

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Ústav dopravní telematiky

**TECHNOLOGIE SENZORICKÝCH SÍTÍ A AKČNÍCH
ČLENŮ UŽITÁ K MINIMALIZACI RIZIK JÍZDY
AUTOMOBILU NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH**

Disertační práce



Praha 2020

Ing. Jaromír Tobiška

Autor: Ing. Jaromír Tobiška
ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav dopravní telematiky
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

Školitel: prof. Ing. Zdeněk Votruba, CSc.
ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav dopravní telematiky
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou disertační práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 26. 4. 2020

Poděkování

Děkuji prof. Ing. Zdeňku Votrubovi, CSc. za odborné vedení při tvorbě této práce, doc. Ing. Ivanu Nagymu, CSc. za cenné rady při matematickém modelování experimentu a kolegům v laboratoři CIIRC za vstřícnost při provádění experimentálních měření na jízdním simulátoru.

Abstrakt

Cílem práce je nalezení kombinace senzorů a akčních členů v systémovém řešení osobního automobilu v 2. stupni autonomního řízení a jejich využití pro minimalizaci rizik v několika aplikačních rovinách. Úvodem se práce zabývá rešerší současných možností použití senzorů a akčních členů v osobních automobilech – tzv. jízdních asistenčních systémů, analýzou trendů ve využití těchto systémů pro inteligentní dopravní systém (ITS). V další části disertační práce předkládá původní experimentální návrh modifikace sensorických sítí a akčních členů pro zvýšení bezpečnosti dopravy. Z provedených experimentů vyplývají tyto hlavní závěry: Práce ukazuje směr, jakým lze zpřesnit analýzu rizikových míst na pozemních komunikacích o doplnění záznamů z dopravních konfliktů, a tím zefektivnit zacílení nápravných opatření k vytvoření bezpečného dopravního systému na pozemních komunikacích dle programu národní strategie bezpečnosti silničního provozu. Dále práce představuje možnosti využití expertního pracoviště, jízdního simulátoru ČVUT, pro analýzu vlivu míry stresu na reakci řidiče v dopravních konfliktech, pro trénink řidičů ve zvládnání konfliktních situací a jako testovací a validační pracoviště HMI prvků osobních vozidel a bezpečnostních asistenčních systémů.

Klíčová slova:

Senzorická síť, akční člen, ADAS, ITS, FMEA, CIIRC, jízdní simulátor, nehoda, dopravní konflikt, bezpečnost silničního provozu, pozemní komunikace, tepová frekvence

Abstract

The aim of this work is to find a combination of sensors and actuators in a system solution of a passenger car in the 2nd stage of autonomous control and their use to minimize risks in several application levels. At the beginning, the thesis deals with the research of the current possibilities of using sensors and actuators in passenger cars - so called driving assistance systems, analysis of trends in the use of these systems for intelligent transport system (ITS). In the next part of the dissertation, the original experimental proposal of modification of sensory networks and actuators to increase traffic safety is presented. The main conclusions of the experiments are as follows: The work shows the direction in which the analysis of risk points on roads can be refined by supplementing the records of traffic conflicts and thus streamlining the targeting of remedial measures to create a safe road transport system according to the National Road Safety Strategy. Further, the thesis presents the possibilities of using an expert

workplace, CTU driving simulator, for analyzing the influence of stress levels on the driver's reaction in traffic conflicts, for driver training in coping with conflict situations and as testing and validation workplace of personal vehicle HMI and safety assistance systems.

Key words:

Sensory network, actuator, ADAS, ITS, FMEA, CIIRC, driving simulator, accident, traffic conflict, road safety, heart rate.

Seznam zkratek

ADAS	Advanced Driver Assistance Systems / Pokročilé asistenční systémy řidiče
ADS	Automated Driving System / Automatizovaný systém řízení
C2C	Car to Car / Vzájemná komunikace mezi vozy
C2X	Car to X / Komunikace vozu s infrastrukturou
CDV	Centrum dopravního výzkumu
CIIRC	Czech Institute of Informatics, Robotics and Cybernetics / Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky
EIA	Environmental Impact Assessment / Posouzení dopadů na životní prostředí
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis / Analýza možných chyb a jejich následků
GNSS	Global Navigation Satellite System / Globální navigační satelitní systém
GPS	Global Positioning System / Globální poziční systém
HDP	Hrubý domácí produkt
HMI	Human Machine Interface / Rozhraní člověk-stroj
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers / Ústav elektrotechniky a elektroniky
IBM	International Business Machines
ITS	Intelligent Transport System / Inteligentní dopravní systém
JDVM	Jednotná dopravní vektorová mapa
NASA	National Aeronautics and Space Administration / Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
NHTSA	the National Highway Traffic Safety Administration / Národní správa bezpečnosti silničního provozu
NIR	Near infrared –/ Bližko infračerveného spektra
NSBSP	Národní strategie bezpečnosti silničního provozu
PP ČR	Policejní prezidium České republiky
RPZ	Rizikové číslo - Risikoprioritätszahl / Číslo priority rizika
RSIA	Road Safety Impact Assessment / Posouzení dopadů na bezpečnost silničního provozu
ŘSDP	Ředitelství služby dopravní policie
SAE	Society of Automotive Engineers / Společnost automobilových inženýrů
USA	United States of America / Spojené státy americké

Obsah

Obsah.....	8
Seznam obrázků.....	10
Seznam tabulek.....	12
Seznam příloh.....	13
1 Úvod do problematiky	14
1.1 Bezpečnost dopravy – strategický cíl vlády České republiky.....	15
1.2 Akční program NSBSP	16
2 Analýza nehodovosti	19
2.1 Policejní statistiky nehodovosti	19
2.2 Statistické vyhodnocení nehodovosti v silničním provozu na pozemní komunikaci	20
2.3 Statistiky nehodovosti ve světě.....	22
2.4 Metodiky hodnocení bezpečnosti.....	23
2.4.1 Preventivní hodnocení bezpečnosti s využitím dat z plovoucích vozidel.....	23
2.4.2 Metodika sledování a vyhodnocování dopravních konfliktů	23
2.4.3 Identifikace kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu	25
2.4.4 Metodika hodnocení dopadu silniční infrastruktury na bezpečnost	26
3 Analýza rizikových situací metodou FMEA.....	27
4 ITS – inteligentní dopravní systém	28
4.1 ITS – možnosti rozvoje a vliv na zvýšení bezpečnosti.....	28
4.2 Bezpečnost ITS – infrastruktura, vozidlo.....	29
4.3 Prvky dopravního systému.....	33
5 Technologie senzorických sítí osobních automobilů.....	34
5.1 Asistenční systémy	34
5.1.1 Komunikace Car2Car	39
5.1.2 Bezpečnostní aplikace	40
5.1.3 Včasné upozornění na nebezpečí kolize	40
5.1.4 Včasné upozornění před kolizí	41
5.1.5 Upozornění na nebezpečné místo.....	41
5.1.6 Navádění a navigace na vyšší úrovni	42
5.1.7 Zprávy o optimální rychlosti jízdy na zelenou	42
5.1.8 C2C pro vozidla integrovaného záchranného systému.....	42
6 Akční členy v osobním automobilu	43
7 Experiment č. 1: Mapa rizikových míst	44
7.1 Zjednodušený model s využitím dat z plovoucích vozidel	44
7.2 Model detekce prudkého brzdění.....	51

8	Experiment č. 2: Jízda po dálnici se simulací rizikových situací	57
8.1	Reakce řidiče osobního vozidla na krizové situace v dálničním provozu.....	58
8.2	Vliv stresu řidiče při řešení krizových situací – subjektivní hodnocení	67
8.3	Vliv stresu řidiče při řešení krizových situací – objektivní měření	77
9	Vyhodnocení a závěr	85
9.1	Možnosti rozvoje pracoviště jízdního simulátoru v budově CIIRC	86
9.2	Doporučení pro úpravu asistenčního systému automobilů	87
9.3	Implementace snímače tepu do sensorické sítě automobilu	87
9.4	Pokračování v analýze dalších rizikových situací	87
9.5	Úprava metodik určování kritických míst na pozemních komunikacích	88
	Použité zdroje a literatura	89

Seznam obrázků

Obr. 1: Přehled plnění strategických cílů NSBSP. Zdroj: ŘSDP PP ČR, CDV	15
Obr. 2: Příklad opatření v oblasti K – Bezpečná pozemní komunikace. Zdroj:[1].....	17
Obr. 3: Příklad opatření v oblasti V – Bezpečné dopravní prostředky. Zdroj:[1].....	17
Obr. 4: Příklad opatření v oblasti Ú – Bezpečné chování. Zdroj:[1]	18
Obr. 5: Odpovědnost za plnění jednotlivých aktivit. Zdroj:[1]	18
Obr. 6: Hlavní příčiny nehod vztahované k celkové nehodovosti. Zdroj: [2].....	19
Obr. 7: Nejčtenější příčiny nehod v roce 2019. Zdroj: [2].....	20
Obr. 8: Příklad parametrizace statistiky nehod v mapě. Zdroj: [3]	21
Obr. 9: Příklad grafického výstupu zobrazených nehod. Zdroj: [3].....	21
Obr. 10: Příklad zaznamenaných údajů o nehodě. Zdroj: [3].....	22
Obr. 11: Pyramida bezpečnosti. Zdroj: [9]	24
Obr. 12: Model inteligentního dopravního systému. Zdroj: [14]	28
Obr. 13: S-křivka inteligentního dopravního systému. Zdroj: Autor	30
Obr. 14: Schéma dopravního systému. Zdroj: Autor	33
Obr. 15: Jízdní asistenční systémy. Zdroj: [14].....	35
Obr. 16: Senzory jízdních asistenčních systémů. Zdroj: [14]	37
Obr. 17: Testovací vůz. Zdroj: Autor	45
Obr. 18: Jednotka dataloggeru umístěná ve voze. Zdroj: Autor.....	45
Obr. 19: Grafické zobrazení situace kritického brzdění. Podélné zrychlení (m/s^2) a čas (s). Zdroj: Autor.....	47
Obr. 20: Rozhodovací schéma zjednodušeného algoritmu. Zdroj: Autor	48
Obr. 21: Místo kritického brzdění dle GPS pozice z dataloggeru. Zdroj: Mapy.cz.....	49
Obr. 22: Snímek místa kritického brzdění. Zdroj: Mapy.cz	49
Obr. 23: Řez 1-2 Závislost podélného zrychlení (m/s^2) -vodorovná osa a příčného zrychlení (m/s^2) - svislá osa. Zdroj: Autor	52
Obr. 24: Řez 1-3 Závislost podélného zrychlení (m/s^2) - vodorovná osa a tlaku na brzdě (bar) - svislá osa. Zdroj: Autor	53
Obr. 25: Řez 1-4 Závislost podélného zrychlení (m/s^2) - vodorovná osa a rychlosti (km/h) - svislá osa. Zdroj: Autor	53
Obr. 26: Řez 2-3 Závislost příčného zrychlení (m/s^2) - vodorovná osa a tlaku na brzdě (bar) - svislá osa. Zdroj: Autor	54
Obr. 27: Řez 2-4 Závislost příčného zrychlení (m/s^2) - vodorovná osa na rychlosti (km/h) - svislá osa. Zdroj: Autor	54

Obr. 28: Řez 3-4 Závislost tlaku na brzdě (bar) - vodorovná osa a rychlosti (km/h) - svislá osa. Zdroj: Autor	55
Obr. 29: Kabina jízdního simulátoru - pracoviště ČVUT Praha, budova CIIRC. Zdroj: Autor	57
Obr. 30: Pohled na jízdní dráhu simulované trati. Zdroj: Autor	58
Obr. 31: Půdorys trati s rozmístěním testovacích situací. Zdroj: Autor	59
Obr. 32: Vyhýbání se překážce. Situace A. Zdroj: Autor	59
Obr. 33: Ovládání infotainmentu za jízdy. Situace B. Zdroj: Autor	60
Obr. 34: Vyhýbání se překážce v mlze. Situace C. Zdroj: Autor	61
Obr. 35: Míjení vozidla v protisměru. Situace D. Zdroj: Autor	62
Obr. 36: Míjení vozidla v protisměru. Situace E. Zdroj: Autor	63
Obr. 37: Struktura řidičů dle pohlaví. Zdroj: Autor	64
Obr. 38: Počet řidičů podle věku. Zdroj: Autor	64
Obr. 39: Řidiči dle doby vlastnictví ŘP. Zdroj: Autor	65
Obr. 40: Řidiči dle ujetých km za rok. Zdroj: Autor	65
Obr. 41: Reálnost simulace dálničního provozu. Zdroj: Autor	67
Obr. 42: Interiér jízdní kabiny. Zdroj: Autor	69
Obr. 43: Projekční plocha, přehled o jízdě. Zdroj: Autor	70
Obr. 44: Reálnost reakcí simulátoru. Zdroj: Autor	71
Obr. 45: Nevolačnost během jízdy. Zdroj: Autor	73
Obr. 46: Vyhnutí se překážce. Zdroj: Autor	74
Obr. 47: Ovládání displeje infotainmentu. Zdroj: Autor	75
Obr. 48: Vyhnutí se vozu v mlze. Zdroj: Autor	75
Obr. 49: Míjení vozidla v protisměru. Zdroj: Autor	76
Obr. 50: Zastavení za kolonu stojících vozidel. Zdroj: Autor	76
Obr. 51: Příklad grafického výstupu - klasifikace situací. Zdroj: Autor	80
Obr. 52: Záznam tepové frekvence - řidič č. 6. Zdroj: Autor	81
Obr. 53: Záznam tepové frekvence - řidič č. 14. Zdroj: Autor	82
Obr. 54: Záznam tepové frekvence - řidič č. 15. Zdroj: Autor	82
Obr. 55: Záznam tepové frekvence - řidič č. 22. Zdroj: Autor	83
Obr. 56: Záznam tepové frekvence - řidič č. 26. Zdroj: Autor	84
Obr. 57: Záznam tepové frekvence - řidič č. 31. Zdroj: Autor	84

Seznam tabulek

Tab. 1: Důležitost požadavků dopravy. Zdroj: Autor.....	32
Tab. 2: Příklad nasbíraných jízdních dat. Zdroj: Autor.....	46
Tab. 3: Jízdní data se zvýrazněným úsekem kritického brzdění. Zdroj: Autor	47
Tab. 4: Příklad nasbíraných jízdních dat z dataloggeru. Zdroj: Autor	51
Tab. 5: Příklad datového výstupu ze simulátoru. Zdroj: Autor	77
Tab. 6: Klasifikace situace A. Zdroj: Autor.....	78

Seznam příloh

Příloha 1: Analýza rizik v dopravě metodou FMEA	93
Příloha 2: Výstupy z mat. modelu – situace A	101
Příloha 3: Výstupy z mat. modelu – situace B	106
Příloha 4: Výstupy z mat. modelu – situace C	111
Příloha 5: Záznamy tepové frekvence řidičů	116
Příloha 6: Příklady vyplněného dotazníku z jízdy na simulátoru	127

1 Úvod do problematiky

Bezpečná doprava na pozemní komunikaci je jednou z priorit nejen vlády České republiky, ale v první řadě nás všech, kteří se dopravujeme po pozemní komunikaci z bodu A do bodu B.

Existuje mnoho aktivit ze strany vládních i nevládních organizací, výrobců automobilů a samozřejmě i uvědomělých účastníků silničního provozu jak bezpečnost dopravy zlepšovat. Pro cílené a účinné zavádění nápravných opatření ke zvýšení bezpečnosti dopravy potřebujeme mít kvalitní a úplný přehled o příčinách rizikových situací, v tomto případě při jízdě automobilu po pozemní komunikaci. Z rešerší v dostupných zdrojích se celosvětově tato analýza provádí dle statistiky zdokumentovaných dopravních nehod nebo lokálně na vytipovaných úsecích pomocí analýzy dopravních konfliktů, tzv. „skoronehod“. Toto sice může, ale nemusí ukazovat reálný stav nebezpečných/rizikových míst v dopravě.

Tato práce si klade za cíl experimentálně ověřit možnost integrace řidiče do systému zaznamenávání dopravních konfliktů a namodelování rozhodovacího mechanismu určujícího kritičnost konkrétní situace v dopravě. Výsledky této práce lze využít jako vstup pro modelování prediktivního chování technického systému vozidla, který by dle informací ze sensorické sítě vozidla a řidiče rozpoznával blížící se nebezpečné chování a pomohl by zabránit potenciální kolizi.

Jsme svědky modernizace dopravních prostředků, integrace bezpečnostních systémů a zavádění inteligentních dopravních systémů, které propojují vozidla s infrastrukturou pro zajištění bezpečnosti a plynulosti dopravy. Na druhé straně se pouze pomalým tempem rozvíjí a modernizuje dopravní infrastruktura, ale neúměrně k tomu roste množství dopravních prostředků, které se na pozemních komunikacích pohybují. Velký vliv na bezpečnost v dopravě (zatím spíše negativní) má používání mobilních datových zařízení k jiným účelům než podpoře řízení. Nevěnování se řízení, vysoká rychlost vozidla a hustota provozu jsou častou kombinací vzniku dopravního konfliktu. Hledání nových a inovativních řešení v oblasti bezpečné dopravy je možnost, jak si i nadále zachovat volnost a svobodu pohybu včetně zvyšujících se požadavků na komfort dopravy v dnešní zrychlené technické době.

1.1 Bezpečnost dopravy – strategický cíl vlády České republiky

V období 2001–2015 bylo na českých silnicích usmrceno více než 13 000 lidí a čtyřikrát tolik bylo poznamenáno zraněními zásadně ovlivňujícími běžný život. Ekonomické ztráty způsobené nehodami a jejich následky znamenají pro stát náklady odpovídající 2 % HDP. [1] To je aktuálně více než roční příspěvek na obranu státu ze státního rozpočtu.

První Národní strategie bezpečnosti silničního provozu (dále jen NSBSP 2010) byla schválena vládou České republiky v roce 2004. V tomto dokumentu si vláda ČR, obdobně jako většina členských států Evropské unie, stanovila cíl snížit počet usmrcených v silničním provozu do roku 2010 na polovinu úrovně roku 2002, tj. na 650 osob. Tento globální cíl nebyl splněn. V roce 2010 došlo ke snížení počtu usmrcených jen o 42,7 % (oproti roku 2002). Ale ani v prodlouženém období do roku 2012 se nepodařilo dosáhnout žádoucího snížení počtu usmrcených, které dosáhlo jen 48,2 %. [1]

NSBSP 2010 poskytuje informace o tom, jakým způsobem jsou definována nápravná opatření mířící ke snižování nehodovosti, kdo má tato opatření prosazovat, jaké jsou důvody neplnění očekávaných přínosů těchto opatření. Těmi jsou nejen větší hustota dopravy či zvýšení přepravních objemů nákladní dopravy, ale i neměnný trend neukázněnosti řidičů a ostatních účastníků silničního provozu v nedodržování pravidel silničního provozu. Přidat můžeme i pomalou modernizaci vozového parku a neexistující nebo nesprávně používané bezpečnostní asistenční systémy vozidel. Podhodnocené investice do infrastruktury, a s tím související nedostatečná propustnost komunikací, vytváří spolu s uspěchanou dobou velký potenciál pro vznik nebezpečných situací v dopravě.



Obr. 1: Přehled plnění strategických cílů NSBSP. Zdroj: ŘSDP PP ČR, CDV

Jak je patrné z obr. 1, kde je zobrazen souhrnný přehled plnění předpokladů strategických cílů NSBSP 2020 do roku 2015 dle druhů komunikací (porovnán rok 2015 s rokem 2009), cíle stanovené v NSBSP 2020 (aktualizovaná verze NSBSP 2010) se nedaří plnit. Ve většině hodnocených kategorií je plnění o více než 10% horší než očekávaný výsledek.

Z hlediska příčin nehod zaujímá dle hodnocení Policie ČR dominantní pozici hlavní příčina nehody souhrnně označovaná jako nesprávný způsob jízdy. Tato skupina v sobě zahrnuje širokou škálu příčin zaviněných řidiči motorových vozidel. Mezi nimi cca jednu třetinu tvoří dílčí příčina – řidič se plně nevěnoval řízení vozidla. Charakteristiky tohoto přestupku však nejsou přesně definovány a jsou také obtížně prokazatelné. Je třeba podrobně tuto příčinu analyzovat a charakterizovat její projevy tak, aby ji bylo možno jednoznačně stanovit. [1]

1.2 Akční program NSBSP

Akční program je realizační částí revize a aktualizace Národní strategie bezpečnosti silničního provozu 2011–2020 s platností od roku 2017. Vychází z **Analytické části** a je podrobným rozpracováním **Strategického plánu** do prováděcího dokumentu. [1]

Podrobně specifikuje jednotlivé aktivity, jejichž realizace směřuje k naplnění základních strategických cílů i podpůrných dílčích cílů. V Akčním programu jsou specifikovány aktivity jak pro subjekty vrcholné státní správy a samosprávy, jejichž odpovědným plněním se předpokládá významné přispění k naplnění NSBSP, tak i pro jednotlivé subjekty působící na poli bezpečnosti silničního provozu, které ji mají ve své náplni. [1]

Akční program je dělen do tří částí zaměřených na základní složky tvořící bezpečný dopravní systém:

- **bezpečná pozemní komunikace** zahrnující inteligentní dopravní systém (dále jen komunikace – **K**),
- **bezpečné dopravní prostředky** (dále jen vozidlo – **V**),
- **bezpečné chování** (dále jen účastník – **Ú**).

KOMUNIKACE					
OPATŘENÍ K1					
APLIKACE EVROPSKÉ SMĚRNICE „BEZPEČNÁ INFRASTRUKTURA“ 2008/96/ES A JEJÍ ROZŠÍŘENÍ NA OSTATNÍ SÍŤ SILNIC					
AKTIVITA	odpovídá				termín
	státní správa	kraje, obce	firmy	NNO	
K1.1 Provádět bezpečnostní audit ve všech fázích projektové dokumentace na novostavbách na síti TEN-T, na ostatní síti minimálně ve Fázi 2 – posouzení Dokumentace pro územní rozhodnutí a Dokumentace pro stavební povolení, u změny dokončených staveb minimálně na dokumentace pro stavební povolení nebo ohlášení stavby. <i>Zaměřeno na dílčí cíl: děti, chodci, cyklisté, motocyklisté, mladí a noví řidiči, stárnoucí populace, nepřiměřená rychlost, nedání přednosti v jízdě, nesprávné předjízdní, nákladní automobily.</i>	MD ŘSD		správci PK		průběžně

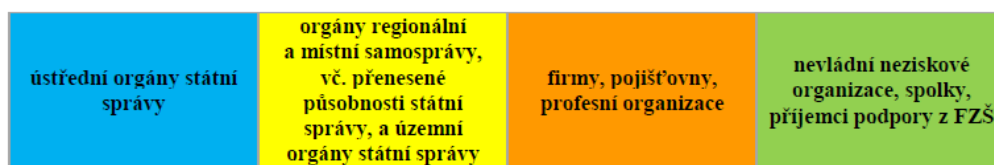
Obr. 2: Příklad opatření v oblasti K – Bezpečná pozemní komunikace. Zdroj:[1]

OPATŘENÍ V2					
ROZŠÍŘENÍ INFORMOVANOSTI ŘIDIČE O MOŽNOSTECH NOVÝCH TECHNOLOGIÍ A JEJICH DOPADU NA BEZPEČNOST					
AKTIVITA	odpovídá				termín
	státní správa	kraje, obce	firmy	NNO	
V2.1 Zvýšit informovanost motoristické veřejnosti o bezpečných, účinných informačních a komunikačních systémech – ITS technologií ve vozidlech (dle doporučení Evropské komise). <i>Zaměřeno na dílčí cíl: motocyklisté, mladí a noví řidiči, stárnoucí populace, nákladní automobily.</i>	MD		AŠ, SBJ	a příjemci podpory z FZŠ	průběžně

Obr. 3: Příklad opatření v oblasti V – Bezpečné dopravní prostředky. Zdroj:[1]

ÚČASTNÍK					
OPATŘENÍ Ú1					
ZAJIŠTĚNÍ PRŮBĚŽNÉHO VZDĚLÁVÁNÍ DĚTÍ					
AKTIVITA	odpovídá				termín
	státní správa	kraje obce	firmy	NNO	
Ú1.1 Materiálně a metodicky podpořit realizaci dopravní výchovy ze strany MD BESIP a zřizovatelů MŠ a ZŠ. Zaměřeno na dílčí cíl: děti.	MD MŠMT				průběžně

Obr. 4: Příklad opatření v oblasti Ú – Bezpečné chování. Zdroj:[1]



Obr. 5: Odpovědnost za plnění jednotlivých aktivit. Zdroj:[1]

Aktivity, které byly v uplynulém období naplněny, již Akční program neuvádí. V Akčním programu je barevně odlišena odpovědnost za plnění jednotlivých aktivit. [1]

NSBSP se zaměřuje na bezpečnou dopravu, což je jiným způsobem vyjádřený a nadřazený strategický cíl mé práce – minimalizace rizik jízdy automobilu po pozemní komunikaci. Z tohoto důvodu tuto strategii považuji za výborný vstupní podklad pro mou práci. Strategii zde stručně popisuji a v dalších částech mé práce na ni ideově navazuji.

2 Analýza nehodovosti

Řešení problému je tak úspěšné, jak důsledně je provedena analýza příčin problému. Pokud chceme řešit problémy v oblasti bezpečnosti dopravy, je důležité analyzovat příčiny dopravních nehod a dopravních konfliktů. [21] V následujících kapitolách jsem se zaměřil na zdroje informací o nehodách, metodiky posuzování nehod a dopravních konfliktů, které se v současné době používají. Tyto vstupy jsem použil v praktické části mé práce – přípravě experimentu sběru jízdních dat a experimentu jízdy na jízdním simulátoru.

2.1 Policejní statistiky nehodovosti

Policie ČR sbírá údaje o nehodách, ke kterým je přivolána. Data poté ze záznamů o nehodách zpracovává a ve formě měsíčních a ročních přehledů zpřístupňuje na webových stránkách. Ve statistikách jsou k dispozici přehledy řazené dle různých kritérií, např. viníků nehod, typu komunikace, druhu dopravního prostředku, příčin a následků nehody atd. Příčina i následek je určen na místě šetřením zasahujících policistů.

Na následujících obrázcích jsou příklady výstupů ze statistiky nehodovosti z roku 2019. [2] Jedná se v prvním případě o statistické porovnání hlavních příčin nehod v podílu k celkové nehodovosti a v druhém případě i výčet nejčtetnějších příčin nehod. Procházením statistik z let 2017 až 2019 je patrné, že příčiny na prvních místech se zásadně nemění, bohužel neklesá ani počet nehod.

Hlavní příčina nehody (jen řidiči mot. vozidel)	počet nehod	podíl na celkovém počtu nehod	usmrceno osob	podíl na celkovém počtu usmrcených	rozdíl usmrcených oproti roku 2018
nepřiměřená rychlost	12 933	15,0	188	37,0	-26
nesprávné předjíždění	1 439	1,7	31	6,1	14
nedání přednosti	13 501	15,6	82	16,1	-2
nesprávný způsob jízdy	58 440	67,7	207	40,7	1

Obr. 6: Hlavní příčiny nehod vztahované k celkové nehodovosti. Zdroj: [2]

Pořadí	Nejčtenější příčiny nehod zaviněných řidiči motorových vozidel	počet nehod
1.	řidič se plně nevěnoval řízení vozidla	17 623
2.	nesprávné otáčení nebo couvání	9 155
3.	jíný druh nesprávné jízdy	8 945
4.	nedodržení bezpečné vzdálenosti za vozidlem	7 231
5.	nepřízpůsobení rychlosti stavu vozovky	5 627
6.	nezvládnutí řízení vozidla	4 826
7.	vyhýbání bez dostatečného bočního odstupu	4 765
8.	nepřízpůsobení rychlosti dopravně technickému stavu vozovky	4 049
9.	nedání přednosti upravené dopravní značkou "DEJ PŘEDNOST V JÍZDĚ!"	3 770
10.	přejetí do protisměru	2 575

Obr. 7: Nejčtenější příčiny nehod v roce 2019. Zdroj: [2]

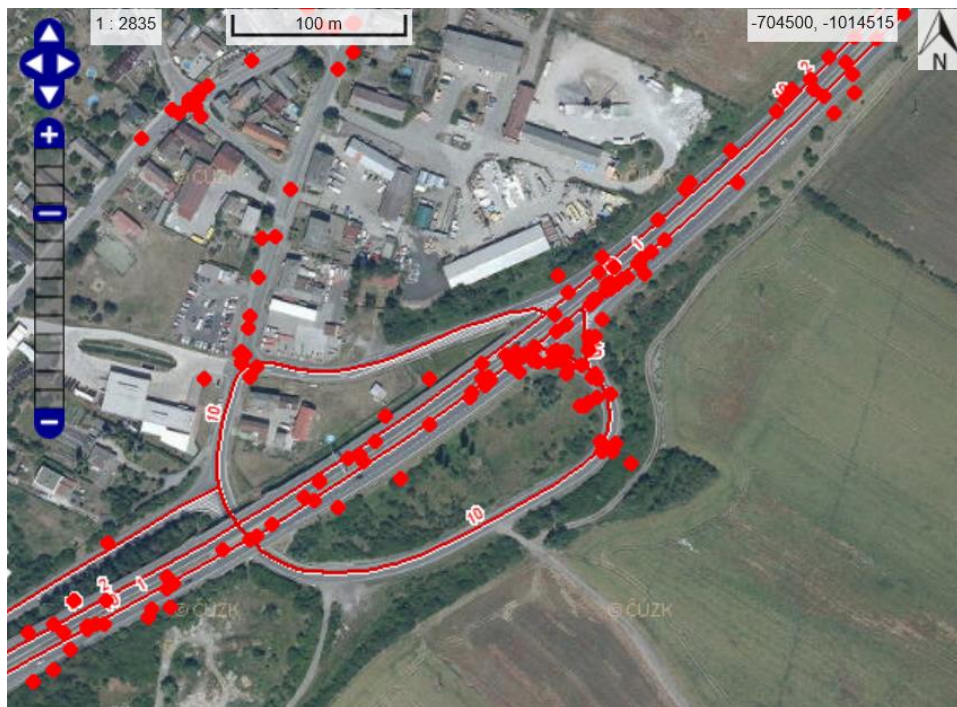
2.2 Statistické vyhodnocení nehodovosti v silničním provozu na pozemní komunikaci

Dalším zajímavým zdrojem informací o nehodách na pozemní komunikaci je Statistické vyhodnocení nehodovosti v silničním provozu na vybrané pozemní komunikaci. [3]

V databázi JDVM jsou údaje o nehodách od 1. 1. 2007. Data o nehodách v silničním provozu jsou průběžně aktualizována dle záznamů Policie ČR. Aplikace využívající této databáze ke statistickému vyhodnocení nehodovosti v silničním provozu ve stanoveném správním území, lokalitě, na vybrané pozemní komunikaci a v okolí vybraného železničního přejezdu, jsou v tematické oblasti: Statistika nehod v mapě. [3]

Parametry pro vyhledávání	Výsledky vyhledávání	Legenda
Číslo nehody:	<input type="text"/>	
Datum od:	01.01.2007 <input type="text"/>	do: 01.01.2010 <input type="text"/>
Druh nehody:	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	<input type="button" value="v"/>
Alkohol:	ano, obsah alkoholu v krvi od 0,5‰ do 0,8‰	<input type="button" value="v"/>
Viditelnost:	ve dne, zhoršená viditelnost (svítání, soumrak)	<input type="button" value="v"/>
Druh vozidla:	osobní automobil bez přívěsu	<input type="button" value="v"/>
Počet vozidel:	je rovno <input type="text" value="2"/>	
Následek nehody: nehody s následkem na zdraví osob	<input type="checkbox"/>	
usmrceno osob:	je rovno <input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
těžce zraněno:	je rovno <input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
lehce zraněno:	je rovno <input type="text"/>	<input type="checkbox"/>
Zavinění nehody:	řidičem motorového vozidla	<input type="button" value="v"/>
Únik hmot:	došlo k úniku pohonných hmot, oleje, chladícího media ap.	<input type="button" value="v"/>
Třída silnice:	dálnice	<input type="button" value="v"/>
Číslo silnice:	<input type="text"/>	Mapa >
Okres (LAU1):	<input type="text"/>	Mapa >
Obec:	<input type="text"/>	Mapa >
Městská část:	<input type="text"/>	Mapa >
Katastrální území:	<input type="text"/>	Mapa >
<input type="checkbox"/> Zobrazit v mapě pouze nehody podle zadaných kritérií		
<input type="button" value="X"/> <input type="button" value="Vyhledat"/>		
Celkový přehled nehod v obvodu vybraného správního území		
Přehled nehod v silničním provozu podle zadaných kritérií v obvodu vybraného správního území		

Obr. 8: Příklad parametrizace statistiky nehod v mapě. Zdroj: [3]



Obr. 9: Příklad grafického výstupu zobrazených nehod. Zdroj: [3]

Charakteristiky řidiče vozidla a příčiny nehody			
Zavinění nehody	řidičem motorového vozidla	Alkohol u viníka nehody	ne
Kategorie řidiče	s řidičským oprávněním skupiny b	Stav řidiče	dobrý - žádné nepříznivé okolnosti nebyly zjištěny
Vnější ovlivnění řidiče	řidič nebyl ovlivněn		
Charakteristiky následků osob - stav do 24 hod			
Usmrceno osob (počet)	0	Těžce zraněno osob (počet)	0
Lehce zraněno osob (počet)	3		
Charakteristiky vozidla, viníka nehody a následků nehody na vozidle			
Počet zúčastněných vozidel	2	Druh vozidla	osobní automobil bez přívěsu
Výrobní značka motorového vozidla	RENAULT	Rok výroby vozidla	03
Vozidlo po nehodě	nedošlo k požáru	Vlastník vozidla	soukromé, nevyužívané k výdělečné činnosti
Celková hmotná škoda (100 Kč)	2400	Škoda na vozidle (100 Kč)	1200
Únik provozních, přepravovaných hmot	žádné z uvedených	Způsob vyproštění osob z vozidla	nebylo třeba užít násilí
Charakteristiky druhu nehody a podmínek nehody			
Charakter nehody	nehoda s následky na životě nebo zdraví	Druh nehody	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem
Druh srážky jedoucích vozidel	z boku	Druh pevné překážky	nepřichází v úvahu, nejde o srážku s pev.překážkou
Hlavní příčiny nehody	nepř. rychlosti dopravně technickému stavu vozovky (zatačka, klesání, stoupání, šířka apod.)	Druh povrchu vozovky	živice
Stav povrchu vozovky v době nehody	povrch suchý, neznečištěný	Stav komunikace	dobrý, bez závad
Povětrnostní podmínky v době nehody	neztížené	Viditelnost	ve dne, viditelnost nezhoršená vlivem povětrnostních podmínek
Rozhledové poměry	dobré	Dělení komunikace	žádná z uvedených
Situování nehody na komunikaci	na jízdním pruhu	Řízení provozu v době nehody	žádný způsob řízení provozu
Místní úprava přednosti v jždě	žádná místní úprava	Specifické objekty v místě nehody	žádné nebo žádné z uvedených
Směrové poměry	přímý úsek po projetí zatačkou (do vzdálenosti cca 100 m od optického konce zatačky)	Místo dopravní nehody	mimo křižovatku
Druh křižující komunikace	neurčeno	Smyk	ne
Směr jízdy nebo postavení vozidla	jedoucí - ve směru staničení na komunikaci		

Obr. 10: Příklad zaznamenaných údajů o nehodě. Zdroj: [3]

Jednotná dopravní vektorová mapa je se svou možností parametrizace a následného grafického a popisného zobrazení nehod výborným nástrojem pro analýzu nehod v mapě.

Tento nástroj však neobsahuje data o nehodách, které se nenahlásí policii ČR a data o dopravních konfliktech, tedy nebezpečných situacích, které neskončily nehodou. V parametrizaci rovněž chybí možnost třídít nehody dle věku řidiče a pohlaví.

2.3 Statistiky nehodovosti ve světě

Statistiky nehodovosti ve světě se opět zaměřují na zdokumentované nehody ze záznamů policie. Zde jsou pouze některé příklady z USA [4], [6], [7] a Velké Británie [5]. Všechny rozvinuté země si uvědomují, jak důležitá je bezpečnost silničního provozu z hlediska ochrany zdraví obyvatel a z pohledu ekonomických ztrát, které tyto nehody přinášejí. Tomu také přizpůsobují své strategie a programy na snížení nehodovosti.

2.4 Metodiky hodnocení bezpečnosti

Centrum dopravního výzkumu v. v. i. v Brně se zabývá problematikou bezpečnosti silničního provozu a zpracovává systematiku hodnocení bezpečnosti ve formě metodik. Tyto metodiky jsem v práci využil jako vstupní informace pro zorientování se v oblasti hodnocení bezpečnosti dopravy.

V následujících kapitolách stručně popisují metodiky, ze kterých jsem čerpal cenné informace a inspiraci pro praktickou experimentální část mé práce.

2.4.1 Preventivní hodnocení bezpečnosti s využitím dat z plovoucích vozidel

Metodika [8] z roku 2017 je určena pro výzkumné pracovníky, kteří se zabývají problematikou hodnocení bezpečnosti silničního provozu a uvažují o využití dat z plovoucích vozidel. Seznamuje nás s dostupnými daty, způsoby sběru a potenciální využitelností pro hodnocení bezpečnosti silničního provozu. Obsahuje také rešerši způsobů vyhodnocení těchto dat i konkrétní příklad sběru a vyhodnocení, využitelného jak pro hodnocení jízdního stylu řidičů, tak pro identifikaci kritických míst silniční sítě.

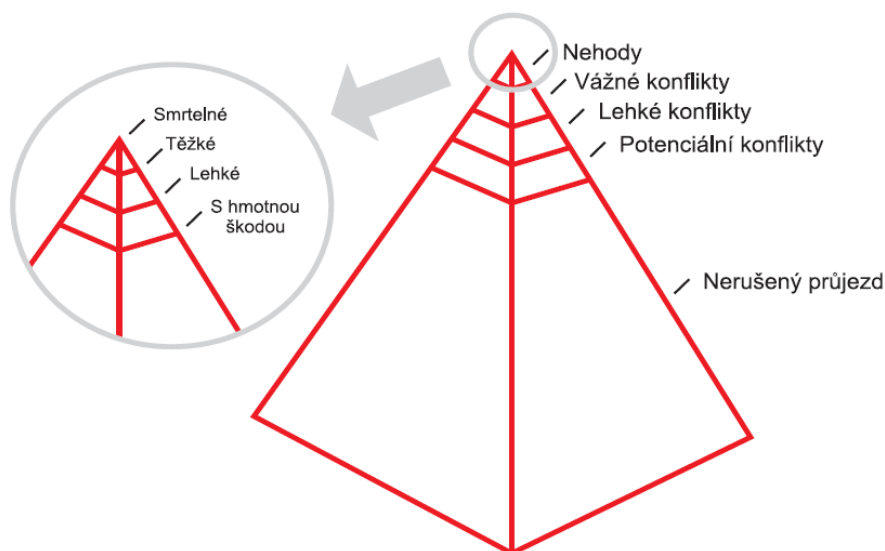
Společným prvkem metodiky a mé práce je použití jízdních dat a snaha vytvoření mapy kritických úseků. Metodika se zaměřuje na porovnání podélného a příčného zrychlení ve vztahu k rychlosti a průběhu jízdní dráhy – návaznosti přímých úseků a směrových oblouků. Je pro mou práci přínosná, neboť ukazuje, že zvolený směr mé práce je správný. Použiji z ní informace o hodnotách příčného zrychlení, které uvádějí běžný jízdní styl. Na druhé straně může aktualizace metodiky využít výstupy z mého výzkumu. Oproti metodice používám v druhé fázi experimentu č. 1 navíc parametry: Tlak na brzdě a Náklon vozidla, které by měly zkvalitnit klasifikaci rizikových úseků začleněním dalších informací - senzorů vozidla.

2.4.2 Metodika sledování a vyhodnocování dopravních konfliktů

Metodika [9] popisuje nutnost hledat i další zdroje informací o rizikových situacích v dopravě, metodicky správně nazvaných dopravními konflikty, kdy dle definice nedochází k nehodě, která by byla zaznamenána ve statistice nehodovosti, ale dopravní konflikt je v metodice definován jako pozorovatelná situace, při které se k sobě dva nebo více účastníků silničního

provozu přiblíží v prostoru a čase natolik, že hrozí riziko kolize, pokud se jejich pohyb nezmění. Výskyt konfliktů se zjišťuje pozorováním na hodnoceném místě (nebo z pořízeného videozáznamu), kdy pozorovatelé registrují konflikty a následně je klasifikují a hodnotí jejich závažnost. [9]

V metodice je uvedena i tzv. pyramida bezpečnosti, zahrnující celé spektrum událostí v provozu: od nerušených průjezdů přes konflikty až po nehody. Zúžování pyramidy naznačuje zvyšování závažnosti událostí a jejich následků, zároveň však jejich klesající četnost. [9]



Obr. 11: Pyramida bezpečnosti. Zdroj: [9]

Z toho je zřejmé, že konfliktů se vyskytuje mnohonásobně více než nehod. Zároveň se jedná o primární data, která shromažďuje hodnotitel na míru svým potřebám. Protože jsou velmi četné, hodnocení na jejich základě může být rychlé. Zároveň však platí typické omezení primárních dat: konflikty nelze shromažďovat plošně a rutinně; jejich časový a územní rozsah je omezený možnostmi hodnotitele a jeho kapacitami. [9]

Tato metodika sledování a vyhodnocování dopravních konfliktů je založena na principu sledování určitého vytipovaného dopravního místa z externího pohledu buď proškolenými pozorovateli, nebo umístěním videokamer nasměrovaných na pozorované místo. Konflikty a nehody jsou pozorovány z vnějšku, chybí zde údaje o příčinách konfliktu přímo z vozidla, ať už ze sensoriky vozidla nebo řidiče. U nehody se v protokolu o nehodě mohou dodatečně příčiny nehody uvést, u konfliktních situací je z vnějšku můžeme pouze odhadovat s x-procentní úspěšností danou zkušenostmi hodnotitele.

2.4.3 Identifikace kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu

Metodika [10] shrnuje nový přístup k identifikaci kritických míst, jenž si bere vzor ze zahraničí a v ČR nebyl v době vydání 2012 použit. Zásadní rozdíl oproti tradičním metodám spočívá ve využití tzv. očekávaného počtu nehod k predikci nehodovosti. V současné době jsou kritická místa identifikována na základě zaznamenaných dopravních nehod, což neumožňuje uvažovat vliv regrese k průměru. Nový způsob je založen na statistice a poskytuje spolehlivější výsledky než tradiční metody. Nově byla použita metoda modelování dopravní nehodovosti (tzv. predikčním modelováním). Predikční modely byly vyvíjeny od 80. let 20. století a to především ve Spojených státech, Kanadě a západní Evropě. [10]

V metodice se nově pracuje s pojmem bezpečnost dopravy. [10] Bezpečnost je výsledkem kombinace rizika a expozice a vychází ze základního vztahu:

$$\text{Bezpečnost dopravy} = \text{riziko} * \text{expozice}$$

Bezpečnost se vyjadřuje počtem osobních nehod. Expozice představuje míru vystavení se riziku. Mezi nejčastější jednotky expozice patří počet obyvatel, vozidel, řidičů, ujetých kilometrů nebo doba strávená v provozu. Aby byly hodnoty srovnatelné, vztahují se ukazatele bezpečnosti k času t , tak vzniká četnost nehod. [10]

Očekávaný počet nehod se stanovuje pomocí predikčních modelů nehodovosti. Jedná se o odhad dlouhodobého průměrného počtu nehod na lokalitách podobných parametrů (shodný počet jízdních pruhů, šířky krajnice, podobných intenzit dopravy atd.). [10]

Postupy popsané v této metodice mohou při své aplikaci přispět ke zkvalitnění a zpřesnění identifikace kritických míst na síti pozemních komunikací. Dále umožňují seřadit identifikovaná místa podle jejich závažnosti. Tím se naskytá možnost zefektivnění využívání finančních prostředků vyhrazených na zavádění opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu. Tento postup zároveň snižuje možnost zkreslení identifikace vlivem náhodných variací. Je tedy možno vybrat k řešení skutečně nejproblematictější místa v rámci dostupných finančních prostředků.

Opět i tato metodika predikuje vývoj nehodovosti na základě zaznamenaných dopravních nehod. Kdyby pracovala s modelem doplněným i o dopravní konflikty, jejichž systematickým zachycením se zabývám ve své práci, mohla by zpřesnit model nehodovosti a mapu kritických míst v silniční síti.

2.4.4 Metodika hodnocení dopadu silniční infrastruktury na bezpečnost

Tato metodika [11] z roku 2017 se zabývá zaváděním nástroje RSIA do praxe. Cílem RSIA je variantní analýza dopadů nových pozemních komunikací nebo významných změn stávajících komunikací na bezpečnost ovlivněné silniční sítě. RSIA umožní výběr varianty, která bude z hlediska bezpečnosti optimální. Analýza pomocí nástroje RSIA pomůže již při navrhování silniční infrastruktury zhodnotit bezpečnostní rizika tak, aby pozemní komunikace byly budovány s ohledem na bezpečnost dopravy. [11]

3 Analýza rizikových situací metodou FMEA

Rizik a chyb v každodenní dopravě je mnoho. Metoda, která se zabývá nejefektivnějším způsobem odstranění chyb, tj. jejich předcházením, je metoda FMEA. [12] Je to vynikající nástroj na analýzu příčin především koncepčních problémů. Bohužel se jedná o málo využívanou metodu, protože vyžaduje značnou důslednost při jejím provádění. V našem případě jsem použil metodu FMEA (analýzu rizik) při návrhu nových systémů, produktů nebo procesů na obecná rizika v pozemní automobilové dopravě. Metoda vznikla a byla poprvé popsána v USA. První zmínka o nasazení metody FMEA je spojena s armádní zakázkou v Bellových laboratořích ve 40. letech minulého století, dále se uplatnila o 20 let později při vesmírném programu NASA a odtud se rozšířila do mnoha odvětví.

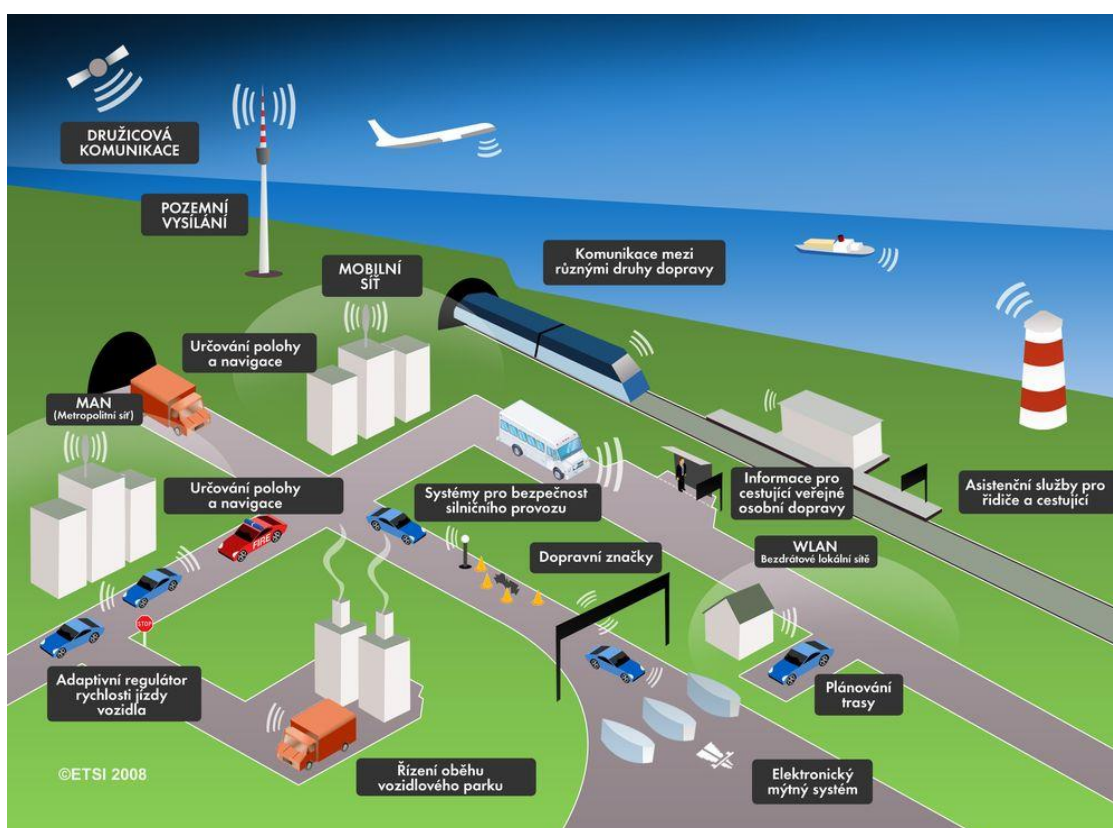
Původní výsledky FMEA rizikové analýzy uvádím detailně v příloze č. 1.

Musím zdůraznit, že analýza FMEA nám ukazuje možná rizika. Dopady (důsledky) těchto rizik ještě nenastaly, ale právě rizikové číslo RPZ udává, jaká je pravděpodobnost, že se problém (možné riziko) objeví. Z analýzy FMEA (viz příloha č. 1) vyplývá, že největší rizika najdeme v oblasti bezpečnosti dopravy. Nehody v dopravě jsou nejvíce sledované události, mají nejzávažnější dopad, a pokud uvažujeme o inteligentním dopravním systému, musí platit, že tento systém bude především bezpečný. Podle statistik zemře jen na silnicích každoročně po celém světě 1,25 milionu lidí. [13] Proto např. doporučené opatření směřované k inovaci povrchu vozovky tak, aby se co nejvíce přiblížila pojmu „smart road“ [23], by mohlo být vedle rozvoje autonomních vozidel prioritním cílem rozvoje dopravy a dopravních systémů do budoucna.

Analýza možných rizik FMEA mi pomohla v úvodní etapě mé práce se zorientováním se v problematice rizik dopravy. Ideově mě spolu s ostatními studii nasměřovala při návrhu experimentů provedených v rámci této práce.

4 ITS – inteligentní dopravní systém

ITS – Inteligentní dopravní systém se skládá z prvků, např. dopravních prostředků a z infrastruktury. Ty spolu dokáží komunikovat a předávat si informace o ostatních účastnících dopravy a různých překážkách. Inteligentní dopravní prostředek si s nimi musí umět poradit za všech běžných povětrnostních podmínek. Ať už se jedná o autonomní vozidlo nebo řidičem ovládané vozidlo s podporou asistenčních systémů.



Obr. 12: Model inteligentního dopravního systému. Zdroj: [14]

4.1 ITS – možnosti rozvoje a vliv na zvýšení bezpečnosti

Shrnutím odborných podkladů (především [15], [16], [17], [38], [39], [40]), zabývajících se problematikou autonomních vozů, je zřejmá snaha výrobců uvést na trh technologii, která by byla bezpečná pro posádku vozu a okolí a zároveň ekonomicky dosažitelná pro široké masy zákazníků, nejen pro bohatou klientelu. Pouze masové rozšíření autonomních vozů přinese efekt nesoucí s sebou bezpečnost dopravy, snížení emisí a umožnění samostatné přepravy osobním vozem i skupinám osob, které by v současné době nedostaly řidičské oprávnění. [22]

Pokud hovoříme o inteligentním dopravním systému, je autonomní vůz pouze jedním z prvků systému. Stejným směrem se musí ubírat i rozvoj infrastruktury, bez které bude efektivita autonomních vozů poloviční. Alespoň v prvních fázích, než se umělá inteligence těchto vozů naučí reagovat na chybějící vodorovné značení silnic nebo cíl cesty mimo navigační data. Významnou roli budou hrát vedle požadavků bezpečnosti posádky (safety) i požadavky na řídicí systém komunikující obousměrně s okolím, připojený k internetu (security). Zneužití ovládání vozu hackerem na dálku je a bude hrozbou s obrovskými potenciálními důsledky. [18]

4.2 Bezpečnost ITS – infrastruktura, vozidlo

V analýze ITS definuji požadavky na inteligentní dopravní systém. Pomocí měkkých nástrojů stanovení priorit určuji i váhy (důležitost, priorita) jednotlivých požadavků. Připravil jsem schéma dopravního systému (kap. 4.3 obr. 14) s logickými vazbami mezi prvky systému, které mi sloužily jako vstupy pro analýzu rizik dopravy metodou FMEA. Zde je z pohledu výše hodnocení rizikového čísla nejzajímavější oblast bezpečnosti dopravy.

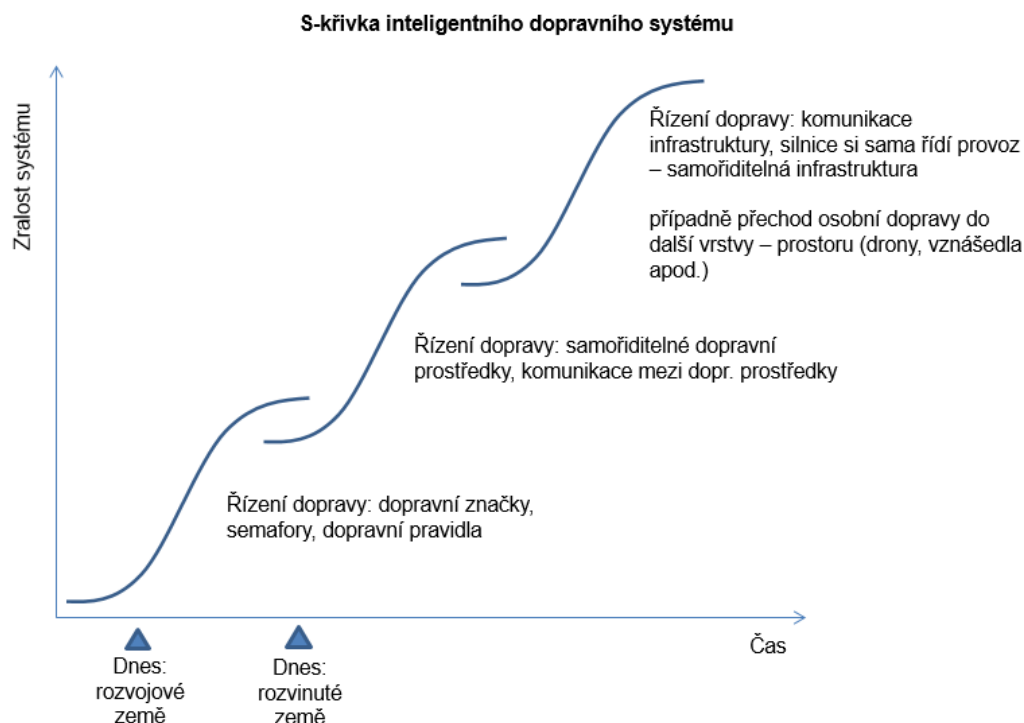
Společnost IBM definovala pět technologických inovačních trendů, které změní náš život [19]:

1. vzdálený přístup k zdravotnické péči,
2. inteligentní mobilní telefony,
3. automatický překlad řeči v reálném čase,
4. trojrozměrný internet,
5. nové technologie orientované na životní prostředí (např. nanotechnologie).

Každý z těchto bodů nějakým způsobem odebírá smysl klasickému pojetí dopravy, tj. přepravy z bodu A do bodu B s konkrétním cílem (návštěva lékaře, setkání se s ostatními lidmi, poznávání neznámých míst, doprava zboží). Klasické pojetí dopravy bude ustupovat a budou vznikat nové prostory uplatnění dopravy. [22] Jim se musí doprava přizpůsobit.

Z tohoto důvodu se v další části své práce budu věnovat inovativním řešením problémů vzniklých z FMEA analýzy. Chci využít senzorickou síť vozu a akční členy ke zvýšení bezpečnosti dopravy. Tyto aktivity sledují nastupující S-křivku inteligentního dopravního systému – autonomní dopravní prostředky. Nejvyšší S-křivka ukazuje možný rozvoj systému dopravy, ve kterém si požadavky dopravy na bezpečnost, plynulost, rychlost a hospodárnost buď bude řídit sama dopravní trasa/komunikace, což je otázkou vzdálenější budoucnosti, nebo

bude nahrazena jiným typickým pravidlem přestupu systému na vyšší úroveň (přestupu většiny dopravy z 2D na 3D, tedy posunutí nad úroveň pozemní dopravy do vzdušného prostoru).



Obr. 13: S-křivka inteligentního dopravního systému. Zdroj: Autor

Základem analýzy je definování požadavků na ideální dopravní systém z pohledu uživatele tohoto systému.

Ideální ITS pracuje z velké části autonomně a v každém okamžiku plní aktuální požadavky dopravy. Abychom se dostali k ideálnímu systému, musíme se zaměřit v první fázi na požadavky na systém, v našem případě na dopravu.

Mezi základní požadavky dopravy z bodu A do bodu B patří:

- rychlost,
- plynulost,
- bezpečnost,
- hospodárnost,

- ekologičnost,
- komfort,
- dosažitelnost,

a to v případech jak dopravy osob, tak i předmětů (zboží).

Mezi další požadavky, které zdůrazňují samotný princip dopravy a stojí za rozvojem dopravy osob, tedy cestováním, patří:

- svoboda pohybu,
- možnost poznávat a objevovat.

Rychlost dopravy – relativní veličina, kterou každý účastník dopravy vnímá jinak. Cílem je zajistit takovou rychlost dopravy, která zároveň pomůže kladně ovlivnit ostatní požadavky na dopravu.

Plynulost dopravy – základní princip dopravy. Nejčastější problém plynulosti dopravy je dopravní zácpa v hustě obsazených aglomeracích nebo nevhodně navržená úzká místa průchodnosti silničních komunikací.

Bezpečnost dopravy – je závislá hlavně na rychlosti dopravy a dodržování pravidel chování všech účastníků dopravy.

Hospodárnost dopravy – parametr ovlivňující spotřebovanou energii na přepravu z bodu A do bodu B a opotřebení všech dopravních prvků.

Ekologičnost dopravy – souvisí s hospodárností, přidává požadavek na minimální zatížení okolí hlukem, sáláním tepla, emisemi a minimalizací potřebné infrastruktury.

Komfort dopravy – zahrnuje dopravu bez otřesů s nastavitelným klimatem dle požadavku cestujících a s možností věnovat se během cestování dalším činnostem, zábavě, odpočinku.

Dosažitelnost dopravy – ideálním dopravním prostředkem lze dosáhnout jakékoliv myslitelné místo na Zemi.

Pro určení priority jednotlivých požadavků jsem použil metodu párového srovnání, tedy metodu určování priorit porovnáváním dvojice parametrů. V následující tabulce je vidět, že bezpečnost dopravy je dle očekávání na prvním místě z pohledu důležitosti, na posledním

skončila rychlost dopravy, což potvrzuje i fakt, že více než rychlost dopravy je důležitější její plynulost.

Požadavky dopravy	Rychlost	Plynulost	Bezpečnost	Hospodárnost	Ekologičnost	Komfort	Dosažitelnost	Součet bodů
Rychlost	-	1	0	0	0	0	1	2
Plynulost	1	-	0	2	1	1	2	7
Bezpečnost	2	2	-	2	2	2	2	12
Hospodárnost	2	0	0	-	1	1	1	5
Ekologičnost	2	1	0	1	-	1	2	7
Komfort	2	1	0	1	1	-	1	6
Dosažitelnost	1	0	0	1	0	1	-	3

Tab. 1: Důležitost požadavků dopravy. Zdroj: Autor

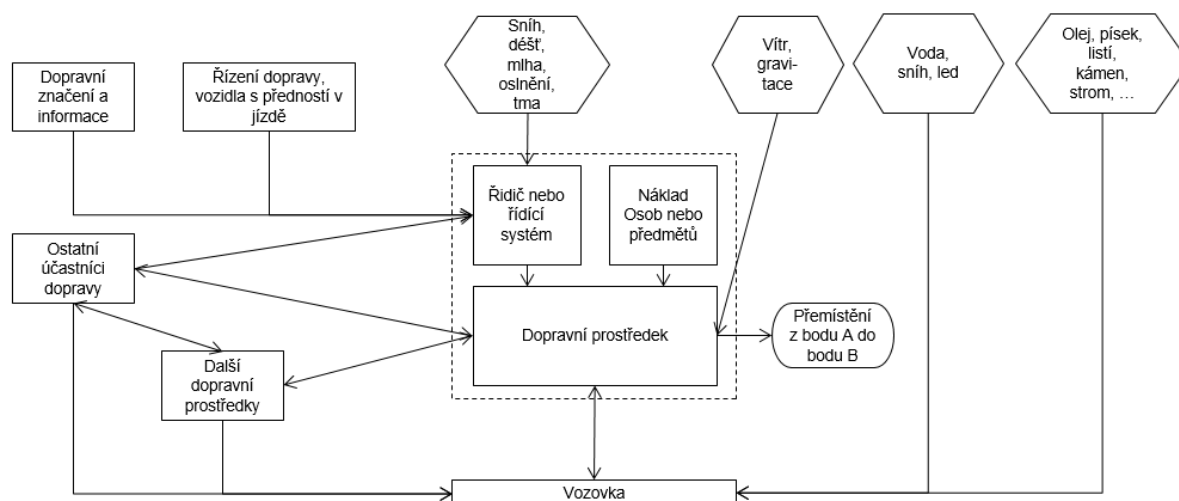
Legenda k tabulce 1: 0 – Parametr v řádku je méně důležitý než parametr ve sloupci

1 - Parametr v řádku je stejně důležitý jako parametr ve sloupci

2 - Parametr v řádku je důležitější než parametr ve sloupci

4.3 Prvky dopravního systému

Pro pochopení vazeb a vlivů působících na dopravu jsem vytvořil schéma dopravního systému:



Obr. 14: Schéma dopravního systému. Zdroj: Autor

Dopravní systém se skládá z dopravních prostředků, infrastruktury, uživatelů dopravních prostředků, okolního prostředí (ostatních účastníků dopravy) a vnějších vlivů (vlivy počasí, cizí předměty). Dopravní systém plní hlavní funkci: umožnit přemístění z bodu A do bodu B.

Pokud zohledníme další pravidlo, že ideální systém se rovnoměrně rozvíjí ve všech částech, je patrné, že k ideálnosti dopravy máme daleko. Dopravní prostředek, řídicí systém i řízení dopravy jsou na vzestupném trendu rozvoje. Na opačném pólu se nachází vozovka. Existuje několik inovačních řešení v úpravě povrchu vodorovného značení vozovky – zdrsnění krajních pruhů nebo integrace smyček pod povrch silnice na křižovatkách umožňující průjezd vozů s předností jízdy či funkce indukčního dobíjení elektromobilů, ale to je minimum inovací oproti ostatním prvkům systému.

5 Technologie senzorických sítí osobních automobilů

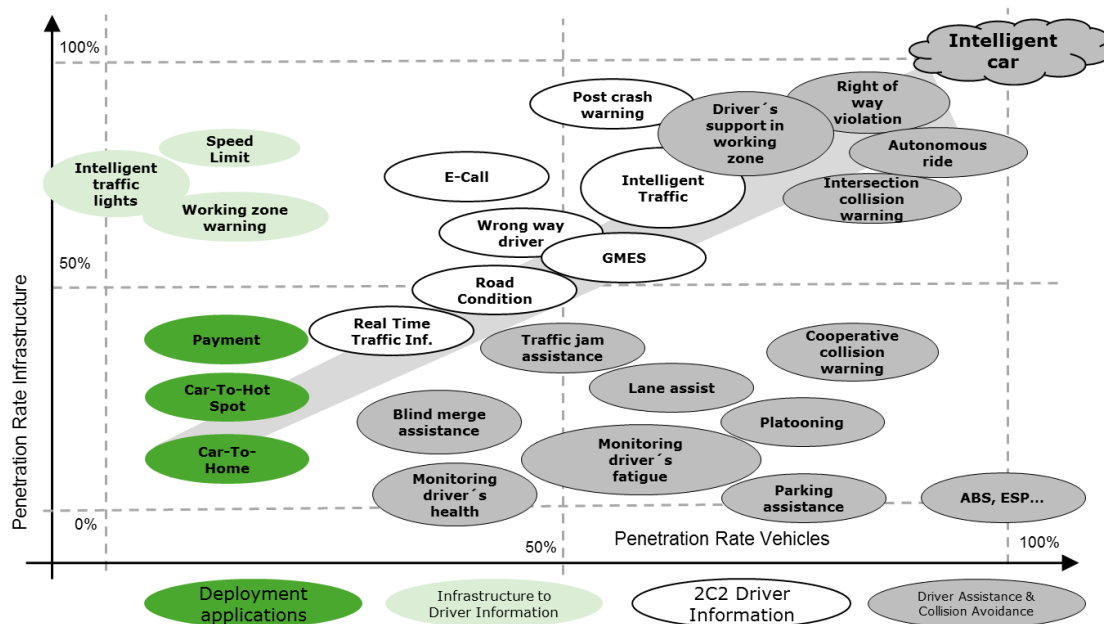
S novými možnostmi rozvoje komunikačních technologií a rozvíjejícím se fenoménem autonomních vozidel jsou senzorické sítě a akční členy pro výrobce vozidel nejen blízkou budoucností, ale v mnoha případech i běžnou současností [38], [41], [42].

V této oblasti leží velký potenciál pro inovativní řešení. V současnosti provází vývoj autonomních dopravních prostředků jakožto nejvyššího stupně použití senzorických sítí a akčních členů v ITS velký rozvoj. Ten je však spojen se spoustou problémů, ať již u dopravních prostředků samotných nebo při komunikaci těchto prostředků mezi sebou C2C nebo s infrastrukturou C2X. [40]

Pokud chceme podat přehled senzorických sítí osobního automobilu, měli bychom začít od prostředí (nadřazeného systému), do kterého tyto prvky spadají. Zde je jednoznačným trendem co nejvíce automatizovat jízdní úkony a pohyb automobilu po pozemní komunikaci. Pokud se zmiňujeme o nadřazeném systému, hovoříme o inteligentním dopravním systému ITS, do něhož řadíme dopravní prostředky a infrastrukturu vzájemně komunikující na úrovni C2C a C2X.

5.1 Asistenční systémy

Asistenční systémy doprovází moderní vozidla spolu s rozvojem elektronických systémů obecně. Podporují a usnadňují řidiči jízdu, parkování, případně celou kontrolu nad stavem vozidla. Usnadňují jízdní komfort a především bezpečnost dopravy. Od samostatně používaných systémů vozidel se přechází k vzájemnému provázání komunikace nejrůznějších systémů mezi vozidly a mezi infrastrukturou. [40]



Obr. 15: Jízdní asistenční systémy. Zdroj: [14]

ACC (Adaptive Cruise Control) - automatické udržování vzdálenosti mezi vozidly

Autonomous ride – autonomní řízení vozidla

Blind merge assistance – hlídání mrtvého úhlu v bočních zpětných zrcátkách

Car-To-Home – propojení (komunikace) zaparkovaného vozidla s domácí sítí

Car-To-Hotspot – internetové připojení vozidla

Cooperative intersection collision warning – propojení prvků dopravního systému varující před možnými kolizemi vozidla

Driver's support in working zone – systém podpory řidiče při průjezdu úsekem opravované komunikace

eCall – automatické přivolání pomoci při nehodě (kolizi) vozidla

GMES (Global Monitoring system environment) – systém zahrnující údaje o pozorování stavu atmosféry, hydrosféry, geosféry a ostatních možných vlivů země na dopravu

Intelligent traffic – inteligentní doprava, dopravní systém

Intelligent traffic lights – inteligentní řízení světelné signalizace v dopravě

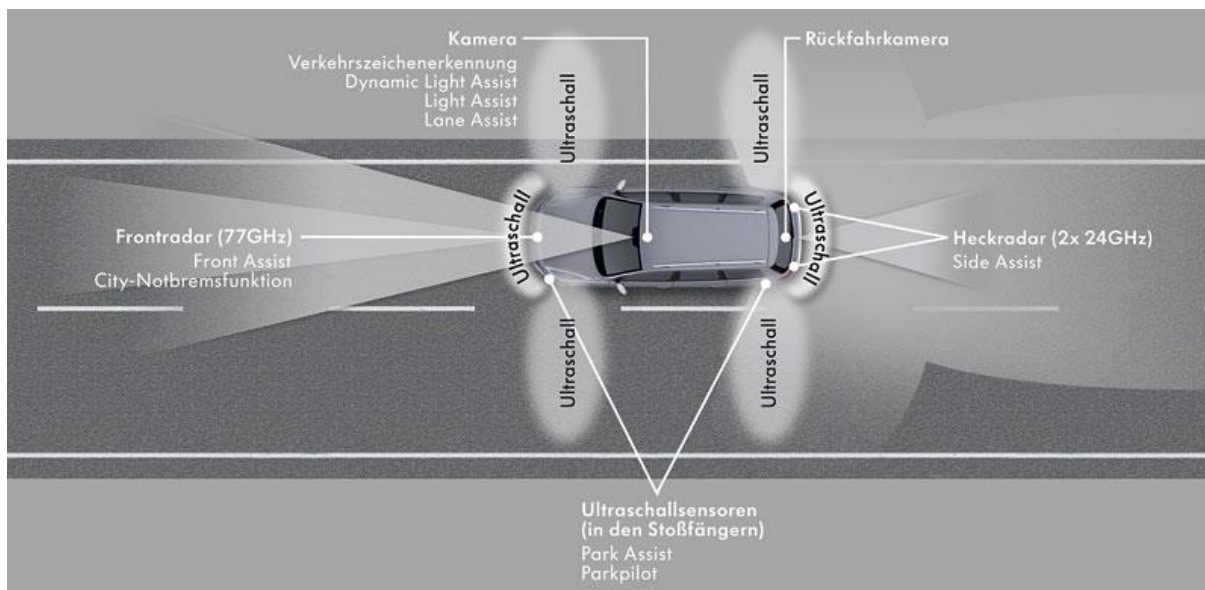
Intersection collision warning – varování před kolizí na křižovatkách

Lane Assist – asistent udržování vozidla v jízdním pruhu

- Monitoring driver's health – monitorování zdravotního stavu řidiče
- Monitoring driver's fatigue – monitorování únavy řidiče
- Multicollision assist – multikolizní brzdový asistent
- Parking assistance – parkovací asistent
- Payment – placení mýta vozidlem
- Platooning – automatické následování vepředu jedoucího vozidla
- Post crash warning – varování o nehodě pro ostatní řidiče
- Real time traffic inf. – dopravní informace v reálném čase
- Right of way violation – varování při jízdě v protisměru
- Road condition – informace o stavu silnic, počasí atd.
- Speed limit – informace o aktuálně povolené nejvyšší rychlosti
- Traffic jam assistance – asistent jízdy v dopravní zácpě
- Traffic sign recognition – rozpoznávání svislého dopravního značení
- Working zone warning – varování před úsekem vozovky v opravě (práce na silnici)
- Wrong way driver – varování o řidiči jedoucím v protisměru na dálnici

Zdroj: [14]

Senzorika jízdních asistenčních systémů vozidla se skládá především z ultrazvukových sonarů, radarů (v mikrovlnném pásmu elektromagnetického spektra), lidarů (de facto radarů v blízké infračervené (NIR) části elektromagnetického spektra) a kamer. Řídicí systém využívá signálů přicházejících z těchto senzorů a dává povely akčním členům vozidla dle aktuálních stavů parametrizace zadané řidičem vozidla [41], [42].



Obr. 16: Sensory jízdních asistenčních systémů. Zdroj: [14]

Evoluce bezpečnostních a komfortních prvků automobilů bývá nejčastěji rozdělena do následujících pěti časových etap [17] :

1. Prvky používané v automobilech v období 1950–2000 jsou zaměřeny na bezpečnost a jízdní komfort, např. posilovač řízení, bezpečnostní pásy, antiblokovací brzdový systém.
2. V období 2000–2010 se rozvíjí pokročilejší bezpečnostní funkce, např. elektronická stabilizace podvozku, hlídání mrtvého úhlu ve zpětném zrcátku, varování před kolizí a varování při opuštění jízdního pruhu.
3. Období 2010–2016 je specifické pro rozvoj pokročilých jízdních asistenčních systémů, např. parkovací kamera, automatické zastavení vozu v případě nebezpečí, zastavení vozu zejména v případě hrozící kolize s chodci.
4. Současné období 2016–2025 je zaměřeno na rozvoj částečně automatizovaných bezpečnostních a komfortních prvků, např. vedení vozu v jízdním pruhu, adaptivní tempomat, asistent jízdy v kolonách, systém automatického parkování.
5. Přibližně od roku 2025 se očekává příchod plně automatizovaných bezpečnostních funkcí automobilu, např. dálniční autopilot.

Výše uvedené etapy ukazují praktické nasazení prvků na trhu, nejen laboratorní testování. Již dnes se s výsledky 5. etapy setkáváme. Do automatizace a umělé inteligence řídicích systémů automobilů investují jak výrobci automobilů, tak i technologické firmy typu Google, Microsoft nebo Uber.

Cesta k plně automatickému řízení automobilů bývá členěna na těchto šest stupňů dle SAE. [17]

- Stupeň 0 Bez automatizace řízení. Řidič se plně věnuje všem činnostem řízení automobilu.
- Stupeň 1 Jízdní asistence při řízení. Pokročilý systém asistence řidiče (ADAS) ve vozidle může někdy pomoci řidiči buď řízením, nebo brzděním/zrychlením, ale nikoliv současně.
- Stupeň 2 Částečná automatizace řízení. Pokročilý systém asistence řidiče (ADAS) ve vozidle může sám za určitých okolností ovládat řízení i brzdění/akceleraci současně. Řidič musí vždy věnovat plnou pozornost vozidlu a provádět zbytek jízdního úkonu.
- Stupeň 3 Podmíněná automatizace řízení. Automatizovaný řídicí systém (ADS) na vozidle může za určitých okolností provádět všechny aspekty řízení. Za těchto okolností musí být řidič připraven kdykoli převzít zpět řízení, když ADS požádá řidiče, aby tak učinil.
- Stupeň 4 Pokročilá automatizace řízení. Automatizovaný řídicí systém (ADS) na vozidle může za určitých okolností provádět všechny jízdní úkony a sledovat jízdní prostředí - v zásadě provádí veškerou jízdu. Člověk nemusí za těchto okolností věnovat pozornost řízení.
- Stupeň 5 Plně automatizované řízení. Automobilový řídicí systém (ADS) ve vozidle může za všech okolností provádět veškerou jízdu. Cestující jsou pouze cestujícími a nikdy nesmějí být zapojeni do řízení.

Přínosy zavedení plně automatizovaného řízení se projeví v mnoha oblastech. V oblasti bezpečnosti je očekáváno snížení úrazů a nehod, neboť přes 90% vážných nehod je způsobeno lidskou chybou. V ekonomické oblasti bude přínosem snížení nákladů na opravy vozidel a infrastruktury po haváriích a náklady na léčení účastníků nehod. Zároveň během cestování autonomním vozidlem lze řešit pracovní úkoly obdobně jako cestou vlakem nebo autobusem. Provázáním inteligentního systému dopravy s autonomními vozy se sníží dopravní zácpy, spotřeba paliv i emise. Kladem bude také zachování mobility lidí starší generace a lidí se zdravotním omezením. [17]

Na druhé straně je rizikem autonomních vozů právě připojení k datové komunikaci s vnějším okolím a s tím spojená možnost kybernetického útoku na ovládnutí vozidla hackerem. Tímto rizikem se zabývá cybersecurity – automobilová kybernetická bezpečnost. Vzhledem k tomu,

že informační technologie jsou stále více integrovány do každodenního života, roste i naše závislost na následných informačních systémech. Chceme mít stále více informací. Na druhé straně však zaznamenáváme nárůst zranitelnosti a možných útoků na tyto systémy. Cybersecurity vylepšuje jejich ochranu i informací obsažených v nich. Pokud ji aplikujeme na vozidla, cybersecurity převezme ještě důležitější roli: systémy a součásti, které řídí bezpečnost, budou chráněny před škodlivými útoky, neoprávněným přístupem, poškozením nebo jakýmkoli jiným způsobem, který by mohl narušit bezpečnostní funkce vozidla. [18]

Metody počítačové bezpečnosti podporují vícevrstvý přístup ke kybernetické bezpečnosti se zaměřením na vstupní body vozidla, a to jak bezdrátové, tak kabelové, které by mohly být potenciálně ohroženy kybernetickým útokem. Vrstvený přístup ke kybernetické bezpečnosti vozidla snižuje možnost úspěšného kybernetického útoku a možné následky úspěšného vniknutí. Komplexní a systematický přístup k vývoji vrstvené ochrany kybernetického zabezpečení pro vozidla zahrnuje následující:

1. Upřednostněn je identifikační a ochranný proces pro bezpečnostně kritické systémy řízení vozidla.
2. Koncentrace na včasné odhalení a rychlou reakci na případné incidenty kybernetické bezpečnosti vozidel.
3. Architektura systémů, metody a opatření musí být navrženy tak, aby odolaly útokům, případně umožnily rychlé zotavení se po útocích.
4. Metody účinného sdílení informací v celém odvětví kybernetické bezpečnosti usnadní rychlejší přijetí ochranných opatření a sdílení získaných zkušeností v celém odvětví automobilového průmyslu. [18]

5.1.1 Komunikace Car2Car

Každé vozidlo, které bude začleněno do systému Car2Car, bude muset obsahovat sadu povinných senzorů, které budou poskytovat informace o:

- pozici (přijímač GNSS),
- rychlosti vozidla,
- směru jízdy,
- zapnutí výstražných světel,

- brzdovém výkonu (zpomalení vozidla),
- stavu ABS, ESP a ASR.

První tři údaje jsou vyžadovány systémem C2C, aby mohl fungovat, a dále mohou být použity pro celou řadu dalších aplikací. Ostatní informace mohou sloužit pro připravované aplikace, přičemž není s konečnou platností stanoveno, zda budou povinné či nikoliv. Naopak je možné, že s dalšími aplikacemi C2C systému poroste požadavek na rozšíření o nové senzory [24], [26].

Komunikace Car2Car je založena na dvou hlavních komunikačních principech. Prvním principem je prostorové a časové šíření zpráv mezi vozidly, sloužící hlavně pro bezpečnostní aplikace a aplikace týkající se efektivity provozu na pozemních komunikacích. Druhým principem je šíření zpráv konkrétním uzlům jako v sítích s přepínanými pakety. Jednotlivé uzly jsou mobilní a nabízí podobné typy komunikace jako „unicast“, „multicast“, „anycast“ a „broadcast“. Zatímco konvenční komunikace jsou typicky „sender-centric“ (centrální vysílač), Car2Car komunikační systém rozlišuje mezi „sender-centric“ a „receiver-centric“ (centrální příjemce). V systému „sender-centric“ definuje zdrojový uzel zeměpisné oblasti, do kterých mohou být informace předávány. Příjemci informace sloučí s údajem o vlastní poloze a rozhodnou, zda je předají dále nebo ne. V systému „receiver-centric“ zdrojový uzel vysílá informace do svého okolí a příjemci tyto informace slučují s vlastními údaji. Prostorové a časové šíření je definováno příjemcem, který slouží jako „forwarder“. Na vstupu určuje důležitost informací pro své sousedy a rozhoduje o jejich předání dále. [20]

5.1.2 Bezpečnostní aplikace

Zprávy přenášené mezi vozidly (ad hoc doména) slouží pro přenos informací týkajících se bezpečnosti a efektivity provozu na pozemních komunikacích. Na rádiovém rozhraní budou přenášeny pomocí standardu IEEE 802.11p. [20]

5.1.3 Včasné upozornění na nebezpečí kolize

V současném provozu na pozemních komunikacích dochází často k nehodám s velmi podobným scénářem. Systém C2C je navrhován tak, aby tyto scénáře vyhodnocoval a řidiče upozornil v případě, že hrozí kolize. Jako příklad může být uvedena situace, kdy vozidlo

odbočující vlevo nedá přednost protijedoucímu vozidlu nebo kdy dojde k rozptýlení řidiče a vozidlo před ním začne náhle brzdit.

Při běžném provozu budou jednotlivá vozidla vybavená systémem C2C anonymně sdílet informace o pozici, rychlosti a směru pohybu. Aby bylo možné předpovědět kolizi vozidel, musí systém sledovat chování svého řidiče a chování všech vozidel v okolí. V případě, že systém vyhodnotí situaci jako nebezpečnou (hrozí kolize), upozorní řidiče vizuálním, akustickým nebo hmatovým signálem. Předpokládá se, že to v mnoha případech poskytne řidiči dostatek času, aby stihl hrozící kolizi zabránit. Je zřejmé, že aby tento systém efektivně pracoval, musí jednotlivá vozidla sdílet informace na 20 až 200 metrů, polohy vozidel musejí být přesné (přesnost je dána aktuálními možnostmi GNSS a komunikačních technologií [25], [26]), předávané informace důvěryhodné a systém musí proniknout na celý trh (být instalován ve všech vozidlech). [20]

5.1.4 Včasné upozornění před kolizí

Celý systém pracuje stejně jako v předchozím případě, ale vyhodnotí-li kolizi jako neodvratitelnou (i při maximální brzdě síle nelze bezpečně zastavit vozidlo), využije přijaté informace (pozice, velikost a typ vozidla) k efektivnímu nastavení bezpečnostních prvků jako například nastavení airbagů, bezpečnostních pásů, hlavových opěrek apod. [20]

5.1.5 Upozornění na nebezpečné místo

Nebezpečným místem může být například zúžená, kluzká nebo poškozená vozovka. V případě, že dojde k zúžení vozovky kvůli stavebním pracím apod., může zde být umístěn vysílač C2C informací, který na toto místo upozorňuje.

Vozidla, která tudy projedou, jsou informována systémem o případném nebezpečí a mohou s předstihem varovat protijedoucí vozidla. Kluzkou či poškozenou vozovku může vyhodnotit systém ESP na vozidle a tato data mohou být sdílena systémem C2C ostatním vozidlům. [20]

5.1.6 Navádění a navigace na vyšší úrovni

Informace o hustotě provozu či dopravním kolapsu vytváří jednotlivá vozidla a poskytují je vlastníkově infrastruktury. Ten přijatá data vyhodnotí a poskytuje je zpět vozidlům v okolí problematických míst. Takovéto údaje může systém C2C ve vozidle použít pro změnu plánované trasy a prostřednictvím navigačního systému přimět řidiče, aby se těmto místům vyhnul. [20]

5.1.7 Zprávy o optimální rychlosti jízdy na zelenou

Distribucí informací o umístění křižovatky a o časování signálů mohou vozidla vypočítat optimální rychlost tak, aby projela příslušnou křižovatku na zelenou, a to s ohledem i na případnou změnu směru. [20]

5.1.8 C2C pro vozidla integrovaného záchranného systému

Vozidla integrovaného záchranného systému jsou v současné době vybavena optickými a akustickými signalizačními systémy. I přesto se často stává, že je mnozí řidiči přehlédnou nebo mnoho řidičů reaguje nesprávně a komplikují průjezd těmto vozidlům. Doplněním vozidel integrovaného záchranného systému o C2C systém umožní ostatní řidiče nejen upozornit na průjezd takového vozidla, ale mohou být rovnou navigováni tak, aby uvolnili určitý jízdní pruh a umožnili snadný průjezd potřebným vozidlům. Hlavním cílem této funkce systému je zajistit plynulou jízdu vozidlům integrovaného záchranného systému bez vážnějšího dopadu na vlastní provoz. [20]

6 Akční členy v osobním automobilu

Typickými akčními členy v osobním automobilu jsou pohonné a brzdné ústrojí, systém natáčení předních kol, tlumení podvozku atd. Akční členy, jako součásti mechatronických systémů vozidla, jsou obsahem mnoha dostupných zdrojů [27], [28], [29], [30], proto nebudou v této kapitole blíže rozebírány. Pouze v kap. 9 Vyhodnocení a závěr je načrtnuto nové řešení.

Důraz je v této práci kladen na řidiče - akční člen, který je nedílnou a podstatnou částí celého systému pohybujícího se vozidla. Provedené experimenty odpovídají max. 2. stupni SAE, nicméně získané výsledky poslouží pro konstrukci a tvorbu řídicích programů i na vyšších stupních dle SAE.

Akční člen je navázán na sensoriku a řídicí jednotku a vykonává povely, které určí řídicí jednotka na základě informací ze sensorů. Pokud vezmeme řidiče jako součást systému pohybujícího se vozidla, tak jeho sensorickou síť tvoří převážně zrak a sluch. Hmatovou odezvu využije při vnímání odstředivých sil, vibrací volantů nebo při přejezdu nerovností, čich využije jako varovný signál pokud se v kabině vozu objeví nestandardní zápach, např. kouř vznikajícího požáru. Primárně ale budeme uvažovat zrak a sluch jako hlavní sensorickou síť řidiče, kterými kontroluje jízdní dráhu, ostatní účastníky provozu a stav vozidla. Technické akční členy (síla motoru, posilovač řízení, brzdový systém a bezpečnostní systémy), zasahující aktivně do průběhu pohybu vozidla, jsou doplňkem tohoto systému.

Ze záznamů nehod vyplývá, že nejvíce nehod je způsobeno nepozorností řidiče, nepřizpůsobením rychlosti, nedání přednosti v jízdě – tj. činnostmi, za které jednoznačně odpovídá řidič. Z tohoto důvodu je v této práci kladen důraz na propojení sensorických sítí a akčních členů jak řidiče, tak vozidla do jednoho celku.

7 Experiment č. 1: Mapa rizikových míst

V tomto experimentu provádím detailnější analýzu a zmapování potencionálně nebezpečných míst silniční dopravy. Vycházím z předchozích výsledků a skutečnosti, že rychlost života se zvyšuje, a s tím se zvyšuje i požadavek řidičů být rychleji v cíli. K tomu dopomáhá i stále dokonalejší dopravní prostředek schopný vyšší akcelerace a s podporou asistenčních systémů i jízdy na hraně fyzikálních zákonů. Problémem je ovšem houstnoucí doprava. Zvyšující se počet vozů na silnici způsobuje více stresových situací (kolon), zpomalení a snížení plynulosti dopravy. Pokud řidič v určitém úseku je nucen jet pomaleji nebo uvízne v koloně, snaží se zrychlit jízdu na volných úsecích, což mu umožní moderní automobil, nikoliv však vozovka. Ta je svým profilem a kvalitou povrchu na většině úseků stavěná dle parametrů dopravy minulého století. Z tohoto konfliktu logicky vzniká mnoho rizikových, pro dopravu nebezpečných míst, kdy může docházet k dopravním nehodám. [21]

Cílem experimentu je analyzovat silniční síť a zmapovat nebezpečné úseky, kde dochází k náhlému, prudkému brzdění vozidel nebo vyhybacímu manévru. Nestačí použít statistiku nehod, protože ne všechny krizové situace nutně skončí nehodou. Pokud bude existovat zmapování nebezpečných míst, můžou se tato místa zabezpečit dopravním značením, úpravou parametrů silnice, varováním řidiče systémem HMI vozu, případně aktivním opatřením vozidla při spojení navigačního a řídicího systému vozu.

7.1 Zjednodušený model s využitím dat z plovoucích vozidel

V průběhu první fáze experimentu jsem snímal jízdní data zkušebních řidičů testujících nové vozy v běžném silničním provozu. Byly načítány: GPS poloha, nadmořská výška, aktuální rychlost, podélné a příčné zrychlení. To vše bylo každou vteřinu zapisováno do paměti dataloggeru umístěného ve voze. Datalogger je zařízení pro sběr a ukládání informací, v našem případě binárních. Toto zařízení shromažďuje měřené údaje do vnitřní paměti. Je aktivováno zapnutím spínací skříňky pootočením klíče do polohy 1 nebo stiskem tlačítka Start ve voze zkušebním řidičem před jízdou. Zkušební řidiči jsou profesionálové, kteří dokáží vyřešit krizovou situaci v dopravě, proto byli zvoleni jako sběrači dat v první fázi projektu.



Obr. 17: Testovací vůz. Zdroj: Autor



Obr. 18: Jednotka dataloggeru umístěná ve voze. Zdroj: Autor

Data jsem ve formě exportního CSV souboru získával z dataloggeru vždy po jednotlivých dnech, kdy probíhaly testovací jízdy. Data jsem vyhodnocoval v první fázi projektu zjednodušenou metodou pomocí aplikace Microsoft Excel. V databázi jsem ručně hledal a jako potenciální rizikové situace jsem označil ty úseky, ve kterých 3 vteřiny po sobě pokleslo podélné zrychlení o více než 2 m/s^2 . K těmto 3 vteřinám jsem doplnil 3 vteřiny záznamu jízdy před začátkem brzdění a doplnil jsem zbytek dat tak, aby celkový počet údajů představoval 15 po sobě jdoucích záznamů.

time	Latitude (GPS Internal)[1]	Longitude (GPS Internal)[1]	Height GEOID (GPS Internal)[1]	ESP_v_Signal[Unit_KiloMeter PerHour]	ESP_Laeningsbeschleunigung[Unit_MeterPerSecondSquar]	ESP_Queuebeschleunigung[Unit_ForceOfGravi]
547,3996	50,44795	14,97285	45,7	70,14	-0,8125	0,08
548,3997	50,44795	14,97285	45,7	67,23	-1,15625	0,05
549,3995	50,44795	14,97285	45,7	62,3	-1,84375	0,05
550,3995	50,44795	14,97285	45,7	56,4	-2,1875	0,03
551,3996	50,44795	14,97285	45,7	47,98	-2,34375	0,02
552,3996	50,44795	14,97285	45,7	40,16	-1,90625	0,08
553,3995	50,44795	14,97285	45,7	36,6	-0,6875	0,35
554,3995	50,44795	14,97285	45,7	35,67	-0,25	0,46
555,3996	50,44834	14,97526	45,7	37,71	0,21875	0,41
556,3995	50,44834	14,97526	45,7	42,65	0,75	0,31
557,3997	50,44834	14,97526	45,7	44,95	0,84375	0,08
558,3996	50,44834	14,97526	45,7	49,44	1,34375	0,04
559,3994	50,44834	14,97526	45,7	52,83	0,875	0
560,3995	50,44834	14,97526	45,7	54,17	0,53125	-0,06
561,3995	50,44834	14,97526	45,7	55,97	0,5	0,01

Tab. 2: Příklad nasbíraných jízdních dat. Zdroj: Autor

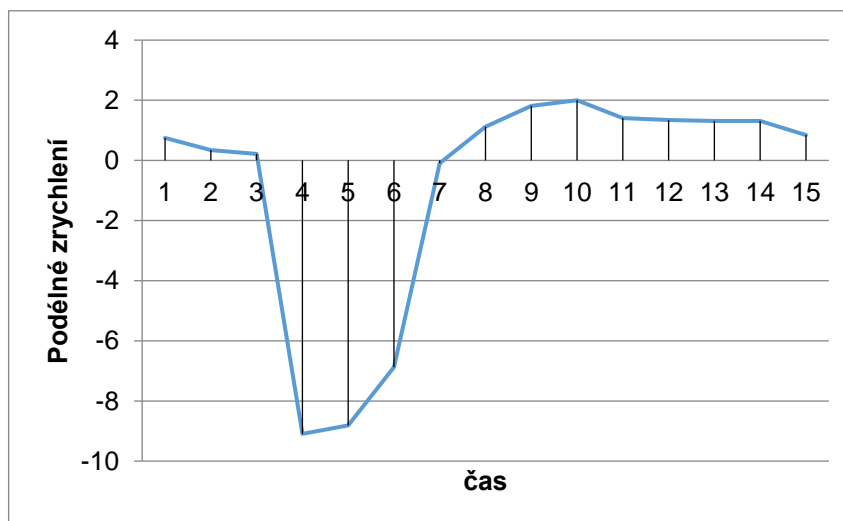
Následovalo získání modelu kritického brzdění. Při jízdě shodným vozem jsem simuloval kolizní situace, tedy intenzivní brzdění a úhybný manévr při různých rychlostech jízdy. Poznámka: Před provedením manévru jsem se vždy ujistil, že neohrozím ani neomezím jiné účastníky silničního provozu a že i pro mne bude manévr bezpečný.

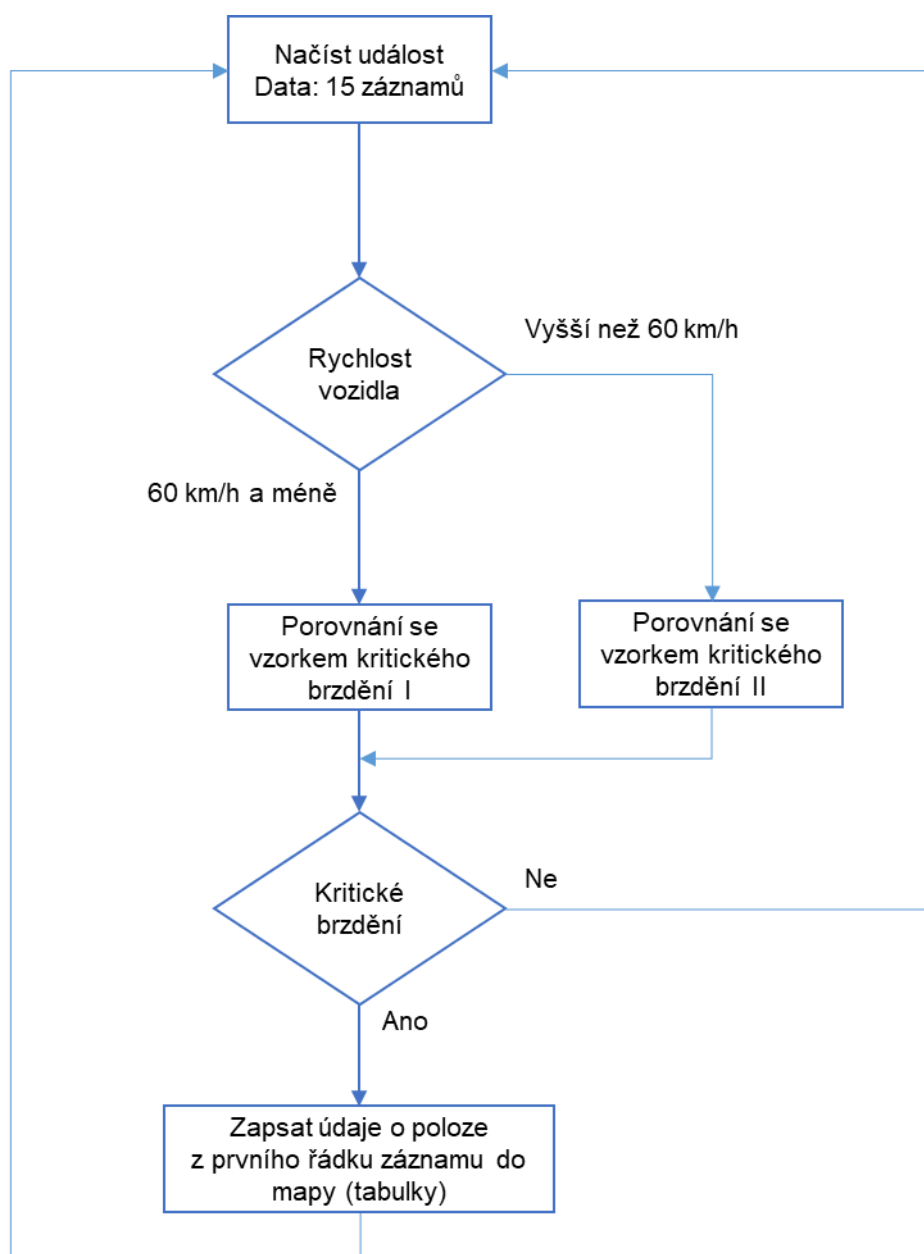
Porovnávání hodnot dle zvoleného kritéria (průměrná hodnota podélného zrychlení ze tří po sobě jdoucích údajů) poté ukazuje, zda se jedná o běžné nebo kritické brzdění. Tato hodnota se liší podle aktuální rychlosti na počátku brzdění.

time	Latitude (GPS Internal)[1]	Longitude (GPS Internal)[1]	Height GEOID (GPS Internal)[1]	ESP_v_Signal[Unit_KiloMeter PerHour]	ESP_Laeningsbeschleunigung[Unit_MeterPerSecondSquare]	ESP_Queuebeschleunigung[Unit_ForceOfGrav]
1070,403	50,4832	14,97627	45,6	93,21	0,75	0
1071,403	50,4832	14,97627	45,6	94,99	0,34375	0
1072,403	50,4832	14,97627	45,6	96,03	0,21875	0
1073,403	50,4832	14,97627	45,6	74,22	-9,09375	0,05
1074,403	50,4832	14,97627	45,6	43,33	-8,8125	0,02
1075,403	50,4833	14,9796	45,6	18,67	-6,875	0,02
1076,403	50,4833	14,9796	45,6	11,97	-0,09375	0
1077,403	50,4833	14,9796	45,6	13,04	1,125	0
1078,403	50,4833	14,9796	45,6	18,81	1,8125	0,02
1079,403	50,4833	14,9796	45,6	25,73	2	0
1080,404	50,4833	14,9796	45,6	31,82	1,40625	0
1081,403	50,4833	14,9796	45,6	36,56	1,34375	0
1082,404	50,4833	14,9796	45,6	41,22	1,3125	0
1083,403	50,4833	14,9796	45,6	45,95	1,3125	0,01
1084,403	50,4833	14,9796	45,6	49,81	0,84375	0

Tab. 3: Jízdní data se zvýrazněným úsekem kritického brzdění. Zdroj: Autor

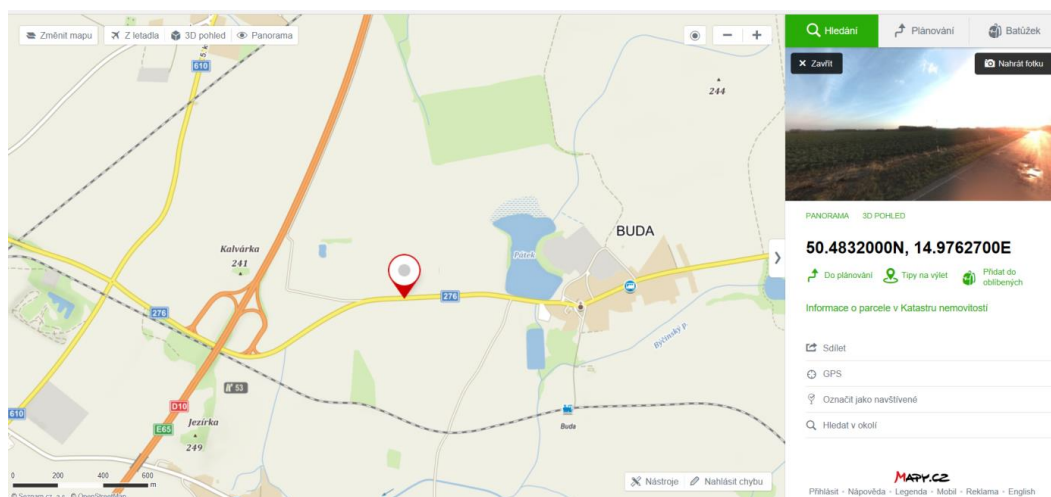
Tabulka zobrazuje úsek kritického brzdění – velký nárůst záporné hodnoty podélného zrychlení doprovázený poklesem aktuální rychlosti z 96 km/h na 12 km/h během 4 vteřin jízdy.

Obr. 19: Grafické zobrazení situace kritického brzdění. Podélné zrychlení (m/s²) a čas (s). Zdroj: Autor



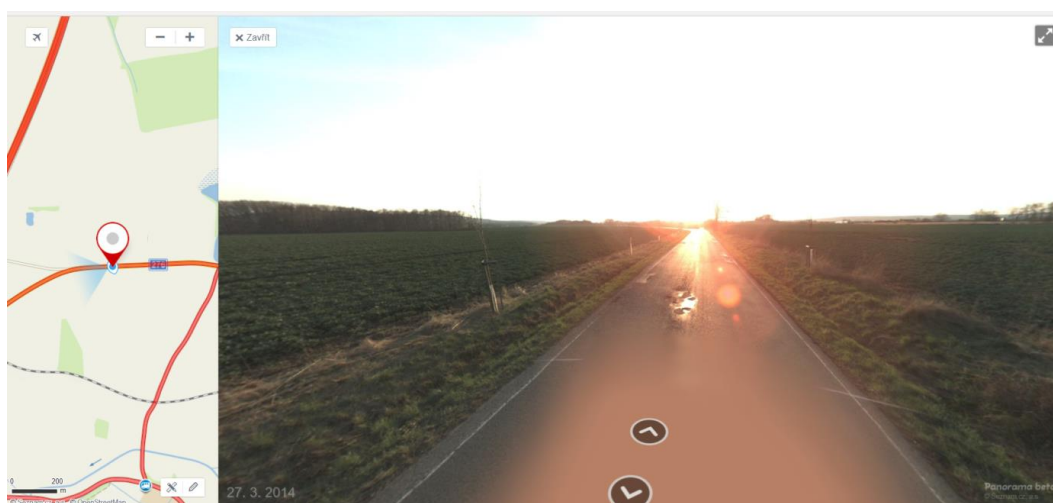
Obr. 20: Rozhodovací schéma zjednodušeného algoritmu. Zdroj: Autor

Rozhodovací kritérium zjednodušeného algoritmu pro vyhodnocení naměřených údajů je hraniční aktuální rychlost 60 km/h. Nad 61 km/h je použita pro rozhodování o kritičnosti brzdění vyšší hodnota podélného zrychlení než při rychlostech do 60 km/h. Tento zvolený údaj je závislý především na hmotnosti vozu, použitých pneumatikách a brzděm výkonu při uvažování stejných povětrnostních podmínek a stavu komunikace.



Obr. 21: Místo kritického brzdění dle GPS pozice z dataloggeru. Zdroj: Mapy.cz

Vytvoření mapy kritických míst následuje v dalším kroku. Ze situací vyhodnocených jako kritické se přečte údaj GPS pozice z prvního záznamu, kdy začíná brzdění. Tyto pozice lze jednoduše zobrazit graficky v mapě.



Obr. 22: Snímek místa kritického brzdění. Zdroj: Mapy.cz

Následovala analýza a fotodokumentace míst z mapy na skutečných místech silnice pro upřesnění příčin kritického brzdění. Cílem bylo projet úsek z mapy vozem, pořídit fotodokumentaci, sledovat provoz a chování ostatních řidičů.

Výsledky z první fáze experimentu č. 1 ukázaly tato fakta:

1. Tímto způsobem lze získat velké množství jízdních dat z reálného provozu.
2. V naměřených vzorcích je jen minimum kritických situací.
3. Pro ucelený experiment druhé fáze se musí sbíraná data doplnit k již sbíraným dynamickým hodnotám rychlosti, zrychlení a směru vozidla o následující údaje: brzdící síle vyvinuté řidičem, stavu brzd, hmotností vozu, třením mezi vozovkou a vozem (velikostí třecí plochy, stavem pneumatik, stavem vozovky a druhem povrchu), náklonem vozovky (jízda s a do kopce), vlivu počasí (déšť, sníh, mokro, sucho, náledí) nebo i na cizích předmětech na vozovce (listí, písek, olej).

Ve druhé fázi experimentu č. 1 proběhla úprava dataloggeru. K již sbíraným datům:

- čas záznamu (time),
- GPS poloha (Latitude + Longitude),
- nadmořská výška (Height GEOID),
- aktuální rychlost (ESP_v_signal),
- podélné zrychlení (ESP_Laengsbeschl),
- příčné zrychlení (ESP_Querbeschleunigung)

byly připojeny údaje:

- tlak na brzdový pedál (ESP_Bremsdruck),
- náklon vozu (TSK_Steigung_02).

Tyto údaje byly automaticky sbírány. K nim byl znám vždy před jízdou typ vozu, hmotnost, druh a stav pneumatik. Do knihy jízd se zapisovalo počasí na trase.

time	ESP_Laen [Unit_MeterPerSec onSquar]	ESP_Queue [Unit_ForceOfGravi]	ESP_Bremsdruck [Unit_Bar]	TSK_Steigung_02 [Unit_PerCent]	Latitude (GPS Internal)[1]	Longitude (GPS Internal)[1]	Height GEOID (GPS Internal)[1]	ESP_v_Signal [Unit_KiloMeterPerHour]
4540,375	-0,375	0	0	3,2	50,71957	13,99521	46	94,78
4540,875	-0,375	0	0	3,2	50,71957	13,99521	46	93,24
4541,375	-0,375	-0,02	0	3,2	50,71957	13,99521	46	91,7
4541,875	-1,78125	0	18,6	3,2	50,71957	13,99521	46	87,66
4542,375	-1,34375	0	4,8	3,2	50,71957	13,99521	46	84,17
4542,875	-1,09375	0	7,5	3,2	50,71957	13,99521	46	81,8
4543,375	-1,875	0	12	3,2	50,71957	13,99521	46	77,44
4543,875	-1,21875	-0,04	5,1	3,2	50,71957	13,99521	46	74,87
4544,375	-0,75	-0,08	3,3	3,2	50,71957	13,99521	46	72,41
4544,875	-0,8125	-0,09	0,3	3,2	50,72109	13,99793	46	70,32
4545,375	-0,40625	-0,07	0	3,2	50,72109	13,99793	46	68,88
4545,875	-0,375	-0,15	0	4	50,72109	13,99793	46	67,19
4546,375	0	-0,16	0	4,8	50,72109	13,99793	46	66,84
4546,875	1,5	-0,18	0	4,8	50,72109	13,99793	46	68,89
4547,375	0,125	-0,2	0	6,4	50,72109	13,99793	46	68,08

Tab. 4: Příklad nasbíraných jízdních dat z dataloggeru. Zdroj: Autor

V průběhu druhé fáze experimentu č. 1 jsem postupně vytvořil algoritmus detekce kritického (prudkého) brzdění, který je popsán v následující kapitole. Algoritmus považuji za základ systému určujícího kritická místa dopravy a vytvářejícího spolu se známou GPS pozicí mapu těchto míst.

7.2 Model detekce prudkého brzdění

Z měřených dat jsem vybral veličiny, které ukazují charakter jízdy při prudkém brzdění. Jsou to:

- podélné zrychlení – po ,
- příčné zrychlení – pr ,
- tlak na brzdu – br ,
- rychlost – ry .

Tyto čtyři veličiny jsou měřeny s délkou 15 kroků tak, že brzdění v nich začíná kolem čtvrtého datového záznamu. Slouží jako data pro odhad modelu popisujícího situaci s prudkým

brzděním. Jako model jsem po konzultaci s doc. Ing. Ivanem Nagym, CSc. zvolil tzv. mnohorozměrný regresní model třetího řádu s konstantou

$$y_t = a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + a_3 y_{t-3} + k + e_t$$

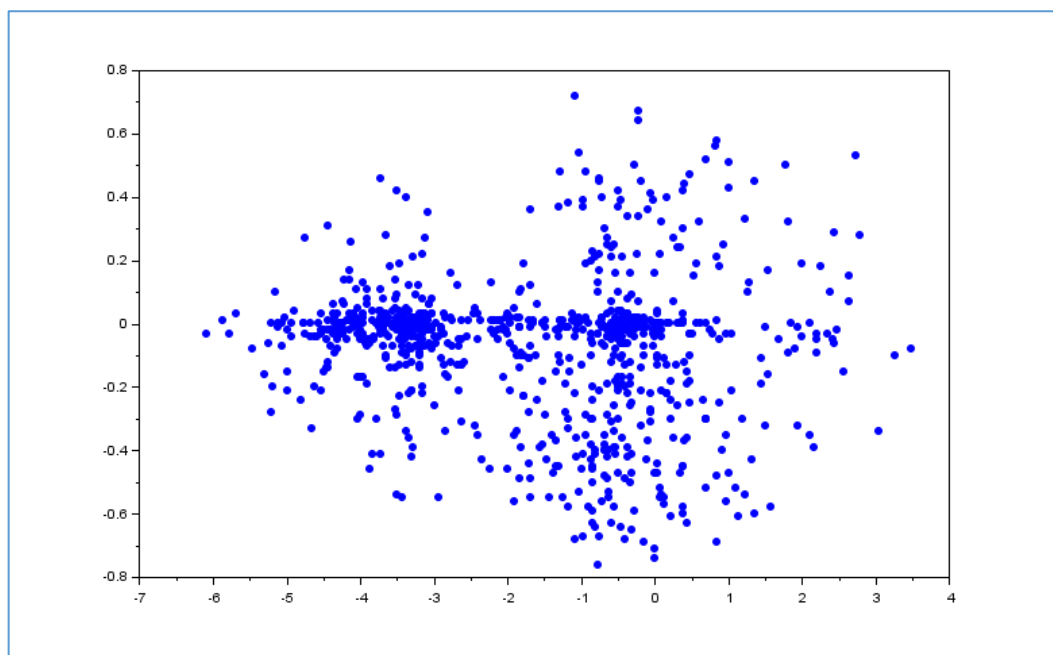
kde

$$y_t = [p_{0t}, p_{rt}, b_{rt}, r_{yt}]'$$

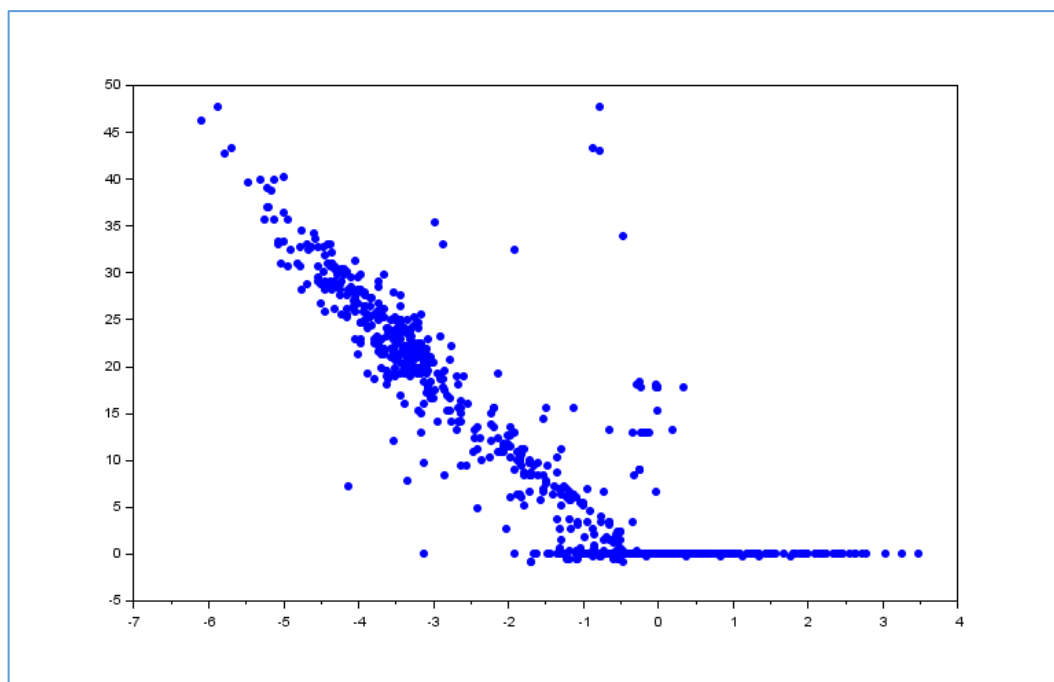
a_1, a_2, a_3, a_4 jsou matice 4x4,

k je vektor 4x1.

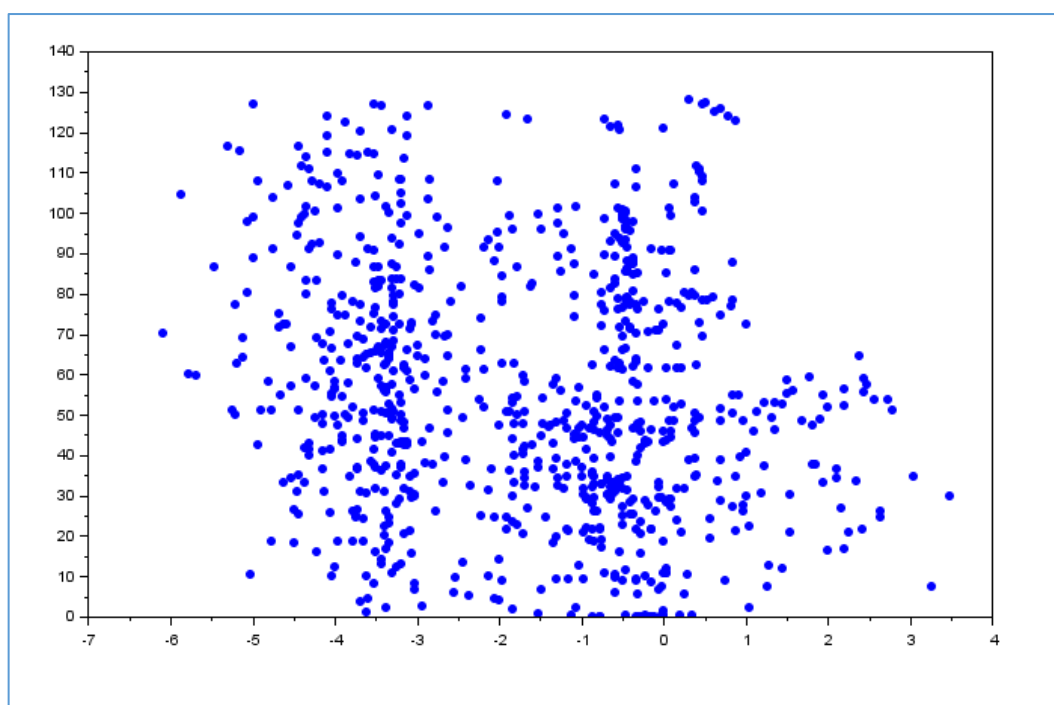
Pro začátek volím šum jako normální. Veličina y je čtyřrozměrná. Její hustotu pravděpodobnosti nelze přímo zobrazit, ale můžeme se podívat na její marginály (dvourozměrné řezy).



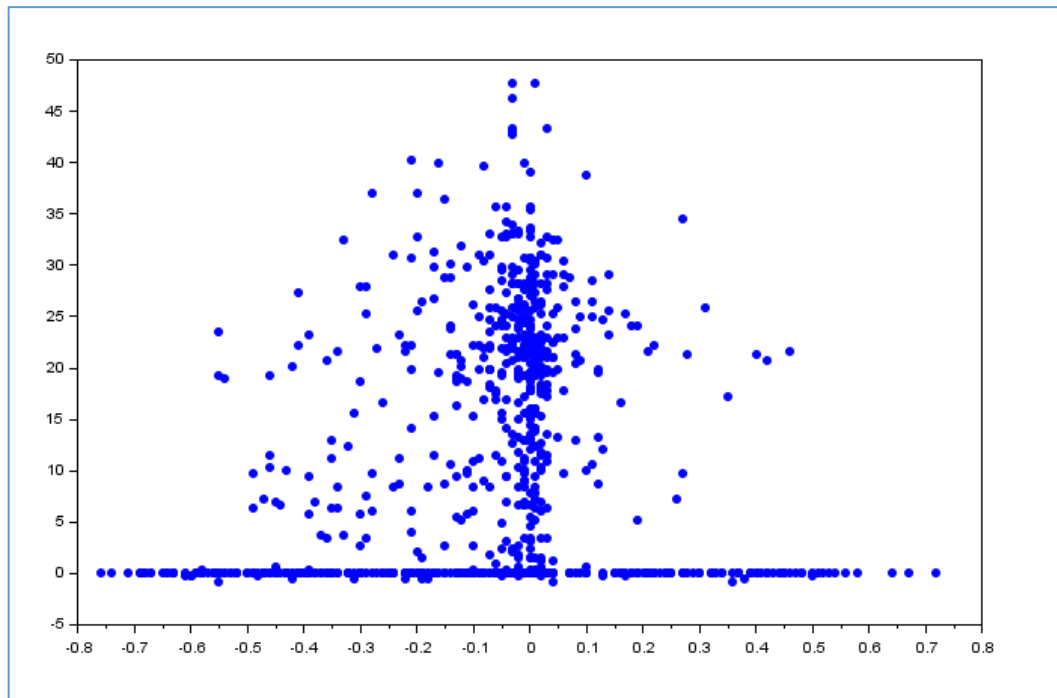
Obr. 23: Řez 1-2 Závislost podélného zrychlení (m/s^2) -vodorovná osa a příčného zrychlení (m/s^2) - svislá osa.
Zdroj: Autor



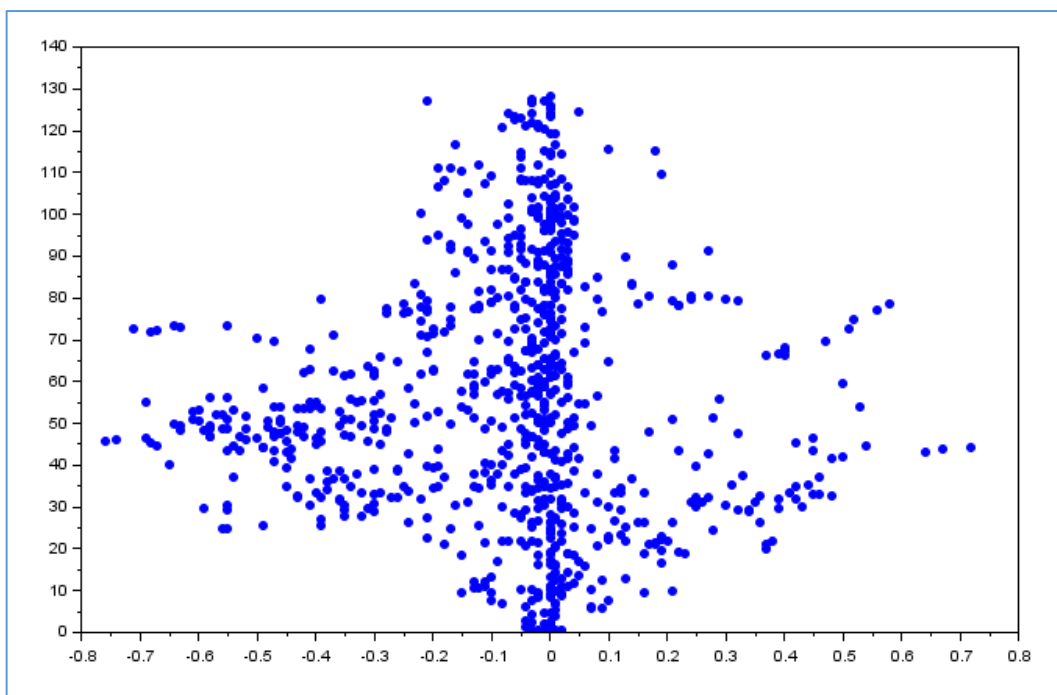
Obr. 24: Řez 1-3 Závislost podélného zrychlení (m/s^2) - vodorovná osa a tlaku na brzdě (bar) - svislá osa. Zdroj: Autor



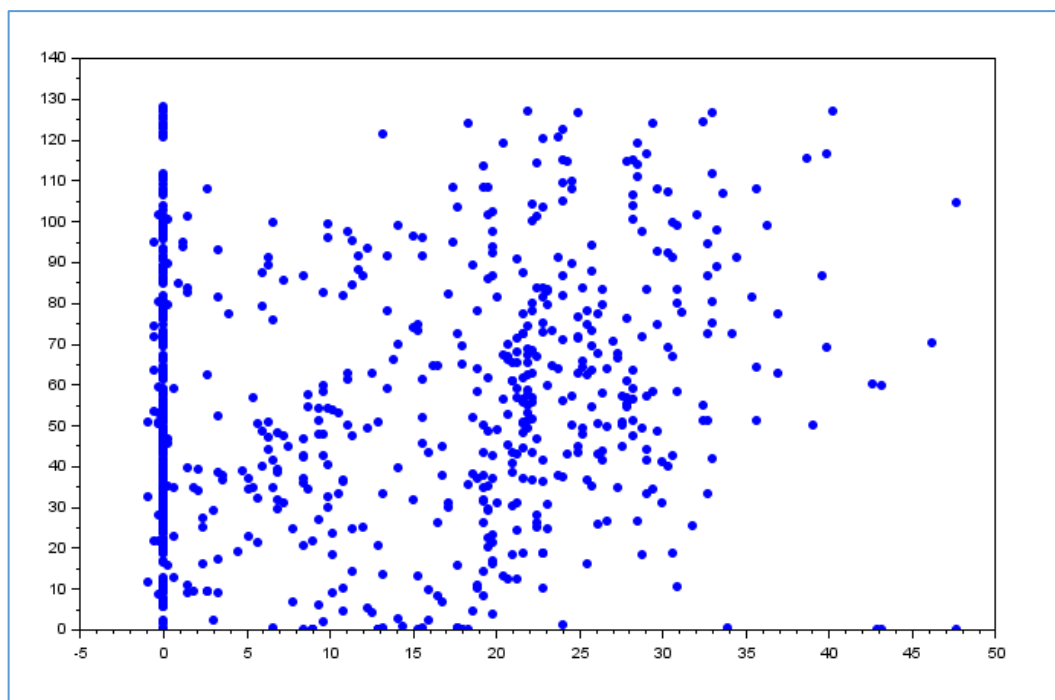
Obr. 25: Řez 1-4 Závislost podélného zrychlení (m/s^2) - vodorovná osa a rychlosti (km/h) - svislá osa. Zdroj: Autor



Obr. 26: Řez 2-3 Závislost příčného zrychlení (m/s^2) - vodorovná osa a tlaku na brzdě (bar) - svislá osa. Zdroj: Autor



Obr. 27: Řez 2-4 Závislost příčného zrychlení (m/s^2) - vodorovná osa na rychlosti (km/h) - svislá osa. Zdroj: Autor



Obr. 28: Řez 3-4 Závislost tlaku na brzdě (bar) - vodorovná osa a rychlosti (km/h) - svislá osa. Zdroj: Autor

Z řezů je patrné, že data jsou multimodální (vícedruhová) a tedy odpovídající model by měl mít tvar směsi. Data zachycují 71 situací prudkého brzdění. Každý záznam obsahuje 15 vzorků. Tato data použiji k odhadu, a to tak, že v každém záznamu začínám od 4. vzorku (prvé tři určují počáteční regresní vektor) a postupně načítám až do 15. vzorku. Pak pokračuji dalším záznamem.

Odhadem dostaneme model:

$$y_t = a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + a_3 y_{t-3} + k + e_t$$

který popisuje situace s kritickým brzděním. To znamená, že tento model by měl lépe vyhovovat datům s brzděním než datům bez brzdění. O tom, jak data odpovídají modelu, vypovídá pravděpodobnost (likelihood). Pro jeden vzorek máme na mysli model s dosazenými odhady parametrů a datovým vzorkem. Pro více dat (celý záznam) je to součin jednotlivých modelů s postupně dosazenými daty.

Z mých dosavadních zkušeností a provedených experimentů se ukazují dvě možné varianty posouzení a třídění datového modelu:

1. varianta řešení:

Spočítat průměrnou pravděpodobnost pro všechna testovací data (ze kterých jsem prováděl odhad) a dále pravděpodobnost pro testovaný záznam (15 po sobě jdoucích vzorků). Ta pravděpodobnost, která bude větší, vyhrává – jinak řečeno: pokud bude pravděpodobnost s testovanými daty dostatečně menší, jde o data bez brzdění. Pokud bude srovnatelná, půjde o data s brzděním.

2. varianta řešení:

Odhadnout model rovněž pro data bez brzdění a poté na zkoumaném vzorku testovat hypotézy o platnosti modelu bez a s brzděním.

K první či druhé variantě je nutné získat další jízdní data, ideálně dostatek vzorků obsahujících kritické brzdění. Z jízdy zkušebních řidičů jsem získal malé množství záznamů kritického brzdění. Vystavovat řidiče kritickým situacím v běžném silničním provozu jen pro získání dat pro další práci s modelem je zcestné. Rozhodl jsem se tudíž připravit tato data na jízdním simulátoru, kde nehrozí riziko reálné nehody při kritickém brzdění nebo úhybném manévru. Tento experiment popisuji v následující kapitole.

Dalším poznatkem z tohoto experimentu je skutečnost, že pouze ze sensoriky vozidla nelze 100% rozhodnout, zda se řidič během jízdy dostal do krizové situace. I když v datech najdeme informace, které by matematický model vyhodnotil jako rizikový manévr nebo kritické brzdění, tak zkušený řidič by s pomocí asistenčních systémů měl situaci plně pod kontrolou a naopak nezkušený řidič dokáže zmateně řešit i celkem běžnou dopravní situaci. V experimentu č. 2 se proto zaměřuji i na stres řidiče a jeho snímání.

8 Experiment č. 2: Jízda po dálnici se simulací rizikových situací

Pro realizaci experimentu jsem se spojil s kolegy z dopravní fakulty ČVUT Praha, kteří provozují jízdní simulátor v budově CIIRC. S jejich pomocí jsem připravil scénář jízdy a získal i testovací řidiče pro tento experiment.



Obr. 29: Kabina jízdního simulátoru - pracoviště ČVUT Praha, budova CIIRC. Zdroj: Autor

Kabina simulátoru je tvořena přední částí skutečného vozu Škoda Superb III s pevnou projekční plochou ve formě tří velkoplošných obrazovek. Kabina je umístěna na plošině a umožňuje pohyb kabiny ve třech osách. Náklony a pohyb kabiny reagují na aktuální jízdní situaci a pohyb volantu tak, aby co nejvíce simulovaly pohyb reálného vozu.

Pro experiment jsem zvolil jízdu po dálnici a připravil jsem pět situací, které řidič může během jízdy reálně zažít. Snímáním jízdních dat a chování řidiče v krizových situacích jsem získal více dat oproti experimentu č. 1 a ty se staly podkladem pro matematický model klasifikace událostí. Jeho podrobnější popis obsahuje další část této práce.

Pro zjednodušení experimentu jsem se po prvních testovacích jízdách rozhodl utlumit naklání jízdní kabiny. Tím se zvýšil počet řidičů, kteří absolvovali celou cca 12 minutovou jízdu bez nevolnosti způsobenou nakláněním kabiny simulátoru. Pro utlumení náklonu kabiny

nahrávala i skutečnost, že i v reálné jízdě po dálnici není naklánění vozu tak intenzivní jako na komunikacích nižších tříd.



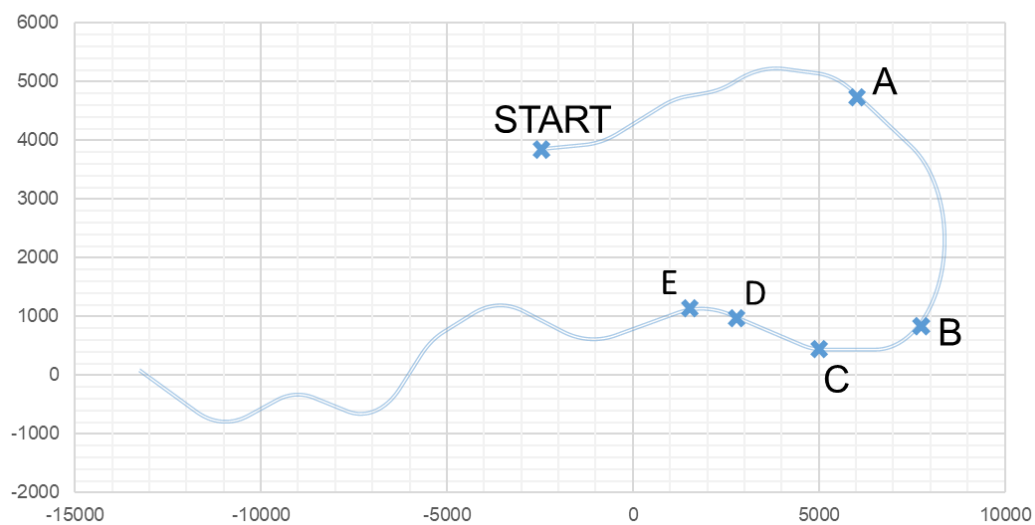
Obr. 30: Pohled na jízdní dráhu simulované trati. Zdroj: Autor

8.1 Reakce řidiče osobního vozidla na krizové situace v dálničním provozu

Cílem experimentu bylo zkoumání možné závislosti vlivu stresu na krizové situace během jízdy a možnost měřitelnosti stresu pomocí senzorů - měřičů srdečního tepu řidiče. Spolu se senzory - snímači fyzikálních veličin ve vozidle – jsem dostal dostatek dat popisujících reakce řidiče na krizovou situaci.

Připravený testovací úsek dálničního typu měří 24 km. Testovací úsek začíná nájездem na dálnici připojovacím pruhem od benzínové pumpy a končí dojezdem do stojící kolony vozidel přímo na dálnici, což je i poslední hodnocená situace E. Úsek neobsahoval žádné tunely, zúžení ani křížení či odbočení na jiný dálniční úsek. Při průjezdu dálničním úsekem bylo připraveno pět úkolů pro řidiče, v schématu označeny písmeny A až E. Reálnost pohybu po dálnici byla dosažena i simulací pohybu dalších vozidel v obou směrech a animací okolního prostředí.

Půdorys trati



Obr. 31: Půdorys trati s rozmístěním testovacích situací. Zdroj: Autor

Situace A: Vyhýbací manévr. Úkol řidiče je následovat v pravém pruhu vpředu jedoucí vozidlo, které náhle vybočí, aby se vyhnulo překážce na silnici – krabici, která vypadla z jedoucího kamionu. Snímány jsou reakce řidiče na náhlou překážku na silnici.



Obr. 32: Vyhýbání se překážce. Situace A. Zdroj: Autor

Na obr. 32 je v horní části situace z pohledu řidiče. Modré vozidlo se na poslední chvíli vyhnulo překážce v jízdním pruhu (označena červeným kruhem), a tím zkrátilo čas řidiči jedoucím za ním a donutilo jej k rychlé reakci. Z 32 řidičů jich 31 provedlo úhybný manévr vlevo do levého jízdního pruhu, pouze jeden řidič se vyhnul překážce vpravo do odstavného pruhu. Je otázkou, co je v daný okamžik bezpečnější řešení. Při pozorování řidičů kamerami v kabině, viz spodní část obr. 32, je patrné, že při rychlé reakci se žádný z řidičů nepřesvědčil, zda v levém pruhu nejede vozidlo a strhl tam řízení svého vozu, hrozila tedy další potenciální nehoda.

Situace B: Ovládání displeje infotainmentu za jízdy. Řidič dostal úkol zvolit jedno ze tří písmen na dotykovém displeji a poté zadat svůj věk a dalším tlačítkem odeslat tuto informaci. Snímány jsou vychýlení se vozidla z přímého směru při nevěnování se situaci na vozovce.

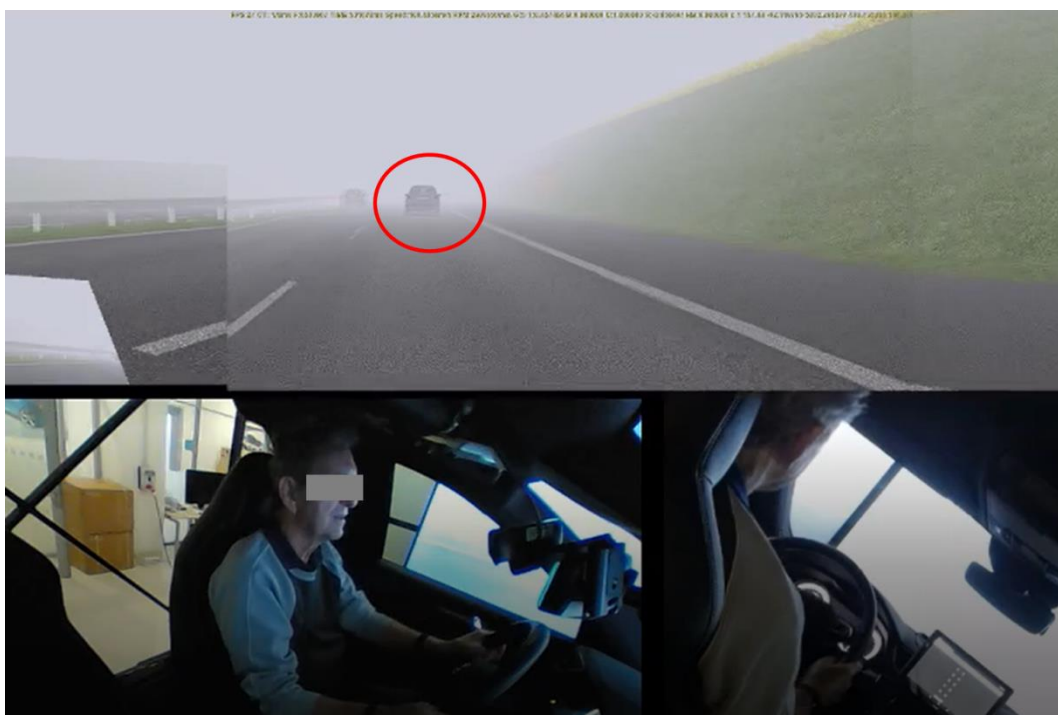


Obr. 33: Ovládání infotainmentu za jízdy. Situace B. Zdroj: Autor

Na obr. 33 je patrné, jak řidič při zadávání úkolu na dotykové obrazovce nesleduje plně jízdní dráhu a dostává se vozem na krajnici. V dolní části obrazovky je v červeném kruhu displej s prstem řidiče a pohled řidiče směřuje na obrazovku displeje. Hrozí další riziková situace, která může skončit v tomto případě nehodou vozu sjetím na krajnici. V případě, že by řidič vyjžděl do levého pruhu, tak nehodou se zde jedoucím vozidlem. Zadání na infotainmentu bylo vcelku jednoduché, spočívalo ve volbě písmene A z nabídky A, B, C na úvodní obrazovce a poté zadání věku řidiče stiskem čísel 0 – 9 a potvrzením tlačítkem odeslat. Výsledky ukázaly,

že tento úkol trval řidičům mezi 10 s až 40 s, kdy mladší řidiči neměli problém sledovat jízdu a ovládat rychle displej infotainmentu oproti starším řidičům.

Situace C: Vyhnutí se překážce za snížené viditelnosti. Před tímto úkolem dojde ke změně viditelnosti (řidič je varován textem na obrazovce) a další jízda pokračuje v mlze. Před řidičem se náhle objeví neosvětlené stojící vozidlo v jízdním pruhu. Snímány jsou reakce řidiče, brzdný nebo vyhýbací manévr ztížený průjezdem dalších vozidel v levém jízdním pruhu.



Obr. 34: Vyhýbání se překážce v mlze. Situace C. Zdroj: Autor

Na obr. 34 v horní části je červeným kruhem označeno stojící neosvětlené vozidlo v jízdním pruhu. Řidiči měli ztíženu situaci i vozidly projíždějícími v levém jízdním pruhu. Oproti podobné situaci A zde cca 50 % řidičů místo plynulého úhybného manévru zabrzdilo za stojícím vozidlem a poté jej předjelo a pokračovalo v jízdě. Bylo to dáno i skutečností, že ve větší míře než na začátku jízdy na simulátoru řidiči očekávali další rizikovou situaci, a volili proto pomalejší rychlost jízdy danou i sníženou viditelností oproti situaci A.

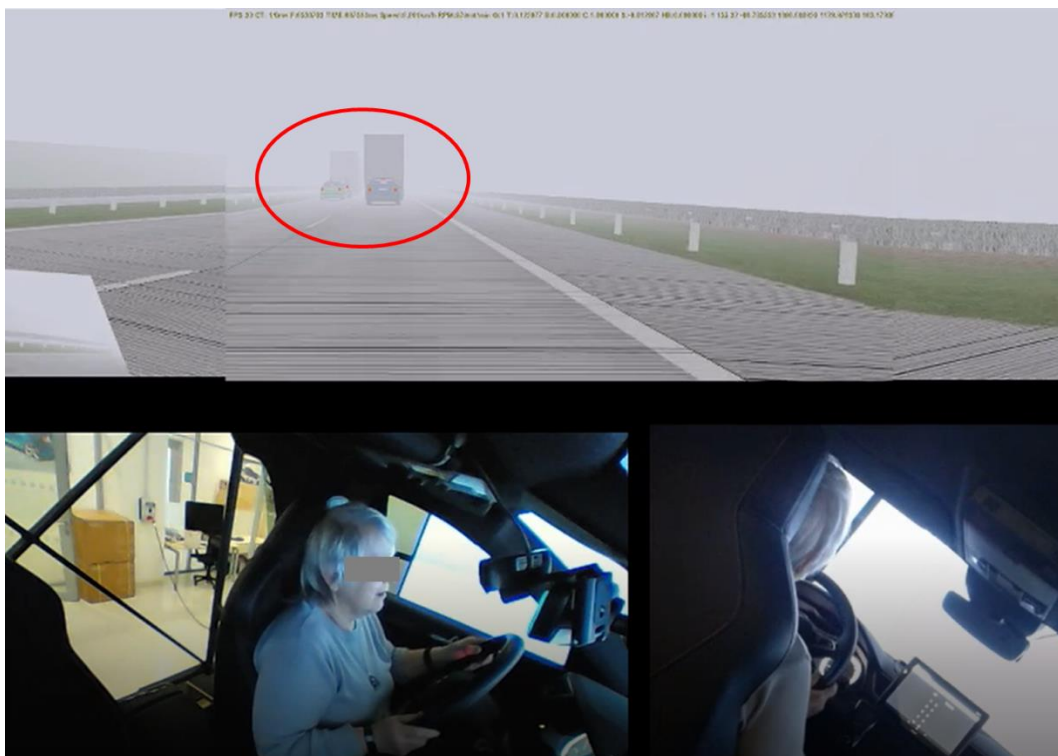
Situace D: Míjení vozidla jedoucího v protisměru. V levém pruhu se náhle objeví protijedoucí vozidlo, které nezasahuje do pravého pruhu, pouze rychle projede kolem řidiče. Snímány jsou reakce řidiče na tuto situaci.



Obr. 35: Míjení vozidla v protisměru. Situace D. Zdroj: Autor

Na obr. 35 je v horní části vidět vozidlo, které se pohybuje v nesprávném jízdním směru po dálnici. V tomto případě se hodnotí reakce řidičů na tuto náhlou situaci. Pouze jeden z 32 řidičů trhl volantem doprava. Ostatní řidiči buď vůbec nereagovali, nebo pouze slovně komentovali tuto situaci.

Situace E: Zastavení do kolony stojících vozidel. Před řidičem se v mlze objeví stojící vozidla v obou pruzích s blikajícími varovnými světly. Řidič má za úkol zastavit za těmito vozidly. Snímány jsou reakce řidiče na tuto situaci.



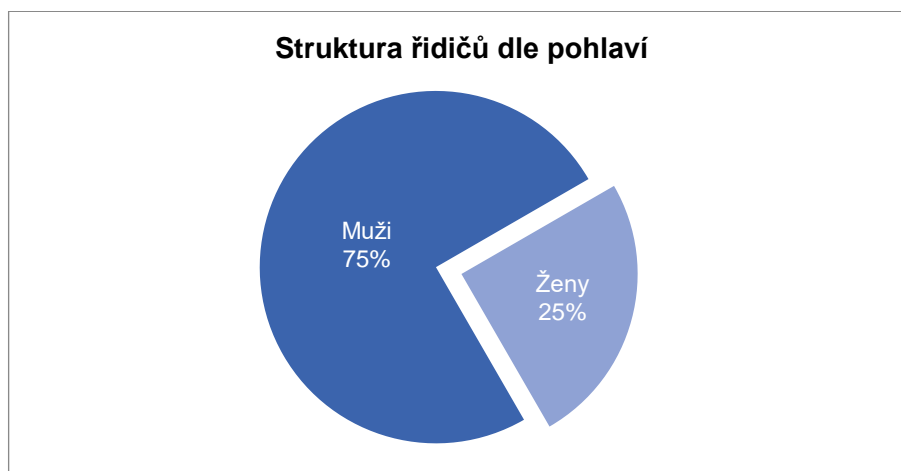
Obr. 36: Míjení vozidla v protisměru. Situace E. Zdroj: Autor

Na obr. 36 je v horní části kolona stojících vozidel v obou jízdních pružích. Je tvořena osobními i nákladními vozidly. Reakce řidičů na tuto situaci byla jako ve všech předchozích situacích závislá na jejich rychlosti jízdy. Defenzivně jedoucí řidiči neměli problém včas zastavit za kolonou vozidel. Ti rychlejší se více potýkali s mlhou i s nemožností použít vyhýbací manévř z důvodu vozidel stojících i v levém jízdním pruhu.

Po zastavení v koloně vozidel jízdní simulace končí. Mezi jednotlivými úkoly je vždy úsek volné jízdy trvající cca 1 až 2 minuty dle rychlosti jízdy. Řidiči jsou instruováni, aby jeli dle svých zvyklostí a dodržovali pravidla silničního provozu a pokyny úkolů při jízdě.

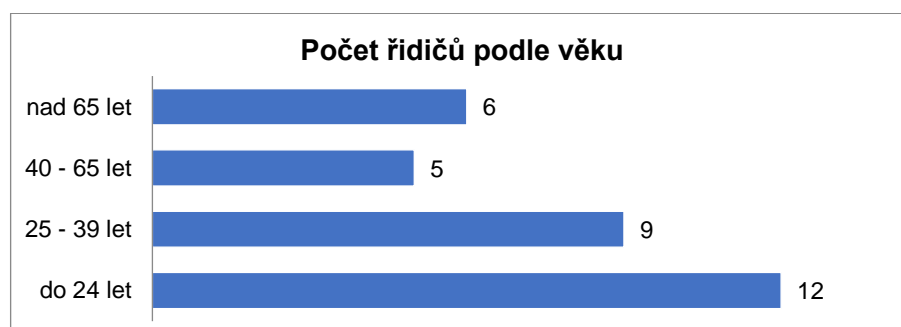
Záměrně je zvýšena citlivost volantu při řízení a nekomfortnost nastavení levého zpětného zrcátka, abychom více vybudili srdeční tepovou aktivitu u nezkušených řidičů, kteří působí více nehod i nebezpečných situací, a zároveň způsobili určitou zátěž zkušeným řidičům, pro něž by průjezd zkušební tratí byl za optimálních podmínek velice jednoduchý.

Experimentu se zúčastnily 32 osoby vlastníci řidičský průkaz skupiny B. Větší část účastníků tvořili muži, což odpovídá i situaci v dopravě. Ideální by pro experiment bylo rozdělení přibližně 60 % mužů, 40 % žen.



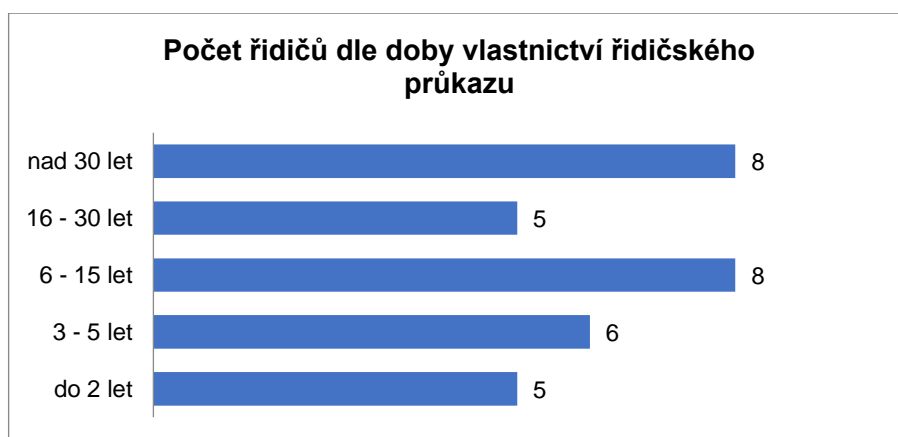
Obr. 37: Struktura řidičů dle pohlaví. Zdroj: Autor

Věk účastníků se pohyboval od 19 let do 75 let. Věkové spektrum bylo tedy široké. Počet řidičů v jednotlivých věkových kategoriích znázorňuje obr. 38.



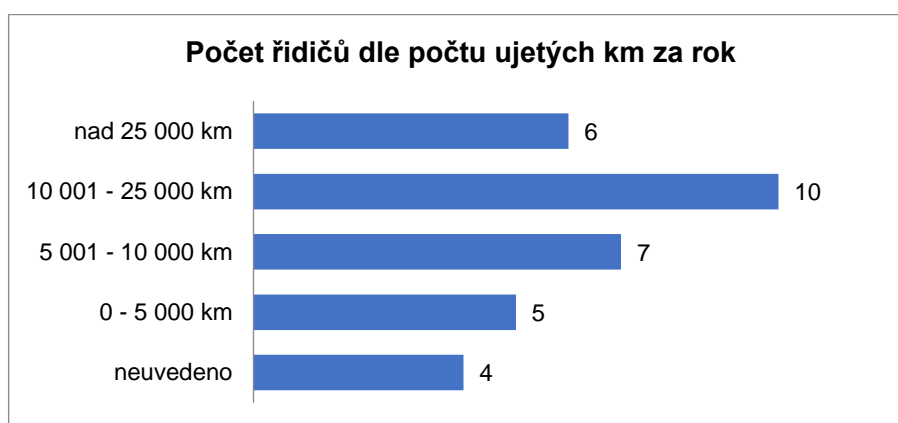
Obr. 38: Počet řidičů podle věku. Zdroj: Autor

Mezi účastníky byla jak skupina mladých řidičů s „čerstvým řidičským průkazem“, tak i starší řidiči nad 65 let, jejichž jízda se projevila spíše defenzivnějším stylem, pomalejšími reakcemi a menší zručností v ovládnání dotykového displeje za jízdy.



Obr. 39: Řidiči dle doby vlastnictví ŘP. Zdroj: Autor

U účastníků byl rovněž zjišťován počet kilometrů, které jako řidiči ujedou za rok. Jejich spektrum zahrnovalo dle nájezdu kilometrů příležitostné řidiče i ty, kteří jsou za volantem každý den.



Obr. 40: Řidiči dle ujetých km za rok. Zdroj: Autor

Výše uvedená data byla zaznamenána účastníky do dotazníku (viz příloha č. 6) před začátkem jízdy. Po jízdě řidiči vyplnili další část dotazníku týkající se hodnocení kvality simulace a krizových situací ze svého pohledu. Detailněji se tomuto tématu věnuji v kap. 8.2.

Kabina simulátoru byla doplněna o kamery sledující řidiče a 10palcový tablet s aplikací pro plnění úkolu (situace B). Kabina simulátoru s možností třiosého pohybu simulujícího reálnější chování vozu (náklony, akcelerace, brzdění a přejezd nerovností) byla pro účely tohoto experimentu náklonově utlumena. Důvodem byla možná nevolnost řidičů, která mohla vést k nedokončení všech plánovaných úkolů v celé trase. Riziko bylo posouzeno a nevýhoda pohybu kabiny byla hodnocena v dotazníku jako nevýznamná pro experiment a proto akceptovatelná z pohledu kvality celkových výsledků.

Simulace je doplněna zvukem motoru jedoucího vozidla. Nejsou simulovány aerohluky a hluky valivého odporu pneumatik, ani okolo jedoucích vozidel. Což bylo opět hodnoceno jako minimální ovlivnění měřených výsledků.

Řidič, po vyplnění první části dotazníku před jízdou, se následně dostavil do místnosti se simulátorem, kde mu byly připevněny tři snímače srdečního tepu:

1. hrudní pás,
2. snímač připevněný na zápěstí levé ruky se snímačem na palci levé ruky,
3. fitness náramek na zápěstí pravé ruky.

Záměrně byly použity běžně dostupné snímače srdečního tepu pro sportovní účely, aby se na experiment dalo navázat i v budoucnosti na simulátoru či v běžném provozu. Paralelní použití tří různých snímačů jsem zvolil z důvodu ověření vhodnosti snímání konkrétního snímače a porovnání nasnímaných hodnot mezi snímači. V průběhu experimentu se navíc objevila i rozdílná stabilita snímání tepu. Paradoxně nejlevnější snímač (fitness náramek) podával nejstabilnější výsledky měření. U zbývajících dvou měřičů se stávalo, že nesnímaly celou dobu jízdy. Snímač umístěný na palci levé ruky se dostával do kontaktu s volantem, což způsobilo dočasný výpadek měření. Také hrudní pás nebyl v optimální poloze měření u sedící osoby připoutané bezpečnostním pásem, neboť je konstruován pro sportovní použití pohybujícího se člověka. V mém experimentu nešlo o přesně určenou hodnotu tepové frekvence, ale o záznam skokových změn tepové frekvence způsobené vnějším ovlivněním – impulsem v podobě reakce organismu na krizovou situaci při jízdě na simulátoru a v druhé fázi návratem zpět do normálu po odeznění krizové situace.

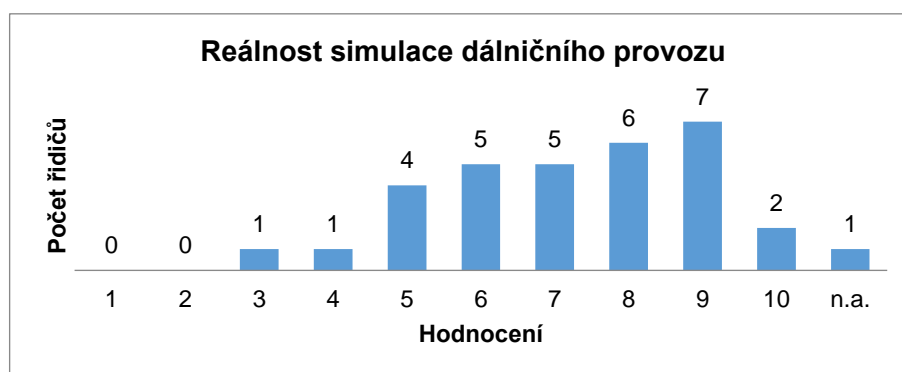
Data z měřičů tepu byla po měření uložena k záznamu jízdy spolu s vyplněným dotazníkem a záznamem jízdy ze simulátoru, aby nedošlo k záměně mezi měřeními.

Měření srdečního tepu je samozřejmě ovlivněno hlavně fyzickým zatížením, proto byla po usednutí do kokpitu jízdní kabiny časová prodleva před zahájením jízdy věnována na přizpůsobení polohy řidiče v sedačce, volantu a seznámení s ovládacími prvky vozidla. Během této doby se měla tepová frekvence ustálit na klidovější hodnotu, odpovídající sedícímu člověku nevykonávajícímu náročnou fyzickou aktivitu. Svou roli zde hrál i aktuální zdravotní stav a kondice řidiče, jeho věk, psychické rozpoložení, což se projevilo různou výchozí hladinou tepové frekvence na počátku měření. Detailnější rozbor naměřených hodnot popisují v kap. 8.3.

8.2 Vliv stresu řidiče při řešení krizových situací – subjektivní hodnocení

První ze subjektivních hodnocení je hodnocení průběhu jízdy a samotné simulace řidičem, které zaznamenal bezprostředně po jízdě na simulátoru do druhé části dotazníku (viz příloha 6). Pro experiment je tato zpětná vazba důležitá nejen pro určení relevantnosti získaných výsledků z jízdni simulace, ale i pro možnosti vylepšení simulátoru a scénáře. Ke každému bodovému hodnocení na škále 1 až 10 (1 – nevyhovující stav, 10 – plně vyhovující stav) jsem připravil následujících pět hodnotících otázek.

Reálnost simulace dálničního provozu



Obr. 41: Reálnost simulace dálničního provozu. Zdroj: Autor

Reálnost simulace dálničního provozu hodnotili řidiči jako velmi dobrou. V komentářích se objevily následující návrhy pro optimalizaci:

- Auto v protisměru je málo reálné.
- Až příliš nízká úroveň grafiky simulace. Vysoká citlivost volantů a žádný force feedback. Neprogresivní odpor brzdového pedálu. Problém zpětných zrcátek. Nízká kvalita zvuku.
- Celkově simulátor působil příjemně, přestože jízda nepůsobila reálně.
- Dosud jsem se na dálnici nesešla se stojícím vozidlem.
- Lehce nevyhlazený obraz, výjezd z benzinky byl houpavý, netradiční vozový park, špatná viditelnost v bočním zrcátku.
- Nedostatečnost zpětného zrcátka, hodně nepřiměřená rychlost předjíždějících vozidel, vozidla přede mnou se objevovala dost blízko.

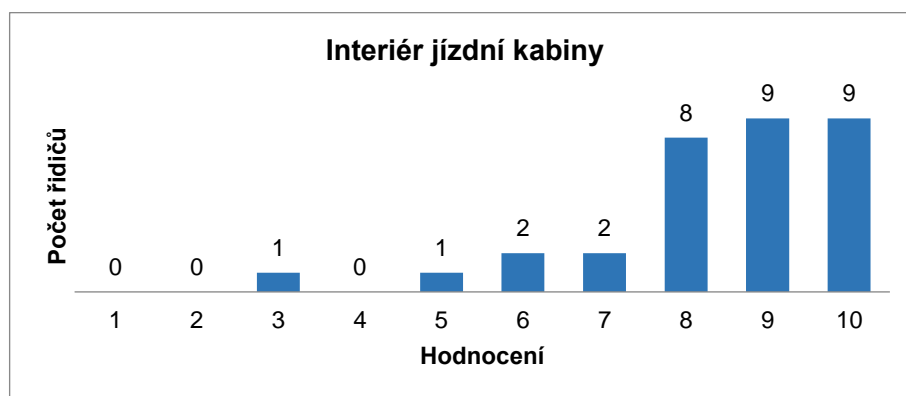
- Pořád je to simulátor, vypnutí pohybu simulátoru je celkově asi dobrý nápad, i když pro realnost by to nebylo špatné. Samozřejmě pohyby vozu lze špatně nasimulovat.
- Rapid by se určitě netáhnul za tirákem. Líbila se mi rozmanitost simulace (různé situace).
- Samotné vozidlo stojící v pruhu???
- Simulace provozu dobrá, ale když nastala mlha, realnost se snížila.
- Simulátor se nechová jako auto - chybí větší zpětná vazba na řízení - zde je pouze vizuální.
- Trochu zvláštní chování ostatních řidičů.
- Volant v nulové poloze táhne doleva.
- Výborná, chybí zpětná vazba od kol + vnímání přetížení - klasický simulátor. Chybí zpětná zrcátka jako v realu.

Jako chybějící prvek k větší realnosti simulace byly zaznamenány tyto připomínky k doplnění:

- Blikání blinkrů a dálková světla, dopravní značky a billboardy.
- Dodělat zpětná zrcátka.
- Chybějící tempomat, reálné zvuky, zrcátka.
- Chybějící zpětná zrcátka.
- Chyběla mi zpětná zrcátka, levé je nevyhovující, nefungovaly směrovky.
- Lepší výhled + střední zrcátka, reálnější zvuk, reálnější reakce volantu a plynu.
- Nastavení vnějšího zrcátka, chybí indikace blinkrů.
- Nefungují blinkry.
- Nejsou billboardy.
- Obě zrcátka, pocit rychlosti (jedu 120 km/h a vypadá to jako 60 km/h).
- Pocit brzdění, moc citlivý volant.
- Pravé zrcátka.
- Především kvalita zvuku a žádná odezva z volantu. Bylo těžké odhadnout brzdné zrychlení při brzdění.
- Samozřejmě by měla být všechna 3 zrcátka. Klidně postranní promítána v rozích skel, snížení citlivosti volantu, blinkry + zobrazení na kombíku, tempomat, ACC a další asistenti.
- Větší provoz vozidel.
- Větší realnost předmětů (vozidel, svodidla) a okolí.
- Větší tuhost řízení, rázy.
- Zlepšit funkci zpětného zrcátka.
- Zpětná zrcátka.

Prioritní požadavek je určitě lepší integrace zpětných zrcátek do simulátoru. Aktuální verze simulátoru má pouze levé zpětné zrcátko. Jelikož se jedná o pevné stanovení parametrů promítaného obrazu na střední hodnotu, která nemusí vyhovovat všem řidičům dle výšky řidiče a polohy za volantem a kterou nelze jednoduše změnit podle požadavků řidiče tak, jako je běžné nastavení zrcátek před jízdou ve skutečném voze, je tento úkol s delším horizontem řešení. Poměrně rychle se dá vyřešit připomínka typu doplnění billboardů a značek či virtuální aktivace směrových světel.

Interiér jízdni kabiny



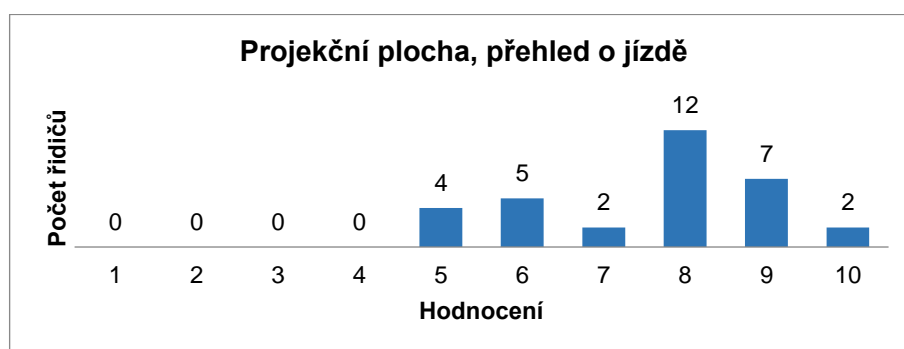
Obr. 42: Interiér jízdni kabiny. Zdroj: Autor

Interiér jízdni kabiny byl klasifikován jako vynikající. Jedná se o skutečný interiér moderního vozu. V komentářích se objevila tato hodnocení, která potvrzují číselné vyjádření z obr. 42:

- Až na volant bez force feedback a ty pedály dobrý.
- Celkem standardní vůz, sedl bych si níže, ale to je problém dnešních aut, měly by fungovat všechny funkce (blinkr, světla...).
- Chybí mi rádio a funkční středový panel.
- Chybí mi zpětná zrcátka - střední i obě boční. Pro reálnost doplnit a registrovat znamení o změně směru jízdy, doplnit Warning spínač. Bylo by dobré ukazovat rychlost i digitálně. Pro jízdu po dálnici doplnit tempomat.
- Interiér příjemný, ale chyběly některé prvky z reálného prostředí (zpětné zrcátko...).
- Jak reálný.
- Jsem malá, když jsem se posunula dopředu, měla jsem problém se sešlápnutím brzdy, vadí i sloupek řízení.

- Neviděl jsem přes volant na rychloměr.
- Prostě Superb.
- Skvělé. Perfektní provedení materiálů. Velice se mi líbily digitální budíky.
- Špatný výhled do zpětných zrcátek.
- Téměř shodné s realitou.
- Útulný.

Projekční plocha, přehled o jízdě



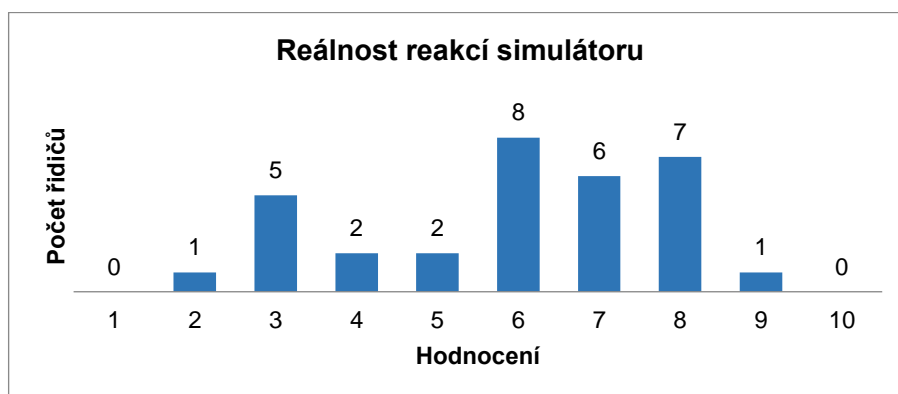
Obr. 43: Projekční plocha, přehled o jízdě. Zdroj: Autor

Projekční plocha byla tvořena třemi na sebe navazujícími velkoplošnými obrazovkami. Ze strany řidičů získala opět velmi dobré hodnocení. Na otázku „Jak hodnotíte projekční plochu? Poskytuje dobrý přehled o jízdě?“ jsem sesbíral tyto komentáře:

- Ano, ovšem pouze při pohledu vpřed a šikmo vpřed.
- Až na to boční zrcátko.
- Celkem ano, trochu posunuté zrcátko.
- Chybí pravé zrcátko.
- Jen to zrcátko levé.
- Natočila bych displej k řidičovi nebo bych vytvořila adaptivní.
- Nedokonalé zpětné zrcátko.
- Nelíbí se mi zlom mezi obrazovkami, není pravé a střední zpětné zrcátko.
- Nemožnost vidět za sebe.
- Neviděla jsem dobře do zrcátek.
- Nevyhovující poloha levého zrcátka, absence pravého zrcátka.
- Plocha ano, zpětné zrcátko špatné.
- Problém zpětného zrcátka a trochu mi vadily rámečky u monitorů.

- Projekce dobrá, ale kvůli rozdělenosti obrazovek menší klam.
- Při sedadle dole vzadu - špatný výhled do zrcátka.
- Rušivě působí návaznost obrazovek na levé straně (příliš v zorném poli řidiče). Zpětné zrcátko je příliš dole.
- V porovnání se simulátorem v Česaně, kde je to na plátně, je toto o kousek horší (menší) a jsou vidět rámečky monitorů.
- V přímém směru bylo vše v pořádku, ovšem v boční projekci byly nedostatky (pouze rozsah obrazu).
- Ve zpětných zrcátkách jsem nic neviděl.
- Ze začátku mi vadil levý sloupek obrazovky.

Reálnost reakcí simulátoru



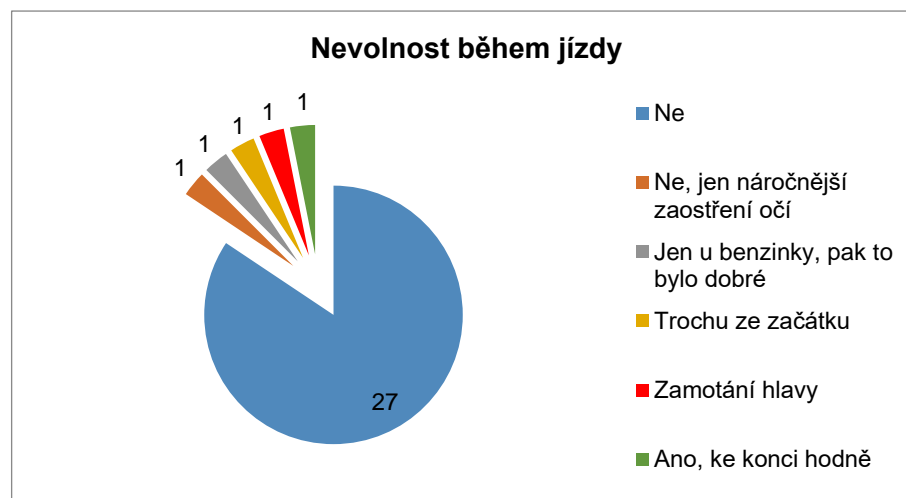
Obr. 44: Reálnost reakcí simulátoru. Zdroj: Autor

Reálnost reakcí simulátoru byla posuzována na základě otázky „Jak se přibližují reakce simulátoru reakcím skutečného vozu?“ Hodnocení spokojenosti zde již není jednoznačné. Komentáře vypovídají o tom, kde je potřeba simulátor optimalizovat:

- Citlivost volantu, otáčky motoru, nereálné zpomalování po vyšlápnutí plynu (moc velká decelerace), šílený brzdy (nereálné).
- Až na ten volant asi v pohodě.
- Bez pocitu brzdění, neefektivní blikání, zapínání světel nanic.
- Citlivější volant, brzda brzdí až moc dobře oproti reálu.
- Hrozně citlivý volant.
- Chybí hluky, aerohluky, odvalování pneumatik.

- Já raději, když to trochu "drncá".
- Jízda dobrá, ale řízení je příliš citlivé.
- Lepší odezva pedálů.
- Moc citlivý volant, jiná citlivost oproti skutečnému vozu, jiná citlivost pedálů.
- Musím pochválit, lepší než simulátor ve ŠA. Auto dobře reaguje.
- Na simulátor výborné. Chybí zpětná vazba od kol a vnímání přetížení.
- Necítil jsem reakci na zrychlení a zpomalení a zatáčky.
- Přecitlivělý volant, auto jde snadno do smyku, pomalé zrychlení, ale velké zpomalení plynem, přeposilované řízení.
- Přehnaná přetáčivost vozu, malý odpor brzdy.
- Reakce volantu neodpovídají skutečnému vozidlu.
- Řízení, zpomalené brzdění, zpomalené reakce, citlivost volantu.
- Řízení je méně citlivé.
- U mého auta není tak moc citlivý volant řízení.
- Velká reakce na pohyb volantu, nepřirozená reakce brzdového pedálu (měkký).
- Velmi nezvyklá reakce volantu.
- Brzdy, volant - absence jakéhokoliv feedbacku z vozu.
- Simulátor se nechová jako auto, chybí větší zpětná vazba na řízení, zde je pouze vizuální.
- Volant reaguje jinak než v normálním autě.
- Vyhýbací manévr "losí test" - dostat vozidlo na dvě kola??? Citlivost volantu neodpovídá, vypnutá hydraulika plošiny.
- Vypnutá plošina, chybí pohybová odezva.

Citlivost volantu je nejvíce citovaným prvkem v této části. Zvýšená citlivost řízení byla nastavena záměrně a s komentáři na toto téma jsem počítal. Vyšší citlivost řízení jsem potřeboval k vyvolání stresu řidiče, a tím spojenému testování reakce tepové frekvence při řešení krizových situací.

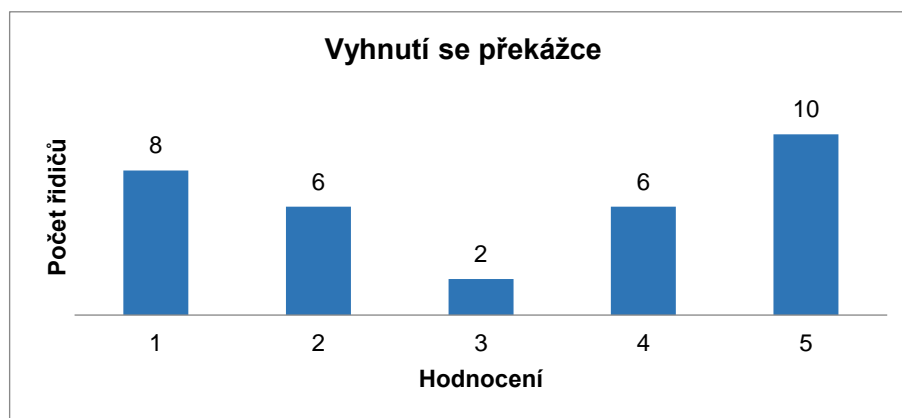
Nevolnost během jízdy

Obr. 45: Nevolnost během jízdy. Zdroj: Autor

Důležitou zpětnou vazbou pro mne byla i otázka, zda řidiči nebyli během jízdy ovlivněni nevolností, způsobenou sledováním pohybujícího se obrazu nekorrespondujícím s tělesným pohybem. Pouze jeden řidič měl větší problémy s nevolností, ale simulaci i tak dokončil.

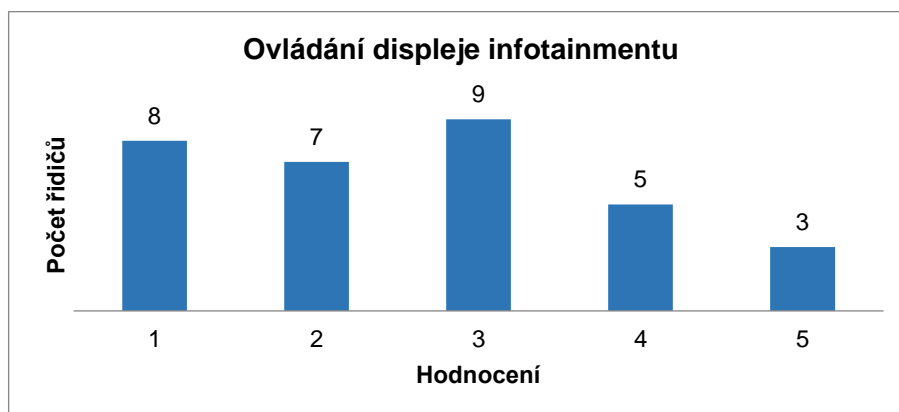
Ke zpětné vazbě krizových situací z pohledu řidiče jsem použil jednoduchou hodnotící škálu od 1 do 5. Hodnota 1 – bezproblémové zvládnutí situace, 5 – riskantní manévr až nehoda. Následuje zpětná subjektivní vazba řidičů na situace A až E. Na vodorovné ose je uvedena hodnotící škála, na svislé ose jsou zobrazeny počty řidičů.

Situace A: Vyhnutí se překážce



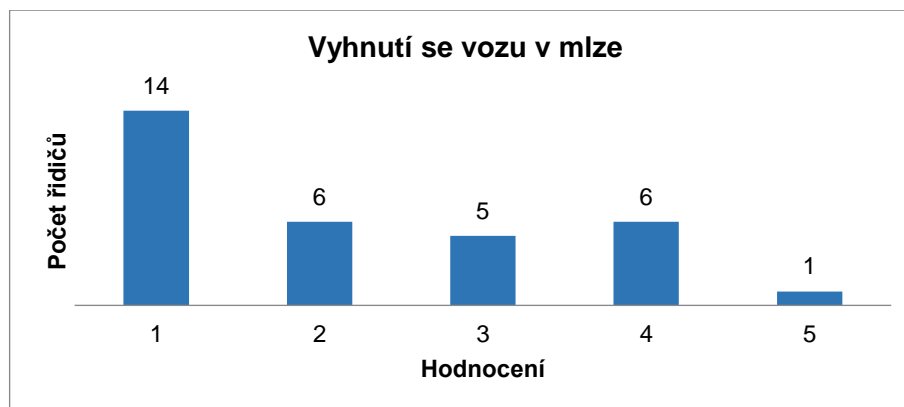
Obr. 46: Vyhnutí se překážce. Zdroj: Autor

Situace A se ukázala z pohledu řidičů jako nejvíce kritická. Dětila řidiče na polovinu. Ti, kteří neměli s řešením situace problém a hodnotili známkou 1 a 2, se pohybovali nižší rychlostí a nechávali si dostatečný odstup od vpředu jedoucího vozidla. Druhá polovina řidičů se chovala opačně a zákonitě musela prudce reagovat na překážku, což zapříčinilo nehodu. Po této situaci většina řidičů již očekávala další “nástrahy”, a proto řídila obezřetněji.

Situace B: Ovládání displeje infotainmentu za jízdy

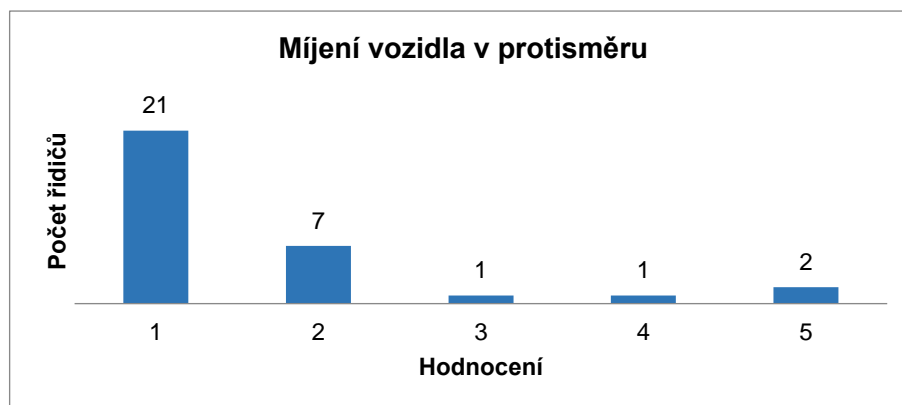
Obr. 47: Ovládání displeje infotainmentu. Zdroj: Autor

Situace B nezpůsobila tolik nehod jako situace A, ale byla nekomfortní hlavně pro skupinu starších řidičů, jimž trval úkol déle a více je rušil od věnování se pozornosti v řízení vozu, než skupinu mladých řidičů, pro které byl úkol rutinní.

Situace C: Vyhnutí se překážce za snížené viditelnosti

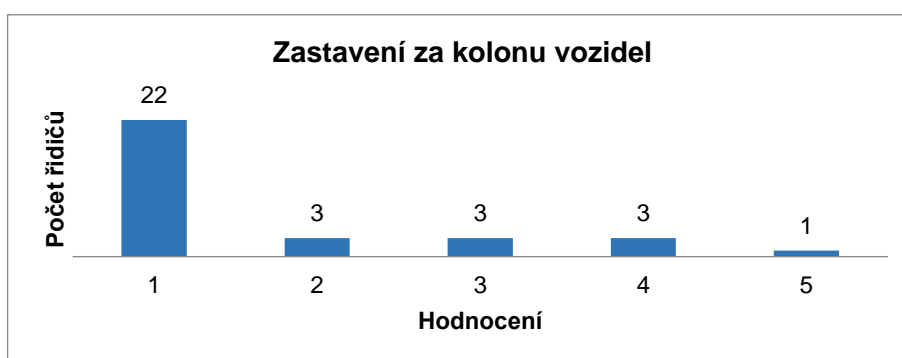
Obr. 48: Vyhnutí se vozu v mlze. Zdroj: Autor

Situace C byla ztížena nejen mlhou, kdy se stojící překážka objevila pro rychle jedoucí řidiče na poslední chvíli, ale i rychle jedoucimi vozidly v levém pruhu, které komplikovaly jednoduchý vyhýbací manévr používaný řidiči v situaci A.

Situace D: Míjení vozidla jedoucího v protisměru

Obr. 49: Míjení vozidla v protisměru. Zdroj: Autor

Jak je patrné i z hodnocení řidičů, situace D nebyla až na výjimky riskantní. Řidiči si byli vědomi, že jde o simulaci a ne reálnou jízdu a také všichni díky mlze jeli opatrněji v pravém jízdním pruhu. Uvažoval jsem při přípravě scénáře o protijedoucím vozidle v pravém jízdním pruhu, ale tato situace by kopírovala předchozí situaci C, proto jsem zvolil tuto mírnější variantu.

Situace E: Zastavení za kolonu stojících vozidel

Obr. 50: Zastavení za kolonu stojících vozidel. Zdroj: Autor

U situace E z hodnocení řidičů vyplývá, že opět většina jela díky mlze a předchozím „nástrahám“ defenzivněji a včas před překážkou tvořenou kolonou stojících vozidel bezpečně zastavila.

U situací D a E je patrné, že jsem neměl dostatečný vzorek jízd s nehodou pro vytvoření kvalitního matematického modelu, proto jsem matematický model použil pro situace A, B, C, jak je rozvedeno v kap. 8.3.

Pro přípravu matematického modelu jsem použil další výstup ze simulace, kamerový záznam chování řidiče během jízdy a kamerový záznam snímající scénu před vozidlem během jízdy. Tato dvě subjektivní hodnocení jsem využil pro řazení jednotlivých jízd a situací do kategorií – klasifikací 1, 2, 3 (viz kap. 8.3, kde je podrobněji popsán postup této klasifikace).

8.3 Vliv stresu řidiče při řešení krizových situací – objektivní měření

Objektivní měření tohoto experimentu se váže na záznamy pohybu a chování vozu při jízdě a záznamy z měřičů tepové frekvence řidičů (viz příloha 5). Nasnímány jsou průběhy celé jízdy a v této kapitole se zaměřím na hledání modelu, který by dokázal automaticky rozpoznat dopravní konflikt a nehodu od nerušeného průběhu jízdy.

Data ze simulátoru jsem získal v podobě TXT datových souborů. Každý soubor představoval jednu jízdu a obsahoval tyto informace:

- čas (frekvence snímání je 10 ms),
- 3D poloha vozu v simulačním modelu (X, Y, Z),
- natočení vozu (dle osy X, Y, Z).

Dále jsem pro analýzu získal kamerový záznam jízdy a měření tepové frekvence řidiče.

Data ze simulátoru poskytovala paralelu k datům ze sensorické sítě skutečného automobilu. Pro potřeby modelování tohoto experimentu jsem použil následující data, uvedená zde na příkladu tří po sobě jdoucích záznamů o pohybu vozu na trati simulátoru.

```
289660 7041.501953 4173.390625 102.171707 0.006518 0.494069 0.014679
289670 7041.768066 4173.231445 102.174866 0.006524 0.494081 0.014685
289680 7042.034668 4173.072754 102.178017 0.006530 0.494093 0.014690
```

Tab. 5: Příklad datového výstupu ze simulátoru. Zdroj: Autor

První sloupec je čas záznamu události v milisekundách. Druhý, třetí a čtvrtý sloupec jsou pozice vozu X, Y, Z v modelu trati. Pátý, šestý a sedmý sloupec představují údaj o natočení vozu kolem osy X, Y, Z.

Pro zpracování jednotlivých situací A, B, C matematickým modelem jsem dle kamerového záznamu z každé jízdy vybral časový úsek začínající 3 s před krizovou událostí a přidal jsem x sekund navazujícího záznamu, tak abych pokryl datovým záznamem dobu, po kterou řidič situaci řešil. Takto jsem připravil 3x32 datových záznamů z výchozích TXT souborů - viz Tab. 5.

Podle kamerového záznamu jsem ke každé situaci přiřadil i klasifikátor, abych rozčlenil jízdy do tří kategorií – klasifikací:

1. bez nehody (nerušený průjezd) – řidič vyřešil rizikovou situaci bezpečně,
2. skoronehoda (dopravní konflikt) – řidič vyřešil rizikovou situaci obtížně, hrozilo riziko nehody,
3. nehoda – řidič nezvládl rizikovou situaci, která skončila kolizí s dalším vozidlem nebo s infrastrukturou dálniční komunikace.

Matematický model jsem připravil s využitím konzultací s doc. Ing. Ivanem Nagym, CSc. z Ústavu aplikované matematiky dopravní fakulty ČVUT. Získal jsem tak nástroj pro klasifikaci situací, který rozhodoval o klasifikačním začlenění. Parametry průběžně snímané v čase se porovnávaly se třemi kategoriemi a dle nejbližší shody poté model rozhodoval, o jakou kategorii se jedná. Výsledky situací A, B, C všech jízd jsou zobrazeny v přílohách č. 2, č. 3, č. 4.

Rozhodovací algoritmus si ukážeme na příkladu situace A.

K připraveným jízdám jsem přiřadil dle hodnocení kamerového záznamu tyto klasifikátory (1 - bez nehody, 2 - skoronehoda, 3 - nehoda):

Jízda	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Klasifikátor	1	2	1	1	1	3	1	1	1	1	2	1	2	3	1	1
Jízda	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Klasifikátor	1	2	3	1	2	2	3	2	1	2	1	2	1	1	2	2

Tab. 6: Klasifikace situace A. Zdroj: Autor

Ke zpracování dat jsem použil program Scilab. Záznamy z jednotlivých jízd jsem označil x a vyhodnocení každé jízdy y . Uvažujeme funkci $f(x|c)$, tedy průběh jízdy (x) v závislosti na veličině (c). Na veličinu c pohlížíme jako na klasifikátor, x bereme jako vektor hodnot jízdy ve vybraných bodech. Body vybíráme ručně. Podíváme se na průběh všech jízd a vybereme místa, kde se jízdy co nejvíce liší. Poté konstruujeme model směsi distribucí z dat, pomocí odhadu s tzv. učitelem. Model má tvar

$$x_t = k_{ct} + e_{t,ct}$$

kde c_t značí vyhodnocení t -té jízdy a k_{ct} je vektor konstant - parametr c_t -té komponenty pro $c_t \in \{1, 2, 3\}$ (3 druhy vyhodnocení).

Odhad s tzv. učitelem je následující:

1. Vybereme všechny jízdy, které jsou vyhodnoceny jako $y = j$
2. Vezmeme všechny odpovídající vektory x (hodnoty jízd ve vybraných bodech).
3. Parametr k_{ct} , $c_t = 1; 2; 3$ dostaneme jako průměr vektorů x z předchozího kroku.

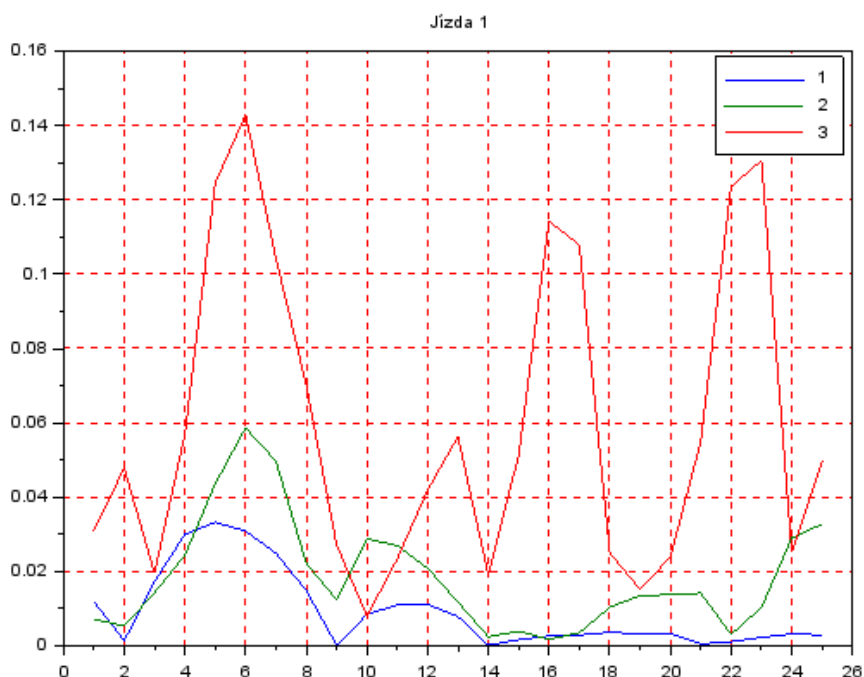
Poznámka: Na vektory k_j $j=1,2,3$ lze pohlížet jako na typické průběhy jízd vedoucí na j -té vyhodnocení.

Klasifikace bude spočívat v tom, že pro daný průběh jízdy budeme hledat nejbližší typický průběh (z těch tří, které máme k dispozici) a ten bude označovat třídu, do které klasifikujeme. Označíme x_t záznam t -té jízdy a \tilde{x}_j typický průběh j ; $j = 1; 2; 3$

Vzdálenost D_j počítáme jako součet kvadrátů odchylek

$$D_j = \sum_i (x_{i,t} - \tilde{x}_{i,j})^2, \quad j = 1; 2; 3:$$

Klasifikujeme do třídy, pro kterou je vzdálenost minimální.



Obr. 51: Příklad grafického výstupu - klasifikace situací. Zdroj: Autor

Na obr. 51 je uvedena jako příklad jízda řidiče č. 1 při průjezdu situace A. Na vodorovné ose je 25 ručně vybraných míst, ve kterých se porovnával průběh jízdy s vzorovou situací odpovídající 1 - nerušenému průjezdu, 2 - skoronehodě, 3 - nehodě. Naše jízda je tedy porovnávána s velikostí odchylek od vzorových situací na svislé ose a součty těchto odchylek, které mají nejmenší hodnotu k modré, červené nebo zelené křivce, jsou klasifikovány právě k této křivce.

U příkladu uvedeného na obr. 51 model rozpoznal tuto situaci jako 1 – bez nehody (modrá křivka má nejmenší součty kvadrátů odchylek v měřených bodech), což odpovídá i kamerovému záznamu jízdy a tato situace je modelem vyhodnocena správně.

Zpracováním všech 32 jízd u situací A, B, C (viz příloha 2, 3, 4) jsem dosáhl těchto výsledků v přesnosti určení – klasifikací:

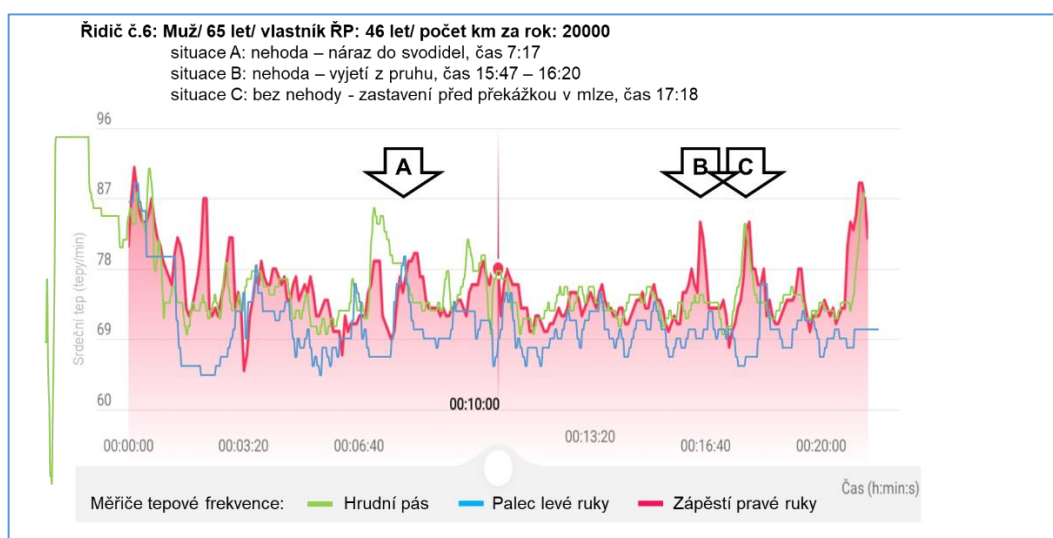
Situace A – správně rozpoznáno 22 situací z 32 jízd, tedy 68,75% úspěšnost modelu.

Situace B – správně rozpoznáno 23 situací z 32 jízd, tedy 71,88% úspěšnost modelu.

Situace C – správně rozpoznáno 25 situací z 32 jízd, tedy 78,13% úspěšnost modelu.

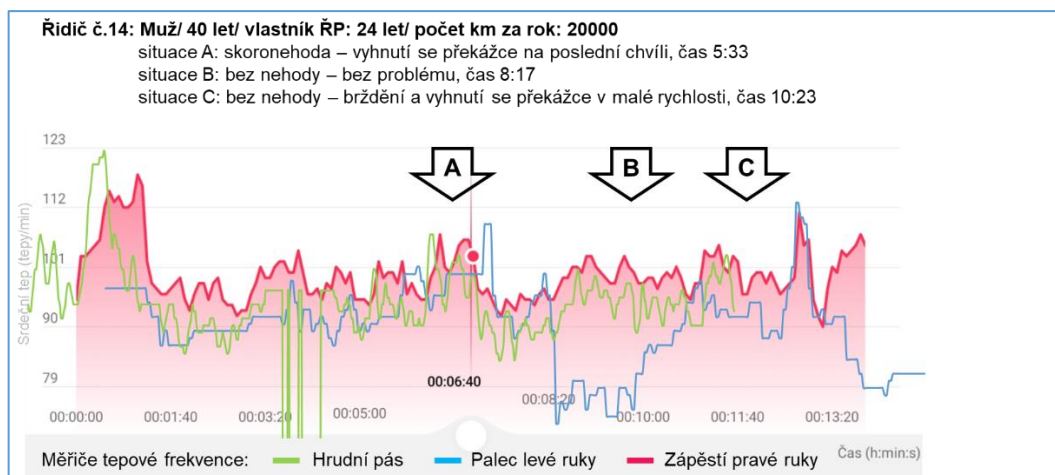
Je zde několik důvodů, proč není model 100% úspěšný. Chybí dostatečné množství dat pro „naučení se“ modelu, jaký průběh odpovídá nehodě a skoronehodě. Možností je experimentovat s jinými měřeními body, ve kterých se model porovnává nebo přidat modelu další informaci z vnějšku, a sice informace ze sensoriky řidiče – průběh tepové frekvence.

Na obr. 52 až obr. 57 jsou zobrazeny charakteristické příklady průběhů tepových frekvencí řidičů během jízdy na simulátoru. V záhlaví obrázku jsou základní informace o řidiči a shrnutí situací A, B, C dle hodnocení kamerového záznamu. Pozn.: Časový údaj průjezdu situací z kamerového záznamu se liší s údajem měřiče tepové frekvence. Start simulace probíhal následně až po usazení řidiče v kabině simulátoru a časy jízdních situací jsem musel dodatečně synchronizovat s měřiči tepové frekvence. V grafech jsou zobrazeny průběhy tepu ze všech tří měřičů. Informace o použití měřičů a stabilitě měření tepu jsou uvedeny v kap. 8.1. Zde jsou vidět rozptyly naměřených průběhů tepových frekvencí. Dále jsou v průbězích zobrazena kritická místa (šipka s označením situace A, B nebo C), která ukazují, jak reagoval organismus řidiče na vnější stresující podnět a jak jej konkrétní snímač tepu zaznamenal.



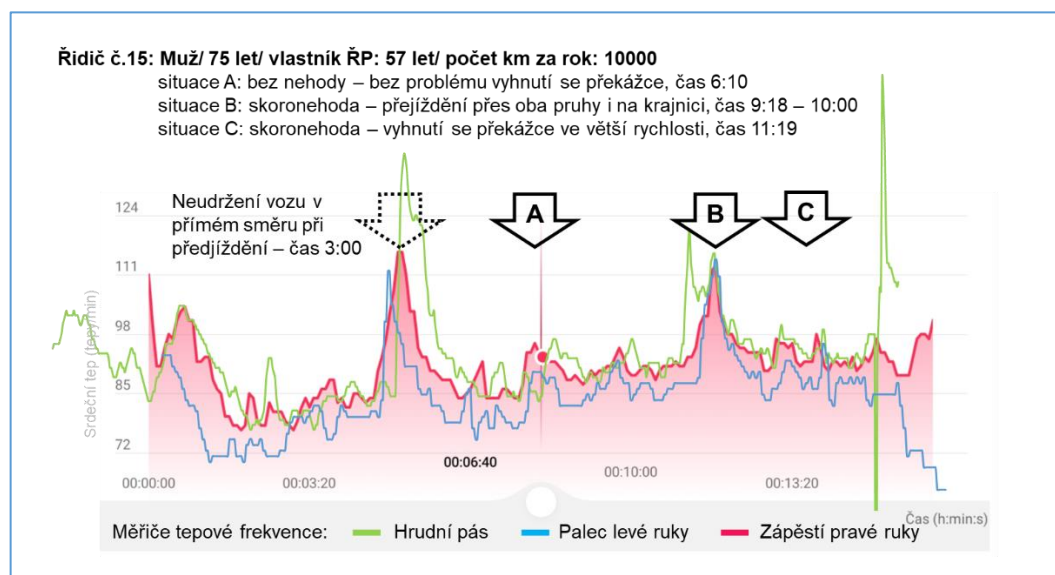
Obr. 52: Záznam tepové frekvence - řidič č. 6. Zdroj: Autor

Řidič č. 6 reagoval na situace A, B, C zvýšením tepové frekvence v daný okamžik. I když situace C neskončila nehodou, byla pro řidiče stresující. Řidič před vozidlem, které se objevilo v mlze, dokázal brzděním zastavit a vozidlo objet. Reakce tohoto typu vykazovala většina starších řidičů a byl to hlavní rozdíl oproti generaci mladých řidičů.



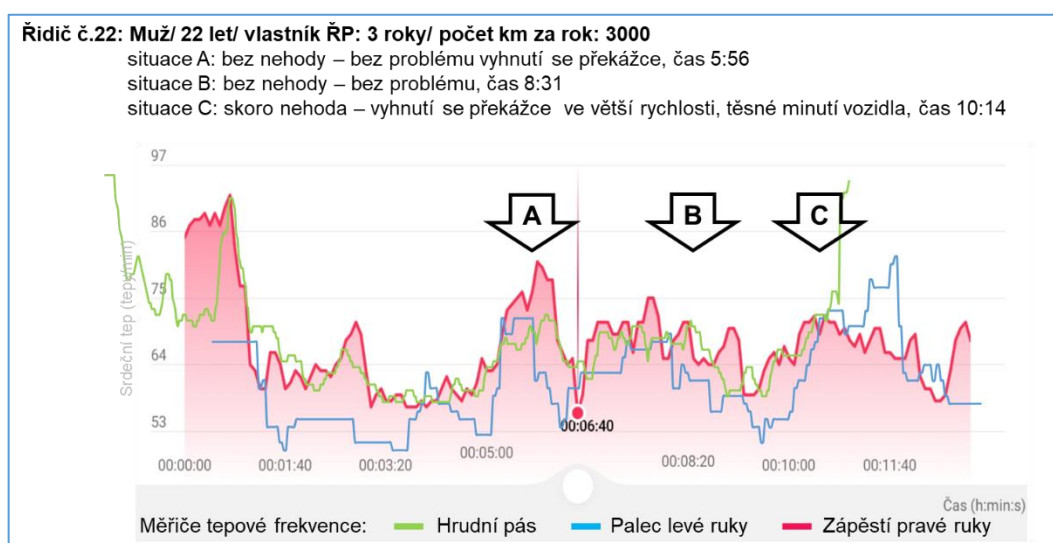
Obr. 53: Záznam tepové frekvence - řidič č. 14. Zdroj: Autor

Řidič č. 14 reagoval při situaci A na překážku na silnici na poslední chvíli, což se projevilo zvýšením tepové frekvence. Další situace řidič zvládl. Rozdíly v hladinách tepu v úsecích, kdy působila na řidiče stresující připravená situace, oproti klidným jízdním úsecům nejsou velké. Za upozornění stojí, že řidič měl už při rozjezdu tepovou frekvenci okolo 95 tepů za minutu v klidných úsecích jízdy. Jak bylo popsáno v kap. 8.1, měřič palce neměřil v určitých úsecích, což bylo pravděpodobně způsobeno úchopem volantu při řízení a kolizí snímače s volantem.



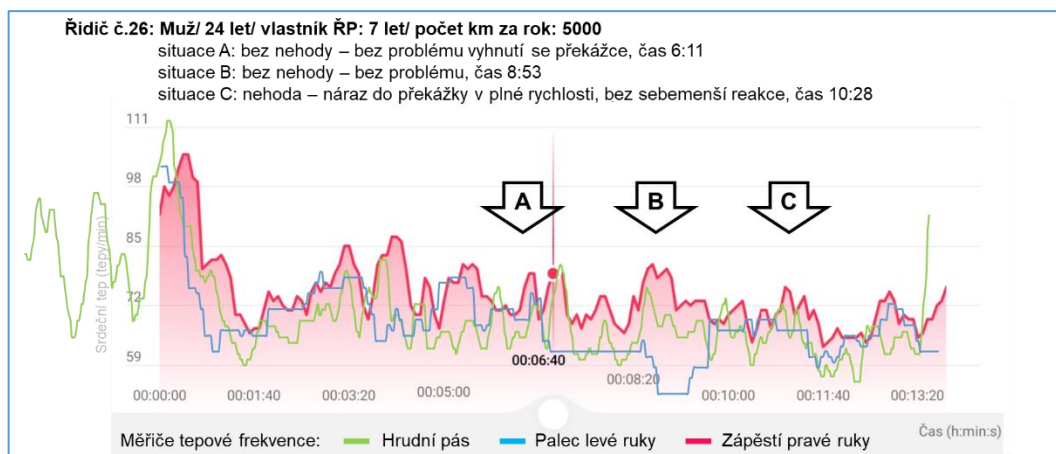
Obr. 54: Záznam tepové frekvence - řidič č. 15. Zdroj: Autor

Řidič č. 15 měl problémy s udržení vozu v přímém směru ještě před situací A, což všechny tři snímače tepu zaznamenaly. V samotné situaci reagoval na překážku klidným vyhýbacím manévrem, protože překážka byla dobře viditelná a v okolí nebyla jiná vozidla. Dotykové ovládání infotainmentu za jízdy bylo opět pro staršího řidiče velmi stresující a obtížně dokázal udržovat přímý směr jízdy. Naproti tomu v situaci C bych očekával také zvýšení tepové frekvence, podle kamerového záznamu bylo vyhnutí se překážce riskantní, ale snímače tepu nezaznamenaly velký výkyv.



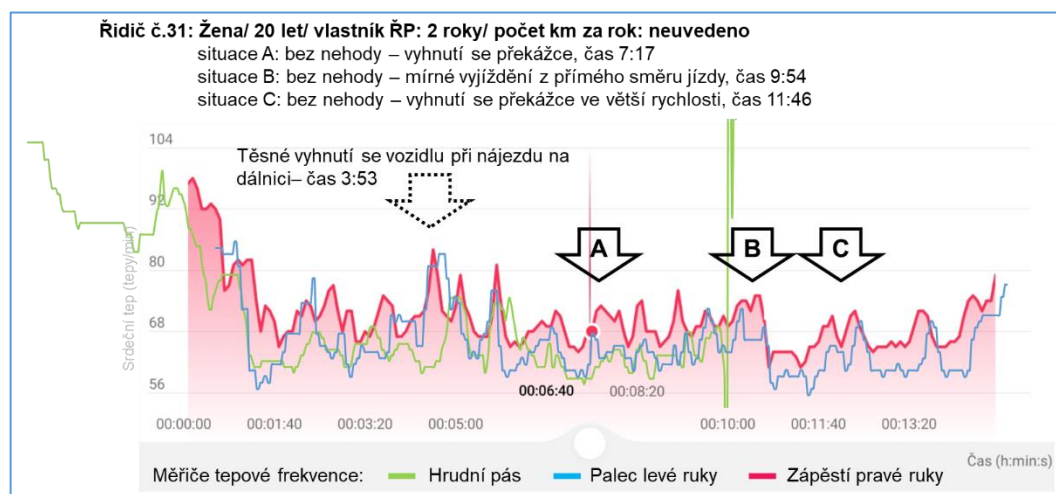
Obr. 55: Záznam tepové frekvence - řidič č. 22. Zdroj: Autor

Řidič č. 22 měl při rozjezdu tepovou frekvenci okolo 60 tepů za minutu a situace A jeho tepovou hladinu výrazně zvýšila, přestože se dokázal překážce s přehledem vyhnout. Celkově jel tento mladý řidič poměrně rychle. U situace C bych očekával také větší reakci měřiče tepu, kdy řidič těsně minul překážku v mlze. Jeho jízdu bych přirovnal k jízdě na herním simulátoru, snažil se jet rychle a nedělal si starosti s možnou nehodou, byl si vědom, že je to jen simulace.



Obr. 56: Záznam tepové frekvence - řidič č. 26. Zdroj: Autor

Řidič č. 26 jel také velmi rychle a působil soustředěně a klidně. V situaci C havaroval, ale nereagoval úlekem, úhybem, vůbec žádnou viditelnou reakcí. Měřiče tepu toto chování vyhodnotily správně, ale pro matematický model šlo o nehodovou událost.



Obr. 57: Záznam tepové frekvence - řidič č. 31. Zdroj: Autor

Řidič č. 31, v tomto případě žena, se obtížně zařazoval při nájezdu na dálnici mezi ostatní jezdící vozidla a tuto událost měřiče tepu zaznamenaly ještě před situací A. Celou trať absolvoval soustředěně a s přehledem řešil situace A, B i C.

Ukazuje se, že by pro další experiment bylo vhodné vložit mezi situace B a C delší interval klidnější jízdy, aby se tepová hladina stihla ustálit a ukázala lépe rozdíl při stresové situaci, tak jak je to patrné před situací A.

9 Vyhodnocení a závěr

Ve své disertační práci věnované tématu bezpečnosti dopravy na pozemní komunikaci jsem se postupně zaměřil na národní strategii bezpečnosti dopravy i metodiky hodnocení rizikových míst a dopravních konfliktů. Zmapoval jsem způsoby analýz nehodovosti ve světě a v České republice. Tyto informace přispěly k mé lepší orientaci v tématu a pomohly mi v přípravě dvou stěžejních experimentů pro mou práci.

V úvodním experimentu jsem se pokusil vytvořit mapu kritických míst v dopravě. Využil jsem senzorickou síť vozidla a modeloval jsem situace, které jsem klasifikoval jako rizikové a nerizikové, právě z údajů sensoriky vozidel. Tento experiment a jeho výsledky ukázaly potřebu zapojit do analýzy další prvky senzorů, což mě navedlo k druhému experimentu, v němž jsem jako stěžejní prvek analyzoval chování řidiče. Připravil jsem scénář krizových situací v dálničním provozu pro jízdní simulátor. Řidičům jsem během jízdy měřil tepovou frekvenci a analyzoval rozdíly mezi klidnými úseky trati a místy, kde řidič řešil krizovou situaci a byl vystaven krátkodobému stresu. Vytvořil jsem hodnotící model pro dopravní konflikty, který kombinuje informace ze senzorické sítě vozidla a senzorů měření tepu řidiče, jakožto doplňující informaci, zda se jedná o krizovou situaci. Model hodnotící dopravní konflikt a nehodu není 100% spolehlivý – je nutné ještě pokračovat v testování a odladit jej. Snímání tepu řidiče je také zatím nespolehlivé. Oba experimenty ukázaly cestu, ve které budu pokračovat.

Dosud se analýza nehod provádí pouze ze záznamů nehod od policie. Kdyby byla analýza nehodovosti doplněna o rizikové situace vygenerované podle algoritmu matematického modelu uvedeného v této práci, hodnotícího vedle nehod i dopravní konflikty, byl by to přínos pro lepší a úplnější detekci rizikových míst, a to i přesto, že spolehlivost modelu se pohybuje mezi 68 – 78 %. Jelikož vidím potenciál v dalším zpřesňování modelu, bude se procentuální spolehlivost zvyšovat.

Nelze počítat s tím, že by řidič při jízdě např. tlačítkem označil krizovou situaci, systém musí pracovat automaticky nezávisle a řidiče využít pouze jako další senzor v celkové senzorické síti. Zaměřil jsem se proto na snímání tepu řidiče jako nejdostupnější informace. Analýzou velkého počtu dat ze senzorické sítě by poté mohly vzniknout modely chování a nastavení akčních členů tak, aby co nejlépe reagovaly a postupně se učily od řidičů a situací na silnici.

Komerční navigace Waze [37] má funkci „označ při jízdě nebezpečné místo“. Není to řidiči plně využívaný nástroj, ale přesto přínosný. Ten, kdo přijde na trh s vylepšenou službou, získá nejen data z chování řidičů, ale i jejich profil, informaci o jejich zdravotním stavu (nepřetržitě

snímán tepu), získá i analýzu, jak reagují na situaci a jak to na ně působí. Z těchto dat může profitovat odvětví pojištění vozidel – informace o chování za jízdy, řídičském stylu. Ten, kdo bude vlastnit tato data a dokáže je efektivně zpracovat, bude v konkurenční výhodě. Hlavním záměrem ovšem zůstává samotný řidič, pro kterého jsou důležité včasné informace o nebezpečí na trase.

Z těchto důvodů vidím mé experimenty jako přínosné a v další kapitole jsou rozvedeny konkrétní příklady na využití výsledků mé práce. Jedná se o návrhy řešení, které musí být podrobeny odbornému posouzení, zda mají potenciál k dalšímu zpracování.

Níže uvedená opatření reagují na kapitoly akčního programu národní strategie bezpečnosti silničního provozu [1] představené v kap. 1.2.

9.1 Možnosti rozvoje pracoviště jízdního simulátoru v budově CIIRC

Jízdní simulátor v Laboratoři interaktivních vozidlových simulátorů v budově CIIRC ČVUT v Praze v sobě nese potenciál pro vytvoření expertního pracoviště. V kap. 8.2 je na základě dotazníku vygenerován účastníky jízdy na simulátoru seznam doporučení pro zvýšení realističnosti simulace. Doporučuji dotazník vždy k testování na simulátoru připojit a zjišťovat takto zpětnou vazbu k aktuálnímu testování.

Řidiči mnohdy reagovali panicky na nenadálou krizovou situaci. Logicky ji neměli nacvičenou z reálného života. Doporučuji vyčlenit část kapacity jízdního simulátoru pro školení řidičů – nácvik na krizové situace (pro autoškoly či jako součást kondičních jízd pro veřejnost). Vedle nácviku krizových situací lze simulátor využít i k tréninku používání asistenčních systémů na simulované trati, aby pozdější ovládání v běžném provozu bylo intuitivnější a bezpečnější. Z každé jízdy získáme data o chování řidičů v krizových situacích, která využijeme pro další analýzy. Také rozšíříme skupinu řidičů pro testování nových aplikací.

Ovládání infotainmentu za jízdy ukázalo, že pokud je aplikace dobře připravena, je ovládání bezpečné. V opačném případě řidiči přejížděli nevědomky do vedlejšího pruhu nebo na krajnici, kde hrozila kolize. Naměřením dat ze simulátoru dokážeme exaktně určit míru bezpečnosti testované aplikace. Z tohoto důvodu doporučuji získat pro pracoviště CIIRC status nezávislého validačního místa pro aplikace infotainmentu, připravit metodiku testování a hodnocení bezpečnosti aplikací a nabídnout tuto službu automobilovým výrobcům.

9.2 Doporučení pro úpravu asistenčního systému automobilů

Současný bezpečnostní systém včasného brzdění před překážkou (Front Assist [36]) se varováním a brzděním snaží minimalizovat následky kolize. Doporučuji na simulátoru zkoušet a odladit nový brzdny asistent, který by vyhodnotil možnosti brzdného účinku vozidla před překážkou a v případě, že by výsledkem predikce byla neodvratná kolize, tak paralelně k brzdění by pomocí optických senzorů a radaru hledal místo pro možný úhybný manévr při pokračujícím brzdění. Pokud by jej nenalezl, tak by existovalo stejné riziko kolize s překážkou jako u současného brzdného asistentu.

9.3 Implementace snímače tepu do senzorické sítě automobilu

Další výzkum zaměřím na pokračování experimentu č. 2 – měření tepové frekvence. Tzv. chytrá nositelná elektronika dnes nabízí (a hlavně s velkým potenciálem výpočetního výkonu a datových přenosů nabízet v budoucnu bude) pokročilé využití senzoriky snímání tepu. Zjistil jsem, že určité situace ovlivní tepovou frekvenci řidiče, jiné očekávané ne. Dosažené výsledky jsou pouze experimentální a nejsou plně spolehlivé. V plánované nové sérii testování doplním tzv. ortoklinostatickým testem měření tepové frekvence řidičů před jízdou na simulátoru a připojím osobnostní dotazník, abych určil, jak určitá skupina řidičů reaguje na vnější podnět (krizovou situaci během jízdy). Případně se nabízejí další diagnostické metody měření tělesné zátěže řidiče k experimentálnímu vyzkoušení na simulátoru jízdy [31], [32], [33], [34], [35].

9.4 Pokračování v analýze dalších rizikových situací

V experimentu č. 2 jsem připravil pět rizikových situací. Plánuji nový scénář dalších situací vycházející ze statistiky nehodovosti a v budoucnu i ze statistiky dopravních konfliktů. Velké bezpečnostní riziko při jízdě na pozemní komunikaci vidím při předjíždění cyklistů na obousměrné komunikaci, vstupu chodce do vozovky či přecházení zvěře přes komunikaci v lesním úseku. Tyto nové situace se uplatní i při řešení v kap. 9.1 a 9.2.

9.5 Úprava metodik určování kritických míst na pozemních komunikacích

Plánuji spojení s Centrem dopravního výzkumu v. v. i. v Brně s nabídkou výsledků této práce a možnosti implementovat výsledky do současných metodik určování kritických míst na pozemních komunikacích a dopravních konfliktů [8], [9], [10], [11].

Použité zdroje a literatura

- [1] Národní strategie bezpečnosti silničního provozu ČR 2011–2020. Ministerstvo dopravy. Praha 2017. Dostupné z: <https://www.databaze-strategie.cz/cz/md/strategie/narodni-strategie-bezpecnosti-silnicniho-provozu-2011-2020>
- [2] Informace o nehodovosti na pozemních komunikacích v ČR. Policie ČR, ŘSDP. Praha 8. 1. 2020. Dostupné z: <https://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx>
- [3] Jednotná dopravní vektorová mapa. Ministerstvo dopravy 2006, CDV v. v. i. 2020. Dostupné z: <http://www.jdvm.cz/>
- [4] Portál: The National Highway Traffic Safety Administration, United States Department of Transportation. Dostupné z: <https://www.nhtsa.gov/>
- [5] Road accidents and safety statistics. Department for Transport, GOV.UK. Dostupné z: <https://www.gov.uk/government/collections/road-accidents-and-safety-statistics>
- [6] Transportation Research Board. The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Dostupné z: <https://www.nationalacademies.org/trb/transportation-research-board>
- [7] The Highway Safety Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials. Dostupné z: <http://www.highwaysafetymanual.org/Pages/Tools.aspx>
- [8] AMBROS, Jiří, ALTMANN, Jaroslav. Metodika: Preventivní hodnocení bezpečnosti s využitím dat z plovoucích vozidel. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. a Princip, a. s. 2017. ISBN 978-80-88074-57-1
- [9] AMBROS, Jiří, KOCOUREK, Josef. Metodika sledování a vyhodnocování dopravních konfliktů. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. a České vysoké učení technické v Praze. 2013. ISBN 978-80-86502-62-5
- [10] STRIEGLER, Radim a kol. Identifikace kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu - metodika provádění. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. 2012. ISBN 978-80-86502-47-2
- [11] AMBROS, Jiří a kol. Metodika hodnocení dopadu silniční infrastruktury na bezpečnost. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. 2017. ISBN 978-80-88074-56-4
- [12] Zajišťování kvality před sériovou výrobou – svazek VDA. Česká společnost pro jakost. 2005. ISBN 80-02-01682-3
- [13] Jízda do budoucnosti, příloha interních novin ŠKODA Mobil. ŠKODA AUTO a. s. 29. 7. 2016
- [14] MACHAN, Jaroslav. Systémy vozidla pro podporu řidiče. QFD Best Practices 4. ČVUT Praha. 2015

- [15] BUDISTEANU, Ionut Alexandru. Using Artificial Intelligence to create a low cost self-driving car. 2005. Dostupné z: <http://budisteanu.net/Download/ISEF%20%20Autonomous%20car%20Doc%20particle.pdf>
- [16] DE COCK BUNING, Madeleine, DE BRUIN, Roeland (2017) Autonomous intelligent cars: proof that the EPSRC Principles are future-proof, Connection Science, 29:3, 189-199, DOI: 10.1080/09540091.2017.1310181. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/09540091.2017.1310181>
- [17] The Evolution of Automated Safety Technologies. NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration. United States Department of Transportation 09/2017. Dostupné z: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>
- [18] What Is Vehicle Cybersecurity? NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration. United States Department of Transportation 09/2017. Dostupné z: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/vehicle-cybersecurity>
- [19] KOŠTURIÁK, Ján, CHAL, Ján. Inovace, vaše konkurenční výhoda! Computer Press, a. s. 2008. ISBN 978-80-251-1929-7
- [20] ŠTOHANZL, Milan, PROKOPEC, Jan. Car2X a Car2Car komunikace. VUT Brno. Elektrověst. 2012. Dostupné z: <http://www.elektrověst.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/0/car2x-a-car2car-komunikace/>
- [21] VÉMOLA, Aleš. Úvod do soudního znaleství ve specializaci silničních nehod. VUT Brno. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/PKO/holcner.p/BM01/BM01_USI/vemola_znalectvi.pdf
- [22] O'REILLY, Tim. Co přinese budoucnost a jak ji přežít. 2018. Jan Melvil Publishing. ISBN 978-80-7555-054-5
- [23] Smart road, Smart highway. Wikipedia. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_highway
- [24] C2C-CC. CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto: Overview of the C2C-CC System. 1st edition. [s.n.], 2007. 94 stran. Dostupné z: https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/General_Documents/C2C-C_Manifesto_Aug_2007.pdf
- [25] HOANG, Gia Minh. Cooperative multisensor localization for connected vehicles. PhD Thesis. TELECOM Paris Tech. 2018. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/323452616_Cooperative_multisensor_localization_for_connected_vehicles
- [26] Guidance for day 2 and beyond roadmap. CAR 2 CAR Communication Consortium. 2019. Dostupné z: https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/General_Documents/C2CCC_WP_2072_RoadmapDay2AndBeyond.pdf
- [27] ESKANDARIAN, Azim. Handbook of Intelligent Vehicles. Springer-Verlag London Ltd. 2012. ISBN 978-0-85729-084-7

- [28] VYSOKÝ, Petr. Asistenční systémy v automobilech. Časopis Automa. 12/2005. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-cislo/automa-2005_12/
- [29] PECKA, Luboš. Přehled a princip činnosti senzorů a akčních mechanismů vozidel. Bakalářská práce VUT Brno. 2008. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6273
- [30] HAJDA, Michal. Diagnostické nástroje motorových vozidel a jejich bezpečnostní funkce. Bakalářská práce UTB Zlín. 2018. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/43263/hajda_2018_dp.pdf?sequence=1
- [31] CIPRYAN, Lukáš, LITSCHMANNOVÁ, Martina. Reliabilita měření variability srdeční frekvence provedeného metodou bezprostředně opakovaného testu-retestu. FSpS Masarykova Univerzita Brno. Dostupné z: <http://www.fsp.s.muni.cz/emuni/data/reader/book-13/03.html>
- [32] BOTEK, Michal, KREJČÍ, Jakub, MC KUNE, Andrew J. Variabilita srdeční frekvence v tréninkovém procesu: historie, současnost a perspektiva. Univerzita Palackého v Olomouci. 2017. ISBN 978-80-244-5202-9.
- [33] PUSTINA, Jaroslav. Možnosti měření zvládnání stresu. Diplomová práce FF UK Praha. 2015. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/158774/>
- [34] NOVOTNÝ, Jan. Zátěžové testy ve sportovní medicíně. FSpS Masarykova Univerzita Brno. 2013. Dostupné z: http://www.fsp.s.muni.cz/~novotny/ZT_text.pdf
- [35] PYŠNÁ, Dominika, PYŠNÝ, Ladislav. Praktická cvičení z Fyziologie tělesné výchovy a sportu. Multimediální učební materiál. PF Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. Dostupné z: <https://pf.ujep.cz/~pysnad/fyziologie/index.html>
- [36] Front Assist. Škoda Storyboard. ŠKODA AUTO a. s. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace/polopate-asistencni-systemy-skoda-3-dil/>
- [37] Waze - navigační software pro mobilní telefony. Google. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.waze&hl=cs>
- [38] VAA, T., PENTTINEN, M., SPYROPOULOU, I. Intelligent transport systems and effects on road traffic accidents: state of the art. The Institution of Engineering and Technology. 2007. ISSN 1751-9578. Dostupné z: https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-its_20060081
- [39] CACCIABUE, P. Carlo. Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments. Critical Issues in Driver Interactions with Intelligent Transport Systems. Springer-Verlag London. 2007. ISBN 978-1-84628-617-9
- [40] REGAN, Michael. Intelligent transport systems: safety and human factor issues. Noble Park, Vic.: Royal Automobile Club of Victoria, Australia. 2001. ISBN: 1-875963-24-3

- [41] GIACALONE, Jean-Pierre, BOURGEOIS, Luc, ANCORA, Andrea. Challenges in aggregation of heterogeneous sensors for Autonomous Driving Systems. 2019. IEEE Sensors Applications Symposium (SAS) in Sophia Antipolis, France. DOI: 10.1109/SAS.2019.8706005. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8706005>
- [42] ILIC, Velibor, MARIJAN, Malisa, MEHMED, Ayhan, ANTLANGER, Moritz. Development of Sensor Fusion Based ADAS Modules in Virtual Environments. 2018. Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC) in Novi Sad, Serbia. DOI: 10.1109/ZINC.2018.8448849. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8448849>

Příloha 1: Analýza rizik v dopravě metodou FMEA

Název FMEA			Autor					Datum vytvoření FMEA		
Systém dopravy			J. Tobiška					28. 7. 2016		
Funkce	Možná vada	Možný důsledek	S	Příčina	Kontrolní a preventivní opatření	Vznik	Význam	Odhalení	Možné riziko	Doporučená opatření
1. Rychlost dopravy	1.1 nedostatečná rychlost dopravy	nevyužitý čas, zpoždění osob a předmětů v cíli		1.1.1 pomalý dopravní prostředek	rychlost všech dopravních prostředků se zvyšuje.	4	4	3	48	nedefinováno
				1.1.2 zpomalení - vyhýbání se překážce na trase	dostatečná akcelerace dopravního prostředku omezí ztrátu rychlosti po objetí překážky	5	4	5	100	nedefinováno
				1.1.3 nedostatečně dimenzovaná trasa na rychlost	rozvoj sítě rychlostních komunikací	4	4	3	48	nedefinováno
				1.1.4 nevhodně navržené omezení rychlosti	chybí	6	4	3	72	rozvoj řízení systému zobrazení dovolené rychlosti spolu s ohledem na plynulost dopravy
				1.1.5 nevhodné povětrnostní podmínky + sníh, led na vozovce	údržba silnic a dálnic	4	4	5	80	inovace povrchu vozovky - sama odstraní sníh, vodu, led
	1.2 vysoká rychlost dopravy	nebezpečí kolize, nevolnost u přepravovaných osob, poškození přepravovaného materiálu otřesy		1.2.1 neřízený provoz - nehledá rychlost	radary, policejní kontroly	5	10	6	300	inovace povrchu vozovky - hlídá rychlost dopravních prostředků a informuje ostatní o nebezpečí

				1.2.2 dopravní prostředek umožňuje použít vysokou rychlost	omezovače rychlosti, výchova řidičů	7	1 0	3	210	inovace povrchu vozovky - hlídá rychlost dopravníc h prostředků a omezí rychlost v nebezpeč ném úseku
									0	
2. Plynulost dopravy	2.1 omezení až zastavení provozu - dopravy	vytvoření kolony - nebezpečí kolize, zpoždění osob a předmětů v cíli		2.1.1 překážka na trase	chybí	4	7	8	224	inovace povrchu vozovky - senzory v povrchu vozovky varují přijíždějící dopravní prostředky před překážkou
				2.1.2 chyba řízení provozu	zkušenosti a rozvoj systému a pravidel řízení provozu	3	7	8	168	komunikac e silnice - vozidlo I2V (Infrastruct ure to vehicle)
				2.1.3 zúžení trasy - oprava silnice	chybí	4	7	1	28	odolnější povrch, minimaliza ce oprav
				2.1.4 pomalý dopravní prostředek nelze předjet	chybí	4	7	2	56	široké silnice a úzké dopravní prostředky
									0	
3. Bezpečnost dopravy	3.1 nebezpečn á doprava	kolize, zranění, poškození dopr. prostředků, poškození přepřavovan ých předmětů, poškození infrastruktury		3.1.1 chování řidiče	výchova řidičů	4	1 0	8	320	inovace povrchu vozovky - rozpozná styl a jízdu nebezpeč ného řidiče a informuje ostatní vozidla a policii

			3.1.2 chyba nebo nevhodné rozhodnutí řídicího systému dopr. prostředku	chybí	3	1 0	1 0	300	komunikace mezi všemi účastníky dopravy řídí systém řízení trasy (silnice)
			3.1.3 porucha dopravního prostředku	zvyšující se spolehlivost dopravních prostředků	3	1 0	5	150	nedefinováno
			3.1.4 překážka na trase	sledování trasy řidičem - věnování se řízení	3	1 0	4	120	inovace povrchu vozovky - senzory v povrchu vozovky varují přijíždějící dopravní prostředky před překážkou
			3.1.5 chyba řízení dopravy	zkušenosti a rozvoj systémů řízení dopravy	2	1 0	9	180	komunikace silnice - vozidlo I2V (Infrastructure to vehicle)
			3.1.6 náhlá změna povětrnostních podmínek	chybí	4	1 0	8	320	inovace povrchu vozovky - senzory v povrchu vozovky varují před náledím, sněhem na povrchu
			3.1.7 poškozená vozovka	varovné značky na silnici	3	1 0	6	180	inovace povrchu vozovky - senzory v povrchu vozovky nahlásí chybějící články v ploše - díry v silnici
			3.1.8 omezená viditelnost	světlomety dopr. prostředků, osvětlení silnice	3	1 0	2	60	inovace povrchu vozovky - senzory v povrchu vozovky vedou vůz i za snížené viditelnosti

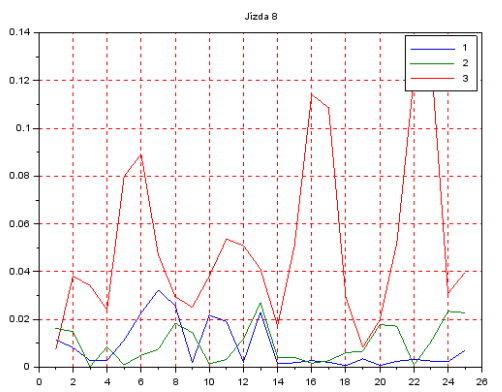
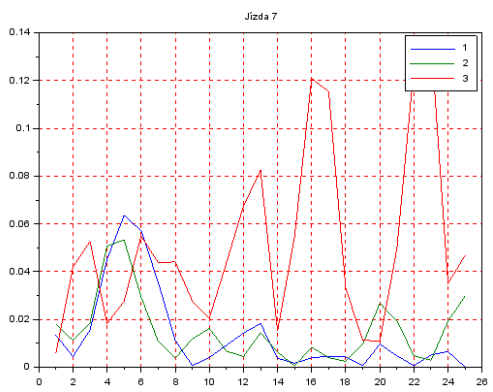
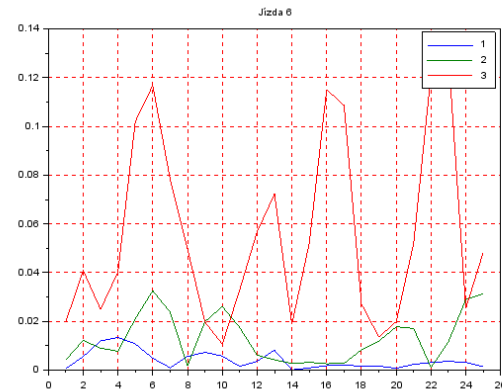
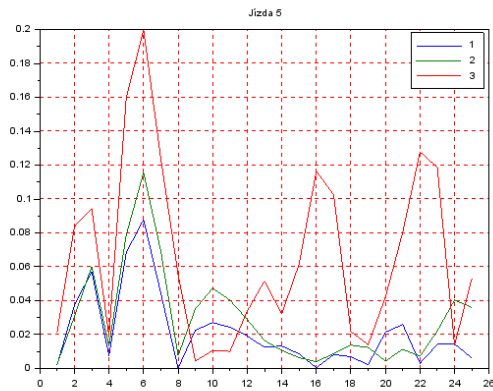
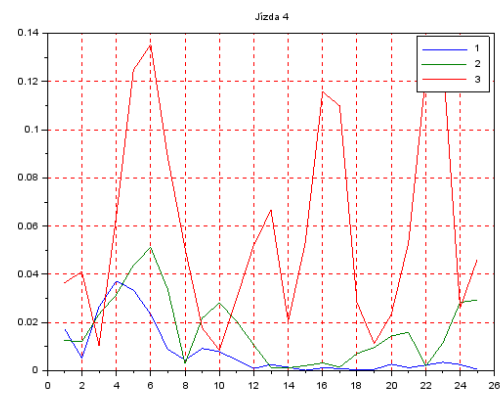
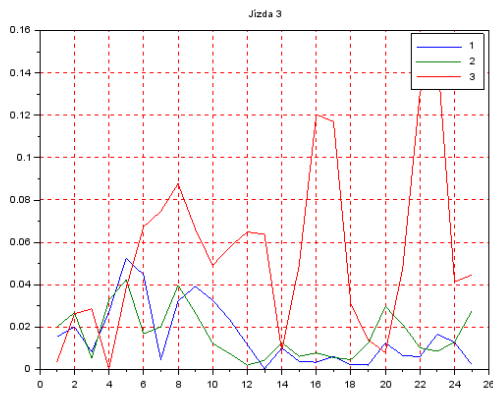
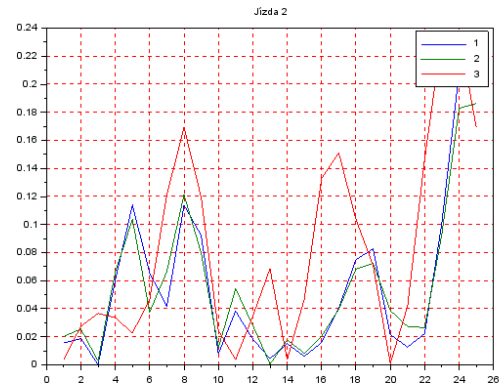
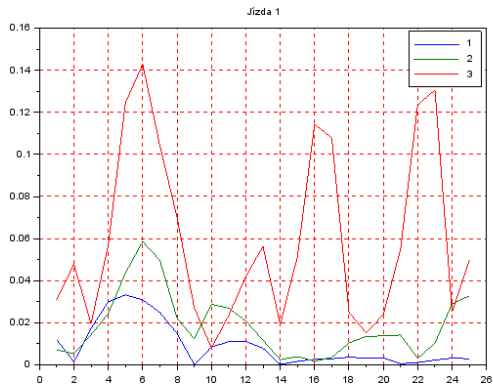
			3.1.9 různé rychlosti dopravních prostředků v jednom směru	chybí	7	10	3	210	rozdělit silnici na rychlý a pomalý pruh
			3.1.10 obousměrný provoz na jedné komunikaci	dálnice	7	10	2	140	změnit systém dopravy - řídit tok dopravních prostředků stylem kyvadlové dopravy
								0	
4. Hospodárnost dopravy	4.1 neehospodárná doprava	zpomalení rozvoje dopravy, zdražení dopravy, vyčerpání zdrojů	4.1.1 velká spotřeba energie na dopravu	vývoj nových úsporných pohonů	6	5	3	90	neefinováno
			4.1.2 vysoká cena energie	hledání nových zdrojů energie	4	5	3	60	neefinováno
			4.1.3 neefektivně navržené dopravní trasy	budování nových tras	3	5	3	45	neefinováno
			4.1.4 nevytížené dopravní prostředky	chybí	5	5	5	125	nové modulární dopravní prostředky pro 2 až X cestujících
			4.1.5 časté opravy tras - silnic	chybí	4	5	3	60	nepřetěžovat hmotnostě silnice, nový odolnější povrch silnice
			4.1.6 časté opravy dopravních prostředků	spolehlivost se zvyšuje	3	5	4	60	neefinováno
								0	

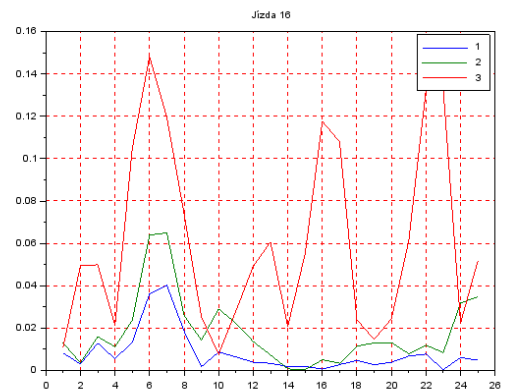
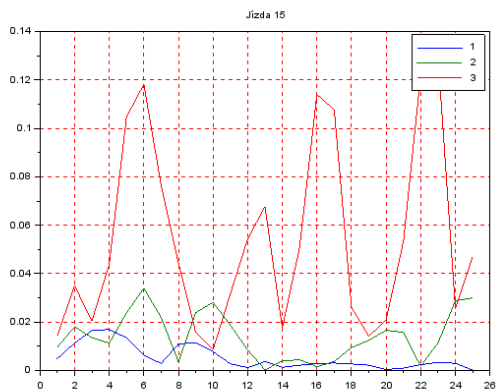
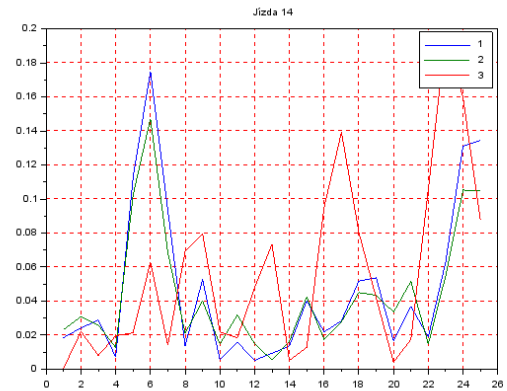
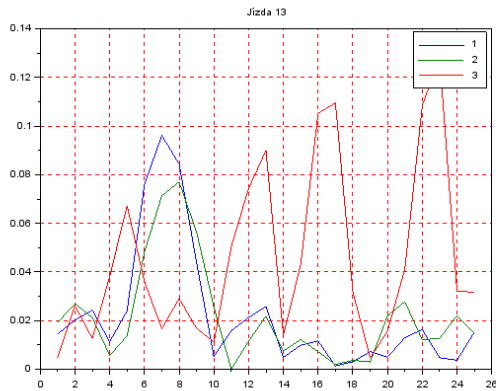
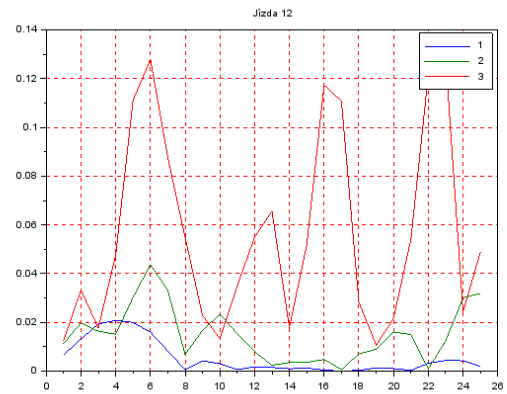
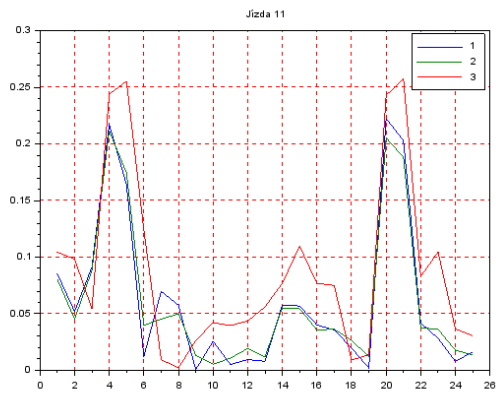
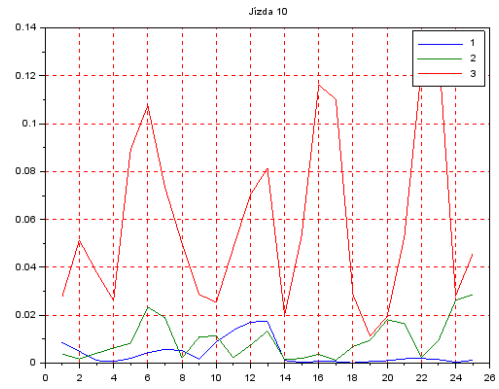
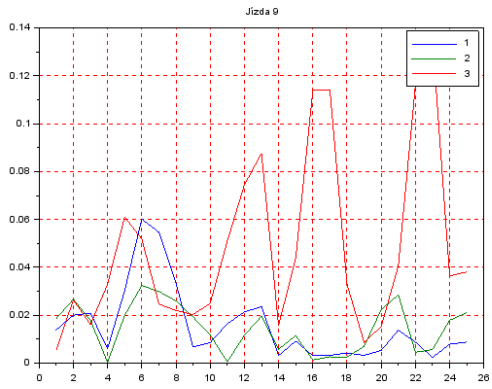
5. Ekologičnost dopravy	5.1 neekologická doprava	zatížení životního prostředí, negativní vliv na zdraví		5.1.1 produkce emisí při dopravě	zpřísňující se emisní limity	5	7	3	105	nové bezemisní pohony
				5.1.2 sálání tepla z dopravních prostředků	chybí	7	7	2	98	nový povrch dopr. prostředků zamezující sálání tepla
				5.1.3 sálání tepla z dopravních tras - silnic	chybí	7	7	2	98	nový povrch dopr. tras - silnic zamezující sálání tepla
				5.1.4 hluk dopravy	elektropohony minimalizují hluk motoru	4	7	2	56	nedefinováno
				5.1.5 velké plochy potřebné pro silnice, parkoviště, továrny, servisy, čerpací stanice	chybí	8	7	2	112	nedefinováno
				5.1.6 nerecyklovatelné odpady	minimalizace použití nerecyklovatelných materiálů	3	7	3	63	nedefinováno
				5.1.7 emise z výroby dopravních prostředků a tras	green-factory trend	5	7	2	70	nedefinováno
									0	
6. Komfort dopravy	6.1 nepohodlná - nekomfortní doprava	malé využití dopravy, nespokojený uživatel, zdravotní potíže během cestování		6.1.1 stísněný prostor dopravovaných osob	chybí	4	5	3	60	virtuální cestování, modulární dopravní prostředky - každý cestující má svůj prostor - kapsli (bublinu)

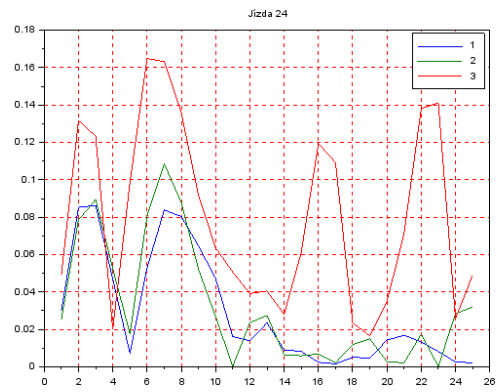
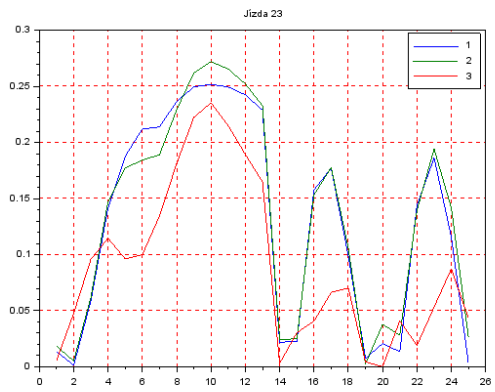
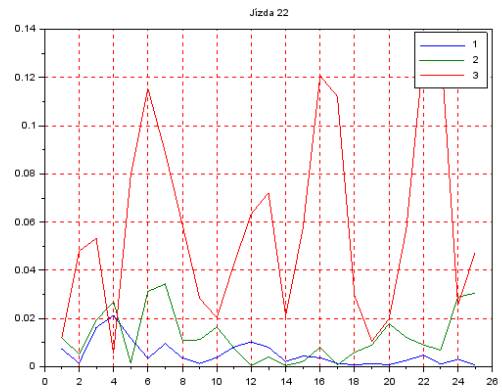
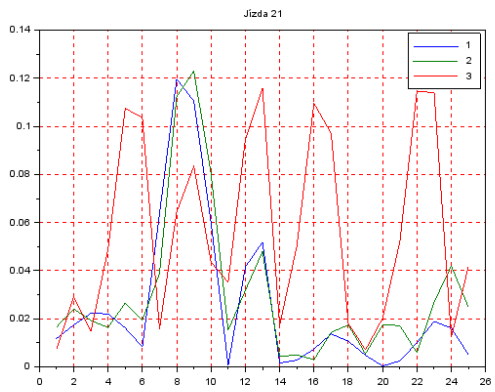
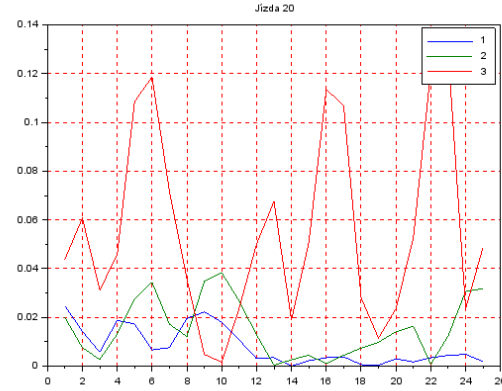
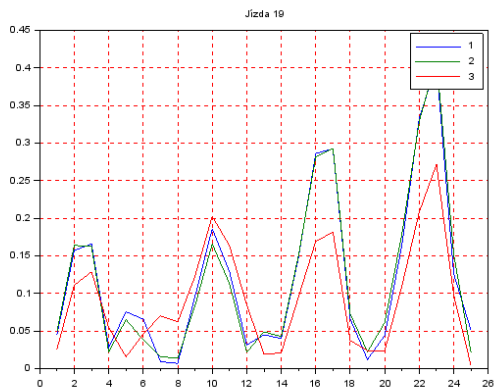
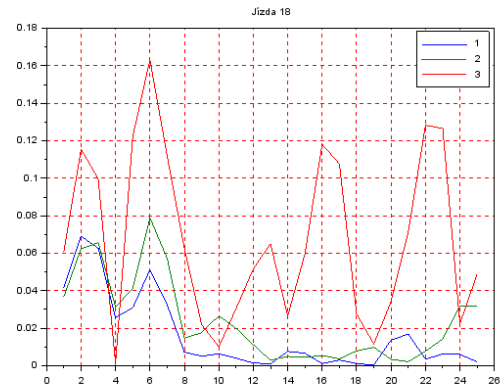
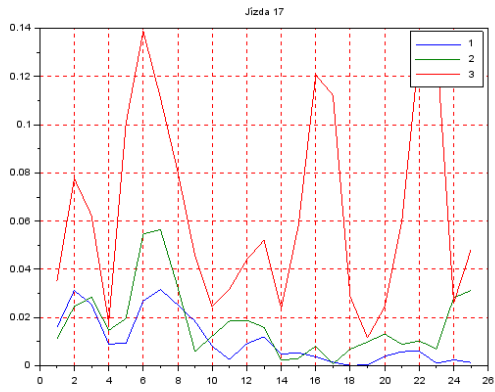
			6.1.2 otřesy a vibrace dopravního prostředku během jízdy	moderní dopr. prostředky minimalizují otřesy, minimalizace nerovností na cestě	3	5	4	60	cestovat bez kontaktu s povrchem silnice
			6.1.3 horko, zima, hluk během cestování	použití moderních dopr. prostředků	3	5	3	45	nedefinováno
			6.1.4 nelze se věnovat dalším činnostem během dopravy	řidič -audio poslech, ostatní cestující bez omezení	7	5	2	70	autonomní jízda dopravního prostředku - bez podmínky, že řidič musí i nadále sledovat trasu i během módu autopilot
			6.1.5 nelze přerušit, změnit trasu během cestování	lze s vlastním dopr. prostředkem	4	5	2	40	modulární dopravní prostředky - každý cestující má svůj prostor - kapsli (bublinu), kterou lze propojit nebo oddělit od ostatních
								0	
7. Dosažitelnost dopravy	7.1 nedosažitelná místa dopravy	nespokojený uživatel dopravy	7.1.1 terénní omezení dopravního prostředku	chybí	7	5	4	140	virtuální cestování, modulární dopravní prostředky - každý cestující má svůj prostor - kapsli (bublinu)
			7.1.2 rozměry a hmotnost dopravního prostředku	chybí	5	5	2	50	virtuální cestování, modulární dopravní prostředky - každý cestující má svůj prostor - kapsli (bublinu)

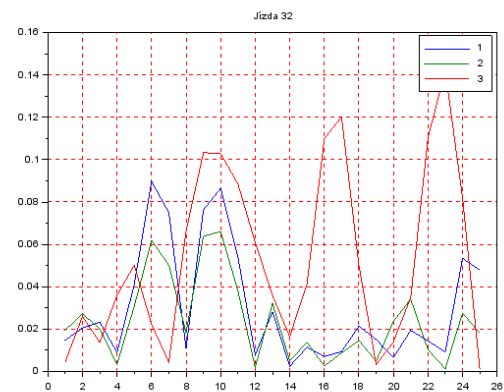
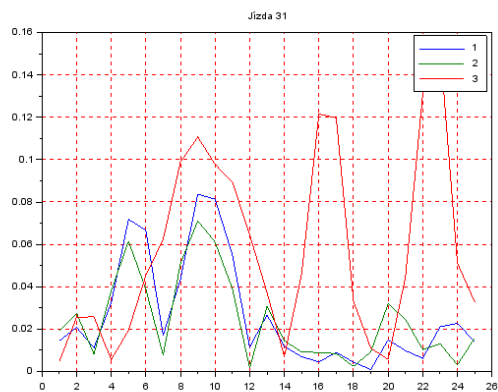
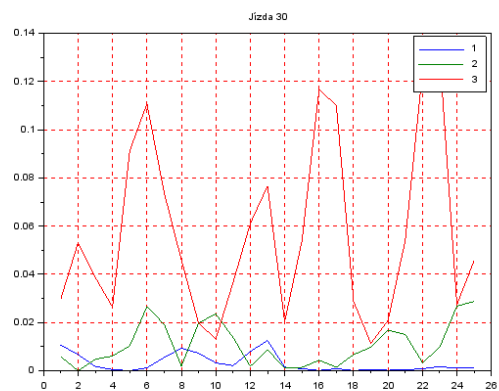
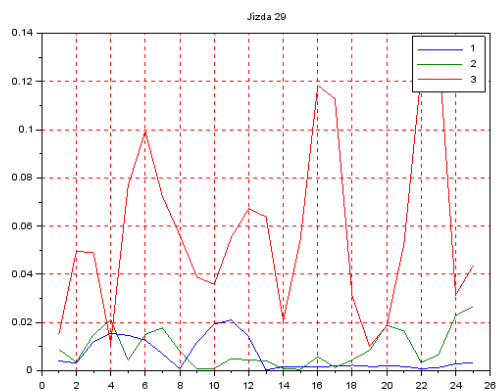
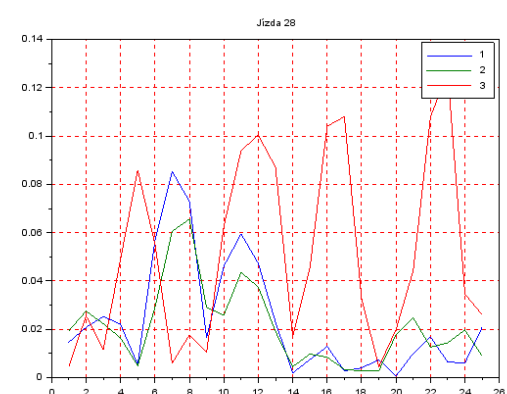
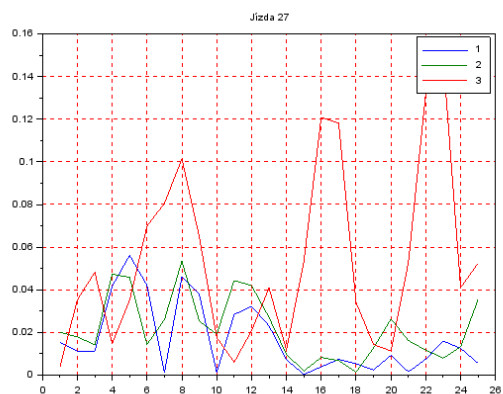
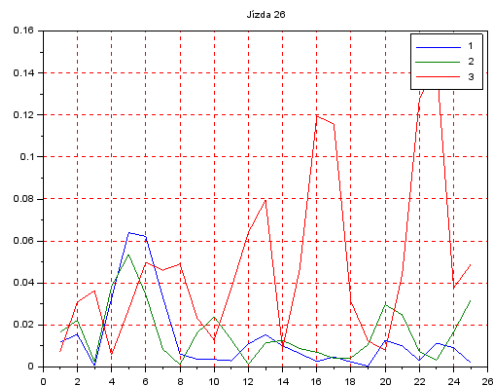
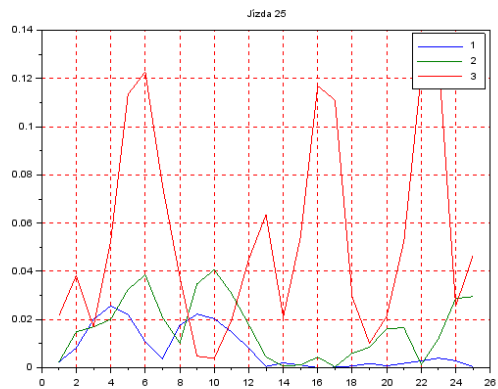
			7.1.3 neexistující trasy - cesty v nepřístupnýc h oblastech	chybí	8	5	2	80	virtuální cestování, modulární dopravní prostředky - každý cestující má svůj prostor - kapsli (bublinu)
			7.1.4 nebezpečná místa - cíle trasy	chybí	4	5	4	80	virtuální cestování
			7.1.5 chráněná území se zákazem vstupu	chybí	3	5	2	30	virtuální cestování
								0	

Příloha 2: Výstupy z mat. modelu – situace A

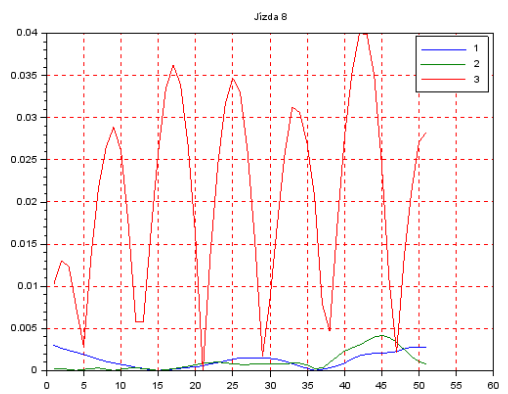
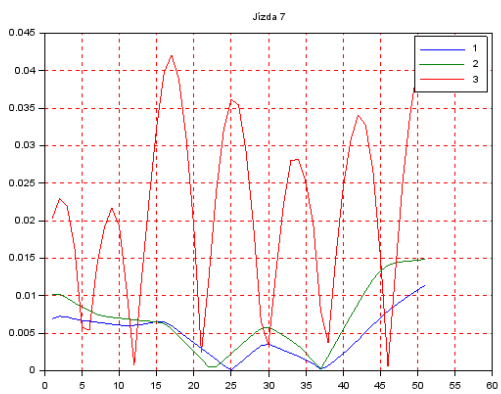
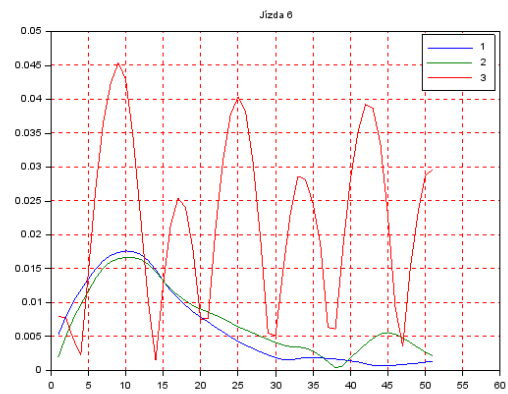
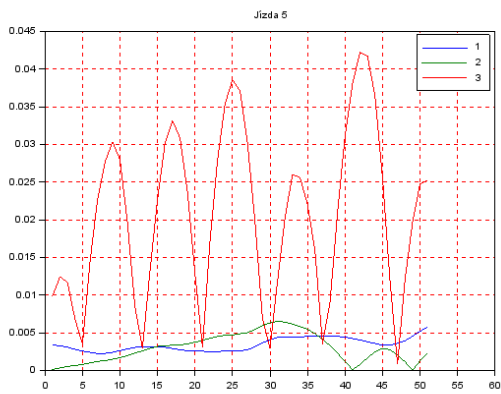
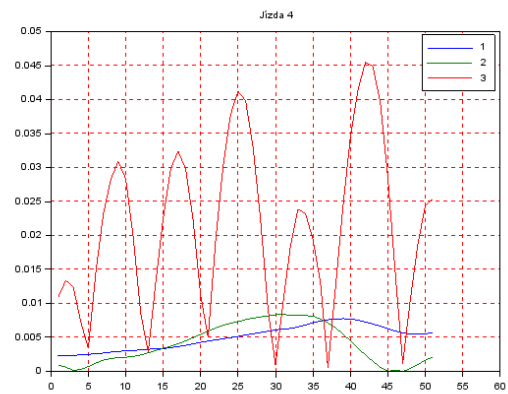
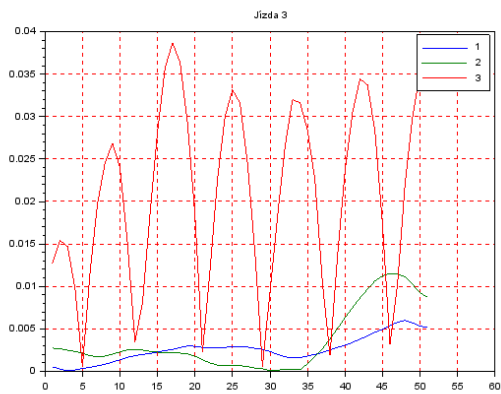
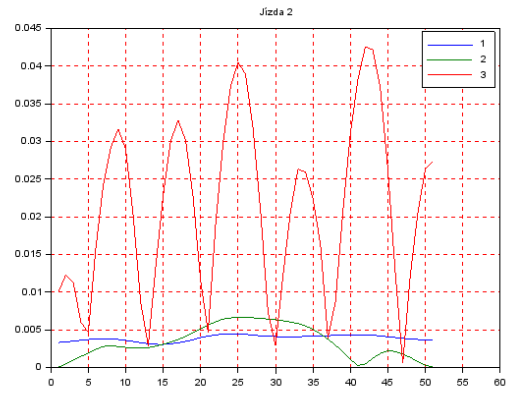
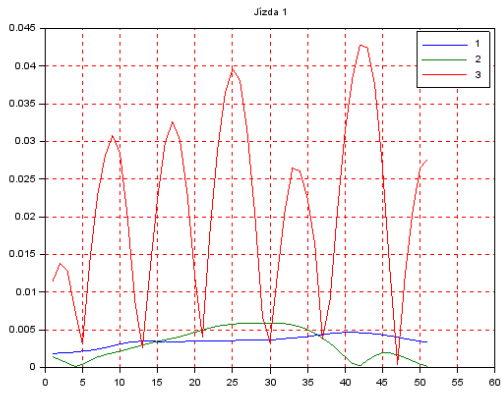


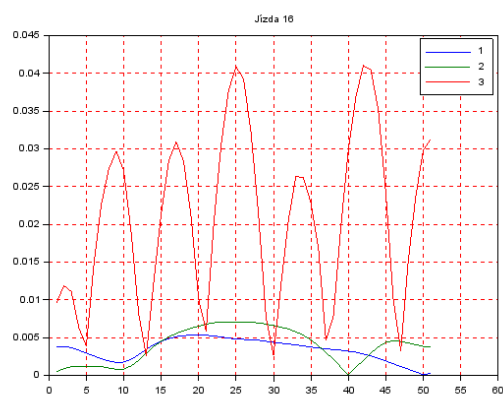
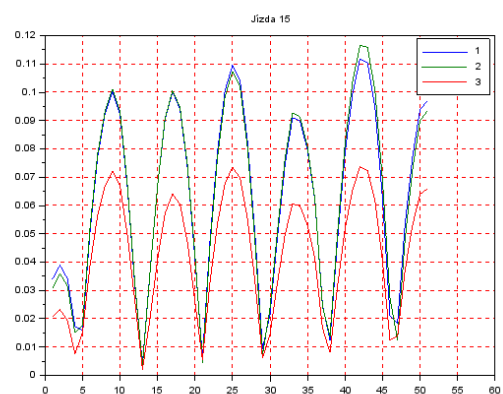
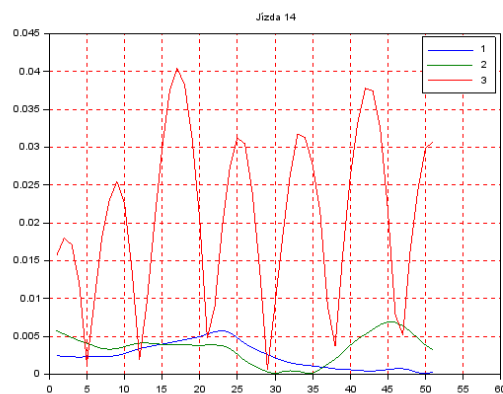
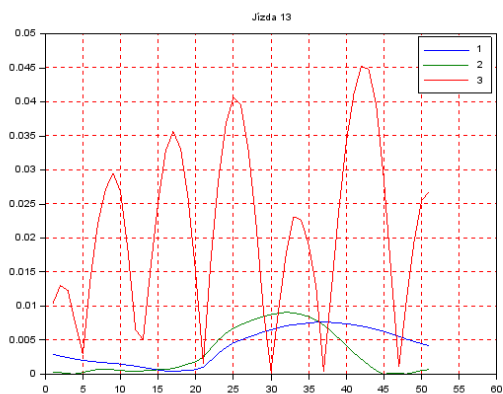
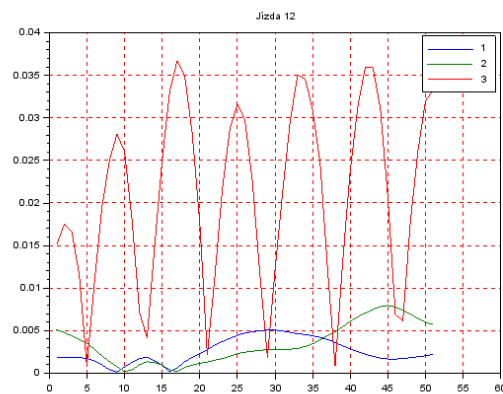
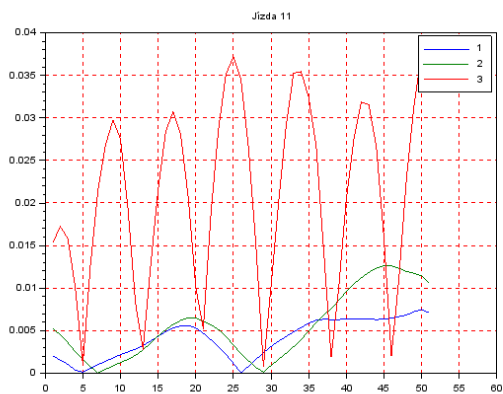
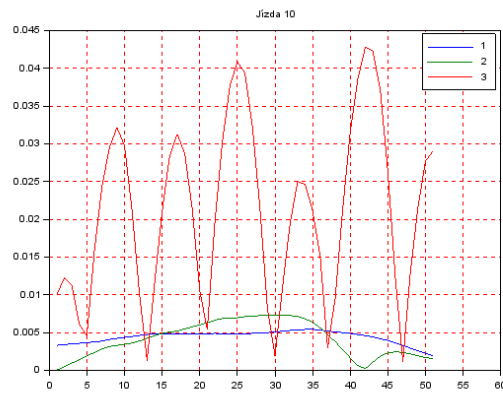
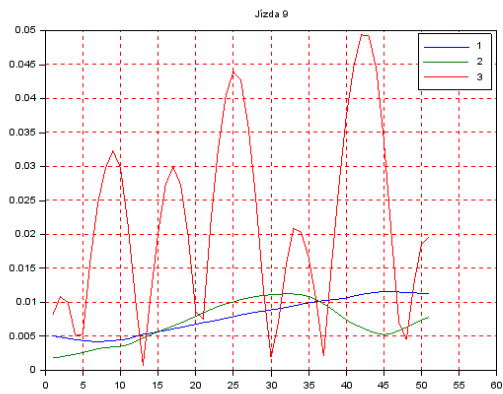


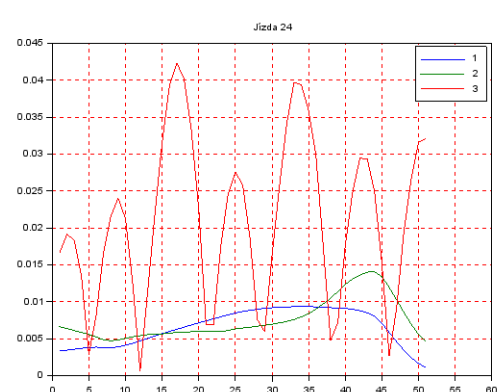
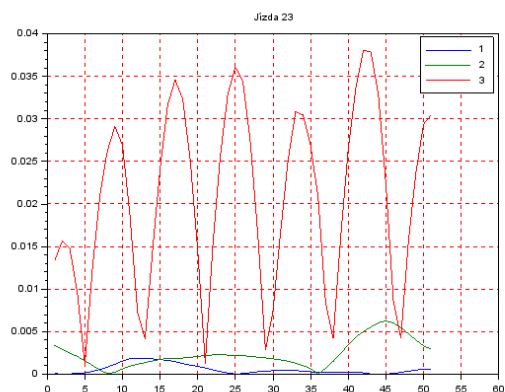
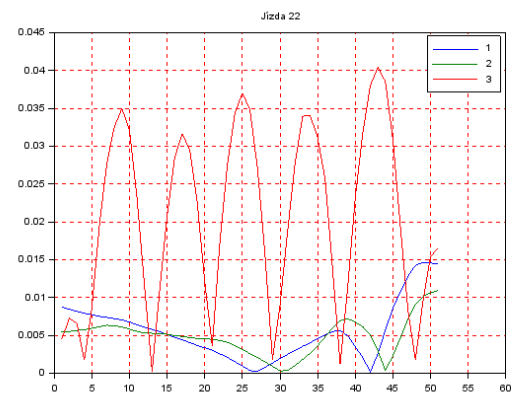
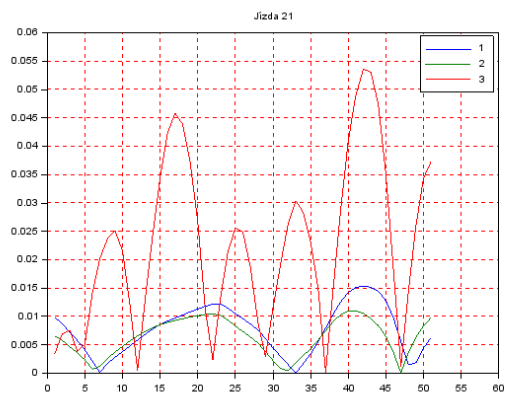
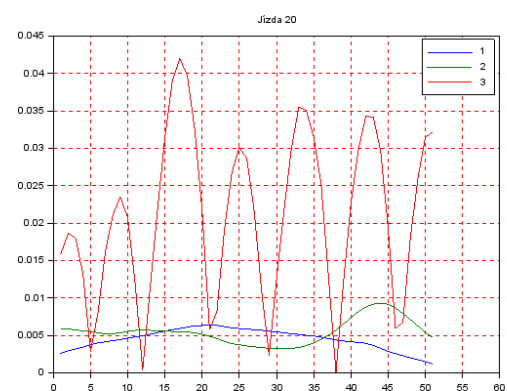
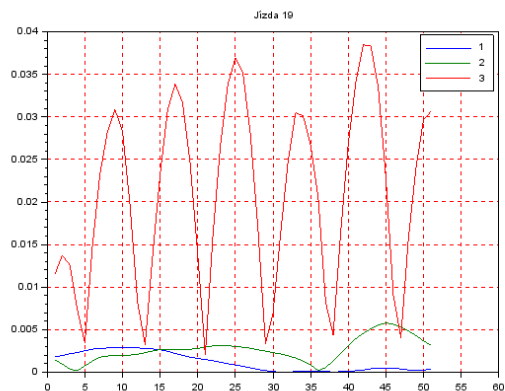
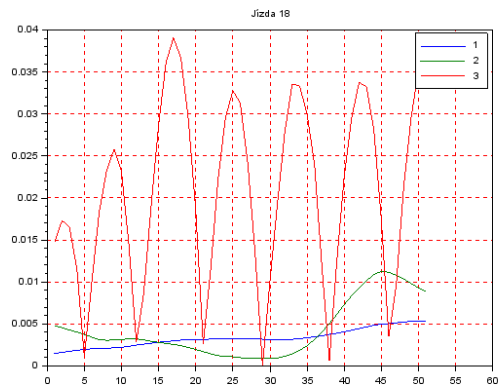
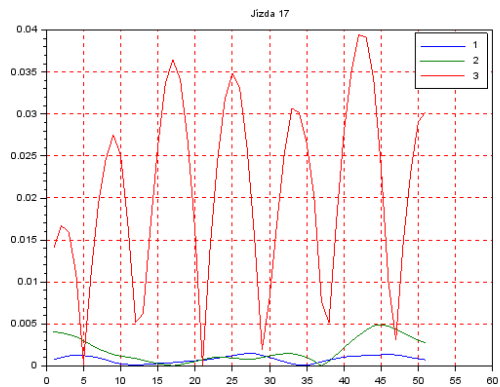


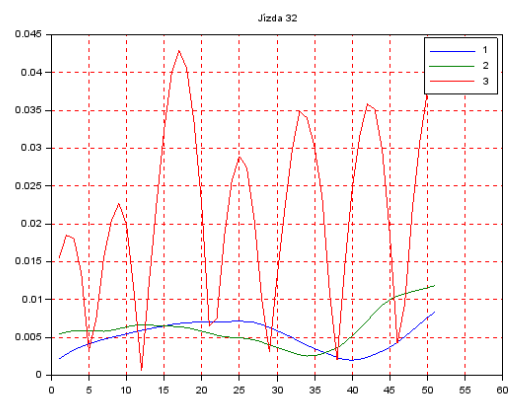
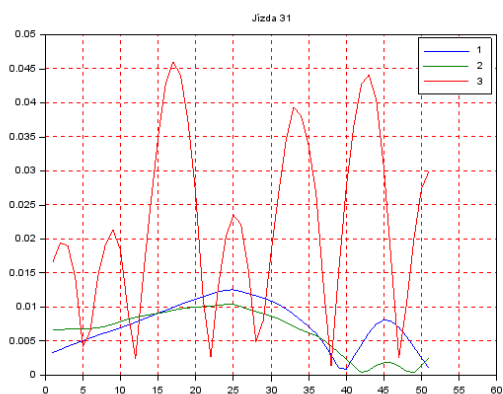
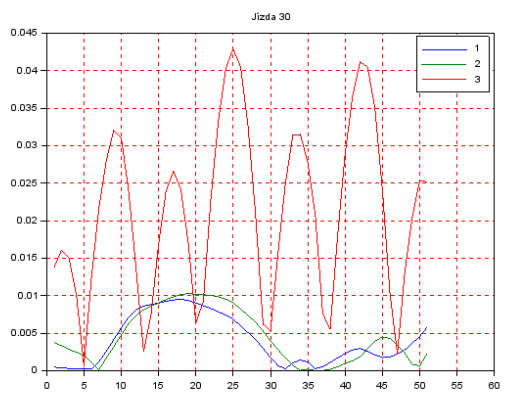
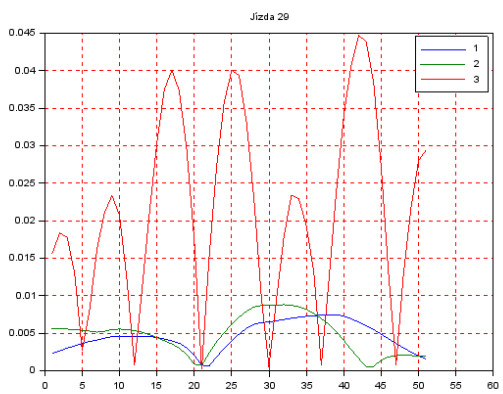
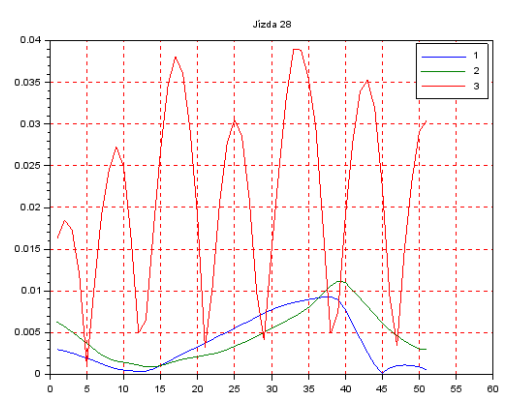
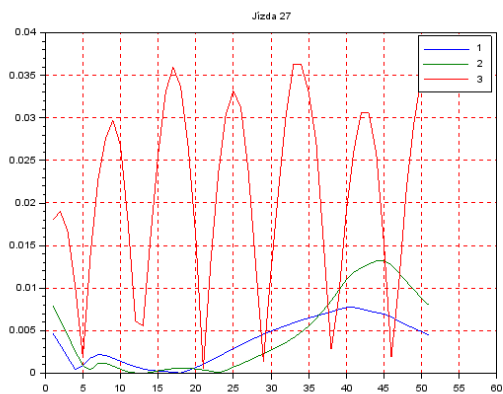
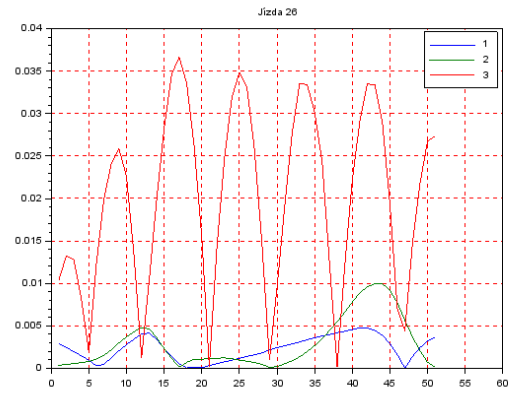
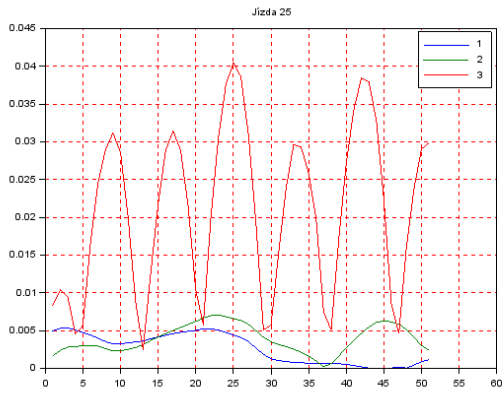


Příloha 3: Výstupy z mat. modelu – situace B

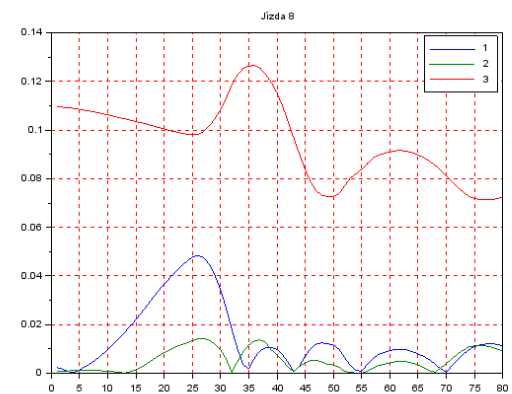
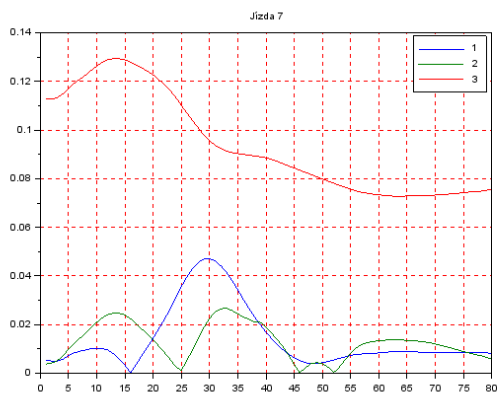
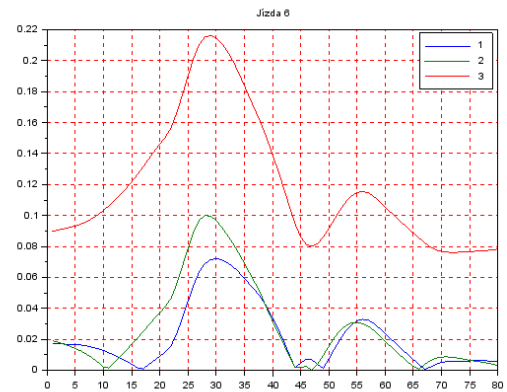
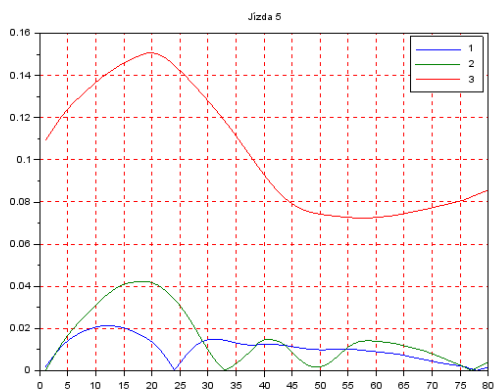
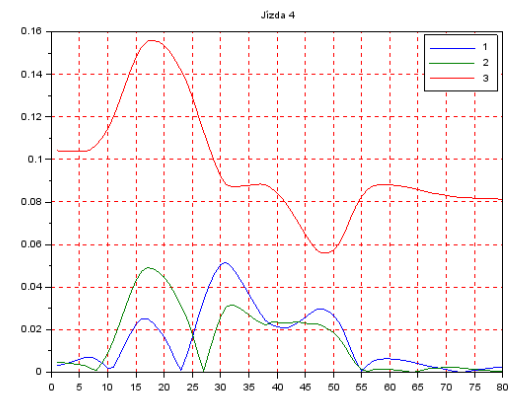
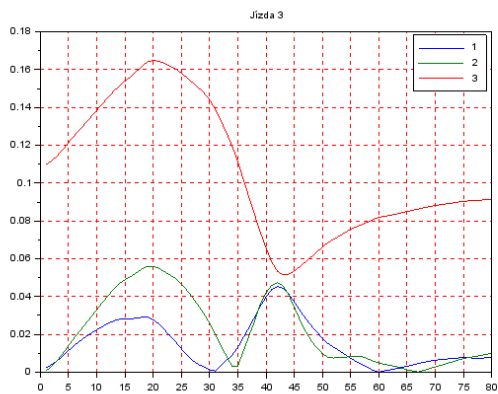
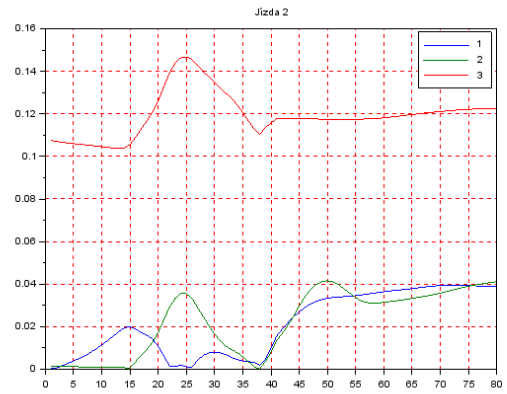
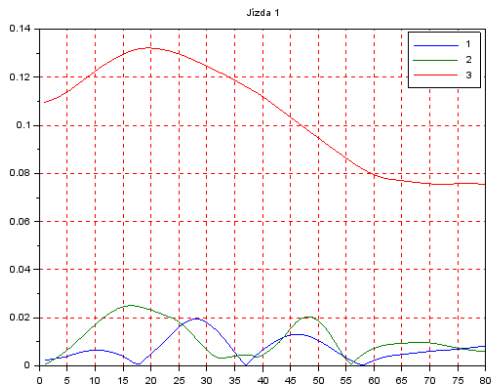


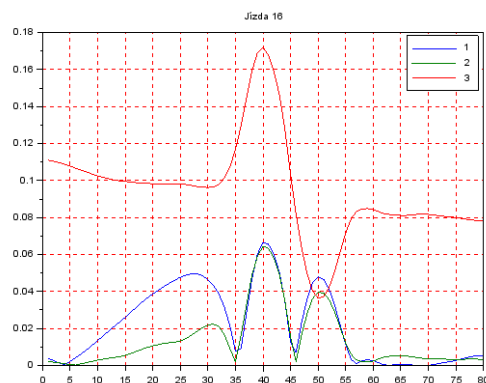
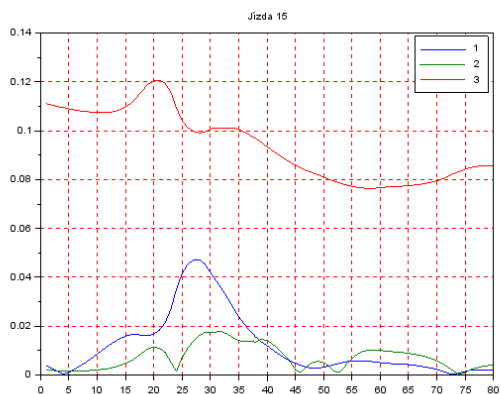
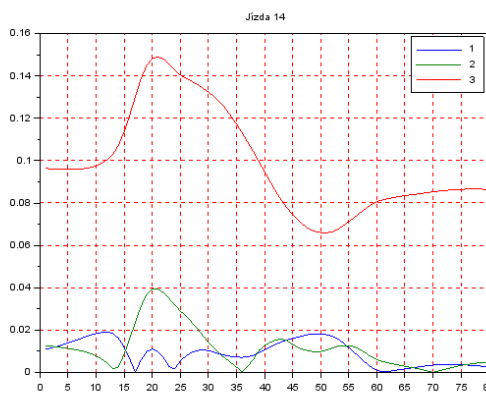
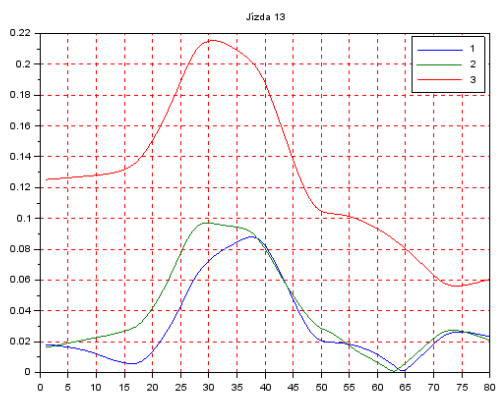
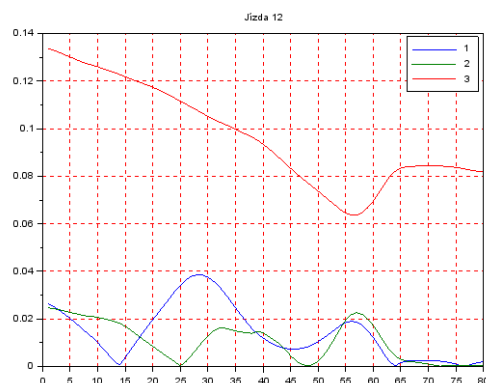
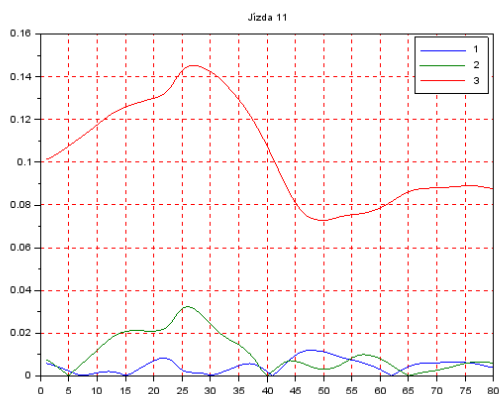
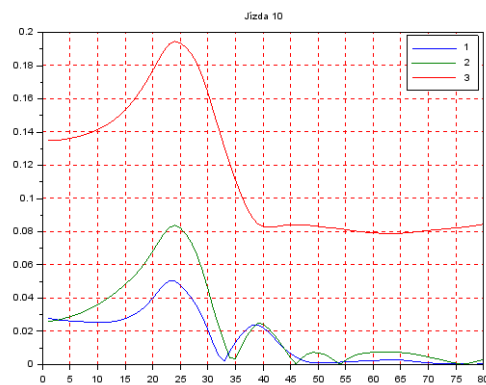
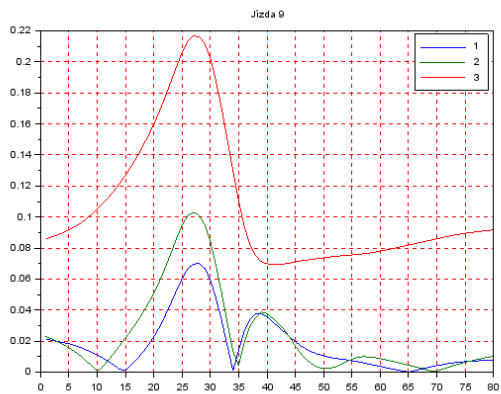


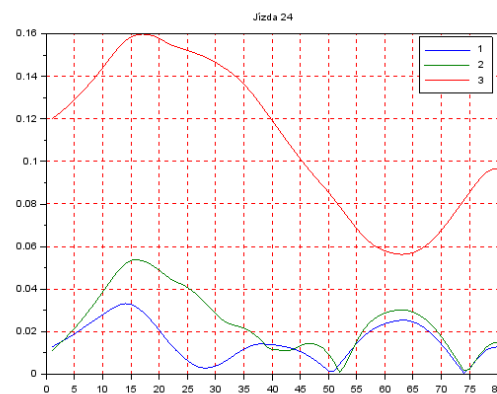
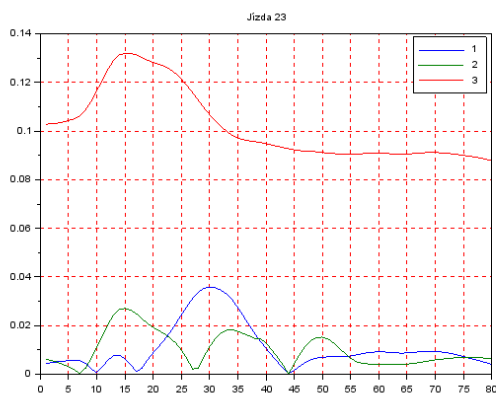
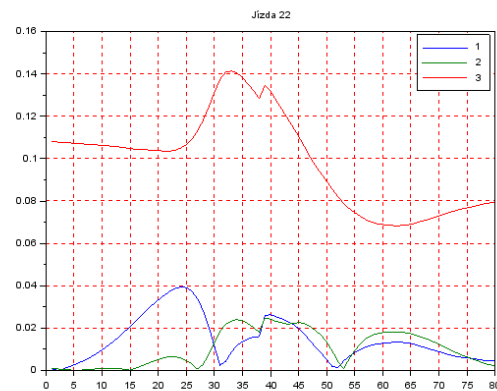
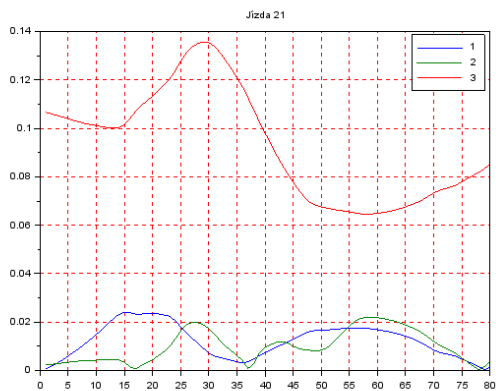
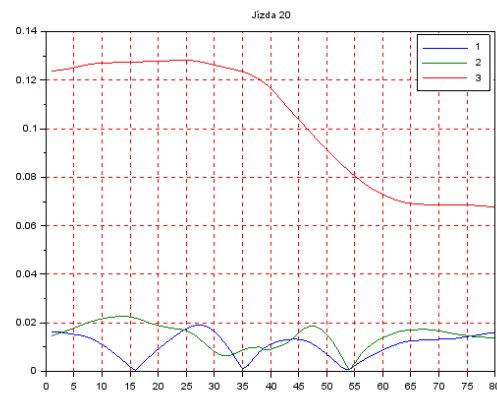
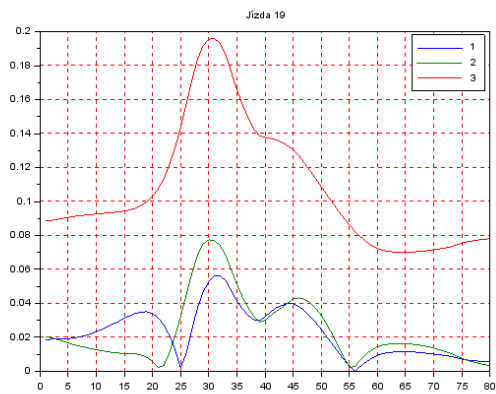
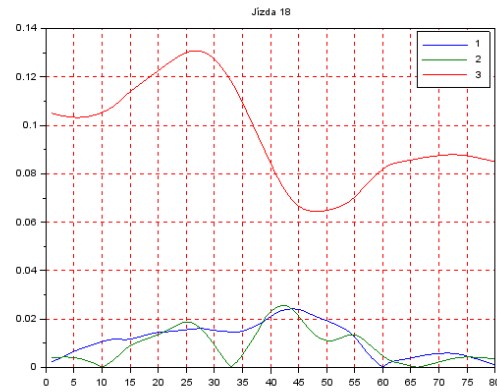
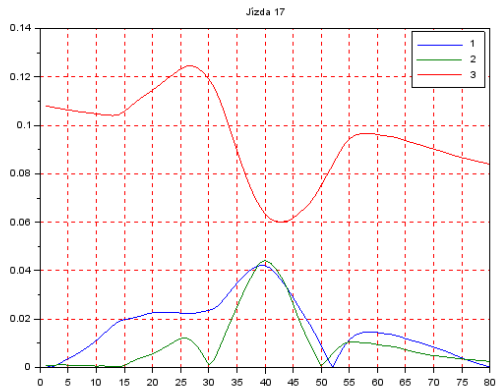


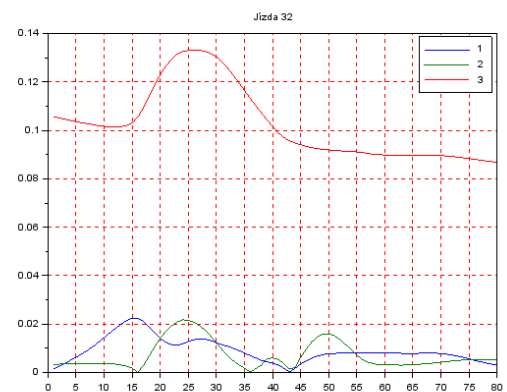
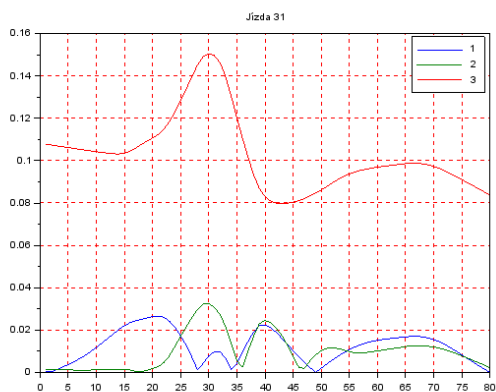
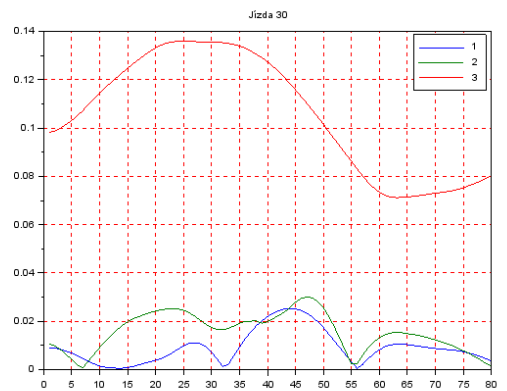
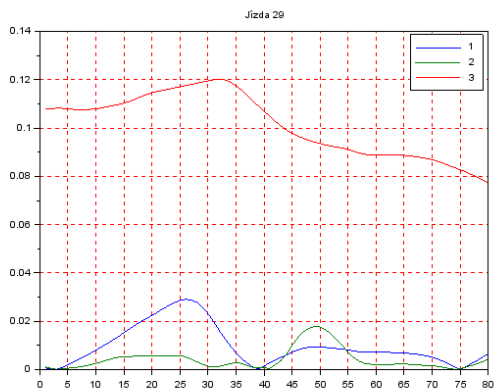
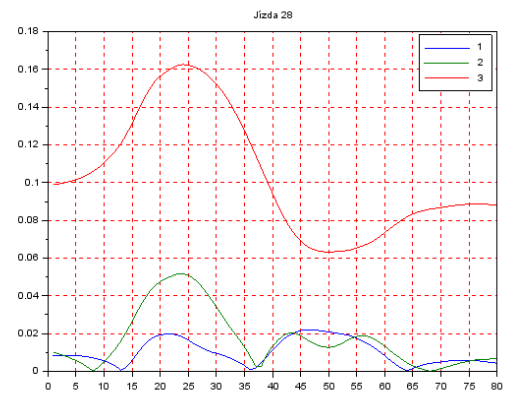
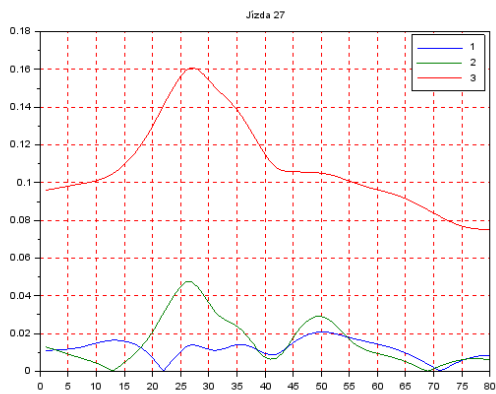
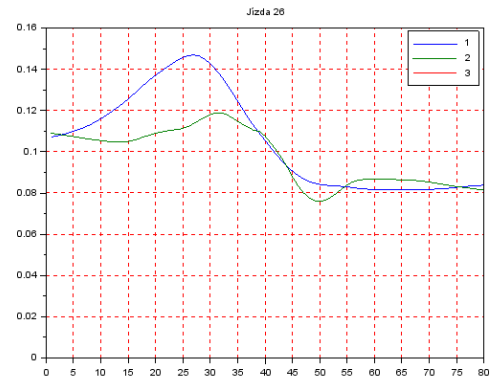
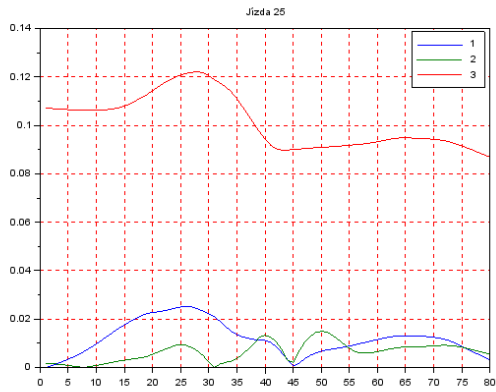


Příloha 4: Výstupy z mat. modelu – situace C



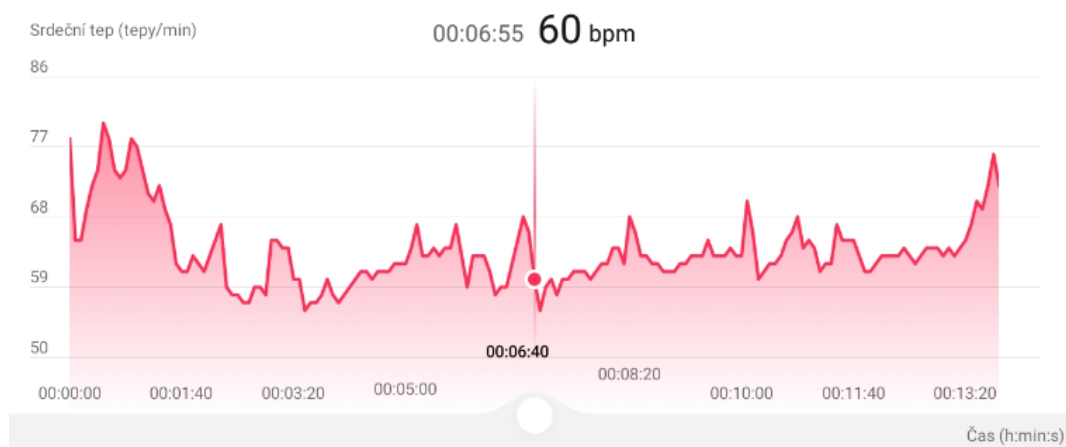






Příloha 5: Záznamy tepové frekvence řidičů

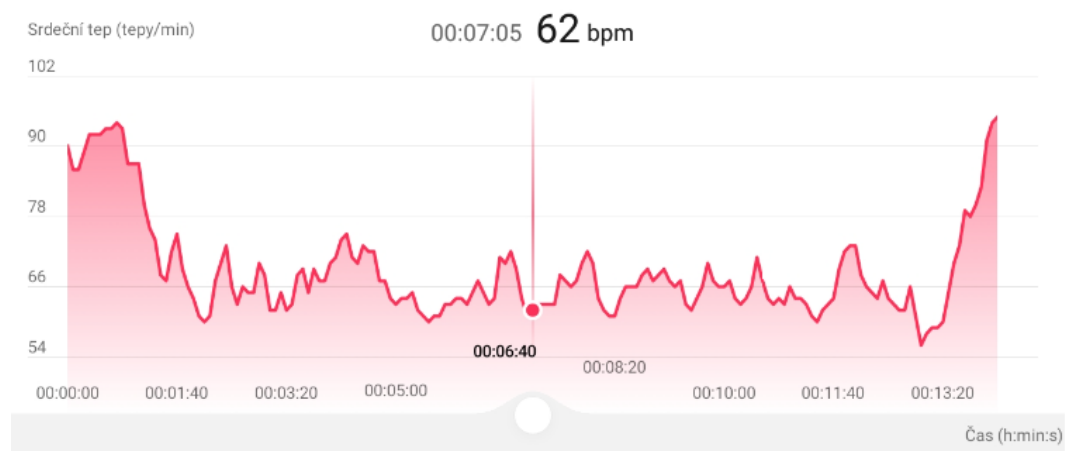
Muž, věk: 40



Muž, věk 65



Muž, věk: 28



Muž, věk: 75



Muž, věk: 28



Muž, věk: 31



Muž, věk: 69



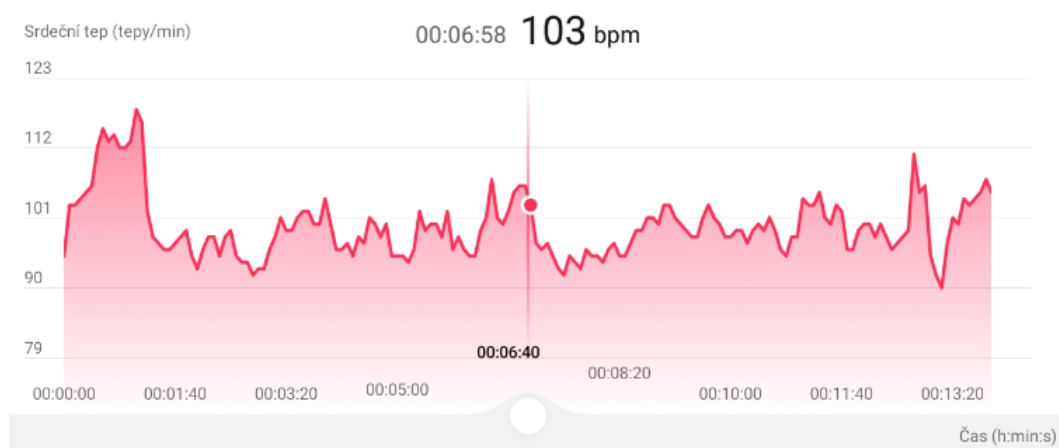
Žena, věk: 65



Muž, věk: 23



Muž, věk: 40



Muž, věk: 75



Muž, věk: 43



Muž, věk: 29



Muž, věk: 34



Muž, věk: 37



Muž, věk: 73



Muž, věk: 21



Muž, věk: 22



Muž, věk: 66



Žena, věk: 21



Muž, věk: 21



Muž, věk: 24



Muž, věk: 22



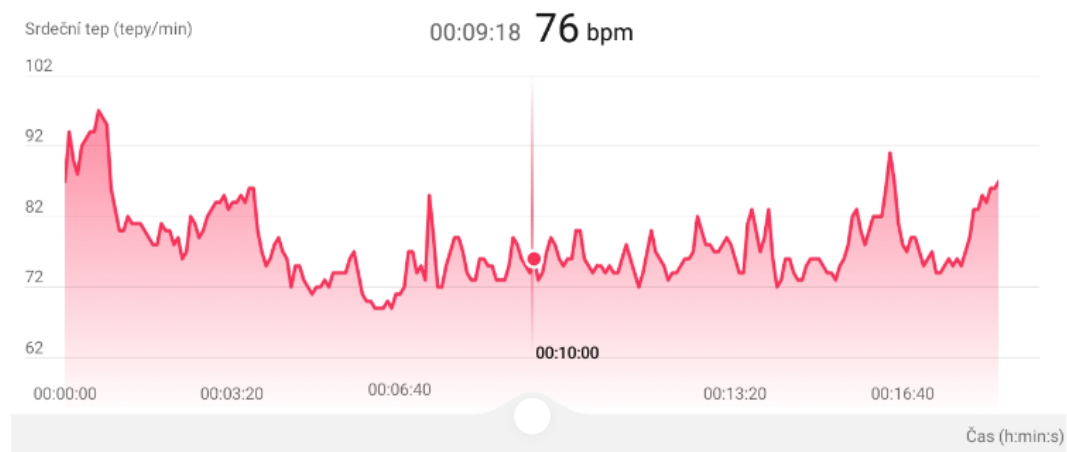
Žena, věk: 19



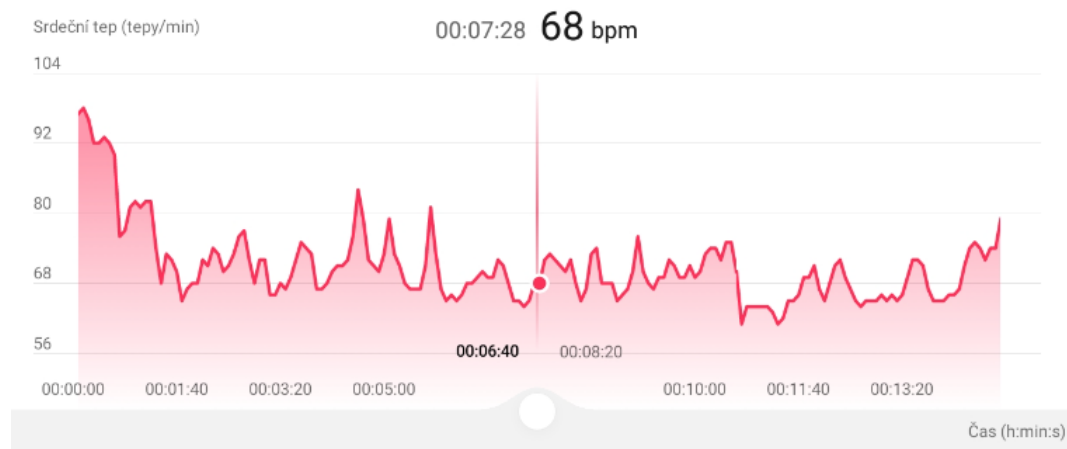
Muž, věk: 27



Žena, věk: 19



Žena, věk: 20



Žena, věk: 20



Příloha 6: Příklady vyplněného dotazníku z jízdy na simulátoru

PĀS + OXI + FITNESS (+ CARDIACOD)
 PĀS - NO SIGNAL - PO UBĚŽETĀ AVĪA V MLZĒ

Vyplní obsluha simulátoru		
Datum:	Čas:	Pořadí: 5

STRUČNĚ SEZNÁMENÍ

Dobrý den, účastníte se testovací jízdy dálničního provozu v našem jízdním simulátoru. Tímto testem ověřujeme realnost připravené trasy a jízdní situace, které se mohou na dálnici vyskytnout. Budeme sledovat Vaše chování a jízdní reakce. Je pro nás důležité, abyste se chovali v simulátoru co nejpřirozeněji, podobně jako při jízdě skutečným vozem. Dodržujte prosím pravidla silničního provozu a bezpečnost jízdy jako na skutečné silnici.

Šťastnou cestu!

DOTAZNÍK PRO ŘIDIČE: Jízdní simulátor - dálnice

Prosíme o vyplnění následujícího dotazníku, který dále poslouží jako doplňující informace k jízdě na jízdním simulátoru.

Vyplňte před jízdou

ZÁKLADNÍ INFORMACE

Věk: 40

Pohlaví: Žena Muž

Řidičské oprávnění vlastním od roku: 1997

Jako řidič ujezdí za rok 60 tisíc kilometrů.

Kde s vozem nejčastěji jezdíte? Určete procenty.
 Součet procent musí být 100 (př. 60 % město, 20 % meziměsto, 20 % dálnice).

Město 15

Meziměsto 15

Dálnice 70

Tovární značka a model vozu, který nejčastěji řídíte: Škoda Scala

1/3 Dotazník_2_Jízdní simulátor CIIRC 200103

Vypíšte po jízdě

1. Jak hodnotíte reálnost simulace dálničního provozu, kterou jste právě dokončili?

Nevyhovující							Výborná		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Komentář:

Volant v nulové poloze doleva

2. Chyběl Vám nějaký prvek k větší reálnosti?

Komentář:

Nastavení vnějšího zrcátka,
Chybí indikace blinkru

3. Jak hodnotíte interiér jízdní kabiny?

Nevyhovující							Výborný		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Komentář:

4. Jak hodnotíte projekční plochu? Poskytuje dobrý přehled o jízdě?

Nevyhovující							Výborně		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Komentář:

5. Jak se přibližují reakce simulátoru skutečnému vozu?

Nevyhovující							Výborně		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Komentář:

Chybí hluky - aerohluky
- odvalování pneumatik

6. Pocitili jste nevolnost během jízdy na simulátoru?

Komentář:

Ne

7. Během jízdy jste plnili zadané úkoly (např. následovat vozidlo v pravém pruhu). Byl pro Vás některý z úkolů obtížně splnitelný? Který a proč?

Komentář:

Ne

8. Také jsme testovali Vaši reakci na následující rizikové situace, které se mohou při jízdě objevit.

Označte zakroužkováním k situacím níže hodnotu 1 až 5, kdy hodnota 1 = pohoda, situaci jsem zvládl(a), hodnota 5 = krizová situace skončila riskantním manévrem / nehodou.

- A. Vyhnutí se překážce v jízdním pruhu (1 2 3 4 5)
- B. Ovládání tabletu/ infotainmentu při řízení (1 2 3 4 5)
- C. Míjení / vyhnutí se špatně viditelnému vozidlu v mlze jedoucímu v pravém pruhu (1 2 3 4 5)
- D. Míjení / vyhnutí se protijedoucímu vozidlu jedoucímu v levém pruhu (1 2 3 4 5)
- E. Dobrzdnění do kolony stojících vozidel (1 2 3 4 5)

9. Otevřené pole pro poznámku – napadá Vás něco na závěr – Váš postřeh k proběhlému testu?

Komentář:

Jsou funkční světlomaty?
A mlhovky? Blinkery? Tempomat?

Děkujeme za Vaši účast v testu a vyplnění dotazníku.

✓ NO SIGNAL V MLZE
CARDIOMOOD KONEC - PŘÍCHOZÍ HOVOR

Vyplní obsluha simulátoru		
Datum:	Čas:	Pořadí: 14

STRUČNÉ SEZNÁMENÍ

Dobrý den, účastníte se testovací jízdy dálničního provozu v našem jízdním simulátoru. Tímto testem ověřujeme realnost připravené trasy a jízdní situace, které se mohou na dálnici vyskytnout. Budeme sledovat Vaše chování a jízdní reakce. Je pro nás důležité, abyste se chovali v simulátoru co nejpřirozeněji, podobně jako při jízdě skutečným vozem. Dodržujte prosím pravidla silničního provozu a bezpečnost jízdy jako na skutečné silnici.

Šťastnou cestu!

DOTAZNÍK PRO ŘIDIČE: Jízdní simulátor - dálnice

Prosíme o vyplnění následujícího dotazníku, který dále poslouží jako doplňující informace k jízdě na jízdním simulátoru.

Vypíšte před jízdou

ZÁKLADNÍ INFORMACE

Věk: 40

Pohlaví: Žena Muž

Řidičské oprávnění vlastním od roku: 1996

Jako řidič ujeďte za rok 20000 kilometrů.

Kde s vozem nejčastěji jezdíte? Určete procenty.
Součet procent musí být 100 (př. 60 % město, 20 % meziměsto, 20 % dálnice).

Město 50%
Meziměsto 30%
Dálnice 20

Tovární značka a model vozu, který nejčastěji řídíte: SKODA OCTAVIA

t/s Dotazník_2_Jízdní simulátor CIRC 200103

Vyplňte po jízdě

1. Jak hodnotíte reálnost simulace dálničního provozu, kterou jste právě dokončili?

Nevyhovující						Výborná			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Komentář:

- lehký nevýhledemí dráze
- výjezd z benzínu byl koupatý
- nevhodná vozová parka
- špatná viditelnost v bočním zrcátku

2. Chyběl Vám nějaký prvek k větší reálnosti?

Komentář:

- lepší výhled + studium zrcátka
- reálnější zvuk
- reálnější reakce volantu a plynu

3. Jak hodnotíte interiér jízdní kabiny?

Nevyhovující								Výborný	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Komentář:

- celkem standardní vnitřek
- sedl bych si mělo, ale to je problém skutečného aut
- měly by fungovat všechny funkce (bluže, míla, ...)

4. Jak hodnotíte projekční plochu? Poskytuje dobrý přehled o jízdě?

Nevyhovující								Výborně	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Komentář:

- ale na to boční zrcátka

5. Jak se přibližují reakce simulátoru skutečnému vozu?

Nevyhovující						Výborně			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Komentář:

- přibližlivě volant, auto jde snadno „do strany“
- poznání rychlosti, ale větší křivkami plynu
- přizpůsobení řízení

6. Pocitili jste nevolnost během jízdy na simulátoru?

Komentář:

jeu u kurzu se „kloupe“, jak to bylo dobré

7. Během jízdy jste plnili zadané úkoly (např. následovat vozidlo v pravém pruhu). Byl pro Vás některý z úkolů obtížně splnitelný? Který a proč?

Komentář:

- VŠE OK
- jeu ledva vypadla, odvilund
- proti jedoucímu autu bylo vidět na poslední chvíli

8. Také jsme testovali Vaši reakci na následující rizikové situace, které se mohou při jízdě objevit.

Označte zakroužkováním k situacím níže hodnotu 1 až 5, kdy hodnota 1 = pohoda, situaci jsem zvládl(a), hodnota 5 = krizová situace skončila riskantním manévrem / nehodou.

- A. Vyhnout se překážce v jízdním pruhu (1 2 3 4 (5))
- B. Ovládání tabletu/ infotainmentu při řízení (1 (2) 3 4 5)
- C. Míjení / vyhnout se špatně viditelnému vozidlu v míže jedoucímu v pravém pruhu ((1) 2 3 4 5)
- D. Míjení / vyhnout se protijedoucímu vozidlu jedoucímu v levém pruhu (1 (2) 3 4 5)
- E. Dobrzdnění do kolony stojících vozidel ((1) 2 3 4 5)

9. Otevřené pole pro poznámku – napadá Vás něco na závěr – Váš postřeh k proběhlému testu?

Komentář:

- situace byly hodně statické - auta stála, ledva mohl kápla pro silnici
- proti jedoucímu mi a projel protijedoucími - vrazil
bych se asi k tomu nechtěl tak snadno vyhnout

Děkujeme za Vaši účast v testu a vyplnění dotazníku.