

# DISERTAČNÍ PRÁCE

k získání akademického titulu doktor  
ve studijním programu: Stavba strojů a zařízení

## **Asistující mechatronické systémy pro dopravní a manipulační techniku**

Autor: **Ing. Tomáš Kroták**

Školitel: **Doc. Ing. Josef Formánek Ph.D.**

Plzeň 2013

## **Prohlášení**

Předkládám k posouzení disertační práci, jejíž téma je „Asistující mechatronické systémy pro dopravní a manipulační techniku“.

Tato práce je koncipována dle požadavků Studijního a zkušebního řádu ZČU Plzeň, tj. obsahuje zejména shrnutí a zhodnocení poznatků ve studované oblasti a seznam souvisejících publikací.

Prohlašuji, že jsem tuto písemnou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval za odborné vedení svému školiteli Doc. Ing. Josefu Formánkovi Ph.D. za podporu při přípravě experimentů Ing. Romanovi Čermákovi Ph.D. a také svým kolegům za přínosné diskuze.

## **Upozornění**

Podle zákona o právu autorském č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR), § 17, zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků, nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora, autorů citovaných prací a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

## ANOTAČNÍ LIST DISERTAČNÍ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Kroták	<b>Jméno</b> Tomáš	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2302V019 Stavba strojů a zařízení		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Formánek Ph.D.	<b>Jméno</b> Josef	
<b>PRACOVÍŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>DISERTAČNÍ</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Asistující mechatronické systémy pro dopravní a manipulační techniku		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	103	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	103	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	0
---------------	-----	---------------------	-----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Práce obsahuje souhrn poznatků z oblasti návrhu jízdních asistujících systémů řidiče, popis jednotlivých kroků, které vedly k návrhu konceptu asistujícího systému. Asistující funkce spočívá v hodnocení poklesu pozornosti řidiče. Ke klasifikaci naměřených dat je využito neuronových sítí.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	Jízdní asistující systém, chování řidiče, pokles pozornosti, neuronové sítě

## SUMMARY OF DOCTORAL SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Kroták	<b>Name</b> Tomáš	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2302V019 Design of Machines and Equipment		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Doc. Ing. Formánek Ph.D.	<b>Name</b> Josef	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>PhD thesis</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Mechatronic assisting systems for transport and handling technology		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2013
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	103	<b>TEXT PART</b>	103	<b>GRAPHICAL PART</b>	0
----------------	-----	------------------	-----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The work contains a summary of findings from the design of driving assisting systems, description of the steps that led to the design concept an assisting system. Assisting function is in the evaluation of decrease of the driver's attention. Neural networks are used to classify measured data.
<b>KEY WORDS</b>	Driving assisting system, driver behaviour, decreased attention, neural networks

## Anotace

Cílem mého výzkumu bylo ověřit možnosti odhalování přechodně variabilních faktorů v chování řidiče pomocí analýzy příčného a podélného zrychlení vozidla a návrh konceptu asistujícího systému, který by vyhodnocoval pokles pozornosti řidiče.

Práce obsahuje souhrn poznatků z oblasti jízdních asistujících systémů řidiče, popis procesu řízení vozidla, způsob zpracování informací řidičem a vliv stávajících asistujících systémů na řidiče. Jsou popsány kroky pro volbu vhodných indikátorů chování a jejich relevance pro spolehlivé získávání informací o přechodně variabilních faktorech chování řidiče. Významnou část představují provedené experimenty. Před jejich provedením jsem na základě získaných teoretických poznatků zformuloval hypotézy. Při experimentech byly porovnány průběhy jízd žáků autoškoly a běžných řidičů při průjezdu vyznačené trati, dále pak průjezd řidiče s a bez přídavné činnosti v podobě telefonování. Také jsem porovnával průjezd trati několika běžných řidičů normální a vyšší rychlostí. Oba experimenty potvrdily výraznou důležitost řidiče v soustavě řidič-vozidlo-okolí a také potvrdily zformulované hypotézy. Dále naznačily, jaké prvky v průběhu příčného a podélného zrychlení lze použít jako indikátory specifických projevů chování řidiče. Ke klasifikaci naměřených dat jsem zvolil neuronovou síť. Bylo třeba nalézt vhodnou typologii neuronové sítě, připravit soubor dat pro učení zvolené sítě a následně ověřit přesnost jednotlivých variant. Ukázalo se, že dosahovaná přesnost sítě pro posouzení poklesu pozornosti byla 96,6% a pro míru agresivity jízdy byla 91,3%.

## Annotations

The aim of my research was to verify the possibility of detecting temporary variable factors in driver's behaviour through the analysis of lateral and longitudinal acceleration of the vehicle and the draft of a concept of an assisting system that would evaluate less vigilant drivers.

The work contains a summary of findings from the field of the driving assisting systems, process description of the vehicle control, processing of information by the driver and the impact of existing systems. The steps are described for the appropriate indicators of behaviour and their relevance to reliably obtain information about temporary variable factors of driver's behaviour. The experiments represent a significant part of this work. Before performing the experiments I formulated hypotheses based on theoretical knowledge. During the experiments the driving style of the school students and normal drivers were compared while driving the marked track, then also driving with and without additional action in the form of phone calls. I also compared section of the track as driven by several normal drivers as they were driving through with higher speeds. Both experiments confirmed the strong importance of a driver in the system driver-vehicle-environment and also confirmed the formulated hypothesis. Experiments indicated what elements within lateral and longitudinal acceleration can be used as indicators of the specific behaviour of the driver. To classify the measured data I chose a neural network. It was necessary to find a suitable typology of neural networks, to prepare the data set for teaching the chosen network and then verify the accuracy of the individual variants. It turned out that the achieved accuracy of the network for the assessment of attention decrease was 96.6% and for the degree of aggressiveness of drive was 91.3%.

## Seznam obrázků

- Obr. 1 Grafický nástin struktury práce
- Obr. 2 Reasonův model vzniku nehody [15]
- Obr. 3 Soustava Řidič-Vozidlo-Okolí a důležitost jednotlivých prvků [26]
- Obr. 4 Znázornění chování řidiče od normálního řízení po nehodu [23]
- Obr. 5 Grafické zobrazení metod dopravně-bezpečnostního výzkumu
- Obr. 6 Činnosti při řízení vozidla, jejich kognitivní náročnost a četnost [28]
- Obr. 7 Grafické zobrazení struktury osobnostních rysů
- Obr. 8 Model zpracování informace [31]
- Obr. 9 Crossover model [45]
- Obr. 10 Optimal Control Model [50]
- Obr. 11 Provozní transformační proces (1. část)
- Obr. 12 Provozní transformační proces (2. část)
- Obr. 13 Transformační proces
- Obr. 14 Orgánová struktura
- Obr. 15 Tvar a rozměry trati (v metrech)
- Obr. 16 Kužely vyznačená trať
- Obr. 17 Vyhlazení naměřených dat klouzavým průměrem
- Obr. 18 Charakteristiky jednotlivých řidičů
- Obr. 19 Rozměry a tvar trati (v metrech)
- Obr. 20 Průběh zrychlení pro dva z řidičů
- Obr. 21 Průběh zrychlení čtvrtého řidiče (dvě jízdy)
- Obr. 22 Průběh zrychlení druhého řidiče (dvě jízdy)
- Obr. 23 Průběh zrychlení osmého řidiče (dvě jízdy)
- Obr. 24 Matematický model neuronu [78]
- Obr. 25 Klasifikace neuronovou sítí na příkladu satelitních snímků [81]
- Obr. 26 Architektura neuronové sítě s časovým posunem. Kromě aktuálního prvku časové postupnosti vstupů (v čase  $t$ ), jsou vícevrstvé sítě prezentované i vstupy z předešlých  $D$  kroků diskrétního času. Bloky Z-1 jsou zpožděné prvky. [82]
- Obr. 27 Ukázka dat pro učení neuronové sítě

## Seznam tabulek

- Tab. 1 Tabulka závislost stupňů chování podle Rasmussena a úrovní řízení vozidla
- Tab. 2 Zařazení asistujících systémů podle stupně podpory řidiče
- Tab. 3 Specifikace požadavků na TS (1. část)
- Tab. 4 Specifikace požadavků na TS (2. část)
- Tab. 5 Specifikace požadavků na TS (3. část)
- Tab. 6 Morfologická matice
- Tab. 7 Výsledky učení neuronové sítě pro snížení pozornosti
- Tab. 8 Výsledky učení neuronové sítě pro míru agresivity jízdy

## Obsah

Úvod.....	8
1 Cíl.....	11
2 Dopravní nehody.....	13
1.1 Situačně orientované vyjádření vzniku dopravní nehody .....	15
1.2 Diferencovaný způsob pohledu na vznik nehody .....	16
3 Soustava řidič-vozidlo-okolí .....	19
4 Řízení vozidla .....	24
4.1 Teoretický model řízení vozidla.....	24
4.2 Model chování podle Rasmussena .....	26
5 Struktura osobnostních rysů.....	28
6 Model zpracování informace .....	30
7 Faktory podílející se na vzniku nehody .....	32
7.1 Časté příčiny .....	32
7.2 Oblast vnímání .....	33
7.3 Oblast pozornosti .....	34
7.4 Oblast motoriky.....	36
7.5 Další faktory.....	37
8 Jízdní asistující systémy.....	39
8.1 Kontrola pozornosti řidiče .....	39
8.2 Rozdělení asistujících systémů podle úrovně činnosti a stupně podpory řidiče .....	40
8.3 Asistující systémy s vyšší podporou řidiče .....	41
8.4 Specifické účinky asistujících systémů.....	43
8.5 Nespecifické účinky asistujících systémů.....	44
9 Adaptace rizika.....	46
10 Řidič jako regulátor.....	50
10.1 Crossover model .....	51
10.2 Optimal Control model .....	54
10.3 Hranice lidského operátora .....	56
10.4 Využití modelů .....	58
11 Metoda.....	59
12 Experimenty .....	70
12.1 Experiment A .....	70
12.2 Experiment B .....	78
13 Klasifikace naměřených dat .....	85
13.1 Neuronové sítě .....	85
14 Závěr (Shrnutí, Přínosy, Doporučení, Facit).....	98
Literatura.....	102

## ÚVOD

Automobil je více jak 100 let starý a v průběhu času se stal podstatnou součástí mobilní společnosti. Žádné zvíře nedosahuje takových rychlostí, nedokáže vysokou rychlost udržovat dlouhodobě, nebo jednoduše táhnout mnohatunový náklad tak, jako dnešní automobily. Člověk kontroluje a reguluje tyto stroje, které dosahují mnohonásobně vyšší rychlosti. Této rychlosti sám člověk není schopen na základě svých biologických možností dosahovat. Síla, kterou stroje člověku dávají, se projevuje také v mnoha tragických nehodách každý den. Přesto je úžasné, jak dobře člověk zvládá řízení ve vysokých rychlostech. Požadavky na řidiče jsou vysoké. Řízení vozidla je procesem kontinuální změny parametrů. Řidič musí neustále analyzovat měnící se okolí a svým jednáním na dané změny reagovat.

V současnosti umírá na českých silnicích okolo 800 lidí ročně (v roce 2009 to bylo 832, v roce 2010 klesl počet na 749 osob, v roce 2011 pokračoval pokles na 707 osob [1], [60]). V celé Evropské unii přijde ročně o život při dopravní nehodě 41 900 lidí a více jak 1,7 milionu je zraněno [61]. Nejvíce postiženou oblastí jsou mladí lidé od 15 do 25 let, kde je dopravní nehoda nejčastější příčinou smrti. Přímé vyčíslitelné náklady způsobené dopravními nehodami dosahují 45 miliard Euro, po přičtení dalších spojených nákladů (léčba obětí, příbuzných obětí atd.) se výsledná suma zvýší 3 až 4 krát. To odpovídá údajům Evropské komise [62]. Celosvětová čísla vypadají ještě hrozněji. Podle [63] je každoročně až 850 000 usmrcených a 35 milionů zraněných v dopravním provozu. Škody dosahují 500 miliard dolarů. Mezi dopravními experty panuje shoda v tom, že celosvětově budou tato čísla stoupat. Například Heidelberger Umwelt und Prognose Institut (Institut prognózy a životního prostředí Heidelberg) odhaduje 2,5 milionu usmrcených v roce 2030. Jako hlavní příčina tohoto vzestupu je uváděna rostoucí motorizace „Třetího světa“.

Snížení počtu obětí dopravních nehod je jedním z cílů dopravní politiky Evropské komise. Jako vzor jí posloužila snaha jednotlivých vlád, jako např. Švédska se svým programem „Žádní mrtví ani těžce zranění při dopravních nehodách“ („Vision Zero“). [33]

*Pozn.: V práci čerpám z původní literatury z důvodu zaručení její přesné interpretace.*



K vytváření efektivních opatření pro snížení počtu dopravních nehod je nutné znát jejich příčiny. Podle šetření instituce GIDAS (GIDAS = German in Depth Accident Study) je přibližně 90 procent nehod způsobeno chybou řidiče. Přesněji je uvedeno ve statistikách GIDAS, vedených od roku 1973, 93,5 procent nehod způsobených chybným chováním řidiče, 4,6 procent nehod způsobených okolím (vlastnosti vozovky, počasí) a 1,9 procent technickou poruchou na vozidle (nejčastěji opotřebené pneumatiky).

Velmi významným faktem je, že 80 procent nehod a 65 procent „skoronehod“ se projeví tři sekundy předem [64] v podobě různých druhů řidičovy nepozornosti. Z tohoto důvodu je velmi důležité zaměřit se na monitorování stavu řidiče během řízení pro jeho vyšší bezpečnost. [64]

Je zajímavé, že do dnešní doby nejsou zcela známy příčiny pro chybné chování řidiče. k dispozici jsou především statistiky o dopravních nehodách, které nezkoumají přesnější příčinu, ale pouze zařadí do některé z obecnějších kategorií. Časté „Nepřizpůsobení rychlosti vozidla stavu a povaze vozovky“ neříká nic o tom, proč např. mladý řidič na rovném úseku komunikace 5 km od bydliště čelně narazil s plně obsazeným vozem do stromu. Je patrné, že u úředních statistik jde především o zaznamenání příčiny, než o analýzu příčin dopravní nehody.

Na druhé straně existuje dostatek poznatků z dopravní psychologie o nebezpečnosti různých dopravních situací nebo způsobu chování. Jsou to většinou výsledky laboratorních experimentů, experimentů na simulátoru nebo pozorování přímo ve vozidle. Jedná se o výsledky, které se vztahují ke konkrétnímu řešenému tématu, berou v úvahu konkrétní aspekty a používají určitou metodiku. V normálním provozu však působí na řidiče celá řada dalších faktorů, které je třeba kontrolovat nebo alespoň brát v úvahu.

Pokud chce mít člověk dostatečným způsobem popsán vznik dopravní nehody, je třeba se zaměřit na vyšetřování reálných dopravních situací. Jízda na simulátoru není zcela srovnatelná se skutečnou jízdou a jediná chyba v chování řidiče nemusí vést rovnou k nehodě nebo kritické situaci. Analýza chování řidiče nabízí možnost odhalit jeho chyby v kontextu přirozeného chování, typické kombinace chyb a rizikových faktorů. Současně je možné odhalit, jaké kompenzační mechanismy selhaly.

Velké očekávání ke snížení počtu usmrcených se v současné době vkládá do bezpečnostních systémů automobilu. Vizí je „inteligentní automobil“, který rozpozná kritické situace, bude řidiči dodávat relevantní informace a v případě, kdy řidič selže, převezme řízení tak, aby odvrátil hrozící nebezpečí. Toto bude dosaženo pomocí jízdních asistujících systémů. Jejich paleta obsahuje systémy od navigačních přes systémy napomáhající vidět (natáčecí světlomety, noční vidění atd.), sledující únavu řidiče, příčné vedení vozidla, odstup od vpředu jedoucího vozidla nebo napomáhající vhodně brzdit.

Aby mohly být tyto systémy optimálně využity, musí spolehlivě rozpoznat příslušnou kritickou situaci. Okamžik před vznikem nehody se označuje jako přednárazová fáze (Pre-Crash Phase). A právě zde mají výsledky z analýz příčin dopravních nehod velkou hodnotu. Výpověď řidiče a technický stav vozu mohou napovědět, jak k nehodě došlo. Z výpovědi řidiče je důležitý popis situace, která předcházela, jaké informace přijímal, na které reagoval, přiměřenost reakce atd.

Přesná znalost je předpokladem pro vývoj nejen systému pro zvládnání každodenních situací, ale také pro zřídka se vyskytující kritické situace. Analýzou dopravních nehod mohou být identifikovány typické kombinace rizikových faktorů pro určité druhy nehod a následně navržena nasazení konkrétních asistujících systémů. Tato znalost může přispět k zvýšení potenciálu stávajících asistujících systémů, například k volbě vhodné formy asistující funkce.

Analýza faktorů podílejících se na vzniku nehody z oblasti okolí vozidla, vozidla a chování řidiče umožní zvýšení potenciálu asistujícího systému. Také se nechají snáze určit potenciálně důležitější faktory, které bude užitečné následně detailně zkoumat.

Domnívám se, že v dopravně-psychologické analýze nehod je skryt velký potenciál pro zvýšení bezpečnosti silniční dopravy.

## 1 CÍL

Cílem práce je ověření možností odhalování přechodně variabilních faktorů v chování řidiče za účelem snížení rizika, které silniční doprava pro účastníky představuje.

V této práci popisují kroky návrhu konceptu mechatronického systému, který by měl napomáhat klasifikovat aktuální stav pozornosti řidiče na základě analýzy záznamu průběhu jízdy s pomocí neuronových sítí. Jako základní indikátory pro popis průběhu jízdy využívám příčné a podélné zrychlení vozidla.

### Struktura

Tato práce lze rozdělit na dvě hlavní části. První představuje souhrn teoretického pozadí řešené problematiky pocházející z širokého spektra literárních zdrojů. Druhá logicky navazuje na získané poznatky a obsahuje vlastní návrh konceptu mechatronického systému, popis experimentů a navrženého způsobu vyhodnocování naměřených dat. V teoretické části jsem popsal vznik dopravní nehody, dva přístupy vysvětlující její vznik. Dále jsou znázorněny modely lidského chování a popsány chyby, které mohou vést k dopravní nehodě, a také vliv některých faktorů na chování řidiče. Jako další jsou zmíněny časté příčiny vzniku nehod, vliv asistujících systémů, problematika adaptace rizika a popis procesu řízení ve formě regulačního obvodu. V návaznosti jsou specifikovány požadavky na vlastnosti navrhovaného konceptu asistujícího systému s využitím metodiky Design Science. V další kapitole jsou popsány provedené experimenty a zformulovány zásady pro odhalení konkrétních faktorů chování řidiče. Následuje popis použití neuronových sítí pro klasifikaci naměřených dat. Práce je zakončena Závěrem, kde je shrnuta tato práce a její přínosy v oblasti dané problematiky.

Při vzniku dopravní nehody se projevuje celé spektrum faktorů. V této práci jsou zmíněny především ty, které mají logickou vazbu na návrh mechatronického systému a lze se jimi zabývat s ohledem na uvažovaný rozsah této práce.



Obr. 1 Grafický nástin struktury práce

## 2 DOPRAVNÍ NEHODY

Dopravní nehody se vyskytují od doby, kdy začala vozidla jezdit po ulicích. První popis nehody pochází z roku 1895 [5]. V USA byl v roce 1899 poprvé usmrcen člověk při dopravní nehodě. [6] Až začátkem 20. století se začaly systematicky vést statistiky dopravních nehod. Z této doby pochází také první pokusy o vysvětlení příčin dopravní nehody [7]. Už v té době ze statistik vyplývalo, že člověk způsobuje 90% všech nehod. Tato hodnota platí i v současné době. Jako nejčastější příčina nehod podle [7] v roce 1929 je uváděna vysoká rychlost. V [7] se přímo uvádí: „Boj s dopravními nehodami bude v budoucnu problémem výrazně psychologickým“. A tato věta platí stále. První pokusy o řešení problematiky dopravních nehod byly zaznamenány kolem roku 1912 [8]. Šlo o použití vlastního testovacího zařízení k zjištění vhodného a nevhodného chování řidičů tramvaje. Předpokladem experimentu bylo, že je jízdní styl závislý na atributech osobnosti řidiče. Z tohoto předpokladu vycházela i jiná teorie, která uvádí, že pravděpodobnost způsobení nehody řidičem je závislá na počtu nehod způsobených jím v minulosti [9]. Od počátku oboru dopravní psychologie je snahou určit ty vlastnosti, které předurčují problémového řidiče. Odůvodnění této snahy uvádí [8]. Způsobené dopravní nehody se nerovnoměrně rozkládají v populaci. Oproti velkému podílu řidičů bez nehod stojí malá skupina řidičů, kteří bourají častěji. Skupina častěji bourajících řidičů je považována jako odchýlení od normy (chování). Jsou jim přisuzovány určité dispozice, které jsou označovány jako náchylnost k nehodě. Vychází se z toho, že tato náchylnost je způsobena osobnostními faktory. V [7] je uveden jako příklad choleric, který je kvůli zvýšené motorické a senzorické vznětlivosti náchylný k jízdě, kterou ostatní neočekávají. Patří k typu silového řidiče, který již od počátku jede příliš rychle. Dalším důležitým typem je sangvinik. Lehce u něho může dojít k podcenění situace, což může především v rychlém provozu vést k nehodě. Pokud je sangvinik pod stálým tlakem, je pozorný. Psychologie dále rozlišuje rozvážný temperament, jehož zástupci se nevyskytují tak často jako předchozí dvě skupiny. Je to skupina spolehlivých bezpečných řidičů, kteří dodržují střední rychlosti. Tehdejší hypotézy o příčinách chování řidiče a s tím související náchylnosti k nehodě působí dnes trochu komicky. O teorii dopravních nehod v historických souvislostech je třeba uvažovat spolu s rozvojem psychologie a psychodiagnostiky. Významného rozvoje dosáhla dopravní psychologie v 50. letech 20. století, kdy například v Německu byla založena instituce pro medicínsko-psychologické

vyšetřování řídičských schopností (Deutsche Untersuchungsstelle für die Überprüfung der Kraftfahrereignung). Vznikl systém pojištění vozidel, který je založen na registraci vozidel a využívá evidenci způsobených nehod [10]. Není přehnané tvrzení, že žádná z dopravně psychologických teorií nedosáhla společenského povědomí. Objevily se i teorie s tvrzením, že vyšší počet způsobených nehod jedním řidičem může být způsoben prostou náhodou, aniž by řidič musel nést nějaké osobnostní znaky náchylnosti k nehodám. Tím ale odpadá možnost u osob s nadprůměrným počtem způsobených nehod vztahovat náchylnost k nehodě k dané osobě [11].

Rozhodující pro pochopení problému vzniku nehody je skutečnost výjimečné události a statistiky popsané Poissonovým rozložením. Poissonovo rozložení odráží okolnosti čistě podle pravděpodobnostních zákonů. Očekává se malá skupina řidičů s vysokým počtem nehod, když pro všechny členy zkoumaného souboru platí stejná pravděpodobnost způsobení nehody. Čím menší je průměrná četnost nehod, tím větší je koncentrace nehod u malé skupiny řidičů. Pouze když je Poissonovo rozdělení a empirické rozdělení značně rozdílné, může být použit interindividuální ukazatel, který se nazývá náchylnost k nehodě. Předpokladem je, že je shodné objektivní nebezpečí. Je třeba brát ohled na to, že někteří lidé jezdí autem velmi mnoho kilometrů ročně, zatímco někteří jen málo. Takže i pravděpodobnost způsobení nehody je tím ovlivněna. Jen při rozsáhlém šetření nehod (vysokém počtu) se může lišit rozložení četnosti od Poissonova modelu. V těchto případech odpovídá rozdělení negativnímu Bi-nominálnímu rozdělení, které se může interpretovat jako více Poissonových rozdělení s rozdílným parametrem lambda. Lambda je jedním parametrem Poissonova rozdělení, který může představovat riziko. Je inherentní a pro každého účastníka silničního provozu stejný. Při Bi-nominálním rozdělení odpovídá parametr lambda náchylnosti k nehodě u konkrétní skupiny účastníků silničního provozu (začátečníci, zkušení řidiči), ne však konkrétní osoby. Pro jednotlivé rizikové skupiny je prokazatelná určitá míra rizika [12].

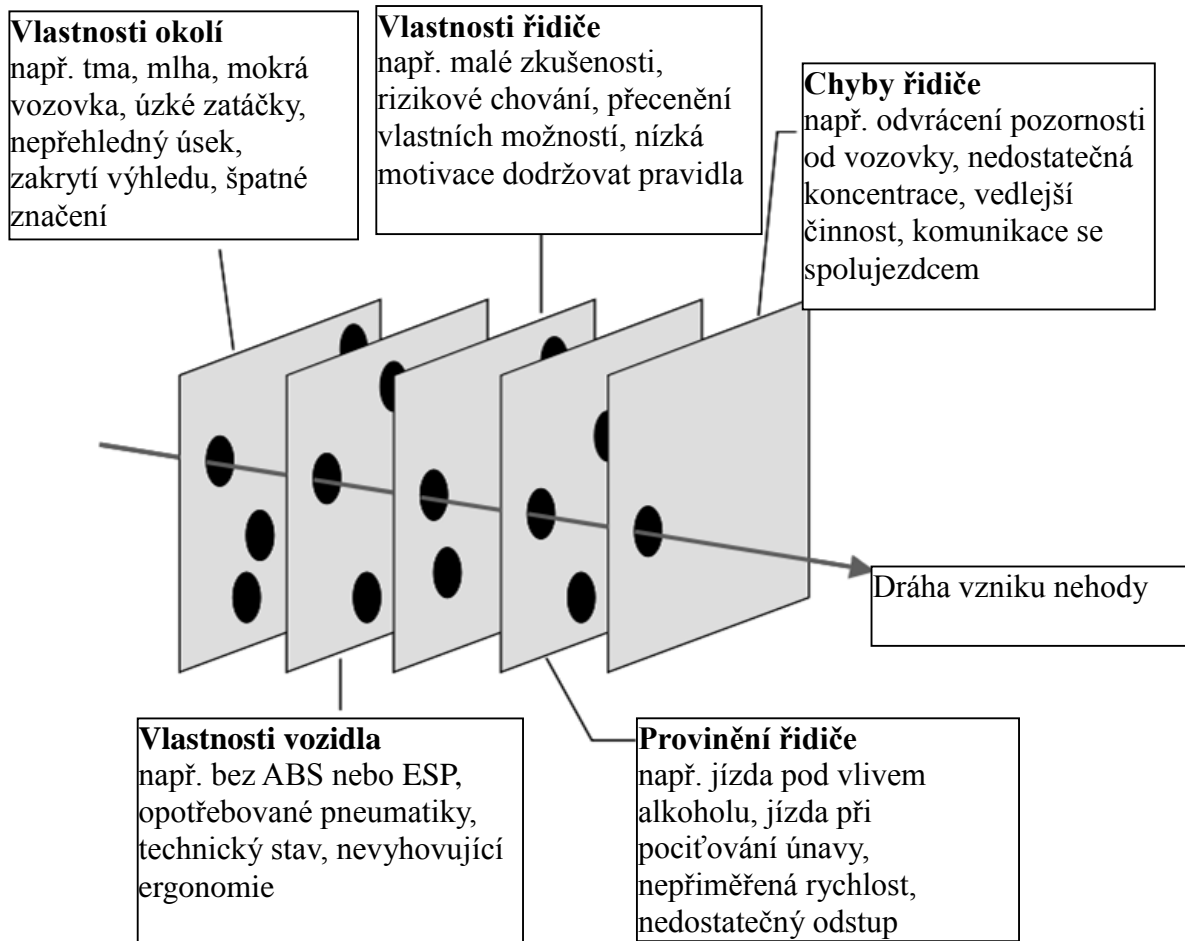
Matematicko-statistické vyvrácení teorie nehod se nachází např. v [13]. Rozšířený názor, že odmítnutím psychologicky nápadných uchazečů o řídičský průkaz, je možné zvýšit bezpečnost na silničních komunikacích, se nedá pokládat za zcela pravdivý. Je potřeba uplatnit jiné psychologické postupy k zmírnění rizika při výběru uchazečů o řídičský průkaz. Dopravní psychologie z 60. let 20. století platí stále, i když při vysvětlení vzniku dopravní nehody dochází k pomalému příklonu ke každodenní psychologii.

## 1.1 Situačně orientované vyjádření vzniku dopravní nehody

Nejdůležitějším faktorem je lidská chyba a nedostatečné schopnosti jsou považovány za méně či více stabilní osobnostní vlastnosti. Převládá názor, že chyba je způsobena aktuálním obecně-psychologickým procesem.

Podle toho není úkolem dopravních psychologů vyloučit nevhodného uchazeče o řidičský průkaz, ale zaměřit pozornost více na momentální chování řidiče a na jeho obecně-psychologické předpoklady. Pro prevenci nehod to znamená, že důležitou roli představují okolní podmínky. Ty je třeba změnit tak, aby minimalizovaly vznik chyb, případně jejich důsledků [14]. Pojem „okolní podmínky“ je velmi široký, zahrnuje komunikaci, její vybavení, dopravní značení, vybavení vozu, design ukazatelů a ovládacích prvků, stejně jako funkci asistujících systémů. To neznamena, že by řidič v tomto novém pojetí neměl žádnou měřitelnou roli. Pouze je zde možnost zvýšení subjektivních výkonnostních předpokladů tréninkem a kvalifikací. Dřívější teorie považovaly řidiče za výkonnostně stabilního a prakticky bez schopnosti učení. Řidič reaguje na své okolí a dělá chyby, což mu také přiřazuje klíčovou roli při vzniku nehody. Rozhodující je, že jeho chyby jsou velmi podmíněné situací.

Reasonův model vzniku nehody znázorňuje situační podmíněnost a komplexní působení faktorů při vzniku nehody [15]. Ukazuje dráhu možnosti vzniku nehody, která prochází několika vrstvami tak, že nakonec vede k nehodě. Tento průchod vrstvami je možný, pokud dojde k překrytí otvorů v jednotlivých vrstvách, které odpovídají rizikovým faktorům v okolí, vozidle a chování řidiče. Rozmístění otvorů v jednotlivých vrstvách je více nebo méně nepředvídatelné tak, jako vnitřní a vnější faktory. Jednotlivé otvory se neustále pohybují a mění svoji polohu a velikost, a to na všech vrstvách tohoto systému. Z obr. 2 je patrné, že pravděpodobnost překrytí otvorů na všech vrstvách je za předpokladu výskytu pouze několika malých otvorů na jednotlivých vrstvách velmi nízká. To odpovídá četnosti výskytu rizikových faktorů v okolí, vozidle a chování řidiče. Reasonův model ukazuje, že nehoda je zpravidla způsobena více příčinami a rizikovými faktory, které se musí sejít v jeden časový okamžik. Náhoda zde hraje rozhodující roli. Principiálně se na každé vrstvě vyskytují nějaké otvory a každý takový otvor zvyšuje riziko nehody. Přesná analýza dopravní nehody umožní tyto otvory identifikovat a vyvíjet vhodné strategie k redukci těchto rizikových faktorů.



Obr. 2 Reasoning model vzniku nehody [15]

## 1.2 Diferencovaný způsob pohledu na vznik nehody

První nasazení diferencovaného způsobu pohledu na vznik nehody, ve kterém nehraje nejdůležitější roli náchylnost k nehodě jako osobnostní dispozice, bylo v 60. letech 20. století [16]. Empirickým výzkumem byla stanovena souvislost mezi velkým počtem dopravních a pracovních nehod a lidským selháním. Rozlišovalo se, zda se jednalo o chybu poraněné osoby nebo osoby cizí. Podíl postižených osob byl dále rozdělen. Rozlišovalo se, zda příčina byla psychologická nebo „nepsychologická“ (např. tělesná), přičemž „nepsychologické“ dosahovaly v porovnání s psychologickými jen nepatrného významu.



Psychologické faktory byly rozděleny do dvou kategorií - časově konstantní a časově proměnné. Časově konstantními faktory jsou míněny osobnostní znaky, schopnosti, dlouhodobě osobní stanoviska. Časově proměnnými faktory se rozumí změny výkonnosti a nálady, jejich vnitřní a vnější okolnosti, únava, dosavadní zkušenosti, věk, doba řízení, teplota atd. Je zdůrazňováno, že časově konstantní a proměnné faktory se nedají přesně oddělit. Existují plynulé přechody mezi těmito dvěma skupinami [8]. Časově proměnné faktory lze (opět) rozdělit do dvou skupin, a to na osobnostní a situační. Typickými osobnostními časově proměnnými faktory jsou alkohol, drogy, léky, únava, zkušenosti, věk atd. Zatímco situační časově proměnné faktory představují především mimo osobnostní faktory s nepřímým psychologickým vlivem. Počítají se mezi ně např. atmosférické podmínky, teplota, doba jízdy nebo hustota provozu. Tyto faktory působí jen nepřímo na osobnostní faktory. Na počátku 60. let 20. století představoval tento pohled novou perspektivu na psychologický výzkum dopravních nehod. Rozdělení časově konstantních a časově proměnných faktorů na osobnostní a situační faktory představovalo významný krok od teorie dopravní nehody k systematicky situačnímu úhlu pohledu na proces vzniku dopravní nehody [8].

První významná vyšetřování vzniku dopravní nehody založená na diferencovaném pohledu se uskutečnila v 60. letech. Rozlišovalo se mezi hlavními a vedlejšími příčinami [11,17]. Pro vyšetření dopravní nehody se využívalo interview s řidičem. Cílem bylo vypátrat přesnější příčiny nehody a faktory působící před nehodou klasifikovat. Tato interview byla prováděna po určitém časovém období od nehody (někdy až za rok [16]), ale také ihned po nehodě [18]. Později, na konci 70. let, se poprvé objevil interdisciplinární tým pro vyšetřování dopravní nehody. Tým se skládal z psychologů, dopravního inženýra, specialisty na životní prostředí, konstruktéra silničních vozidel a specialisty na rekonstrukci dopravních nehod. Tento tým vyšetřil 420 nehod ve státě Indiana v USA [19]. Velmi pozitivní je nasazení interdisciplinárních týmů a také důraz na zahrnutí všech tří pro vznik nehody důležitých oblastí (řidič, vozidlo, okolí) do analýzy. Jiný podobný tým v 80. letech došel k závěru, že 25,4 procent nehod je způsobeno přetížením řidiče v informační oblasti. Jejich analýza tohoto problému byla popsána v soustavě řidič-vozdlo-okolí. K popisu lidských rozhodovacích procesů používají přirovnání lidského mozku k počítači, a tak uvádějí zpracování informace v bitech za sekundu. Konstatovali, že v jedné čtvrtině případů nehod nedosahovaly sensorické orgány a centrální nervová soustava dostatečné kapacity pro zpracování přicházejících informací [20]. Někteří autoři se omezovali pouze na specifickou skupinu řidičů,

například řidičů nákladních vozidel. U této skupiny řidičů působí i jiné faktory než u řidičů osobních vozidel, např. stres z časové tísně, únava z dlouhé cesty nebo nevhodné chování vozidla z důvodu přetížení.

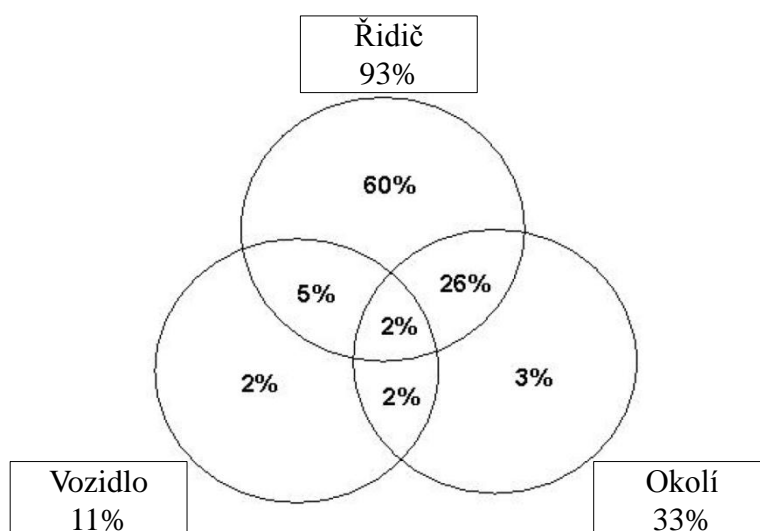
Studie [21] se zabývala vyšetřením faktorů způsobujících dopravní nehody. Každý zkoumaný případ nehody byl rekonstruován interdisciplinárním týmem po stránce technické i psychologické. Tato studie používala zajímavé postupy. Pro analýzu bylo použito klasifikační schéma lidských chyb, které vychází z modelu zpracování informace (viz. kap. 6). Podle toho, kde došlo k chybě (rušení informace), bylo rozlišováno mezi mechanickým filtrem, filtrem přijímání informace a kognitivním filtrem.

Jiné studie o příčinách dopravních nehod se omezovaly pouze na určitou skupinu faktorů. Např. [22] se zabývala nehodami způsobenými nedostatečnou pozorností nebo podněty ve vozidle. Těžiště je soustředěno na nehody způsobené chybami v oblasti vizuální pozornosti a vizuálního zatížení řidiče. Autoři konstatovali, že řada nehod byla způsobena narušením vizuální pozornosti a zdroje tohoto narušení se vyskytovaly uvnitř vozidla. Je nutno dodat, že tato studie vycházela z policejních statistik. Záznamy o nehodách byly často povrchní (obecné) a chyba v oblasti pozornosti mohla, a zpravidla také byla, pouze jedním z několika působících faktorů při vzniku nehody. Přesto je studie zajímavá tím, že jako první se detailně zabývala konkrétní skupinou faktorů, a vyjmenovala seznam nejčastějších věcí ve vozidle, které přitahují pozornost řidiče. I když není uvedena jejich četnost na způsobených nehodách, je možné jim přisoudit relativní význam. Zmíněny byly rádio, zrcátko, položené věci ve vozidle, stejně jako komunikace se spolucestujícími nebo zvířaty.

### 3 SOUSTAVA ŘIDIČ-VOZIDLO-OKOLÍ

Dopravní psychologie přináší různá vysvětlení vzniku nehody. V centru pozornosti stojí ale vždy otázka, jakou roli při vzniku nehody hraje člověk. Stejně tak relevantní je otázka vhodnosti kritérií pro posouzení lidského chování v dopravě, tedy jak se nechá bezpečnost dopravy měřit. K tomu se váže volba vhodné metody měření chování v dopravě.

V dopravní psychologii a především výzkumu dopravní ergonomie je silniční doprava často znázorňována kybernetickým modelem systému. Jedním z nejrozšířenějších modelů znázorňujících silniční dopravu je Člověk (řidič, účastník silničního provozu)-Vozidlo (dopravní prostředek)-Okolí (komunikace a její okolí). Tyto tři prvky na sebe vzájemně působí a ovlivňují se [23]. Přitom se v dopravním výzkumu vychází z toho, že lidské chování přispívá nebo výhradně představuje příčinu v 90 až 95 procentech dopravních nehod [24, 25]. Před třiceti lety prozkoumal Treat s kolektivem [26] více jak 2000 dopravních nehod z pohledu faktorů jejich vzniku a zařadil je do kategorií „Řidič“, „Vozidlo“ a „Okolí“. Podle výsledků této studie je za přibližně 60 procent nehod zcela odpovědný řidič. Pokud se k tomu připočtou nehody, při kterých mělo částečný vliv „Okolí“ a „Vozidlo“, je více než 90 procent nehod způsobeno chováním řidiče (viz. obr. 3).



Obr. 3 Soustava Řidič-Vozidlo-Okolí a důležitost jednotlivých prvků [26]

Z předchozí studie vyplývá, že faktor „Řidič“ má rozhodující vliv při vzniku nehody, avšak dopravní psychologie hrála při výzkumu dopravních nehod relativně malou roli. Ačkoliv se podíl odborníků z humanitních oborů při výzkumu dopravních nehod zvětšuje, je v porovnání s pracovníky z technických disciplín málo representovaný.

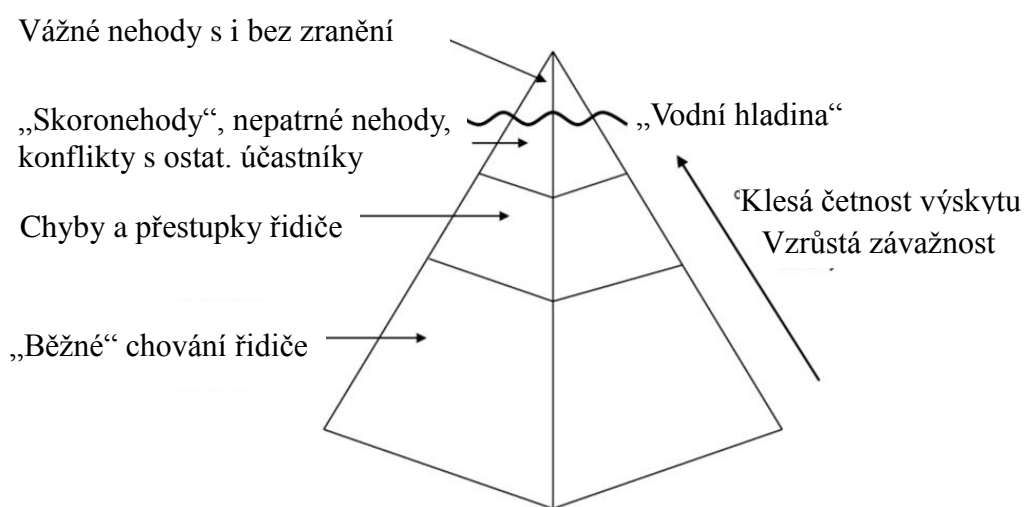
Dále bylo vyvíjeno v psychologickém výzkumu dopravních nehod množství teoretických formulací a modelů k vysvětlení chování řidiče a vzniku nehody. Zpravidla byly zaměřené na různé aspekty faktoru „Člověk“, například osobnostní znaky doprovázející nebezpečné chování, dále na procesy vnímání a přijímání informace nebo na aspekty motivace. Z důvodu komplexity dopravy a vzniku nehod není udivující, že doposud neexistuje obecně uznávaný teoretický model, který by znázorňoval rozdílné aspekty dopravy a chování v dopravě. Často jsou přijímány teoreticky srozumitelné závislosti, které se ovšem z důvodu komplexity a nedostatečné operativnosti nedají empiricky ověřit.

Vědecký výzkum dopravních nehod často používá aplikačně orientované postupy výzkumu. To znamená, že zkoumané otázky se orientují na praktické potřeby jednání. Kdyby bylo například stanoveno, že určitá skupina účastníků silničního provozu je nadměrně spojena se vznikem nehod, měly by být empirickým zkoumáním zjištěny důvody a příčiny tohoto faktu s cílem vytvořit praktická opatření pro zvýšení bezpečnosti této skupiny účastníků dopravního provozu. Empirické zkoumání dopravních nehod je v tomto případě především prakticky orientované.

### **Kritéria dopravně-bezpečnostního výzkumu**

V diskuzi o bezpečném nebo nebezpečném chování v dopravě a účincích dopravně-bezpečnostních opatření jsou dopravní komplikace považovány za objektivní kritérium pro hodnocení. Bezpečnost dopravy je často zaměňována s nízkým počtem nehod. Bohužel ne vždy je takové hodnocení možné nebo vhodné. Ze statistického pohledu jsou nehody zřídka se vyskytující události, jejichž vznik je ovlivněn systémovými a náhodnými faktory [27]. Z pohledu dopravně-bezpečnostního výzkumu jsou důležité systémové faktory, které jsou ovšem v praxi stěží rozlišitelné od náhodných faktorů. Kritéria počtu nehod při hodnocení dopravní bezpečnosti nedosahují do dostatečné hloubky. Nehoda je posledním článkem řetězu událostí a podmínek a představuje pověstnou „špičku ledovce“. Vychází se z toho, že chybné chování řidiče je výchozím předpokladem pro

vznik nehody. Je třeba sledovat řidičovo chování v dřívějším časovém okamžiku. V literatuře [23] je popsáno chování řidiče jako kontinuum mezi normálním chováním a nehodou. Mezi těmito dvěma stavy leží stádia: chyby chování, dopravní konflikty a „skoronehody“. Ve vyjmenovaném sledu klesá četnost, a tím pozorovatelnost. Tento model je označován jako „Ledovec“. Pokud se z něho vychází, tak nehody představují pouze viditelnou část ledovce. Podoba pyramidy znázorňuje, že četnost směrem ke špičce klesá, ale současně stoupá závažnost.



Obr. 4 Znázornění chování řidiče od normálního řízení po nehodu [23]

Stále více se proto zaměřuje pozornost dopravně-bezpečnostního výzkumu na „normální chování“ řidiče a sledování odchylek od tohoto stavu směrem k chybám chování, dopravním konfliktům, „skoronehodám“ až k nehodám. Toto odstupňování je obecně akceptováno jako kritéria bezpečnosti [23].

Chyby v chování řidiče představují malé odchýlení od jeho normálního chování, které ještě nezpůsobí dopravní konflikt. Protože se jen trochu odchylují od normálního chování, je jejich jasné vymezení obtížné. Chyby řidiče se mohou projevovat na různých úrovních a mohou být obtížně sledovatelné. Dopravní konflikty se oproti „skoronehodám“ a nehodám vyskytují častěji. Jsou pozorovatelné nebo zjistitelné z výpovědi řidiče. Jsou v literatuře definovány jako vzájemné kladení odporu mezi účastníky dopravy, při kterém je díky odpovídajícím protiopatřením ze strany

jednoho nebo obou účastníků zabráněno nehodě. „Skoronehody“ se podobají dopravním konfliktům, jen vykazují extrémní stupeň nebezpečí. Jsou snadno pozorovatelné.

Dopravně-bezpečnostní opatření by neměla být nasazována na „špičku ledovce“ (na nehody), ale na předcházející stádia chování, a měla by působit co možná nejdříve a preventivně k obecnému zlepšení dopravní bezpečnosti. Proto je vhodné vycházet z normálního chování řidiče a stanovit podmínky, které negativně působí na bezpečnost dopravy.

### **Metody dopravně-bezpečnostního výzkumu**

Ke zjištění relevance určitých dopravně-bezpečnostních faktorů mohou být zvoleny různé metodické přístupy. Každá z metod má své specifické oblasti použití a platnosti a s tím spojené výhody a nevýhody. Samozřejmě mohou být různé metody v závislosti na zkoumané problematice kombinovány.

#### **a) Analýzy dopravních nehod**

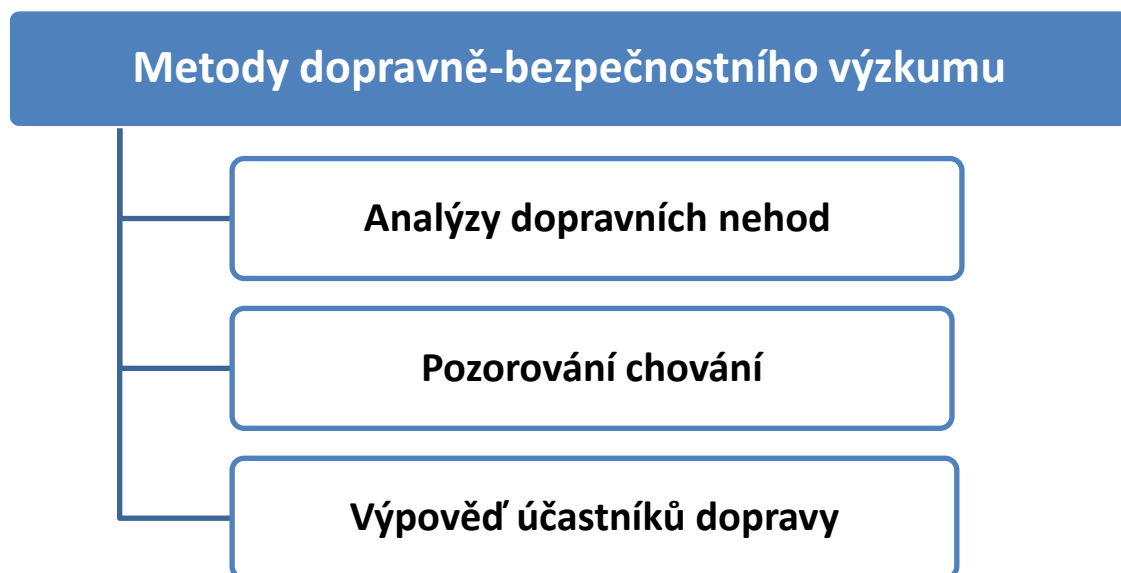
Analýzy dopravních nehod vycházejí z dat, která byla zaznamenána většinou za jiným účelem, příkladem mohou být úřední statistiky nehodovosti nebo policejní záznam o nehodě. Data jsou vhodná zpravidla pro statistické analýzy, i když nedosahují požadované detailnosti. Velkou výhodou je rozsah dat, například policejní statistiky nehod za mnoho let zpět.

#### **b) Pozorování chování**

Druhým způsobem je pozorování chování. To může být prováděno v reálné dopravě, na simulátoru nebo při různých experimentech. Výhodou této metody je, že se mohou systematicky měnit podmínky, především na simulátoru. Avšak poznatky ze simulátoru nejsou zcela přenositelné do reálného provozu. Nevýhodou pozorování chování jsou především náklady s tím spojené. Pro pozorování reálné dopravy je třeba stanovit velmi jasně pozorované chování. Pozorovatelé musí být vyškoleni a musí být stanoven vhodný systém hodnocení. Kvůli zmíněným nárokům mohou být zpravidla pozorovány (analyzovány) jen úzce definované oblasti chování a specifické dopravní situace. Dále ovšem zůstávají skryty vnitřní psychické procesy a aspekty řidiče, protože pozornost je soustředěna na viditelné chování.

### c) Výpověď účastníků dopravy

Dopravně-psychologický výzkum často používá i výpovědi účastníků provozu. Spektrum dotazovaných osob, tak jako použitých forem a postupů dotazování, je široké. Pravděpodobně je to nejčastěji používaná metoda dopravně-psychologického výzkumu především psychických aspektů chování. Zde je také největší výhoda této metody, je vhodná pro široké spektrum dopravně relevantních stanovisek a způsobů chování. Nevýhodou ovšem je možné zkreslení výpovědi, určité tendence ve výpovědi nebo výpadky paměti. Tendence ve výpovědi se nechají do určité míry ovlivnit vhodnou formou otázek.



Obr. 5 Grafické zobrazení metod dopravně-bezpečnostního výzkumu

## 4 ŘÍZENÍ VOZIDLA

Řízení vozidla je komplexní činnost, při které probíhá současně mnoho procesů. Pro analýzu chyb a návrh asistujícího systému, který by mohl zabránit těmto chybám nebo je korigovat, je nutné různé aspekty řízení vozidla zkoumat odděleně.

### 4.1 Teoretický model řízení vozidla

Velmi rozšířený je třístupňový model řízení vozidla [28].

Rozděluje úlohu řízení na tři úrovně:

- a) Navigační úroveň,
- b) Úroveň vedení vozidla,
- c) Úroveň stabilizace vozidla.

Ad. a) Nejvyšší úroveň, navigační, představuje stanovení trasy řidičem. On musí při stanovení trasy vzít v úvahu řadu aspektů - předpokládaný provoz v době jízdy, účel jízdy, průjezdná místa, bezpečnost na plánované trase, například v zimě. Během jízdy může řidič ještě zvažovat různé alternativy podle aktuálního stavu dopravy.

Ad. b) Úroveň vedení vozidla je charakteristická tím, že je stanovena trasa. Způsob jízdy pak musí být odpovídající okolní dopravě. Tato úroveň zahrnuje odbočování na křižovatce, předjíždění, změnu jízdního pruhu, reakci na dopravní značení.

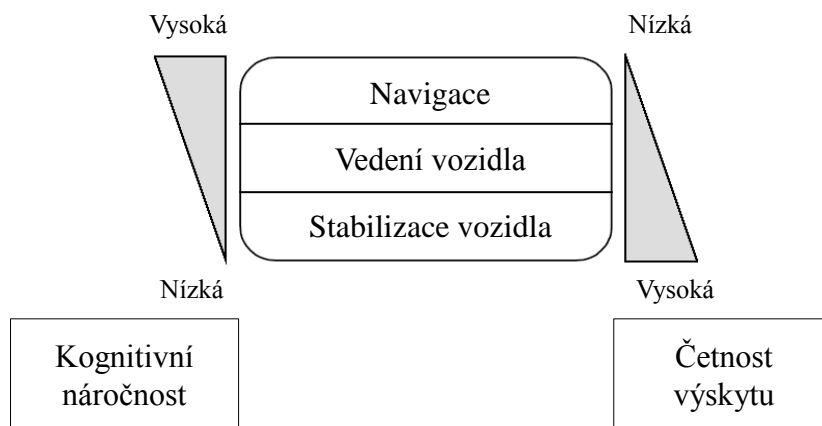
Ad. c) Nejnižší úroveň představuje stabilizace vozidla. Řidič upravuje rychlost vozidla, odstup od vpředu jedoucího vozidla (podélná stabilizace), pozici v jízdním pruhu (příčná stabilizace), zrychluje, brzdí, pohybuje volantem, řadí.



Každá tato úroveň klade na řidiče jiné nároky. Navigační úroveň, tedy stanovení trasy, představuje velkou míru kognitivního nároku. Také činnosti na úrovni vedení vozidla se odehrávají vědomě. Zde jde o vnímání a interpretaci dopravní situace, respektování dopravních pravidel a odpovídající uspořádání činností. Stupeň vědomí a zatížení mentální kapacity není zpravidla tak velký jako při činnostech na úrovni navigační. Na úrovni stabilizační jsou oproti tomu prováděny činnosti zautomatizované, které nejsou vědomé a zatěžují mentální kapacitu jen nepatrně.

Procesy, které probíhají vědomě, vyžadují pozornost, probíhají pomalu a jsou náročné (relativně). Pro probíhající procesy je k dispozici jen omezená kapacita [13]. Zautomatizované procesy bez zapojení vědomí probíhají oproti tomu rychle bez námahy. Je možné, aby probíhalo více procesů paralelně.

Obr. 6 znázorňuje rozdílné kognitivní nároky pro činnosti na každé z úrovní řízení. Nejvíce náročné činnosti zaměstnávající pozornost řidiče jsou na navigační úrovni (např. nalezení cesty v cizím městě), zatímco nejméně náročné jsou stabilizační činnosti (např. řazení).



Obr. 6 Činnosti při řízení vozidla, jejich kognitivní náročnost a četnost [28]

Na druhou stranu jsou činnosti na stabilizační úrovni velmi časté, neboť sledování naplánované cesty vyžaduje na řidiči pouze sledovat určité klíčové body trasy. Pokud se pohybuje po známé trase, odpadá navigační úroveň zcela. Řazení rychlostních stupňů, udržování vozidla v jízdním pruhu, regulace plynového pedálu a brzdění je sice jen málo náročné, zato řidič musí tyto činnosti vykonávat permanentně a současně, což může být v součtu rovněž náročné.

To pro návrh asistujícího systému znamená, že je možné usnadnit řidiči činnosti na určité úrovni řízení pomocí rozdílných systémů. Navigační systém podporuje řidiče na navigační úrovni řízení při nalezení cíle v neznámém prostředí, což odlehčí jeho mentální zdroje, a jeho koncentrace může být využita na sledování dopravy. Toho může být také dosaženo odlehčením řidiče od činností na úrovni stabilizace vozidla (například automatickým řazením, adaptivním tempomatem).

## 4.2 Model chování podle Rasmussena

V hierarchickém členění se stejně jako stupeň zapojení vědomí a komplexity jednání podobá model chování podle Rasmussena modelu řízení vozidla [29].

Model chování podle Rasmussena dělí chování na tři úrovně:

- chování založené na vědomí (knowledge-based behavioral): vědomě řízené, způsob chování založený na analytických procedurách,
- chování založené na pravidlech (rule-based behavioral): použití osvojených pravidel, např. když-potom pravidel,
- chování založené na dovednostech (skill-based behavioral): osvojený způsob chování, rutinní činnosti, které probíhají bez vědomné pozornosti nebo kontroly.

V zásadě lze říct, že činnosti na navigační úrovni probíhají spíše vědomě. Činnosti na úrovni vedení vozidla probíhají na úrovni chování založeném na pravidlech a činnosti na úrovni stabilizace vozidla se uskutečňují na úrovni chování založeném na dovednostech. To ovšem neplatí vždy, příkladem může být žák autoškoly. Tento začínající řidič nemá zpravidla ještě osvojené ovládání vozidla, a proto většina činností u něho probíhá vědomě. Jiným příkladem mohou být nepříznivé povětrnostní podmínky jako náledí nebo silný boční vítr.

Tab. 1 Tabulka závislost stupňů chování podle Rasmussena a úrovní řízení vozidla

	Vědomé	”Pravidlové”	”Dovednostní”
Navigační	Nalezení cíle v neznámém městě	Volba mezi známými cestami	Každodenní cesta do zaměstnání
Vedení vozidla	Řízení na sněhu	Předjetí, změna jízdního pruhu	Odbočení na známé křižovatce
Stabilizace vozidla	Žák autoškoly na první hodině	Řízení neznámého vozu	Průjezd zatáčkou, řazení

Při porovnání činností na jednotlivých úrovních je zřejmé, že čas pro zpracování dané činnosti (úkolů) je rozdílný. Pro plánování trasy na navigační úrovni je k dispozici čas v řádu minut, zatímco v situaci kritického brzdění jen v řádu zlomku sekundy.

## 5 STRUKTURA OSOBNOSTNÍCH RYSŮ

Struktura osobnostních rysů je jednou z determinant neadekvátního chování v silničním provozu. Koneckonců i takové jevy, které vystupují jako klíčové ukazatele bezprostředních příčin vzniku nehod (alkoholismus, nedodržení bezpečné vzdálenosti, předjíždění na nebezpečných místech, řízení ve stavu ospalosti či vysoké únavy, požití psychofarmak atd.) se vážou na osobnostní strukturu toho, kdo je potenciálním a v daném případě aktuálním nositelem havarijních situací (kdo se napije alkoholu před jízdou, kdo se chová agresivně, kdo volí akci neúměrnou schopnostem atd.). Výzkum lidských zavinění nehod byl dříve zaměřen hlavně na zjištění bezprostředních příčin určitého případu. V poslední době se však považuje za důležitější zaměřit se na řetěz příčin a dlouhodobé účinky. Tento druh výzkumu vyžaduje nejen nové metody, ale také propracovanější teorii nehod a jejich vhodnou klasifikaci. Za vhodné jak pro teoretické, tak i pro praktické účely považují autoři [30] klasifikovat tyto lidské rozdíly do tří skupin: stálé individuální charakteristiky, vývojové faktory a přechodně variabilní faktory.

### **Stálé individuální charakteristiky**

Stálými charakteristikami se rozumí vrozená nebo v dětství nabytá struktura a povaha chování, tělesný typ, intelektuální kapacita, sensorická a psychomotorická kapacita a struktura osobnosti. Tyto faktory zůstávají konstantní bez ohledu na věk. Jejich variabilita není významná. Každý jedinec má svou relativně stálou úroveň. Preventivní opatření u stálých faktorů se týkají výběru osob. Pro tento účel se v širokém měřítku používá psychologických a lékařských metod.

### **Vývojové faktory**

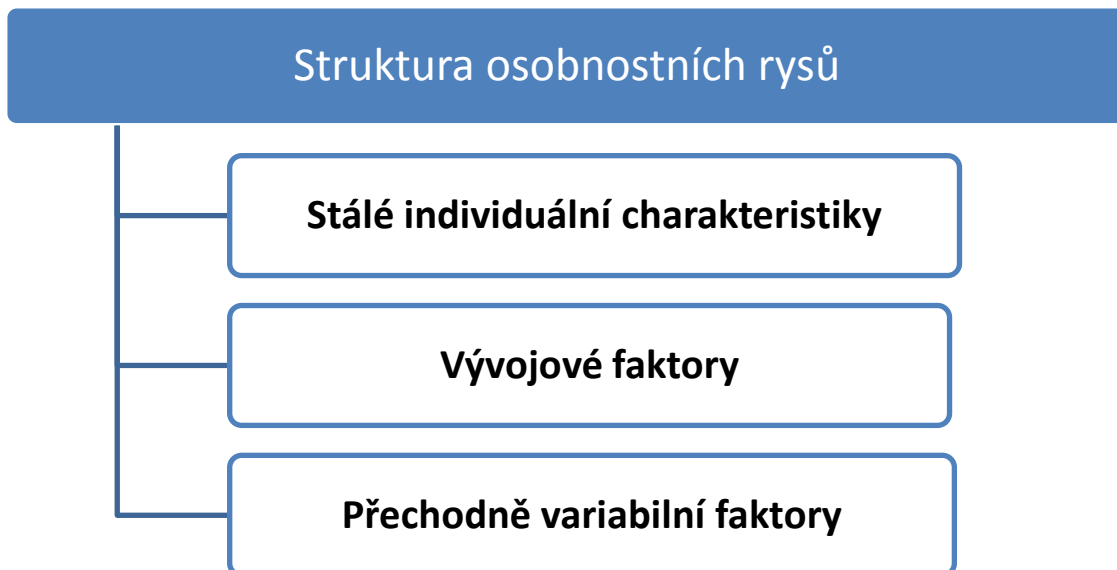
Vývojové faktory jsou nejčastěji spojeny s věkem osoby. Věk má vliv na fyziologické a psychologické změny a jejich prostřednictvím i na pravděpodobnost nehody. Rozdílná četnost a charakteristika nehod u osob rozdílného věku je známa. Kromě těchto bezprostředně na věku závislých faktorů je zde mnoho proměnlivých a ovlivnitelných faktorů, patřících k této skupině. Nejdůležitější jsou výchova, výcvik a zkušenosti, dále pak vliv znalostí, pracovních návyků a postojů na nehodovost. Preventivní opatření u faktorů na čase závislých zahrnují stanovení věkových limitů (například pro řidičské oprávnění, pro různá zaměstnání atd.), požadavky na

minimální výcvik a zkušenosti a trvalou výchovu k bezpečnosti zaměřenou na zvýšení znalostí a zlepšení postojů.

### **Přechodně variabilní faktory**

Přechodně variabilní faktory jsou nepravidelně a rychle se měnící charakteristiky jako krátkodobá nemoc a únava, účinek alkoholu a drog a dočasné stavy deprese a rozčilení. Tyto faktory mohou za určitých podmínek zvýšit pravděpodobnost vzniku nehody, i když daná osoba patří do kategorie bezpečných u obou předchozích skupin. Preventivní opatření, která jsou zajištěna pro stálé faktory, zde nejsou ve stejném rozsahu možná. Bezprostřední kontrola dočasně variabilních faktorů závisí na samotné osobě. Ale například omezení množství alkoholu při účasti na provozu je částečně preventivní. Kontrola těchto opatření není možná v plném rozsahu. Také studium těchto faktorů je obtížné díky jejich dočasné a individuální povaze.

Vliv individuálních rozdílů na příčiny nehody v určitém čase je kombinovanou výslednicí všech podskupin [30].

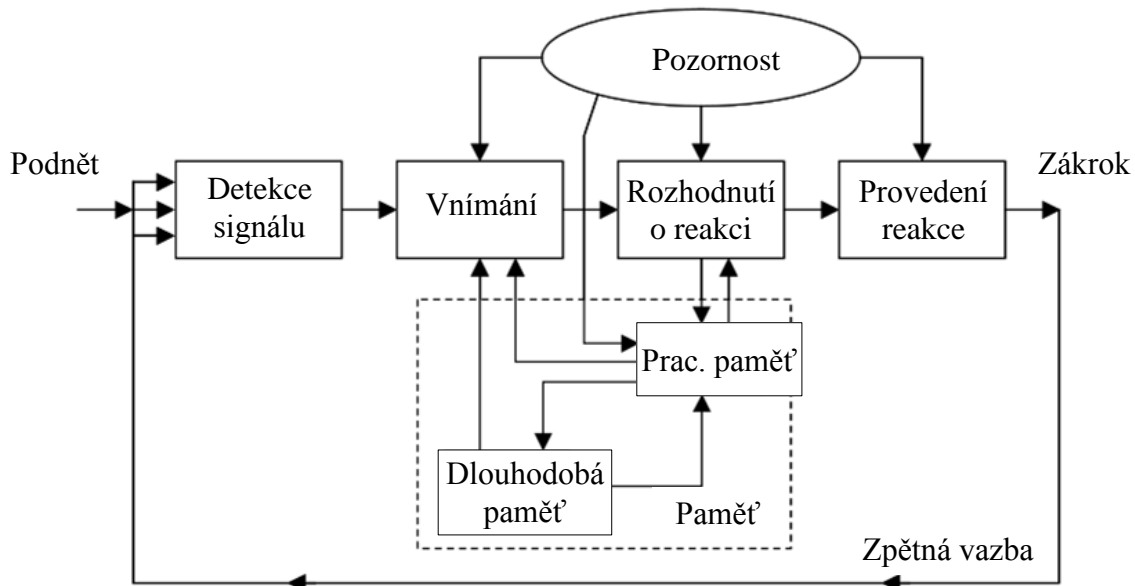


*Obr. 7 Grafické zobrazení struktury osobnostních rysů*

## 6 MODEL ZPRACOVÁNÍ INFORMACE

### Čtyřstupňový model zpracování informace podle Wickense

Patří v inženýrské psychologii k nejčastěji používaným a všeobecně akceptovaným modelům. Představuje obecnou architekturu kognitivních funkcí, na kterých je založeno veškeré lidské jednání (i chybové).



Obr. 8 Model zpracování informace [31]

Základní myšlenkou tohoto modelu je, že přijetí informace prochází řadou mentálních operací, které se odehrávají mezi zpozorováním podnětu a provedením motorické činnosti. Jak je na obrázku (obr. 8) znázorněno, podněty se krátkodobě hromadí ve smyslovém orgánu. Tyto podněty musí projít procesem rozpoznání, uspořádání jednotlivých znaků do významových jednotek a jejich identifikací (=vnímání). V dalším kroku dochází k rozhodnutí, jak s touto informací zacházet, případně jak reagovat (=rozhodnutí a výběr reakce). Rozhodnutí poté ovlivní provedení úkonu (=provedení reakce). Poslední tři operace jsou ovlivněny pozorností. Paměťové procesy ovlivňují vnímání a rozhodování. Celá sekvence probíhá se zpětnou vazbou, která umožňuje

sledovat a přizpůsobovat motorické úkony. Při všech těchto krocích mohou vzniknout chyby. Může se stát, že dojde k opožděné nebo žádné detekci signálu (rozpoznání). Pokud je řidič příliš unavený, bude pravděpodobně jeho motorická reakce na podnět zpomalena. Protože jsou zdroje pozornosti omezené, je možné, že kvůli paralelním činnostem (např. komunikace se spolujezdcem, telefonování atd.) bude ovlivněno rozhodování nebo provedení reakce. Při provádění motorických úkonů mohou také vzniknout chyby, např. nevhodným držením volantu v okamžiku potřeby rychlého a precizního manévru. Chyby mohou také vzniknout interakcí s pamětí, pokud řidič použije v kritické situaci chybné pravidlo chování (Chyba založená na pravidlech), např. pokud je třeba se za každou cenu vyhnout zvířeti na komunikaci. Jinou možností je, že řidič nemá vhodné znalosti, např. se domnívá, že nesmí současně plně brzdit při zatáčení, aby nedostal smyk. Pokud je ale vozidlo vybaveno systémem zabraňujícím blokování kol (ABS) při brzdění, pak je možné plně brzdit a provádět manévr. (Chyba založená na vědomostech).

Příklady ukazují tento model zpracování informace podle Wickense jako velmi vhodný k analýze lidského chování a příčin dopravních nehod. Tímto teoretickým konceptem je možné zaručit, že budou analyzovány skutečně psychické procesy způsobující nehodu, a ne směs psychických procesů, chybného chování a průběhu nehody [31].

## 7 FAKTORY PODÍLEJÍCÍ SE NA VZNIKU NEHODY

Dopravní nehoda zpravidla nemá pouze jednu příčinu. Skoro vždy při vzniku nehody působí současně více faktorů [30]. Oproti tomu ve všeobecném povědomí je spíše rozšířeno, že nehoda je způsobena jedinou příčinou.

### 7.1 Časté příčiny

Při pohledu do statistik dopravní nehodovosti je patrné, že nejčastějšími hlavními příčinami vzniku dopravních nehod jsou nepřizpůsobení rychlosti, nedodržení bezpečného odstupu a řízení pod vlivem alkoholu.

#### **Alkohol**

Ne vždy je alkohol hlavní příčinou nehody (především do 0,5 promile alk. v krvi), ale výrazně k ní přispívá. Ve skutečnosti je podíl řidičů jezdících pod vlivem alkoholu vyšší, než je zjištěno policií na místě nehody nebo při dopravních kontrolách. To, že více jak polovina řidičů pod vlivem alkoholu měla v krvi přes 1,1 promile alkoholu, ukazuje na fakt, že tito řidiči nejeli pod vlivem alkoholu poprvé. Ke zvládnutí řízení při požití alkoholu je třeba, aby byl řidič zvyklý na jeho účinky, které musí poté při řízení kompenzovat. To představuje proces učení. Z toho se nechá vyvodit, že takovýto řidič v delším čase opakovaně jezdil pod vlivem alkoholu. Přitom se pohyboval v silničním provozu a představoval pro ostatní účastníky výrazné riziko. Alkohol ovlivňuje schopnost vidění, kognitivní schopnosti, vnímání rizika, motoriku atd.

#### **Nepřizpůsobení rychlosti**

Jedná se o vůbec nejčastější příčinu dopravní nehody. Otázkou je, do jaké míry byla zjišťována rychlost vozidla před nehodou. Možností je celá řada, např. výpovědi viníka a poškozeného, posouzení policie, data z tachografu tak, jako z rekonstrukce, z posudku nezávislých znalců, okolností na místě nehody, stavu vozovky, průběhu vozovky nebo stavu provozu. S ohledem na všechny aspekty je třeba stanovit, do jaké míry byla rychlost nepřiměřená, a také vztah nepřiměřené rychlosti ke vzniku nehody. Posouzení celkové příčiny není možné, protože není



možné udat vztah k doporučené nebo dovolené rychlosti. Existují faktory jako mlha, vlhkost, zakřivení komunikace, nepřehlednost atd., které vedou řidiče k snížení bezpečné rychlosti hluboko pod zákonem dovolenou rychlost. Nehody způsobené aquaplaningem, sněhem, ledem vzniknou i přesto, že řidič výrazně snížil rychlost, ale za panujících podmínek byla tato rychlost pořád ještě vysoká.

### **Nedodržení bezpečného odstupu**

Účastník dopravní nehody, který nedodržel bezpečný odstup od vpředu jedoucího vozidla, je často řidič přijíždějící ke vznikající koloně a vzhledem k příliš malé vzdálenosti už nestačí zabránit kolizi. Také v městském provozu je to jedna z velmi častých příčin nehody.

## **7.2 Oblast vnímání**

### **Vliv světelných podmínek**

Tma jako rizikový faktor hraje roli častěji na neosvětlených komunikacích a dálnicích. Osvětlení komunikace a jejich křížení výrazně zvyšuje rozpoznatelnost průběhu komunikace i účastníků dopravního provozu. Existuje spojitost mezi sníženou rozpoznatelností průběhu komunikace za tmy na neosvětlené komunikaci a nechtěném vyjetí z jízdního pruhu. Je třeba ale pečlivě rozlišovat mezi působícími faktory to, do jaké míry byl významný účinek tmy oproti jiným faktorům při vzniku nehody. Tato diference má rozhodující vliv při hodnocení účinku jízdních asistujících systémů jako Noční vidění nebo Adaptivní světlomety na předcházení nehodě.

### **Vliv oslnění**

Většina účastníků dopravních nehod je dotazována na to, zda byli během jízdy oslněni přímým slunečním svitem, světlomety protijedoucího vozidla, slunečním světlem v zpětném zrcátku, světlomety vzadu jedoucího vozidla atd. Nutno dodat, že oslnění je jednou z častých výmluv řidičů, přestože je následně dalším šetřením většinou vyloučeno na základě směru jízdy vozidla, polohy slunce na obloze v danou dobu nebo oblačnosti. Se zvyšujícím se věkem klesá rychlost reakce oka na změnu světelných podmínek. Není tedy překvapující, že náchylnější jsou řidiči nad 60 let.

### **Vliv zakrytí výhledu**

U dopravní nehody (kromě dálnic) je často na místě prošetřeno a výpovědí ověřeno, do jaké míry působily překážky ve výhledu při vzniku nehody. Ukazuje se, že u výrazného množství nehod byl výhled viníka narušen předměty v okolí vozovky. Z metodických důvodů, stejně jako u vlivu tmy, není možné stanovit relativní riziko. Je možné u dopravních nehod zjišťovat pouze druh a četnost objektů zakrývajících výhled a následně navrhnout opatření.

### **Další vlivy na vnímání**

Mezi další faktory ovlivňující vnímání řidiče patří vlivy počasí, znečištění nebo poškození skel vozidla a špatný zrak řidiče.

Předchozí odstavce čerpají z [30].

## **7.3 Oblast pozornosti**

### **Vliv únavy**

Únava řidiče způsobuje prodloužení reakční doby nebo dokonce mikrosnánků. Projevuje se např. leknutím se nepředvídaného, ale neškodného podnětu, jako například přeběhnutí malého zvířete přes vozovku. Takto banální podnět může vést až k nehodě v důsledku přehnané reakce. Skutečný význam únavy je větší. Nejhorší forma – mikrosnánků často končí opuštěním jízdního pruhu a čelním nárazem bez použití brzd. Únava se nejčastěji projevuje v době mezi 22 h a 6 h. Skoro jedna čtvrtina všech nehod v tomto čase je způsobena únavou [32].

### **Odvrácení pozornosti kvůli předmětům ve vozidle**

Zdroje odvrácení pozornosti:

- ovládání rádia,
- ovládání navigace,
- pohled na tachometr,
- pohled na ukazatel množství paliva,
- pohled na hodiny,
- atd.

### **Odvracení pozornosti kvůli předmětům mimo vozidlo**

Zdroje odvrácení pozornosti:

- navigační tabule,
- objekty v okolí (čerpací stanice, staveniště, billboardy),
- osoby a zvířata,
- dopravní nehody,
- atd.

### **Odvracení pozornosti kvůli navigačním úlohám**

Zde je rozhodující, zda řidič zná daný úsek komunikace. Druh nehod, které vznikají v důsledku neznalosti prostředí, se liší. Řidič, který nezná prostředí, je výrazně zatížen náročnou navigační úlohou. To zvyšuje riziko způsobení dopravní nehody, avšak navigační systémy mohou přispívat ke snížení zatížení řidiče, čímž snižují riziko nehody [33].

### **Vliv kognitivního odvrácení**

Významnou otázkou je, do jaké míry se řidič koncentruje na řízení. Často se řidiči věnují jiným činnostem paralelně s řízením. To snižuje kognitivní kapacitu řidiče a v okamžiku složitější situace jí může být nedostatek. Následkem pak může být „skoronehoda“ nebo nehoda.

### **Vliv emocí řidiče**

Emoce jsou důležité pro lidské myšlenkové procesy a mají vliv na interakci mezi lidským operátorem a inteligentním systémem. Silná interakce mezi emocemi a kognitivními procesy a efekt emocí na lidskou výkonnost vyžaduje vytvářet takové inteligentní systémy, které dokážou rozpoznat stav emocí uživatele [65].

Z emocionálních stavů mohou být v dopravě nebezpečné především stavy duševního napětí a strachu. Duševní napětí je stav neurčitého znepokojení, neklidu, nejasného puzení učinit něco, aby tento stav zmizel. Strach je doprovázen výraznými tělesnými změnami. Podle těchto změn se rozlišuje strach pasivní a aktivní. Obě formy strachu se odvozují od instinktivních reakcí našich prapředků při útěku a obraně.

Pasivní forma strachu odpovídá ve své krajní možnosti vývojově velmi staré obranné reakci.

U člověka se při velmi silném strachu někdy dostavuje až tzv. afektové strnutí. Postižený v daném okamžiku nemůže pohybově reagovat na situaci, „přimrzne“ k řízení. Při pasivní formě strachu se dosahuje menších hodnot rychlosti i zrychlení pohybu než beze strachu. Úkoly se provádějí podstatně déle. Začínají se provádět váhavě. Pohyby jsou křečovité na rozdíl od uvolněných, prováděných beze strachu.

Aktivní forma strachu se naopak projevuje zvýšením svalové činnosti. Může jít o projev instinktivní reakce chránit se úhybem nebo útokem. Tuto formu strachu lze také vyjádřit jako stav pohotovostní mobilizace organismu v situacích, jež neponechávají dosti času k přesnému odhadu stupně a povahy nebezpečí, kdy nemůže být rozhodnuto, zda řidič „uhne“ či „zaútočí“ [30].

## **7.4 Oblast motoriky**

### **Pohyb volantem**

V kritické situaci řidič často použije neadekvátní pohyb volantu. Příčinou bývá, že vozidlo omylem vybočuje z jízdního pruhu (zpravidla doprava), řidič se lekne a v důsledku leknutí udělá silný protipohyb volantem v úmyslu vrátit se zpět do jízdního pruhu. To ale způsobí, že nad vozidlem ztratí kontrolu. Chyba tkví v příliš silném pohybu volantem. Tomuto druhu nehody předchází jiné chyby, které způsobí vybočení z jízdního pruhu, například nepřiměřená rychlost, alkohol, únava nebo odvrácení pozornosti.

### **Vliv pozice rukou na volantu**

Někdy je možné vyřešit vzniklou kritickou situaci vhodným manévrem. Předpokladem ovšem je, že řidič drží volant oběma rukama ve vhodné pozici. Při důkladném prošetřování dopravních nehod je vhodné dotázat se řidiče na pozici jeho rukou před nehodou. Samotná špatná pozice rukou však není příčinou nehody. Chybu řidiče je třeba hledat v jiné oblasti (vnímání, pozornosti). Na základě chyby vznikne kritická situace. Špatnou pozicí rukou na volantu může být následně způsobena nesprávná motorická reakce.

### **Chyby při použití brzd**

Někteří řidiči se dopouštějí chyb při použití brzd. Tyto chyby většinou nejsou hlavní příčinou nehody. Významnější chyby vznikají o něco dříve, v přednarázové fázi (pre-crash phase), teprve

poté přichází na řadu brzdění. I kdyby se řidič nedopustil chyby při brzdění (ať už se jedná o sklouznutí nohy z pedálu v důsledku mokré podrážky nebo zbytků sněhu, nebo o nesprávné dávkování brzdící síly), stejně by došlo ke kolizi, ale její následky by mohly být zmírněny. Požívání brzd je silně zautomatizovaná činnost. Zajímavé by bylo vědět, kolik řidičů v přednázorové fázi využívá plný potenciál brzd. Výpověď řidiče nebo rekonstrukce není v tomto případě vypovídající [33].

## **7.5 Další faktory**

### **Doba vlastnění řidičského oprávnění**

Řidiči v prvních dvou letech od získání řidičského oprávnění způsobují výrazně více nehod než ostatní skupiny řidičů. Skupina řidičů vlastní řidičský průkaz 2 až 6 let se přibližuje počtem způsobených nehod začátečníkům. Určitý vztah mezi počtem způsobených nehod a délkou řidičské praxe je patrný. Rozhodující je ovšem i věk řidiče. Většina řidičů si oprávnění skládá před dvacátým rokem života.

### **Vliv ročního nájezdu**

Otázka, kolik řidič najede kilometrů ročně, není až tak významná, jak by se mohlo zdát. Ukazuje se, že není rozhodující roční kilometrový výkon, rozložení způsobení nehod je pro všechny skupiny řidičů podobné.

### **Vliv absolvování kurzu bezpečné jízdy**

Absolvování kurzu bezpečné jízdy, školy smyku nebo podobného školení přispívá k zvládnutí krizových situací v provozu, což potvrzují i statistické údaje. Řidiči, kteří takové školení v minulosti absolvovali, vystupují znatelně méně jako viníci dopravních nehod. Absolvováním takového školení si řidiči vylepšují řidičské dovednosti a následně způsobuje méně nehod. To může být jedním vysvětlením. Jiným možným vysvětlením je, že tito řidiči už před školením řídili suverénně, ale přesto měli zájem si své dovednosti ještě zdokonalit. Důvodem jejich rozhodnutí může být, že bezpečnost v silniční dopravě považují za důležité téma a absolvováním školení se chtějí dále zdokonalit.

### **Odhad vlastních řídičských dovedností**

Odhad vlastních řídičských dovedností je subjektivní záležitostí, ale přinejmenším absolvování školení bezpečné jízdy nebo školy smyku přispěje jako objektivní kritérium pro posouzení vlastních schopností.

### **Vliv přivyknutí na vozidlo**

Žádný automobil z pohledu ovládání není shodný s jiným. Pokud řidič přestoupí do jiného vozidla, musí počítat s tím, že ovládání tohoto vozu bude od něho vyžadovat vyšší míru kognitivního úsilí. Dodatečné mentální zdroje, které jsou nyní využity pro ovládání vozidla, chybí zákonitě na jiných úrovních řízení. To zvyšuje pravděpodobnost, že se řidič snáze dopustí chyby.

### **Vliv denní doby**

Z policejních statistik je patrné, že počet nehod způsobených únavou v nočních hodinách je i přes menší intenzitu dopravy výrazně vyšší než v denních hodinách. Nejvyšší počet nehod způsobených únavou se odehrává kolem 2. hodiny v noci.

Předchozí odstavce vycházejí z [33].

## 8 JÍZDNÍ ASISTUJÍCÍ SYSTÉMY

Jízdní asistující systémy byly nasazeny s cílem redukovat počet dopravních nehod. Jejich paleta obsahuje v dnešní době systémy navigační, systémy napomáhající příčnému a podélnému vedení automobilu, ale také systémy, které zlepšují vidění řidiče nebo sledují jeho pozornost. Měly by přispívat ke zvýšení bezpečnosti v případech, kdy řidič chybuje při příjmu nebo zpracování informace, chybně reaguje a provádí nesprávné úkony, nebo je příliš nebo naopak velmi málo zatížen.

### 8.1 Kontrola pozornosti řidiče

Mikrospánek řidiče je nejčastější příčinou nehod s těžkými následky. Podle studie provedené německým sdružením pojišťoven [32] je čtvrtina všech nehod na dálnicích s úmrtím způsobena mikrospánkem. Ohroženi jsou především řidiči, kteří jezdí dlouhé monotónní trasy. Pro snížení těchto čísel byly vyvinuty technické systémy, které by měly rozeznávat únavu řidiče a o jeho stavu ho následně informovat.

Jedním ze způsobů je pozorování řidiče kamerou instalovanou např. v palubní desce a vyhodnocování pomocí speciálního software jeho stav. Častý bývá způsob založený na pozorování očí řidiče, přesněji frekvence mrkání. Pro analýzu únavy je možné použít více psychologických měřítek, kromě frekvence mrkání také stupeň otevření očí nebo rychlost otevření víčka při mrkání. Z těchto dat je pak podle daného algoritmu stanovována míra únavy. Za druhou skupinu lze považovat data z vozidla, například časté odchýlení od předpokládané ideální dráhy vozidla, změnu frekvence a amplitudy korekcí natočení volantu nebo oscilaci rychlosti.

Pokud systém dojde k závěru, že je řidič unaven, vyvstává otázka, jak by měl být řidič varován. V porovnání s varováním před zřejmým a akutním nebezpečím nehody je složité varovat řidiče tak, aby bral varování vážně a své chování náležitým způsobem změnil, např. udělal přestávku v jízdě. Systém musí počítat s tím, že řidič takovéto varování nebude brát v potaz, protože se třeba on sám může cítit dostatečně schopný pokračovat dále v jízdě. Proto je třeba používat vhodnou

strategii, jak řidiče informovat o jeho stavu. Tato strategie musí vykazovat určitý stupeň přesvědčování tak, aby přiměla řidiče ke změně chování. Diskuze o podobě konceptu varování je rozmanitá a stále neexistuje shoda v použitých opatřeních. Je používán víceúrovňový optický ukazatel, ale také akustické varovné tóny a haptické signály. Při rozpoznání těžké únavy dojde k varování typu „Jste unaven!“ nebo „Využijte nejbližší příležitost a odpočiňte si!“. Další možností je automaticky řidiče navést na nejbližší parkoviště pomocí navigačního systému ve vozidle. Možností také je zaměstnat řidiče jinou dodatečnou činností tak, aby došlo k zvýšení jeho pozornosti. Každopádně je třeba, aby strategie varování byla adaptivní a intenzita varovných signálů odpovídala stupni únavy [35, 36].

## **8.2 Rozdělení asistujících systémů podle úrovně činnosti a stupně podpory řidiče**

Asistující systémy představují podporu řidiče a působí na odpovídající úrovni jeho činnosti. Podle stupně podpory řidiče lze rozlišit čtyři stupně:

- informační,
- varování,
- korekční zákrok,
- převzetí řízení.

Následující tabulka (tab. 2) znázorňuje asistující systémy zařazené podle úrovně činnosti řízení a stupně podpory řidiče.



Tab. 2 Zařazení asistujících systémů podle stupně podpory řidiče

Stupeň podpory řidiče	Navigační úroveň	Vedení vozidla	Stabilizace vozidla
Informační	Navigační sys. Dopravní informace	Noční vidění, Adaptivní světlomety	
Varování		Rozpoznání dopravních značek, Kontrola pozornosti řidiče	Sledování jízdních pruhů
Korekční zákrok			Adaptivní tempomat, Rozpoznání chodců (s brzdícím zákrokem),
Převzetí řízení		Automatické řízení	Automatické brzdění

Tab. 2 představuje zjednodušený nástin. Některé systémy by se měly vyskytovat ve více buňkách tabulky, protože jejich funkční rozsah je širší. Zde je brána v úvahu převážně jejich hlavní funkce. Někteří autoři se liší v názoru umístění systému nočního vidění nebo adaptivního tempomatu, např. [37] řadí tyto systémy do úrovně vedení vozidla. Osobně se přikláním k zařazení těchto systémů spíše do stabilizační úrovně, protože vedení vozidla představuje úkony jako odbočení nebo předjížděcí manévr, které tyto systémy nezvládají, pouze napomáhají stabilizaci v těchto situacích.

### 8.3 Asistující systémy s vyšší podporou řidiče

System sledování jízdního pruhu nebo adaptivní tempomat působí na stabilizační úrovni, usnadňují řidiči činnosti, které pro něho nejsou náročné a z velké části probíhají automaticky. Toto ulehčení řidiče není jednoznačné, protože systém sledování jízdního pruhu není aktivní stále. Tento systém vyžaduje určité podmínky (rychlost, rozpoznatelné značení jízdního pruhu atd.). To znamená, že existuje celá řada situací, ve kterých není systém k dispozici a nemůže plnit jeho úlohu. To představuje pro řidiče možný problém, protože potřebuje vědět, v jakém stavu se systém v daném konkrétním okamžiku nachází, aby počítal s jeho asistencí. Vytváří pro řidiče dodatečnou

úlohu [38]. Plánované ulehčení činností řidiče na úrovni stabilizace vozidla, která probíhá nevědomě (bez nároků na kognitivní kapacitu), si vyžádá dodatečnou kontrolní úlohu. Tento dohled nad asistujícím systémem se oproti stabilizaci vozidla v jízdním pruhu uskutečňuje vědomě a vyžaduje část pozornosti řidiče.

Nehledě na to, že je třeba poskytnout řidiči ukazatele, z kterých je v každém časovém okamžiku jasný stav systému, existuje také potřeba řidiče varovat, pokud systém přechází z aktivního stavu do stavu, kdy nebude žádná podpora řidiče možná. Zde je nutné zvolit vhodný signál, který ovšem vyžaduje vědomé zpracování a tedy i potenciální rozptýlení.

Na základě velké technické náročnosti realizace asistujícího systému fungují často tyto systémy nejlépe v podmínkách, kdy je řidič obvykle nepotřebuje, například v prostředí silně standardizovaném při dobrých dohledových podmínkách jako je jízda ve dne po dálnici. V této situaci se soustava řidič-vozidlo-okolí nachází ve snadno předpovědatelném stavu a nechá se z technického hlediska velmi snadno dosáhnout automatizace nebo asistence. Přesto tohle není žádoucí. Řidič je i bez asistujících systémů často nevyužit (kognitivní kapacita). Další usnadnění jeho činnosti pomocí asistujících systémů vede jen k dalšímu snížení jeho aktivity ještě níž od jeho optimální, střední úrovně vybuzení [39].

Velmi nízká aktivita může být kritická v okamžiku, kdy řidič musí řešit nějakou komplexní situaci, v které náhle odpadá dosavadní (doposud působící) automatizace nebo asistence. Zde je třeba okamžitě přejít ze situace vyžadující velmi nízkou aktivitu do situace s extrémně vysokou úrovní aktivity [40].

To, do jaké míry přispěje jízdní asistující systém k bezpečnosti jízdy, záleží na mnoha faktorech. Je proto nutné posuzovat systém z pohledu různých aspektů. V zásadě se nechají rozlišovat specifické a nespecifické účinky. Specifické účinky jsou bezprostředním působením účinku systému (varování a zásahy) tak, jako reakce řidiče na informace systému. Nespecifické účinky jsou nepřímé efekty, které vyplývají z přítomnosti asistujícího systému a ovlivňují způsob jízdy.

## 8.4 Specifické účinky asistujících systémů

### Aspekt výkonnosti

Aspekt výkonnosti závisí přímo na funkcionalitě konkrétního asistujícího systému. U daného systému musí být ověřeno, jak účinky systému přímo ovlivňují styl jízdy. Příkladem může být, jak reaguje řidič na varování v podobě vibrací volantů, nebo pokud zazní zvukový tón. Pokud řidič začne vibrovat volant, reaguje trhnutím volantu ve správném nebo opačném směru? Jak se změní jízda v jízdním pruhu, začne řidič udržovat větší odstup od krajnice? Bude třeba změnit okamžik varování v další kritické situaci? To jsou pouze některé otázky, které musí být před zavedení asistujícího systému zodpovězeny. K tomu slouží experimenty na simulátoru a reálné jízdní zkoušky. Odpovědi mohou vést až ke změně koncepce systému.

### Kognitivně-energetický aspekt

Kognitivně-energetickým aspektem je u asistujících systémů uvažováno to, jak se mění stav řidiče z pohledu stupně aktivity, únavy a pozornosti. Systém, který řidiči napomáhá s monotónní jednoduchou regulační činností na úrovni stabilizace vozidla, ještě více snižuje stupeň aktivity řidiče (jak už bylo popsáno dříve). Tím stoupá riziko, že řidič nevěnuje dostatek pozornosti sledování provozu a hrozí riziko mikrospánku.

Kognitivně-energetický aspekt stejně jako jiné účinky jsou často uvažovány vývojovými pracovníky asistujícího systému pouze okrajově nebo vůbec. Vývojoví pracovníci se soustředují především na aspekt výkonnosti, který je považován za nejdůležitější, a pro realizaci asistujícího systému již sám dostatečně komplikovaný. Důvodem může být to, že vývojoví pracovníci jsou odpovědní za jeden aspekt řízení vozidla, pro který daný asistující systém vyvíjí.

Sekundární, někdy nežádoucí, efekty na soustavu řidič-vozidlo-okolí nejsou detailně analyzovány. Například pokud řidič z důvodu únavy způsobí na dálnici nehodu, protože předtím nebyl podpořen asistencí systému jízdy v jízdním pruhu, většina techniků označí za příčinu lidskou chybu, a ne chybu asistujícího systému. A to samé platí pro následující aspekty účinků asistujících systémů.

### **Aspekt přizpůsobení chování**

Velmi diskutovaným aspektem jízdních asistujících systémů je možnost přizpůsobení chování. V podstatě jde o otázku adaptace rizika, tzn. do jaké míry řidič uvažuje přínos asistujícího systému na zvýšení bezpečnosti a následně přizpůsobí svůj jízdní styl (jede rychleji, s neúměrně malým odstupem od vpředu jedoucího vozidla atd.). Protože aspekt adaptace rizika je velmi důležitý, budou detailně popsány konkrétní podmínky a specifické nebezpečí vztahující se k asistujícím systémům ve vlastní kapitole číslo 9.

## **8.5 Nespecifické účinky asistujících systémů**

### **Aspekt kognitivní reprezentace**

Aspekt kognitivní reprezentace zohledňuje povědomí řidiče o situaci (představa a očekávání asistujícím systémem podporovaného řidiče) jeho porozumění systému (jeho znalost technické funkce systému) a důvěru v asistující systém. Povědomí o situaci může být negativně ovlivněno, pokud řidič považuje asistující systém za pomocníka a tudíž se plně nekoncentruje na řízení, dostatečně nedrží volant nebo se zabývá jinou činností. Jeho porozumění systému může být až do takové míry mylné, že se začne chovat podle chybného mentálního modelu. Například se řidič může domnívat, že pokud on sám rozpozná jízdní pruh, dokáže jej asistující systém také rozpoznat. Chyba v kognitivní reprezentaci spočívá v tom, že asistující systém rozpoznává jízdní pruhy zcela jiným způsobem než člověk. Nebezpečí těchto chybných teorií o funkci technických systémů je dáno především tím, že řidič v kritické situaci počítá s podporou asistujícího systému, který ovšem na základě jeho funkčního principu vůbec fungovat nemůže.

Důvěra řidiče ve funkci asistujícího systému je nutná. Problémem ovšem je, pokud řidič přeceňuje tuto důvěru a neúmyslně se tak vystavuje riziku. Ironií je, že toto nebezpečí je tím větší, čím lépe a spolehlivěji systém funguje. Z pohledu teorie učení je zcela pochopitelné, že pokud má řidič pouze pozitivní zkušenosti s asistujícím systémem, vyvíjí se neustále silnější očekávání. Současně upravuje způsob chování tak, že předpokládá jisté provádění a spolehlivou funkčnost systému. Čím více řidič očekává varování nebo zásah asistujícího systému, o to výrazněji je překvapen, pokud se nedostaví. Toto překvapení řidiče může vést až k neadekvátní reakci na vzniklou situaci.

### **Aspekt kompenzace**

Aspekt kompenzace se podobá aspektu přizpůsobení chování. V otázce adaptace rizika jde o to, do jaké míry řidič kompenzuje přínos bezpečnosti asistujícího systému svým riskantním chováním. Přitom stojí chování v přímé souvislosti s funkcionalitou asistujícího systému. Například pokud má řidič díky nočnímu vidění delší dohledovou vzdálenost, jede o to rychleji, protože potenciální překážky může dříve rozeznat. Aspekt kompenzace je však nespecifický. Pokud je řidiči díky asistujícímu systému ulehčena změna jízdního pruhu nebo dodržování bezpečné vzdálenosti, využije tyto uvolněné mentální zdroje k jiné činnosti. Příkladem může být telefonování, ovládání rádia nebo častější pohled mimo vozovku. Řidič tak více sleduje okolí místo toho, aby se koncentroval na dění v provozu nebo činnost řízení.

### **Aspekt nespecifických účinků**

Je třeba vzít v úvahu změny jízdního stylu jako možné nežádoucí vedlejší účinky. Není vyloučeno, že jízda s asistujícími systémy působí i na takové situace, které s asistujícím systémem nijak nesouvisí. Je možné, že je řidič kvůli stálé podpoře sveden k pohodlnosti, nesamostatnosti, nepozornosti nebo k pocitu přecenění vlastních sil.

## 9 ADAPTACE RIZIKA

Teorie motivace snaží se vysvětlit chování řidiče vycházejí z předpokladu, že pro chování řidiče jsou rozhodující jeho osobní motivy a cíle. Významný směr výzkumu představují modely rizika. Ve studiích z této oblasti je riziko vnímáno jako centrální koncept. Společné pro tyto modely je, že vycházejí z možnosti adaptace rizikového chování. To znamená, že řidič přizpůsobuje jeho rizikové chování měnícím se podmínkám. Poté je potenciální zvýšení bezpečnosti dosažené pomocí dopravně-bezpečnostního opatření redukováno tím, že se řidič následně chová riskantně.

Opatření ke zvýšení bezpečnosti dopravy je možné rozdělit v soustavě řidič-vozidlo-okolí do třech kategorií:

- snaží se řidiči objasnit možná nebezpečí, zlepšovat řidičské dovednosti,
- opatření na vozidle, např. jízdní asistující systémy,
- zlepšení na pozemních komunikacích.

Při zkoumání účinnosti bezpečnostních opatření v dopravě se občas dojde k závěru, že zavedena opatření zůstala bez úspěchu. V takových případech se hned nabízí vysvětlení, že příčinou je adaptace rizika nebo kompenzace rizika řidičem. Tyto pojmy, které jsou ovlivněny řadou teorií, jsou v podvědomí všech, kteří se zabývají silniční dopravou.

Teoretické pozadí pochází z modelu subjektivní a objektivní bezpečnosti [41]. Model vychází z možnosti adaptace chování. To znamená, že řidič přizpůsobuje svoje chování. Pokud je tedy použito určité opatření, které by mělo zvýšit bezpečnost v silničním provozu. Tato snaha může být zmařena tím, že řidič změní svoje chování a opět stoupne pravděpodobnost nehody (např. zvýšením rychlosti). Pro přesnější vysvětlení tohoto účinku a vliv různých proměnných se používají teoretické modely. To také platí pro předpověď účinnosti bezpečnostních opatření. Ty nejpesimističtější hypotézy uvádějí, že bezpečnost je závislá na akceptaci rizika řidičem. Zvýšení objektivní bezpečnosti působí do té míry, do jaké je řidičem vnímáno. Řidič se chová (přiměřeně)

riskantně, tak aby podstupoval stále stejnou míru rizika. Tato míra rizika řidiče nijak nevyčerpává, působí jako určitý stimul.

Někteří autoři až provokativně uvádějí, že počet nehod v konkrétní zemi závisí výhradně na počtu nehod, které je obyvatelstvo ochotné tolerovat, ne na dopravně-bezpečnostních opatřeních v tomto systému, a už vůbec ne na době jejich trvání [42].

Pro teorie adaptace rizika platí, že jsou ve své definici neurčitá a obecná. Na základě jejich neostrosti je stěží možné, aby konkrétní chování předpovídala. Tím chybí možnost falzifikace jako nutný předpoklad vědeckosti těchto teorií. Tyto modely jsou často používány pouze pro ex-post vysvětlení, proč nějaké bezpečnostní opatření nefunguje.

Empirická data jsou velmi zajímavá a mají velkou vypovídací schopnost, větší než jednotlivé teoretické modely. Výsledky analýz empirických dat tvoří základ pro věcné posouzení jednotlivých asistujících systémů z pohledu pravděpodobnosti adaptace rizika.

Analýzy účinnosti dopravně-technických opatření uvádějí jejich pozitivní přínos. Zatímco opatření, která by měla ovlivňovat řidiče, jsou málokdy tak účinná. Nepůsobí přímo na nebezpečná kritéria. Často používané zdůvodnění, že technická zlepšení na vozidle by mohla být řidičem zneužita k rychlejší jízdě, se nedá z dostupných empirických dat zcela potvrdit. Existují sice indicie o přizpůsobení chování, přesto je celkový efekt technických zlepšení ve výsledku spíše pozitivní. Výjimku tvoří prvky aktivní bezpečnosti v kombinaci se sportovním stylem vozu především u vozidel vyšší třídy. Často se jedná o vozy, které jako první vstupují na trh s novými asistujícími systémy. Zde je přizpůsobení chování vícenásobně doloženo a efekt bezpečnosti je ve výsledku negativní [43].

Při podrobnějším zkoumání výsledků je zřejmé, že pravděpodobnost nežádoucí adaptace chování není náhodná, ale závisí na setkání určitých podmínek.

### **Kriteria pro pravděpodobnost adaptace chování**

Autoři dle [43] odvozují z výsledků analýzy kritéria, která ovlivňují pravděpodobnost, že určité bezpečnostní opatření povedou k adaptaci chování:

- a) interakce s opatřením,
- b) přímost zpětné vazby,
- c) rozšíření pole působnosti,
- d) zvýšení subjektivní bezpečnosti.

#### **Ad. a) Interakce s opatřením**

Adaptace řidiče na opatření, která jsou pro něho nová, se odvíjí od toho, do jaké míry je o nich informován a vnímá jejich účinek. Pokud řidič vůbec netuší o systémech ve svém voze, nemůže u něho dojít ke kompenzaci chování. Předpokladem pro to by bylo, že se asistující systémy při běžné jízdě neprojeví. Existující studie uvádějí, že dotazovaní řidiči v mnoha případech opravdu neví, jaké systémy v autě mají. Z pohledu dopravní psychologie je tato neznalost hodnocena pozitivně, protože zabraňuje nevhodnému přizpůsobení chování.

#### **Ad. b) Přímost zpětné vazby**

Adaptace na bezpečnostní opatření je očekávaná především tam, kde si řidič může udělat konkrétní představu o účinku opatření. Jízdní asistující systém, který přímo působí na řidiče např. pomocí častých zásahů do řízení, je náchylnější k přizpůsobení chování než opatření, jejichž účinek není přímo znatelný.

#### **Ad. c) Rozšíření pole působnosti**

Pokud se řidiči naskytne možnost volit nové podmínky v soustavě řidič-vozidlo-okolí, např. extrémní situace, vysoké rychlosti atd., roste pravděpodobnost nebezpečné adaptace chování. Systémy jako noční vidění, adaptivní světlomety, kontrola pozornosti mohou vést k tomu, že řidič, který dříve jezdil v noci jen nerad, díky těmto systémům vyjede v noci častěji. Raději pak volí cestu na dovolenou přes noc, i když dříve se tomu vyhýbal. Tím se vystavuje nebezpečí způsobeným např. horšími dohledovými poměry nebo únavou.



#### **Ad. d) Zvýšení subjektivní bezpečnosti**

Nebezpečné přizpůsobení chování je vážnější, pokud se zvýší subjektivní bezpečí řidiče. Řidič dochází k přesvědčení, že je lépe vybaven a tím připraven zvládnout kritické situace. Pocit bezpečí může vyplývat ze všech asistujících systémů. Pokud chceme ohodnotit vliv vnímaného bezpečí na adaptaci chování, je nutné se řidiče na pocit bezpečí zeptat.

Pikantní na subjektivním pocitu bezpečí je, že je cílem výrobců automobilů zvýšit subjektivní bezpečí řidiče, protože to představuje důležité kritérium při koupi nového vozu. Výrobci se snaží pocitu bezpečí dosáhnout klidným komfortním chováním vozu s minimem hluku a to i při vysokých rychlostech, dále cílenou reklamou, ve které je zdůrazněn aspekt bezpečí. Právě pro asistující systémy je bezpečnost vedle zvýšení komfortu hlavním prodejním argumentem.

Opatření snažící se zvýšit pocit bezpečí u zákazníků jsou z pohledu dopravní psychologie kontraproduktivní a zvyšují pravděpodobnost nežádoucí adaptace chování. Ideálem by bylo zajistit co možná největší objektivní bezpečnost vozidla při současně nízkém subjektivním pocitu bezpečí řidiče. Takový automobil by ovšem (až na několik dopravních psychologů) žádný zákazník nekoupil. Cílem každého výrobce automobilů není snižovat počet dopravních nehod, ale zvýšit prodej vlastních automobilů.

Podle motivace, jízdního stylu nebo momentálních prožitků využívá řidič jemu poskytnuté možnosti. Čím je výkonnost vozu a radost z jízdy silnější, tím větší je pravděpodobnost, že se řidič odchýlí od jeho původního předsevzetí jet bezpečně.

Při vývoji asistujících systémů za účelem zvýšení bezpečnosti se musí počítat s tím, že řidič své uvolněné mentální zdroje nevyužije k tomu, aby lépe sledoval dění na komunikaci, ale např. k tomu jet rychleji nebo provádět pro zábavu takové manévry s vozidlem, které by si bez asistujícího systému nedovolil.

## 10 ŘIDIČ JAKO REGULÁTOR

Aby se řidič bezpečně pohyboval v dopravě, musí neustále kontrolovat rychlost, boční i podélný odstup a provádět manuální korektury jízdní dráhy a rychlosti pomocí volantu, pedálu akcelerace a brzdy. Chování řidiče odpovídá uzavřenému regulačnímu obvodu. Uzavřený regulační obvod je základ pro dynamické úlohy, je závislý na zpětné vazbě. Oproti tomu jsou motorické činnosti řidiče považovány za otevřený regulační obvod. Vychází se z toho, že některé pohyby provádí řidič automaticky. Jde o naučené činnosti, které nevyžadují zpětnou vazbu [44].

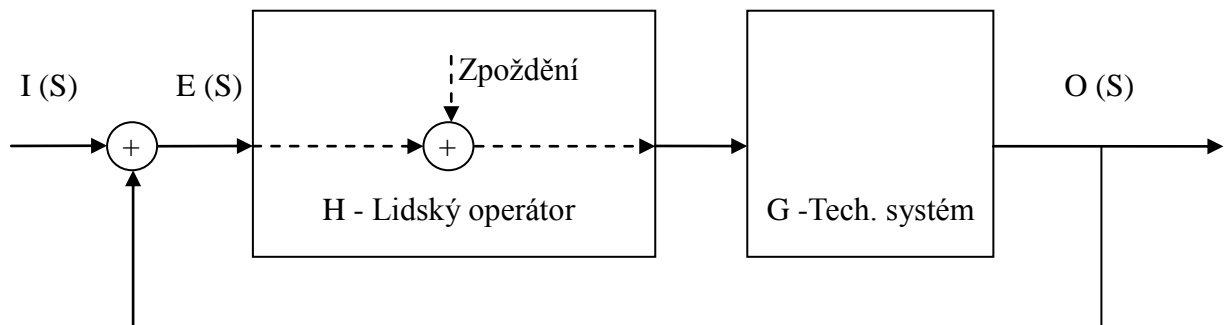
Při řízení automobilu rozpoznává řidič chybu mezi skutečným a jím požadovaným stavem. Například pokud řidič dojede vozidlo a jeho odstup je nižší, než by si přál. Řidič napraví tuto chybu, která je vlastně funkcí času, tím, že vyvine určitou sílu (opět funkce času) na ovládací prvek. V tomto případě bude např. snížena síla na pedál akcelerace. Závislost mezi požadovanou silou a změnou ovládacího prvku je definována jako řídicí dynamika. Často malá vyvinutá síla na ovládací prvek vede k velké změně. Pokud byl řidič úspěšný se svou změnou, skutečná rychlost vozidla se přiblížila rychlosti požadované řidičem. Poté se systém nachází opět na počátku regulační smyčky. Tento proces probíhá neustále. Protože k jednání řidiče je nutná nejdříve odchylka mezi požadovaným a skutečným stavem, nemusí řidič reagovat do té doby, než se nějaká objeví. Tyto odchylky mají zpravidla dva zdroje. Prvním je změna ve sledovaném signálu, která vyžaduje korekturu, například zatáčka nebo přiblížení k jinému vozidlu (command input). Druhou skupinou jsou vlivy, které působí přímo na systém (disturbance inputs). Příkladem je boční vítr, který vyžaduje korekturu volantem, nebo stoupání komunikace, které vyžaduje korekturu pedálem akcelerace pro udržení rychlosti.

V následujících dvou kapitolách popíší dva z nejvýznamnějších modelů představují chování řidiče. Prvním je Crossover model a následuje Optimal Control model

## 10.1 Crossover model

Crossover model od McRuera a Jexe (1967) se zaměřuje na odchylku mezi vnímanou (zpozorovanou) chybou ( $E$ ) a výstupem ( $O$ ). Dřívější modely se zabývaly vztahem mezi chybou a změnou polohy ovládacích prvků. Výhodou je, že Crossover model umožňuje brát v úvahu vzájemné působení operátora a dynamiky systému. Dynamika systému je součástí lidského regulátoru.

Dvě primární charakteristiky dobrého řízení jsou malá odchylka a stabilita. Pro dosažení těchto kritérií reagují řidiči tak, že jejich chování lze vystihnout přenosovou funkcí bez zpětné vazby, která popisuje závislost vědomé odchylky k výstupu systému, tedy jako systém s určitým zesílením a časovým zpožděním na straně vstupu. Způsob, jakým Crossover model popisuje vzájemné působení lidského operátora a systému, je uveden na obr. 9.



Obr. 9 Crossover model [45]

Crossover model je popsán dvěma parametry: zesílením a časovým zpožděním. Zesílením je v tomto případě vztah mezi výstupem systému a vnímanou odchylkou. Výstup je vyjádřen jako rychlost, a ne jako amplituda. Přenosová funkce odpovídá systému prvního řádu nebo integrátoru, který vytváří ze vstupní hodnoty polohy výstup v podobě rychlosti. Řidič přizpůsobuje vlastní zesílení změnám zesílení technického systému tak, aby celkové zesílení, tedy vztah mezi výstupem a chybou ( $O/E$ ), bylo na stejné úrovni [45]. Časové zpoždění představuje reakční dobu lidského operátora. Příliš velké časové zpoždění není vhodné. Řidič nemá možnost časovou prodlevu více zkrátit, pokud není možné situaci předvídat. Oproti tomu zesílení je nevhodné, pokud je příliš malé nebo příliš velké.

Třetí element modelu tvoří jeho charakteristika, jde o systém prvního řádu. Pro Crossover model je důležité porozumět tomu, proč se řidič chová tak, že spolu s vozidlem reaguje jako jeden systém prvního řádu. Existují pro to dva způsoby vysvětlení, intuitivní a formální.

Na intuitivní úrovni je možné, že reakce prvního řádu je kompromisem mezi systémem nižšího a vyššího stupně. Systémy nultého řádu jsou příliš přísné a korigují objevené odchylky ihned. Pokud jsou odchylky náhlé skoky, může být odpověď systému velmi nekomfortní. Větší měkkost korektur nabízí systémy vyšších řádů. Systémy druhého řádu mohou být příliš zpomalené a tím nestabilní. Proto představují systémy prvního řádu dobrý kompromis.

Na formální úrovni je důvodem pro upřednostnění systému prvního řádu to, že jsou dosažena dvě požadovaná kritéria pro dobré řízení, stabilita a malá odchylka. Ze znázornění Crossover modelu je patrné, že malá odchylka je systémem podporována, zesílení celkové přenosové funkce (vstup vztažený k výstupu) je přibližně jedna. V tomto případě by byl vstup identický v amplitudě s výstupem. Ale ke kompletaci celkového zesílení přenosové funkce uzavřeného systému musí mít funkce otevřené smyčky, která popisuje chování od zpozorované odchylky k výstupu, nekonečný nebo velmi velké zesílení. Malé odchylky by měly být korigovány velkým zásahem v opačném směru.

Řízení blízké uzavřené smyčce s malou odchylkou může být dosaženo vyšším zesílením v otevřeném obvodu. Ovšem toto vyšší zesílení může způsobit nestabilitu, pokud je posunutí fází korigovaných frekvencí větší než 180 stupňů. Tento problém se vyskytuje, pokud je lidský operátor částí regulačního obvodu a zpoždění je založeno na reakční době lidského faktoru nebo vzniká v technickém systému. Závěrem je, že při vysoké frekvenci řízení musí být zesílení menší než jedna, především při fázovém posunu větším než 180 stupňů. Lidský operátor, flexibilní element otevřené smyčky funkce (HG), zaručuje, že jsou udržovány tyto dva parametry. Reaguje tak, že se otevřená smyčka (HG) chová jako systém prvního řádu s nezbytným zpožděním. Funkce znázorněná v obr. 7 působí nejen při velkém zesílení a malé frekvenci, ale i při malém zesílení a vysoké frekvenci tak, že zaručuje kritéria stability a malé odchylky. Člověk je schopen regulovat zesílení tak, aby udržel Crossover frekvenci pod instabilní fází.

Aby bylo dosaženo systému prvního řádu s otevřenou smyčkou, musí se lidský operátor přizpůsobit měnící se dynamice systému. Tato adaptace může být dosažena dvěma způsoby. Jednak může lidský operátor měnit jeho zesílení tak, aby kompenzoval změny celkového regulačního obvodu, nebo může měnit podobu přenosové funkce operátora ( $H$ ), která představuje reakce na odchylky v systému prvního řádu, pokud je technický systém nultého řádu. Lidský operátor se vždy chová tak, že jeho jednáním v kombinaci s technickým systémem vzniká jako výsledek obou přenosových funkcí vždy systém prvního řádu. Pokud se jedná o systém druhého řádu, chová se řidič jako derivátor tak, aby výsledek obou přenosových funkcí byl systém prvního řádu.

V sérii validačních studií potvrdil McRuer s kolektivem, že chování operátora (řidiče) se podobá předpovědi z Crossover modelu. Pokud provádí řízení vozidla s náhodným vstupem, více než 90 procent variancí (rozptylu) trénovaného operátora může být vysvětleno tímto dvouparametrovým modelem [45, 46, 47].

Matematické vyjádření Crossover modelu nemůže ale předpovídat (popisovat) celkové lidské chování, které je možné pozorovat. Zbývající variance (rozptyl), které není možné popsat lineárním vztahem Crossover modelu, jsou označovány jako „zbytek“ (Rest, Remnant). Některé z těchto zbývajících variancí vycházejí z impulsů při obsluze systému druhého řádu. Tyto impulsy charakterizují krátkodobé silné přemodulování následované krátkým silným podmodulováním. Variance mohou být také založeny na časové nestálosti funkčních parametrů nebo vznikají náhodným šumem v lidském chování.

Crossover model se ukázal jako vhodný k popisu lidského chování v dynamickém systému. Umožnil inženýrům, kteří se zabývali stabilitou uzavřené smyčky při létání, kombinovat přenosovou funkci letadla společně s pilotem. Kromě toho měl pozitivní přínos při zjišťování mentální zátěže pilotů [48]. Časové zpoždění, zesílení a měření zbývajících variancí (Rest, Remnant) v Crossover modelu mají význam pro pochopení změn, které se objevují v důsledku působení faktorů jako stres, paralelní činnosti, únava, dovednosti [49].

## 10.2 Optimal Control model

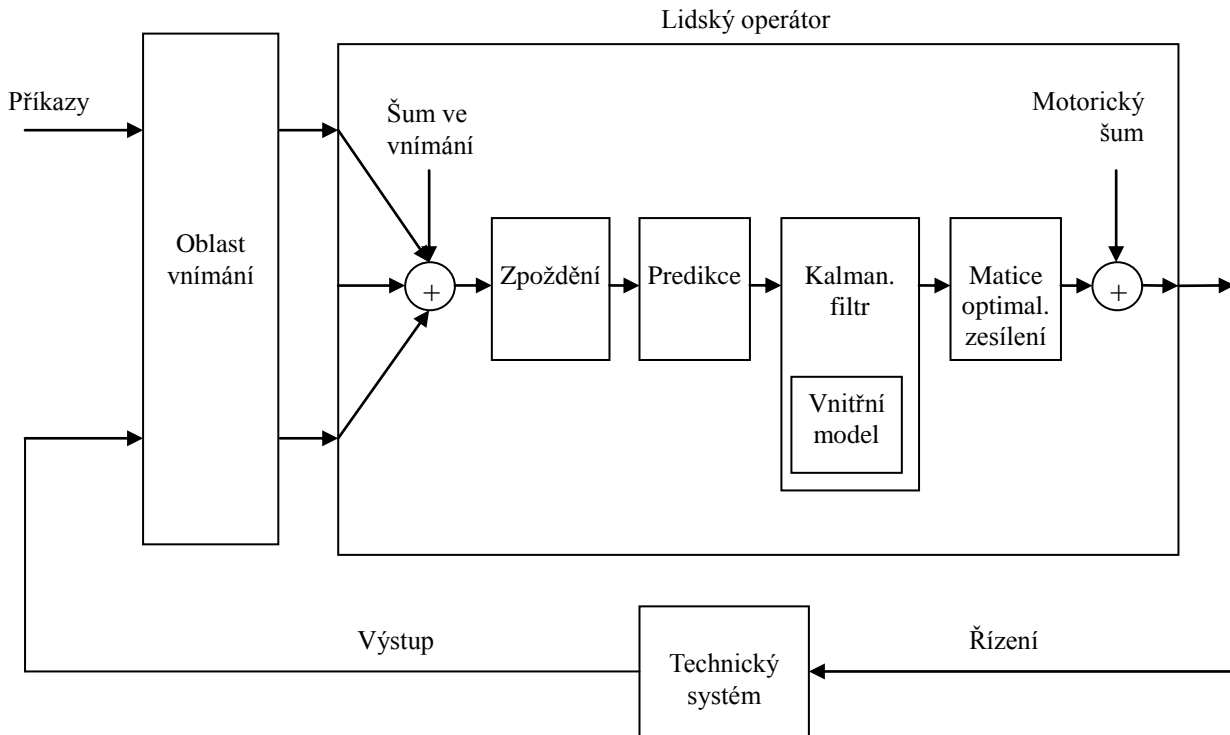
Přes úspěch, který sklídl Crossover model v popisu chování operátora, není tento model bez chyb. Podoba modelu a jeho parametry jsou založeny na vztahu vstup-výstup chování operátora. Neodvívá se od promyšlení mechanismů procesu a nevyužívá odstupňování činností lidského operátora. Oproti modelům reakčního času, odhalení signálu nebo modelům paralelních činností nezohledňuje Crossover model různé strategie provedení. Ačkoliv je řidič považován za flexibilního tak, že se přizpůsobí stroji a modeluje svoje zesílení, jsou tato nastavení určena charakteristikami systému. Nevztahují se na styl chování operátora nebo na soubor instrukcí. Oproti tomu Optimal Control model obsahuje explicitní mechanismy nutné k uvažování tohoto druhu strategické regulace.

Základní komponenty Optimal Control modelu jsou znázorněny na obr. 10. Lidský operátor vnímá množství znázorněných veličin a musí provádět řízení tak, aby hodnota ( $J$ ) byla minimální. ( $J$ ) představuje kvadratickou funkci náročnosti a nachází se uprostřed znázorněného modelu. Tato hodnota, kritická komponenta Optimal Control modelu, je často vyjádřena následujícím matematickým výrazem;

$$J = \int (Au^2 + Be^2) dt$$

Obsažené veličiny, které mají být minimální, jsou kvadratická rychlost řízení a kvadratická chyba. Konstanty ( $A$ ) a ( $B$ ) závisí na důležitosti, kterou operátor těmto veličinám připisuje. Kvadratická rychlost řízení se ukazuje jako dobrý nástroj pro měření náročnosti řízení. Důležitost, resp. konstanty ( $A$ ) a ( $B$ ), se mění v závislosti na situaci a operátorovi. K minimalizaci chyby může sloužit velmi rychlá a častá řídicí aktivita, která ale může být nekomfortní a kromě toho nevhodná. Aby byl pohyb komfortní a hospodárný, může být užitečné připustit velkou chybu. Operátor volí střední cestu mezi nízkou chybou a klidným řízením, při kterém se odpovídajícím způsobem mění hodnoty  $u^2$  a  $e^2$ . To, že se řidič pokouší minimalizovat funkci náročnosti, představuje jeden aspekt charakteristiky Optimal Control modelu. Aby mohl řidič tuto hodnotu minimalizovat, má k dispozici zesílení, které nabývá odpovídajících hodnot. Toto zesílení je v obr. 8 znázorněno maticí optimálního zesílení (Optimal gain matrix), která představuje soubor prováděcích pravidel [50].

Optimální řízení není ale perfektní řízení. Lidský operátor je limitován především ve dvou oblastech, a to zpožděním a rušením. Celkové zpoždění při reakci operátora je shrnuto na levé straně znázornění modelu. Zdroje rušení mohou být externí vlivy nebo ostatní vlivy operátora. Na obr. 10 jsou znázorněny jako šum ve vnímání (observation noise) a šum v reakci (motor noise).



Obr. 10 Optimal Control Model [50]

Pro získání co možná nejpreciznější (krátkodobé) předpovědi stavu systému, která je důležitá pro optimální řízení, musí operátor provádět dvě další operace, odhad skutečného stavu systému a předpověď budoucího stavu. Předpověď je důležitá pro kompenzaci časového zpoždění. Bere se v úvahu, že budoucí stav se odvozuje od předešlého. Pro odhad skutečného stavu systému se využívá Kalmanův filtr. Kalmanův filtr představuje optimalizační techniku, která kombinuje odhad systémového šumu (šumu v systému), ostatní vlivy operátora a interní model systému pro co nejpřesnější odhad stavu systému. Použití Kalmanova filtru ukazuje možnost znázornění jednání lidského operátora, který se pokouší jednat tak, aby odhad stavu systému byl založen na zvážení šumu a rušivých vlivů ze strany operátora. Odhad stavu systému bude použit jako vstup pro řídicí zesílení, které je voleno z funkce náročnosti ( $J$ ). Tímto procesem je generována motorická reakce, která je rušena motorickým šumem.

Stejně jako Crossover model, tak i Optimal Control model je úspěšně hodnocen pro popis lidského operátora při řízení [48]. Přínosem je dosažení vzájemné závislosti mezi šumem při pozorování a rozdělení pozornosti na úlohy řízení. Tento vztah umožnil popis rozsahu odchýlení vnímaného signálu v podobě kvantitativních výrazů a rozšíření přesnosti řízení, pokud je pozornost odvrácena na jiné aspekty [51, 52]. Výpočetní náročnost a počet parametrů Optimal Control modelu, které je nutné znát, jsou v porovnání s Crossover modelem vyšší. Na druhou stranu tento model umožňuje změnu ve strategii operátora a flexibilitu, kterou Crossover model poskytnout nemůže.

### 10.3 Hranice lidského operátora

Je třeba poukázat na hranice a nedostatečnosti lidského operátora při řízení komplexního systému. Velký problém představuje šíře informací, které jsou přijímány z okolí. Pro řízení vozidla je nutný nepřetržitý příjem informací, především pro umožnění reakce na nepředvídané změny. V čase variabilní vstupní a výstupní signály mohou být kvantifikovány v rámci informační teorie. Pro sérii diskretních úloh a kontinuální řízení existuje stejná hranice příjmu informací. Hranice příjmu informací při řízení je stanovena mezi 4 a 10 bity za sekundu v závislosti na podmínkách [53]. Jeden bit představuje nejmenší množství informace a pochází z oblasti výpočetní techniky, kde nabývá dvou hodnot, 1 a 0. Pro vnímání dynamické dopravní scény a její popis je bit částečně problematický. Obsah informace semaforu může být popsán na úrovni bitu, ale přiblížení k vpředu jedoucímu vozidlu již není možné takto dichotomicky popsat.

Vedle množství informací přijímaných v určitém čase je důležitý také takt, v jakém jsou informace přijímány. Při sérii úloh je dán limit reakční doby frekvencí rozhodnutí, a ne komplexitou úloh [54]. Tento limit určuje, kolik informací může být přijato v daném čase, představuje šíři informací. Běžně se pohybuje mezi 0,5 a 1 Hz [55]. Tato hodnota koresponduje s odhadem maximální frekvence provádění korektur při řízení, který uvádí 2 korektury za sekundu [56]. Pokud jsou ale nutné 2 korektury za jeden cyklus, podobá se hranice šíři informací s jedním cyklem za sekundu. Tato hranice se vztahuje k dekodování řídicích signálů, a ne k motorickým úkonům. Není problém motoricky sledovat předvídatelný signál s frekvencí 2 až 3 Hz [57]. Hranice 2 korektur za sekundu se podobá minimálnímu rozhodovacímu času [58].



Další problém představuje časové zpoždění, které se projevuje dvěma způsoby. Člověk reaguje vždy s určitým časovým zpožděním, což je reakční doba na vstupní straně systému. Dynamika systému je zpožděním také postižena, protože změna pedálu akcelerace se projeví s určitým časovým posunem jako změna rychlosti.

Při kontinuálním řízení bude operátorem s určitým časovým zpožděním zpozorována chyba, která se jako odchylka od požadovaného stavu také kontinuálně mění. Přitom odchylka v okamžiku, kdy byla řidičem zpozorována, se díky probíhajícímu procesu již změnila. Reakční doba pro úlohy řízení, které jsou podobné ovládní plynového pedálu, je mezi 150 a 300 milisekundami [45]. Při řízení je význam časového zpoždění relativní, protože setrvačnost vozidla v rámci tohoto krátkého časového úseku nezpůsobí nijak výraznou změnu stavu, takže se skutečný stav výrazně neliší od řidičem zpozorovaného stavu.

Problematické je ovšem časové zpoždění v dynamice systému. Zpoždění způsobuje, že se výstup liší od vstupu. Rozdíl je tím větší, čím větší je časový úsek zpoždění. Časové zpoždění vede při periodickém nebo náhodném vstupu k nestabilitě a k oscilačnímu chování, které se později objeví na vstupu do systému. Zpoždění v dynamice systému vyžaduje, aby řidič předpovídal účinek jeho řídicí manipulace. Lidé mají problém odhadovat průběh exponenciální změny. Vhodnější pro operátora je průběh lineární. Exponenciální průběh je často podceňován a je zde tendence k předjímání lineárního trendu [59]. K tomu, aby řidič mohl předpovídat účinek svých řídicích zásahů, musí mít vytvořen mentální model systémové dynamiky. Podle něho pak odhaduje, jak se bude systém v nejbližším okamžiku chovat. Tento model může být vázán na rozdílný rozsah mentálních zdrojů podle komplexity systémové dynamiky a míry osvojení systému řidičem.

Velký problém při řízení představuje nestabilita. Vzniká, pokud je operátor při korekci chyby přeregulovaný nebo podregulovaný a tím dojde ke vzniku periodického kmitání okolo požadované hodnoty. Čím větší je časové zpoždění systémové dynamiky, tím snadněji vznikne nestabilita. Řidič musí uvažovat účinek svých zásahů na budoucí vývoj, což je vždy spojeno s odhadem chyby. Bez časového zpoždění by mohl řidič okamžitě rozpoznat své zásahy a jemně je regulovat. K časovému zpoždění se připojují ještě nelineární vlastnosti systémové dynamiky. Potom je mentální model, který si řidič vytváří pro odhadování účinků jeho zásahů, ještě komplexnější a přesnost odhadu budoucího stavu horší. To má za následek častější výskyt nestability.

Další faktor vedoucí k nestabilitě může být zesílení systémové dynamiky. Zesílení popisuje vztah mezi změnou řídicích elementů a výstupem systému. Při vysokém zesílení vede malá změna k velkému efektu. Při nízkém zesílení je potřeba velké změny pro dosažení alespoň malého efektu na výstupu systému. Při podélném vedení vozidla vykazuje pedál akcelerace velké zesílení, protože malá změna pozice pedálu způsobí zpravidla výraznou změnu rychlosti. Tato velká zesílení působí ale negativně na stabilitu regulačního obvodu, kde je vyžadována jemná motorika pro zabránění nestability.

#### 10.4 Využití modelů

Modely popisují chování lidského operátora, jak sleduje a reaguje na externí, v čase se měnící signál. Hlavní pozornost je směřována k reakci na měnící se vstupní signál. Reakční doba a velikost reakce (zesílení) jsou považovány za odpověď lidského operátora.

Využití modelů řízení je především soustředěno na chování řidiče, které se přizpůsobuje měnícímu se vstupnímu signálu a ostatním působícím faktorům. Pokud by se podařilo redukovat změnu vstupního signálu, bylo by možné zaměřit se na to, co je v Crossover modelu označováno jako šum. V Optimal Control modelu je toto označováno jako pozorovací šum (observation noise) a motorický šum (motor noise). U představených modelů je právě tato část místo, kde působí neobjasněné variance. Jak bylo zmíněno v popisu modelů, je tato část charakterizována jako nesystematická. Snahou výzkumu v současné době je ukázat, že tento šum není zcela nesystematický a je způsobený řadou konkrétních faktorů.

## 11 METODA

V předchozích kapitolách jsem shrnul poznatky, které se vztahují k návrhu konceptu asistujícího systému. Jak je patrné, jde o problematiku zasahující do několika vědních disciplín. Nyní je třeba stanovit základní parametry navrhovaného konceptu.

### Určení stavu řidiče

Celkový stav řidiče může být uvažován jako množina relevantních informací popisujících osobu, která se věnuje řízení. Určení stavu řidiče zahrnuje aspekty fyzické stejně jako psychologické. Zde je třeba rozlišovat psychologické vlastnosti řidiče z hlediska času.

Stanovení faktorů pro určení stavu řidiče pro náležitou bezpečnostní asistenci představuje problematickou výzvu. Kvůli duševní povaze většiny faktorů není přímé měření v principu možné. Mnoho studií a přístupů využívá specifický projev jako metriku pro úsudek o konkrétní úrovni příslušného parametru. Proto je nutné mít indikátor, který může být vyhodnocován kontinuálně během jízdy. V této práci se zabývám zkoumáním charakteristik dat z vozidla, které slouží jako základ pro nepřímo vyjadřující individuální chování a pozornost řidiče se snahou zmírnit zmíněné handicap současných asistujících systémů. Přímou související typy metrik a jejich relevance pro spolehlivé získání informací o středně- a krátkodobých faktorech stavu řidiče jsou popsány v následující části práce.

### Podélné parametry jízdy

Podélné parametry jízdy představují všechny proměnné týkající se podélného chování vozidla jako zrychlení, rychlost, odstup, brzdění, ovládání plynového pedálu atd. Jejich význam pro určení stavu řidiče byl zkoumán v řadě studií. Velmi častým předpokladem je, že se řidič snaží snížit zatížení od hlavní vykonávané úlohy, tedy z řízení, zatímco je zaneprázdněn jinými úkoly v ten samý čas. Tohle je dle [66] patrné například snížením rychlosti. Obecně testované osoby snížily

rychlost při vykonávání přídavného (dalšího) zatížení. Indikátorem byla poloha plynového pedálu. Okolo 80 procent zkoumaných osob prokazovalo jiné chování v jemné korekci pedálu akcelerace během sekundárních aktivit. Během soustředění se na více aktivit (úkolů) nemůže řidič udržet pozornost na všechny aktivity kontinuálně a má tendenci přechodně přerušit úpravu rychlosti. Navíc podle [66] a [67] je měření podélné kontroly vhodné jako indikátor pro odvrácení pozornosti. Je třeba dodat, že v citované literatuře byla měření prováděna jak na rovných úsecích, tak na úsecích se zatáčkami. Podobné výsledky uvádí [68] a také [69]. Kromě toho v [70] je pozorováno, že před kompenzačním chováním narůstá variace odstupů a rychlosti, což naznačuje vyšší nárok na řidiče. [71] uvádí, že během souběžného telefonování a řešení kognitivního úkolu je chování řidiče výrazně nepřírozené. Objevuje se intenzivní neočekávané brzdění, brzdná vzdálenost je kratší. Výsledky studie týkající se vztahu mezi podélným chováním vozidla a zatížením řidiče jako představitele faktorů popisujících jeho stav mohou být shrnuty takto: Přibývající zátěž snižuje řidičovu schopnost interakce s okolím. Typickým indikátorem je vzrůstající variace rychlosti, odstupů a vyšší hodnoty zpomalení a také kompenzační chování v podobě snížení rychlosti.

### **Příčné parametry jízdy**

Příčné parametry jízdy jsou proměnné týkající se pohybu, jako je natočení volantu, frekvence pohybů při řízení, příčná pozice vozidla, příčná odchylka, příčné zrychlení a další. [72] uvádí, že zvýšené zatížení řidiče např. kvůli několika přidaným (dodatečným) vizuálním podnětům zapříčiní zvýšení míry změny úhlu natočení volantu. Počet pohybů při řízení v oblasti vyšších frekvencí významně vzrostl. Procento vyšších frekvencí pohybu při řízení může být interpretováno jako objektivní metrika zatížení řidiče [73]. Z [74] vyplývá, že entropie (nepravidelnost) v řízení může být zavedena pro kvantifikaci řidičovo úsilí udržet boční bezpečnou vzdálenost. Značná změna v příčném vedení vozidla během telefonování je odhalena v [75]. Navíc podle statistické analýzy v [76] se změna standardní příčné pozice a úhel natočení volantu jeví jako významné proměnné pro detekci snížení pozornosti řidiče. Předchozí lze shrnout do dvou bodů: přidané (zvýšené) zatížení řidiče může přivodit změnu v příčném vedení vozidla a frekvence (popř. rychlost pohybu) řízení představuje objektivní metriku pro posouzení stavu řidiče.

## Koncept a provedení

Základem jsou data s relevancí k chování řidiče. V navrhovaném konceptu jsem se rozhodl pro zrychlení vozidla. V této práci chci ověřit možnosti posouzení stavu řidiče z podélného a příčného zrychlení vozidla. Silná vzájemná závislost prvků v soustavě řidič-vozdlo-okolí podporuje výběr dat popisujících chování vozidla. Změny stavu řidiče by měly být patrné v jeho stylu řízení. Klíčovým faktem je, jestli je opravdu pozornost řidiče snížena a jaká je závažnost tohoto snížení pozornosti, které aktuálně postihuje výkon řidiče. Dalším důvodem je, že tento přístup posuzování stavu řidiče není patentován a ani výstižně popsán v odborných zdrojích (minimálně v porovnání s vyhodnocováním stavu řidiče na základě pozorování očí nebo obličeje).

Měřená data je třeba vhodně zpracovávat tak, aby bylo možné vytvořit charakteristiku běžného chování řidiče a na základě aktuálního chování řidiče detekovat abnormality. Specifikované odchylky ve stylu řízení jsou považovány za indikátor snížení pozornosti. Protože řidič není zcela přesný senzor ani aktuátor, bude vždy docházet k odchýlkám. Významný nesoulad mezi aktuálním a předchozím chováním řidiče je předpoklad pro bezpečnostně relevantní zhoršení stavu řidiče, vyjádřené určitým stupněm zhoršení. Charakteristika běžného chování dovolí zařadit řidiče do kategorie podle jeho jízdního stylu.

Výstupem konceptu by měla být informace o stavu řidiče. Ta by ve vozidle mohla být k dispozici ostatním systémům.

## Specifikace požadavků na vlastnosti konceptu

Pro vyjasnění a rozpracování požadavků na navrhovaný koncept asistujícího systému jsem se rozhodl využít metodiku konstruování Engineering Design Science – EDS. Tento přístup je definován jako:

*„Obsahem EDS jsou systematicky uspořádané poznatky, „mapa“ poznatků z teorie i praxe pro výzkum, výuku a konstrukční praxi. EDS poskytuje přehled poznatků o objektech, procesech a vazbách, které proces konstruování ovlivňují.“ [77]*

Před vlastním zahájením navrhování konceptu asistujícího systému bylo nutné získat co možná největší množství informací z dané problematiky, které bylo prezentováno v předchozích kapitolách. Zkoumání konkurenčních řešení v tomto případě do určité míry odpadá, protože doposud nebyl v dostupné literatuře popsán systém založen na obdobném funkčním principu. Na základě získaných poznatků je sestavena specifikace požadavků. Tento krok byl oproti stávajícímu stavu metodiky Design Science zjednodušen pro účely a rozsah této práce. I přesto obsahuje specifikace několik kategorií požadavků týkající se celého životního procesu tohoto technického systému.

Tab. 3 Specifikace požadavků na TS (1.část)

Požadavky na <b>vnější vlastnosti</b> TS vztahované k transformačním <b>procesům</b> všech etap životního cyklu TS	Požadovaná <b>hodnota</b> charakteristiky <b>vlastnosti/chování TS</b> a příp. <b>tolerance</b>	<b>Váha</b> (1-4)
<b>(1) Požadavky na funkční vlastnosti pro provoz TS:</b>		
<p><b>Funkce TS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- získávat fyzikální veličinu</li> <li>- diagnostikovat stav</li> <li>- informovat, varovat</li> <li>- spojení s ostat. sys. vozidla</li> <li>- vizualizaci procesu jízdy</li> <li>- uchovat řídicí program</li> <li>- zaznamenávat proces jízdy</li> <li>- zpracování informací</li> </ul> <p><b>Vlastnosti TS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- rychlost procesu</li> <li>- kapacita paměti</li> <li>- rychlost přenosu dat</li> <li>- přepisovatelnost paměti</li> <li>- dynamické vlastnosti</li> </ul> <p><b>Provozní vlastnosti TS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- provoz</li> <li>- rozměry</li> <li>- životnost</li> <li>- údržba</li> <li>- opravitelnost</li> <li>- spotřeba energií</li> <li>- hmotnost</li> <li>- rozsah</li> <li>- přesnost</li> </ul>	<p>spolehlivě</p> <p>jednoduše</p> <p>zřetelně</p> <p>umožnit</p> <p>umožnit</p> <p>spolehlivě</p> <p>umožnit</p> <p>spojitě provádět</p> <p>dostatečná</p> <p>dostatečná</p> <p>dostatečná</p> <p>vysoká</p> <p>dostatečné</p> <p>automatický, spolehlivý</p> <p>kompaktní</p> <p>jako automobil</p> <p>minimální/žádná</p> <p>snadná</p> <p>nízká</p> <p>nízká</p> <p>dostatečná</p>	<p>4</p> <p>4</p> <p>3</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>2</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>3</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>4</p> <p>3</p> <p>3</p> <p>2</p>
<b>(2) Požadavky na vlastnosti pro předvýrobní procesy a výrobu TS:</b>		
<p><b>Vlastnosti pro nákup a výrobu:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- jednoduchost konstrukce</li> <li>- vhodnost pro konstruování</li> <li>- náročnost na montáž</li> <li>- využití nakupovaných komponent</li> <li>- náklady na výrobu</li> <li>- výroba</li> </ul>	<p>maximální</p> <p>maximální</p> <p>nízká</p> <p>vysoké</p> <p>nízké</p> <p>hromadná</p>	<p>3</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>4</p> <p>3</p> <p>4</p>
<b>(3) Požadavky na vlastnosti pro likvidaci:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- demontovatelnost</li> <li>- recyklovatelnost</li> </ul>	<p>jednoduchá</p> <p>jednoduchá a vysoká</p>	<p>3</p> <p>3</p>

Tab. 4 Specifikace požadavků na TS (2.část)

Požadavky na <b>vnější/reflektivní vlastnosti&amp;chování</b> TS vztahované k <b>operátorům</b> transformačních procesů všech etap životního cyklu TS	Požadovaná <b>hodnota</b> charakteristiky <b>vlastnosti/chování TS</b>	<b>Váha</b> (1 - 4)
<b>(1) Požadavky na vlastnosti pro věcný manaž./říd. systém předvýr.,výr. a servis. procesů:</b>		
- produkt	vlastní	4
- konkurenceschopnost	vysoká	3
- plánována inovace	nutná	3
- cena	nízká	4
- kvalita	dostatečná	3
<b>(2) Požadavky na vlastnosti pro člověka:</b>		
- robustnost řídicího systému	vysoká	3
- příjemnost pro člověka (estetičnost apod.)	dle možností	3
- provedení informování a varování	uspokojivý	4
- grafický design	uspokojivý	3
<b>(3) Požadavky na vlastnosti pro aktivní materiálové a energetické okolí:</b>		
- použití ekologicky nezávadných materiálů	výhradně	4
- využití ostatních prostředků a materiálů	minimální	3
- energetická náročnost provozu	minimální	3
<b>(4) Požadavky na vlastnosti pro aktivní informační okolí:</b>		
- porušení patentových a licenčních práv	žádné	3
- porušení norem při drátové/bezdrátové komunikaci	žádné	3
- porušení bezpečnostních norem	žádné	3
<b>(5) Požadavky na vlastnosti pro technické prostředky (ostatní TS):</b>		
- kompatibilita s ostatními systémy vozidla	maximální	4
<b>(6) Požadavky na vlastnosti pro odborný informační systém:</b>		
- výrobní a montážní dokumentace	standardní forma	2
- návod k obsluze	jednoduchý	2
- návod pro údržbu a opravy	jednoduchý	2
<b>(7) Požadavky na vlastnosti pro ekon. a čas. manaž./řídící systém předvýr.,výr. a servis. procesů:</b>		
- náklady na práci / provoz	minimální	3
- čas na vývoj a výrobu	4 roky	2



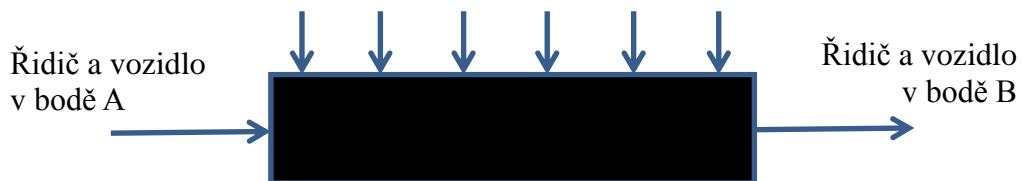
Tab. 5 Specifikace požadavků na TS (3.část)

Požadavky na <b>vnitřní/reaktivní vlastnosti&amp;chování</b> TS	Požadovaná <b>hodnota</b> charakteristiky <b>vlastnosti/chování TS</b> a příp. <b>tolerance</b>	<b>Váha</b> (1 - 4)
<b>(1) Požadavky na obecné konstrukční vlastnosti:</b>		
- funkční princip	mechatronický	4
- druh řízení	automatický, elektronický	4
- druh ovládání	žádné (případně ruční)	3
- energie	elektrická	4
- odolnost proti mechanickému poškození	vysoká	3
Požadavky na <b>strukturní/deskriptivní vlastnosti</b> TS	Požadovaná <b>hodnota</b> charakteristiky <b>vlastnosti TS</b> a příp. <b>tolerance</b>	<b>Váha</b> (1 - 4)
<b>(1) Požadavky na elementární konstrukční vlastnosti:</b>		
- ovládací prvky	nákup	2
- spojovací prvky	nákup, normalizované	2
- prvky řídicí elektroniky	nákup	4
<b>(2) Požadavky na znakové konstrukční vlastnosti/charakteristiky:</b>		
- odolnost proti provozním zatížením	odpovídající	3

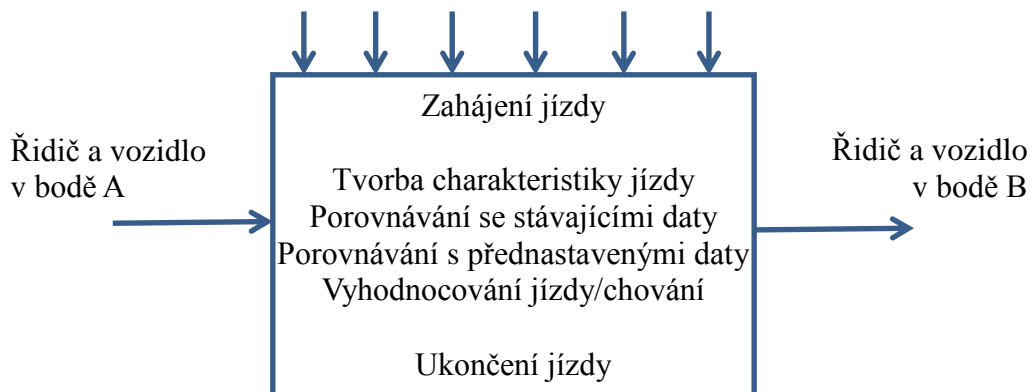
Legenda k váhovému ohodnocení: 1-nejméně, 4-nejvíce, nejdůležitější

## Návrh funkční struktury

Protože se jedná o asistující systém řidiče, přejímá navrhovaný koncept hlavní transformační proces od silničního vozidla, jehož hlavním úkolem je přepravit řidiče (příp. spolucestující nebo náklad) z bodu A do bodu B. Navrhovaný koncept by k tomu měl napomoci. Na následující ilustraci je znázorněno základní schéma transformačního procesu.

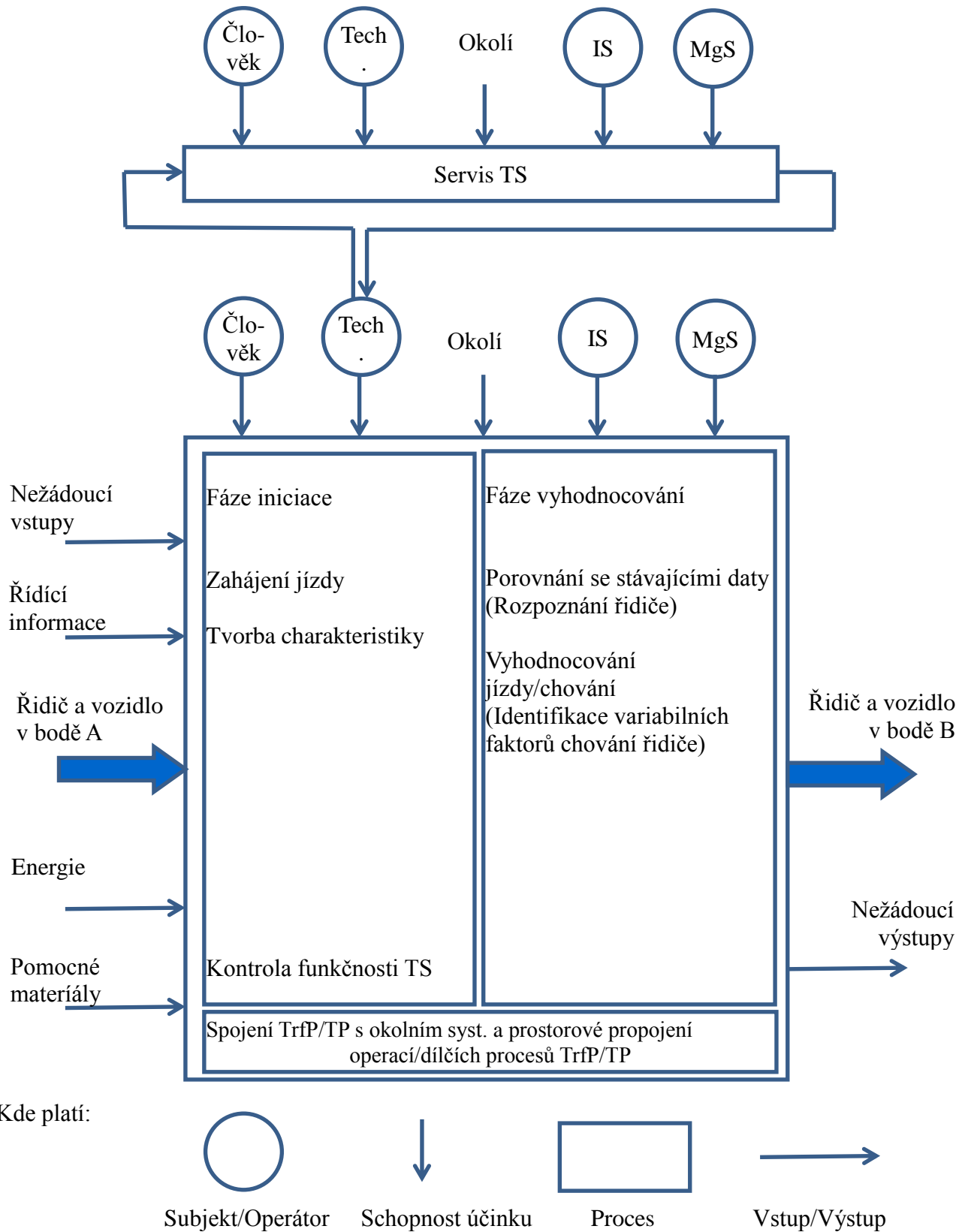


Obr. 11 Provozní transformační proces (1. část)



Obr. 12 Provozní transformační proces (2. část)

### Transformační proces



Obr. 13 Transformační proces

Legenda k obr. 13: Tech. – Technika; IS – informační systém; MgS - manažerský systém; TS – technický systém; TrfP/TP – transformační proces

Na obr. 13 je rozpracované schéma transformačního procesu navrhovaného konceptu asistujícího systému.

### Návrh orgánové struktury

Transformace funkcí na orgány (pomocí morfologické matice)

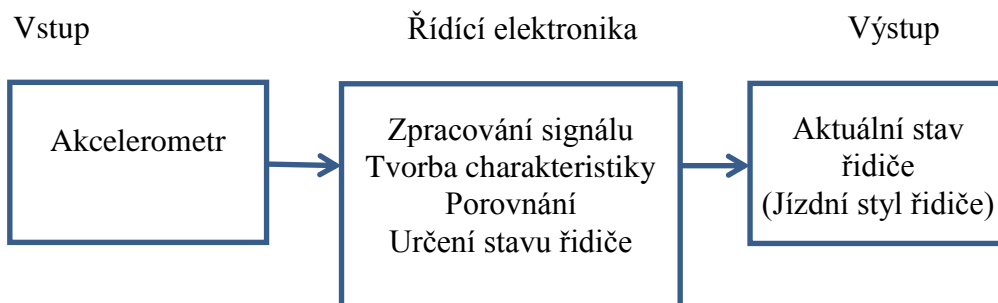
V předchozím byly zmíněny (i znázorněny) požadované funkce. V tomto kroku metodika EDS využívá Morfologickou matici k transformaci funkcí na orgány (nositele funkčního principu). V následující tabulce jsem zanesl některé stěžejní funkce navrhovaného konceptu.

Dílčí funkce	Funkční principy			
	1	2	3	4
Měřit zrychlení vozu	Akcelerometr			
Zpracování dat	Nepřetržitě	V dávkách		
Tvorba charakteristiky jízdy	Kruhový diagram	Prokládání křivkou	Spektrum zrychlení	Neuronové sítě
Porovnání s uloženými daty	Za posledních x minut	S celým záznamem	Kombinace	
Určení stavu řidiče	Bodové hodnocení	Procentuálně	Slovně	
Určení jízdního stylu řidiče	Bodové hodnocení	Procentuálně	Slovně	

Tab. 6 Morfologická matice

### Schéma orgánové struktury

Ve stylu základního zobrazení mechatronického systému je na obr. 14 znázorněna strana vstupu, nejvýznamnější část řídicí elektroniky, a strana výstupu.



*Obr. 14 Organová struktura*

### **Zhodnocení zvolené struktury**

Následujícím krokem metodiky EDS je zhodnocení zvolené struktury navrhovaného systému. To bylo provedeno experimentem, který je blíže popsán v následující kapitole.

## 12 EXPERIMENTY

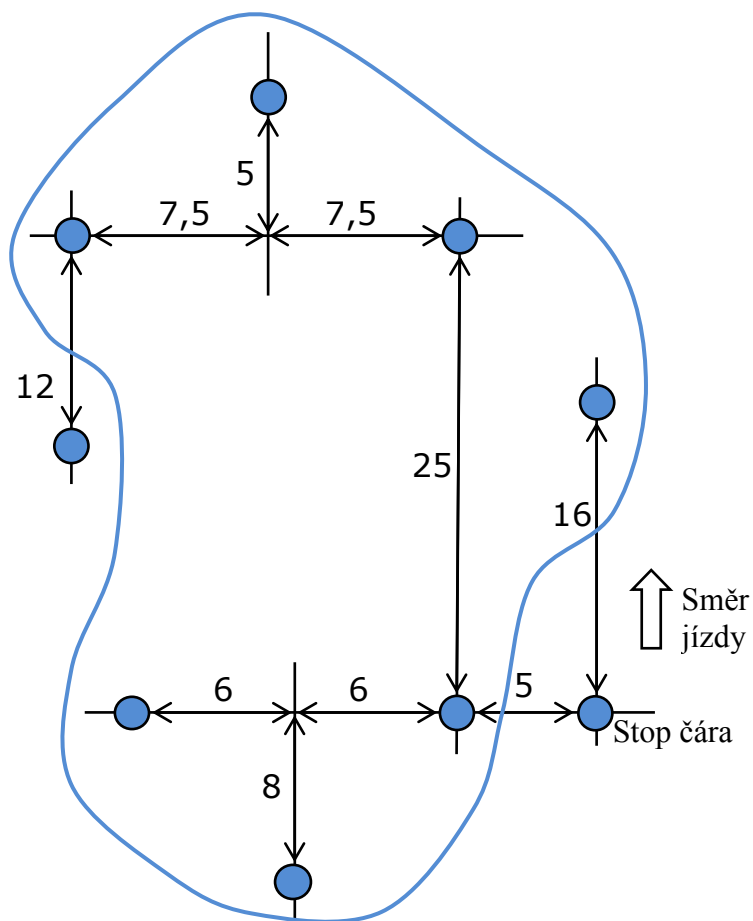
V předchozí kapitole jsem zvolil funkční strukturu navrhovaného konceptu asistujícího systému. Ta byla použita k ověření možností odhalování specifických faktorů chování řidiče ze záznamu dynamického chování vozidla, což je hlavním cílem mé práce. Pro získání dat reálné jízdy vozidla byly provedeny dva experimenty. Po naměření byla tato data následně zpracována v programu MS Excel (pro účely publikování) a Statistica (pro návrh neuronových sítí).

### 12.1 Experiment A

Tento experiment představuje první ověření možností sběru a zpracování dat popisujících chování řidiče. Chtěl jsem ověřit předpoklady vycházející z publikovaných poznatků v dané problematice. Bylo třeba posoudit náročnost navrženého zpracování dat a samozřejmě vypovídací schopnost dat po zpracování.

#### Plán experimentu

Měření bylo provedeno na uzavřené ploše Automotoklubu v Třemošné u Plzně, kde byla kužely vyznačena trať ve tvaru a o rozměrech znázorněných na obr. 15. Povrch byl asfaltový a suchý. Bylo lehce zataženo, bez srážek. Trať byla postavena tak, aby obsahovala dvě zatáčky o různém poloměru a stop čáru. Stop čára byla umístěna těsně na konci zatáčky s menším poloměrem. Důvodem bylo, aby došlo ke zkombinování účinku od příčného zrychlení vzniklého průjezdem zatáčky a podélného zpomalení od brzdění.



Obr. 15 Tvar a rozměry trati (v metrech)

Účastníci byli instruováni, jak projet vyznačenou trať. Bylo požadováno, aby zastavili v každém kole na stop čáře předními koly co možná nejpřesněji a tak aby k ní stáli kolmo. Trať měli projet zcela jim běžným stylem. V tomto případě to představovalo relativně malé rychlosti do cca 35 [km/h].



*Obr. 16 Kužely vyznačená trať*

### **Účastníci experimentu**

Celkem se zúčastnilo 10 řidičů. Z toho pět bylo žáky autoškoly, kteří projížděli trať pod dohledem instruktora ve vozidle autoškoly. Tito žáci představovali „vzorek“ začátečníků bez osvojených řidičských návyků. Ze zbývajících pěti řidičů tři projeli trať ve svých vozidlech a zbývajících dva ve vozidle autoškoly.

### **Přístrojové vybavení**

Pro měření dynamického projevu vozidla při průjezdu tratí byl použit akcelerometr CEM DT-178A s výrobním číslem NO.10050448 připojený k laptopu HP Omnibook. Záznam naměřených hodnot byl prováděn v software Vibration Datalogger verze 1.0, který byl dodán společně s akcelerometrem.

### **Formát dat**

Při průjezdu tratí bylo zaznamenáváno příčné a podélné zrychlení vozidla se vzorkovací frekvencí 20 [Hz]. Výstupní hodnota zrychlení je ve formě podílu tíhového zrychlení.

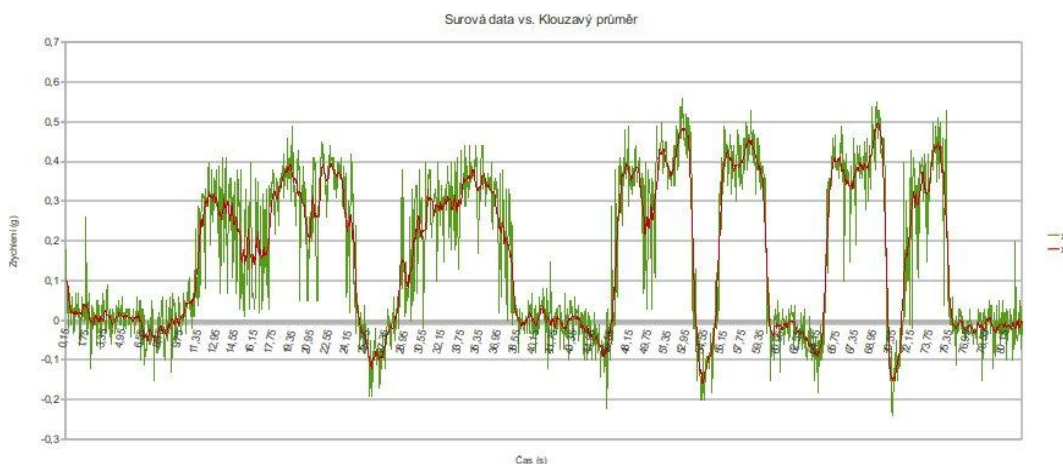


## Hypotézy

V grafu zrychlení v závislosti na čase by měl průběh naměřených zrychlení odpovídat průběhu trati. Průběh zrychlení pro jednotlivá kola u vybraného řidiče by měl vykazovat ustálení s přibývajícím průjezdy, měl by se měnit průběh zaznamenaného zrychlení, maximální hodnoty by měly být přibližně stejné. Měl by se objevit zřetelný rozdíl mezi žáky autoškoly a zkušenějšími řidiči. Na kruhovém diagramu by měl být zřejmý styl, kterým byla trať projeta. Rozložení zaznamenaných dat v diagramu bude ovlivněno tvarem tratě. Spektrum vektoru zrychlení je poměrně málo využívaným způsobem (alespoň v odborné literatuře popisující danou tematiku). Lze předpokládat, že nejčastější budou hodnoty zrychlení blízké nule. Dále pak, že rozložení spektra bude ovlivněno průběhem tratě. Rozhodujícím pro výslednou podobu by však měl být styl, jakým řidič trať projel.

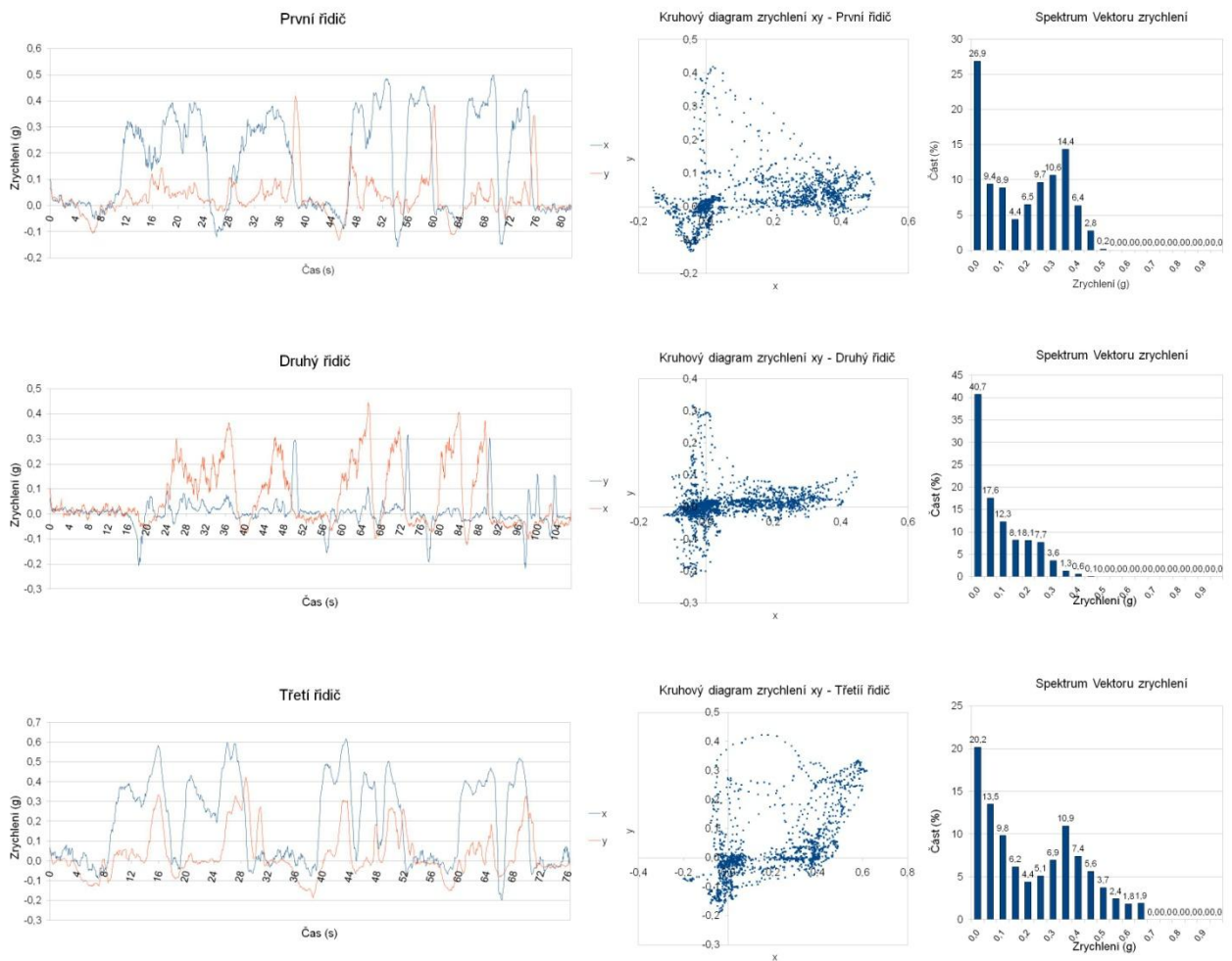
## Naměřená data

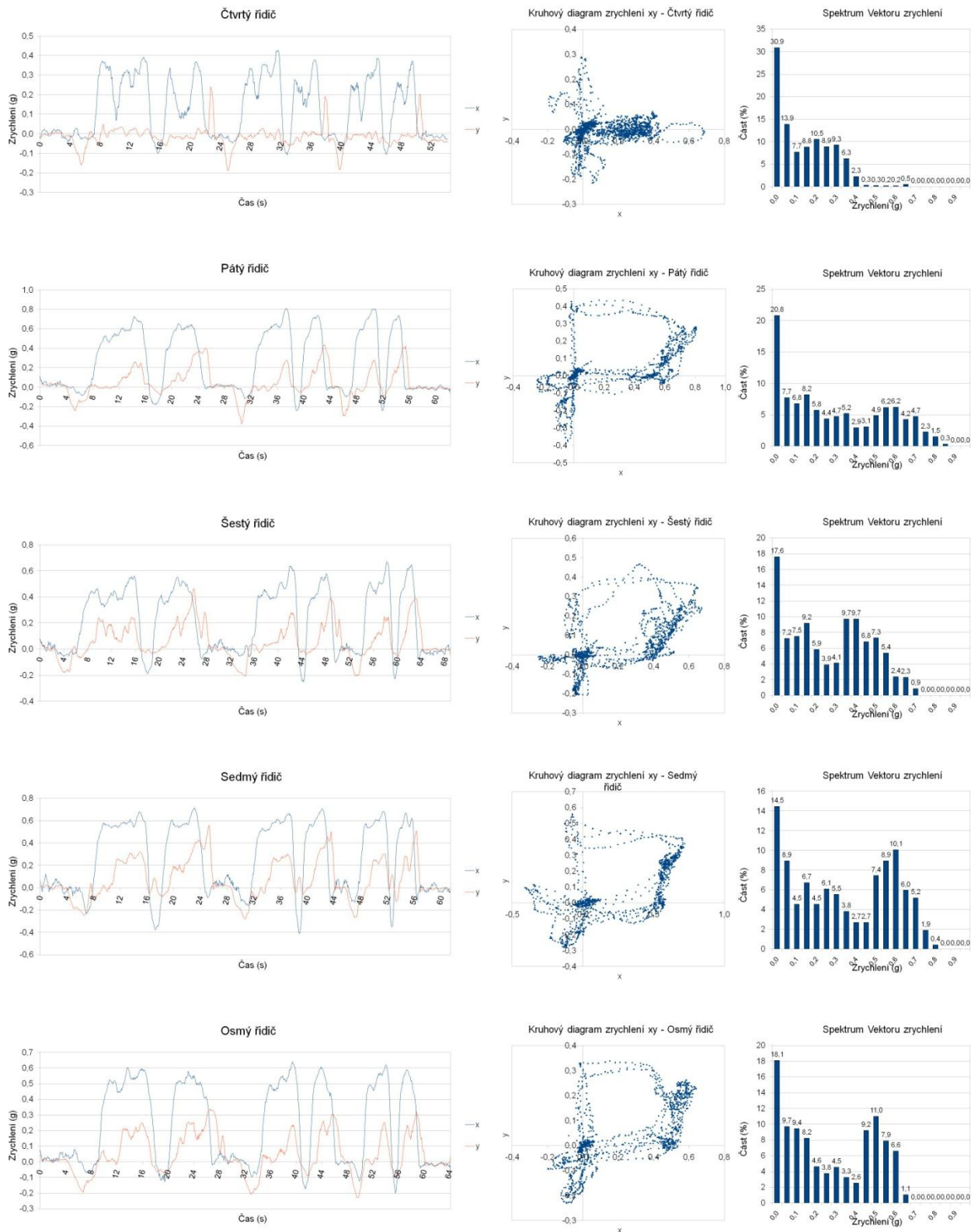
V tomto případě představuje grafické zobrazení naměřených dat nejvhodnější formu pro jejich další analýzu. Především z důvodu přehlednosti bylo pro níže znázorněné průběhy příčného a podélného zrychlení použito vyhlazení pomocí klouzavého průměru. Klouzavý průměr byl nastaven přes pět hodnot symetricky. Na obr. 17 je znázorněn efekt dosažený využitím klouzavého průměru. Zelená barva představuje naměřené hodnoty a červená jejich vyhlazený průběh.

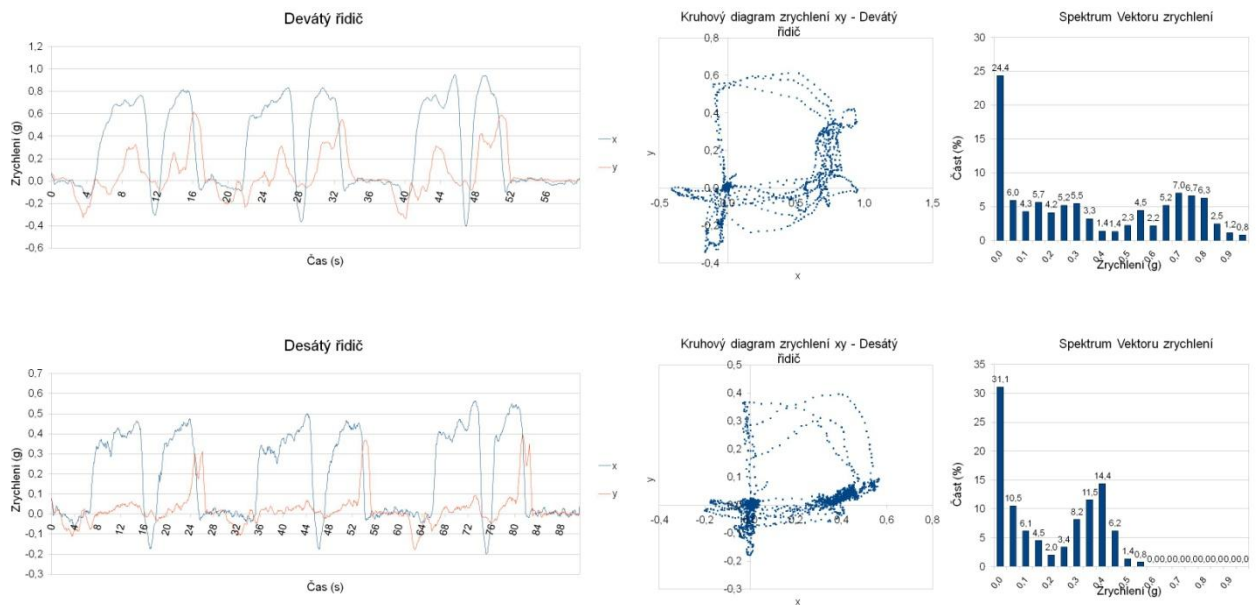


Obr. 17 Vyhlazení naměřených dat klouzavým průměrem

Naměřená data jsou níže zobrazena v podobě tří grafů, které se vždy vztahují k jednomu řidiči. Grafy jsou řazeny od prvního, který znázorňuje průběh příčného (modrá křivka) a podélného (červená křivka) zrychlení v čase. Druhý graf zobrazuje tzv. kruhový diagram. Zde jsou vynesena příčná a podélná zrychlení v podobě bodového grafu. Ve směru osy x jsou zaznamenána příčná zrychlení a ve směru osy y jsou znázorněna zrychlení v podélném směru. Tento způsob zobrazení umožňuje přehledně znázornit poměrně velké množství naměřených dat. Ve třetím grafu zachycuje spektrum vektoru zrychlení. Vektorem zrychlení se zde rozumí skalární součet příčného a podélného zrychlení. Jde o grafické vyjádření intervalového rozdělení četností vektoru zrychlení.







Obr. 18 Charakteristiky jednotlivých řidičů

## Výsledky měření

Ze znázorněných naměřených dat je patrné několik poznatků. U všech řidičů je zřejmý rozdíl v průjezdu prvního, druhého a třetího kola. První kolo bylo projížďeno ztatečně pomaleji. Tento fakt je především patrný v prvním grafu ve znázornění příčné a podélného zrychlení v závislosti na čase. Rozdíl je možné zdůvodnit rostoucím poznáním tratě, tedy adaptací řidiče na podobu projížďené dráhy. Žádný z řidičů neměl možnost si trať předem projet, jejich první průjezd byl ihned zaznamenáván. Maximální hodnoty příčného zrychlení u řidičů se výrazně neliší (jsou skoro konstantní). Stejně tak nejvyšší hodnoty zpomalení v podélném směru jsou u jednotlivých řidičů vždy na vyrovnané úrovni.

Druhý a čtvrtý řidič (žáci autoškoly) se již při průjezdu tratí jeví jako řidiči bez osvojených činností ovládání vozidla. Ze zaznamenaných dat je snadno rozpoznatelný rozdíl oproti ostatním řidičům. V prvním grafu je u nich možné pozorovat určitou neplynulost (především u druhého řidiče), rozjezd se projeví jako strmý nárůst podélného zrychlení, stejně tak dávkování brzděné síly je opět v podobě strmého nárůstu zpomalení (v podélném směru). V druhém grafu u těchto řidičů chybí kombinace příčného a podélného zrychlení (akceleraace/brzdění při průjezdu zatáčkou). Ve třetím grafu jsou patrné převažující hodnoty vektoru zrychlení blízké nule. V průběhu příčného zrychlení lze nalézt rozdíl mezi žáky autoškoly a zkušenými řidiči. U žáků autoškoly je patrná

korekce volantem po nájezdu do první zatáčky prvního průjezdu tratí. To může být způsobeno jednak neznalostí průběhu tratě a hlavně nedostatečným odhadem vlivu poloměru zatáčky v kombinaci s určitou rychlostí při nájezdu do této zatáčky. U druhé skupiny řidičů („zkušených“) není tato korekce do takové míry patrná. Dalším znakem žáků autoškoly jsou celkově nižší hodnoty příčného zrychlení, což lze při jízdě pod dohledem instruktora očekávat.

### **Zhodnocení výsledků**

V soustavě řidič-vozdlo-okolí jsem zajistil opakovatelnost u prvku (faktoru) okolí. Všichni řidiči projížděli shodnou trať. Pro žáky autoškoly bylo dokonce shodné i vozidlo. Takže rozdíly v naměřených datech byly převážně způsobeny osobou řidiče. Je patrné, že individualita řidiče má zásadní význam na dynamické chování vozidla, tedy i na průběh příčného a podélného zrychlení. V předchozím odstavci (Výsledky měření) jsem zmínil několik významných rozdílů mezi jednotlivými řidiči (popř. skupinami řidičů), které vzešly z měření. Pro bližší analýzu bude vhodné, abych se zaměřil právě na tyto charakteristiky, které se úzce vztahují k osobě řidiče.

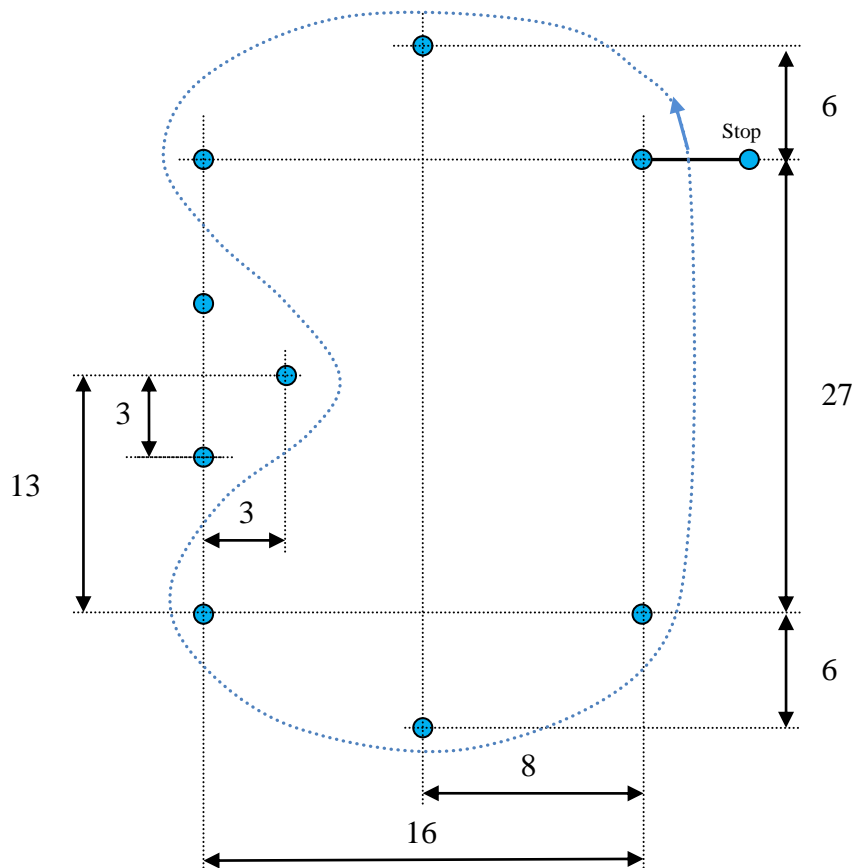
Experiment měl přinést základní praktické poznatky o možnostech stanovení charakteristik chování řidiče za účelem posuzování jeho stavu. Měření bylo provedeno na uzavřené výcvikové ploše a zúčastnilo se ho deset řidičů. Z výsledků měření vzešly konkrétní oblasti, na které byl zaměřen druhý experiment. Jedním z nich je zkoumání průběhu brzdění s a bez přidavných činností zatěžujících pozornost řidiče. Významnou charakteristiku chování mohou být zmiňované korekce směru při nájezdu do zatáčky. Dalšími mohou být neplynulost jízdy, průběh brzdění (obecně), výskyt kombinace příčného a podélného zrychlení (a hodnota této kombinace) nebo spektrum vektoru zrychlení a jeho vývoj během jízdy.

## 12.2 Experiment B

Experiment B navazuje na předchozí měření. Je zaměřen na konkrétní charakteristiky, které se zdály být významné pro popis chování řidiče. Druhé měření bylo zaměřeno na brzdění u jednotlivých řidičů, především na jeho průběh, maximální hodnoty a jejich konstantnost.

### Plán experimentu

Měření bylo opět provedeno na ploše Automotoklubu v Třemošné u Plzně, kde byla kužely vyznačena trať ve tvaru a o rozměrech znázorněných na obr. 19. Trať obsahuje dvě levotočivé zatáčky. Mezi nimi je vložena zatáčka o menším poloměru. Na protilehlé straně je rovný úsek tak, aby řidiči mohli po výjezdu ze zatáčky zvýšit rychlost před následným brzděním před stop čárou. Všem řidičům bylo vysvětleno, jak projet vyznačenou trať. Stejně jako u prvního experimentu byl hned jejich první průjezd zaznamenáván. Řidiči měli za úkol projet okruh zcela běžným způsobem a v každém kole zastavit na stop čáře.



Obr. 19 Rozměry a tvar trati (v metrech)

## **Účastníci experimentu**

Druhého experimentu se zúčastnilo osm řidičů. Ani jeden z nich nebyl žákem autoškoly, všechny zúčastněné lze považovat za řidiče s určitou mírou osvojení ovládání vozidla. Každý řidič projížděl trať ve svém vozidle.

## **Přístrojové vybavení**

Bylo použito stejné vybavení jako při experimentu A, tedy datalogger CEM DT-178A s výrobním číslem NO.10050448 připojený k laptopu HP Omnibook. Záznam naměřených hodnot byl prováděn v software Vibration Datalogger verze 1.0, který byl dodán společně s akcelerometrem. Pro dokumentaci tratě a podmínek při provádění experimentu byl použit fotoaparát Nikon Coolpix.

## **Formát dat**

V průběhu průjezdu tratě bylo zaznamenáváno příčné a podélné zrychlení vozidla, vzorkovací frekvence byla 20 [Hz]. Výstupní hodnota použitého měřicího zařízení je podíl z tíhového zrychlení.

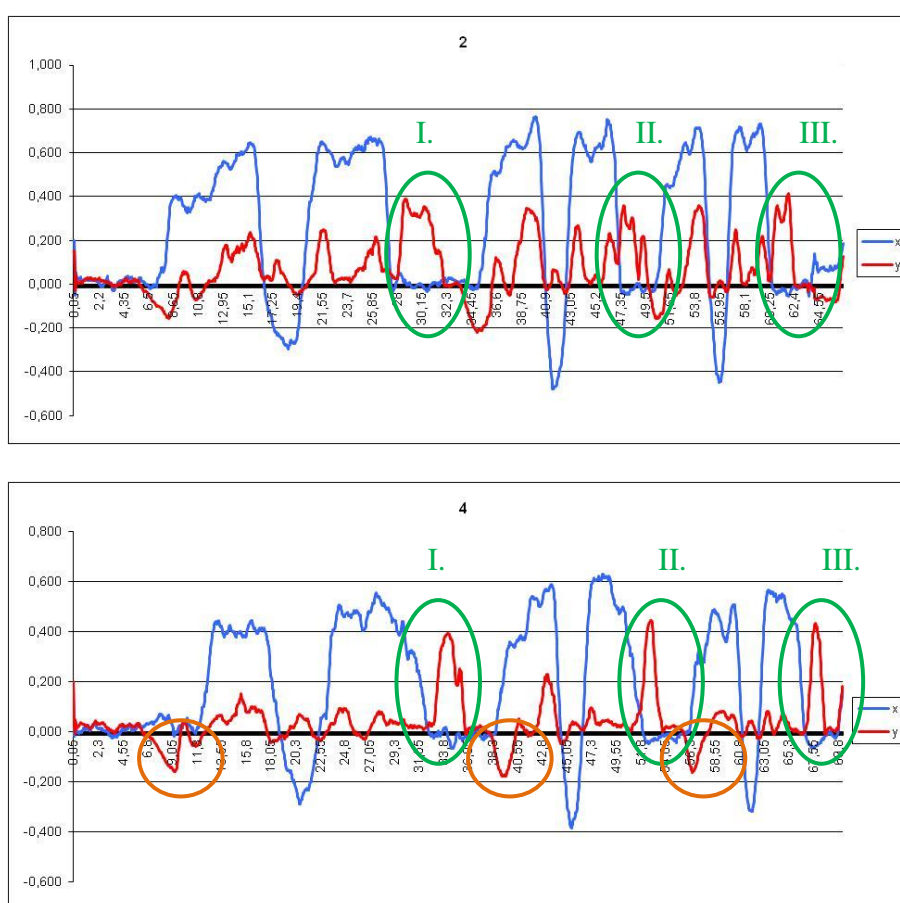
## **Hypotézy**

Trať byla postavena tak, aby brzdění před stop čarou nebylo (na rozdíl od prvního experimentu) ovlivněno příčným zrychlením. Vyšší pozornost byla věnována průběhu brzdění a to jak v jednotlivých kolech průjezdu tratě konkrétního řidiče, tak v rozdílech mezi jednotlivými řidiči navzájem. Očekával jsem že, průběh brzdění u konkrétního řidiče by se měl v jednotlivých kolech pouze mírně měnit, zatímco mezi jednotlivými řidiči vzájemně by měly být výraznější rozdíly v průběhu brzdění, jak už naznačil první experiment s jiným průběhem trati. Protože každý z řidičů projížděl trať ve svém vozidle, odpadla tedy adaptace mezi řidičem a vozidlem (lidským operátorem a technickým systémem).



## Naměřená data

Pro vhodnější podobu grafického znázornění průběhů zrychlení byl stejně jako u předchozího experimentu využit klouzavý průměr přes pět hodnot symetricky. Pro účely vyhodnocení byla naměřená data opět (jako u experimentu A) zpracována do podoby tří grafů pro každého z řidičů. V následujícím budou zobrazeny jen vybrané části grafických znázornění průběhů naměřených dat.

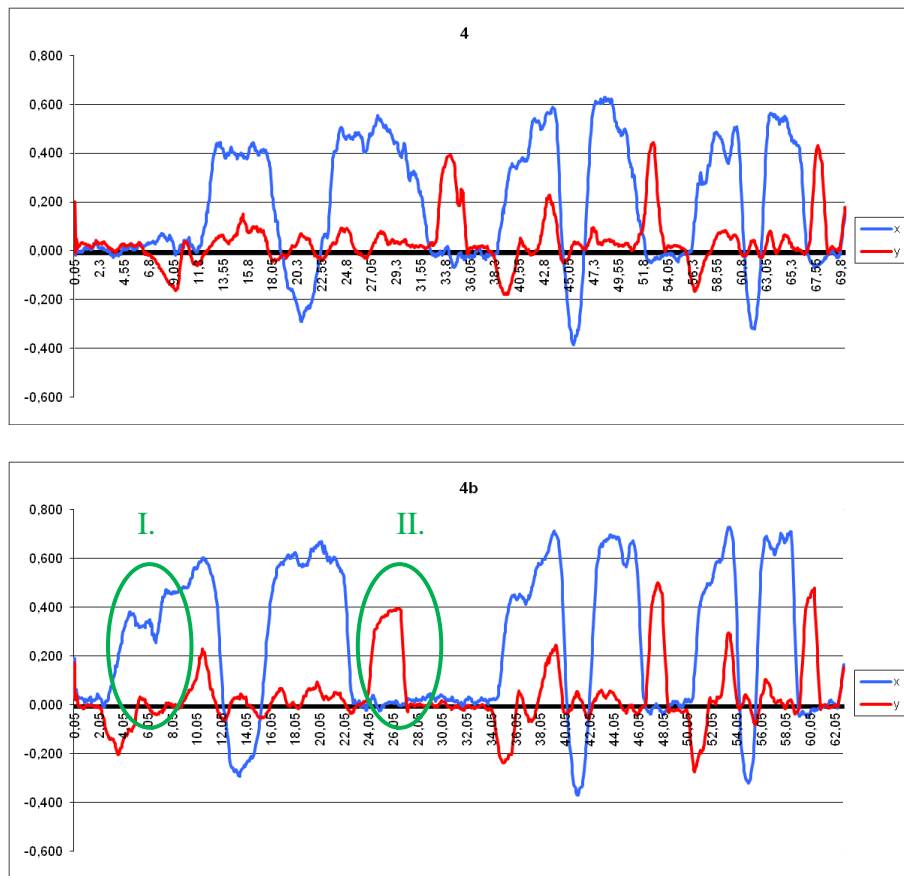


Obr. 20 Průběh zrychlení pro dva z řidičů

Obr. 20 znázorňuje průběhy příčného a podélného zrychlení pro druhého a čtvrtého řidiče. Zeleně jsou zvýrazněny brzdění před stop čarou. U druhého řidiče (na obr. 18) je patrné, že průběh podélného zpomalení je ovlivněn vyšší rychlostí při průjezdu druhé zatáčky. Následně bylo pro zastavení na stop čáře nutno vyvolat brzdný účinek přibližně 0,3-0,4g, na kterém bylo třeba



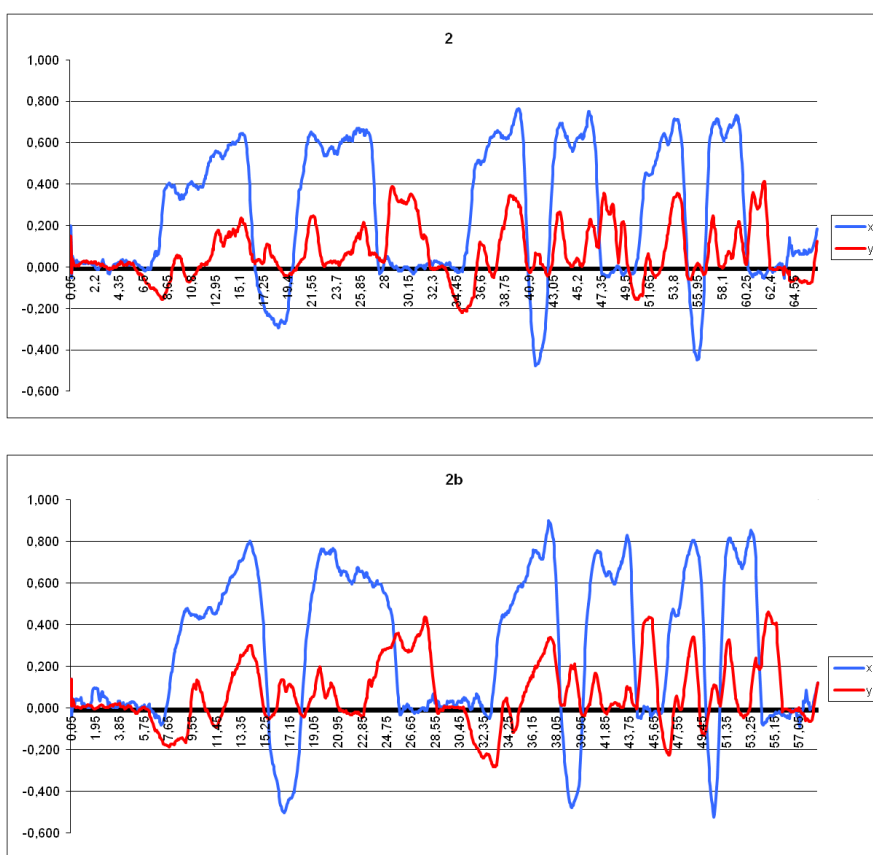
několik okamžiků vytrvat pro uvedení vozidla do klidu. U čtvrtého řidiče stačilo vyvolat brzdný účinek také cca 0,4g ale na výrazně kratší časový okamžik. To naznačuje, že nejenom nejvyšší hodnota zpomalení, ale i její průběh v okolí maxima je ovlivněn stylem jízdy. U podélného zrychlení stojí za pozornost také průběh naměřených hodnot při rozjezdu vozidla. I když je do určité míry ovlivněn výkonem vozu, vykazuje viditelné rozdíly v jednotlivých kolech. V grafice je označen oranžovými ovály.



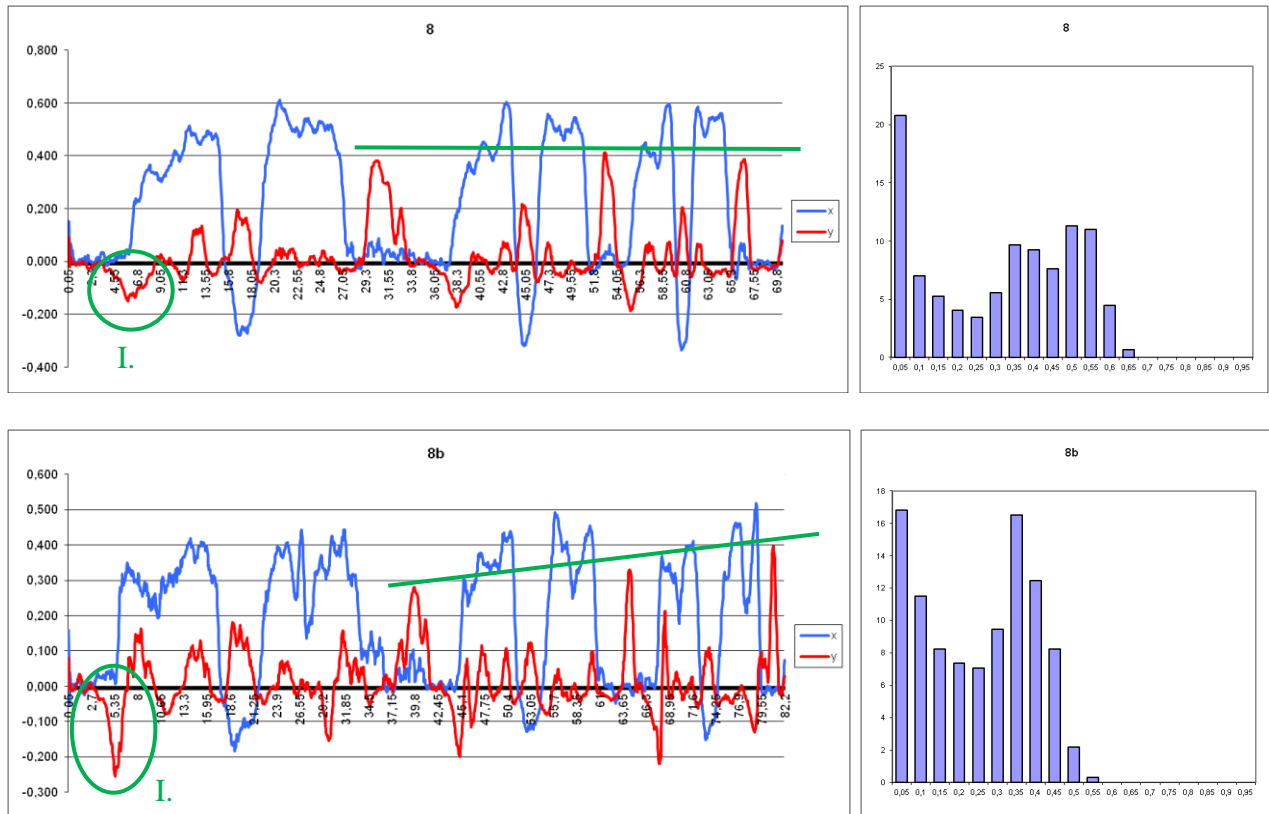
Obr. 21 Průběh zrychlení čtvrtého řidiče (dvě jízdy)

Na obr. 21 jsou zachyceny průběhy naměřených dat čtvrtého řidiče ze dvou průjezdů tratě. V prvním průjezdu měl jet zcela normálním stylem. Před druhým průjezdem byl požádán o mírně rychlejší jízdu. Při porovnání obou grafů je patrný nárůst hodnot příčného zrychlení (modrá křivka) při průjezdu zatáčkami. Co se týče tvaru průběhu příčného zrychlení, nedošlo k nijak výrazným rozdílům. Jen v prvním kole druhé jízdy je patrná korekce volantem při najetí do první (levotočivé) zatáčky. Tento jev je označen zelenou značkou I., velmi se podobá chování žáků

autoškoly v prvním experimentu. Při porovnání průběhu podélného zrychlení je zjevné, že nárůst max. zpomalení je pouze nepatrný. Pouze v prvním kole druhé jízdy je znatelný nárůst doby, po kterou byla řidičem vyvolána vyšší hodnota zpomalení - pro jednoznačnost označeno v grafu zelenou značkou II. O projetí mírně rychlejším tempem byl požádán i jiný řidič. Na obr. 22 jsou znázorněny jeho dvě jízdy, první graf představuje normální styl jízdy a druhý graf průjezd mírně vyšší rychlostí.



Obr. 22 Průběh zrychlení druhého řidiče (dvě jízdy)



Obr. 23 Průběh zrychlení osmého řidiče (dvě jízdy)

Na obr. 23 jsou zobrazeny dva průjezdy osmého řidiče - jak naměřená zrychlení v závislosti na čase, tak i intervalové rozdělení četností vektoru zrychlení. Osmý řidič byl po prvním projetí trati požádán o druhý průjezd s tím, že bude telefonovat. Telefonování je jedna z typických přídatných činností při řízení. Stojí v centru pozornosti výzkumných týmů, také v reálných podmínkách se často vyskytuje. Řidič měl za úkol zavolat na infolinku svého operátora a zjistit aktuální nabídku jemu určených služeb a po jízdě ji interpretovat. Záměrem bylo přidat řidiči takovou činnost, která by zaměstnala část jeho pozornosti. Toto omezení pozornosti se mělo projevit na způsobu projetí tratě a opravdu je patrné v naměřených datech. Na první pohled se průběh druhé jízdy jeví jako neustálý. V průběhu příčného zrychlení jsou patrné korekce v každém najetí do zatáčky. Maximální hodnoty příčného zrychlení při druhé jízdě celkově poklesly. To potvrzuje v literatuře často popisovanou snahu řidiče při přídatné činnosti upravit parametry jízdy tak, aby klesla náročnost řízení. U podélného zrychlení se (v mém výzkumu poprvé u „zkušeného“ řidiče) objevují rozdílné maximální hodnoty při brzdění. V obrázku označeny zelenou linií. Tento jev se objevil v prvním experimentu u několika žáků autoškoly. Rozdíl je patrný také v průběhu zrychlení při rozjezdu vozu - v grafu označen zelenou značkou I. Při porovnání intervalového rozdělení

četností vektoru zrychlení je vidět přesun vyšších četností směrem blíže k nule. Při jízdě bez telefonování ležela hodnota významné části vektorů zrychlení mezi 0,35 a 0,55g. Zatímco se při průjezdu, kdy byl řidič zatížen komunikací mobilním přístrojem, přesunula tato skupina významných vektorů zrychlení do pásma mezi 0,3 a 0,45g.

### **Zhodnocení výsledků**

Experiment byl primárně zaměřen na zkoumání průběhu podélného zrychlení při brzdění. Tomu odpovídala podoba trati. Při analýze naměřených dat jsem se však zabýval i jinými prvky v průběhu zachycených zrychlení. Je zajímavé, k jakým změnám dojde, když řidič změní (i mírně) styl jízdy nebo pokud nastane jeho zatížení nějakou přidavnou činností (v mém případě telefonováním). Při experimentu byly tyto faktory zaznamenány na skupině řidičů, kterou nelze považovat za dostatečný statistický vzorek. Avšak výsledky naznačují směr, který je třeba hlouběji analyzovat.

## 13 KLASIFIKACE NAMĚŘENÝCH DAT

Po stanovení rozhodujících indikátorů pro posuzování aktuálního chování řidiče je třeba nalézt způsob vyhodnocení naměřených dat, který umožní jejich vyhodnocení v reálném čase. Vedle standardních a přesně definovaných výpočetních postupů existují v praxi i takové úlohy, pro které nelze stanovit přesný algoritmus řešení. Zatímco se dosud řešily tyto úlohy intuitivně na základě zkušeností, moderní teorie umělé inteligence pro ně umožňuje vytvořit počítačovou podporu. Jednou z možností je využití umělých neuronových sítí. V následujícím textu přiblížím jejich obecný popis i přípravu konkrétní neuronové sítě pro naměřená data z provedených experimentů.

### 13.1 Neuronové sítě

Popis vychází z [78]. Umělé neuronové sítě vycházejí z biologické předlohy uspořádání neuronů v lidském mozku. Mozková kůra obsahuje 13 až 15 miliard neuronů, z nichž každý může být propojen až s 5000 jinými neurony. Každý neuron se skládá z těla – somy, vstupních výběžků – dendritů, výstupního vlákna – axonu, které je na konci rozvětveno. Propojení je realizováno tak, že terminály axonu se stýkají s výběžky – trny dendritů jiných neuronů. K přenosu informace slouží mezineuronová rozhraní nazývaná synapse, která mohou být buď excitační, rozšiřující vzruch, nebo inhibiční, vzruch tlumící. Pokud je neuron na vstupech podrážděn a toto podráždění přesáhne určitou hraniční mez nazývanou práh, sám generuje impuls a tím je zajištěno šíření informace.

Hlavní výhodou umělých neuronových sítí oproti klasickým systémům je jejich schopnost se učit. Požadovanou funkci sítě neprogramujeme pomocí přesného popisu algoritmu výpočtu funkční hodnoty, ale síť sama abstrahuje a zobecňuje v procesu učení ze vzorových příkladů. Schopnost učit se a zobecňovat je typickou vlastností lidské inteligence. V tomto smyslu neuronová síť připomíná inteligenci člověka, který získává mnohé znalosti a dovednosti ze zkušenosti, kterou často není schopen formulovat pomocí přesných pravidel a algoritmů.

Cílem učení neuronové sítě je nastavit síť tak, aby dávala přesné výsledky. V biologických sítích jsou zkušenosti uloženy v dendritech. V umělých neuronových sítích jsou zkušenosti uloženy

v jejich matematickém ekvivalentu - váhách. Učení neuronové sítě rozlišujeme na učení s učitelem a učení bez učitele. Fáze učení neuronové sítě bývá nazývána adaptivní. Při učení bez učitele nevyhodnocujeme výstup. Při tomto učení nám výstup není znám. Síť dostává na vstup sadu vzorů, které si sama třídí. Buď si vzory třídí do skupin a reaguje na typického zástupce, nebo si přizpůsobí topologii vlastnostem vstupu. Při učení s učitelem, podobně jako v biologických sítích, je zde využita zpětná vazba. Neuronové síti je předložen vzor. Na základě aktuálního nastavení je zjištěn aktuální výsledek. Ten porovnáme s vyžadovaným výsledkem a určíme chybu. Poté spočítáme nutnou korekci (dle typu neuronové sítě) a upravíme hodnoty vah či prahů, abychom snížili hodnotu chyby. Toto opakujeme až do dosažení námi stanovené minimální chyby. Poté je síť adaptována. Způsob učení s učitelem jsem využil k přípravě neuronových sítí pro klasifikaci naměřených dat.

Neuronové sítě se uplatňují především tam, kde klasické počítače selhávají. Jde o úlohy, kde není znám algoritmus nebo je analytický popis pro počítačové zpracování příliš komplikovaný. Zejména se uplatní tam, kde jsou k dispozici rozsáhlé soubory příkladových dat, pokrývajících dostatečně celou oblast problému. V literatuře jsou popsány tyto základní aplikace neuronových sítí:

### **Ekonomické informační systémy**

Metody neuronových sítí se využívají v makroekonomii a finančnictví. V této aplikační oblasti se výzkum zaměřuje především na prognózování vývoje jednotlivých ekonomických jevů. V zájmu pozornosti stojí zejména předpověď směnných kurzů, výnosů a cen cenných papírů a dalších makro-ekonomických proměnných. V marketingu se modelují reakce spotřebitelů na určitou nabídku. Integrace neuronových sítí a fuzzy logiky se používají v systémech pro předpověď bankrotů.

### **Technologie a výroba**

Pravděpodobně nejrozšířenější aplikací ve výrobní sféře jsou různé systémy rozpoznávání vizuálního obrazu. Vedle toho nacházejí neuronové sítě uplatnění v prognostických modelech, zejména v předpovědi poruch např. leteckých motorů a v kontrolních systémech - kvality potravin, vůně parfémů, degustace čaje, kávy, piva. V řadě informačních systémů se využívají neuronové

sítě k rozpoznávání textů a ručně psaného písma, odstraňování informačního šumu a ověřování podpisů. V energetice se předpovídají požadavky uživatelů na odběr elektrické energie.

### Zdravotnictví

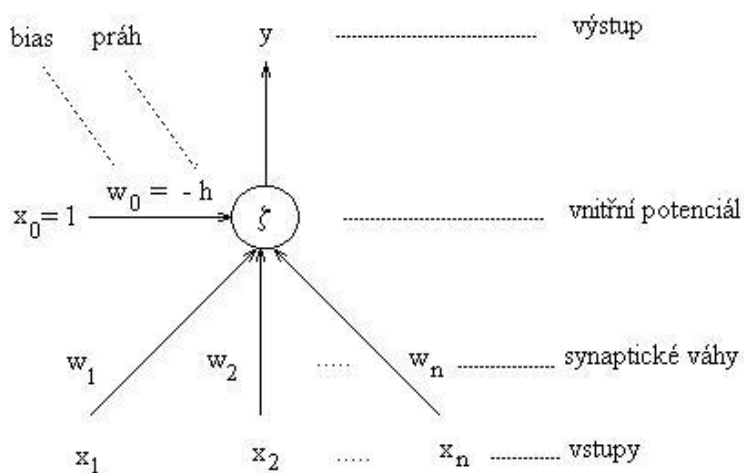
Aplikace učících se systémů na bázi neuronových sítí ve zdravotnictví se zaměřují především na dvě oblasti: analýzu obrazového materiálu, např. snímků z tomografu nebo rentgenu, a na prognostické modely nejčastěji v onkologii.

### Meteorologie

Již značně rozšířené jsou aplikace v meteorologii, kde neuronové sítě našly velmi dobré uplatnění v oblasti předpovídání počasí.

### Matematický model neuronu

Pro využití další funkce potřebujete znát základní informace o matematické podobě neuronu. Vychází z fyziologické představy. Matematický model neuronu je znázorněn na následujícím obrázku.



Obr. 24 Matematický model neuronu [78]

Jestliže označíme  $x_1, x_2, \dots, x_n$  jako reálné vstupy neuronu a  $w_1, w_2, \dots, w_n$  jako synaptické váhy na těchto vstupech, pak výraz

$$\xi = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i$$

definuje vnitřní potenciál neuronu. Neuron pak na výstupu realizuje aktivační funkci potenciálu

$$y = \sigma(\xi)$$

Představě biologického neuronu odpovídá aktivační funkce ostrá nelinearita, která je definována takto:

$$\sigma(\xi) = \begin{cases} 1 & \text{pokud } \xi \geq h \\ 0 & \text{pokud } \xi < h \end{cases},$$

kde  $h$  je hodnota prahu označovaného také bias. Jestliže zavedeme  $w_0 = -h$  a  $x_0 = 1$ , pak bude

$$\xi = \sum_{i=0}^n w_i \cdot x_i$$

a ostrá nelinearita přejde na tvar:

$$\sigma(\xi) = \begin{cases} 1 & \text{pokud } \xi \geq 0 \\ 0 & \text{pokud } \xi < 0 \end{cases}.$$

Aktivační funkce však mohou být definovány různým způsobem a nemusí odpovídat představě biologického neuronu. Aktivačních funkcí existuje celá řada, nejznámější jsou:

- lineární saturovaná funkce

$$\sigma(\xi) = \begin{cases} 1 & \text{pokud } \xi > 1 \\ \xi & \text{pokud } 0 \leq \xi \leq 1 \\ 0 & \text{pokud } \xi < 0 \end{cases}$$



- standardní sigmoida

$$\sigma(\xi) = \frac{1}{1 + e^{-\xi}}$$

- hyperbolický tangens

$$\sigma(\xi) = \frac{1 - e^{-\xi}}{1 + e^{-\xi}}$$

### Lineární neuronové síť

Obdobně jako je tomu u nervové soustavy člověka, skládá se i neuronová síť z formálních neuronů, které jsou propojeny tak, že výstup určitého neuronu je vstupem jednoho nebo více jiných neuronů. Počet neuronů a jejich propojení určuje architekturu neboli topologii sítě. Neurony v síti dělíme na vstupní, pracovní (skryté, mezilehlé) a výstupní. Šíření a zpracování informace v síti je umožněno změnou stavů neuronů.

### Režimy práce neuronové sítě

U neuronových sítí jsou tři režimy práce (tzv. dynamiky):

- **organizační** - popisuje topologii, tj. počet neuronů a jejich vzájemné propojení,
- **adaptivní** - popisuje průběh učení sítě, tj. změnu synaptických vah po předložení příkladu,
- **aktivní** - popisuje vlastní výpočet, tj. nalezení výsledků (výstupních hodnot všech neuronů).

## Průběh učení (lineární) sítě

Výstupní funkce je definována vzorcem

$$y_j = \sum_{i=0}^n w_{ji} \cdot x_i$$

V průběhu učení předkládáme síti vzory složené ze vstupních hodnot a požadovaných výstupních hodnot. Jestliže označíme  $w_{ji}$  váhu neuronu  $j$  na vstupu  $i$ , pak je cílem adaptace nalézt takové hodnoty synaptických vah  $w_{ji}$ , aby se po naučení vypočítané hodnoty co nejméně lišily od správných hodnot, tj. aby chyba byla minimální.

Na počátku jsou váhy nastaveny na náhodné hodnoty blízké 0. Postupně se mění podle vzorce

$$w_{ji}^{(t+1)} = w_{ji}^{(t)} - \varepsilon \cdot x_{ki} \cdot (y_j - d_{kj})$$

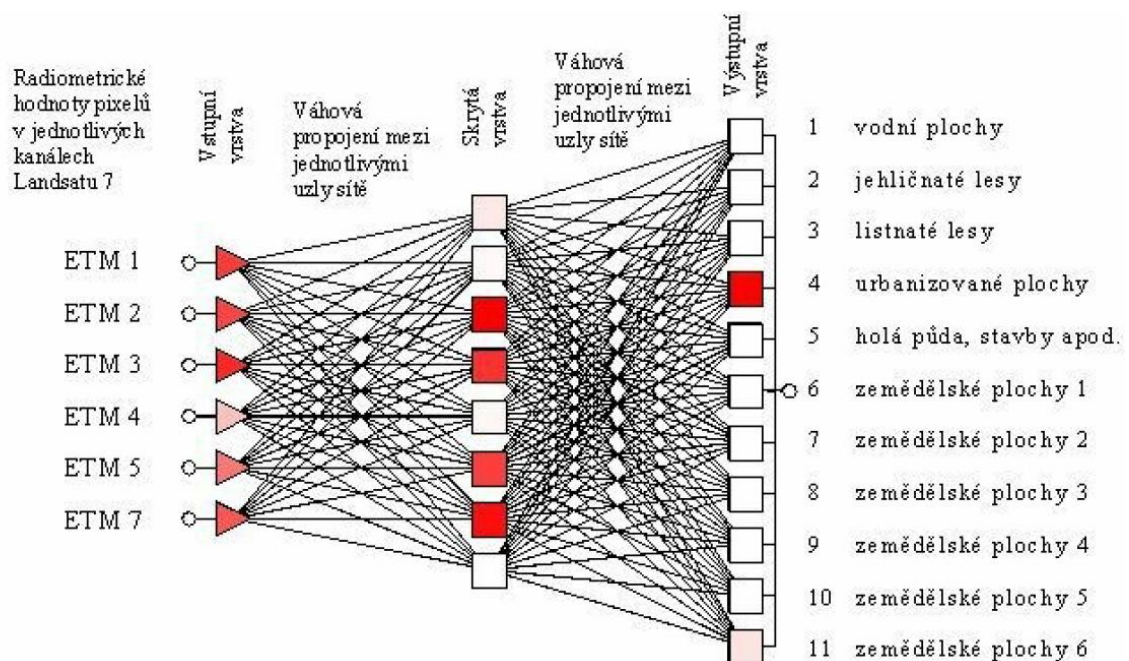
To znamená, že pro každý vzor vždy srovnáváme výstupní hodnotu  $j$ -tého neuronu  $y_j$  s požadovanou hodnotou  $d_{kj}$ , kde  $k$  je číslo vzoru. Výsledný rozdíl  $y_j - d_{kj}$  představuje chybu  $j$ -tého neuronu v kroku  $k$ . Protože chceme, aby chyba výpočtu byla co nejmenší, musíme váhy na každém vstupu neuronu tímto způsobem upravit.

Rozhodující význam má pro průběh učení hodnota  $\varepsilon$ , která se nazývá koeficient učení vah. Definuje, jak rychle systém přijímá nové skutečnosti a zapomíná na staré. Neuronová síť v tomto připomíná chování různých lidí podle jejich povahy: někdo v případě neúspěchu okamžitě mění strategii - hysterický typ odpovídá vyššímu koeficientu učení, jiný nerad mění svá rozhodnutí - konzervativní typ odpovídá nižšímu koeficientu učení. V praktických příkladech se volí koeficient učení zpravidla kolem 0,03 až 0,01, pokud je proces stabilní a počet vstupních proměnných je asi do 10, při menší stabilitě nebo větším počtu proměnných 0,0005 i méně. Pokud zvolíme koeficient příliš vysoký, může se síť stát nestabilní. Koeficient se dá nastavit a měnit pro každý příklad.

Celý proces výpočtu připomíná statistickou metodu regrese, kdy máme  $k$  dispozici body v  $n$ -rozměrném prostoru a prokládáme je přímkou nebo nadrovinou. Rozdíl oproti klasické regresi spočívá právě v tom, že neuronová síť zapomíná staré informace a ze nové pro ni mají větší váhu, tj. systém bude přesněji reagovat na změněné podmínky.

## Klasifikace naměřeného signálu

Statické neuronové sítě dokáží za předpokladu dostatečně robustní struktury vyjádřit libovolnou statickou funkci, tedy funkci, kde výstupní vektory závisí pouze na aktuálně rozpoznávaném vzoru [79]. Tento typ sítí tedy nebere vůbec v úvahu vzory, které s aktuálně rozpoznávaným vzorem souvisí. Zanedbávají tak jeho kontext, časové okolí. V řadě úloh však hraje důležitou roli dynamika, tedy vývoj vstupních vektorů v čase. Neuronové sítě, které dokáží postihnout dynamiku vstupních vektorů, se nazývají dynamické. Dynamické neuronové sítě jsou schopny pracovat jako univerzální simulátory dynamických systémů [80]. Je třeba poznamenat, že dynamické sítě vznikají zejména jako rozšíření a modifikace statických konceptů neuronových sítí, ve kterých je čas zachycen vhodným způsobem.



Obr. 25 Klasifikace neuronovou sítí na příkladu satelitních snímků [81]

Aby byla neuronová síť schopna pracovat s dynamickými vzory, je zapotřebí jí zpřístupnit časové informace. Toho lze dosáhnout několika způsoby:

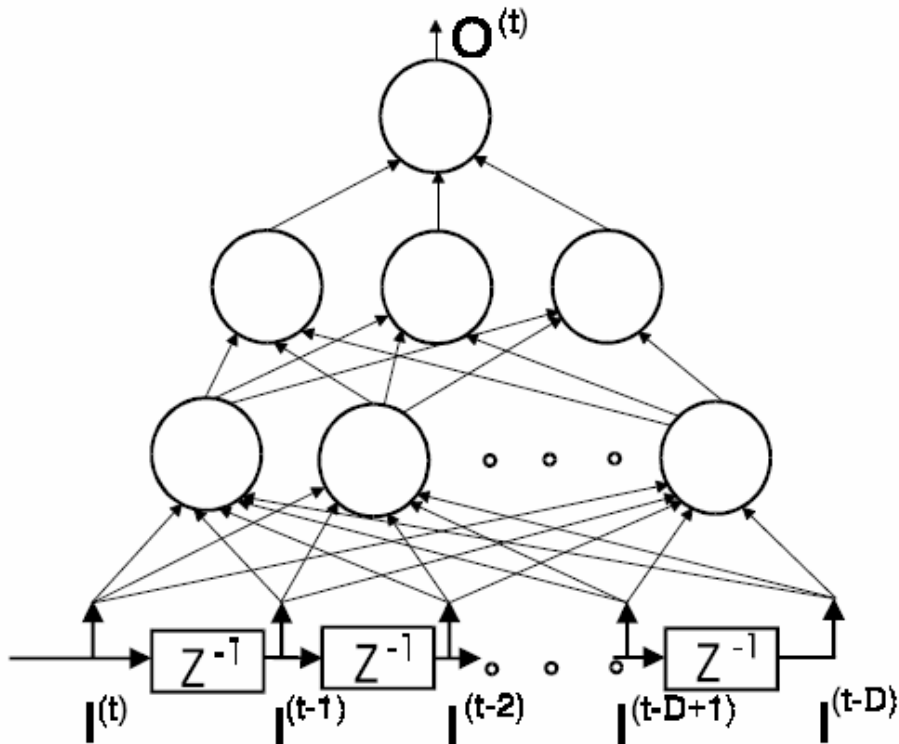
- a) přímým vyjádřením času,
- b) konečným časovým oknem,
- c) zpětnou vazbou.

Ad. a) Přímé vyjádření času zahrnuje rozšíření vstupního vektoru o časovou informaci, na vstupu sítě se pak objeví jak vstupy datové, tak i vstupy vyjadřující polohu zpracovávaných dat v čase.

Ad. b) Princip konečného časového okna spočívá v zapamatování si i předcházejících vstupních datových vektorů a jejich předkládání sítě současně s aktuálním vstupem.

Ad. c) U zpětné vazby se vlastně jedná o zapamatování si vnitřního stavu neuronové sítě, který je pak předáván na vstup současně s předkládanými daty.

Vidíme, že k jednomu vstupu můžeme mít více výstupů v závislosti na časovém *kontextu* jednotlivých asociací. Jinými slovy: o výstupu sítě by neměl rozhodovat jen vstupní signál, ale i informace o historii předkládaných vzorů. Vícevrstvá síť by měla být rozšířena o možnost reprezentovat časový kontext, aby tak mohla na základě předloženého vstupu lépe rozhodnout o výstupu. Nejjednodušší řešení nabízí tzv. *neuronová síť s časovým posunem* (angl. *Time Delay Neural Network*) (obr. 24), jež v podstatě poskytuje vícevrstvé síti "okno do minulosti", tj. kromě momentálního vstupu (v čase  $t$ ) síť "vidí" i vstupy z minulých  $D$  kroků (v časech  $t-1, t-2, \dots, t-D$ ). Tuto síť je možné adaptovat klasickou procedurou zpětného šíření (*backpropagation*), přičemž je důležité zachovat pořadí trénovacích vzorů v trénovací množině [82].

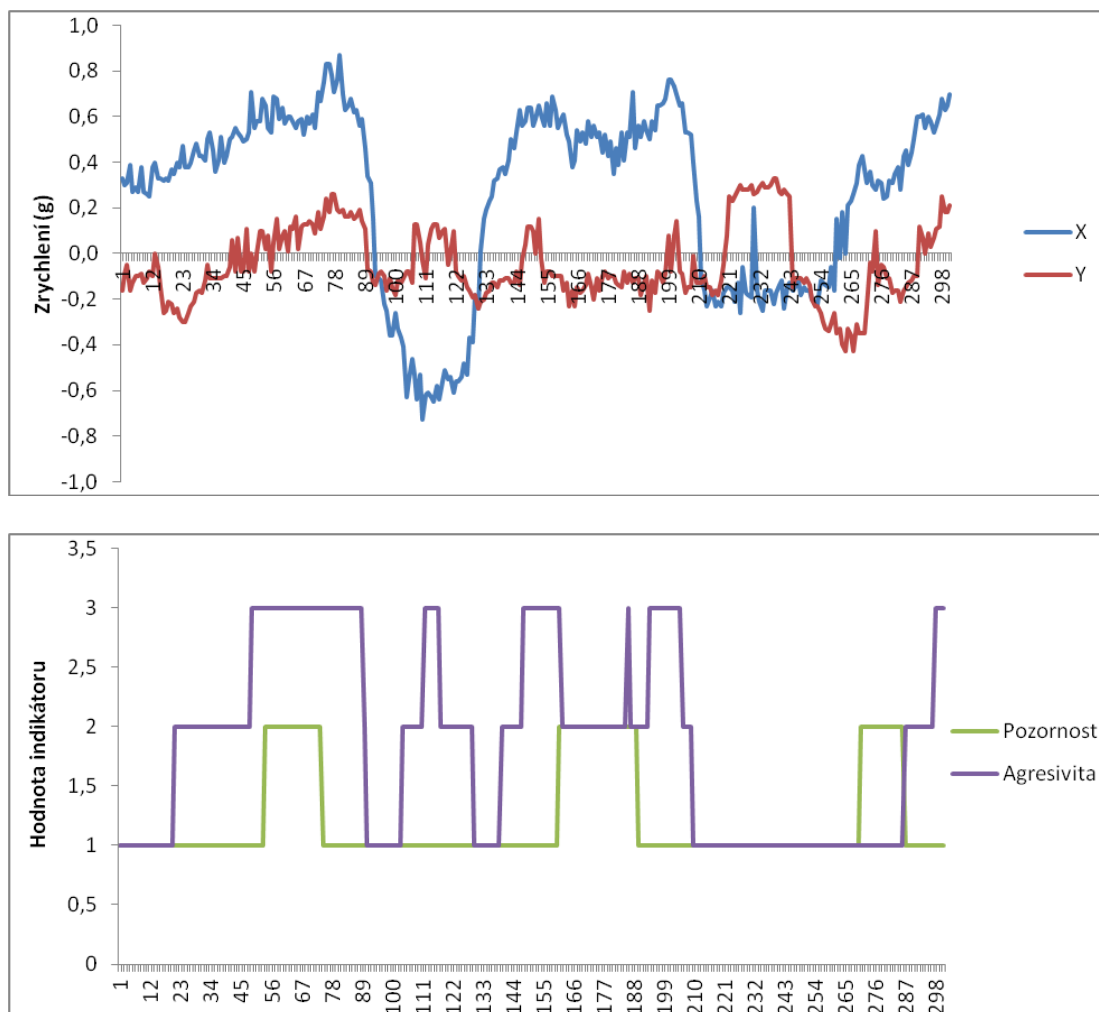


Obr. 26 Architektura neuronové sítě s časovým posunem. Kromě aktuálního prvku časové postupnosti vstupů (v čase  $t$ ), jsou vícevrstvé síti prezentované i vstupy z předešlých  $D$  kroků diskrétního času. Bloky  $Z^{-1}$  jsou zpožděné prvky. [82]

Pokud máme štěstí, tak i takovéto jednoduché rozšíření vícevrstvé architektury může přinést úspěch a neuronová síť s časovým posunem je schopná vedle prostorové struktury postihnout i časovou strukturu ukrytou v datech trénovací množiny. Výhodou této architektury je poměrná jednoduchost a možnost adaptace sítě klasickou procedurou backpropagation. Nevýhodou však je, že způsob reprezentace časového kontextu nemusí být dostatečně silný na zvládnutí časové struktury trénovacích dat. Je třeba podotknout, že i v případě, kdy je tato architektura schopná reprezentovat časově-prostorovou strukturu dat, není jednoduché pouze na základě trénovací množiny správně odhadnout délku  $D$  "okna do minulosti". Navzdory tomu našla tato architektura uplatnění v mnohých oblastech pracujících s časově-prostorovými strukturami, například v robotice, rozpoznávání řeči atd.

## Hledání nejvhodnější sítě

Trénovací množina byla složena ze záznamu jízd osmi řidičů, celkem 8114 dvojic hodnot příčného a podélného zrychlení. Stanovil jsem faktory chování řidiče - snížení pozornosti, které je u začínajících řidičů způsobené samotným ovládním vozidla nebo u běžných řidičů je důsledkem vykonávání přídatné činnosti, únavou atd. Druhým faktorem chování řidiče je agresivita. Výskyt těchto faktorů je klasifikován ve třech úrovních - nízký, střední a vysoký. Hledání nejvhodnější neuronové sítě probíhalo v software Statistica. Program při učení sítě (mimo nastavování váhových vektorů) zkouší různé druhy přechodových funkcí. Rozhodující parametr při klasifikaci časové řady, tedy počet vstupních neuronů zůstává na uživateli. Pro nalezení optimální varianty jsem testoval několik variant počtů vstupních neuronů v kombinaci s počtem neuronů ve skryté vrstvě. Vstupní soubor byl pro učení rozdělen takto: 70% samotné učení, 15% testování, 15% validace. Ve výsledné tabulce uvádím hodnoty kvality sítě při validaci. Pro informaci jsou uvedeny ještě struktura sítě a přechodové funkce neuronů ve skryté a výstupní vrstvě.



Obr. 27 Ukázka dat pro učení neuronové sítě

Na obr. 27 je zobrazena část naměřených dat a hodnoty indikátorů (300 hodnot z celkových 8114), které jsem použil pro učení neuronové sítě. V druhé části obrázku jsou hodnoty indikátoru uvedeny číselně od 1 do 3. Při učení sítě jsem použil taktéž třístupňovou škálu, ale s označením nízký, střední a vysoký.

Následující dvě tabulky uvádí výsledné hodnoty učení různých topologií neuronových sítí pro indikátory snížení pozornosti a míry agresivity jízdy.

## Snížení pozornosti

Tab. 7 Výsledky učení neuronové sítě pro snížení pozornosti

Počet N ve skryté vrstvě	Počet vstupních neuronů (pro jednu časovou řadu)				
	5	15	20	25	50
3	96,21% MLP 10-3-3 Tanh, Softmax	96,21% MLP 30-3-3 Logistic, Softmax	96,20% MLP 40-3-3 Logistic, Softmax	96,20% MLP 50-3-3 Tanh, Tanh	96,19% MLP 100-3-3 Logistic, Softmax
5	96,21% MLP 10-5-3 Logistic, Tanh	96,21% MLP 30-5-3 Logistic, Softmax	96,21% MLP 40-5-3 Logistic, Softmax	96,12% MLP 50-5-3 Tanh, Logistic	96,19% MLP 100-5-3 Logistic, Tanh
8	96,21% MLP 10-8-3 Tanh, Softmax	96,21% MLP 30-8-3 Tanh, Softmax	96,21% MLP 40-8-3 Logistic, Softmax	96,12% MLP 50-8-3 Identity, Tanh	96,27% MLP 100-8-3 Logistic, Exponential
12	96,21% MLP 10-12-3 Logistic, Softmax	96,21% MLP 30-12-3 Exponential, Softmax	96,12% MLP 40-12-3 Tanh, Logistic	96,12% MLP 50-12-3 Identity, Softmax	96,37% MLP 100-12-3 Exponential, Logistic
15	96,21% MLP 10-15-3 Exponential, Softmax	96,21% MLP 30-15-3 Tanh, Softmax	96,12% MLP 40-15-3 Exponential, Softmax	96,20% MLP 50-15-3 Tanh, Softmax	96,61% MLP 100-15-3 Logistic, Softmax

## Míra agresivity jízdy

Tab. 8 Výsledky učení neuronové sítě pro míru agresivity jízdy

Počet N ve skryté vrstvě	Počet vstupních neuronů (pro jednu časovou řadu)				
	5	15	20	25	50
3	90,53% MLP 10-3-3 Tanh, Softmax	90,93% MLP 30-3-3 Tanh, Softmax	90,51% MLP 40-3-3 Logistic, Softmax	90,51% MLP 50-3-3 Logistic, Softmax	90,57% MLP 100-3-3 Logistic, Softmax
5	90,20% MLP 10-5-3 Exponential, Softmax	91,18% MLP 30-5-3 Logistic, Softmax	90,51% MLP 40-5-3 Logistic, Softmax	91,25% MLP 50-5-3 Logistic, Logistic	90,21% MLP 100-5-3 Logistic, Tanh
8	90,94% MLP 10-8-3 Tanh, Softmax	91,02% MLP 30-8-3 Tanh, Softmax	90,43% MLP 40-8-3 Tanh, Exponential	91,17% MLP 50-8-3 Identity, Tanh	90,07% MLP 100-8-3 Tanh, Softmax
12	90,78% MLP 10-12-3 Logistic, Softmax	91,02% MLP 30-12-3 Tanh, Softmax	91,09% MLP 40-12-3 Logistic, Softmax	90,75% MLP 50-12-3 Tanh, Softmax	90,17% MLP 100-12-3 Exponential, Logistic
15	90,78% MLP 10-15-3 Tanh, Softmax	91,26% MLP 30-15-3 Tanh, Softmax	91,34% MLP 40-15-3 Logistic, Softmax	90,92% MLP 50-15-3 Tanh, Softmax	91,23% MLP 100-15-3 Logistic, Tanh



### **Vyhodnocení učení neuronové sítě**

Neuronová síť pro vyhodnocení indikátoru snížení pozornosti dosahuje přesnost při validaci 96,61% (MLP 100-15-3). Síť pro klasifikaci míry agresivity dosahuje 91,34% (MLP 40-15-3) přesných odhadů při validaci. Na základě těchto hodnot lze obě sítě označit za velmi kvalitní pro klasifikaci naměřených dat.

## 14 ZÁVĚR (SHRnutí, PŘÍNOSY, DOPORUČENÍ, FACIT)

### Shrnutí

V úvodních odstavcích jsem představil cíl práce, motivaci a nastínil strukturu, pomocí které je práce koncipována. Část práce věnovanou teoretickým poznatkům vztahujícím se k řešené problematice jsem zahájil popisem teorií vzniku dopravních nehod a jejich vývojem. Následně jsem poukázal na důležitost řidiče v soustavě řidič-vozidlo-okolí, která je základním popisem procesů probíhajících v dopravě. Popsal jsem proces řízení vozidla a jeho členění. V návaznosti na to jsem uvedl model chování a zpracování informace řidičem, který je klíčový pro pochopení vzniku chyb při řízení. Protože při vzniku nehody působí zpravidla vždy více faktorů současně, uvedl jsem takové, které jsou statisticky nejčastější. Dále jsem uvedl některé vlivy jízdních asistujících systémů, které je třeba uvažovat při návrhu konceptu asistujícího systému. Následně je uveden komplexnější popis řidiče v podobě Optimal Control modelu, který nahrazuje lidského operátora popisem regulátoru.

Na teoretické pozadí navazuje kapitola, ve které jsou dány důvody volby příčného a podélného zrychlení vozidla jako sledovaných veličin pro hodnocení chování řidiče. Jedním z důvodů bylo, že tento způsob hodnocení chování řidiče není doposud v odborné literatuře výstižně popsán a není ani nijak chráněn patentem. V chování řidiče jsem se soustředil na dva parametry, a to na pokles pozornosti a míru agresivity jízdy. Před přípravou experimentů jsem specifikoval požadavky na vlastnosti konceptu dle metodiky Engineering Design Science. Následuje část, ve které popisují přípravu experimentů. Oba experimenty byly provedeny na výcvikové ploše Automotoklubu ve Třemošné u Plzně. Celkem se experimentů účastnilo osmnáct řidičů, z toho bylo pět žáků autoškoly, kteří projížděli vyznačenou trať pod dohledem instruktora. Podoba trati byla ovlivněna hypotézami, které jsem zformuloval na základě poznatků popsaných v úvodních kapitolách mé práce. Očekával jsem například specificky rozdílný průjezd žáků autoškoly a běžných řidičů (řidič s osvojeným ovládním vozidla), rozdílný průjezd běžného řidiče bez a s přídatnou činností ve formě telefonování, dále změny při průjezdu vyšší rychlostí. První experiment měl za úkol prakticky ověřit poznatky z dostupných odborných zdrojů, zjistit možnosti měřicí techniky a především vypovídací schopnost naměřených dat, což bylo naplněno. Druhý experiment byl

zaměřen podobou tratě na průběh brzdění. Naměřená data však nabízela možnost analyzovat i jiné faktory. Oba experimenty potvrdily výraznou důležitost řidiče v soustavě řidič-vozidlo-okolí a potvrdily zformulované hypotézy. Dále naznačily, jaké prvky v průběhu příčného a podélného zrychlení lze použít jako indikátory specifických projevů chování řidiče. V dalším jsem svoji pozornost směřoval právě k těmto jednotlivým prvkům v naměřených datech. Bylo třeba stanovit vhodný způsob zpracování a hodnocení měřených dat tak, aby výstupem byla informace o snížení pozornosti řidiče či míře agresivity jízdy. Vzhledem k charakteristice měřených dat a podobě indikátorů specifických projevů chování řidiče jsem zvolil použití neuronových sítí. V této práci jsem uvedl jejich krátký obecný popis a následně jsem popsal přípravu dat pro učení neuronové sítě, volbu vhodné topologie sítě a dosažené výsledky učení sítě. Připravoval jsem jednu síť pro vyhodnocení poklesu pozornosti řidiče a odlišnou pro posouzení míry agresivity jízdy. Při učení neuronové sítě jsem vyzkoušel třicet variant pro každou z nich. Z dosažených výsledků je patrné, že specifické indikátory v průběhu příčného a podélného zrychlení vozidla lze využít v kombinaci s klasifikací pomocí vhodně naučené neuronové sítě k odhalování přechodně variabilních faktorů v chování řidiče.

## **Přínosy**

Tato disertační práce navazuje na rigorózní práci publikovanou v roce 2012. Rigorózní teze konstatovaly možnost využití analýzy příčného a podélného zrychlení vozidla pro stanovení míry poklesu pozornosti řidiče.

Teoretickým přínosem je vytvoření metodiky pro odhalování specifických změn v chování řidiče. Metodika vychází z principu analýzy příčného a podélného zrychlení vozidla při jízdě. Při ověření této metodiky byla využita skupina řidičů s rozdílnými řidičskými zkušenostmi. Při dvou provedených experimentech bylo prokázáno, jaké ze specifických změn v chování lze vyhodnocovat ze záznamu zrychlení vozidla. Využití neuronových sítí zdůrazňuje jejich vhodnost pro klasifikaci obdobných měřených veličin. Dalším z teoretických přínosů je sumarizace poznatků relevantních k návrhu jízdního asistujícího systému.

Praktickým přínosem disertační práce je možnost použití uvedené metodiky přímo při návrhu asistenčního systému. Samozřejmě se nabízí i možnost transferu know-how do jiné oblasti, kde dochází k interakci mezi lidským operátorem a technickým systémem. Aplikace se nemusí omezovat pouze na procesy probíhající kontinuálně.

## Doporučení

Tato práce byla zaměřena na návrh funkčního principu asistujícího systému řidiče. V kapitole 12 „Specifikace požadavků na vlastnosti konceptu“ jsem definoval požadavky týkající se i jiných skupin vlastností z průběhu životního cyklu technického systému. Po ověření navrhovaného funkčního principu experimenty a způsobu klasifikace dat bych chtěl zdůraznit několik vlastností pro konstrukci technického systému založeného na zkoumaném funkčním principu.

Domnívám se, že je třeba uvažovat náročnost kladenou na výpočetní techniku při vyhodnocování dat pomocí neuronových sítí. Ta se odrazí v požadavku na zajištění dostatečného napájení a také vstupu měřených dat od akcelerometru. Přikláněl bych se k umístění akcelerometru spíše blíže k těžišti vozidla. Důležitá je také kompatibilita s ostatními systémy vozidla tak, aby i ostatní systémy mohly využívat výstup z navrhovaného konceptu. Stejně důležitá je i rychlost vyhodnocení dat z akcelerometru. Další z vlastností, kterou bych zdůraznil, je požadavek na provedení a formu způsobu varování řidiče. Vhodně zvolená strategie varování řidiče je rozhodující pro akceptaci výstupů technického systému řidičem.

Nasazení jízdního asistujícího systému založeného na popsaném principu vyhodnocování specifických prvků v chování řidiče může přispět k snížení rizika, které silniční doprava pro účastníky představuje. Tato práce může jako zdroj informací a poznatků sloužit inženýrům z automobilového průmyslu, kteří se zabývají návrhem asistujících mechatronických systémů. Může však napomoci i vývojovým pracovníkům a konstruktérům jiných technických systémů, které řidiče ovlivňují některou jejich funkcí. Stejně tak může tato práce podpořit činnost pracovníků plánování a řízení dopravy, učitelů autoškoly a policistů. Využití poznatků zmíněných v textu je však obecně přenositelné všude tam, kde se vyskytuje interakce lidského operátora s technickým systémem a je třeba tuto vazbu nějakým způsobem kontinuálně vyhodnocovat. Další možnosti výzkumných aktivit v této problematice se nabízí zaměřením se na průběh příčného a podélného zrychlení v podmínkách reálného provozu nebo analýzou těchto indikátorů chování u vybraných skupin řidičů, například u řidičů z povolání, nebo mladých řidičů.

## Facit

V této práci jsem popsal část svého výzkumu, jehož cílem bylo ověřit možnosti odhalování přechodně variabilních faktorů v chování řidiče, a na základě tohoto navrhnout koncept jízdního asistujícího systému řidiče.

Při zpracování uvedeného tématu jsem postupoval podle požadavků kladených na tvorbu disertační práce. Analyzoval jsem současný stav poznání v oblastech vzniku dopravních nehod, dopravní psychologie a současných modelů popisujících chování řidiče. Dále jsem se úžeji zaměřil na volbu vhodné metody a provedení experimentů. Pomocí popsaných vědeckých metod byla ověřena nově formulovaná metodika, která představuje inovativní přístup k odhalování specifických změn v chování řidiče.

Mám za to, že v tomto směru prokázala tato disertační práce oprávněnost aplikování uvedených principů v oblasti návrhu jízdního asistujícího systému.

Správnost rozhodnutí zaměřit tuto práci právě na zkoumání možností odhalování přechodně variabilních faktorů v chování řidiče mi potvrdilo udělení dvouletého stipendia bavorským ministerstvem pro vědu, výzkum a umění (Das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst), které jsem pobíral v letech 2010 až 2012. Kvalita výstupu této práce byla ohodnocena na IEEE - Intelligent Vehicles Symposium v Madridu v roce 2012, kde byl příspěvek popisující výstupy této práce zvolen mezi deset nejlepších.

## Literatura

- [1] Méně mrtvých na silnicích, dobrý nebo málo dobrý výsledek. Česká televize: Leden 2012 [cit. březen 2012]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ceskatelevize.cz/ct24/domaci/160204-mene-mrtvych-na-silnicich-dobry-nebo-malo-dobry-vysledek/>>.
- [2] Gevatter, H. J. Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik im Automobil: Fahrzeugelektronik, Fahrzeugmechatronik. Springer Berlin 2006. ISBN 3-540-21205-1.
- [3] Příbyl, P. Svítek, M. Inteligentní dopravní systémy. BEN Praha 2002. ISBN 80-7300-029-6.
- [4] Plíhal, J.; Ovčáček, J.; Pípa, M. Vozidlové systémy pro zvýšení bezpečnosti. Centrum dopravního výzkumu: červen 2009[cit. březen 2010]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.cdv.cz/text/oblasti/telemat/vozidlove-systemy.htm>>.
- [5] Marshall, R. L. Unfallgeschehen und Verkehrssicherheitsarbeit in der Veeinigten Staaten von Amerika. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 34, 1988.
- [6] Nader, R. Unsafe at any speed. New York: Grosman, 1965.
- [7] Ach, N. Psychologie und technik bei Bekämpfung von Auto-Unfällen. Industrielle Psychotechnik, 6, 1929.
- [8] Beierle, B. Psychologische und technische Analyse von Lkw-Verkehrsunfällen. Wiesbaden, Deutscher Universitäts-Verlag, 1995.
- [9] Marbe, K. Über Unfallversicherung und Psychotechnik. Praktische psychologie, 4, 1923.
- [10] Echterhof, W. Verkehrspsychologie: Entwicklung, Themen, Resultate. Köln, TÜV Rheinland, 1991.
- [11] Undeutsch, U. Persönlichkeit und Vorkommenshäufigkeit der „Unfälle“ unter den Kraftfahrern. Psychologische Impulse für die Verkehrssicherheit Beiträge von Udo Undeutsch. Köln TÜV Rheinland, 1977.
- [12] Zimmer, A.; Dahmen-Zimmer, K. Situationsbezogene Sicherheitskenngrößen im Stassenverkehr. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Heft 78, Bergisch Gladbach, 1997.
- [13] Drösler, J. Zur Methodik der Verkehrspsychologie. Huber, Bern, 1965.
- [14] Hacker, W. Allgemeine Arbeitspsychologie, Bern, Huber, 1998.
- [15] Reason, J. Menschliche Versagen: Psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien. Heidelberg, Spektrum, 1994.
- [16] Mittenecker, E. Methoden und Ergebnisse der psychologischen Unfallforschung, Wien, Deuticke, 1962.
- [17] Böhm, H.; Schneider, W. Verkehrsteilnehmergruppen und Verkehrserziehungsmittel. Forschungsgemeinschaft „Der Mensch im Verkehr“, Köln, 1965.
- [18] Kemp, R. N.; Nelson, G. C. A preliminary report on an on-the-spot-survey accident, Crowthorne, TRRL 1972.
- [19] Shinar, D.; McDonald, S., The interaction between driver mental and physical condition and errors causing traffic accident. Journal of Safety research, 1, 1978.
- [20] Otte, D.; Kühnel, A. Erhebung am Unfallort, Bundesanstalt für Starssenwesen, Unfall- und Verkehrssicherheitsforschung Strassenverkehr, Heft 37, Köln, 1982.
- [21] Salusjärvi, M. Road accident investigation teams. Developing the on-the-spot, in-depth-case study methodology, Technical research Centre of Finland, Espoo, 1989.

- [22] Wierwile, W. W.; Tijerina, L. Eine Analyse von Unfallberichten als ein Mittel zur Bestimmung von Problemen, die durch die Verteilung der visuellen Aufmerksamkeit und der visuellen Belastung innerhalb des Fahrzeug verursacht wird, *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 41, 1995.
- [23] Klebersberg, D. *Verkehrspsychologie*, Springer, Berlin, 1982.
- [24] Lajunen, T.; Parker, D. Summala, H., *The Manchester Driver Behavioral Questionnaire: a cross cultural study. Accident Analysis and Prevention*, 2004.
- [25] Rumar, K. *The rule of perceptual and cognitive filters in observed behavioral. Human behavioral and Traffic Safety*, New York, Plenum press, 1985.
- [26] Treat J. *A Study of Pre-crash Factors Involved in Traffic Accidents, HSRI Research Review*, Volume 10, number 6, 1977.
- [27] Wahlberg; Kudla; Slaone. *Motor Vehicle Collisions*, 2003.
- [28] Erke, H. *Vorgaben an die Verkehrsplanung. Anforderungen an der Menschen aus Sicht der ökologischen Psychologie*. Enke, Stuttgart, 1993.
- [29] Rasmussen, J. *Skills, rules and knowledge; signals, signs, and symbols and the other distruction in human performance model. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*. 1983.
- [30] Štikar, J.; Hoskovec, J.; Šmolíková, J. *Psychologická prevence nehod. (Teorie a praxe)*, Praha, 2006.
- [31] Wickens, Ch. D. *Engineering psychology and human performance. Second Edition*. New York, Harper Collins, 1992.
- [32] GDV. *Müdigkeit eine der wichtigsten Unfallursachen – technische Warnsysteme noch wenig ausgereift*, GDV: 2000. Dostupné na World Wide Web: <[www.gdv.de/presseservis/14917.htm](http://www.gdv.de/presseservis/14917.htm)>.
- [33] Gründl, Markus. *Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen*, Regensburg, 2005.
- [34] *Wake Up*. Dostupné na World Wide Web: <[www.aaafoundation.org/pdf/wakeup.pdf](http://www.aaafoundation.org/pdf/wakeup.pdf)>.
- [35] Marberger, C.; Wenzel, G. *System for offective assessment of driver vigilance and warning according to traffic risk estimation, Driver Warning Concept*, 2002. Dostupné na World Wide Web: <[www.awakeeu.org/pdf/awake\\_d5\\_1.pdf](http://www.awakeeu.org/pdf/awake_d5_1.pdf)>.
- [36] Färber, B.; Färber B. *Auswirkungen neuer Informationstechnologien auf das Fahrerverhalten. Berichte der Bundesanstalt für Starssenwesen, Heft M 149, Bergische Gladbach*, 2003.
- [37] Haller, R. *Fahrer-Assistenz versus Fahrer-Bevormundung: Wie erreicht man, dass der Fahrer Herr der Situation bleib. Kraftfahrzeugführung*, Springer, 2001.
- [38] Sheridan, T. B. *Telerobotics, automation and human supervisory control*. Cambridge Mass, 1992.
- [39] Yerkes, R. M.; Dodson J. D. *The relation of strength of stimulus to rapidity of habit information. Journal of Comparative and Neurological Psychology*, 18, 1908.
- [40] Zimmer, A. *Wie intelligent darf/muss ein Auto sein? Anmerkung aus ingenierspsychologischer Sicht, Kraftfahrzeugführung*, Berlin, Springer 2001.
- [41] Klebersberg, D. *Das Model der subjektiven and objektiven sicherheit. Schweizerische Zeitschrift für Psychologie*, 4, 1977.
- [42] Wilde, G. J. S. *The theory of risk homeostasis: Implications for safety and health. Risk Analysis*, 4, 1982.

- [43] Pfafferott, I.; Huguenin, D. Adaptation nach Einführung von Sichrheitsmassnahmen – Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus einer OECD-Studie. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 73, 1991.
- [44] Adams, J. A. A closed loop theory of motor learning. Journal of motor behavioral, 3, 1971.
- [45] Mc Ruer, D. T.; Jex, H. R. A review of quasi-linear pilot models. IEEE Transaction an human factor in electronics, 1967.
- [46] Mc Ruer, D. T. Human dynamics in man-machine system. Automatica, 16, 1980.
- [47] Mc Ruer, D. T. Krendel, E. S. The human operator as a servo system element, Journal of the Franklin Institut, 1959.
- [48] Hess, R. A. Prediction of pilot opinion using optimal pilot model, Human factors, 19, 1977.
- [49] Fracker, M. L.; Wickens, C. D. Ressourcen, confusion and compatibility in dual task axis tracking: Displays, control and dynamics. Journal of experimental psychology: Human perception and performance, 15, 1989.
- [50] Baron, S.; Kleinman, D. L.; Levinson, W. H. An Optimal Control Model of Human Response – Part II: Prediction of Human Performance in a Complex Task, Automatica, 6, 1970.
- [51] Baron, S. Pilot control. Human factors in aviation, New York, 1988.
- [52] Levison, W. H. The optimal control model for manually controlled system. Application of human performance model to system design, New York, 1989.
- [53] Baty, D. L. Human transinformation rates during ont-to-four axis tracking. Proceeding of the 7<sup>th</sup> annual conference on manual control (NASA SP-281), Washington, 1971.
- [54] Pashler, H. E. The psychology of attention. Cambrige, 1998.
- [55] Elkind, J. I.; Sprague, L. T. Transmission of information in simple manual control system. IRE Transaction on human factors in electronics, HFE 2, 1961.
- [56] Fitts, P. M.; Posner, M. A. Human performance, Pacific Palisades, 1967.
- [57] Pew, R. W. Human perceptual motor performance. Human information processing, Hillsdale, 1974.
- [58] Debecker, J.; Desmendt, R. Maximum capacity for sequential one-bit auditory decision. Journal of experimental psychology, 83, 1970.
- [59] Wickens, C. D. Engineering psychology and human performance 2<sup>nd</sup> ed. New Jersey, 1992.
- [60] Rok 2010: Úspěch, i když ..., UAMK: 2011. Dostupné na World Wide Web:<[http://www.uamk.cz/cs/index.php?option=com\\_content&view=article&id=307:rok-2010-nehodovost&catid=3:newsflash&Itemid=50](http://www.uamk.cz/cs/index.php?option=com_content&view=article&id=307:rok-2010-nehodovost&catid=3:newsflash&Itemid=50)>.
- [61] Theis, F.; Bautier, Ph. Verkehrssicherheit in der EU. Fast 43000 Todesopfer im Strassenverkehr 1998, Eurostat Pressestelle, Pressemitteilung Nr. 76/2000. 2000
- [62] Bílá kniha – Evropská dopravní politika do roku 2010. Evropská komise, Luxemburg, 2001.
- [63] Gietinger, K. Der tod hat einen Motor. Der Zeit, 4/2003.
- [64] NHTSA, Virginia Tech Transportation Institute. Breakthrough Research on Real-Word Driver Behavioral Released, 2006.
- [65] Nasoz, F.; Alvarez, K.; Lisetti Ch. L.; Finkelstein, N. Emotion recognition from physiological signals using wireless sensors for presence tchnologies, Springer, 2003.
- [66] Zystra, B.; Tsimhoni, O.; Green, P.; Mayer, K. Driving performance for dialling, radio tuning, and destination entry while driving staight roads. Technical Report Technical UMTRI-2003-35, 2003.
- [67] Jamson, A. H.; Merat, N. Surrogate in-vehicle information system and drive behavioral: Effects of visual and cognitive load in simulated rural driving. Traffic Psychology and Behaviour, 8, 2005.



- [68] Alm, H.; Nilsson, L. Changes in driver behavioural as a function of handsfree mobile phone – a simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 26, 1994.
- [69] Brookhuis, K.; Vries, G. D.; Waard, D. D. The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 23, 1991.
- [70] Dragutinovic, N.; Twisk, D. Use of mobile phones while driving – effects on road safety. Technical Report SWOV, 2006.
- [71] Forsman, A.; Nilsson, L.; Törnros, J.; Östlund, J. Effects of cognitive and visual load in real and simulated driving. Technical Report VTI, 2006.
- [72] Verwey, W.; Veltman, J. Detecting short period of elevated workload. A comparison of nine workload assessment techniques. *Journal of experimental psychology*, 2, 1996.
- [73] Macdonald, W.; Hoffmann, E. Review of relationships between steering wheel reversal rate and driving task demand. *Human Factors*, 22, 1980
- [74] Nakayama, O.; Futami, T.; Nakamura, T.; Boer, E. Development of steering entropy method for evaluating driver workload. Society of Automotive Engineers Technical Paper Series: 1999-01-0892, 1999.
- [75] Tornros, J.; Bolling, A. Mobile phone use – effects of handheld and hands-free phones on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 37, 2005
- [76] Poitschke, T.; Laquai, F.; Rigoll, G. Agent-Based Driver Abnormality Estimation, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2009.
- [77] Hosnedl, S. Podklady z přednášek předmětu Systémové navrhování technických produktů, KKS/ZKM, Prof. S. Hosnedl, ZČU v Plzni, 2011.
- [78] Teda, J. Inteligentní ekonomické systémy, Citace 12. 3. 2012. Dostupné na World Wide Web: <<http://programujte.com/clanek/2005090201-inteligentni-ekonomicke-systemy-i>>.
- [79] Neuronové sítě. Citace 12. 3. 2012. Dostupné na World Wide Web: <[http://majdulenka.webzdarma.cz/UMI/Neuronove\\_site.htm](http://majdulenka.webzdarma.cz/UMI/Neuronove_site.htm)>.
- [80] Neuronové sítě, Citace 12. 3. 2012. Dostupné na World Wide Web: <[www.webpark.cz](http://www.webpark.cz)>.
- [81] Lantora J., Vašková Z., Neuronové sítě v DPZ, Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2006.
- [82] Volná, E. Neuronové sítě 2. Ostravská univerzita v Ostravě, 2008.
- [83] Náповěda programu Statistica, hesla: neuronové sítě, učení neuronových sítí, přechodové funkce neuronů, 2012.
- [84] ČSN ISO 7144. Dokumentace – Formální úprava disertací a podobných dokumentů, Český normalizační institut, 1997.