

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.

METODIKA

Preventivní hodnocení bezpečnosti
s využitím dat z plovoucích vozidel



Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

výzkumná, vývojová a expertní činnost s celostátní působností pro všechny obory dopravy

Divize dopravního inženýrství, bezpečnosti a strategií

Posudky a odborné studie

zpracování auditu bezpečnosti pozemních komunikací
zpracování bezpečnostních inspekcí
zpracování dopravně-inženýrských posouzení
zpracování organizace a zklidňování dopravy
řešení dopravy v klidu

Dopravně-inženýrské analýzy

hodnocení stavu silniční sítě
kapacitní posouzení komunikací a křižovatek
analýzy účinnosti dopravně inženýrských opatření
ekonomické hodnocení vlivů opatření

Analýza dopravních nehod

identifikace míst častých dopravních nehod
nehodové analýzy a návrhy bezpečnostních opatření

Dopravní průzkumy

směrové průzkumy
průzkumy intenzity, podíly tranzitní dopravy atd.
měření rychlostí vozidel
videopasport pozemních komunikací a dopravního značení



Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

tel.: +420 548 423 711

e-mail: cdv@cdv.cz

www.cdv.cz



CENTRUM
DOPRAVNÍHO
VÝZKUMU

„naše znalosti vaším zdrojem“

Preventivní hodnocení bezpečnosti s využitím dat z plovoucích vozidel

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. a Princip, a. s.

2017

Metodika je výstupem projektu „Preventivní hodnocení bezpečnosti jízdy ve vztahu k parametrům pozemní komunikace“ (SMĚR), řešeného Princip, a. s. a Centrem dopravního výzkumu, v. v. i. s podporou Programu Epsilon Technologické agentury ČR (ev. č. TH01010254).

Oponenti byli Doc. Ing. Ivan Nagy, CSc. (Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v. v. i.) a Ing. Daniel Prostějovský (LeasePlan Česká republika, s. r. o.).

Metodika byla certifikována Ministerstvem dopravy dne 31. 1. 2018 (osvědčení č.j. 4/2018-710-VV/1).

Název: Preventivní hodnocení bezpečnosti s využitím dat z plovoucích vozidel

Autoři: Ing. Jiří Ambros, Ph.D., Ing. Jaroslav Altmann

Tisk: REPROPRESS (náklad 130 ks)

Distribuce: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno

Elektronická verze je k dispozici na adrese <https://www.cdv.cz/metodiky/>

© 2017 Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. a Princip, a. s.

ISBN 978-80-88074-57-1

Obsah

1. Úvod	6
2. Data z plovoucích vozidel (FCD data)	7
2.1 Sběr dat.....	7
2.2 Měřicí zařízení.....	8
2.3 Možnosti redukce dat při ukládání	9
2.4 Doplnující informace pro vyhodnocování dat.....	10
2.5 Ochrana osobních údajů a možnosti pseudomizace	10
3. Možnosti využití FCD dat pro hodnocení bezpečnosti	11
3.1 Identifikace kritických hodnot	11
3.2 Příklady hodnotících aplikací	13
3.3 Závěry.....	14
4. Příklad praktické aplikace (projekt SMĚR).....	15
4.1 Vývoj telematických jednotek.....	15
4.2 Výběr lokalit	15
4.3 Sběr a příprava dat.....	16
4.4 Validace ukazatelů	17
4.5 Návrh algoritmu hodnocení jízdního stylu.....	18
5. Shrnutí	19
6. Seznam literatury	20

Předmluva

Metodika se zaměřuje na hodnocení bezpečnosti s využitím dat z plovoucích vozidel. Je závěrečným výstupem projektu SMĚR (Preventivní hodnocení bezpečnosti jízdy ve vztahu k parametrům pozemní komunikace) a čerpá z výzkumů a zkušeností získaných v průběhu jeho řešení. Projekt v období 2015 – 2017 realizoval Princip, a. s. a Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. (CDV) s podporou Programu Epsilon Technologické agentury ČR (ev. č. TH01010254).

Metodika prošla oponentním řízením. Oponenti byli:

- Doc. Ing. Ivan Nagy, CSc. (Oddělení zpracování signálů, Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v. v. i.)
- Ing. Daniel Prostějovský, Deputy Operations Director (LeasePlan Česká republika, s. r. o.)

Styčným pracovníkem na Ministerstvu dopravy byl Ing. Václav Krumphanzl (Odbor pozemních komunikací). Certifikace byla udělena dne 31. 1. 2018 (osvědčení č.j. 4/2018-710-VV/1).

Metodika je určena pro výzkumné pracovníky, kteří se zabývají problematikou hodnocení bezpečnosti silničního provozu a uvažují o využití dat z plovoucích vozidel; dále pro pracovníky státní správy a samosprávy, kteří se s touto problematikou setkávají v roli zadavatele výběrových řízení na dodávku dat o dopravě. Obě tyto skupiny metodika seznamuje s dostupnými daty, způsoby sběru a potenciální využitelností pro hodnocení bezpečnosti silničního provozu. Metodika také obsahuje rešerši způsobů vyhodnocení těchto dat a obsahuje i konkrétní příklad sběru a vyhodnocení, využitelného jak pro hodnocení jízdního stylu řidičů, tak pro identifikaci kritických míst silniční sítě.

Autoři metodiky jsou Ing. Jiří Ambros, Ph.D. a Ing. Jaroslav Altmann.

Dále se na projektu podíleli:

- vývoj hardware: Ing. Jan Krejsa, Ing. Jan Kučera, Ing. Martin Řehák
- vývoj software: Ing. Igor Bodlák, Ing. Jan Čulík, Ing. Libor Seidl, CSc.
- příprava dat: Mgr. Vojtěch Cícha, Mgr. Jan Kubeček, Ing. Richard Turek, Ph.D., Ing. Lucie Vyskočilová
- zpracování dat: Bc. Jan Elgner, Ing. Jan Novák, Mgr. Robert Zůvala
- konzultace: Ing. Roman Mikulec, Ing. Jakub Motl, Ing. Veronika Valentová, Ph.D.

Obálku vytvořila Sabina Jánošíková s využitím fotografie z fotobanky Fotky&Foto (XL licence 14875987).

Seznam zkratk:

- ABS ... Anti-Lock Brake System (systém aktivní bezpečnosti vozidla zabraňující zablokování kol při brzdění na kluzkém povrchu)
- CAN ... Controller Area Network (komunikační sběrnice s vysokou spolehlivostí a nízkou latencí používaná v automobilech pro komunikaci mezi řídicími jednotkami)
- CDV ... Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
- CEP ... Circular Error Probable (ukazatel přesnosti GNSS lokalizace; poloměr kruhu zahrnujícího 50 % hodnot)
- FCD ... Floating Car Data (data z plovoucích vozidel)
- GNSS ... Global Navigation Satellite System (globální družicový polohový systém, tj. GPS, GLONASS ad.)
- GSM ... Global System for Mobile Communications (globální systém pro mobilní komunikaci)
- HDOP ... horizontal dilution of precision (ukazatel přesnosti GNSS lokalizace)
- OBD II ... On-Board Diagnostics II (normalizované rozhraní a komunikační protokoly pro diagnostiku osobních vozidel)

1. Úvod

Úroveň bezpečnosti silničního provozu (vyjádřená počtem dopravních nehod, obětí a následků) je na českých silnicích nedostatečná; z průběžných hodnocení vyplývá, že se nedaří plnit požadovaný roční pokles dopravních nehod. Za této situace je nutno hledat nová řešení a opatření. Jedním z nich je aplikace tzv. preventivního přístupu, který spočívá ve využití takových informací, jež umožňují hodnotit bezpečnost proaktivně. Jinými slovy: k tomu, aby byly identifikovány problémy a podniknuta opatření, není nutno čekat na nehody.

Existuje známý vztah mezi rychlostí jízdy a bezpečností (počtem a následky dopravních nehod) [4]. Na základě rychlosti je odvozena řada proaktivních indikátorů, také známých jako nepřímé ukazatele bezpečnosti [1]. Rychlost se ale tradičně měří pouze v konkrétním místě nebo úseku – získané informace jsou pak vztaženy ke konkrétním měřicím profilům, což neumožňuje např. jednoduše získat přehled o míře překračování nejvyšší dovolené rychlosti jízdy v rozsáhlé silniční síti.

Jedním z řešení je sběr dat z tzv. plovoucích vozidel (*floating car data*, dále „FCD data“). Jedná se o data, pocházející z vozidel vybavených speciálním zařízením, které zaznamenává požadované informace v průběhu běžného provozu vozidla. Při nasazení této technologie do řádově tisíců vozidel, lze získat informace o bezpečnosti účastníků (hodnocení jízdního stylu řidičů podle kritických situací) i bezpečnosti silniční sítě (identifikace míst s koncentrací kritických situací). Jako každá metoda i FCD mají svá omezení, přesto ve srovnání s tradičními technologiemi, lze pomocí nich získat reprezentativnější informace, relativně neomezené v čase a prostoru. [18]

FCD data se typicky využívají pro analýzy plynulosti dopravy a navigační úlohy. Při vhodném výběru zdrojů dat a nastavení frekvence sběru, je ale možné data z FCD použít i pro účely hodnocení bezpečnosti jízdy a silničního provozu [2, 8, 41, 42]. Protože se jedná o relativně novou problematiku, je cílem této metodiky seznámit potenciální uživatele se základními body ohledně sběru, zpracování, vyhodnocení a interpretace FCD dat. Lze ji proto využít jako vodítko jak na straně objednatele (např. při přípravě podmínek soutěže na sběr FCD dat), tak na straně dodavatele (při plánování a realizaci sběru dat) nebo hodnotitele (při zpracování a interpretaci získaných dat).

Následující kapitoly se proto zaměří na následující oblasti:

1. Základní zásady a doporučení ohledně sběru FCD dat, jejich zpracování a ochraně osobních údajů (kap. 2).
2. Možnosti využití FCD dat pro hodnocení bezpečnosti (kap. 3).
3. Demonstrace praktického příkladu aplikace uvedených konceptů v projektu SMĚR (kap. 4).

2. Data z plovoucích vozidel (FCD data)

V této kapitole jsou uvedeny základní informace o FCD datech: jejich sběru, jednotlivých měřicích zařízeních, redukci dat a ochraně osobních údajů.

2.1 Sběr dat

Pro účely modelování bezpečnosti jízdy a silničního provozu lze obecně FCD data ze dvou zdrojů:

- ze senzorů umístěných v zařízení pro sběr FCD
- přímo z vozidla prostřednictvím komunikačních sběrnic vozidla

Mezi data ze senzorů zařízení patří především poloha z GNSS přijímače a inerciální senzory (akcelerometr a gyroskop). Hlavním zdrojem dat z vozidla je komunikační sběrnice CAN, která propojuje řídící jednotky vozidla. Ve vozidle je několik takových sběrnic, nejběžněji se získávají informace z diagnostické sběrnice, která je součástí diagnostického portu OBD II umístěného nejčastěji pod volantem vozidla. Tato diagnostická zásuvka je běžně přístupná a je určena pro připojení zařízení třetích stran. Data lze získávat aktivním dotazováním na základní množinu dat normalizovanou v rámci OBD II, jedná se například o rychlost, otáčky motoru, relativní výkon motoru a chybové kódy. Další možností je využít data, která někteří výrobci na tuto sběrnici vysílají a která proto není třeba dotazovat, jedná se např. o stav kilometrovníku a stav paliva v nádrži. Připojení na vnitřní sběrnice vozidla zpřístupní další skupiny dat, tzv. komfortní sběrnice propojuje dveřní a okenní jednotky, klimatizační jednotku a další vybavení nesouvisející přímo s řízením vozidla. Prostřednictvím této sběrnice lze zjistit stav těchto zařízení. Naopak „motorová sběrnice“ propojuje všechny řídící jednotky mající přímý vliv na řízení, provoz motoru a bezpečnostní funkce, jako např. ABS a airbagy. Pokud je třeba se na tuto sběrnici připojit, je nutno tak činit s největší opatrností.

Data na sběrnicích CAN jsou vysílána v pravidelných intervalech, podle typu jednou až desetkrát za vteřinu. Data jsou popsána v Tab. 1, která obsahuje i orientační parametry rozsahu a rozlišení měřené veličiny a frekvence vzorkování. Poslední jmenovaný údaj je velmi důležitý a stojí za podrobnější rozebrání. Vzorkovací frekvence zásadně ovlivňuje množství dat, které v měření vzniká, a tedy i potřebnou velikost datového úložiště měřicího zařízení. Data se mohou sice průběžně odesílat na server např. prostřednictvím GSM, ale je třeba počítat s tím, že v místech bez signálu GSM může dojít k přeplnění úložiště a ztrátě dat.

Všechny veličiny doporučujeme vzorkovat v pravidelných intervalech a ve stejných časových okamžicích (izochronně). Pokud je třeba některá data vzorkovat častěji, stanovte základní frekvenci a ostatní ukládejte v násobcích této nejpomalejší frekvence. Vyhněte se tím nutnosti měření, která se mají vyhodnocovat společně, interpolovat, což zvyšuje šum.

Použití adaptivního vzorkování obecně nedoporučujeme. Sice se tím sníží množství dat, ale komplikují se některé následné způsoby vyhodnocení, protože jednotlivá měření reprezentují různě dlouhé časové úseky a nemají proto stejnou váhu. Je ale důležité si uvědomit, že frekvence vzorkování musí být dvojnásobná oproti nejvyšší frekvenci, kterou chceme v měřeném signálu zachytit (vzorkovací teorém). Jinými slovy, pokud budeme zaznamenávat rychlost vozidla jednou za 10 s, pak okamžik brzdění nemůžeme určit přesněji než ± 5 s, což nemusí být dostačující přesnost.

Tab. 1. Seznam měřených veličin a jejich doporučené parametry

Měřená veličina	Způsob měření	Parametry	Důležitost pro hodnocení 1 – 3 (1 = max.)	Poznámka
Poloha	GNSS (GPS)	kódový přijímač (3,5 CEP) vzorkování 0,1 - 5 Hz	1	
Rychlost vozidla	GNSS / Vozidlová sběrnice	rozlišení 0,1 km/h vzorkování 1-10 Hz	2	
Zrychlení X, Y	Akcelero-metr	rozlišení 0,001 g rozsah 2-4 g vzorkování 20-50 Hz	1	Je možné zpracovávat i první diferenci tohoto signálu, tzv. ryv, popisující prudkost změny.
Zrychlení Z	Akcelero-metr	rozlišení 0,001 g rozsah 2-4 g vzorkování 20-50 Hz	3	Je možné zpracovávat i první diferenci tohoto signálu, tzv. ryv, popisující prudkost změny.
Úhlové zrychlení Z	Gyroskop	rozlišení 5 mst./s rozsah 200 st./s vzorkování 20-50 Hz	2	Je možné zpracovávat i první diferenci tohoto signálu - úhlové zrychlení.
Úhlové zrychlení X, Y	Gyroskop	rozlišení 5 mst./s rozsah 200 st./s vzorkování 20-50 Hz	3	Je možné zpracovávat i první diferenci tohoto signálu - úhlové zrychlení.
Otáčky motoru	Vozidlová sběrnice	rozlišení 1 min ⁻¹ rozsah 6000 min ⁻¹ vzorkování 1-10 Hz	2	
Relativní zatížení motoru	Vozidlová sběrnice	rozlišení 1 min ⁻¹ rozsah 6000 min ⁻¹ vzorkování 1-10 Hz	3	
Rychlostní stupeň	Vozidlová sběrnice	vzorkování 0,1 - 1 Hz	3	
Stav stěračů	Vozidlová sběrnice	vzorkování 0,1 - 1 Hz	2	
Aktivace ABS	Vozidlová sběrnice	vzorkování 0,1 - 1 Hz	1	
Pedál plynu	Vozidlová sběrnice	rozlišení 1 % rozsah 0-100 % vzorkování 0,1 - 1 Hz	3	

2.2 Měřicí zařízení

Tato část se zaměřuje na dostupnost dat podle typu měřicího přístroje a způsobu měření. Důležité jsou nejen vlastnosti měřicího zařízení, ale také cena zařízení, způsob montáže, dostupnost/penetrace zařízení a komfort použití.

V Tab. 2 uvažujeme následující tři základní typy měřicích zařízení:

1. Mobilní telefon – běžný smartphone obsahující přijímač GNSS a inerciální senzory.
2. Telematická jednotka – zařízení instalované do vozidla nejčastěji za účelem sledování provozu firemního vozidla.
3. Specializované měřicí zařízení – obecně jakékoliv měřicí zařízení, které není nutně určené pro použití v osobním vozidle.

Při výběru zařízení pro sběr dat je vhodné použít nejdostupnější/nejlevnější zařízení, které dokáže sbírat požadovaná data v požadované kvalitě.

Tab. 2. Porovnání měřicích zařízení

Typ zařízení	Měřené veličiny	Výhody	Nevýhody
Mobilní telefon	Poloha, rychlost, zrychlení, úhlové zrychlení	Vysoká penetrace. Není třeba instalace do vozidla.	Nejednoznačné uchycení vede k obtížné interpretovatelnosti zrychlení a úhlového zrychlení. Není možné číst data z vozidla, nutné použití specializované aplikace.
Telematická jednotka	Všechny uvažované	Lze použít stávající instalace. Kvalitní inerciální data díky pevné montáži. Relativně nižší cena. Uživatelé mají motivaci si zařízení nechat nainstalovat.	Většinou omezená kapacita paměti - nižší frekvence vzorkování.
Specializované měřicí zařízení	Všechny uvažované	Nejpřesnější měření. Potenciálně nejvíce dat.	Cena zařízení. Nelze využít stávající flotily. Potenciálně složitá instalace.

2.3 Možnosti redukce dat při ukládání

Předzpracování dat v zařízení může zásadně snížit jejich objem, což má smysl především při dlouhodobém sběru dat do paměti, nebo pokud jsou data přenášena přes GSM. Je vhodné zvážit následující možnosti:

- Uložení kompletních dat bez ztráty podrobností (hodnota + čas)
 - Uložení počátečního času následovaný sadou hodnot, u které se předpokládá, že byla vzorkována konstantní frekvencí (není třeba ukládat časy jednotlivých měření).
 - Často lze dále ušetřit uložením prvních nebo druhých diferencí signálu a jejich uložení pomocí Huffmanova kódování.
 - Uložení pouze okamžiků změny. Má smysl především při ukládání diskrétních údajů (rychlostní stupeň, zapnutí stěračů atd.)
- Uložení redukovaných dat, které již nelze plně rekonstruovat na zdrojová data
 - Uložení pouze průměrné hodnoty v určitém časovém intervalu, případně rozšířené o hodnotu minima a maxima (případně vhodných kvantilů).
 - Uložení histogramů za určité časové období, což vede k zásadnímu snížení datové náročnosti, ale ve zvoleném časovém intervalu je známo jen rozložení hodnot se zvolenou kvantizací. Např. pro uložení změřených zrychlení při akceleraci.
 - Nelineární kvantování změřených údajů – hodnoty v oblasti, která je důležitá, jsou kvantovány jemně, ostatní hruběji.

Ukládání dat pouze v konkrétní situaci nebo v konkrétním místě

- Data se ukládají pouze při překročení dané rychlosti, otáček motoru, překročení určitého zrychlení atd.
- Pouze v určitých předem definovaných místech. Např. v dané oblasti, nebo v předem vytipovaných lokalitách (seznam těchto míst je vhodné uložit do zařízení jako množinu bodů s daným poloměrem, nebo množinu polygonů).

2.4 Doplnující informace pro vyhodnocování dat

Pro následné vyhodnocení dat je vhodné zjistit další podpůrné informace, které popisují vozidlo a případně řidiče. Je vhodné uvažovat o následujících variantách:

- Typ vozidla – osobní (sedan, SUV, sportovní), dodávka, nákladní
- Typ motoru (výkon a palivo)
- Hmotnost vozidla
- Typ převodovky (manuální, automatická) a počet stupňů
- Konkrétní typ vozidla a výrobce
- Alternativně uchovat VIN a výše uvedené údaje zjistit z databáze
- Typ použití – soukromé účely, firemní
- Typ cesty – pravidelná jízda (řidič zná trasu), náhodná cesta (řidič trasu nezná)
- Údaje o řidiči – pohlaví, věk, délka zkušenosti s řízením

2.5 Ochrana osobních údajů a možnosti pseudomizace

V současné době je ochrana osobních údajů stále důležitější podmínkou pro sběr dat z vozidel. Aby sběr proběhl podle pravidel GDPR, data nesmí obsahovat žádný údaj, ze kterého by se dala konkrétně určit identita řidiče, pokud s takovým sběrem a jeho účelem řidič explicitně nesouhlasí, nebo se nejedná o službu, kterou si řidič objednal. V této souvislosti je nevhodné předat ke zpracování delší historii poloh vozidla, ze které jsou patrná místa, kde vozidlo parkuje delší dobu. Pro splnění tohoto požadavku doporučujeme:

- Každou jízdu rozdělit v místě kde rychlost klesne i krátkodobě na nulu.
- Při delším stání na jednom místě smazat náhodně počátek a konec trasy, např. prvních 500 m až 2 km.
- K trasám neuvádět jednoznačný identifikátor (např. VIN), který by umožnil jednotlivé úseky propojit.

3. Možnosti využití FCD dat pro hodnocení bezpečnosti

V kontextu projektu SMĚR a této metodiky bylo záměrem identifikovat takový indikátor, který lze odvodit z FCD dat a má statisticky prokazatelný vztah k nehodovosti – tzn. proaktivní (nepřímý) ukazatel bezpečnosti) umožňující plošné hodnocení. Tento ukazatel bude následně možné využít jak pro hodnocení jízdního stylu řidičů, tak pro hodnocení úrovně bezpečnosti vybraných prvků silniční sítě (např. směrových oblouků).

Ukazatele mohou být podélné (longitudinální – např. rychlost, variace rychlosti...) nebo příčné (laterální – např. SDLP, *standard deviation of lane position*). Přehled potenciálních ukazatelů (ne)bezpečnosti jízdy uvádí přehled [35], zaměřený na jízdní styly. Jízdní styl je definován jako „obvyklý způsob jízdy“ (tj. konzistentní, ne ojedinělé chování). Jednotlivé charakteristiky zahrnují podélné (rychlost, zrychlení/brzdění, ryv) i příčné parametry (včetně bočního zrychlení při překračování rychlosti ve směrových obloucích).

V předchozí kapitole byly uvedeny obecné zásady ke sběru dat. Z hlediska výzkumu lze doplnit následující upřesnění:

- Frekvence záznamu by měla být vyšší než 1 Hz, ideálně 10 Hz a více [12, 15, 41].
- Pro získání reprezentativních údajů pro hodnocení z pohledu silniční sítě je nutno zvážit požadovaný počet průjezdů úsekem nebo požadovaný počet úseků dané kategorie (např. min. 100 průjezdů a 30 úseků [23, 28]).
- Rychlost lze z dopravně inženýrské perspektivy hodnotit výběrem ze všech průjezdů nebo omezit výběr na neovlivněné průjezdy. Informace o ovlivnění však u FCD dat chybí; většinou se proto používá vyloučení dat z dopravní špičky [16] nebo se identifikuje ovlivnění pomocí statistických metod [10, 19].
- Je také vhodné ověřit spolehlivost rychlostních údajů srovnáním s „etalonem“ v podobě tradičních detektorů. Závěry studií však bývají různé: některé uvádějí, že FCD data „přeměřovala“ detektory, některá naopak „podměřovala“. Rozdíly je nutné zvážit a případně provést kalibraci. [40]
- Záznam FCD dat je ovlivněn externím „šumem“, např. kongesce, práce na silnici, SSZ, okolní vozidla... Je vhodné pořizovat zároveň videozáznam, což však přináší nutnost manuální identifikace. [20]

Zároveň platí, že neexistují žádné standardní limitní hodnoty ukazatelů kritického chování, jako např. nejvyšší dovolená rychlost jízdy [27]. Vybrané hodnoty z předchozích výzkumů jsou uvedeny v následující podkapitole.

3.1 Identifikace kritických hodnot

Ve švédském výzkumu [13] použili mezní hodnotu derivace zrychlení (ryvu) 1,5 g/s pro identifikaci vybraných řidičů. Jiní autoři používají ryv k identifikaci kritických míst:

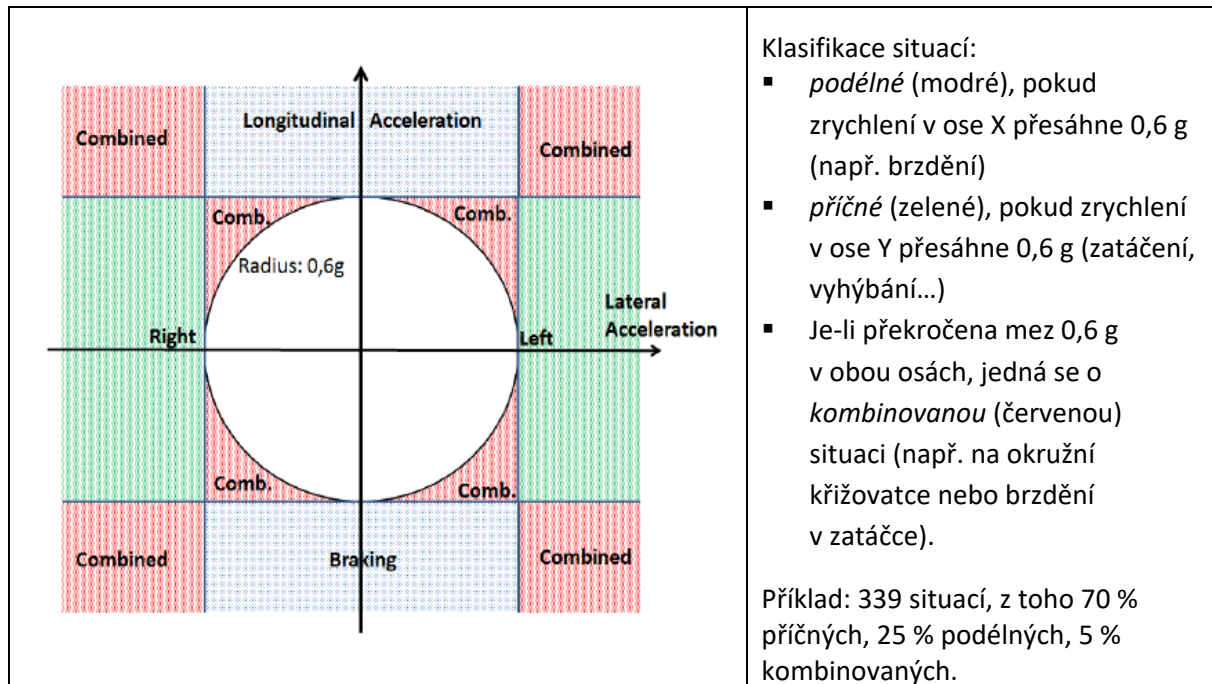
- Ve francouzském projektu S_VRAI [36] byly použity následující kombinace mezních hodnot (viz Tab. 3), s využitím tzv. normy zrychlení (vektorového součtu podélného a příčného zrychlení):
 - o norma zrychlení $> 0,6 \text{ g} + \text{ryv} > 2 \text{ g/s}$
 - o rychlost $> 80 \text{ km/h} + \text{norma zrychlení} > 0,5 \text{ g} + \text{ryv} > 2 \text{ g/s}$
 - o rychlost $> 100 \text{ km/h} + \text{norma zrychlení} > 0,4 \text{ g} + \text{ryv} > 2 \text{ g/s}$

Bylo však nutno vizuálně ověřit rušivé vlivy nerovností, železničních přejezdů apod.

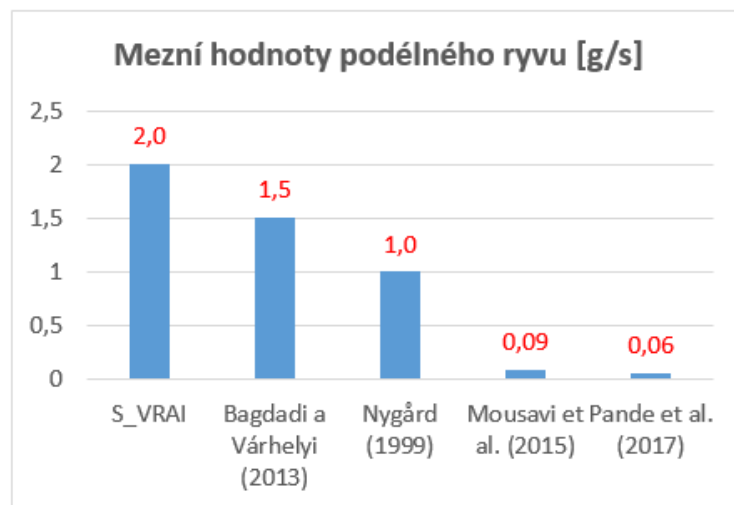
- Tým z dánské Aalborg University [5] upozorňuje, že hodnoty ryvu mohou být zkreslené nerovnostmi vozovky nebo zpomalovacími prahy. Pro odfiltrování navrhuje v prvním kroku identifikovat pokles rychlosti (min. 5 m/s) a až následně ryv s mezní hodnotou 5 nebo 20 m/s³ [34].
- Mousavi et al. [29] použili výrazně nižší mez 0,9 m/s³. Punzo et al. [32] uvádí, že typické hodnoty jsou 2-3 m/s³, maximálně 10 m/s³ a fyzicky nemohou překročit 15 m/s³.

Pozn.: Jednotky dle soustavy SI jsou u zrychlení $[m/s^2]$, u ryvu $[m/s^3]$. V praxi se často používají násobky gravitačního zrychlení ($1\text{ g} \sim 9,81\text{ m/s}^2$), tudíž jednotky jsou u zrychlení $[g]$, u ryvu $[g/s]$.

Tab. 3 Příklad klasifikace situací podle francouzského projektu S_VRAI



Z uvedeného výčtu vyplývá značná rozdílnost v hodnotách ryvu, považovaných různými autory za kritické. Pro názornost byly vybrané hodnoty převedeny na stejné jednotky (g/s) a zobrazeny v grafu (Obr. 1).



Obr. 1 Mezní hodnoty podélného ryvu, uváděné vybranými autory

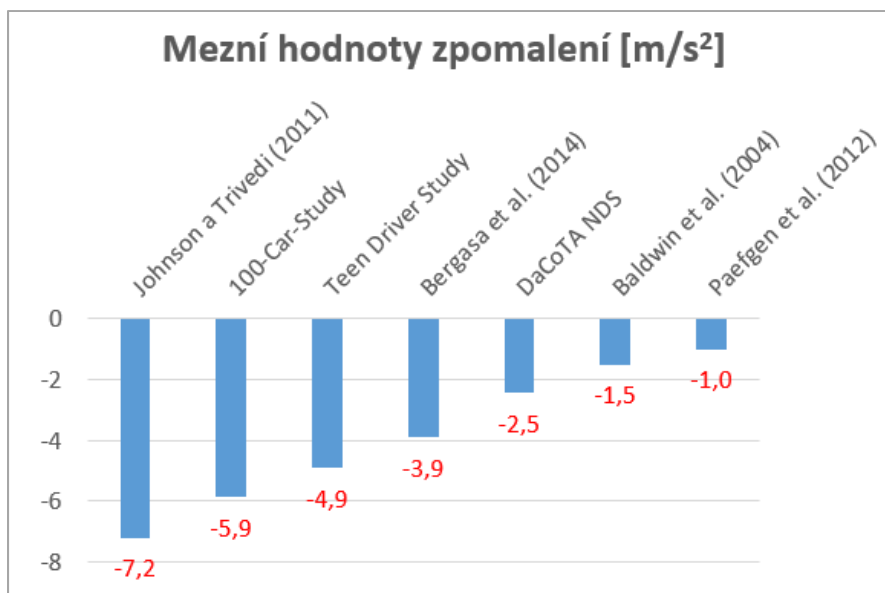
Aichinger et al. [6] uvádí přehled mezních hodnot (*event triggers*) pro kritické chování. Také Joubert et al. [25] konstatují, že rozmezí se mezi studiemi velmi liší a proto analyzují všechny hodnoty (*risk space*).

Tab. 4 Příklady mezních kritických hodnot zrychlení podle vybraných studií

Studie	Podélné zrychlení [m/s^2]	Příčné zrychlení* [m/s^2]
100-Car-Study	5,88	6,9
DaCoTA NDS	2,45	2,45
Teen Driver Study	4,9	5,3
Baldwin et al. (2004) [14]	1,5	1,5
Paefgen et al. (2012) [30]	1*	2
Bergasa et al. (2014) [17]	3,9	3,9
Johnson a Trivedi (2011) [24]	7,2	7,3

Přitom mezní hodnoty s označením * jsou uváděny v absolutních hodnotách, tedy nerozlišující brzdění/zrychlení nebo směry příčného zrychlení.

Z přehledu vyplývá značná rozdílnost kritických hodnot (rozmezí cca 1 - 7 m/s^2) - viz graf (Obr. 2).



Obr. 2 Mezní hodnoty zpomalení, používané ve vybraných studiích

3.2 Příklady hodnoticích aplikací

Tselentis et al. [38] uvádí příklady aplikací, které na základě překračování rychlostního limitu, prudkého brzdění/zrychlování/zatáčení, použití bezpečnostního pásu, mobilního telefonu atd. hodnotí jízdní styl.

Tab. 5 Příklady zahraničních hodnoticích aplikací

Produkt (www)	Zaznamenávaná data (výběr)
CarChipFleetPro (www.carchip.com)	vzdálenost, čas, zrychlení, rychlost, poloha, PHM
Sky-meter (www.skymetercorp.com)	čas, vzdálenost, poloha, rychlost, souhrnné zrychlení
OnStar (www.onstar.com)	vzdálenost, rychlost, čas
Freematics (www.freematics.com)	vzdálenost, čas, rychlost, poloha, zrychlení, otáčky
Progressive (www.progressive.com/auto/snapshot)	vzdálenost, čas, rychlost, poloha, zrychlení

Z Tab. 5 vyplývá, že nejčastěji vychází aplikace z dat polohy, rychlosti a zrychlení.

Z českých aplikací lze jmenovat například:

- *Webdispečink*¹ od firmy Princip, a. s. Primárně systém správy vozových parků, pro tvorbu knih jízd apod. Hodnotí se maximum zrychlení, zatáčení, plynulosti v intervalu po 1 s a počet sekund v kritických mezích; na jejich základě se přiděluje „známka“ 1 – 5. Podobné služby nabízí např. GX Solutions² nebo CCS Carnet³.
- Aplikace *Nejlepší řidič* České pojišťovny. Hodnotila plynulost jízdy, prudkost zatáčení, jízdu přes výtluky, dodržování rychlosti... Základní počet bodů každé jízdy je 1000 a za každý incident se odečítají. Výsledky lze zobrazit na mapě, sdílet na sociálních sítích, porovnávat s dalšími řidiči... Aktuálně však již aplikace není provozována.

Z pojišťoven nabízí podobné služby *Uniq SafeLine*⁴ a to na principu ujeté vzdálenosti. Podobně funguje i produkt Allianz *Jezdím málo, platím málo*⁵, ten ale používá pouze fotografii stavu tachometru (srovnání viz [31]).

U všech uvedených aplikací obecně platí, že podrobnosti o algoritmech, tj. konkrétním způsobu převodu uvedených dat na hodnocení jízdního stylu, nejsou veřejně dostupné.

3.3 Závěry

Z rešerše vyplývá, že:

- Pomocí telematických jednotek lze sbírat FCD data pro konstrukci řady podélných nebo příčných ukazatelů. Většinou se jedná o rychlost a její derivace (zrychlení, ryv).
- Zároveň ale neexistují jednotné limity nebo mezní hodnoty (co lze považovat za kritické chování).
- Klasifikace na základě plošně shromažďovaných dat navíc může být zkreslena nežádoucími vlivy (nerovnostmi vozovky, dopravními kongescemi...).

Z toho vyplývá nutnost vývoje vlastního hodnocení v následujících bodech:

1. Vývoj vhodných telematických jednotek.
2. Výběr předem známých lokalit ke sběru dat za účelem minimalizace rušivých vlivů.
3. Sběr dat na vybraných lokalitách a příprava vhodných indikátorů.
4. Validace těchto ukazatelů (ověření vztahu k nehodovosti) a určení kritických hodnot.
5. Využití kritických hodnot indikátorů k návrhu algoritmu hodnocení jízdního stylu.

Podle těchto kroků byl proveden výzkum v projektu SMĚR, popsáný v následující kapitole.

¹ <http://www.webdispecink.cz/>

² <http://gxsolutions.cz/produkty/monitoring-osobnich-vozidel/>

³ <http://www.ccs.cz/carnet-jak-to-funguje>

⁴ <http://www.uniqa.cz/home/obcane/vozidla/safeline.php>

⁵ <http://www.allianz.cz/kilometry/>

4. Příklad praktické aplikace (projekt SMĚR)

4.1 Vývoj telematických jednotek

Pro sběr dat jsme upravili telematickou jednotku společnosti Princip Vetronics 716. Jednotka byla rozšířena o trojosý gyroskop, který jsme vytipovali jako potenciálně zajímavý zdroj dat o provozu vozidla. Sběr dat byl proveden na 2000 ks náhodně vybraných vozidlech v průběhu 4 měsíců.

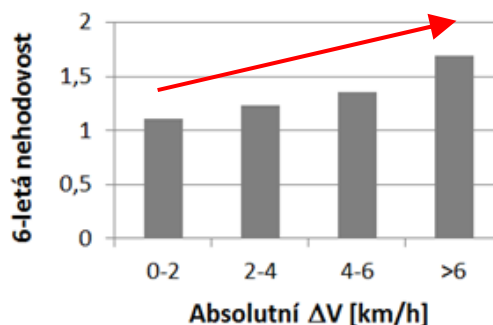
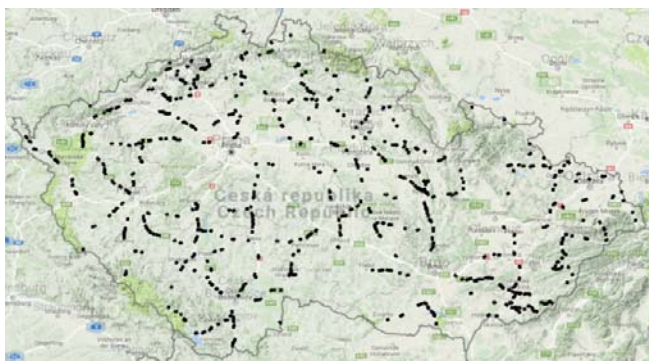
4.2 Výběr lokalit

Na základě rešerše se výběr lokalit zaměřil na směrové oblouky. Při jízdě v oblouku je obecně vyšší riziko, což dokazuje i nehodovost, která je až 4× vyšší než na přímých úsecích [33] a často spojená s nepřiměřenou rychlostí [7]. Tato místa jsou proto vhodná pro nastavení (kalibraci) hodnocení jízdního stylu.

Pro výběr konkrétních směrových oblouků bylo však potřeba vytvořit vhodnou metriku – z důvodu statisticky nízké četnosti nelze vycházet pouze z registrovaných nehod. Byl proto zvolen ukazatel tzv. rychlostní konzistence, neboli rozdílů rychlosti mezi přímým úsekem a navazujícím obloukem, který indikuje jak je oblouk „očekávaný“ (velké rozdíly rychlosti nastávají v místech, kde je oblouk nečekaný a je tudíž nutno náhle brzdit). Vyvinuli jsme a aplikovali následující postup (více viz [3, 9, 10]):

1. *Vymezení sítě*
 - výběr FCD dat (Princip, a. s.) na extravilánových úsecích silnic I. třídy, min. 100 průjezdů v každém směru
2. *Segmentace* (rozdělení sítě na přímé úseky a směrové oblouky)
 - generalizace dat (Douglas-Peuckerův algoritmus)
 - určení geometrických parametrů a diskriminační analýza
 - dopřesnění podle poloměru oblouků
 - výběr úseků o délce min. 200 m
3. *Určení rychlosti*
 - přiřazení rychlosti k bodům segmentů
 - určení ovlivněné a neovlivněné rychlosti pro každý bod shlukovou analýzou (k-průměry)
 - určení 85. percentilu neovlivněné rychlosti pro každý bod
 - určení váženého průměru za segment (váha dána počtem průjezdů)
 - určení rychlostní konzistence

Navíc byla ověřena validita výsledných ukazatelů konzistence. Zjistili jsme, že existuje statistický vztah: nehodovost klesá se zmenšujícími se rozdíly rychlosti, což potvrzuje původní hypotézu (viz Obr. 3). Tímto způsobem tedy lze identifikovat potenciálně kritické směrové oblouky. Na základě rozdílu rychlostí (ΔV) a zohlednění kritických poloměru oblouků (R) [21] jsme vybrali 117 nejkritičtějších oblouků, rozdělených do kategorií rizikovitosti A, B, C (viz Tab. 6).



Obr. 3 Lokalizace hodnocených úseků a graf vztahu nehodovosti k absolutním rozdílům rychlosti

Tab. 6 Definice kategorií rizikovosti

Kategorie	ΔV [km/h]	R [m]
A	> -5	> 300
B	-5 až -10	200 až 300
C	< -10	< 200

Pro následný sběr dat jsme využili 30 oblouků, reprezentativně vybraných z uvedených kategorií rizikovosti.

4.3 Sběr a příprava dat

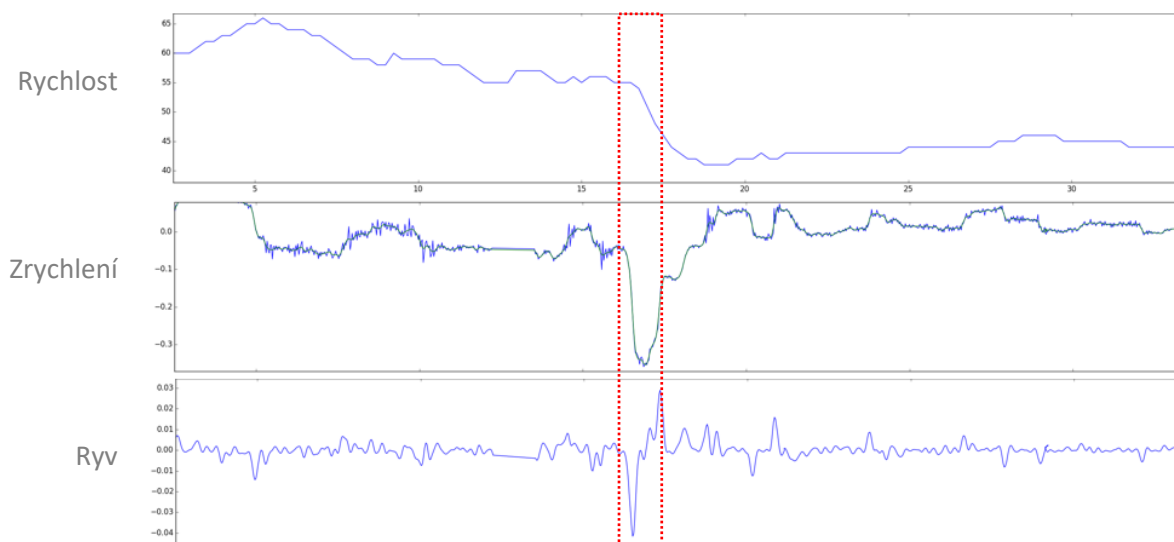
Na vybraných 30 lokalitách proběhl sběr dat pomocí nově vyvinutých telematických jednotek. Získaná data měla následující strukturu pro každé vozidlo – viz Tab. 7.

Tab. 7 Přehled dat použitých k hodnocení

Soubor	Soubor s pozicemi	Soubor s inerciálními daty
Senzor a frekvence	GPS (4 Hz)	Akcelerometr a gyroskop (32 Hz)
Data	▪ Unix time [s] ▪ zeměpisná šířka [°] ▪ zeměpisná délka [°] ▪ rychlost [km/h] ▪ směr jízdy [°] ▪ příznak validní polohy [-] ▪ počet satelitů GPS [-] ▪ HDOP [-]	▪ Unix time [s] ▪ zrychlení v ose X [g] ▪ zrychlení v ose Y [g] ▪ zrychlení v ose Z [g] ▪ úhlová rychlost v ose X [°/s] ▪ úhlová rychlost v ose Y [°/s] ▪ úhlová rychlost v ose Z [°/s]

V každém oblouku bylo získáno průměrně 20 průjezdů. Z důvodu nedostatku dat byl 1 oblouk vyloučen – dále tedy byla zpracována data z 29 oblouků.

Z důvodu nutnosti kombinace obou souborů (GPS + inerciální data) byla data sjednocena na časovou osu s frekvencí záznamu 4 Hz. Celkem se jednalo o více než 50 000 záznamů. Ukázka dat je na Obr. 4, se zvýrazněným příkladem místa výrazného brzdění.



Obr. 4 Ukázka části záznamu průběhu rychlosti, zrychlení a ryvu se zvýrazněným místem výrazného brzdění

Data byla rozdělena na jednotlivé směry jízdy. Ne u všech oblouků však byl dostatečný objem dat v obou směrech; celkově bylo získáno 53 směrů.

Na základě rešerše jsme dat určili následující ukazatele:

- zrychlení v osách X, Y a norma zrychlení ($acc_x, acc_y, acc_norm = \sqrt{acc_x^2 + acc_y^2}$)
- ryv v osách X, Y a norma ryvu ($jerk_x, jerk_y, jerk_norm = \sqrt{jerk_x^2 + jerk_y^2}$)
- dále ukazatele v absolutní hodnotě ($abs_acc_x, abs_acc_y, abs_jerk_x, abs_jerk_y$)

Hodnoty ukazatelů byly agregovány pro jednotlivé směry a to formou průměru (avg_*), maxima (max_*) a 85. percentilu ($85p_*$).

Za účelem validace byla následně jednotlivým směrům přiřazena data nehodovosti (počet individuálních nehod za 6 let) a expozice, tj. délky a intenzity dopravy (označení proměnných N, L, I).

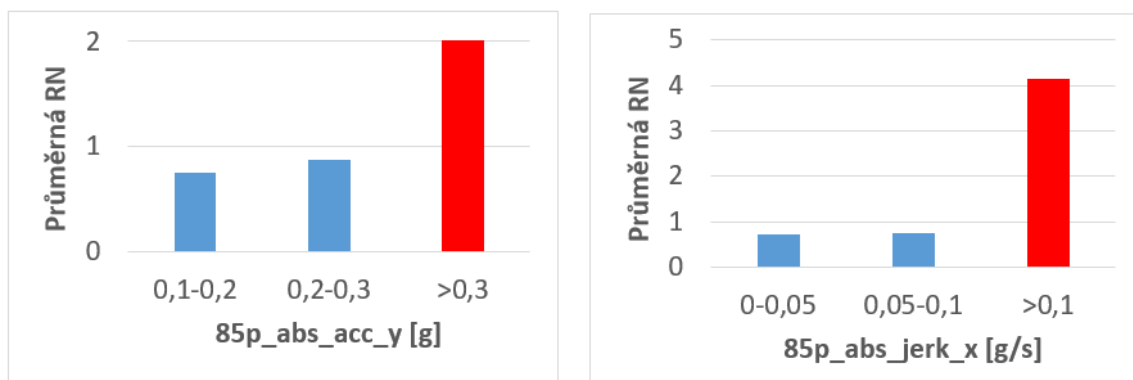
4.4 Validace ukazatelů

Vhodnost indikátoru lze vyjádřit pomocí míry vlivu na nehodovost [43]. Za tím účelem byly vytvořeny následující varianty regresních (vysvětlujících) modelů nehodovosti:

1. základní model $N = f(I, L)$
2. rozšířený model $N = f(I, L, acc, jerk)$

Výběrem z řady forem ukazatelů zrychlení a ryvu (viz kap. 3.3) byla hledána varianta rozšířeného modelu, která je statisticky nejvěrohodnější (ve smyslu nejnižší hodnoty Akaikeho informačního kritéria AIC a nejvyššího podílu vysvětlené systematické variability R^2). Jako optimální se ukázaly indikátory $85p_abs_acc_y$ a $85p_abs_jerk_x$ (tj. 85. percentily absolutních hodnot bočního zrychlení a podélného ryvu); rozšířený model s těmito proměnnými vysvětloval o 18 % více variace nehodovosti než základní model.

Dále byla hledána forma určení kritických hodnot vybraných ukazatelů. Za tím účelem byla určena tzv. relativní nehodovost RN (roční počet nehod na 1 mil. vozkm) a formou kontingenčních tabulek byl hledán vztah ukazatelů k nehodovosti. Grafy na Obr. 5 ilustrují existenci kritických hodnot $abs_acc_y > 0,3$ g; $abs_jerk_x > 0,1$ g/s.



Obr. 5 Ilustrace vztahu mezi vybranými ukazateli (85. percentily absolutního příčného zrychlení a podélného ryvu) a relativní nehodovostí

Obě hodnoty lze uvést do kontextu s literaturou:

- Hodnoty bočního zrychlení v rozmezí 0,25 – 0,4 g se často uvádí jako mezní hodnoty běžného jízdního stylu [22, 26, 37, 39].
- Hodnota podélného ryvu 0,1 g/s odpovídá hodnotám současných zahraničních studií (viz dvě hodnoty v pravé části grafu na Obr. 1).

Navíc v obou „zlomech“ relativní nehodovost překračuje hodnotu 1, kterou lze považovat za kritickou (podle *Metodiky identifikace a řešení míst častých dopravních nehod* [11] relativní nehodovost obvykle nepřekračuje hodnotu 0,9).

4.5 Návrh algoritmu hodnocení jízdního stylu

Z analyzovaných dat mají nejvýznamnější statistický vztah k nehodovosti absolutní hodnoty bočního zrychlení (abs_acc_y) a podélného ryvu (abs_jerk_x). Lze je proto využít pro hodnocení jízdního stylu a to ve formě četnosti/doby trvání překročení mezních hodnot $abs_acc_y > 0,3 \text{ g}$ a/nebo $abs_jerk_x > 0,1 \text{ g/s}$.

Proto byla těmto údajům přidělena největší váha; celkové hodnocení tvoří následující údaje:

- doba, kdy akcelerace přesahovala $0,3 \text{ g}$
- doba, kdy brzdění přesahovalo $0,3 \text{ g}$
- doba, kdy rychlost překračuje 130 km/h , případně dodržování maximální povolené rychlosti v daném místě
- míra kolísání rychlosti
- průměrné otáčky motoru

Výsledné hodnocení je kombinací výše zmíněných kategorií. Výsledek proto popisuje styl jízdy řidiče nejen z pohledu bezpečnosti, ale také úspornosti a míry opotřebení vozidla.

5. Shrnutí

FCD data se typicky využívají pro analýzy plynulosti dopravy a navigační úlohy. Při vhodném výběru zdrojů dat a nastavení frekvence sběru, je ale možné data z FCD velmi dobře použít i pro účely hodnocení bezpečnosti jízdy a silničního provozu - ať už z pohledu řidičů (hodnocení jízdního stylu v rámci fleet managementu) nebo pohledu správce silniční sítě (identifikace míst, kde se koncentrují kritické situace).

Za účelem poskytnutí úvodu do problematiky a stanovení základních pravidel byla vytvořena tato metodika. Uvedené informace mohou sloužit uživatelům na straně objednatele (pro přípravu podmínek soutěže na sběr FCD dat), dodavatele (při plánování a realizaci sběru dat) i hodnotitele (při zpracování a interpretaci získaných dat).

Nejprve byly uvedeny obecné zásady a doporučení ohledně FCD dat: od výběru vhodného zařízení a sbíraných údajů, frekvence vzorkování a způsobu uložení, po možnosti anonymizace dat. Dále byly uvedeny informace doplněny o možnosti využití FCD dat pro hodnocení bezpečnosti. V další části byl demonstrován praktický příklad aplikace uvedených konceptů v projektu SMĚR.

S ohledem na prudký rozvoj popisované problematiky je pravděpodobné další upřesňování prezentovaných postupů. Autoři metodiky se budou tématu dále věnovat; do budoucna lze očekávat pokračování výzkumných aktivit, které mohou vyústit v navazující metodiky.

6. Seznam literatury

Publikace, které předcházely metodice

- [1] *Metodika sledování nepřímých ukazatelů bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích*. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, 2008.
- [2] *Metodika sběru parametrů dopravního prostoru pozemní komunikace pomocí měřicího vozidla*. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, 2014.
- [3] *Metodika zvýšení samovysvětlitelnosti pozemních komunikací pomocí optimalizace směrových návrhových prvků*. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, 2016.

Odkazy z textu

- [4] Aarts, L., van Schagen, I. (2006). Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accident Analysis & Prevention*, roč. 38, s. 215–224.
- [5] Agerholm, N., Jensen, R., Andersen, C. S. (2015). Identification of Hazardous Road Locations on the basis of jerks. In *28th ICTCT Workshop*, Ašdod, Izrael.
- [6] Aichinger, C., Nitsche, P., Stütz, R., Harnisch, M. (2016). Using Low-cost Smartphone Sensor Data for Locating Crash Risk Spots in a Road Network. *Transportation Research Procedia*, roč. 14, s. 2015–2024.
- [7] Ambros, J., Valentová, V. (2012). Optimalizace směrových návrhových prvků pozemních komunikací: úvod do problematiky a příprava pilotní studie. *Dopravní inženýrství*, roč. 7, č. 1, s. 14–16.
- [8] Ambros, J. (2016). Using floating car data for speed analyses – Czech experience. In *11th International Road Safety Seminar GAMBIT*, Gdaňsk, Polsko.
- [9] Ambros, J., Caudr, M. (2017). Zvyšování samovysvětlitelnosti extravilánových úseků silnic I. třídy. *Silniční obzor*, roč. 78, č. 2, s. 42–46.
- [10] Ambros, J., Valentová, V., Gogolín, O., Andrášik, R., Kubeček, J., Bíl, M. (2017). Improving the Self-Explaining Performance of Czech National Roads. *Transportation Research Record*, č. 2635, s. 62–70.
- [11] Andres, J., Mikulík, J., Rokytová, J., Hrubý, Z., Skládaný, P. (2001). *Metodika identifikace a řešení míst častých dopravních nehod*. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno.
- [12] Backer-Grøndahl, A., Phillips, R., Sagberg, F., Toulou, K., Gatscha, M. (2009). *Topics and applications of previous and current naturalistic driving studies*. Výstup projektu PROLOGUE č. 1.1.
- [13] Bagdadi, O., Várhelyi, A. (2013). Development of a method for detecting jerks in safety critical events. *Accident Analysis & Prevention*, roč. 50, s. 83–91.
- [14] Baldwin, K. C., Duncan, D. D., West, S. K. (2004). The driver monitor system: A means of assessing driver performance. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, roč. 25, s. 269–277.
- [15] Barnard, Y. (2017). *Updated Version of the FESTA Handbook*. Výstup projektu FOT-Net Data č. 5.4.
- [16] Bekhor, S., Lotan, T., Gitelman, V., Morik, S. (2013). Free-flow travel speed analysis and monitoring at the national level using global positioning system measurements. *Journal of Transportation Engineering (ASCE)*, roč. 139, s. 1235–1243.

- [17] Bergasa, L. M., Almería, D., Almazán, J., Yebes, J. J., Arroyo, R. (2014). DriveSafe: an App for Alerting Inattentive Drivers and Scoring Driving Behaviors. In *2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Dearborn, USA.
- [18] Bessler, S., Paulin, T. (2013). *Literature study on the state of the art of probe data systems in Europe*. FTW Telecommunications Research Center, Vídeň, Rakousko.
- [19] Diependaele, K., Riguelle, F., Temmerman, P. (2016). Speed behavior indicators based on floating car data: Results of a pilot study in Belgium. *Transportation Research Procedia*, roč. 14, s. 2074–2082.
- [20] Ellison, A. B., Greaves, S. P., Bliemer, M. C. J. (2015). Driver behaviour profiles for road safety analysis. *Accident Analysis & Prevention*, roč. 76, s. 118–132.
- [21] Elvik, R. (2013). International transferability of accident modification functions for horizontal curves. *Accident Analysis & Prevention*, roč. 59, s. 487–496.
- [22] Good, M. C. (1978). *Road curve geometry and driver behaviour*. ARRB Special Report No. 15. Australian Road Research Board, Melbourne, Austrálie.
- [23] Hakkert, A. S., Gitelman, V. (2007). *Road Safety Performance Indicators: Manual*. Výstup projektu SafetyNet č. 3.8.
- [24] Johnson, D. A., Trivedi, M. M. (2011). Driving Style Recognition Using a Smartphone as a Sensor Platform. In *14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Washington, USA.
- [25] Joubert, J. W., de Beer, D., de Koker, N. (2016). Combining accelerometer data and contextual variables to evaluate the risk of driver behaviour. *Transportation Research Part F*, roč. 41, s. 80–96.
- [26] Kiliç, A. S., Baybura, T. (2012). Determination of Minimum Horizontal Curve Radius Used in the Design of Transportation Structures, Depending on the Limit Value of Comfort Criterion Lateral Jerk. In *FIG Working Week 2012*, Řím, Itálie.
- [27] Martens, M. H., Brouwer, R. (2011). Linking behavioral indicators to safety: What is safe and what is not? In *3rd International Conference on Road Safety and Simulation*, Indianapolis, USA.
- [28] *Modeling Operating Speed: Synthesis Report*. Transportation Research Circular E-C151. Transportation Research Board, Washington, USA, 2011.
- [29] Mousavi, S.-M., Parr, S. A., Pande, A., Wolshon, B. (2015). Identifying High-Risk Roadways Through Jerk-Cluster Analysis. In *2015 Road Safety & Simulation International Conference*, Orlando, USA.
- [30] Paefgen, J., Kehr, F., Zhai, Y., Michahelles, F. (2012). Driving behavior analysis with smartphones: insights from a controlled field study. In *11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, Ulm, Německo.
- [31] Peterková, K. (2013). *Telematické služby a jejich využití v pojišťovnictví*. Diplomová práce. VŠE, Fakulta informatiky a statistiky, Praha.
- [32] Punzo, V., Borzacchiello, M. T., Ciuffo, B. (2011). On the assessment of vehicle trajectory data accuracy and application to the Next Generation SIMulation (NGSIM) program data. *Transportation Research Part C*, roč. 19, s. 1243–1262.
- [33] *Road Safety Manual: Recommendations from the World Road Association (PIARC)*. Route2market, Harrogate, Velká Británie, 2003.

- [34] Reinau, K. H., Andersen, C. S., Agerholm, N. (2016). A New Method for Identifying Hazardous Road Locations using GPS and Accelerometer. In *23rd ITS World Congress*, Melbourne, Austrálie.
- [35] Sagberg, F., Selpi, S., Piccinini, G. F. B., Engström, J. (2015). A review of research on driving styles and road safety. *Human Factors*, 57, 1248–1275.
- [36] Serre, T., Naude, C., Fournier, J.-Y., Dubois-Lounis, M., Chauvet, S., Lechner, D., Ledoux, V. (2014). Causes of road driving hazardous situations. In *Transport Research Arena 2014*, Paříž, Francie.
- [37] Schimmelpfenning, K.-H., Nackenhorst, U. (1985). Bedeutung der Querbesehleunigung in der Verkehrsunfallrekonstruktion – Sicherheitsgrenze des Normalfahrers. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, č. 4, s. 94–96.
- [38] Tselentis, D. I., Yannis, G., Vlahogianni, E. I. (2017). Innovative motor insurance schemes: A review of current practices and emerging challenges. *Accident Analysis & Prevention*, roč. 98, s. 139–148.
- [39] Vémola, A. (2005). *Problematika znalecké analýzy jízdy a brzdění vozidla v obecném prostorovém oblouku*. Disertační práce. VUT, Ústav soudního inženýrství, Brno.
- [40] Welsh, R., Reed, S., Talbot, R., Morris, A. (2010). *Data collection, analysis methods and equipment for naturalistic studies and requirements for the different application areas*. Výstup projektu PROLOGUE č. 2.1.

Výstupy z projektu SMĚR

- [41] Jurewicz, C., Espada, I., Makwasha, T., Han, C., Alawi, H., Ambros, J. (2017). Validation and applicability of floating car speed data for road safety. In *2017 Australasian Road Safety Conference*, Perth, Austrálie.
- [42] Ambros, J., Jurewicz, C. (2017). From big data to speed and safety: A review of surrogate safety measures based on speeds from floating car data. In *2017 Australasian Road Safety Conference*, Perth, Austrálie.
- [43] Ambros, J. (2017). Which validation is more valid? In *6th NTSA Annual Scientific Seminar*, Kodaň, Dánsko.

Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
Líšeňská 33a
636 00 Brno
www.cdv.cz

