola 33,5 m.



Úkol:

Srovnajte výše uvedené příklady s empirickými vztahy pro podélnou vzdálenost chodce z předchozí kapitoly. Jaký je rozdíl v podélných vzdálenostech odhození a jak si vysvětlujete nepoměr v případě jízdního kola?



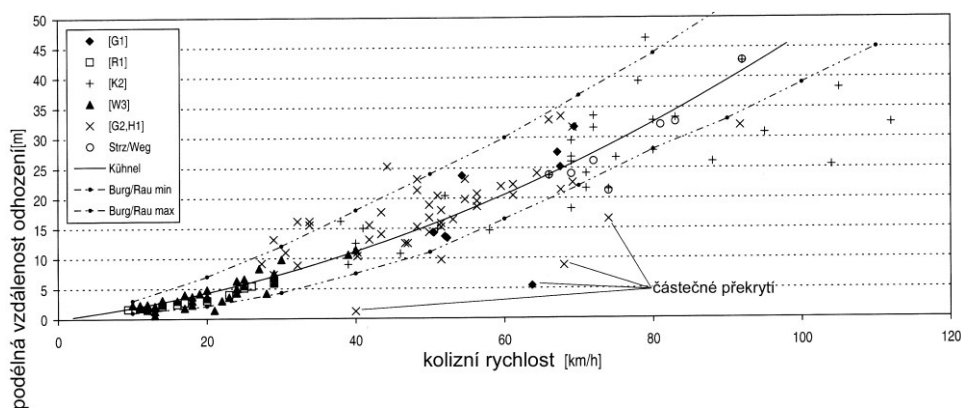
Z hlediska parametrů pohybu jízdních kol nelze nezmínit alespoň základní hodnoty. Zpomalení při sunutí jízdního kola je závislé na výchozí rychlosti, z nízké výchozí rychlosti je průměrné zpomalení vyšší s tím, že běžně se pohybuje v rozmezí 5 až 8,5 m/s² (4 až 7 m/s² na mokré vozovce). V případě například zarytí do travnatého povrchu při vyšší rychlosti může dosáhnout 14 až 25 m/s².

Z hlediska rychlostí cyklistů, tato závisí na typu a velikosti kola, věku a kondici cyklisty a v neposlední řadě na charakteru povrchu a sklonu povrchu. Čím větší rám kola a větší průměr ráfku, tím větší rychlost. V městském provozu lze střední hodnotu u žen uvažovat cca 18 km/h, u mužů 21 km/h. Nejvýkonnější kategorií je věkové rozmezí 15 až 45 let s rozmezím rychlosti 20 až 27 km/h. Průměrný cyklista je schopen krátkodobě udržovat rychlost okolo 30 km/h, trénovaný 30 až 40 km/h (v případě sjezdů až 50 km/h a více). Zrychlení jízdních kol

opět výrazně závisí na typu kola (silniční, horské, městské, trekkingové či skládací), kondici cyklisty a také zejména na zařazeném převodu a lze jej uvažovat běžně v rozmezí $1,1$ až $1,8$ m/s². Ženy dosahují zpravidla hodnot $1,0$ až $1,5$ m/s². Oproti tomu brzdění jízdních kol závisí výrazně na typu (V-brzdy, kotoučové atp.) a hlavně technickém stavu brzd (seřízení a čistota). Dosažitelné zpomalení jízdních kol závisí také na druhu povrchu a intenzitě zmáčknutí brzdových páček a dosahuje hodnot v rozmezí $3,5$ až $6,5$ m/s², nejčastěji na suchém povrchu $4,5$ až 6 m/s². V případě nehod s cyklisty často řešíme to, jak cyklista do místa přijel, zda jízdě nepředcházelo odbočování nebo náhlé vyhýbání. Příčné zrychlení na jízdním kole a_y lze na základě provedených experimentů uvažovat v rozmezí 2 až $3,3$ m/s². Nejvhodnější vztah ověřený měřeními provedenými na Ústavu soudního inženýrství pro minimální dobu příčného přemístění jízdního kola o příčnou vzdálenost y je následující:

$$t = 2 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_y}} \quad (43)$$

Při příčném přemístění nedochází jako u motocyklů díky nízké hmotnosti a gyroskopickému momentu k tomu, že by bylo nutné při zatáčení např. vlevo v první fázi otočit řídítky krátce vpravo a pohyb při příčném přemístění lze popsat jako pohyb bez přechodnic. Přechodnice je křivka proměnné křivosti umožňující plynulý přechod mezi úseky s různou křivostí⁹⁵. Pohyb cyklistů je často ovlivněn objížděním překážek při jízdě, které mohou mít charakteru výtluků, kanálů, stínů apod., či objíždění jiných pevných překážek. Často je třeba proto také kalkulovat s mezní rychlostí jízdního kola v oblouku daného poměru pro nalezení horní meze rychlosti pro následnou analýzu. V případě téměř kolmého odbočení (poloměr $R = 4$ m) byla rychlost průjezdu měřena v rozmezí 10 až 15 km/h. V případě míjení cyklisty by měli řidiči vozidel udržovat boční odstup minimálně $1,0$ až $1,5$ m v závislosti na typu vozidla a rychlosti. Podélná vzdálenost odhození cyklisty v závislosti na střetové rychlosti je popsána stejně jako v případě chodců formou tzv. odhozových diagramů dle různých odborných pramenů, viz obrázek. V případě střetů s částečným překrytím např. na roh vozidla jsou vzdálenosti odhození výrazně nižší, např. při rychlostech 20 až 40 km/h pouze 2 až 5 m.



Obrázek 35 – Závislost délky podélné vzdálenosti odhození na střetové rychlosti (odhozový diagram)⁹⁶

V případě střetů nečelních, např. na roh vozidla, v případě vysokých rychlostí v souvislosti s amputací končetin je použití např. odhozových diagramů velice omezeno. Stejně jako u chodců je užití simulací s podporou vícetělesových modelů problematické a zcela jistě je nelze užít jako jediné řešení.

Při analýze nehody s cyklistou při použití zpětného způsobu výpočtu, tj. od konečné polohy vozidla a jízdního kola do střetu je třeba:

- analyzovat důkladně všechna technická vstupní data,
- vyhodnotit místo střetu, střetovou polohu vozidla a cyklisty dle korespondence poškození jízdního kola, vozidla a zranění chodce, stop, částí oděvů, otěrů, střepin, změn charakteru blokovacích nebo smykových stop, poškození vozidla a kola, směru pohybu po střetu a zraněním cyklisty,
- stanovit rozmezí přijatelné předstřetové rychlosti cyklisty (věk, kondice, typ jízdního kola a zařazený převod, způsob pohybu, náklad, oblečení, posed apod.),
- na základě dráhy příp. drah po střetu a přijatelných součinitelů adheze mezi povrchem komunikací a pneumatikami příp. disky kol, stanovit možnou výběhovou rychlost vozidla a tuto ověřit kontrolními metodami (odhozové diagramy, navinutí, nárazová vzdálenost, dráha a zpomalení do konečných poloh apod.),
- dopočítat dobu pohybu a rychlost vozidla po střetu výpočtem na základě adheze a výběhové vzdálenosti,
- na základě zákona zachování hybnosti při zjednodušeném uvažování shodné výběhové rychlosti cyklisty, kola a vozidla vypočítat střetovou rychlost vozidla,
- vypočítat parametry pohybu vozidla a chodce před střetem (čas, dráha, rychlost) s vypočtením rozhodných okamžiků nehody, tj. počátek brzdění, počátek reakce řidiče, počátek vzniku rizikové situace apod.,
- nakreslit diagram dráha-čas vozidla i jízdního kola ve vypočtených rozmezích s vyznačením rozhodných okamžiků včetně případných zhoršených výhledových poměrů, tj. možného počátku spatření,
- a analyzovat možnosti odvrácení střetu oběma účastníky, a to jak časově, tak zejména prostorově.

Při použití dopředného způsobu výpočtu, tj. s podporou simulačního programu je třeba variovat vstupní parametry v technicky přijatelném rozmezí tak, aby pohyb vozidla, cyklisty a jízdního kola během a po střetu odpovídal zdokumentovanému poškození, stopám a zranění chodce včetně závěrečné fáze většinou ve formě sunutí po povrchu. Výstupy s pomocí simulačního programu je třeba vždy pečlivě kontrolovat ve vztahu k ověřitelnosti kontrolními metodami (odhozové diagramy, navinutí, nárazová vzdálenost apod.).

Úkoly k textu:

Vypočtete minimální dobu příčného přemístění zkušeného cyklisty na příčné dráze 2 a 3 metry a mezní rychlost jízdního kola při jízdě v oblouku o poloměru 5 metrů.



Shrnutí:

Po prostudování této kapitoly a souvisejících zdrojů byste měli být schopni rozdělit typy nehod s cyklisty a popsat nejčastější způsoby střetu a parametry pohybu, popsat průběh kolize a vlivy, které pohyb ovlivňují. Z analýzy stop a řešení střetu s ohledem na technické podklady je možné zjistit střetovou rychlost vozidla a analyzovat případně příčné přemístění cyklisty, mezní rychlost v oblouku, apod.



Ne vždy je nehoda s cyklistou jednoznačně řešitelná, nicméně s ohledem na předchozí kapitoly budete schopni komplexně vyřešit nehodu vozidla s jízdním kolem včetně výstupů, přinejmenším z hlediska metodiky postupu.

Otázky:

1. Popište vliv výšky sedícího cyklisty (velikost kola a výška těla) na průběh postřetového pohybu cyklisty a kola.
2. Jaká je dle odhazových diagramů podélná vzdálenost odhození v případě chodce ve srovnání s cyklistou v případě nárazu rychlostí 50 km/h?



Korespondenční úkol:

Analyzujte, včetně diagramu dráha-čas a možností odvrácení střetu, kolizi brzděného vozidla Škoda o hmotnosti 1200 kg a šířce 2,0 m na suchém asfaltovém povrchu komunikace o šířce jízdního pruhu 3,4 m s kolmo přejíždějícím trénovaným cyklistou (80 kg), když se tento rozjížděl intenzivně do střetu na dráze 5 m. K nehodě došlo uprostřed jízdního pruhu a cyklista byl v okamžiku střetu na úrovni podélné osy vozidla. Uvažujte délku kola 2,0 m. Vozidlo zastavilo na dráze 22 m za místem střetu, cyklista skončil ve vzdálenosti 28 m za místem střetu. K nehodě došlo v obci s rychlostí omezenou na 40 km/h. Došlo by k nehodě za předpokladu, že by se vozidlo Škoda od počátku rozjezdu jízdního kola pohybovalo rychlostí 40 km/h a cyklista pokračoval v rozjezdu?



Další zdroje

HUGEMANN, W. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.

RÁBEK, V., *Databáze znalce – databáze informací a postupů - CD-ROM*



Základní literatura:

BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X.

BURG, Heinz, MOSER, Andreas. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden : Vieweg, 2007. str. 952. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2.

HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3.

KASANICKÝ, Gustáv, KOHÚT, Pavol, LUKÁŠIK, Martin. *Teória pohybu a rázu při analýze a simulácii nehodového deja*. Žilina : Žilinská univerzita v Žilině, 2001. str. 349. ISBN 80-7100-597-5.

Kolektiv autorů. *Wypadki drogowe – Vademecum biegłego sadowego*. Krakov : wydawatelství Instytutu Ekspertys sadowych, 2010. str. 1094. ISBN 83-87425-32-X.

BRADÁČ, Albert. a kol. *Příručka znalce I. a II.: Analytika silničních nehod*. Ostrava : Dům techniky ČSVTS, 1985. str. 544. Publikáční číslo 60/858 A/85.

RÁBEK, Vlastimil. *Interakce lidského těla s interiérem vozidla*. Žilina, EDIS - vydavatelství Žilinské univerzity, 2009. str. 256. VPRA-SCP-2009-06-01.

RÁBEK, Vlastimil. *Vybrané postupy analýzy dopravních nehod*. Žilina, EDIS - vydavatelství Žilinské univerzity, 2009. str. 217. VPRA-SCP-2009-06-02.

RÁBEK, Vlastimil. *Analýza příčin vzniku a průběhu škodných událostí v oboru pojištění motorových vozidel*. PROPERUS s.r.o., Olomouc, 2012. str. 367. VPRA-SCP-2012-09-15., ISBN: 978-80-904944-0-4

BRADÁČ, Albert. *Početně grafické řešení vzniku a průběhu silniční nehody*. Brno 1974.

MEDUNA, Jiří. *Aplikovaná mechanika – učební text studia technického znanectví specializace silničních nehod*. Brno : autor neznámý, 1984. str. 144.

PORADA, Viktor. a kol. *Silniční dopravní nehoda v teorii a praxi*. Praha : Linde Praha a.s., 2000. str. 378. ISBN 80-7201-212-6.

ČEČOT, Vladimír. a kol. *Dopravné nehody*. Bratislava : respo. s.r.o., 2003. str. 206. 1. vydání. ISBN 80-968953-5-4.

HUANG, Matthew. *Vehicle crash mechanics*. Boca Raton : CRC Press, 2002. str. 481. ISBN 0-8493-0104-1.

RIVERS, Robert W. *Technical traffic crash investigator's handbook*. Springfield : Charles C Thomas Publisher, 2010. str. 473. 3. vydání. ISBN 978-0-398-07908-6.

VAN KIRK, D.J. *Vehicular accident investigation and reconstruction*. Boca Raton : CRC Press, 2001. ISBN 0-8493-2020-8.

JANÍČEK, Přemysl. *Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky - hledání souvislostí*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2007. str. 1234. Sv. 1+2, 1. vydání. ISBN 978-80-7204-554-9.

PROCHOVSKI, Leon, UNARSKI, Jan, WACH, Wojciech, WICHER, Jerzy. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łacznosci, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0.

RIVERS, Robert W. *Evidence in traffic crash investigation and reconstruction*. Springfield : Charles C Thomas Publisher, 2006. str. 295. 1. vydání. ISBN 978-0-398-07644-8.

Seznam citací a odkazů:

- ¹ Zákon č. 361/2000 Sb. – o provozu na pozemních komunikacích – silniční zákon, § 47, [cit. 2012-06-03],
- ² Zákon č. 200/1990 Sb. – o přestupcích, ve znění pozdějších předpisů, [cit. 2012-06-03]
- ³ Zákon č. 361/2000 Sb. – o provozu na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů, [cit. 2012-06-03]
- ⁴ Zákon č. 40/2009 Sb. - Trestní zákoník, ve znění pozdějších předpisů, [cit. 2012-06-03]
- ⁵ JANÍČEK, Přemysl. *Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky - hledání souvislostí*. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2007. 1234 str. ISBN 978-80-7204-554-9, Str. 22
- ⁶ JANÍČEK, Přemysl. *Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky - hledání souvislostí*. 1. a 2. díl. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2007. 1234 str. ISBN 978-80-7204-554-9. Str. 22
- ⁷ PROCHOVSKI, Leon., UNARSKI, Jan., WACH, Wojciech., WICHER, Jerzy. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0. Str. 31
- ⁸ Vlastní zdroj
- ⁹ BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X. Str. 353.
- ¹⁰ BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X. Str. 371.
- ¹¹ Vlastní zdroj
- ¹² BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X. Str. 383.
- ¹³ BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X. Str. 377.
- ¹⁴ BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X. Str. 387.
- ¹⁵ BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X. Str. 365.
- ¹⁶ BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X. Str. 365.
- ¹⁷ BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X. Str. 389.
- ¹⁸ Zákon č. 361/2000 Sb. – o provozu na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů, § 11, [cit. 2012-06-03]
- ¹⁹ PROCHOVSKI, Leon., UNARSKI, Jan., WACH, Wojciech., WICHER, Jerzy. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0. Str. 103-104
- ²⁰ PROCHOVSKI, Leon., UNARSKI, Jan., WACH, Wojciech., WICHER, Jerzy. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0. Str. 106
- ²¹ HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3. Str. 520
- ²² HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3. Str. 676 a 678
- ²³ BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X. Str. 424
- ²⁴ BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X. Str. 421
- ²⁵ Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/68-vrh-sikmy>
- ²⁶ Vlastní zdroj
- ²⁷ BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X. Str. 384
- ²⁸ Zákon č. 361/2000 Sb. – o provozu na pozemních komunikacích – silniční zákon, § 17, [cit. 2012-06-03]
- ²⁹ BRADÁČ, Albert. *Soudní inženýrství*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1997. str. 719. ISBN 80-7204-057-X. Str. 386
- ³⁰ PROCHOVSKI, Leon., UNARSKI, Jan., WACH, Wojciech., WICHER, Jerzy. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0. Str. 261

- ³¹ Zákon č. 361/2000 Sb. – o provozu na pozemních komunikacích – silniční zákon, § 2l, [cit. 2012-06-03]
- ³² Zákon č. 361/2000 Sb. – o provozu na pozemních komunikacích – silniční zákon, § 2m, [cit. 2012-06-03]
- ³³ Zákona č. 361/2000 Sb. – o provozu na pozemních komunikacích – silniční zákon, § 17, odst. 4, [cit. 2012-06-03]
- ³⁴ BURG, Heinz. MOSER, Andreas. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden: Vieweg, 2007. str. 952. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2. Str. 193-208
- ³⁵ PROCHOVSKI, Leon., UNARSKI, Jan., WACH, Wojciech., WICHER, Jerzy. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0. Str. 263-266
- ³⁶ PROCHOVSKI, Leon., UNARSKI, Jan., WACH, Wojciech., WICHER, Jerzy. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0. Str. 523-552
- ³⁷ HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3. Str. 38
- ³⁸ HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3. Str. 679
- ³⁹ HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3. Str. 679
- ⁴⁰ HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3. Str. 679
- ⁴¹ Cieпка, Piotr., Reza Adam., Zebala, Jakub. - XXI. *Zrychlení chodců při pohybu z klidu*: sborník mezinárodní vědecké konference soudního inženýrství ExFoS 2012, Brno, ISBN: 978-80-214-4412-6
- ⁴² HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3. Str. 681
- ⁴³ Zákon č. 361/2000 Sb. – o provozu na pozemních komunikacích ve znění platných předpisů, [cit. 2012-06-03]
- ⁴⁴ *Regulace jízdní dynamiky ESP*, technická příručka Bosch, Robert Bosch GmbH, 1. Vydání 2001, ISBN 80-902585-8-1, Str. 46
- ⁴⁵ URBAN, Zdeněk. *Konstrukce motorových vozidel* - Přednáška pro posluchače navazujícího magisterského programu, ÚSI VUT v Brně
- ⁴⁶ SEMELA, Marek. *Stabilizační systém jako bezpečnostní prvek automobilu*. Soudní inženýrství, 2004, roč. 15, č. 4/ 2004, s. 1-5. ISSN: 1211- 443X
- ⁴⁷ Vlastní zdroj
- ⁴⁸ RÁBEK, Vlastimil. *Interakce lidského těla s interiérem vozidla*. Žilina : EDIS - vydavatelství Žilinské univerzity, 2009. str. 256. VPRA-SCP-2009-06-01. Str. 111-136
- ⁴⁹ Dostupné z: <http://www.nhtsa.gov/EDR>
- ⁵⁰ RÁBEK, Vlastimil. *Vybrané postupy analýzy dopravních nehod*. Žilina : EDIS - vydavatelství Žilinské univerzity, 2009. str. 217. VPRA-SCP-2009-06-02. Str. 66-71
- ⁵¹ PC-CRASH – simulační program pro analýzu silničních nehod, DSD Rakousko, dostupné z: www.dsd.at
- ⁵² BURG, Heinz. MOSER, Andreas. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden : Vieweg, 2007. str. 952. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2. Str. 342
- ⁵³ Zákon č. 500/2004 Sb., správní řád, ve znění pozdějších předpisů
- ⁵⁴ Zákon č. 361/2000 Sb. – o provozu na pozemních komunikacích – silniční zákon, [cit. 2012-06-03]
- ⁵⁵ Zákon č. 200/1990 Sb. – o přestupcích, ve znění pozdějších předpisů, [cit. 2012-06-03]
- ⁵⁶ Zákon č. 40/2009 Sb. - trestní zákoník, ve znění pozdějších předpisů, [cit. 2012-06-03]
- ⁵⁷ Zákon č. 141/1961 Sb. – zákon o trestním řízení soudním (trestní řád) v platném znění, § 104c, [cit. 2012-06-03]
- ⁵⁸ Zákon č. 141/1961 Sb. – zákon o trestním řízení soudním (trestní řád) v platném znění, § 104d, [cit. 2012-06-03]
- ⁵⁹ Zákon č. 141/1961 Sb. – zákon o trestním řízení soudním (trestní řád) v platném znění, § 104e, [cit. 2012-06-03]
- ⁶⁰ Zákon č. 141/1961 Sb. – zákon o trestním řízení soudním (trestní řád) v platném znění, § 113, [cit. 2012-06-03]
- ⁶¹ BURG, Heinz. MOSER, Andreas. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden: Vieweg, 2007. str. 952. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2. Rešerše z tabulek str. 385-391
- ⁶² BURG, Heinz. MOSER, Andreas. *Handbuch Verkehrsunfall-rekonstruktion*. Wiesbaden: Vieweg, 2007. str. 952. 1. vydání. ISBN 978-3-8348-0172-2. Rešerše z tabulek str. 379-385
- ⁶³ Vlastní zdroj

-
- 64 Dostupné z: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2005/wp29grrf/PVGTR2005-2a.pdf>
- 65 Vlastní zdroj
- 66 Vlastní zdroj
- 67 Vlastní zdroj
- 68 Vlastní zdroj
- 69 Vlastní zdroj
- 70 Vlastní zdroj
- 71 HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3. Str. 200
- 72 PROCHOVSKI, Leon., UNARSKI, Jan., WACH, Wojciech., WICHER, Jerzy. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0. Str. 145
- 73 PROCHOVSKI, Leon., UNARSKI, Jan., WACH, Wojciech., WICHER, Jerzy. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0. Str. 147-148
- 74 PROCHOVSKI, Leon., UNARSKI, Jan., WACH, Wojciech., WICHER, Jerzy. *Pojazdy samochodowe - Podstawy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2008. ISBN 978-83-206-1688-0. Str. 149-151
- 75 Kolektiv autorů. *Wypadki drogowe – Vademecum biegtého sadowego*. Krakov : vydavatelství Institutu Ekspertys sadowych, 2010. str. 801. ISBN 83-87425-32-X. Str. 371-373
- 76 Vlastní zdroj
- 77 Dostupné z: <http://www.nehodar.cz/?num=download> (std-chodec.xls) [cit. 2012-06-03]
- 78 HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3. Str. 291
- 79 HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3. Str. 300-301
- 80 Vlastní zdroj
- 81 SEMELA, Marek. *Komplexní systém dopravní nehody – střet vozidel na křižovatce*, disertační práce, Brno 2009.
- 82 HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3. str. 307
- 83 Vlastní zdroj
- 84 Vlastní zdroj
- 85 Vlastní zdroj
- 86 Vlastní zdroj
- 87 SEMELA, Marek. *Komplexní systém dopravní nehody – střet vozidel na křižovatce*, disertační práce, Brno 2009.
- 88 HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 1300. ISBN 3-00-019419-3. str. 649
- 89 HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. ISBN 3-00-019419-3. str. 650-652
- 90 Kolektiv autorů. *Wypadki drogowe – Vademecum biegtého sadowego*. Krakov : vydavatelství Institutu Ekspertys sadowych, 2010. ISBN 83-87425-32-X. str. 781.
- 91 Kolektiv autorů. *Wypadki drogowe – Vademecum biegtého sadowego*. Krakov : vydavatelství Institutu Ekspertys sadowych, 2010. ISBN 83-87425-32-X. str. 762
- 92 Kolektiv autorů. *Wypadki drogowe – Vademecum biegtého sadowego*. Krakov : vydavatelství Institutu Ekspertys sadowych, 2010. ISBN 83-87425-32-X. str. 763
- 93 Kolektiv autorů. *Wypadki drogowe – Vademecum biegtého sadowego*. Krakov : vydavatelství Institutu Ekspertys sadowych, 2010. ISBN 83-87425-32-X. str. 801.
- 94 HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. ISBN 3-00-019419-3. str. 663
- 95 Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Přechodnice>
- 96 HUGEMANN, Wolfgang. *Unfall-rekonstruktion*. Erzhausen : Schönbach-Druck, 2007. str. 663. ISBN 3-00-019419-3. str. 763