



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MĚŘENÍ PARAMETRŮ LIDSKÉHO OPERÁTORA

MEASURING PARAMETERS OF HUMAN OPERATOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lucia Becová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miroslav Jirgl, Ph.D.

BRNO 2019

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Studentka: Bc. Lucia Becová

ID: 164241

Ročník: 2

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Měření parametrů lidského operátora

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je zdokonalení a rozšíření dostupného simulátoru řízení vozidla implementovaného v prostředí MATLAB/Simulink pro potřeby měření a vyhodnocení reakcí lidského operátora – řidiče, následná implementace vlastních scénářů, sběr dat a jejich vyhodnocení.

1. Prostudujte problematiku hodnocení parametrů lidského operátora a používaných modelů chování.
2. Vyjděte z dostupného simulátoru řízení vozidla v MATLAB/Simulink a upravte jej dle aktuálních potřeb pro možnost záznamu dat z testování řidičů.
3. Navrhněte a implementujte možné scénáře pro účely měření a hodnocení parametrů lidského operátora – řidiče a realizujte vhodné rozhraní pro jejich ovládání.
4. Proveďte základní měření reakcí řidiče na vybrané podněty dle navržených scénářů.
5. Na vybraném scénáři otestujte sadu řidičů a vyhodnoťte jejich parametry.
6. Diskutujte získané výsledky a možnosti jejich využití.
7. Sepište diplomovou práci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

HAVLÍKOVÁ, Marie. Diagnostika systémů s lidským operátorem. Brno, 2008. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 13.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Jirgl, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto práca sa zameriava na vyhodnotenie parametrov ľudského operátora ako vodiča simulátora vozidla. V prvej časti sa práca zaoberá skúmaním hodnotenia parametrov ľudského operátora. V druhej časti práce je návrh rôznych scenárov zameraných na konkrétnu oblasť merania. Na záver sa práca sústreďuje na spracovanie a vyhodnotenie nameraných dát, získaných od testovaných vodičov.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

Ľudský regulátor, simulátor vozidla, scéna, reakcia, vodič, ľudský model

ABSTRACT

This work focuses on evaluating the parameters of the human operator as the driver of the vehicle simulator. In the first part, the thesis focuses on the examination of human operator parameters evaluation. In the second part of the thesis is a proposal of various scenarios focused on a specific area of measurement. At the end, the work focuses on the processing and evaluation of measured data obtained from the drivers tested.

KEYWORDS

Human regulator, vehicle simulator, scene, reaction, driver, human model

BECOVÁ, Lucia. *Měření parametrů lidského operátora*. Brno, 2019, 90 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedúci práce: Ing. Miroslav Jirgl, Ph.D

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som svoju diplomovú prácu na tému „Měření parametrů lidského operátora“ vypracovala samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autorka uvedenej diplomovej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušila autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahla nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomá následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autorky

POĎAKOVANIE

Rada by som poďakovala vedúcemu diplomové práce Ing. Miroslavovi Jirglovi, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy ku vypracovaniu práce.

Brno

.....

podpis autorky

Obsah

Úvod	12
1 Hodnotenie parametrov ľudského operátora	13
1.1 Problematika hodnotenia ľudského operátora	13
1.2 Človek - regulátor	13
1.2.1 Biologické regulačné obvody	14
1.2.2 Regulátor - vodič osobného automobilu	15
1.3 Modely chovania	15
1.3.1 Crossover model	16
1.3.2 Gross model	18
1.3.3 Precision model	19
1.3.4 Hranice ľudského operátora	21
2 Simulátor	23
2.1 Štruktúra blokov Simulink	23
2.1.1 Axes/Buttons selection	23
2.1.2 Car_system	24
2.1.3 VR Simulator	25
2.2 Dynamika vozidla	26
3 Scény	27
3.1 Reakcia na STOP	27
3.2 Reakcia na srnku	28
3.3 Zmena pozadia	29
3.4 Sledovanie vozidla	31
3.4.1 Ovládanie pohybu	32
3.4.2 Plánovanie trasy	33
3.4.3 Zber získaných dát	35
3.5 Rýchlostné profily	35
3.6 Sledovanie čiary	37
3.7 GUI	39
3.7.1 Manuál pre ovládanie GUI	41
3.7.2 GUI v Simulinku	43
3.8 Zbieranie dát	44
4 Merania a testy	46
4.1 Postup testovania vodičov	46
4.1.1 Scéna zmena pozadia	47

4.2	Parametre testovaných vodičov	47
4.3	Identifikácia parametrov ľudského operátora	48
4.4	Vyhodnotenie kvality regulácie	52
5	Výsledky	53
5.1	Scéna sledovania vozidla	53
5.2	Scéna so stopkou	55
5.3	Scéna so srnkou	56
5.4	Scéna sleduj čiaru - bez zobrazenia čiary	58
5.4.1	Reálna odozva vodičov na zmenu čiary - výchylka volantu . . .	58
5.4.2	Kvalita regulácie	62
5.4.3	Identifikované parametre - Precission model	68
5.5	Scéna rýchlostné profily	71
5.6	Scéna sleduj čiaru - so zobrazenou čiarou	74
5.6.1	Reálna odozva vodičov na zmenu čiary - výchylka volantu . . .	74
5.6.2	Kvalita regulácie	78
5.6.3	Identifikované parametre - Precission model	84
5.6.4	Scéna sleduj čiaru - porovnanie	84
6	Záver	86
	Literatúra	87
	Zoznam symbolov, veličín a skratiek	89
	Zoznam príloh	90

Zoznam obrázkov

1.1	Bloková schéma človeka [6]	14
1.2	Rasmussenov model [8]	16
1.3	Prenos otvorenej regulačnej slučky	17
2.1	Celkový pôvodný model	23
2.2	Model Car system	24
2.3	Dynamika vozidla	26
3.1	Scéna reakcie na STOP	27
3.2	SrnkaScena	28
3.3	Scéna zmena pozadia - program Simulink	29
3.4	Povolenie zmeny pozadia	30
3.5	Scéna zmena pozadia	31
3.6	Scéna sledovanie vozidla	31
3.7	rotation_system_Viper	32
3.8	Zobrazenie rýchlostných profilov	36
3.9	Scéna pozoruj čiaru	38
3.10	Scéna pozoruj čiaru - program Simulink	38
3.11	Príkaz pre spustenie GUI úprav	39
3.12	Úprava návrhu GUI	40
3.13	Schéma algoritmu GUI	41
3.14	GUI	42
3.15	Schéma algoritmu simulátora po reštarte	42
3.16	Výber scén	43
3.17	Funkčný blok pre ukladanie výsledkov	44
4.1	Reálny model simulátora vozidla	46
4.2	Bloková schéma postupu testovania	47
4.3	Volanie funkcie WatchLine	48
4.4	Volanie funkcie pre identifikáciu parametrov	49
4.5	Volanie funkcie pre vyhodnotenie presnosti identifikácie	49
4.6	Namerané dáta od testovaného vodiča	50
4.7	Výsledný model návrhu ľudského regulátora	51
4.8	Uzavretý regulačný obvod riadenia simulátora vozidla	51
5.1	Trasa sledovaného vozidla	53
5.2	Výsledná trasa sledovania vozidla od všetkých vodičov	54
5.3	Porovnanie najlepšieho a najhoršieho vodiča	55
5.4	Histogram reakcií vodičov na STOP	56
5.5	Vývoj reakcií vodičov na STOP	56
5.6	Histogram reakcií vodičov na srnku	57

5.7	Vývoj reakcií vodičov na srnku	57
5.8	Namerané dáta zo simulátora - reakcia zmenu čiary (Vodič 1-5) . . .	59
5.9	Namerané dáta zo simulátora - reakcia zmenu čiary (Vodič 6-10) . . .	60
5.10	Priemerné odozvy jednotlivých vodičov 30km/h	61
5.11	Priemerné odozvy jednotlivých vodičov 50km/h	61
5.12	Priemerné odozvy jednotlivých vodičov 50km/h	62
5.13	Namerané dáta zo simulátora - priebeh chyby (Vodič 1-5)	63
5.14	Namerané dáta zo simulátora - priebeh chyby (Vodič 6-10)	64
5.15	Kvalita regulácie rýchlost 30km/h - vodič 1-10	65
5.16	Kvalita regulácie rýchlost 50km/h - vodič 1-10	66
5.17	Kvalita regulácie rýchlost 70km/h - vodič 1-10	67
5.18	Aproximácia nameraných dát modelom vodič1 - test 1-5	69
5.19	Aproximácia nameraných dát modelom vodič1 - test 6-10	70
5.20	Rýchlostný profil - konštantný	72
5.21	Rýchlostný profil - lineárny	72
5.22	Rýchlostný profil - rampa	73
5.23	Vyhodnotenie rýchlostných profilov	73
5.24	Namerané dáta zo simulátora - reakcia zmenu čiary (Vodič 1-5) . . .	75
5.25	Namerané dáta zo simulátora - reakcia zmenu čiary (Vodič 6-10) . . .	76
5.26	Priemerné odozvy jednotlivých vodičov 30km/h	77
5.27	Priemerné odozvy jednotlivých vodičov 50km/h	77
5.28	Priemerné odozvy jednotlivých vodičov 70km/h	78
5.29	Namerané dáta zo simulátora - priebeh chyby (Vodič 1-5)	79
5.30	Namerané dáta zo simulátora - priebeh chyby (Vodič 6-10)	80
5.31	Kvalita regulácie rýchlost 30km/h - vodič 1-10	81
5.32	Kvalita regulácie rýchlost 50km/h - vodič 1-10	82
5.33	Kvalita regulácie rýchlost 70km/h - vodič 1-10	83

Zoznam tabuliek

1.1	Prenosové funkcie popisujúce chovanie ľudského regulátora na základe dynamiky riadenej sústavy	18
1.2	Prenosové funkcie popisujúce chovanie vodiča pre základnú dynamiku riadenej sústavy	19
1.3	Typické hodnoty jednotlivých parametrov modelu	21
3.1	Prehľad parametrov zozbieraných dát - všetky scény	45
4.1	Prehľad vodičských parametrov testovaných vodičov	48
5.1	Porovnanie integrálnych kritérií pri rôznych rýchlostiach	68
5.2	Identifikované parametre vodiča č. 1	68
5.3	Priemer identifikovaných parametrov všetkých vodičov	70
5.4	Základné štatistické údaje identifikovaných parametrov všetkých vodičov	71
5.5	Porovnanie integrálnych kritérií pri rôznych rýchlostiach	84
5.6	Porovnanie integrálnych kritérií pri rôznych rýchlostiach a scénach	85

Úvod

História vývoja simulátorov siaha až do osemdesiatych rokov minulého storočia. V tých časoch vznikali prvé simulátory riadenia vozidla na báze počítačových hier slúžiacich k relaxu. V dnešnej dobe už existujú rôzne riešenia simulácie skutočného riadenia vozidla. Podobne ako to bolo aj v minulosti, aj teraz slúžia predovšetkým k zábave, ale tak isto aj pre výcvik vodičov vo vzdelávacích inštitúciách. Ďalšou dosť podstatnou oblasťou pre využitie simulátora vozidla je skúmanie v oblasti ľudských faktorov. Na základe tejto oblasti sme schopní vyhodnocovať správanie vodičov, výkonnosť a pozornosť. Taktiež v automobilovom priemysle sa navrhujú a vyhodnocujú nové vozidlá alebo nové moderné asistenčné systémy vodiča. Existujú rôzne typy simulátorov pre riadenie napríklad sanitky, policajného auta, nákladného auta a mnoho ďalších. Diplomová práca je zameraná na riadenie osobného automobilu.

V tejto diplomovej práci sa zameriavam práve na vytvorenie rôznych scén pre skúmanie reakcií vodiča. Aby som bola schopná navrhnúť scénu potrebnú pre otestovanie riadiacich reakcií, musela som si v prvom rade naštudovať problematiku hodnotenia parametrov ľudského operátora. Následne nato si vytvorím návrh možných scenárov, na základe ktorých budem získavať dáta potrebné pre vyhodnotenie vodiča.

Ďalším bodom diplomovej práce bude preskúmanie dostupného simulátora vozidla vytvoreného v prostredí MATLAB/Simulink. Do tohto simulátora implementujem navrhnuté scenáre. Realizujem tiež aj vhodné rozhranie pre ovládanie scenárov, ktoré budem potrebovať k jednoduchšiemu spracovaniu výsledkov a spúšťania simulátora.

Následne zo získaných nameraných dát od rôznych operátorov som schopná vyhodnotiť parametre, a tým pádom aj schopnosť vodiča osobného automobilu.

1 Hodnotenie parametrov ľudského operátora

Hodnotenie parametrov ľudského operátora je veľmi zložitá a často označovaná za ťažko predvídateľnú. Pri hodnotení sa berú do úvahy rôzne vplyvy pôsobiace na človeka.

1.1 Problematika hodnotenia ľudského operátora

Existujú rôzne metódy hodnotenia ľudského operátora. Každá z metód je určená pre špecifickú oblasť, v ktorej vynikajú výhody danej metódy. Nie je však vylúčená ani kombinácia týchto metód. Delenie tejto problematiky by som zadefinovala do troch obecných metód.

1. Rozbor dopravných nehôd:

Táto metóda je postavená na základe dát získaných z dopravných nehôd. Dáta obsahujú úradné štatistiky nehodovosti a tiež aj policajné záznamy. Výhodou tejto metódy je veľké množstvo dát aj niekoľko rokov dozadu. Neobsahujú však detailný popis.[1]

2. Pozorovanie chovania:

Metóda pozorovania chovania sa zameriava hlavne na viditeľné chovania operátora. Procesy, ktoré sa odohrávajú vo vnútri operátora, ostávajú pre túto metódu skryté. Ako nástroj tejto metódy sa používa simulátor. Použitie simulátora prináša so sebou nespočetne veľa výhod. Jednou z hlavných výhod je tá, že dokáže dynamicky meniť podmienky cestnej premávky. Tým pádom na základe tejto metódy som schopná vystaviť operátora rôznym neočakávaným situáciám a sledovať jeho reakcie. Namerané dáta však nie sú jednoznačne prenositeľné do reálnej prevádzky. [2]

3. Skúsenosti účastníkov dopravy:

Táto metóda je založená na psychologickom výskume účastníkov dopravy. Pomocou tejto metódy je možné popísať aj procesy vo vnútri operátora. Ponúka sa rozsiahle spektrum otázok, ktoré je možné operátorovi položiť. Nevýhodou však zostáva možnosť skreslenia informácií, ktoré je však možné obmedziť správnym kladením otázok. [3]

1.2 Človek - regulátor

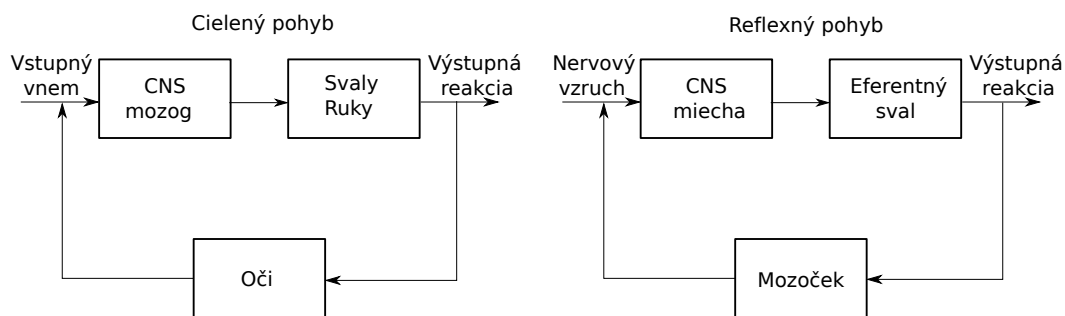
Regulátor, (z latinčiny regula, pravítok, pravidlo) znamená zariadenie pre riadenie systému. Nato, aby sme mohli povedať, že je systém riadený, potrebuje mať regulátor

informáciu o tom, ako jeho akčný zásah ovplyvnil systém. Túto informáciu môžeme tiež nazvať aj spätná väzba systému. [4]

Človek je z pohľadu regulátora univerzálny a efektívny. To znamená, že dokáže podstatne rýchlo a kvalitne reagovať na neočakávané a meniace sa situácie. Ďalšou veľkou výhodou je, že dokáže meniť regulačné zásahy po predchádzajúcich skúsenostiach, čo vedie k učenému, teda adaptívnemu regulátoru. Do dnešnej modernej doby sa nepodarilo zostaviť regulátor, ktorý by dokázal v riadení človeka úplne nahradiť. Základ ľudského regulátora spočíva v zložitosti mozgu, ktorý sa doposiaľ nepodarilo preskúmať celý. Rovnako, ako aj bežné regulátory, potrebuje mozog spätnú väzbu, aby dokázal reagovať. Typy spätných väzieb pre mozog sú napríklad vizuálne (oči), zvukové (uši) a mnoho ďalších. V nasledujúcej podkapitole sa zameriam na spätnú väzbu. [5]

1.2.1 Biologické regulačné obvody

Regulačné obvody môžeme popísať pomocou blokových schém. Na Obr. 1.1 je popísaný regulačný obvod človeka pomocou blokových schém. [6]



Obr. 1.1: Bloková schéma človeka [6]

Na obrázku vľavo je znázornený akčný zásah pre svaly a ruky na základe vizuálnej spätnej väzby od očí. Na obrázku vpravo vidíme blokovú schému rovnováhy, ktorá nie je riadená mozgom a deje sa automaticky.

Pre identifikáciu vlastností a kvality regulačného obvodu jednoduchých systémov privedieme na vstup systému jednotkový skok alebo impulz a sledujeme jeho odozvu. V prípade ľudského mozgu je to ale zložitejšie, pretože nedokážeme posúdiť všetky zákonitosti reakcií a vplyvov spätných väzieb. Problém je v tom, že nemôžeme sledovať len jeden parameter, ale súbor niekoľkých podsystémov. V tejto práci sa

sústredím hlavne na meranie a odchytenie ľudských reakcií na simulované podnety. [6]

1.2.2 Regulátor - vodič osobného automobilu

Chovanie človeka ako regulátora/vodiča v osobnom automobile odpovedá uzavretému regulačnému obvodu, to znamená závislom na spätnej väzbe. V niektorých prípadoch môžeme hovoriť aj o otvorenom regulačnom obvode, ale to sa týka len motorických činností, ktoré človek vykonáva automaticky.

Pri riadení vozidla je úlohou regulátora/vodiča skúmať chybu medzi požadovaným a skutočným stavom. Chyby, ktoré musí regulátor/vodič regulovať môžeme rozdeliť na dva typy.

1. Príkazový vstup:

Jedná sa o chybu, ktorá vznikla ako následok zmeny sledovaného signálu a vyžaduje príkaz z auta. Príklad: priblíženie sa ku inému vozidlu.

2. Rušivý vstup:

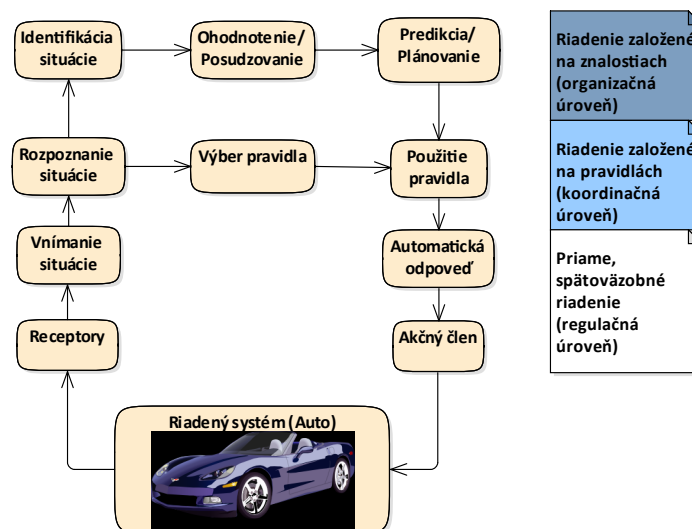
Jedná sa o chybu, ktorá vznikla priamym pôsobením na systém. Príklad: bočný vietor.

V tejto podkapitole som sa zaoberala obecným popisom ľudského regulátora. V nasledujúcej podkapitole sa zameriam na konkrétne modely používané k modelovaniu ľudského chovania.

1.3 Modely chovania

Systémy, ktoré sa zaoberajú problematikou skúmania interakcie medzi strojom a človekom sa označujú skratkou MMS. Tieto systémy sa snažia o matematický popis človeka ako regulátora a stroja ako regulovanej sústavy.[6]

Ako som už spomínala popísať človeka ako regulátor je ťažká úloha. Touto problematikou sa začal zaoberať prof. J. Rasmussen. Jeho poznatky sú na Obr. 1.2 , kde je znázornené rozdelenie popisu človeka ako regulátora do troch úrovní.[8]



Obr. 1.2: Rasmussenov model [8]

1. Regulačná úroveň:

Jedná sa o základnú úroveň, ktorá funguje na priamom spätno-väzobnom riadení. Ako príklad takéhoto typu riadenia uvediem udržiavanie rýchlosti.

2. Koordinačná úroveň

Jedná sa o vyššiu úroveň, ktorá funguje na riadení podľa pravidiel. Ako príklad uvediem dodržiavanie pravidiel pri štartovaní auta.

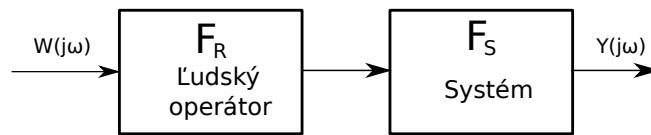
3. Organizačná úroveň

Jedná sa o najvyššiu úroveň, ktorá funguje na riadení podľa znalostí. Ako príklad uvediem optimálnu trasu určenú k bezproblémovému zvládnutiu zákruty.

Tento obecný model sa stal základom pre ďalšie nadväzujúce modely.

1.3.1 Crossover model

Ďalšou významnou osobnosťou v oblasti problematiky regulátor - človek bol prof. Duan T. McRuer. V popise Crossover modelu sa zameriaval na proces modelovania dynamických vlastností človeka - regulátora. Opieral sa o predpoklad, že pomocou zjednodušovania dôjde k výsledku opisu chovania človeka ako kompenzačný regulátor. Jednou z hlavných výhod tohto modelu je vzájomné pôsobenie medzi ľudským operátorom a dynamikou systému. Blokovú schému Crossover modelu vidíme na Obr. 1.3. [9]



Obr. 1.3: Prenos otvorenej regulačnej slučky

Z obrázku je jasné, že sa jedná o prenos otvorenej slučky, ktorý je vyjadrený v rovnici (1.1).

$$F_0(j\omega) = F_R(j\omega) \cdot F_S(j\omega) = \frac{\omega_c}{j\omega} \cdot \exp(-j\omega\tau) \quad (1.1)$$

,kde	$F_0(j\omega)$	Frekvenčný prenos otvorenej slučky [-]
	$F_R(j\omega)$	Frekvenčný prenos regulátora (ľudský operátor) [-]
	$F_S(j\omega)$	Frekvenčný prenos regulovanej sústavy [-]
	ω	Frekvencia [rad.s ⁻¹]
	ω_c	Frekvencia rezu [rad.s ⁻¹]
	j	Imaginárna zložka [-]
	τ	Dopravné oneskorenie [s]

Človek ako regulátor prispôbuje svoj akčný zásah dynamike systému. Aby sme vyhodnotili, že je človek dobrý regulátor musí spĺňať hlavné kritériá, a to sú malá odchýlka a dobrá stabilita. [4]

Stabilitu podľa Crossover modelu človek zaistuje tým, že sa snaží udržiavať, aby mal celý systém v okolí frekvencií rezu ω_c integračný charakter. Hlavným cieľom pri vytváraní tohto modelu bolo teda pochopenie a matematické vyjadrenie toho, ako sa človek adaptuje na zmeny dynamického systému a na základe čoho volí akčný zásah. V tabuľke č.1.1 sú zhrnuté výsledky Crossover metódy. [9]

Tab. 1.1: Prenosové funkcie popisujúce chovanie ľudského regulátora na základe dynamiky riadenej sústavy [9]

Prenosová funkcia popisujúca dynamiku riadenej sústavy v okolí ω_c	Aproximačná prenosová funkcia popisujúca chovanie ľudského regulátora(vodiča)	Výsledný prenos otvorenej slučky
$F_s(p) = K_s$	$F_R(p) \approx \frac{K_R}{p} \cdot \exp(-p\tau)$	$F_0(p) \approx \frac{K_R \cdot K_s}{p} \cdot \exp(-p\tau)$
$F_s(p) = \frac{K_s}{p}$	$F_R(p) \approx K_R \cdot \exp(-p\tau)$	$F_0(p) \approx \frac{K_R \cdot K_s}{p} \cdot \exp(-p\tau)$
$F_s(p) = \frac{K_s}{p^2}$	$F_R(p) \approx K_R \cdot p \cdot \exp(-p\tau)$	$F_0(p) \approx \frac{K_R \cdot K_s}{p} \cdot \exp(-p\tau)$
$F_s = \frac{K_s}{p \cdot (p+a)}$	$F_R(p) \approx K_R \cdot (p+a) \cdot \exp(-p\tau)$	$F_0(p) \approx \frac{K_R \cdot K_s}{p} \cdot \exp(-p\tau)$

1.3.2 Gross model

Tento model sa zaoberá zovšeobecnením predchádzajúceho modelu. Meraním sa došlo k tomu, že nie je dobré aplikovať Crossover metódu na širšie pásmo frekvencií. Výsledkom toho je Gross metóda, ktorej frekvenčný prenos je v rovnici (1.2). [10]

$$F_R(p) = K_R \cdot \frac{(T_L p + 1)}{(T_I p + 1)} \cdot \exp(-p\tau) \quad (1.2)$$

,kde	$F_R(j\omega)$	Frekvenčný prenos regulátora (ľudský operátor) [-]
	K_R	Zosilnenie [-]
	T_L	Derivačná časová konštanta (lead time constant) [s]
	T_I	Integračná časová konštanta (lag time constant) [s]
	p	Laplaceov operátor [-]
	τ	Dopravné oneskorenie [s]

Ak dáme do pomeru konštanty T_I a T_L dokážeme vyhodnotiť charakter derivačnej („lead-lag“) či integračnej („lag-lead“) prenosovej funkcie. V tabuľke č. 1.2 sú zhrnuté výsledky Gross metódy.[10]

Tab. 1.2: Prenosové funkcie popisujúce chovanie vodiča pre základnú dynamiku riadenej sústavy [10]

Prenosová funkcia popisujúca dynamiku riadenej sústavy v okolí ω_c	Typ prenosovej funkcie vodiča	Výsledná (aproximačná) prenosová funkcia popisujúca chovanie vodiča
$F_s(p) = K_s$	"lag-lead", $T_I \gg T_L$	$F_R(p) \approx \frac{K_R}{(T_I p + 1)} \cdot \exp(-p\tau)$
$F_s(p) = \frac{K_s}{p}$	"High-frequency lead"	$F_R(p) \approx K_R \cdot \exp(-p\tau)$
$F_s(p) = \frac{K_s}{p^2}$	"lead-lag", $T_L \gg T_I$	$F_R(p) \approx K_R \cdot (T_L p + 1) \cdot \exp(-p\tau)$
$F_s = \frac{K_s}{p \cdot (p+a)}$	"lead-lag", $T_L \approx 1/a$	$F_R(p) \approx K_R \cdot (T_L p + 1) \cdot \exp(-p\tau)$
$F_s(p) = \frac{K_s}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}$	"lag-lead", $T_I \gg T_L$	$F_R(p) \approx K_R \cdot (T_L p + 1) \cdot \exp(-p\tau)$
	"lag-lead", $T_I \gg T_L$	$F_R(p) \approx \frac{K_R}{(T_I p + 1)} \cdot \exp(-p\tau)$

1.3.3 Precision model

Pôvodný Precision model vid. rovnica (1.3) je rozšírený model Gross modelu, ktorý v sebe zahŕňa aj dynamiku neuromuskulárneho systému človeka. Pri snahe matematického popisu neuromuskulárneho systému bol kladený dôraz na fyziologický a neurologický popis človeka. Podrobnejšie odvodenie je v literatúre [9]

$$F_R(p) = K_R \cdot \frac{T_L p + 1}{T_I p + 1} \cdot \exp(-p\tau) \cdot \left(\frac{1}{\left[\left(\frac{p}{\omega_N} \right)^2 + \frac{2\xi_N}{\omega_N} p + 1 \right]} \right) \quad (1.3)$$

Neuromuskulárny systém

- ,kde K_R Zosilnenie [-]
 T_L Derivačná časová konštanta (lead time constant) [s]
 T_I Integračná časová konštanta (lag time constant) [s]
 p Laplaceov operátor [-]
 τ Dopravné oneskorenie [s]
 ω_N Vlastná frekvencia kmitov neuromuskulárneho systému [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]
 ξ_N Tlmenie neuromuskulárneho systému [-]

Podľa literatúry sa hodnoty vlastnej frekvencie kmitov neuromuskulárneho systému ω_N pohybujú okolo hodnoty $20 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ a hodnoty tlmenia neuromuskulárneho systému ξ_N okolo hodnoty 0,7. [7] Niektoré literatúry uvádzajú hodnotu vlastnej frekvencie kmitov neuromuskulárneho systému ω_N nižšiu. Závisí to od danej aplikácie, na ktorej je možné testovať ľudského operátora.

Existuje veľa variantov aproximácie pôvodného Precision modelu. Dôležité je, že žiadna z aproximácií nemá zásadný vplyv na výslednú odozvu systému, keďže sú zamerané na oblasť v okolí omega rezu.[10] Pre príklad uvediem dve aproximácie.

Prvú aproximáciu môžeme vidieť v rovnici (1.4).

$$F_R(p) = K_R \cdot \frac{(T_L p + 1)}{(T_I p + 1)} \cdot \exp[-p(\tau + \tau_N)] \quad (1.4)$$

,kde	$F_R(j\omega)$	Frekvenčný prenos regulátora (ľudský operátor) [-]
	K_R	Zosilnenie [-]
	T_L	Derivačná časová konštanta (lead time constant) [s]
	T_I	Integračná časová konštanta (lag time constant) [s]
	p	Laplaceov operátor [-]
	τ	Dopravné oneskorenie [s]
	τ_N	Čisté dopravné oneskorenie [s]

Táto rovnica si zakladá na aproximácií neuromuskulárneho systému pomocou čistého dopravného oneskorenia τ_N , ktoré môžeme pripočítať k celkovému dopravnému (reakčnému) oneskoreniu ľudského regulátoru τ . Je zameraná na hrubý odhad ľudského chovania, ale ma veľkú výhodu pri vyhodnocovaní celkovej reakčnej doby človeka. Môžeme si teda všimnúť podobnosť medzi rovnicou (1.2) Gross model. Rozdiel je vo veľkosti dopravného oneskorenia. [10]

Druhú aproximáciu popisuje rovnica (1.5).

$$F_R(p) = K_R \cdot \frac{(T_L p + 1)}{(T_N p + 1) \cdot (T_I p + 1)} \cdot \exp(-p\tau) \quad (1.5)$$

,kde	$F_R(j\omega)$	Frekvenčný prenos regulátora (ľudský operátor) [-]
	K_R	Zosilnenie [-]
	T_L	Derivačná časová konštanta (lead time constant) [s]
	T_N	Neuromuskulárna časová konštanta [s]
	T_I	Integračná časová konštanta (lag time constant) [s]
	p	Laplaceov operátor [-]
	τ	Dopravné oneskorenie [s]

Táto rovnica si zakladá na aproximácií neuromuskulárneho systému pomocou zotrvačného člena 1. rádu s jednou časovou konštantou T_N . Výhodou tohto modelu je to, že nám poskytuje možnosť fyziologickej a neurologickej interpretácie jednotlivých parametrov. Príklad typických hodnôt je uvedený v tabuľke č. 1.3.[10]

Tab. 1.3: Typické hodnoty jednotlivých parametrov modelu[10]

Parameter	Popis	Typická hodnota
K	Zosilnenie reprezentujúce zvyky ľudského operátora na daný akčný zásah. Súvisí tiež s pomerom vstupného a výstupného signálu.	Závisí na aplikácii
T_N	Zotrvačná časová konštanta udávajúca oneskorenie činnosti ľudského operátora dané neuromuskulárnym systémom. Nie je závislé na skúsenostiach.	$(0.05 - 0.2)s$
T_I	Zotrvačná časová konštanta súvisiaca s predvádzaním naučených stereotypov a rutinných postupov.	0.1 až jednotky sekundy
T_L	Prediktívna časová konštanta odrážajúca schopnosť predpovedať situáciu, ktorá môže nastať. Túto schopnosť získava ľudský operátor skúsenosťami.	0.2 až jednotky sekundy
τ	Časová konštanta udávajúca oneskorenie odozvy mozgu na pohybový a očný vnem. Vplyvom únavy môže dôjsť k predĺženiu tejto konštanty a následnému zlyhaniu regulačných schopností ľudského operátora	$(0.5 - 1)s$

1.3.4 Hranice ľudského operátora

Z predchádzajúcich kapitol sme sa dozvedeli, že človek ako regulátor je naozaj zložitý model. Ak by sme ale boli schopní dôjsť k dokonalej kópii ľudského regulátora, dosiahli by sme lepšie výsledky ako od ľudského operátora. Je to hlavne z dôvodu, že na človeka vplyvajú aj negatívne vplyvy, ktoré by sme mohli strojom odstrániť. Tieto negatívne vplyvy zjednodušene rozdelím do dvoch kategórií.

1. V čase konštantné

V tomto prípade sú myslené faktory ako identita človeka a jeho osobnosť.

2. V čase premenlivé

V tomto prípade sú myslené faktory ako únava, nálada, doba riadenia a ďalšie. Túto kategóriu môžeme ešte rozlišovať na základe osobnostných (napríklad alkohol, vek) alebo situačných (napríklad atmosférické podmienky, dopravná situácia) faktorov.

Obe tieto kategórie sa nedajú vždy úplne presne oddeliť a vznikajú aj prechody

medzi nimi. Ako príklad uvediem vplyv aktuálnej nálady, ktorá priamo pôsobí na osobnosť človeka.

Ďalej sa zameriam na stabilitu. Ľudský operátor musí byť schopný dobre odhadovať chybu. Ak by bolo možné neuvažovať s časovým oneskorením, mohol by ľudský operátor okamžite regulovať svoje zásahy, čím by sa dal obmedziť častý výskyt nestability spôsobený tiež aj nelineárnymi vlastnosťami dynamiky systému. Ďalším javom pre nestabilitu je zosilnenie systémovej dynamiky. V prípade riadenia vozidla má vplyv pedálu výrazný vplyv na rýchlosť, čiže sa jedná o veľké zosilnenie, ktoré tiež negatívne pôsobí na stabilitu. Je vyžadovaná jemnosť.

Ďalším z ľudských obmedzení je obmedzená šírka informácií, ktorú človek prijíma a limit reakčnej doby frekvencií rozhodnutia.

2 Simulátor

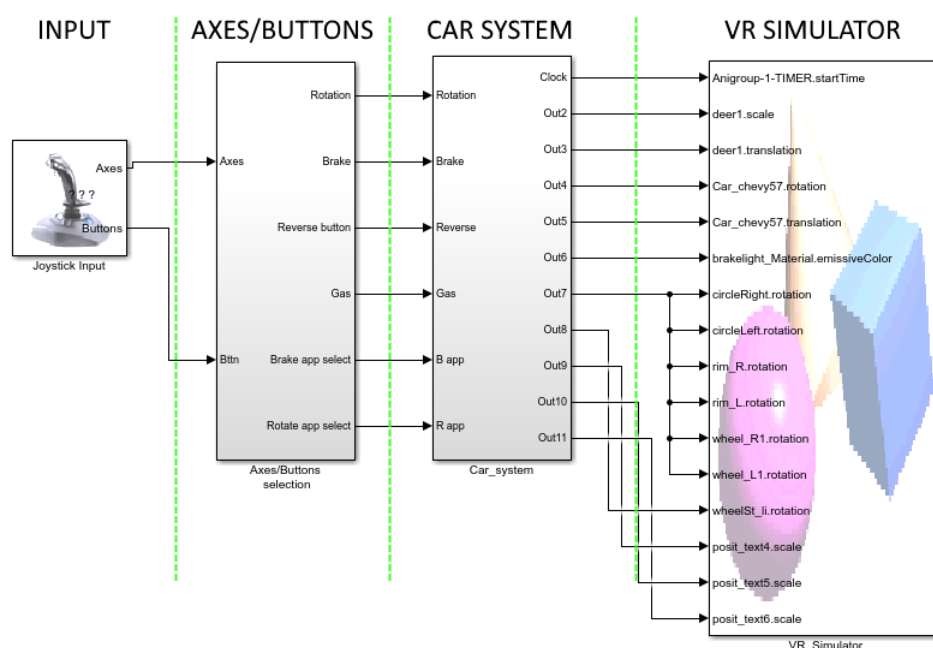
K mojej diplomovej práci som obdržala už navrhnutý model simulátora vozidla. V tejto kapitole sa zameriam na popis tohto vychádzajúceho modelu.

Pôvodný model bol navrhnutý v prostredí Matlab - Simulink. Pre vizualizáciu vozidla bola využitá knižnica Simulinku 3D animation. Pomocou tejto knižnice sa dalo prepojiť prostredie Matlab - Simulink s prostredím virtuálnej reality. Virtuálna realita bola navrhnutá v programovacom jazyku VRML. Podrobnejší popis programovacieho prostredia je možné nájsť v literatúre [11], [12]

2.1 Štruktúra blokov Simulink

Pri návrhu scén som musela pochopiť funkčnosť stávajúceho modelu v Simulinku. Z dôvodu rozsiahlejších zmien pri návrhu možných scén, popíšem podrobnejšie pôvodný model, aby bolo z nasledujúcej kapitoly zreteľnejšie, čo bolo mojou prácou.

Pôvodný model je rozdelený do štyroch základných blokov, ako je možné vidieť na Obr. 2.1.



Obr. 2.1: Celkový pôvodný model

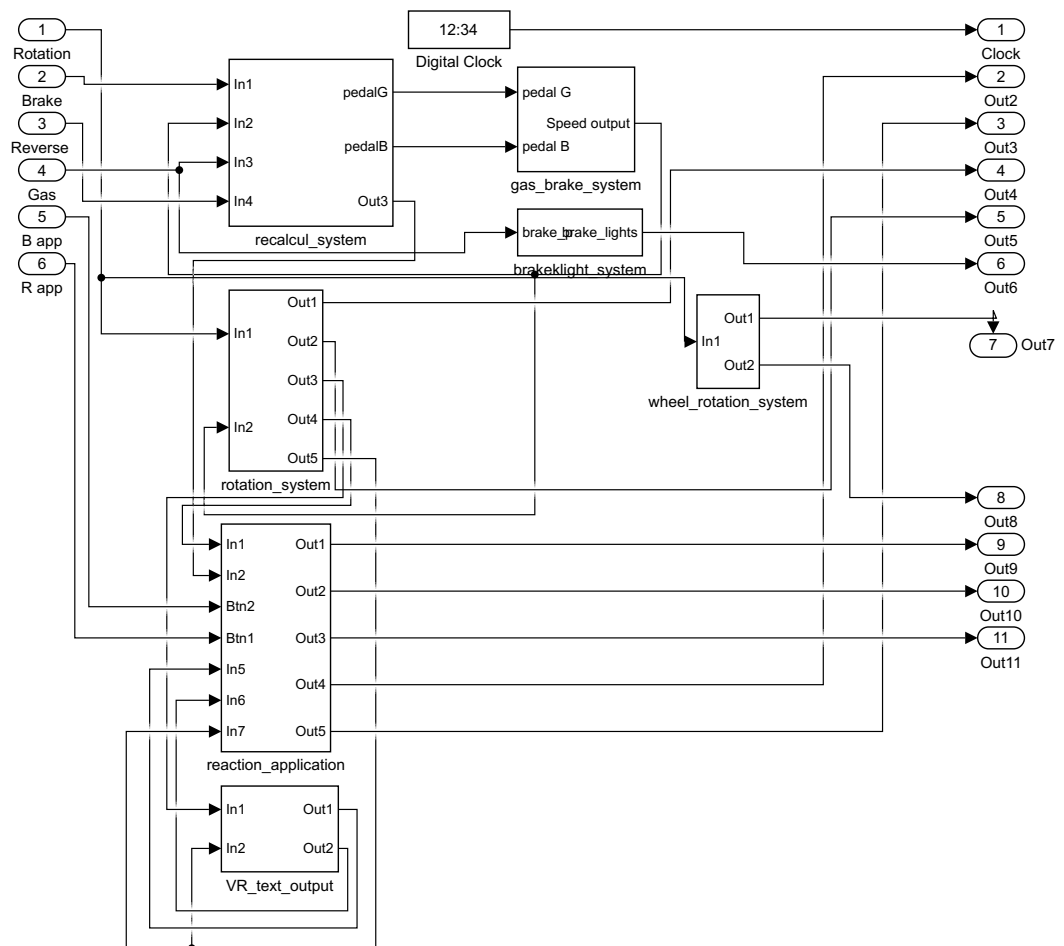
2.1.1 Axes/Buttons selection

Do prvého bloku vstupuje blok Joystick Input, ktorý dokáže prijímať signály z volantu a pedálov a importovať ich do prostredia Matlab - Simulink. V tomto bloku

je teda riešené spracovanie vstupu Axes a Buttons. Vstup Axes je pomocou bloku Select Axes rozdelený na tri výstupné signály, ktoré reprezentujú rotáciu volantu v rozsahu $\langle -1;1 \rangle$, pridanie plynu a stlačenie brzdy v rozsahu $\langle 0;1 \rangle$. Vstup Buttons je cez blok Select Buttons privedený na demultiplexor, ktorý rozlíši stlačenie tlačidla z volantu. V pôvodnej práci boli využité dve tlačidlá pre výber aplikácie a jedno spätné tlačidlo pre cúvanie auta.

2.1.2 Car_system

Všetky výstupy z prvého bloku sú privedené na vstup druhého bloku pre ďalšie spracovanie. Na Obr. 2.2 je rozvetvenie druhého bloku. Tento blok je ešte rozdelený do jednotlivých podblokov, ktoré následne popíšem.



Obr. 2.2: Model Car system

1. recalcul_system:
Tento blok slúži k prepočtu úrovne stlačenia pedálov simulátora, aby to odpovedalo skutočným pedálom v aute. Na tento blok potom nadväzuje nasledujúci.
2. gas_break_system:
Tento blok slúži k prepočítaniu úrovne stlačeného pedálu brzdy alebo plynu, ktorých hodnoty sú upravené v prvom bloku. Pomocou upraveného tvaru následne dokážeme previesť hodnoty na rýchlosť v km/h, ktorá odpovedá reálnej rýchlosti vozidla. Sú tu tiež brané do úvahy možnosti konkrétneho typu vozidla ako výkon motora, hmotnosť a ďalšie.
3. breaklight_system:
Tento blok slúži len k rozsvieteniu zadných svetiel na vozidle simulátora pri brzdení.
4. rotationt_system:
Tento blok slúži k pohybu vozidla v simulátore. Na vstupe tohto bloku je výchylka volantu a rýchlosť auta. Tieto vstupy sú ďalej upravené tak, že ovládajú osi vozidla v simulátore. Výsledkom tohto bloku je, že výchylka volantu odpovedá natočeniu vozidla v simulátore a tiež aj ovládanie plynových a brzdných pedálov odpovedá pohybu a brzdeniu auta.
5. wheel_rotatio_system:
Tento blok slúži k vizualizácii otáčania kolies vozidla v simulátore, odpovedajúce natočeniu volantu.
6. reaction_application:
V tomto bloku sú jednoduché scény. Prvá scéna skúma reakciu na vyskočenie znaku STOP a následné stlačenie brzdy. Druhá scéna skúma reakciu vodiča na neočakávaný predmet počas jazdy, a tým je srnka. Merania týchto aplikácií boli založené len pre zber výsledkov zatlačenej brzdy, čo zodpovedá časovému oneskoreniu vodiča a výchylky volantu na skúmanie reakčných schopností vodiča.
7. VR_text_output:
Tento blok slúži k vizualizáciu parametrov získaných zo Simulinku ako aktuálny čas simulácie a rýchlosť vozidla do 3D modelu simulátora.

2.1.3 VR Simulator

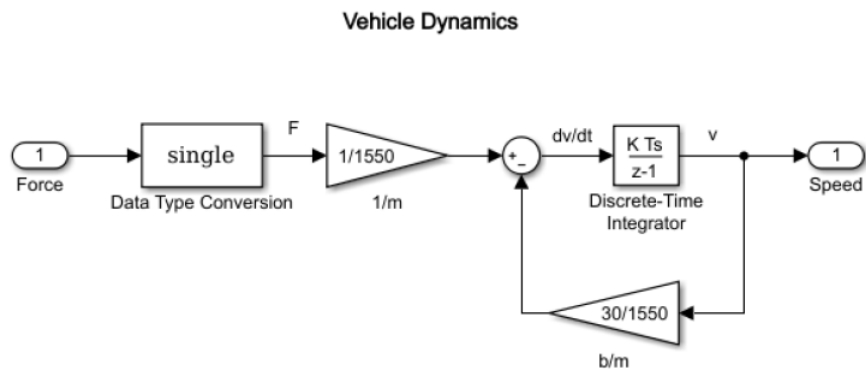
Tento posledný blok tvorí rozhranie medzi dátami získanými zo Simulinku a 3D virtuálnym svetom simulátora. Vstupujú sem dáta, ktoré mi ovládajú vozidlo, spustenie časovača a ovládanie jednotlivých scén.

2.2 Dynamika vozidla

Sústredím sa len na stručný popis dynamiky vozidla. Podrobnejší popis návrhu celého systému vozidla je možné nájsť v literatúre [14].

V tomto prípade sa jedná o zjednodušenú dynamiku vozidla. Vychádza z teórie dynamiky, ktorá hovorí o pohybe telesa v priestore, to znamená určenie rýchlosti a polohy telesa v čase. Teleso, v tomto prípade vozidlo, má nasledujúce parametre: hnaciu silu F (motor), hmotnosť m , odpor vetra b . Na základe týchto parametrov je určená rýchlosť vozidla v .

Na Obr. 2.3 [14] je zobrazená výsledná dynamika vozidla namodelovaná v programe Matlab/Simulink.



Obr. 2.3: Dynamika vozidla

Z tejto kapitoly teda môžeme vidieť, že stávajúci model bol zameraný hlavne na vozidlo simulátora a jeho funkčnosť a nie na vytváranie scén, čo je úlohou mojej diplomovej práce.

3 Scény

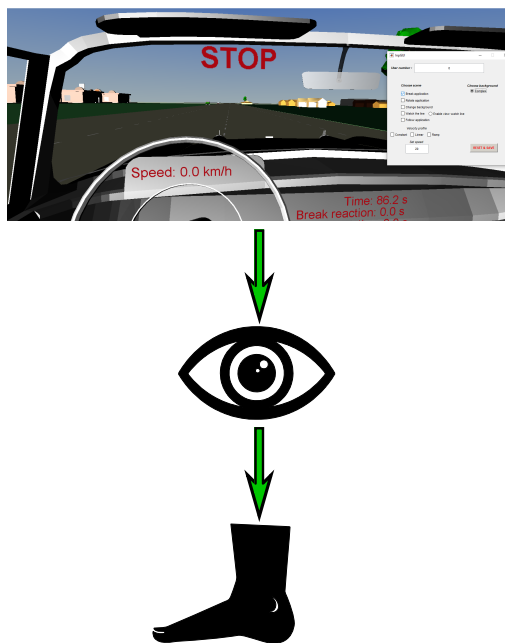
V tejto kapitole sa zo zadania diplomovej práce sústredím hlavne na:

1. Návrh scén pre možnosť vyhodnotiť parametre ľudského operátora
2. Vytvorenie rozhrania pre ovládanie navrhnutých scén.
3. Vo všetkých doterajších navrhnutých scénach upravím spôsob záznamu dát zo simulátora

3.1 Reakcia na STOP

Táto scéna vychádza už z navrhutej scény, ktorá bola implementovaná v rámci predchádzajúcej práce. Mojou prácou na tejto scéne bolo doplnenie plynulého behu scény bez nutnosti reštartu celého simulátora. Ďalej som pridala ukladanie namera-
ných dát. Pre lepšie pochopenie vyhodnocovania dát pridám popis funkčnosti tejto scény.

V tejto scéne sa zameriam predovšetkým na vyhodnotenie reakčnej doby τ ľudského operátora. Túto reakčnú dobu určím na základe časového rozdielu, ktorý vznikne medzi momentom zobrazenia znaku STOP a reakcie ľudského operátora na brzdový pedál. Jedná sa teda o reakciu oko-noha. Na Obr. 3.1 je vizuálne znázornenie tohto scenára.



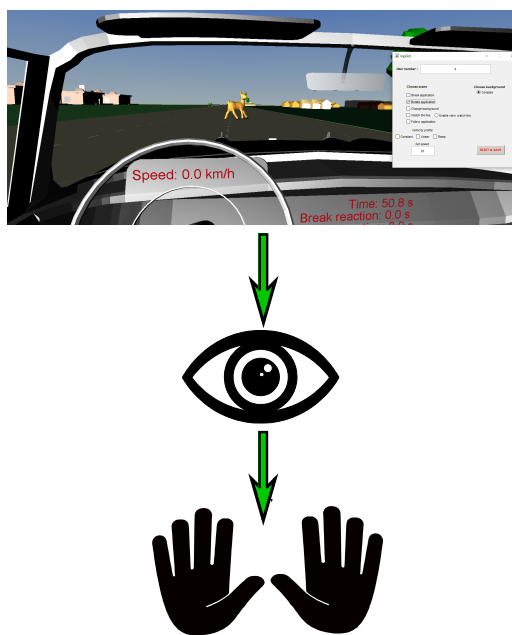
Obr. 3.1: Scéna reakcie na STOP

Dáta, ktoré v tomto prípade pre vyhodnotenie reakcie sledujem sú: v prvom stĺpci aktuálny čas, v druhom stĺpci aktuálnu rýchlosť, v treťom stĺpci časovú odozvu na brzdu a vo štvrtom stĺpci príznak toho, či bola zobrazená stopka. Celkový prehľad zozbieraných dát pre všetky scény je v podkapitole 3.8.

3.2 Reakcia na srnku

Podobne, ako scéna reakcia na stopku, bola aj táto scéna súčasťou predchádzajúcej práce. Pri tejto scéne boli potrebné rovnaké úpravy, aké som spravila aj pri scéne so stopkou, a to sú plynulý beh scény a ukladanie nameraných dát. Rovnako, ako aj u predchádzajúcej scény, aj v tomto prípade pridám pre lepšie pochopenie vyhodnocovania dát popis funkčnosti tejto scény.

Rovnako, ako u predchádzajúcej scény, aj tu sa zameriam na vyhodnocovanie reakčnej doby τ ľudského operátora s tým rozdielom, že sa zameriam na časový rozdiel, ktorý vznikne medzi momentom zobrazenia srnky a interakciu ľudského operátora s volantom. Jedná sa teda o reakciu oko-ruka. Na Obr. 3.2 je vizuálne znázornenie tohto scenára.



Obr. 3.2: SrnkaScena

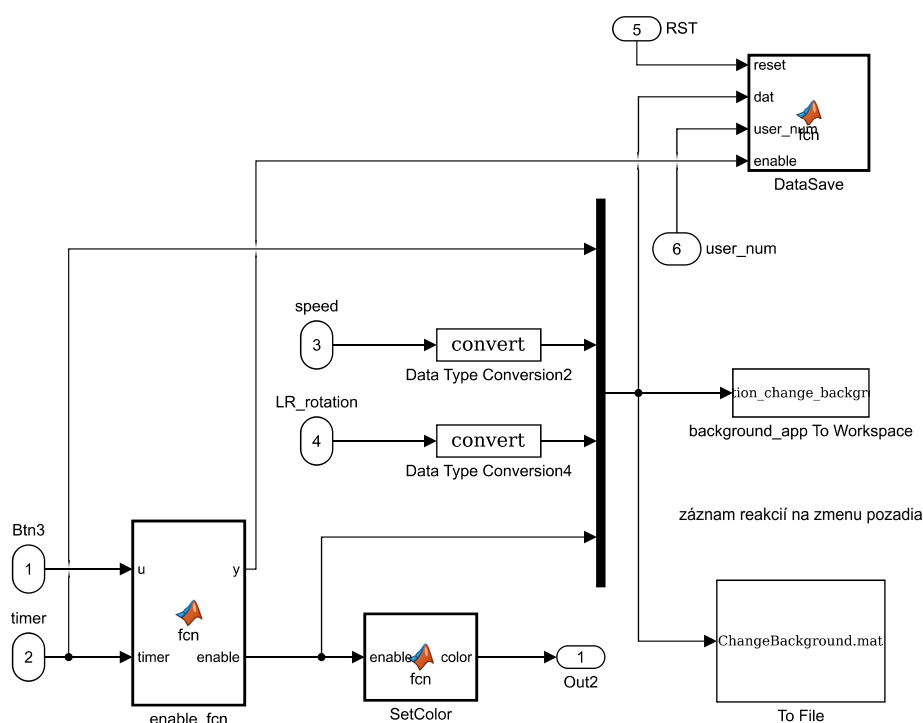
Dáta, ktoré v tomto prípade pre vyhodnotenie reakcie sledujem, sú: v prvom stĺpci aktuálny čas, v druhom stĺpci aktuálna rýchlosť, v treťom stĺpci výchylka volantu, vo štvrtom stĺpci rotácia volantu, v piatom stĺpci časová odozva na srnku, v šiestom stĺpci os x, v siedmom stĺpci os y a v ôsmom stĺpci príznak toho, či bola

zobrazená srnka. Celkový prehľad zozbieraných dát pre všetky scény je v podkapitole 3.8.

3.3 Zmena pozadia

Pri návrhu tejto scény som sa chcela zamerať nato, či dokáže zmena pozadia ovplyvniť ľudského operátora. Táto zmena pozadia je riešená tak, že sa po nastavenom časovom limite začne meniť a blikáť obloha v simulátore. Následne popíšem postup pri vytváraní tohto scenára.

V prvom rade som si vytvorila podsystém, ktorý je zobrazený na Obr. 3.3

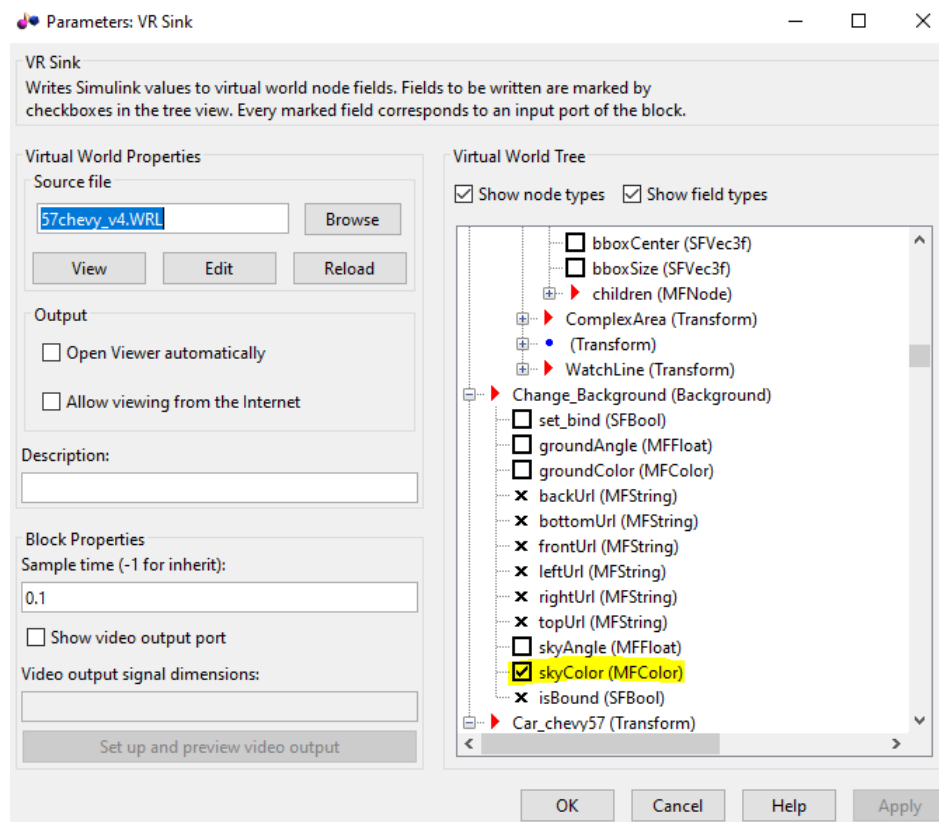


Obr. 3.3: Scéna zmena pozadia - program Simulink

Súčasťou tohto podsystému je funkčný blok enable_fcn, v ktorom je riešené povolenie spúšťania blikania pozadia po nastavenom čase. Vo funkčnom bloku SetColor nastavujem farby, ktoré mi budú blikáť na pozadí a tiež aj ich frekvenciu. Nasledujú bloky pre uloženie zozbieraných dát. Dáta, ktoré v tomto prípade pre vyhodnotenie reakcie sledujem, sú: v prvom stĺpci aktuálny čas, v druhom stĺpci aktuálna rýchlosť, v treťom stĺpci aktuálna výchylka volantu a vo štvrtom stĺpci príznak toho, či bolo spustené blikanie pozadia. Zo zozbieraných dát vychádza, že ide hlavne o sledovanie

reakcií volantu alebo pedálov pri zmene pozadia. Celkový prehľad zozbieraných dát pre všetky scény je v podkapitole 3.8.

Ďalším mojím krokom bolo prenesenie vektoru farieb z výstupu funkčného bloku SetColor do simulátora. Keďže mojím cieľom bolo meniť oblohu simulátora, tak som si pomocou bloku VR Simulátor povolila možnosť meniť pozadie oblohy. Na Obr. 3.4 sú zobrazené nastavenia bloku VR Sink s vyznačeným parametrom pre ovládanie farieb oblohy.



Obr. 3.4: Povolenie zmeny pozadia

V tomto prípade sa jedná o veľmi jednoduchú scénu, ktorá by nemala mať výraznejší vplyv na reakcie ľudského operátora. Na Obr. 3.5 je výsledné vizuálne zobrazenie tohto scenára. Je tam zobrazená zmena pozadia na čiernu farbu.

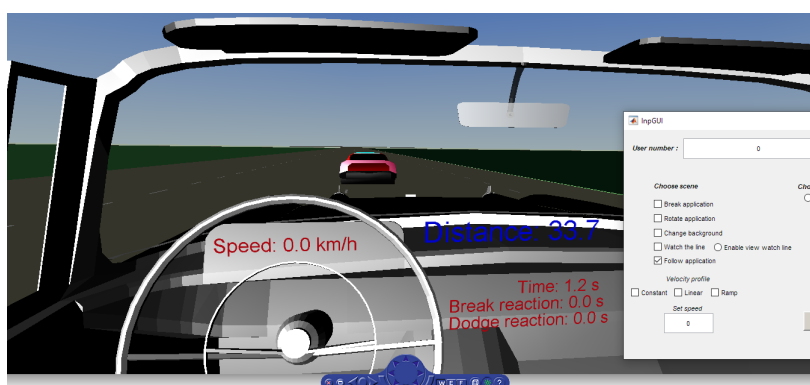


Obr. 3.5: Scéna zmena pozadia

3.4 Sledovanie vozidla

Pri návrhu tejto scény som sa zamerala na schopnosť operátora dodržiavať konštantnú vzdialenosť od vozidla, ktoré ide pred ním. Túto vzdialenosť určujem ako rozdiel polohy sledovaného vozidla od polohy referenčného vozidla. Vozidlo je doplnené do simulátora a ide po vopred navrhnutej trase. Súčasťou tejto scény je aj číselné zobrazenie vzdialenosti od vozidla. Následne popíšem postup pri vytváraní tohto scenára.

V prvom rade som si vytvorila v prostredí V-Realm Builder model vozidla. Model vozidla som zvolila Viper. Nastavila som mu súradnice a umiestnila do simulátora. Na Obr. 3.6 je výsledné vizuálne zobrazenie tohto scenára.



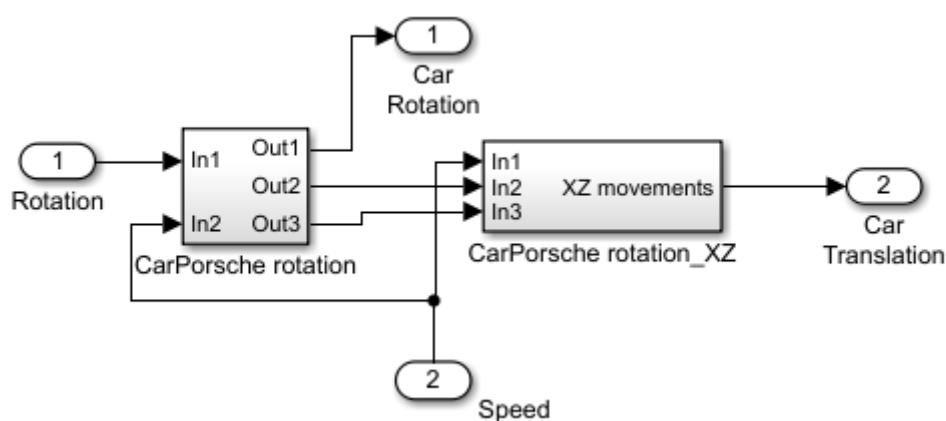
Obr. 3.6: Scéna sledovanie vozidla

Ďalej som sa zamerala na pohyb vozidla v simulátore. Tento pohyb som riešila na úrovni Matlab/Simulink. Podrobnejší popis je v nasledujúcej podkapitole.

3.4.1 Ovládanie pohybu

Jednou z prvých vecí, ktorú som musela riadiť, bola rotácia a pozícia vozidla. Vytvorila som si preto podsystém *rotation_system_Viper*, ako je možné vidieť na Obr.3.7. Ako je vidieť z obrázka, do tohto podsystému vstupuje rotácia volantu, ktorá predstavuje hodnoty v rozmedzí od $<-1;1>$ a rýchlosť vozidla Viper. Celkový popis funkčnosti tohto podsystému je teda riešenie transformácie hodnôt v rozmedzí $<-1;1>$ do reálnych hodnôt, ktoré zodpovedajú fyzikálnym hodnotám pri vytočení volantu. To znamená, ak mi príde hodnota -1, vozidlo sa mi neotočí skokovo, ale začne točivý pohyb smerom doľava, ako pri reálnom plnom vytočení volantu vľavo. Rýchlosť vozidla mi určuje ešte reálnejšie chovanie modelu vozidla, kde pri vysokej rýchlosti je oblúk zákruty väčší ako pri nižšej rýchlosti.

Pre detailnejšiu predstavu funkčnosti popíšem podrobnejšie jednotlivé bloky. V prvom bloku *CarPorsche rotation* prepočítam natočenie vozidla v simulátore vzhľadom k rotácii volantu. To znamená, že mením uhol vozidla vzhľadom k súradnicovému systému simulátora, a to tak, že veľkosť zmeny uhla vozidla za jednotku času je priamoúmerná natočeniu volantu. Výstupom prvého bloku je priame otočenie vozidla v simulátore, smer rotácie a uhol natočenia. Smer rotácie, uhol natočenia a rýchlosť vozidla sú vstupom do druhého bloku *CarPorsche rotation_XZ*. Pomocou vstupov dokážem nastaviť pozíciu vozidla v súradniciach simulátora, a to tak, že zaistím pomocou goniometrických funkcií \sin a \cos rozsah uhlu $<0;2\pi>$ a následne uhol vynásobím aktuálnou rýchlosťou vozidla, čím získam požadovanú zmenu pozície vozidla v konkrétnych súradniciach X a Z.



Obr. 3.7: *rotation_system_Viper*

3.4.2 Plánovanie trasy

Ďalšou vecou, na ktorú som sa pri vytváraní tejto scény zamerala, bolo plánovanie trasy. Plánovanie trasy je riešené vo funkčnom bloku `appFollow_fcn`. Na vstup funkčného bloku je privedená aktuálna poloha oboch vozidiel v simulátore a tiež aj uhol Viper vozidla.

Pri plánovaní trasy bolo dôležité určiť: polohu brzdenia a natočenie volant. Následne popíšem príklad pre prvú zákrutu doľava. Ostatné zákruty fungujú na rovnakom princípe len s rozdielom veľkosti požadovanej rýchlosti vozidla pri brzdení a súradnicou bodu, ktorú chcem dosiahnuť.

Pri určení polohy brzdenia som si najprv určila rýchlosť, ktorú chcem dosiahnuť, a to je 30 km/h. Ďalším dôležitým parametrom je dĺžka (interval) jedného cyklu, a to je 0.02s. Z programu som si určila aj veľkosť záporného zrýchlenia, a to je -5. Ako posledné som si zvolila súradnicu bodu, ktorú chcem po dokončení zákruty dosiahnuť.

Z týchto údajov som si vypočítala koľko cyklov prejde, kým sa mi zmení rýchlosť vozidla z rýchlosti 50 km/h na rýchlosť 30 km/h. Výpočet je v nasledujúcej rovnici (3.1).

$$\frac{v_{akt} - v_k}{interval \cdot |a|} = \frac{50 - 30}{0,02 \cdot |-5|} = 200 [-] \quad (3.1)$$

,kde v_{akt} Aktuálna rýchlosť vozidla Viper [km/h]
 $interval$ Dĺžka jedného cyklu [s]
 a Záporné zrýchlenie vozidla [$km \cdot h^{-2}$]

Pri určovaní celkovej brzdnej dráhy, ktorú vozidlo prejde, som si najprv musela vypočítať čas, za ktorý dosiahne vozidlo požadovanú rýchlosť 30 km/h. Výpočet je v nasledujúcej rovnici (3.2).

$$t = \left| \frac{v_{akt} - v_k}{a} \right| = \left| \frac{50 - 30}{-5} \right| = 4 [s] \quad (3.2)$$

,kde t Čas [s]
 v_{akt} Aktuálna rýchlosť vozidla Viper [km/h]
 v_k Konečná rýchlosť vozidla Viper [km/h]
 a Záporné zrýchlenie vozidla [$km \cdot h^{-2}$]

Po zistení celkového času som bola schopná následne vypočítať dĺžku dráhy, ktorú vozidlo prejde, kým spomalí na požadovanú rýchlosť. Výpočet je v nasledujúcej rovnici (3.3).

$$s_b = v_{akt} \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 = 50 \cdot 4 + \frac{1}{2} \cdot (-5) \cdot 4^2 = 160 [m] \quad (3.3)$$

,kde s_b Brzdná dráha [m]
 t Čas [s]
 v_{akt} Aktuálna rýchlosť vozidla Viper [km/h]
 v_k Konečná rýchlosť vozidla Viper [km/h]
 a Záporné zrýchlenie vozidla [$km \cdot h^{-2}$]

K určení celkovej dráhy, ktorú vozidlo prejde, kým dosiahne požadovanú súradnicu, potrebujem ešte dopočítať dráhu, ktorú prejde pri otáčaní. Pri počítaní tejto dráhy si najprv potrebujem určiť výpočet uhla natočenia vozidla po krokoch. K výpočtu som použila konštanty získané z podsystému rotation_system_Viper. Výpočet je v nasledujúcej rovnici (3.4).

$$\varphi(k) = (\varphi(k-1) - 0,00005) + (0,859 \cdot 0,0005) \quad (3.4)$$

,kde φ Uhol natočenia vozidla Viper [rad]
 k Krok

V nasledujúcej rovnici (3.5) vypočítam dráhu, ktorú prejde vozidlo pri zákrute.

$$s_z = \sum_{k=0}^n [\cos(\varphi(k)) \cdot v_{akt} \cdot interval] \quad (3.5)$$

,kde s_z Dráha pri zákrute [m]
 n Počet krokov určený veľkosťou uhla $\langle 0; \frac{\pi}{2} \rangle$
 φ Uhol natočenia vozidla Viper [rad]
 v_{akt} Aktuálna rýchlosť vozidla Viper [km/h]
 $interval$ Dĺžka jedného cyklu [s]

Na základe predchádzajúcich výpočtov si spočítam celkovú dráhu, ktorú prejde vozidlo a odčítaním od požadovanej súradnice, v tomto prípade od súradnice $X = -1000$, dosiahnem bod x_b , v ktorom má vozidlo začať brzdiť. Výpočet tohto bodu je v rovnici (3.6).

$$x_b = -1000 + s_z + s_b = -1000 + 79 + 160 = -761 \quad (3.6)$$

,kde x_b Bod brzdenia [m]
 s_z Dráha pri zákrute [m]
 s_b Brzdná dráha [m]

Dôležité je aj určenie bodu x_z , v ktorom má vozidlo začať vytáčať a ten si určím podľa rovnice (3.7).

$$x_z = -1000 + s_z = -1000 + 79 = -921 \quad (3.7)$$

,kde x_z Bod točenia [m]
 s_z Dráha pri zákrute [m]

Na záver si nastavím otáčanie volantu v smere otáčanie doľava, zadaním hodnoty -1 na výstup *rotation* funkčného bloku, po dosiahnutí bodu otáčania. Po dosiahnutí požadovanej súradnice a uhla pošlem na výstup *rotation* hodnotu 0.

3.4.3 Zber získaných dát

V tomto funkčnom bloku je tiež riešený aj výber rýchlostného profilu a s tým spojené aj zbieranie dát pre túto scénu, ale to podrobnejšie popíšem až v nasledujúcej podkapitole. Zameriam sa len na dáta potrebné pre scénu sledovania vozidla, a to sú: Aktuálny čas, aktuálna rýchlosť vozidla riadeného v simulátore a aktuálna vzdialenosť medzi vozidlami. Celkový prehľad zozbieraných dát pre všetky scény je v podkapitole 3.8.

V simulátore je tiež pridané aj číselné vyhodnotenie vzdialenosti, pomocou bloku VR Text Output.

3.5 Rýchlostné profily

Po vytvorení sledovania konštantnej vzdialenosti vozidla mi napadlo pridanie rôznych rýchlostných profilov na začiatku simulácie. Typy rýchlostných profilov som zvolila

1. Konštantný
2. Lineárny
3. Rampa

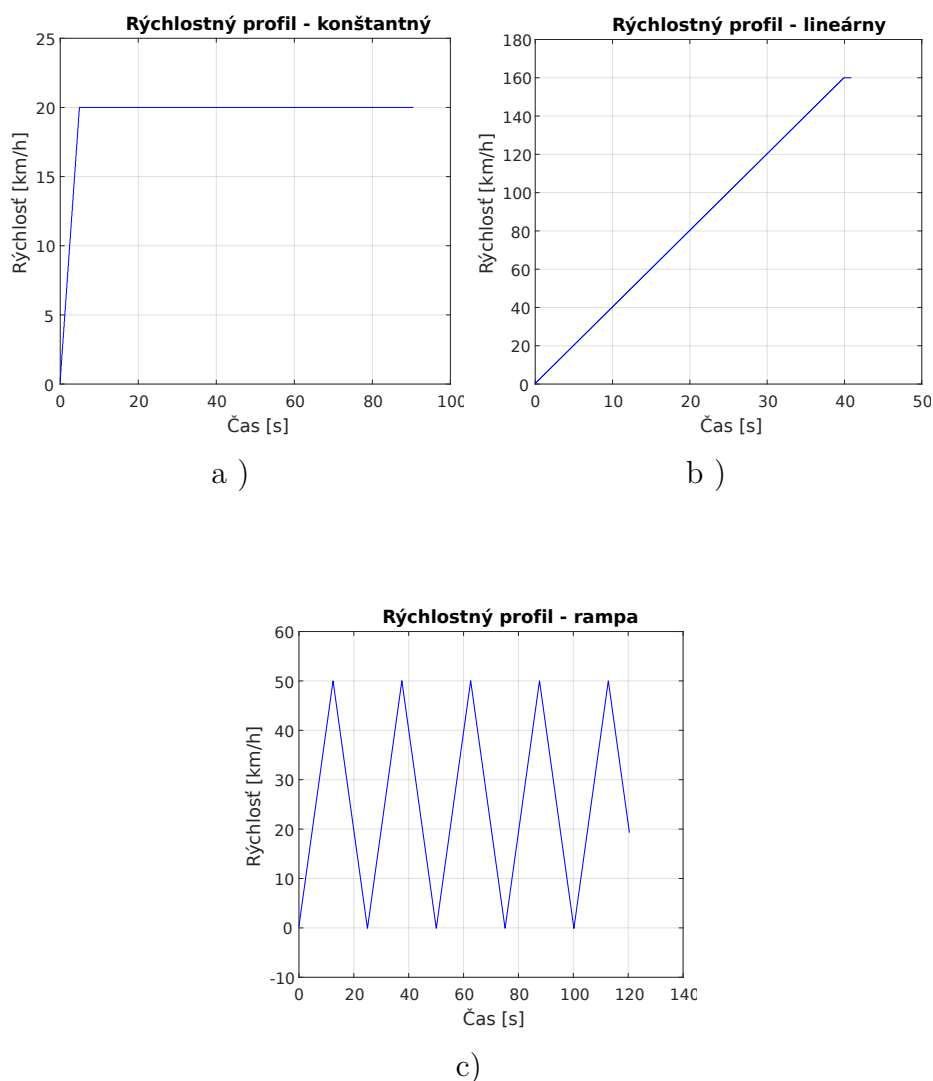
Následne popíšem postup pri vytváraní tohto scenára. V prvom rade som využila už funkčnú scénu pre sledovanie vozidla. Do tejto scény som pridala príznak voľby rýchlostného profilu, a v tom prípade vynechávam celú naplánovanú trasu a vozidlo ide len rovno. V tejto scéne nie je dôležitá trasa, ale práve zmena rýchlosti. Kvôli tomu som aj predĺžila cestu v simulátore, aby som dosiahla dostatočne dlhú cestu pre meranie rýchlostného profilu.

Pri zvolení rýchlostného profilu typu *konštantný* viď. Obr. 3.8 a), ide vozidlo predomnou konštantnou rýchlosťou. Pri štarte simulátora sa vozidlo pomaly rozbehne, až dosiahne požadovanú rýchlosť a tú už nezmení. Rovnako, ako v predchádzajúcej

scéne, sa sústredím na dodržiavanie ideálnej vzdialenosti od vozidla, ale v tomto prípade idúceho len rovno a konštantnou rýchlosťou.

Pri zvolení rýchlostného profilu typu *lienárny* viď. Obr. 3.8 b), ide vozidlo predomnou lineárne zvyšujúcou sa rýchlosťou. Pri štarte simulátora sa sledované vozidlo pomaly rozbieha a jeho rýchlosť neustále narastá. Možnosti sledovania vozidla v simulátore sú obmedzené maximálnou rýchlosťou vozidla, ale kým nedosiahnem maximum, môžem sledovať reakciu ľudského operátora na lineárne narastajúcu rýchlosť.

Pri zvolení rýchlostného profilu typu *rampa* viď. Obr. 3.8 c), sa sledované vozidlo rozbieha, kým nedosiahne rýchlosť 50 km/h. Po dosiahnutí tejto rýchlosti začne sledované vozidlo brzdiť, až úplne zastaví. Po zastavení sa začne znovu rozbiehať. Týmto rozbiehaním a brzdením dosiahnem efekt rýchlostného profilu typu *rampa*.



Obr. 3.8: Zobrazenie rýchlostných profilov

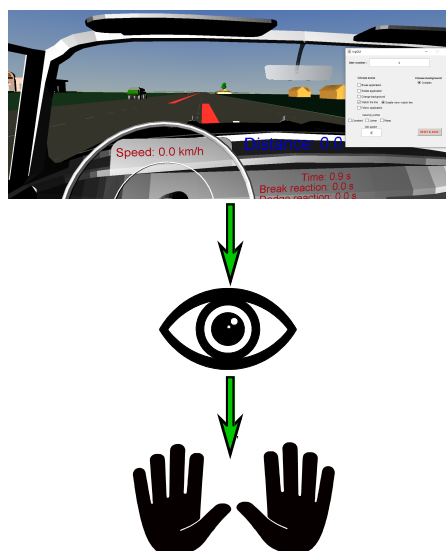
Po ukončení testovania všetkých troch rýchlostných profilov si zozbieram potrebné dáta na vyhodnotenie a to sú: Aktuálny čas, aktuálna rýchlosť vozidla v simulátore a aktuálna rýchlosť sledovaného vozidla Viper. Vyhodnotenie tohto profilu spočíva v porovnaní rýchlostí referenčného vozidla simulátora a rýchlostí sledovaného vozidla.

3.6 Sledovanie čiary

Pri návrhu tejto scény som sa zamerala na schopnosť vodiča sledovať čiaru na ceste a odmerať jeho reakciu na skokovú zmenu čiary, ktorá sa zmení. Vytvorila som dva módy ako ľudský operátor reaguje na zmenu čiary. Prvý mód je navrhnutý tak, že zmenu čiary vidí ľudský operátor v dostatočnom predstihu, čiže je schopný zapojiť aj svoje skúsenosti z riadenia a predvídavosť pre správne vyregulovanie na požadovanú hodnotu. Druhý mód je navrhnutý tak, že ľudský operátor nevidí dopredu zmenu čiary, čiže sledujem jeho okamžitú reakciu na zmenu čiary.

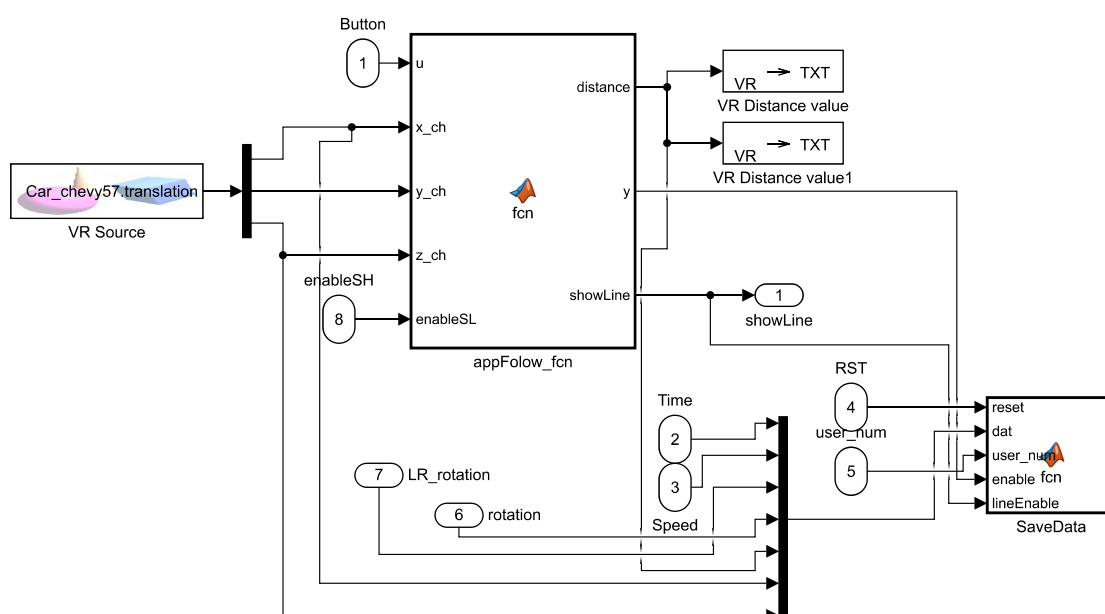
Tento scenár je ideálny pre vyhodnotenie ľudského regulátora podľa Precision modelu, ktorý je spomenutý v kapitole č.1. Následne popíšem postup pri vytváraní tohto scenára, ktorý platí pre oba módy.

V prvom rade som si vytvorila v prostredí V-Realm Builder tri červené čiary. Následne nato som ich umiestnila do polohy, aby bola prvá z čiar vzhľadom k autu v nulovej vzdialenosti od stredu. Druhá čiara je posunutá a pôsobí efekt jednotkového skoku. Aby som bola schopná skúmať reakciu okamžite pri zmene čiary, mením východziu polohu pre sledovanie rozdielu od čiary tak, že v momente, kedy sa najprednejšia časť auta priblíži k druhej čiare, nastavím ako referenciu od stredu auta druhú čiaru. Ten istý postup je potom aj pri zmene na tretiu čiaru. Na Obr. 3.9 je výsledné vizuálne zobrazenie tohto scenára.



Obr. 3.9: Scéna pozoruj čiaru

Ďalej som si vytvorila, ako je na Obr. 3.10, podsystémy v prostredí Simulink.



Obr. 3.10: Scéna pozoruj čiaru - program Simulink

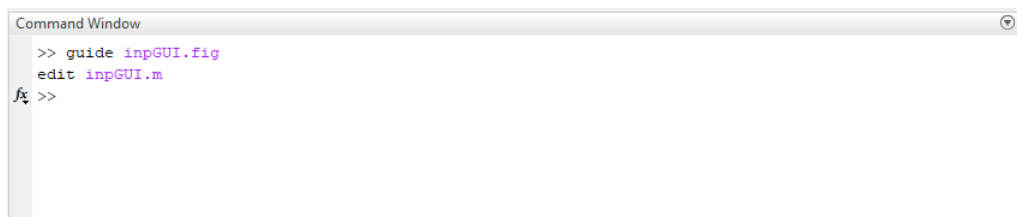
Súčasťou tohto podsystému je funkčný blok appFollow_fcn, v ktorom je riešený výpočet rozdielu vozidla. Pre výpočet je potrebné na vstup funkčného bloku dať aktuálne informácie o polohe vozidla v simulátore pomocou bloku VR Source. Z

výstupu je vyvedený rozdiel polohy auta od sledovanej čiary a príznak povolenia scény pre ukladanie dát. V podsystéme sa tiež nachádzajú aj bloku VR Text Output, pomocou ktorých prenášam rozdiel v číselnej podobe aj do simulátora. Použitie týchto blokov je tam dvakrát, a to z dôvodu možnosti zmeny pohľadu ľudského operátora, buď z auta alebo na auto. Ďalší funkčný blok slúži pre ukladanie dát. V prípade sledovania čiary sú to dáta: v prvom stĺpci aktuálny čas, v druhom stĺpci aktuálna rýchlosť, v treťom stĺpci výchylka volantu, v štvrtom stĺpci výchylka auta v simulátore a v piatom stĺpci aktuálny rozdiel od čiary. Celkový prehľad zozbieraných dát pre všetky scény je v podkapitole 3.8.

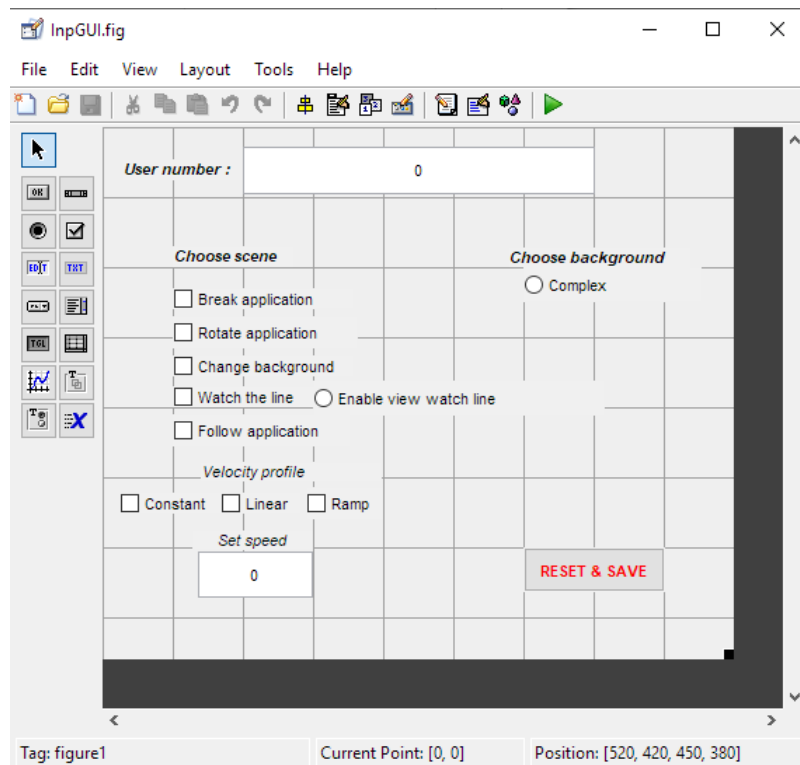
3.7 GUI

Pre riadenie scenárov boli v pôvodnom návrhu simulátora využité tlačítka na volante. Pri doplnení ďalších troch scén už vznikol problém v prehľadnosti a jednoduchosti. Ďalším problémom tohto riešenia bolo to, že aj pri jednoduchých scénach so srnkou, stopkou a zmenou pozadia, bolo vždy nutné reštartovať celú simuláciu. Z týchto dôvodov som vytvorila jednoduché rozhranie, ktoré slúži k ovládaniu simulátora. Následne popíšem postup pri vytváraní tohto rozhrania. Tiež dodám aj jednoduchý manuál pre prácu s rozhraním.

V prvom rade som si stiahla pomocný manuál pre vytváranie GUI [13]. Na základe tohto príkladu som si vytvorila návrh vizuálnej stránky GUI. Pomocou príkazov v Matlabe `guide inpGUI.fig` a `edit inpGUI.m`, ktoré som si zadala do príkazového okna, ako je možné vidieť na Obr.3.11, sa mi otvorilo návrhové okno, kde som si už pre moju potrebu navrhla požadovaný štýl pre môj simulátor, ako je možné vidieť na Obr. 3.12.

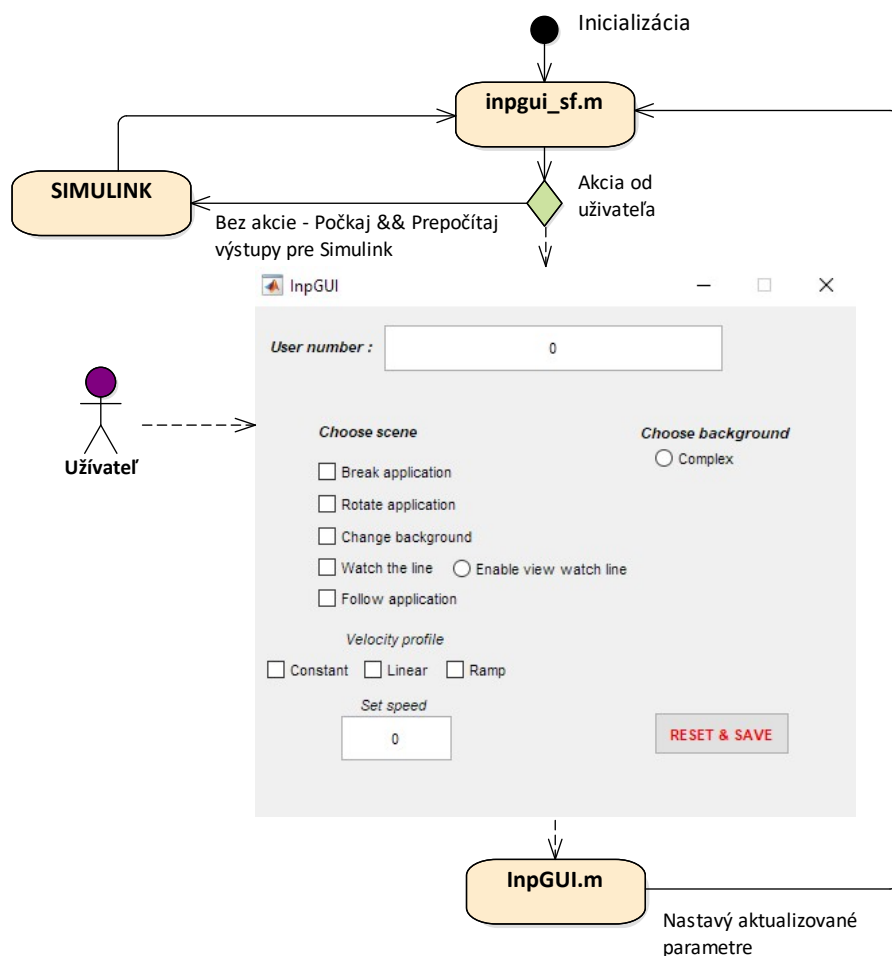


Obr. 3.11: Príkaz pre spustenie GUI úprav



Obr. 3.12: Úprava návrhu GUI

Po vytvorení nového objektu sa mi vytvorila funkcia v zložke InpGUI.m, s ktorou som mohla ďalej pracovať. Po konečnom návrhu vizuálnej stránky GUI som potrebovala prepojiť GUI s prostredím Matlab/Simulink, aby som bola schopná ovládať simulátor. Pre zjednodušenie pochopenia funkčnosti tohto prepojenia som sa rozhodla vytvoriť schému algoritmu predávania parametrov cez jednotlivé zložky až do prostredia Simulinku, ako je možné vidieť na Obr. 3.13

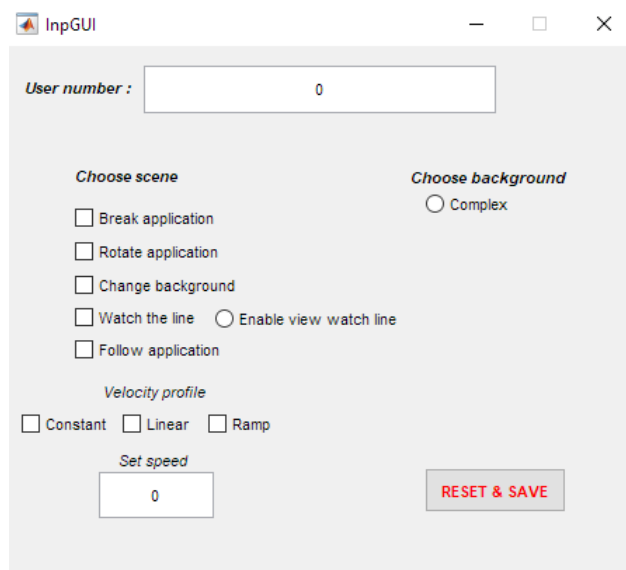


Obr. 3.13: Schéma algoritmu GUI

Zo schémy je vidieť, že k prepojeniu využívam dve zložky, z toho jedna slúži pre posielanie hodnôt do Simulinku a druhá čaká na akciu od užívateľa. V nasledujúcich podkapitolách popíšem manuál pre ovládanie GUI a tiež aj ovládanie jednotlivých scén v simulátore.

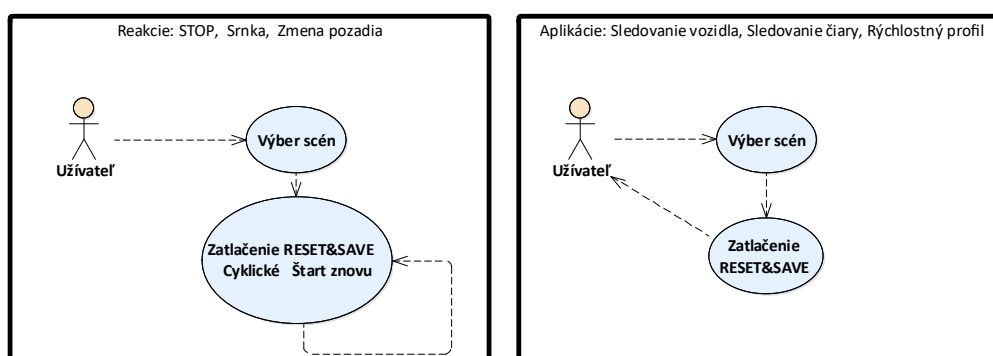
3.7.1 Manuál pre ovládanie GUI

Na Obr. 3.14 je vidieť kompletný návrh GUI. Prvú položku GUI tvorí zadanie User number, čo je priradené číslo, ktoré dostane každý z testovaných ľudských operátorov vlastné. Nasleduje výber jednotlivých scén Choose scene.



Obr. 3.14: GUI

Prvé tri z piatich scén je možné reštartovať behom simulácie stlačením tlačidla RESET&SAVE. Z toho dôvodu je nutné pri spustení simulátora a zaškrtnutí vybranej scény na začiatku zatlačiť tlačidlo pre nastavenie časovačov, ktoré sú pre jednotlivé aplikácie dôležité. Potom už len stačí pre zopakovanie merania reakcií zatlačiť tlačidlo RESET&SAVE. Zostáva teda výber posledných dvoch scén. Tie vyžadujú z dôvodu pevne stanovených pomocných objektov, ako auto a čiary, reštartovanie celého simulátora. Keďže sa v prípade týchto dvoch scén nepoužívajú časovače nie je nutné ich po spustení hneď reštartovať. Na Obr. 3.15 je zobrazený už popísaný model chovania simulátora pri reštarte.



Obr. 3.15: Schéma algoritmu simulátora po reštarte

Ďalším prvkom je nastavovanie rýchlostných profilov (Velocity profile). Táto scéna je súčasťou scény sledovania vozidla, čiže je potrebné mať zaškrnuté políčko

Follow application. Tiež je potrebné pri tejto scéne zastaviť simulátor, nastaviť profil a spustiť. Je to z rovnakých dôvodov, ako v posledných dvoch scénach.

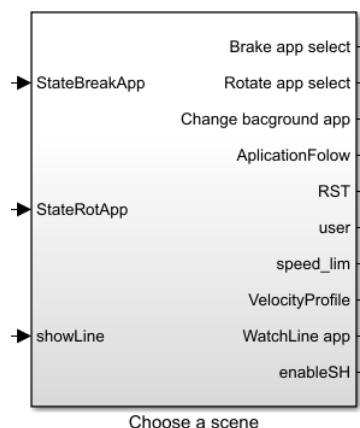
Pri zvolení scény sledovania čiar (WatchLine) je vedľa umiestnený príznak povolenia zobrazenia sledovacej čiar (Enable view watch line). Tento príznak mi určuje to, či bude ľudský operátor dopredu vidieť pri skokovej zmene čiar dve alebo uvidí vždy len jednu čiaru.

Pomocou GUI si dokážeme nastaviť aj maximálnu rýchlosť riadeného vozidla v simulátore, a to zadáním hodnoty do políčka Set speed. Nastavením hodnoty nula má vozidlo nastavenú maximálnu rýchlosť vzhľadom k reálnemu modelu čo predstavuje hodnotu 160 km/h.

Poslednú možnosť, ktorú môže užívateľ nastaviť, je zložitosť celej scény. V priebehu spustenej simulácie si túto možnosť môže užívateľ meniť ľubovoľne a nijako tým neovplyvní žiadnu zo scén. Po spustení simulácie sa nastaví jednoduchá scéna, ktorá obsahuje skoro prázdne okolie. Po zvolení možnosti zložitej scény sa na pozadí pridajú do okolia rôzne objekty ako domy, autá a ďalšie. Vypnutím zložitého pozadia sa nastaví opäť jednoduché.

3.7.2 GUI v Simulinku

Aby všetko v simulátore fungovalo podľa spísaného manuálu, potrebovala som upraviť pôvodný návrh simulátora. Na Obr. 3.16 je vidieť funkčný blok, ktorý spracováva hodnoty z GUI do simulinku pre riadenie scén simulátora.



Obr. 3.16: Výber scén

Celé je to zabalené do podsystemu Choose a scene. Na vstupe sa nachádzajú potrebné spätné väzby od jednotlivých scén rozlíšené podľa názvu. Na výstupe sú potom potrebné signály k spúšťaniu scén. Súčasťou tohto podsystemu je riešenie zobrazovania jednotlivých textov a objektov ku konkrétnym scénam. Ďalej sa tam

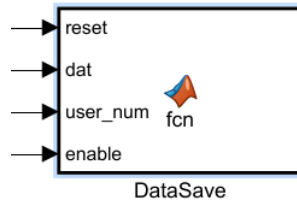
nachádza funkčný blok ChooseVelocityProfile, v ktorom riešim reprezentáciu jednotlivých rýchlostných profilov, a to tak, že pri zvolení možnosti konštantného profilu uloží na výstup jednotku, pri zvolení rampy profilu uloží dvojku a nakoniec pri lineárnom profile uloží trojku. Je to z dôvodu rozlišovania, o aký profil sa jedná. Ďalší funkčný blok sa nazýva enable_fcn a v ňom je riešený príznak vybranej scény.

3.8 Zbieranie dát

Podobne, ako aj pri rozhraní, boli problémy aj pri ukladaní dát. V pôvodnom simulátore to bolo riešené veľmi jednoducho, a to štýlom preklápania nameraných dát pomocou bloku To Workspace do Matlabu. Tento pôvodný spôsob som zmenila tak, že sa mi namerané dáta ukladajú do zložky. Následne popíšem postup pri vytváraní spôsobu ukladania dát.

V prvom rade som si v ceste môjho uloženého projektu vytvorila zložku SaveData a do tejto zložky som vytvárala ďalšie zložky s názvami jednotlivých scén. Toto vytvorenie je pevne dané kvôli zadávaniu pevnej cesty pre ukladanie výsledkov.

Ďalej som si vytvorila pre každú scénu funkčný blok DataSave, ako je možné vidieť na Obr. 3.17



Obr. 3.17: Funkčný blok pre ukladanie výsledkov

Reset slúži ako príznak toho, že môžem uložiť nazbierané dáta, aby som nezatážovala systém neustálym ukladáním a uložila všetky dáta naraz. Ďalší veľmi dôležitý vstup je číslo testovaného ľudského operátora, na základe ktorého sa každému vytvorí vlastná zložka s priradeným číslom, aby som potom vedela vyhodnotiť reakcie jedného ľudského operátora na jednotlivé scény. Do tejto zložky sa následne ukladajú výsledky vo formáte .xlsx pre jednoduchšie spracovanie. Vstup enable slúži ku povoleniu ukladania dát. Je tam z toho dôvodu, aby sa mi ukladali výsledky vždy od konkrétnej aktívnej scény.

Vstup dát obsahuje dáta pre ukladanie do .xlsx súboru, ktoré sú v každej scéne iné. V tabuľke č.3.1 je prehľad hlavičiek ukladaných dát potrebných k správne mu vyhodnoteniu jednotlivých scén.

Tab. 3.1: Prehľad parametrov zozbieraných dát - všetky scény

	Reakcia na STOP	Reakcia na srnku	Zmena pozadia	Sledovanie vozidla	Rýchlostné profily	Sledovanie čiary
1.	Čas [s]	Čas [s]	Čas [s]	Čas [s]	Čas [s]	Čas [s]
2.	Rýchlosť [km/h]	Rýchlosť [km/h]	Rýchlosť [km/h]	Rýchlosť [km/h]	Rýchlosť Chevy [km/h]	Rýchlosť [km/h]
3.	Stlačenie brzdy [>0]	Výchylka volantu	Rotácia volantu [0/1]	Vzdialnosť od vozidla [ft]	Rýchlosť Viper [km/h]	Rotácia volantu [0/1]
4.	Reakčná doba [s]	Roatácia volantu [0/1]	Zmena pozadia [0/1]	Osa X [ft]	Vzdialnosť od vozidla [ft]	Výchylka volantu
5.	Vyskočenie STOP[0/1]	Reakčná doba [s]		Osa Z [ft]		Vzdialenosť od čiary [ft]
6.		Osa X [ft]				Osa X [ft]
7.		Osa Z [ft]				Osa Z [ft]
8.		Srnka[0/1]				

4 Merania a testy

V tejto kapitole popíšem priebeh merania testovaných vodičov, podmienky merania pre jednotlivé scény a identifikáciu parametrov testovaných vodičov.

4.1 Postup testovania vodičov

Ako som už spomínala v predchádzajúcich kapitolách, vyhodnocovanie vodičských schopností ľudského operátora prebieha pomocou simulátora vozidla. Na Obr. 4.1 je možné vidieť reálne, funkčné zariadenie, na ktorom boli vodiči testovaní. Snažila som sa, aby simulátor zodpovedal čo najviac reálnemu modelu vozidla.

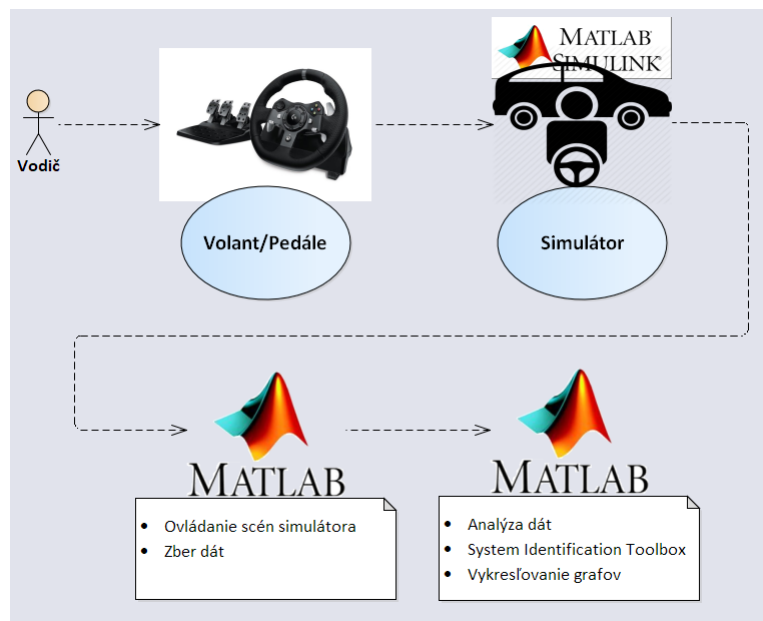


Obr. 4.1: Reálny model simulátora vozidla

Podmienky pre testovanie mali všetci testovaní vodiči rovnaké:

- Trvanie testov - cez 2 hodiny
- Počet opakovaní testovania jednotlivých scén - 10-krát každá scéna, plus špeciálne scéna sledovania čiary bola testovaná 70-krát pri rôznych podmienkach, ktoré sú bližšie popísané v podkapitole 5.4 a podkapitole 5.6.
- Čas testov - v popoludňajších hodinách

Pre jednoduchosť vysvetlenia postupu testovania uvediem blokovú schému popisujúcu postup merania a vyhodnocovania vodičov viď Obr. 4.2.



Obr. 4.2: Bloková schéma postupu testovania

4.1.1 Scéna zmena pozadia

Skúšobným meraním som zistila, že zmena pozadia, ako je to riešené pri tejto scéne, by nemala žiadny vplyv ani na jedného z testovaných vodičov. Pravdepodobne by pomohlo, ak by sa pozadie menilo výraznejšie, ale vzhľadom ku tomu, že návrh scén bol riešený pred samotným meraním, nebol už priestor pre zmenu.

4.2 Parametre testovaných vodičov

V tejto podkapitole sa zameriam už na konkrétnu sadu desiatich testovaných vodičov. Popíšem odpovede na otázky, na ktoré testovaní vodiči odpovedali počas testov. Tieto údaje zhrniem pre jednoduchosť a prehľadnosť do tabuľky č. 4.1.

Najprv ale popíšem sadu otázok, ktoré dostali:

1. Mate vodičský preukaz?
2. Koľko rokov?
3. Ste aktívny alebo pasívny vodič?
4. Zaradili by ste sa k pokojným alebo k impulzívnym vodičom?

Tab. 4.1: Prehľad vodičských parametrov testovaných vodičov

Vodič	Vek	Pohlavie	Vodičský preukaz (Počet rokov)	Aktívny/Pasívny	Chovanie
10	25	Muž	Áno (7 rokov)	Pasívny	Pokojné
20	25	Muž	Áno (7 rokov)	Pasívny	Impulzívny
30	25	Muž	Áno (7 rokov)	Pasívny	Pokojné
40	24	Muž	Áno (6 rokov)	Aktívny	Impulzívny
50	25	Muž	Áno (7 rokov)	Pasívny	Pokojné
60	26	Muž	Áno (8 rokov)	Aktívny	Pokojné
70	25	Muž	Áno (7 rokov)	Aktívny	Pokojné
80	25	Žena	Nie	-	-
90	24	Žena	Áno (6 rokov)	Pasívny	Pokojné
100	23	Žena	Áno (5 rokov)	Pasívny	Pokojné

4.3 Identifikácia parametrov ľudského operátora

V tejto kapitole sa zameriam na popis modelu ľudského regulátora vytvoreného na základe scenára sledovania čiary. K identifikácii parametrov regulátora som využila MATALB - System Identification Toolbox. Vytvorila som si funkciu WatchLine viď. Obr. 4.3.

```
function [A,B,F_vodic_vysl_A,F_vodic_vysl_B,e1,e2,t1,t2,u1,u2] = WatchLine(xlsx_data,user)
```

Obr. 4.3: Volanie funkcie WatchLine

V tejto funkcii riešim návrh výstupného modelu ľudského regulátora. Vstupom do funkcie sú reálne namerané dáta od jednotlivých testovaných vodičov a číslo vodiča. Na začiatok som si určila o aký typ modelu sa jedná, a to tak, že som si zvolila typ modelu odpovedajúci Precision modelu popísaného v rovnici (1.3). Ďalej som pracovala s reálnymi nameranými dátami. Najprv som si našla úsek so skokovou zmenou prvej a druhej čiary a v týchto úsekoch som si nadefinovala vstupné a výstupné dáta. Následne som prešla už k samotnej funkcii identifikácie viď Obr. č. 4.4, v ktorej som nastavila určité parametre, ktoré vyhovovali mojim potrebám. Podrobný popis parametrov identifikačnej funkcie je možné nájsť v literatúre [15]. Výsledkom tejto funkcie je štruktúra s parametrami regulátora vodiča. Túto získanú štruktúru som ešte musela ďalej upraviť do výslednej podoby Precision modelu.


```
id_data = iddata(u,e,Ts);
options = tfestOptions('InitMethod','iv','InitialCondition','zero','EnforceStability',true);
F_vodic = tfest(id_data, zeros_poles(2), zeros_poles(1), dz_v_sec, options);
```

Obr. 4.4: Volanie funkcie pre identifikáciu parametrov

Na záver som sa snažila o čo najpresnejšiu odozvu identifikovaných parametrov odpovedajúcu reálnej odozve ľudského operátora. Túto presnosť som zisťovala na základe určenia parametru *Best fit (BF)* [%]. Tento parameter určujem pomocou funkcie *Compare* vid. Obr. č. 4.5. Vstupom tejto funkcie sú reálne dáta a štruktúra vodiča získaná po identifikácií.

```
% presnost identifikace (Best fit)
[y_m,BF,x0] = compare(id_data, F_ridic);
```

Obr. 4.5: Volanie funkcie pre vyhodnotenie presnosti identifikácie

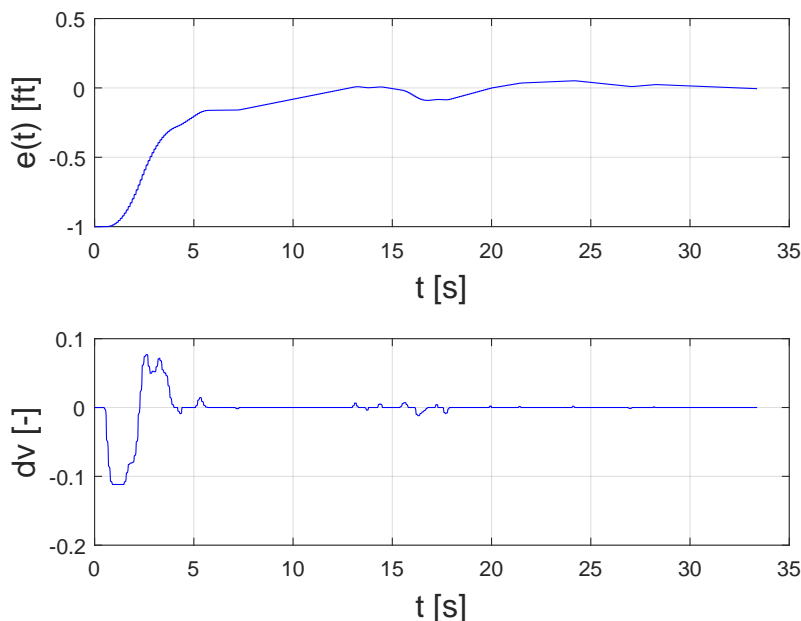
BF mi hovorí o tom, s akou presnosťou sa mi zhoduje navrhnutý model s reálnym modelom. To znamená, porovnanie identifikácie s originálnou odozvou vodičov. Jeho hodnota sa vypočítava podľa rovnice (4.1)

$$BF = 100 \cdot \left(1 - \frac{||y - y_m||}{||y - mean(y)||} \right) \quad (4.1)$$

Toto bol stručný popis funkcií, ktoré používam pre určovanie parametrov ľudského operátora. Teraz sa zameriam na vizuálny príklad postupu identifikácie, a to tak, že ukážem identifikáciu jedného testovaného vodiča a jeho jednu reakciu na zmenu čiary.

1. Určenie vstupných a výstupných parametrov z nameraných dát.

Na Obr. č. 4.6 je možné vidieť reálne dáta odmerané od testovaného vodiča. V prvom grafe je znázornený vývoj veľkosti chyby od požadovanej hodnoty. V druhom grafe je potom znázornená výchylka volantu vodiča od čiary.



Obr. 4.6: Namerané dáta od testovaného vodiča

2. Vytvorenie rovnice ľudského regulátora ako výsledok identifikácie.

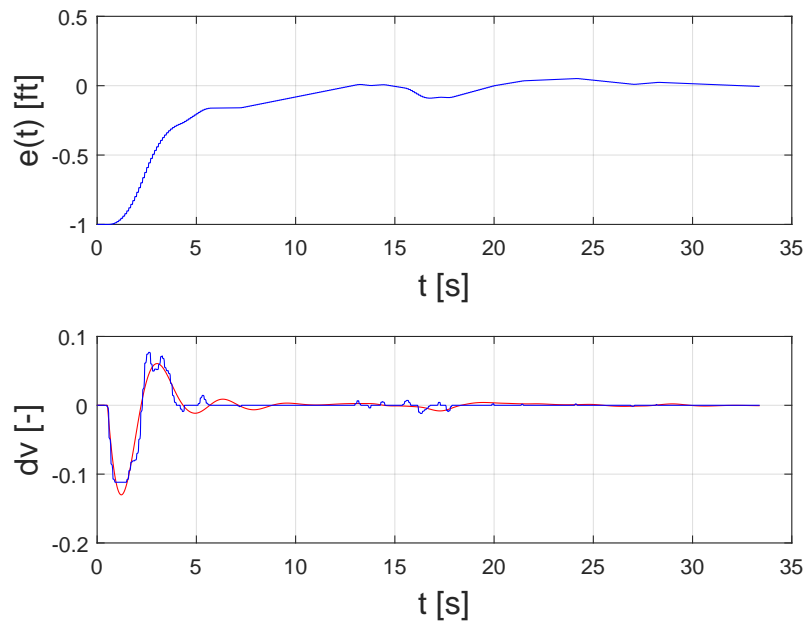
$$F_R = 0,36 \cdot (5,72p + 1) \cdot \exp(-0,52p) \cdot \frac{1}{\frac{1}{4,12}p^2 + 2\frac{0,29}{2,03}p + 1} \quad (4.2)$$

Z rovnice (4.2) je jasné že sa jedná o prenos PD regulátora s dopravným oneskorením, doplneného o kmitavý neuromuskulárny systém človeka.

Hodnoty z rovnice (4.2) približne zodpovedajú teoretickým predpokladom, ktoré sú uvedené v kapitole č.1. Hodnota prediktívnej časovej konštanty T_L , ktorá sa pohybuje v rozmedzí 0.1 až jednotky sekundy, sa v tomto prípade rovná hodnote 5,72. Časová konštanta udávajúca oneskorenie mozgu na pohybový a očný vnem, ktorej hodnoty by mali byť v rozsahu 0,5 - 1s odpovedá predpokladanej teórii s hodnotou 0,52 s. Hodnota tlmenia ξ_N neuromuskulárneho systému je ale v tomto prípade nižšia ako hodnota 0,7, ktorú uvádza teória a jeho hodnota je 0,29. Nakoniec hodnoty vlastnej frekvencie kmitov neuromuskulárneho systému $\omega_N = 2,03$, čo je nižšia hodnota ako teoretický predpoklad, čo môže byť spôsobené zvoleným typom aplikácie.

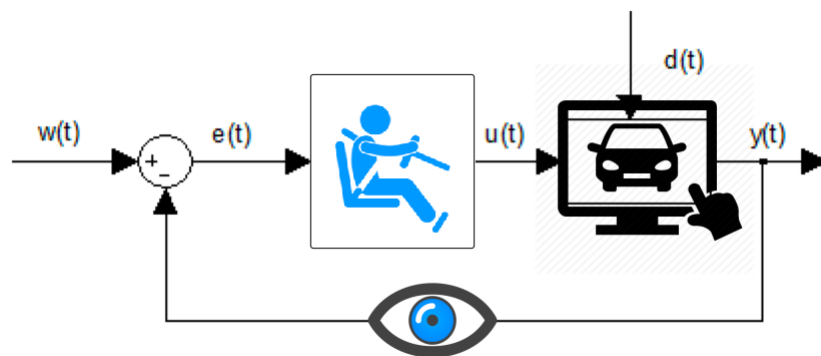
3. Nájdenie čo najpresnejšej aproximácie s využitím BF.

Z grafu odozvy na skok, viď Obr. 4.7, je možné vidieť, že navrhnutý regulátor pomerne dobre aproximuje originálny ľudský regulátor. Veľkosť BF je v tomto prípade rovná 71%.



Obr. 4.7: Výsledný model návrhu ľudského regulátora

Toto bol popis ľudského regulátora, ktorý pôsobil svojím akčným zásahom na dynamiku riadenia vozidla simulátora. Celková bloková schéma regulovaného obvodu je zobrazená na Obr. č. 4.8



Obr. 4.8: Uzatvorený regulačný obvod riadenia simulátora vozidla

Z obrázku môžeme vidieť, že sa jedná o uzavretý regulačný obvod, kde je spätná väzba v zmysle vizuálneho vnemu, kde oči slúžia ako senzory. Na základe spätnej väzby potom regulátor (ľudský operátor), pôsobí akčným zásahom v podobe pohybu volantom, alebo manipuláciou s pedálmi na regulovanú sústavu simulátora vozidla, a snaží sa tak o riadenie vozidla.

Táto podkapitola sa zameriavala na samotný ľudský regulátor a nie na riadený systém simulátora. Je to hlavne z toho dôvodu, že riadená sústava nie je predmetom tejto diplomovej práce. Podrobnejší popis sústavy je samozrejme k dispozícii a je možné ho nájsť v literatúre [14]

4.4 Vyhodnotenie kvality regulácie

Nedeliteľnou súčasťou pri návrhu regulátora je určenie kvality regulátora. Každý z testovaných vodičov reagoval svojim akčným zásahom rozdielne, a preto som sa rozhodla aj pre vyhodnotenie týchto zásahov a určenie najlepšieho regulátora. Keďže sa jedná o regulačný obvod, je takéto vyhodnotenie možné realizovať. Pre vyriešenie tejto úlohy som zvolila vyhodnotenie kvality regulácie pomocou integrálnych kritérií kvality. Vychádzala som zo známej veličiny, a tou je regulačná výchylka $e(t)$, ktorú som odmerala ako chybu, ktorá vznikla medzi polohou vozidla a polohou sledovanej čiar, pri odozve na skokovú zmenu čiar.

Zvolené integrálne kritériá sú:

1. Lineárne modifikované integrálne kritérium

$$J_{UL} = \int_0^{\infty} |e(t) - e(\infty)| dt \quad (4.3)$$

2. Kvadratické integrálne kritérium

$$J_K = \int_0^{\infty} [e(t) - e(\infty)]^2 dt \quad (4.4)$$

3. ITAE kritérium

$$J_{ITAE} = \int_0^{\infty} |e(t) - e(\infty)| \cdot t dt \quad (4.5)$$

,kde	$e(t)$	Regulačná odchýlka
	$e(\infty)$	Ustálená regulačná odchýlka
	t	Čas [s]

Výsledné vyhodnotenie hovorí o tom, že čím nižšia hodnota kritériá kvality, tým lepší regulátor.

5 Výsledky

V tejto kapitole sa zameriam na výsledky mojej diplomovej práce. Uvedené výsledky sú vyhodnotené zo všetkých spomínaných scén. Podrobne sa v nasledujúcich podkapitolách zameriam na vyhodnotenie jednotlivých scenárov. Poradie vyhodnocovania scenárov je dané podľa poradia, v akom som jednotlivé scenáre predkladala testovaným vodičom.

5.1 Scéna sledovania vozidla

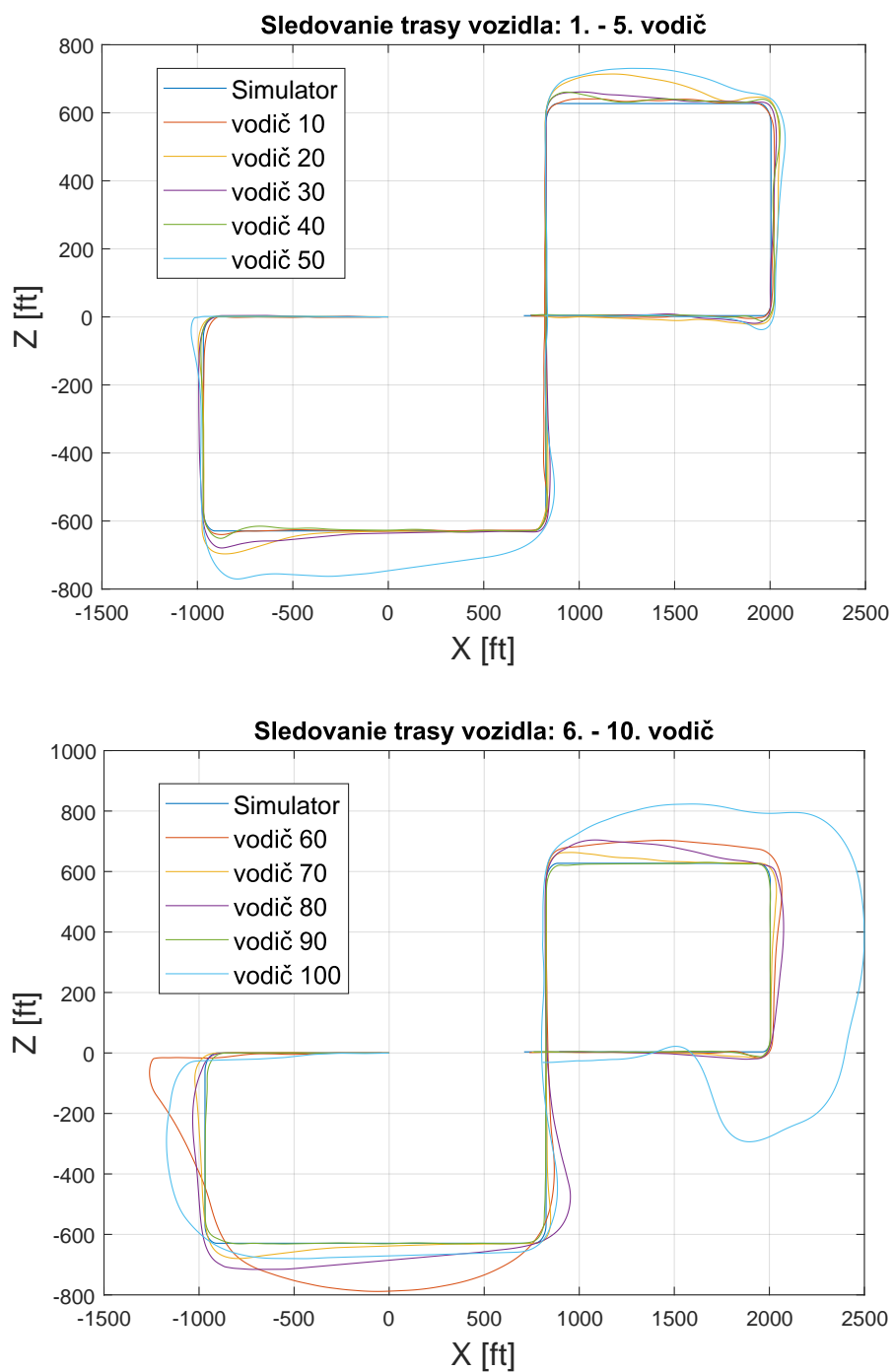
Túto scénu som zvolila ako prvú v poradí z toho dôvodu, aby mali testovaní vodiči možnosť zvyknúť si na simulátor. Mohli si otestovať citlivosť volantu a pedálov. Ďalej sa zoznámili s daným prostredím simulátora, a aj s jeho limitmi.

Pri tejto scéne som vyhodnotila do grafov trasy, z ktorých je možné vidieť, akou trasou šlo sledované vozidlo a ako sa darilo jednotlivým vodičom sledovať túto trasu. Na Obr.5.1 je možné vidieť trasu sledovaného vozidla.



Obr. 5.1: Trasa sledovaného vozidla

Na Obr. 5.2 sú vyhodnotené trasy vodičov. V hornej časti obrázku je možné vidieť sadu prvých piatich testovaných vodičov a v spodnej časti obrázku je sada ďalších piatich vodičov.



Obr. 5.2: Výsledná trasa sledovania vozidla od všetkých vodičov

Pre zaujímavosť je na Obr. 5.3 zobrazené porovnanie najlepšieho vodiča 9 a najhoršieho vodiča 10 pri sledovaní vozidla. Je zaujímavé, že podľa tabuľky 4.1 sa jedná o skoro identických vodičov, a predsa majú úplne opačné výsledky.

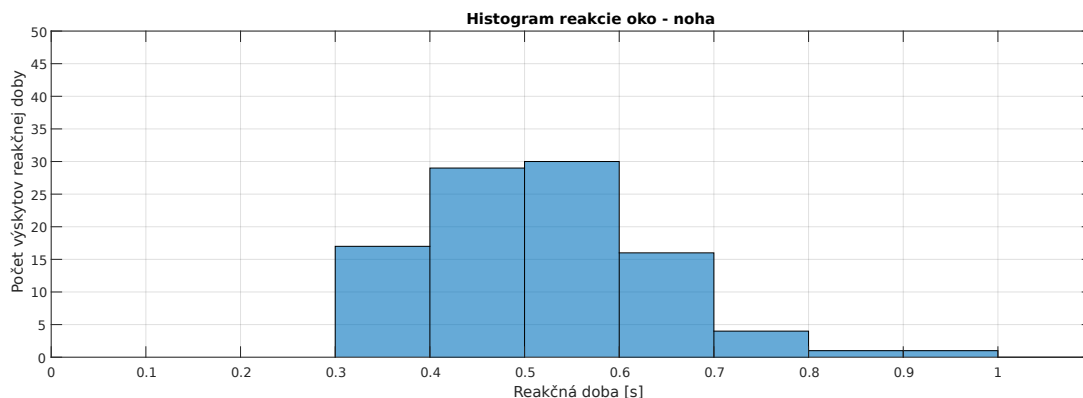


Obr. 5.3: Porovnanie najlepšieho a najhoršieho vodiča

Výsledkom tejto scény je teda zoznámenie sa so simulátorom a grafické vyhodnotenie schopnosti vodičov sledovať vozidlo.

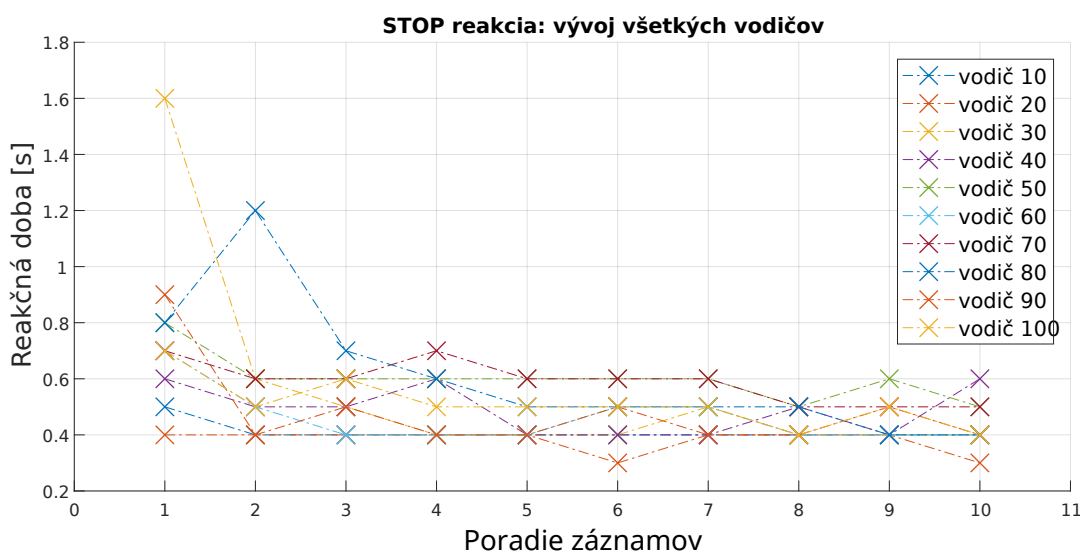
5.2 Scéna so stopkou

Pri tejto scéne som vyhodnocovala časové reakcie ľudského operátora po zobrazení znaku STOP. Tieto reakcie som zhrnula do výsledného histogramu vid. Obr. 5.4, v ktorom je možné vidieť reakčné doby od všetkých testovaných vodičov. Táto reakčná doba zodpovedá času, za ktorú prejde impulz zachytený okom do nôh. Tieto reakčné doby sa pohybujú v rozmedzí 0,3 až 1s, čo zodpovedá teoretickému predpokladu oneskorenia odozvy mozgu na pohybový vnem spomínanú v kapitole č. 1. Dva výsledky vyšli nad 1s, ale to bolo spôsobené nesústredenosťou vodičov na scénu. Tieto výsledky je možné vidieť pri vývoji reakcií, ale z dôvodu, že ide o chybné výsledky, nezahŕňala som ich do histogramu.



Obr. 5.4: Histogram reakcií vodičov na STOP

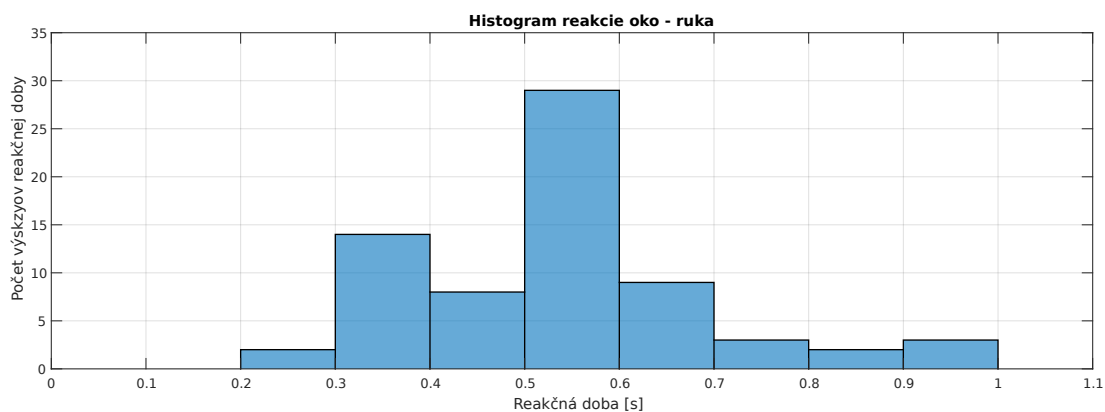
Ďalšou zaujímavou vecou bol záznam o vývoji jednotlivých reakcií u jednotlivých testovaných vodičov, viď. Obr. 5.5. Z toho je zrejmé, že u väčšiny vodičov sa reakčná doba s počtom pokusov zlepšila. Vypovedá to o tom, že cvikom sa lepšie prispôbili.



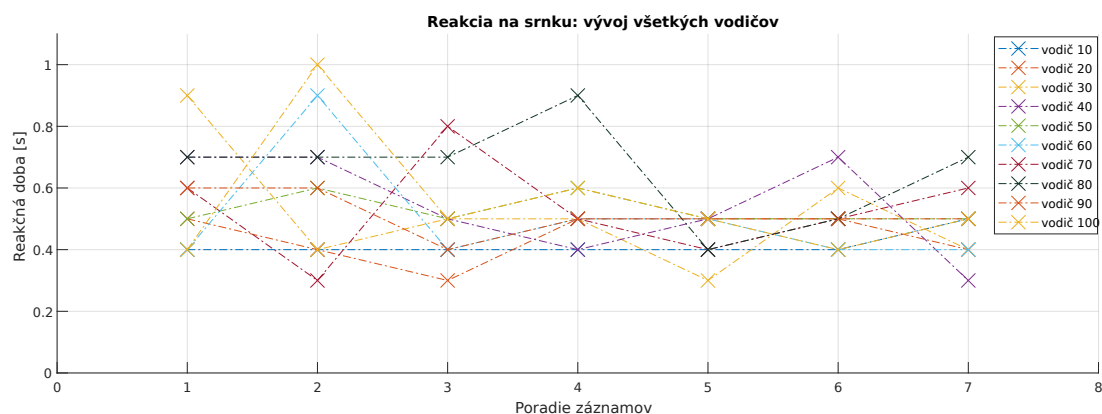
Obr. 5.5: Vývoj reakcií vodičov na STOP

5.3 Scéna so srnkou

Pri tejto scéne som vyhodnocovala časové reakcie ľudského operátora po zobrazení srnky. Postup vyhodnocovania tejto scény som zvolila rovnaký, ako pri scéne so stopkou. Na Obr. 5.6 a Obr. 5.7 sú znázornené výsledné odozvy na túto scénu.



Obr. 5.6: Histogram reakcií vodičov na srnku



Obr. 5.7: Vývoj reakcií vodičov na srnku

Je nutné spomenúť, že výsledný počet výsledkov tohto scenára je nižší ako u predchádzajúceho a je to z toho dôvodu, že pri tejto scéne dochádzalo aj k nulovým reakčným dobám z dôvodu pohybu volantom pred vyskočením srnky. Tieto údaje potom neodpovedali reálnej reakcii ľudského operátora a bolo nutné ich odstrániť, aby nedošlo k skresleniu výsledkov. Z grafov je možné vidieť, že výsledné odozvy zodpovedajú teoretickým predpokladom a hodnoty reakcií sa pohybujú v rozmedzí 0,2 až 1s. Tento čas zodpovedá dobe, za ktorú prejde impulz zachytený okom do rúk.

5.4 Scéna sleduj čiaru - bez zobrazenia čiary

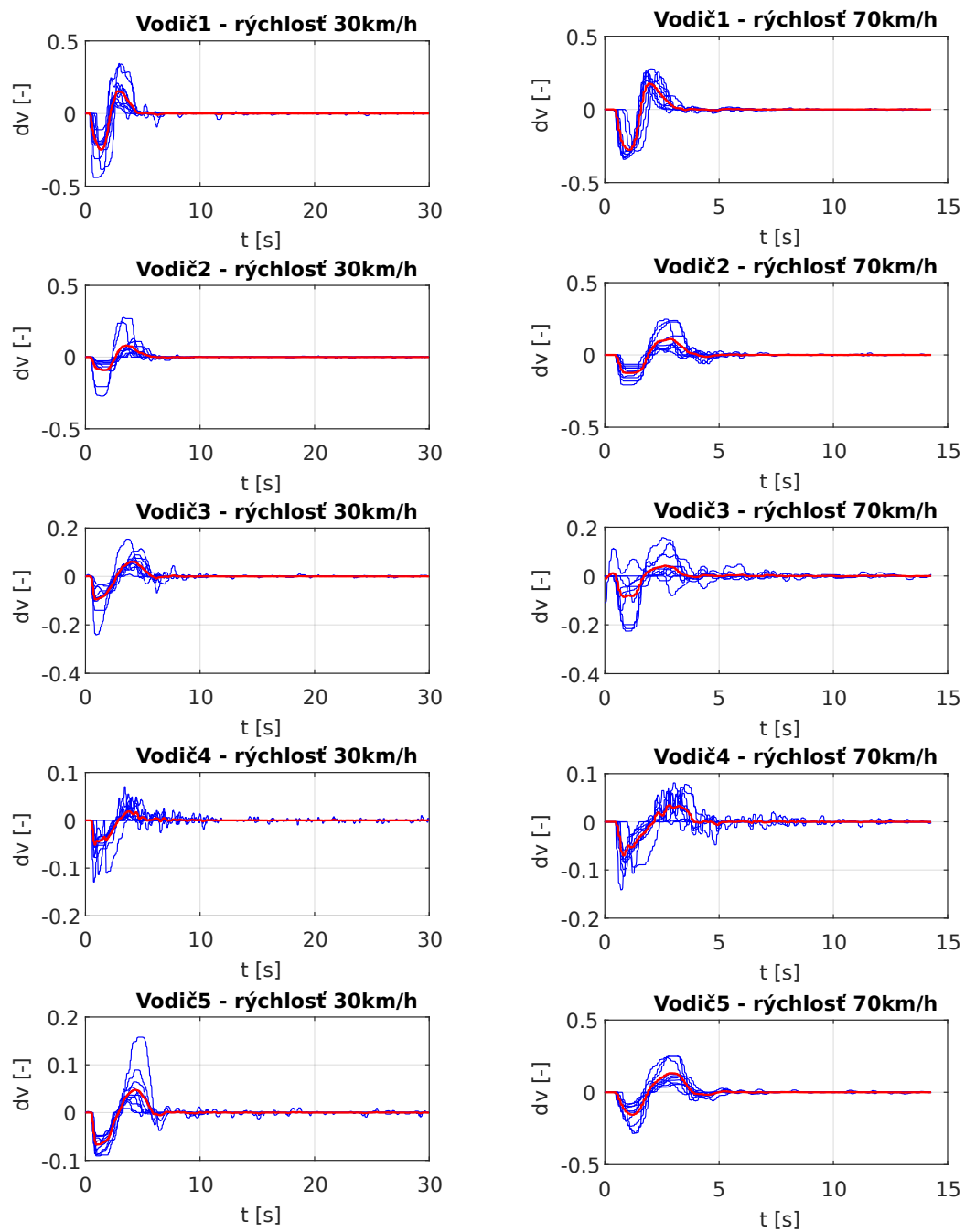
Scéna sleduj čiaru - bez zobrazenia čiary znamená, že ide o prípad, keď testovaný vodič nemohol dopredu predvídať zmenu tejto čiary, pretože nebola zobrazená. Pri tejto scéne pôjde o identifikáciu parametrov regulátora testovaných vodičov a vyhodnotenie kvality regulácie, ako je spomenuté v podkapitole 4.3. Ďalej sa pri tejto scéne zameriam na štatistické vyhodnotenie zozbieraných dát.

5.4.1 Reálna odozva vodičov na zmenu čiary - výchylka volantu

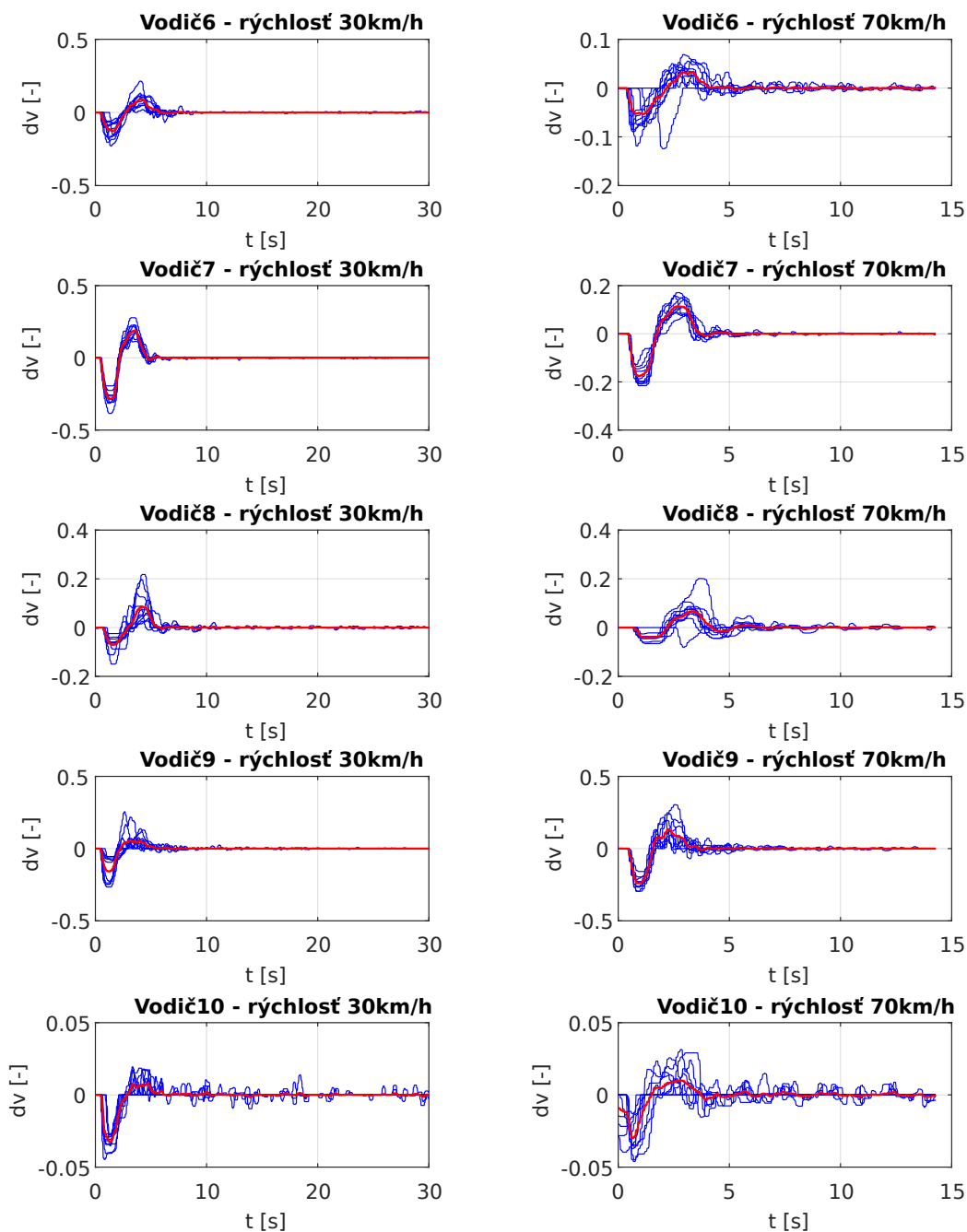
Ako som už spomínala, každý z testovaných vodičov si prešiel danú scénu 10-krát pre tri rôzne rýchlosti (30 km/h, 50 km/h a 70 km/h). Na Obr. 5.8 a Obr. 5.9 je možné vidieť grafické, reálne odozvy výchylky volantu na zmenu čiary pre jednotlivé rýchlosti. Z dôvodu prehľadnosti som sa rozhodla vynechať rýchlosť 50km/h.

Je zaujímave poznamenať, že aj keď každý z testovaných vodičov mal rovnaké podmienky testovania, nikto nemá úplne rovnakú odozvu výchylky volantu. Celková doba ustálenia hodnoty sa pohybuje približne okolo hodnoty 5s. Je možné si všimnúť, že pri rýchlejšej rýchlosti 70 km/h je čas ustálenia u všetkých vodičov o čosi nižší. Vyplýva to z toho, že čím rýchlejšie vodič šiel, tým mal rýchlejšie reakcie a musel menej točiť volantom.

Priebehy modrej farby zodpovedajú reálnym odozvám a priebeh červenej farby mi určuje priemernú odozvu vodiča ako výchylku volantu na zmenu sledovanej čiary.

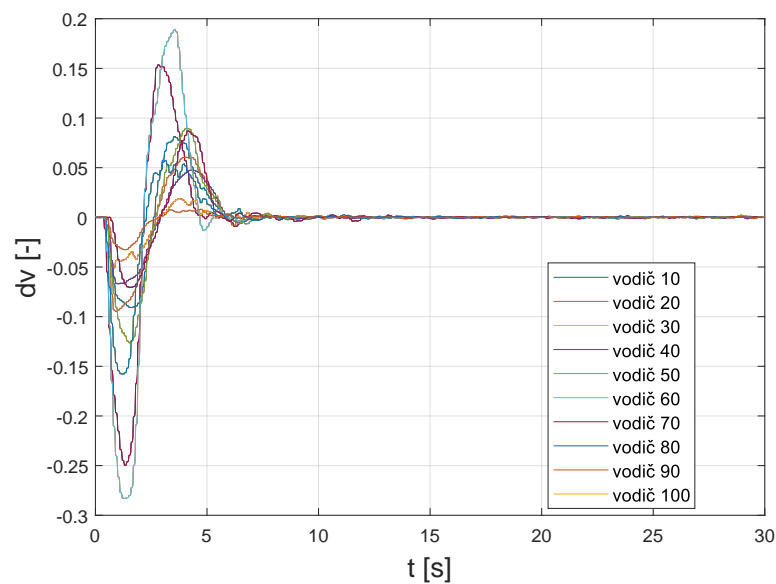


Obr. 5.8: Namerané dáta zo simulátora - reakcia zmenu čiary (Vodič 1-5)



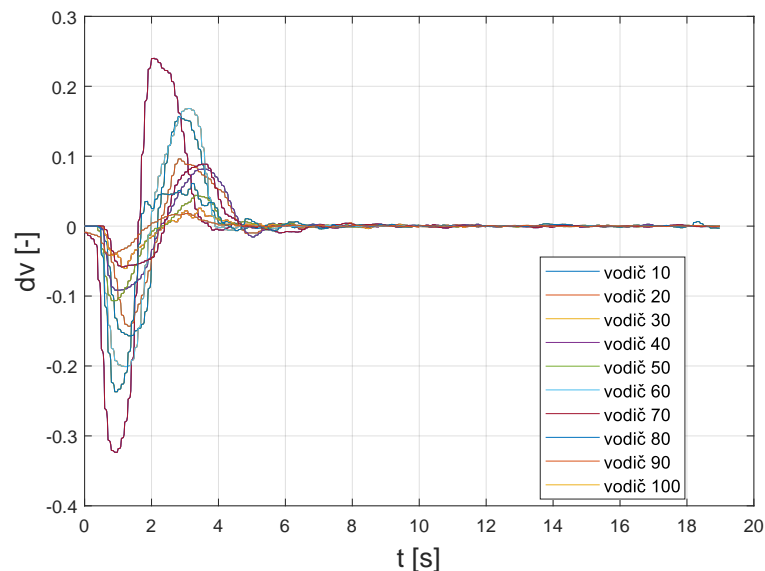
Obr. 5.9: Namerané dáta zo simulátora - reakcia zmenu čiary (Vodič 6-10)

Ďalej sa zameriam na porovnanie jednotlivých vodičov medzi sebou. Vychádzam z priemerných hodnôt odozvy od každého vodiča. Toto vyhodnotenie spravím pre každú z rýchlostí.



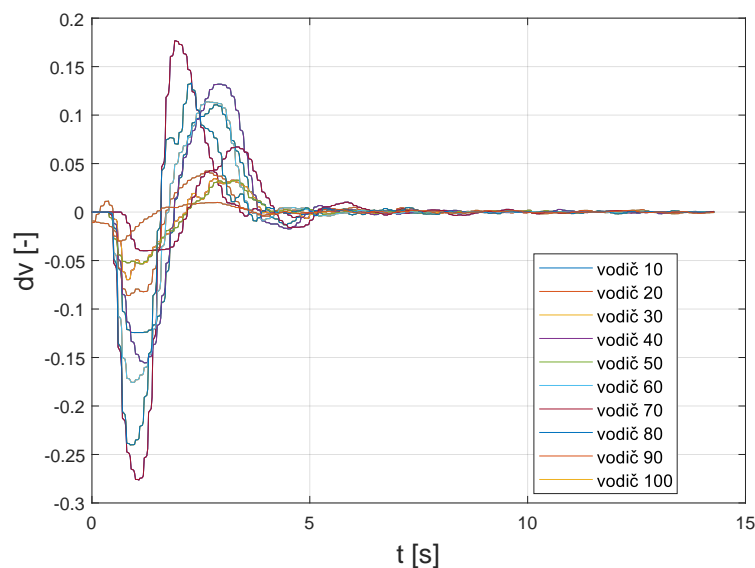
Obr. 5.10: Priemerné odozvy jednotlivých vodičov 30km/h

Pri rýchlosti 30 km/h je vidieť značný rozdiel medzi vodičom 7 a vodičom 10. Zatiaľ čo vodič 7 má podobne ako vodič 1 výchylku volantu vysokú, má vodič 10 podobne ako vodič 4 túto výchylku nižšiu. Svedčí to o povahe zaobchádzania s volantom pri zmene čiary. Vodič 7 sa snažil o čo najrýchlejšiu reguláciu na požadovanú hodnotu, aj za cenu vyšších prekmitov na rozdiel od vodiča 10. Najrýchlejšie dosiahol ustálenie volantu (požadovanú hodnotu) vodič 1 a najpomalšie vodič 5.



Obr. 5.11: Priemerné odozvy jednotlivých vodičov 50km/h

Pri rýchlosti 50 km/h sú výsledky porovnávania vodičov rovnaké pri 30 km/h. Vodič 1 a vodič 7 majú vyššie prekmity. Vodič 1 je najrýchlejší. Vodič 5 je najpomalší.

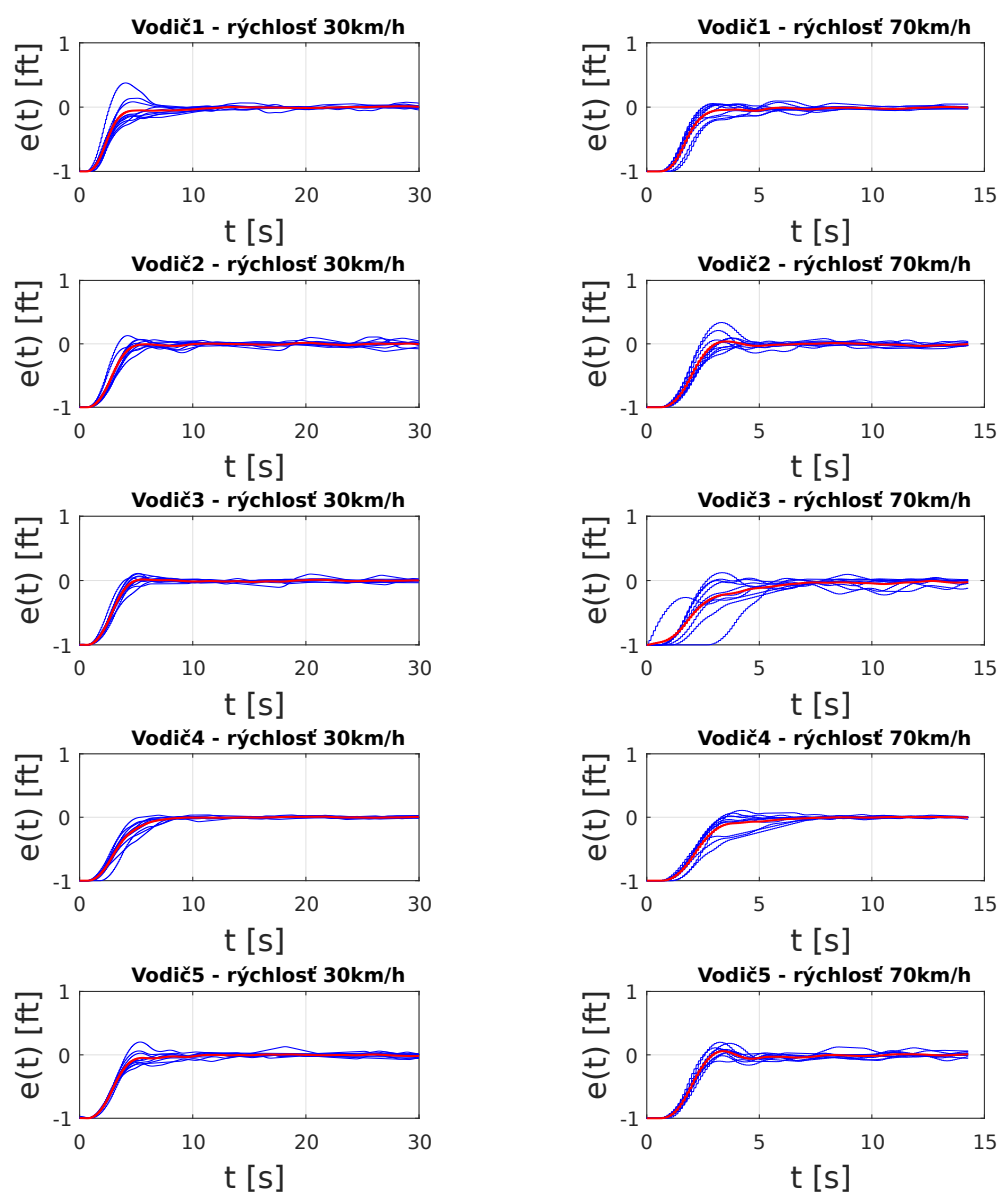


Obr. 5.12: Priemerné odozvy jednotlivých vodičov 50km/h

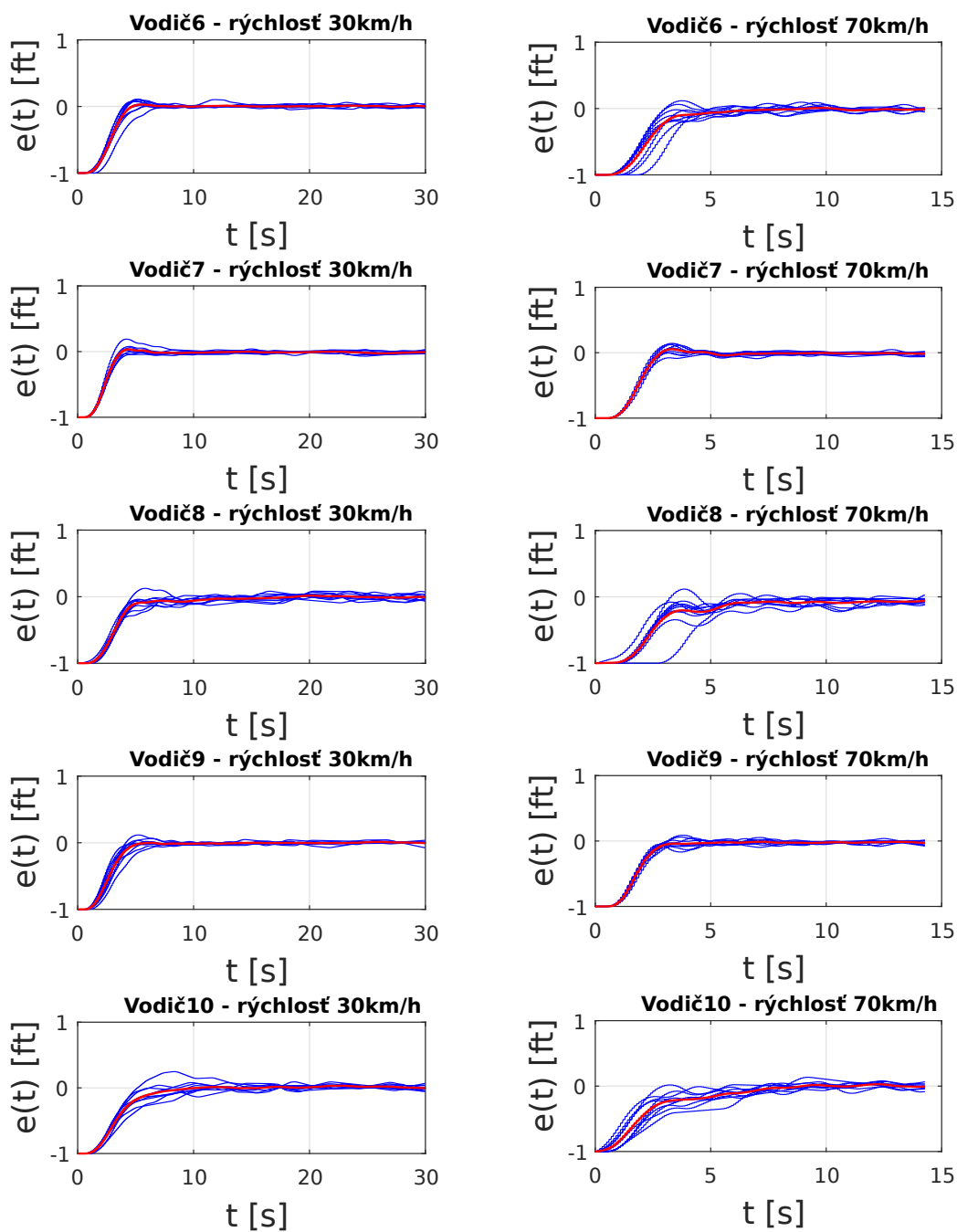
Pri rýchlosti 70 km/h sa zvyšovala veľkosť prekmítov skoro všetkým vodičom okrem vodiča 10. Najpomalší bol vodič 8. Najrýchlejší bol opäť vodič 1.

5.4.2 Kvalita regulácie

Kvalita regulácie sa určuje z veľkosti chyby, ktorá zodpovedá vzdialenosti vozidla od čiar. Vývoj chyby u jednotlivých vodičov je možné vidieť na Obr. 5.13 a Obr. 5.14. Podobne ako u grafov reálnej odozvy, aj v tomto prípade som zvolila pre prehľadnosť dve rýchlosti (30 km/h a 70 km/h).



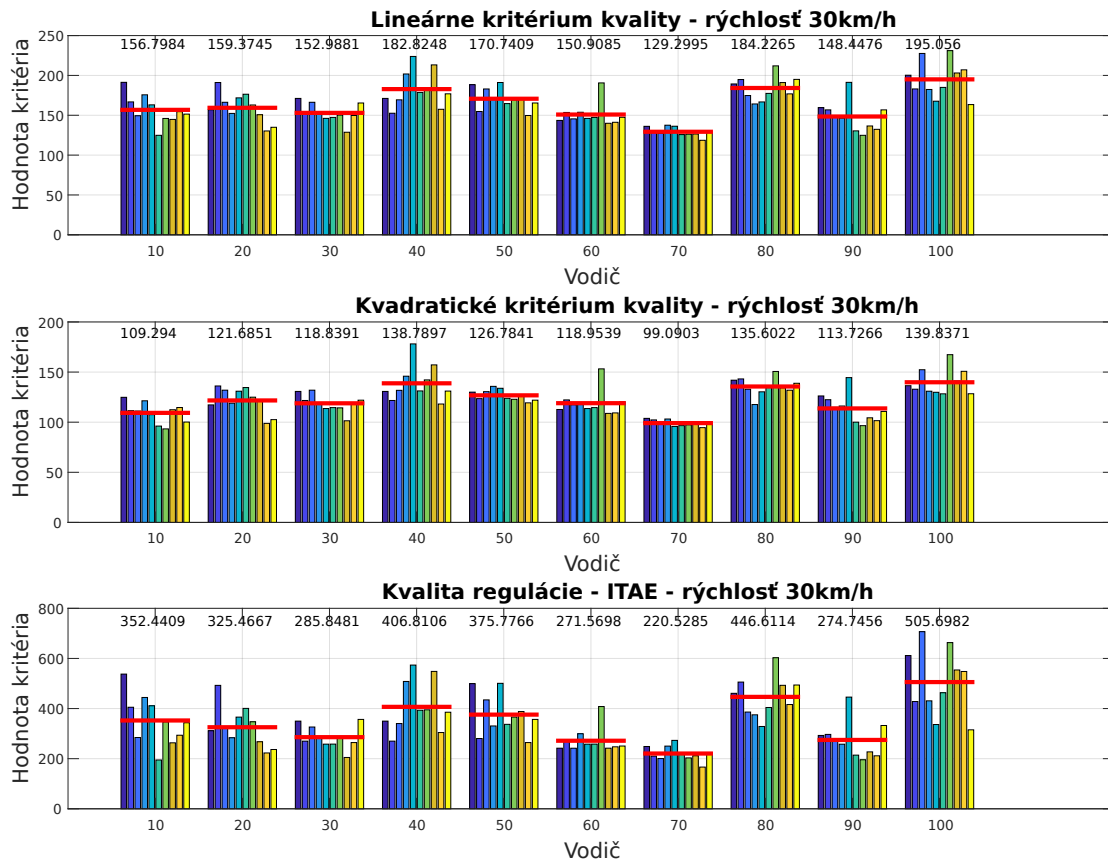
Obr. 5.13: Namerané dáta zo simulátora - priebeh chyby (Vodič 1-5)



Obr. 5.14: Namerané dáta zo simulátora - priebeh chyby (Vodič 6-10)

Ako som už spomínala v kapitole č. 4, kvalitu regulačného deja vyhodnocujem pomocou integrálnych kritérií. Podrobnejšie zhodnotenie vodičov, ako aj porovnanie rýchlostí, budem preto robiť práve z číselných hodnôt integrálnych kritérií. Nasleduje

sada grafov zodpovedajúca hodnotám troch rôznych kritérií pre tri rôzne rýchlosti. Dôležité je upozorniť, že výpočet kritérií som robila pre každú z rýchlostí pre rovnakú dĺžku dát, to znamená časový interval 10s. Ku každej trojici grafov popíšem zhodnotenie výsledkov.



Obr. 5.15: Kvalita regulácie rýchlosť 30km/h - vodič 1-10

Na Obr. 5.15 je vidieť výsledok počítania modifikovaného lineárneho integrálneho kritéria, kvadratického integrálneho kritéria a ITAE kritéria pre rýchlosť vozidla 30 km/h.

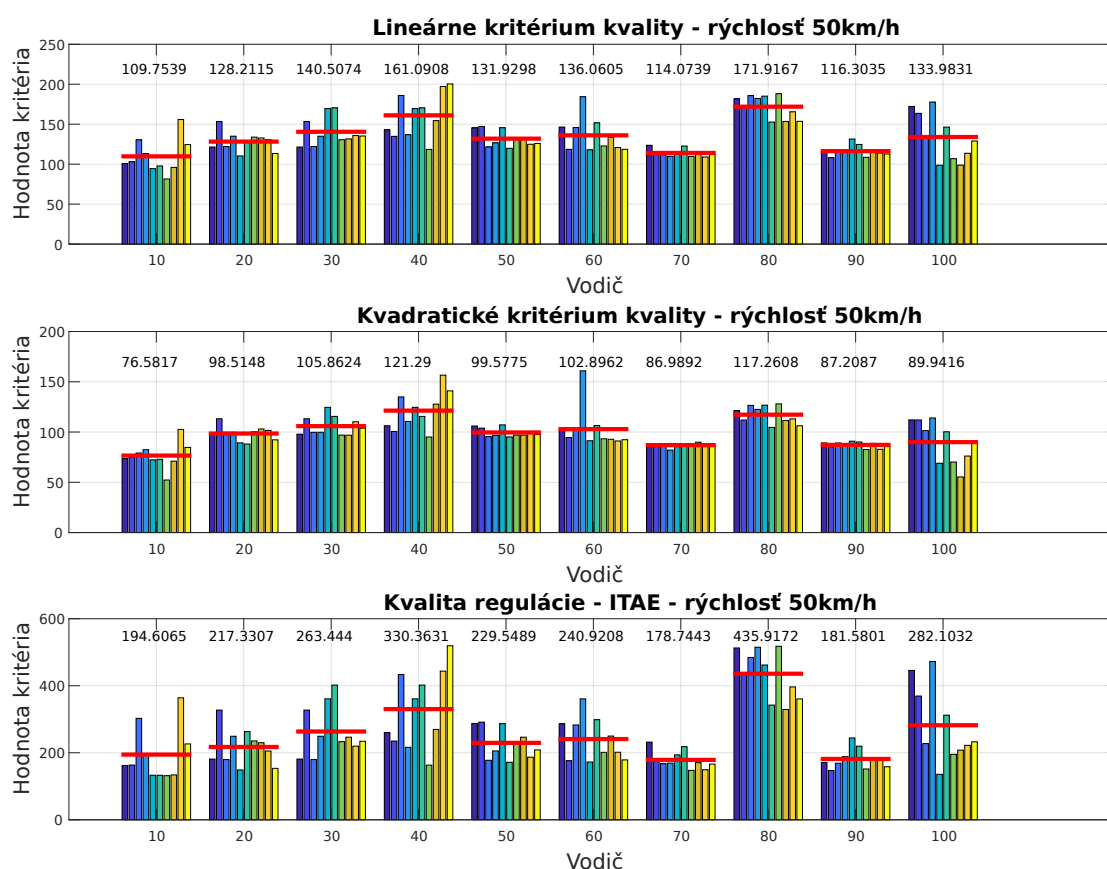
Modifikované lineárne kritérium pracuje s určením celkovej plochy regulačnej odchýlky v absolútnych hodnotách. Výpočet tohto kritéria som vypočítala podľa rovnice (4.3).

Kvadratické kritérium pracuje s určením kvadratickej plochy. Ďalšou zaujímavou vlastnosťou tohto kritéria je, že prikladá väčší dôraz na väčšie odchýlky. Výpočet tohto kritéria som vypočítala podľa rovnice (4.4).

ITAE kritérium pracuje ako váhové kritérium. Váhou tohto kritéria je čas. Výpočet tohto kritéria som zrealizovala podľa rovnice (4.5). [4]

Zobrazenie výsledkov som zvolila formou bar grafov. Každý z testovaných vodičov má 10 výsledkov z desiatich testov. Ďalej je tam zobrazená červená čiara, ktorá

mi určuje priemernú hodnotu kritéria pre jednoduchšie porovnanie jednotlivých vodičov. Z týchto hodnôt sa dá potom jednoznačne určiť, že pri rýchlosti 30 km/h mal podľa modifikovaného lineárneho kritéria najmenšiu chybu (129.2995) vodič 7 a najväčšiu chybu (195,056) mal vodič 10, podľa kvadratického integrálneho kritéria mal najmenšiu chybu (99.0903) rovnako vodič 7 a najväčšiu chybu (139,8371) mal vodič 10 a nakoniec ITAE kritérium, podľa ktorého mal najmenšiu chybu (220.5285) rovnako vodič 7 a najväčšiu chybu (505.6982) mal vodič 10. Hodnoty kritérií sa môžu líšiť z dôvodu iného prístupu ku určovaniu chyby. Vyplýva z toho teda to, že pri vyššej rýchlosti boli vodiči opatrnejší.



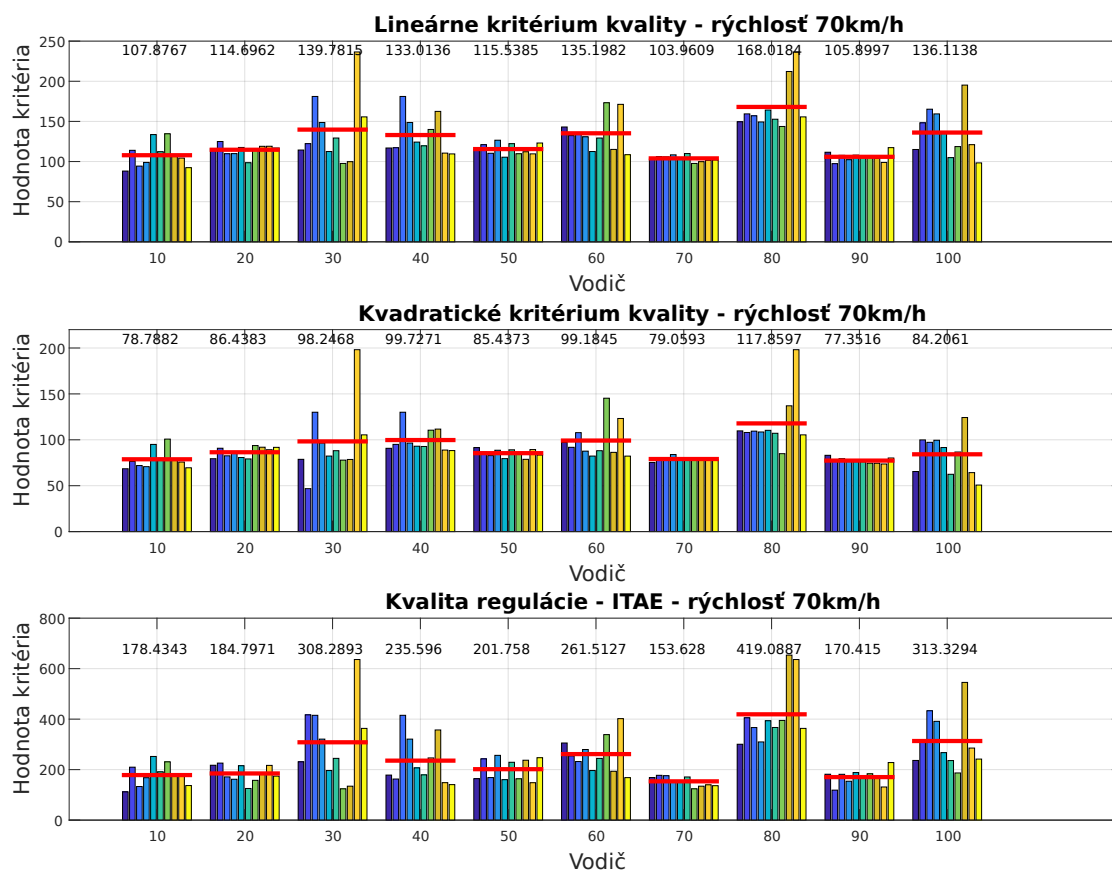
Obr. 5.16: Kvalita regulácie rýchlosť 50km/h - vodič 1-10

Obr. 5.16 zobrazuje výsledky všetkých troch spomínaných kritérií pre rýchlosť vozidla 50 km/h.

Výsledky vodičov:

- Modifikované lineárne integrálne kritérium - najmenšia chyba (109.7539) vodič 1, najväčšia chyba (171.9167) vodič 8.
- Kvadratické integrálne kritérium - najmenšia chyba (76.5871) vodič 1, najväčšia chyba (121.29) vodič 4.

- ITAE kritérium - najmenšia chyba (178.7443) vodič 7, najväčšia chyba (435.9172) vodič 8.



Obr. 5.17: Kvalita regulácie rýchlost 70km/h - vodič 1-10

Obr. 5.17 zobrazuje výsledky všetkých troch spomínaných kritérií pre rýchlosť vozidla 70 km/h.

Výsledky vodičov:

- Modifikované lineárne integrálne kritérium - najmenšia chyba (103.9609) vodič 7, najväčšia chyba (168.0184) vodič 8.
- Kvadratické integrálne kritérium - najmenšia chyba (77.3516) vodič 9, najväčšia chyba (117.8597) vodič 8.
- ITAE kritérium - najmenšia chyba (153.628) vodič 7, najväčšia chyba (419.0887) vodič 8.

Toto bolo výsledné zhodnotenie testovaných vodičov medzi sebou. Rovnako zaujímavé je aj porovnanie jednotlivých rýchlostí. Toto porovnanie som zvolila na základe priemernej veľkosti chyby od všetkých vodičov pre všetky tri kritériá. Výsledky sú zobrazené v tabuľke č. 5.1.

Kritérium	Vyhodnotenie rýchlostí		
	30 km/h	50 km/h	70 km/h
Lineárne	163,07	134,38	126,01
Kvadratické	122,26	98,61	90,63
ITAE	346,55	255,46	242,68

Tab. 5.1: Porovnanie integrálnych kritérií pri rôznych rýchlostiach

V tabuľke sa nachádza farebné rozlíšenie veľkosti kritérií. Červená znamená, že pri rýchlosti vozidla 30 km/h bola priemerná hodnota kritérií všetkých vodičov najväčšia. Naopak zelená farba určuje, že pri rýchlosti vozidla 70 km/h bola priemerná hodnota kritérií všetkých vodičov najmenšia. Vo výsledku to znamená, že čím rýchlejšie testovaní vodiči šli, tým nižšiu chybu mali. Jeden z dôvodov tohto javu môže byť ten, že rýchlosť vozidla 70 km/h z trojice desiatich testov absolvovali vodiči ako poslednú, a boli už pomerne zvyknutí na scénu. Podstatnejšie ale je, že čím šli rýchlejšie, tým menej manipulovali s volantom, pretože aj minimálna zmena pri vysokej rýchlosti spôsobila výraznejšiu odozvu vozidla simulátora, a bola preto nutná len minimálna výchylka volantu.

5.4.3 Identifikované parametre - Precision model

Identifikácia parametrov je popísaná v podkapitole 4.3. V tejto podkapitole sa zameriam na výsledné zhodnotenie identifikovaných dát testovaných vodičov.

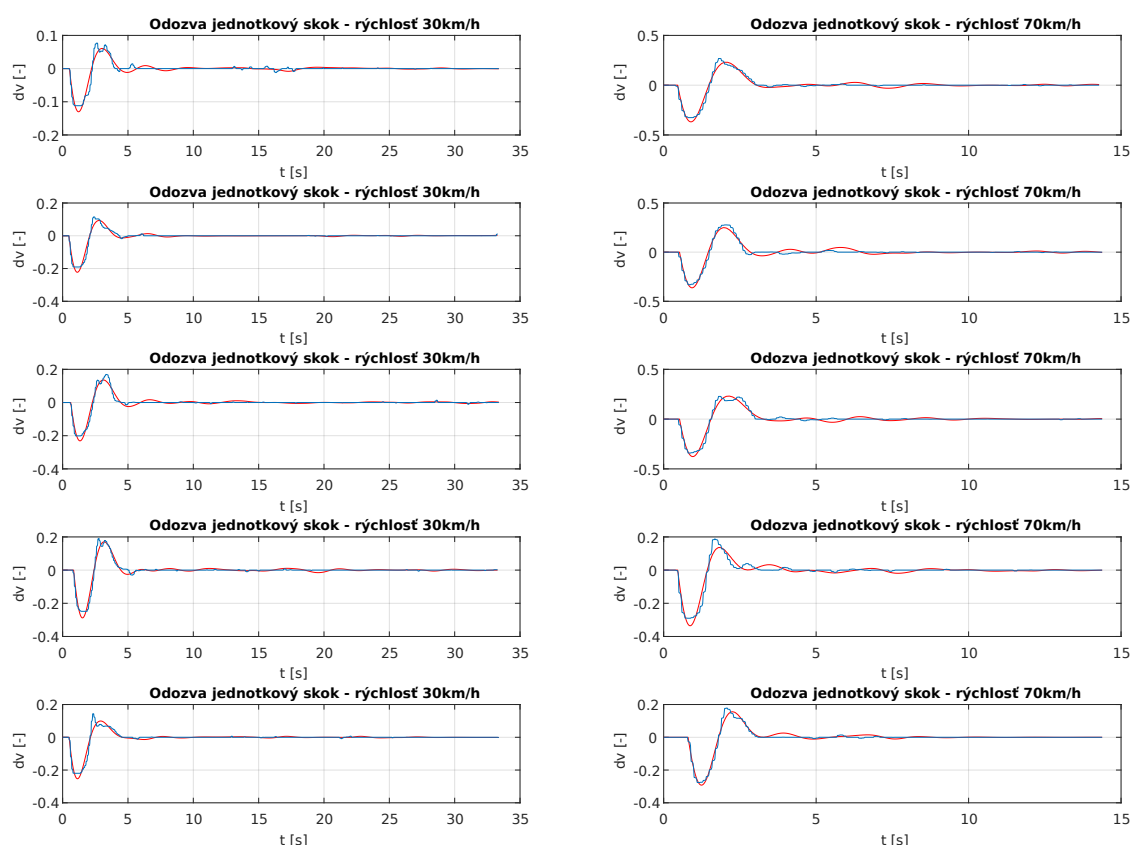
Na začiatok sú v tabuľke č. 5.2 zobrazené identifikované parametre modelu pre jedného vodiča, ktorý absolvoval 10 testovacích jázd pre všetky tri rýchlosti vozidla.

Test	K[-]			T_L[s]			$\omega_N[\text{rad.s}^{-1}]$			$\xi_N[-]$			$\tau[s]$			BF[%]
	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30
1	0,36	1,57	1,61	5,73	11,68	5,91	2,03	2,56	3,26	0,29	0,31	0,25	0,52	0,42	0,46	71,44
2	0,67	1,59	1,56	3,98	9,46	14,89	2,24	2,56	3,31	0,30	0,27	0,21	0,48	0,48	0,48	77,39
3	0,61	1,90	1,65	6,50	2,98	7,19	2,03	2,85	3,23	0,24	0,31	0,25	0,62	0,36	0,52	76,99
4	0,78	1,41	1,50	7,72	14,25	1,93	2,15	3,05	3,73	0,20	0,18	0,23	0,84	0,64	0,46	79,02
5	0,80	1,79	1,20	3,99	11,57	6,69	2,22	2,88	3,32	0,35	0,30	0,18	0,50	0,42	0,80	74,07
6	0,61	1,60	1,50	3,05	4,91	3,11	1,93	2,72	3,67	0,27	0,27	0,19	0,38	0,42	0,58	74,78
7	1,43	1,55	1,14	2,96	13,97	12,13	2,07	2,63	3,14	0,34	0,45	0,13	0,34	0,14	0,90	77,96
8	1,22	1,43	1,35	11,68	5,25	4,89	2,14	2,88	3,21	0,18	0,29	0,28	0,98	0,32	0,60	74,55
9	0,80	0,96	1,55	2,34	2,21	3,44	2,62	3,15	3,71	0,27	0,31	0,17	0,66	0,66	0,58	73,93
10	1,26	1,55	1,62	8,83	13,22	2,82	2,44	3,05	3,61	0,27	0,28	0,21	0,48	0,48	0,48	75,08
\bar{x}	0,85	1,54	1,47	5,68	8,95	6,30	2,19	2,83	3,42	0,27	0,30	0,21	0,58	0,43	0,59	75,52
s	0,32	0,24	0,17	2,86	4,44	4,01	0,20	0,20	0,22	0,05	0,06	0,04	0,19	0,14	0,14	2,16

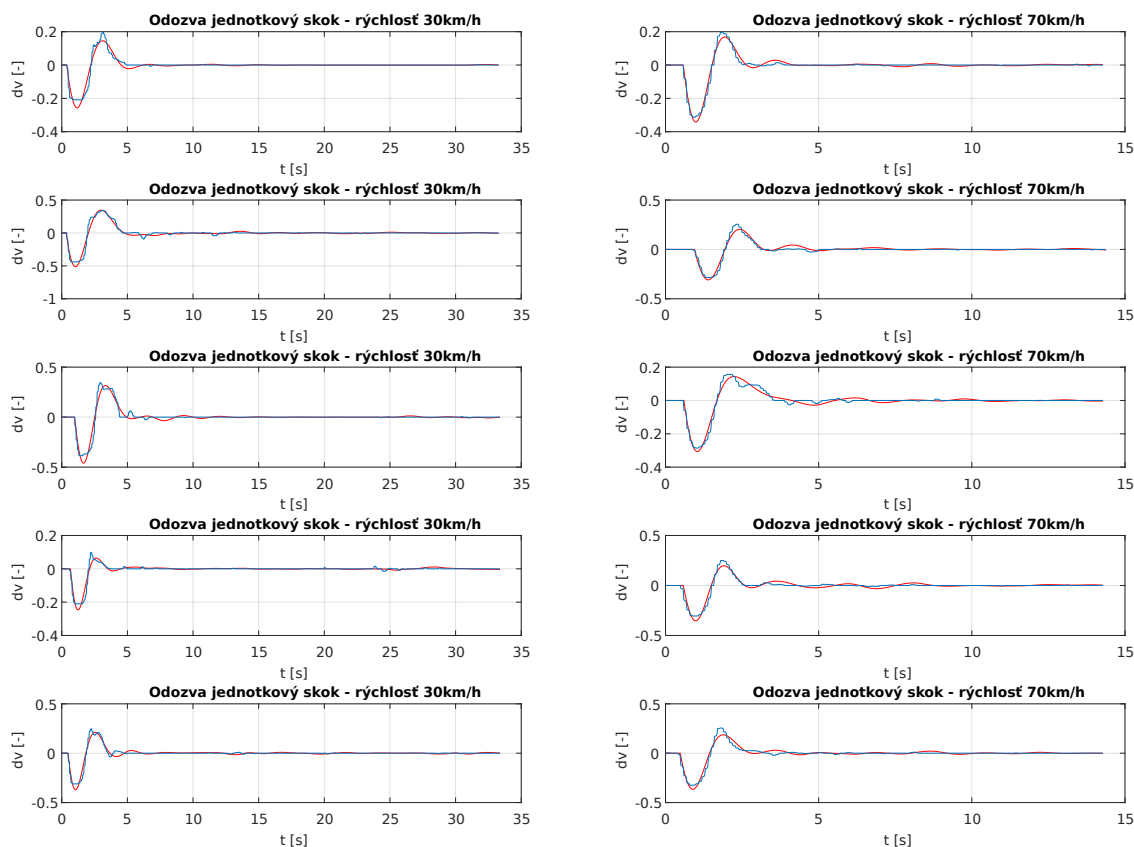
Tab. 5.2: Identifikované parametre vodiča 1

Zo získaných výsledkov môžem spraviť porovnanie nameraných výsledkov (viď tabuľka 5.2) s predpokladanou teóriou (viď tabuľka 1.3). Hodnoty oneskorenia τ sa pohybujú rozmedzí 0.46 - 0.94 s, čo zodpovedá teoretickým predpokladom. Hodnoty časovej konštanty T_L rovnako splňajú rozsah. Hodnota zosilnenia K sa s počtom testov zvyšovala, až testovaný vodič dosiahol svoje maximum.

Hodnoty parametru BF sú pomerne vysoké, čo zodpovedá tomu, že navrhnutý model zodpovedá reálnym odozvám viď Obr. 5.18 a Obr. 5.19, kde je znázornená aproximácia modelu s reálnou odozvou vodiča 10 pre rýchlosť vozidla 30 km/h a 70 km/h. Reálna odozva je modrou farbou. Aproximácia červenou.



Obr. 5.18: Aproximácia nameraných dát modelom vodiča 1 - test 1-5



Obr. 5.19: Aproximácia nameraných dát modelom vodič1 - test 6-10

V tabuľke č. 5.3 je možné vidieť priemerné hodnoty identifikovaných parametrov pre všetkých vodičov.

Vodič	K[-]			T_L[s]			$\omega_N[\text{rad.s}^{-1}]$			$\xi_N[-]$			$\tau[s]$		
	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70
1	0,85	1,54	1,47	5,68	8,95	6,29	2,19	2,83	3,42	0,27	0,29	0,21	0,58	0,43	0,59
2	0,26	0,55	0,48	10,48	9,77	1,29	1,53	2,23	2,42	0,30	0,23	0,28	0,56	0,63	0,49
3	0,25	0,53	0,53	9,14	10,4	5,28	1,55	2,57	2,86	0,40	0,34	0,36	0,41	0,63	0,65
4	0,56	0,49	0,50	4,65	6,32	9,23	1,26	3,71	3,18	0,24	0,47	0,44	0,60	0,66	0,50
5	0,16	0,27	0,54	1,44	11,17	11,28	1,50	1,80	2,29	0,38	0,36	0,31	0,35	0,42	0,46
6	0,35	0,56	0,30	9,19	5,26	7,46	1,63	2,58	2,45	0,40	0,49	0,38	0,52	0,51	0,53
7	0,86	0,69	0,70	5,79	7,76	7,43	1,97	2,21	2,55	0,33	0,30	0,34	0,53	0,50	0,45
8	0,13	0,13	0,13	5,41	4,19	7,03	1,24	1,40	1,74	0,35	0,29	0,24	0,28	0,10	0,40
9	0,58	1,18	1,19	7,00	3,16	7,31	2,04	3,12	3,26	0,37	0,41	0,31	0,53	0,52	0,50
10	0,12	0,22	0,24	4,46	17,87	5,31	2,07	2,35	3,07	0,51	0,54	0,54	0,57	0,28	0,33

Tab. 5.3: Priemer identifikovaných parametrov všetkých vodičov

Tieto hodnoty sa v závislosti od jednotlivých vodičov líšia. Vyplýva to zo spôsobu chovania testovaného vodiča pri riadení simulátora. Pre porovnanie si vezmem príklad vodičov, ktorý vyšli ako najlepší vodič 7 a najhorší vodič 10 pri skúmaní

chyby. U vodiča 7 je výraznejšia hodnota zosilnenie K a tiež aj hodnota tlmenia ξ . Zaujímavé je, že vodič 7 znižoval svoju hodnotu zosilnenia K so zvyšujúcou sa rýchlosťou, na rozdiel od vodiča 10, ktorý hodnotu zosilnenia K zvyšoval. Ďalšou zaujímavosťou je, že aj napriek nepriaznivým výsledkom, mal vodič 10 najrýchlejšie reakcie.

Kedže sa jedná o pomerne veľké množstvo dát, rozhodla som sa určiť základné štatistické údaje viď tabuľka č. 5.4. Pre ich určenie som použila nasledujúce vzorce.

- Aritmetický priemer

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.1)$$

- Výberový rozptyl

$$s^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (5.2)$$

- Výberová smerodajná odchýlka

$$s = \sqrt{s^2} \quad (5.3)$$

	K[-]			T_L[s]			$\omega_N[\text{rad.s}^{-1}]$			$\xi_N[-]$			$\tau[s]$		
	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70
\bar{x}	0,41	0,62	0,61	6,32	8,48	6,79	1,70	2,48	2,72	0,35	0,37	0,34	0,49	0,47	0,49
s	0,27	0,41	0,4	2,56	4,04	2,5	0,33	0,62	0,5	0,07	0,1	0,09	0,1	0,17	0,09
s^2	0,07	0,17	0,16	6,55	16,3	6,23	0,11	0,39	0,25	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01
min	0,12	0,13	0,13	1,44	3,16	1,29	1,24	1,40	1,74	0,24	0,23	0,21	0,28	0,10	0,33
max	0,86	1,54	1,47	10,48	17,87	11,28	2,19	3,71	3,42	0,51	0,54	0,54	0,60	0,66	0,65
median	0,30	0,54	0,52	5,74	8,36	7,17	1,59	2,46	2,71	0,36	0,35	0,33	0,53	0,50	0,50

Tab. 5.4: Základne štatistické údaje identifikovaných parametrov všetkých vodičov

Hodnoty mediánu sa od priemeru moc nelíšia, čo svedčí o tom, že nedochádzalo k nejakým výrazným výchyľkám hodnôt.

5.5 Scéna rýchlostné profily

Pri tejto scéne som sa sústredila na schopnosť testovaných vodičov dodržiavať tri rôzne rýchlostné profily. Merala som rýchlosti jednotlivých vodičov a následne ich zobrazila pomocou grafov.

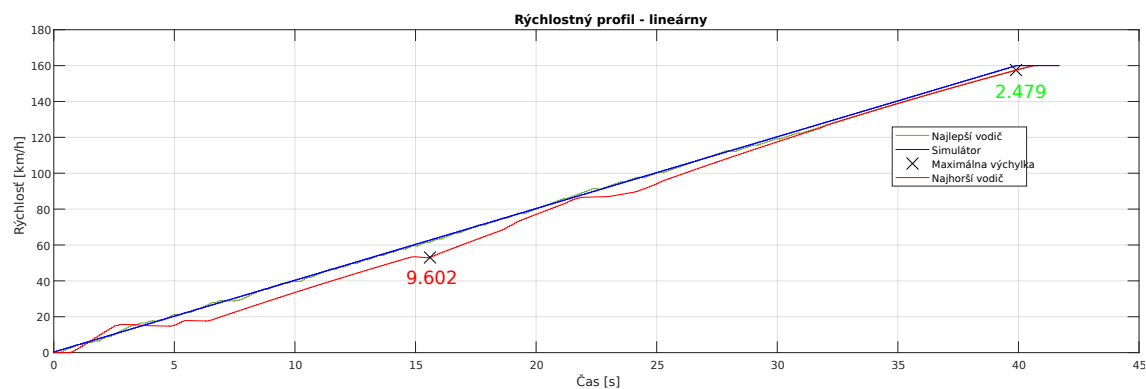
Na Obr. 5.20 je výsledný priebeh konštantného rýchlostného profilu.



Obr. 5.20: Rýchlostný profil - konštantný

V grafe je možné vidieť ideálny profil dodržiavania konštantnej rýchlosti získaného od sledovaného vozidla. Okrem toho je tam zobrazená aj odozva rýchlosti najlepšieho vodiča 9 a najhoršieho vodiča 3. Je tam tiež aj vyčíslený najväčší rozdiel rýchlostí, ktorú dosiahli testovaní vodiči od hodnoty rýchlosti sledovaného vozidla. Hodnota rýchlostného rozdielu najlepšieho vodiča je 3.312 a najhoršieho 13.162.

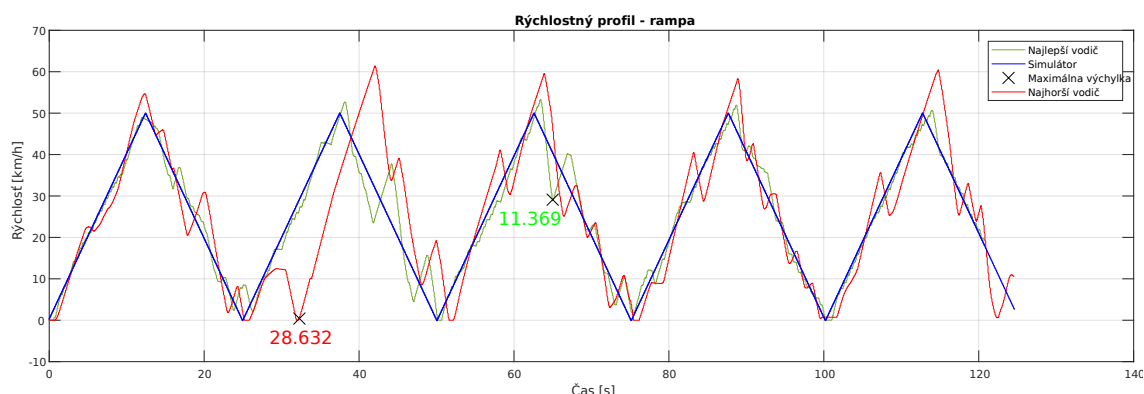
Na Obr. 5.21 je výsledný priebeh lineárneho rýchlostného profilu.



Obr. 5.21: Rýchlostný profil - lineárny

V grafe je možné vidieť ideálny profil lineárneho nárastu rýchlosti získaného od sledovaného vozidla. Je tam zobrazená tiež zobrazená aj odozva rýchlosti najlepšieho vodiča 9 a najhoršieho vodiča 8. Rovnako ako aj vyčíslenie najväčšieho rozdiel rýchlosti, ktorú dosiahli testovaní vodiči. Hodnota rýchlostného rozdielu najlepšieho vodiča je 2.479 a najhoršieho 9.602.

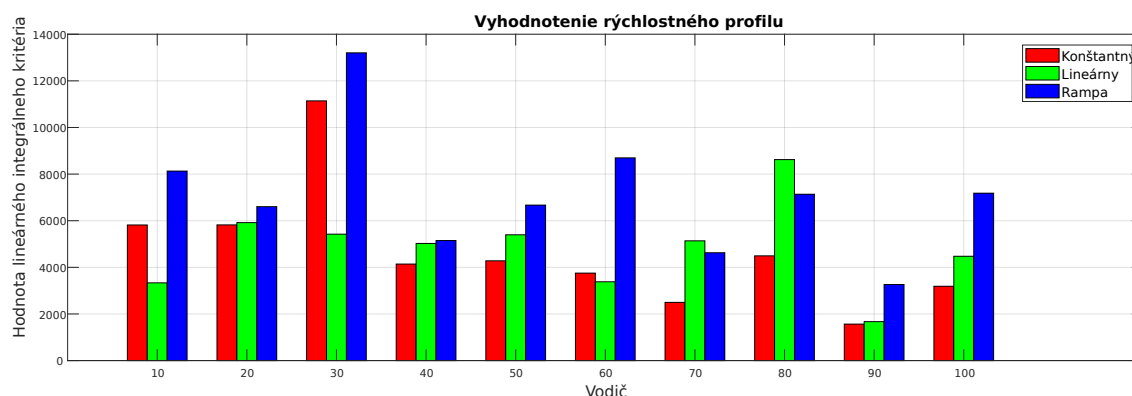
Na Obr. 5.22 je výsledný priebeh rampy rýchlostného profilu.



Obr. 5.22: Rýchlostný profil - rampa

V grafe je možné vidieť ideálny profil rampy rýchlosti získaného od sledovaného vozidla. Je tam zobrazená tiež zobrazená aj odozva rýchlosti najlepšieho vodiča 9 a najhoršieho vodiča 3. Rovnako, ako aj vyčíslenie najväčšieho rozdiel rýchlostí, ktorú dosiahli testovaní vodiči. Hodnota rýchlostného rozdielu najlepšieho vodiča je 11.369 a najhoršieho 28.632.

Na záver je zaujímavé porovnať náročnosť profilov viď Obr. 5.23. Pre toto vyhodnotenie som využila modifikované lineárne kritérium, ktoré som vypočítala na základe chyby medzi rýchlosťou sledovaného vozidla a rýchlosťou vodiča.



Obr. 5.23: Vyhodnotenie rýchlostných profilov

Výsledok je vo forme bar grafu, kde je možné na prvý pohľad vidieť, že všetci vodiči mali najväčší problém s profilom rampy. Pri určovaní najjednoduchšieho profilu sa ale výsledky u testovaných vodičov líšia. Pre vodiča 1, vodiča 3 a vodiča 6 bol jednoduchší profil konštanty, pre ostatných vodičov to bol profil lineárny.

5.6 Scéna sleduj čiaru - so zobrazenou čiarou

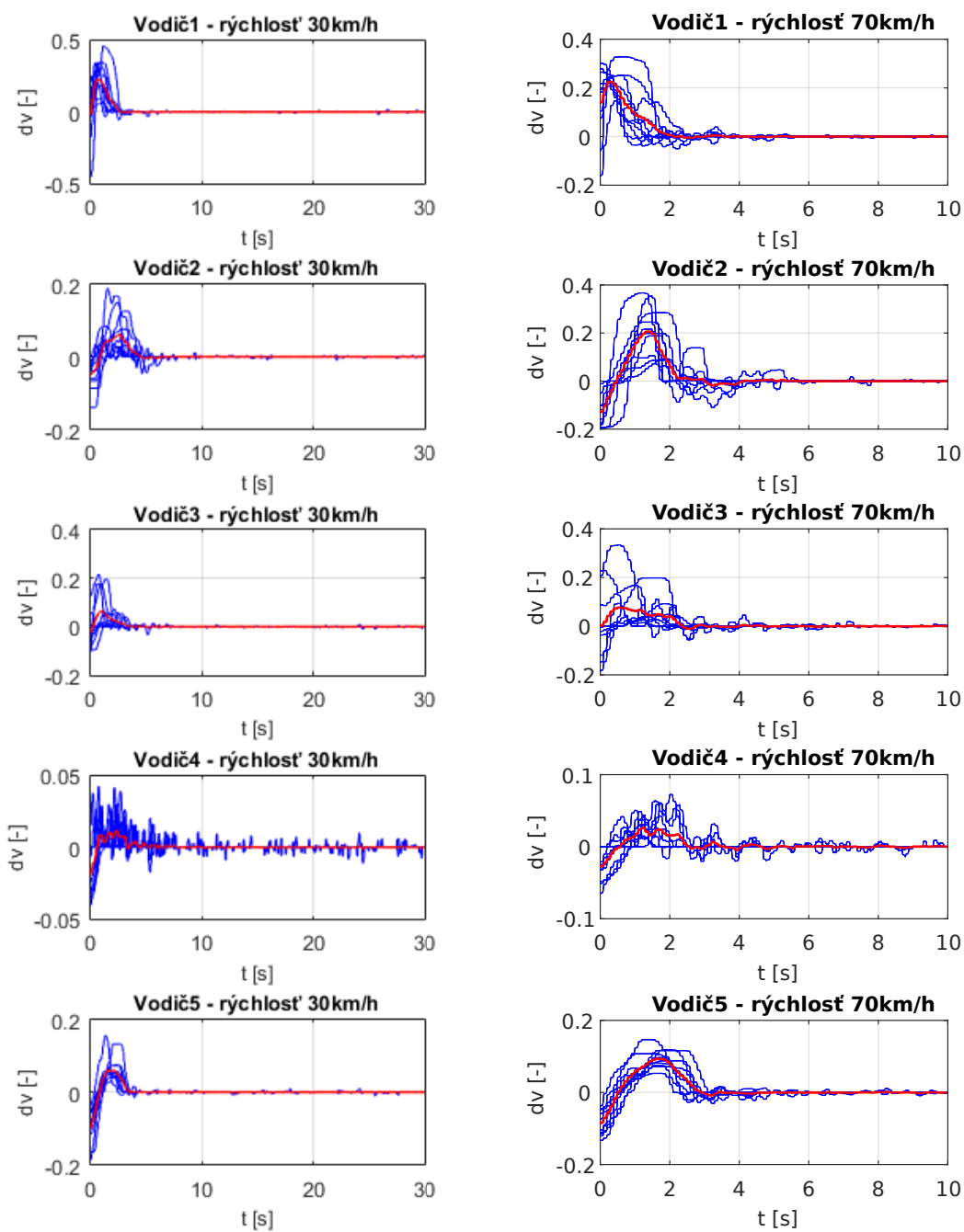
Princíp a vyhodnocovanie tejto scény je rovnaký ako pri scéne bez zobrazenia čiary. Rozdiel je ale vo výsledkoch. Zatiaľ čo pri nezobrazení čiary testovaný vodič nemohol dopredu predvídať zmenu čiary, v tomto prípade túto možnosť má.

5.6.1 Reálna odozva vodičov na zmenu čiary - výchylka volantu

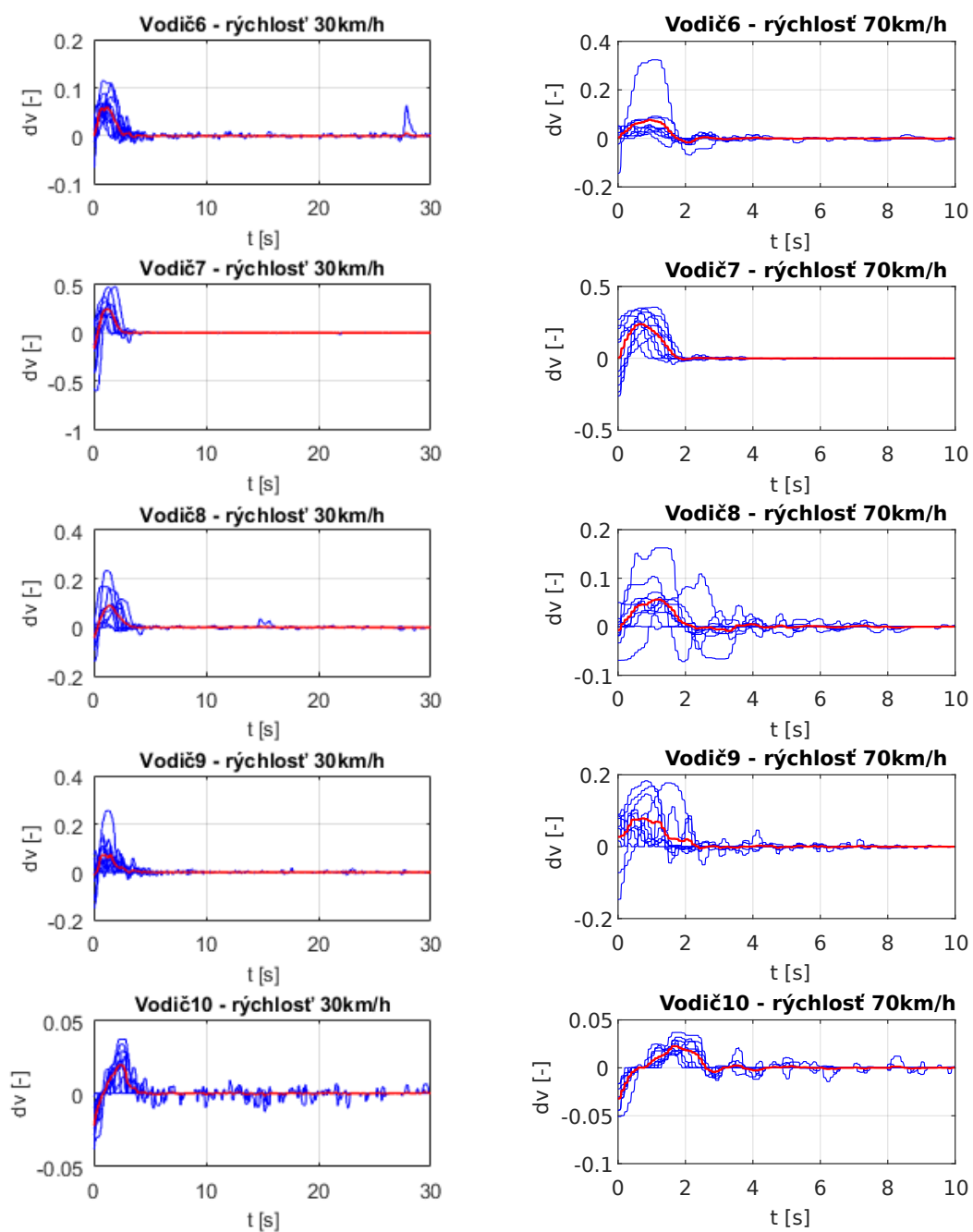
Najprv sa teda zameriam na zobrazenie reálnej odozvy vodičov, a to na ich výchylku volantu vid' Obr. 5.24 a Obr. 5.25.

Už na prvý pohľad je možné vidieť rozdiel v reakcii vodičov, ktorá je na rozdiel od predchádzajúcej bez oneskorenia a niektorým vodičom sa zmenšila aj veľkosť zosilnenia. Ďalším zaujímavým faktom je, že všetci vodiči výraznejšie točili volantom len do jedného smeru pre vyrovnanie, keďže mali dostatok času a predvídali vývoj a mohli tak jemnejšie točiť volantom. Tiež sa znížila aj doba ustálenia hodnoty na 4s.

Modrou farbou sú podobne, ako u predchádzajúcej scény, všetky reálne priebehy odmerané na testovanom vodičovi. Červenou farbou je zvýraznený priemer týchto hodnôt.

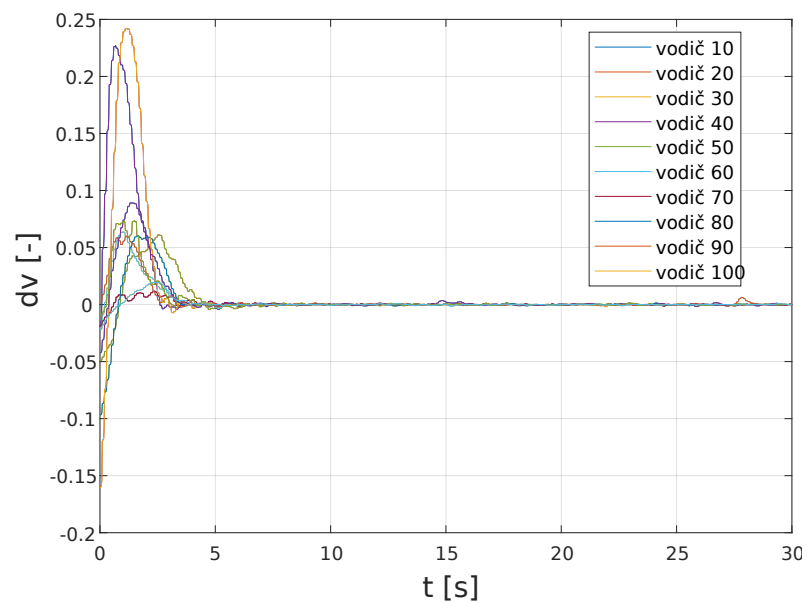


Obr. 5.24: Namerané dáta zo simulátora - reakcia zmenu čiar (Vodič 1-5)



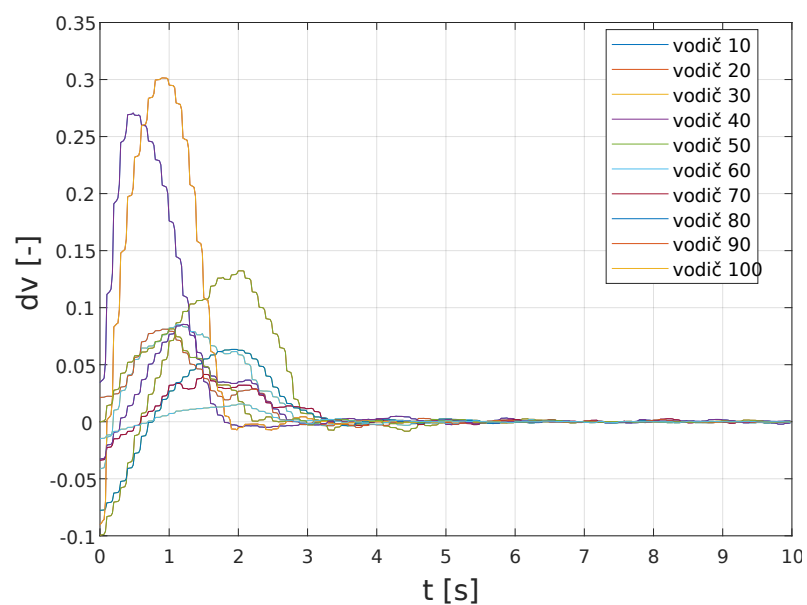
Obr. 5.25: Namerané dáta zo simulátora - reakcia zmenu čiary (Vodič 6-10)

Ďalej zobrazím porovnanie priemerných hodnôt výsledkov reakcií od jednotlivých vodičov.



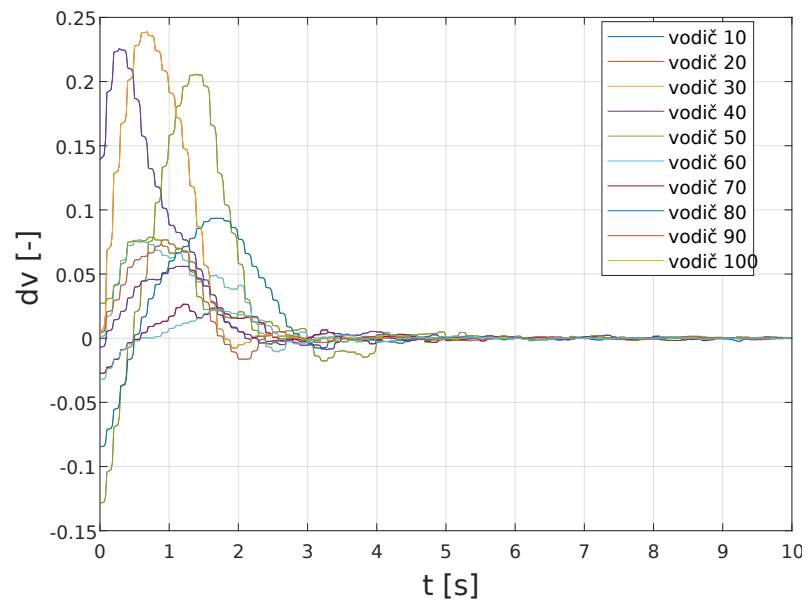
Obr. 5.26: Priemerné odozvy jednotlivých vodičov 30km/h

Pri rýchlosti 30 km/h sa porovnanie vodičov nemení a viac menej odpovedá chovaniu bez zobrazenia čiary. Svedčí to o tom, že so zmenou podmienok sa výrazne nezmení zaobchádzanie vodičov s volantom.



Obr. 5.27: Priemerné odozvy jednotlivých vodičov 50km/h

Pri rýchlosti 50 km/h sú výsledky porovnávaní vodičov rovnaké pri 30 km/h.

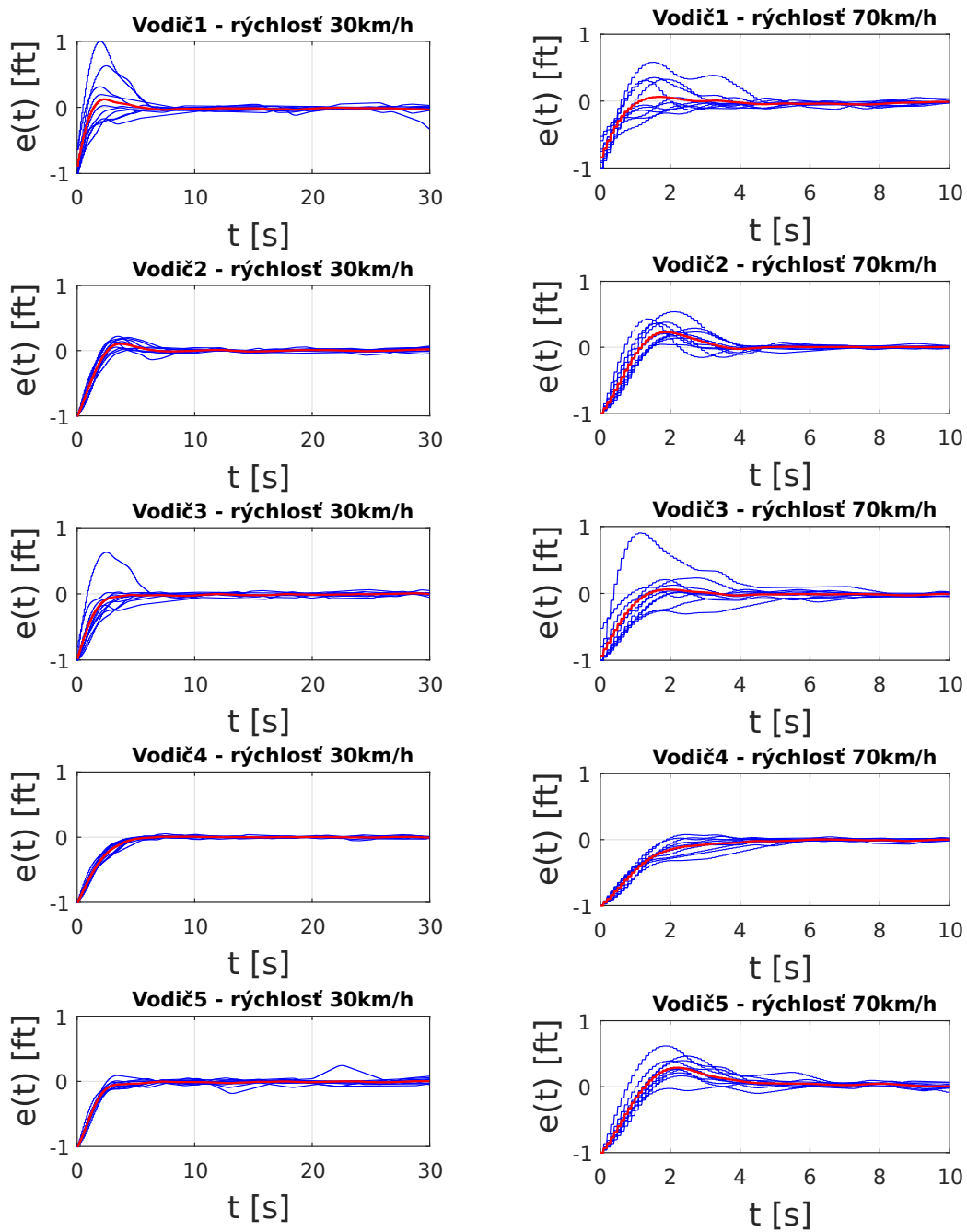


Obr. 5.28: Priemerné odozvy jednotlivých vodičov 70km/h

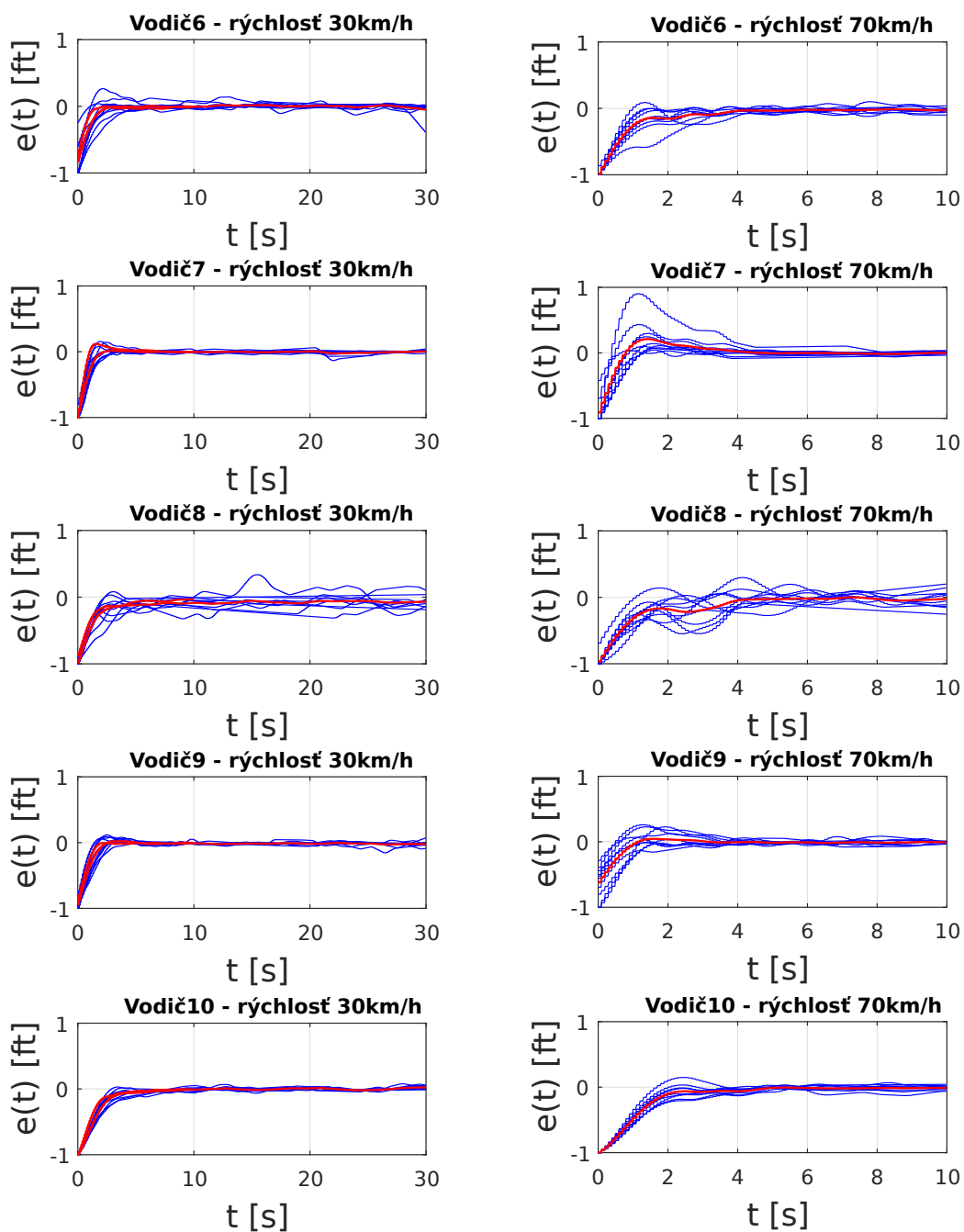
Pri rýchlosti 70 km/h sa nezvyšovala veľkosť prekmitov okrem vodiča 3.

5.6.2 Kvalita regulácie

Kvalitu regulácie som vyhodnocovala rovnako ako pri predchádzajúcom prípade pomocou integrálnych kritérií a na základe chyby, ktorá zodpovedá vzdialenosti vozidla od čiar. Na Obr. 5.29 a Obr.5.30 je zobrazený vývoj chyby od rôznych vodičov. Dĺžku dát, na základe ktorých som vyhodnocovala chybu, som aj v tomto prípade zvolila rovnakú pre všetky rýchlosti, a to 10s.

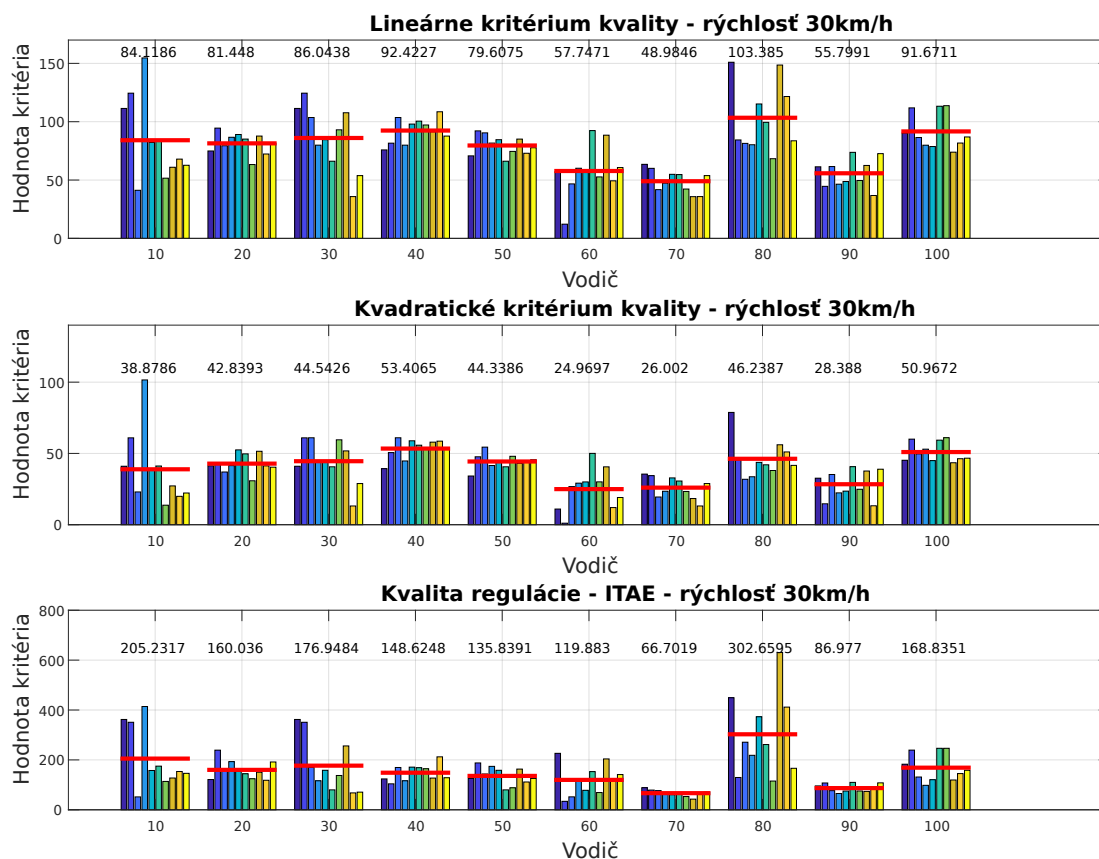


Obr. 5.29: Namerané dáta zo simulátora - priebeh chyby (Vodič 1-5)



Obr. 5.30: Namerané dáta zo simulátora - priebeh chyby (Vodič 6-10)

Už z grafov je jasne vidieť, že chyba je pri zobrazení čiary nižšia, ako bez zobrazenia čiary. Porovnanie vodičov spravím z konkrétnych hodnôt získaných pomocou integrálnych kritérií.

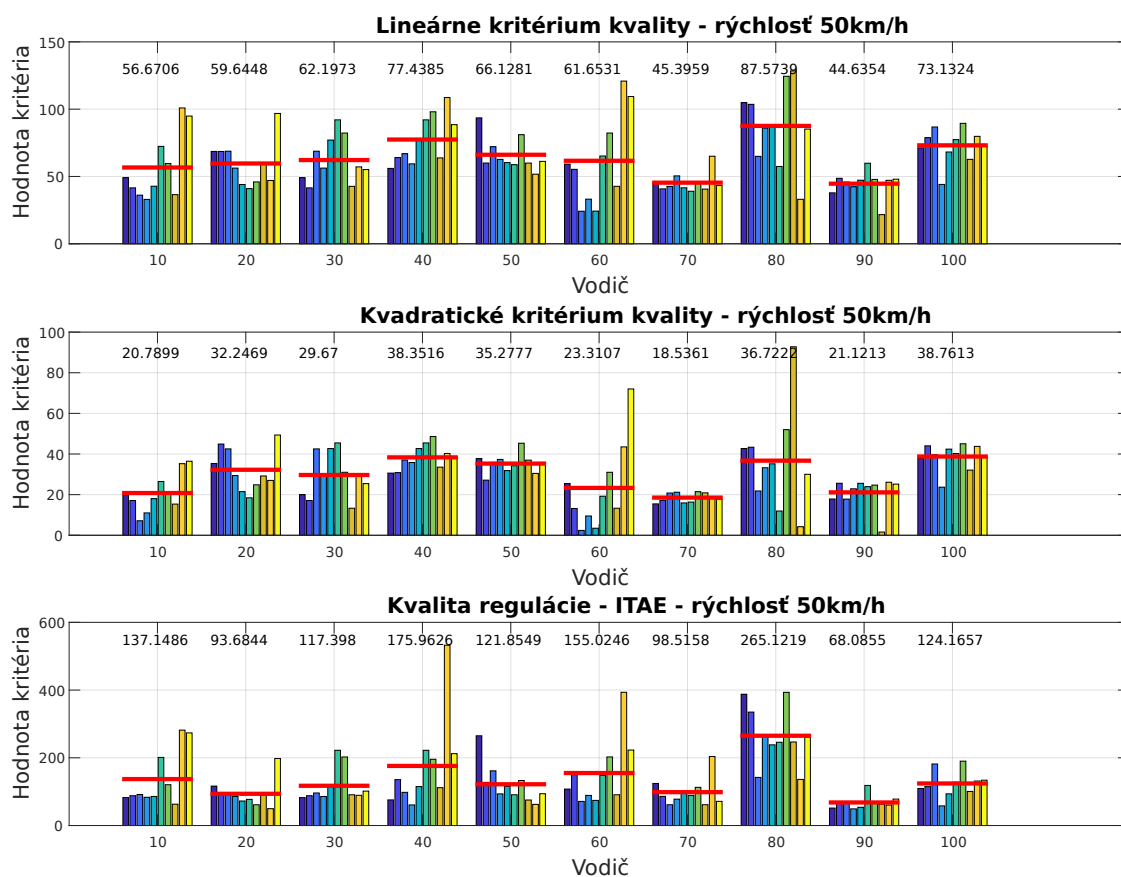


Obr. 5.31: Kvalita regulácie rýchlosť 30km/h - vodič 1-10

Obr. 5.31 zobrazuje výsledky všetkých troch spomínaných kritérií pre rýchlosť vozidla 30 km/h.

Výsledky vodičov:

- Modifikované lineárne integrálne kritérium - najmenšia chyba (48.9846) vodič 7, najväčšia chyba (103.385) vodič 8.
- Kvadratické integrálne kritérium - najmenšia chyba (24.969) vodič 6, najväčšia chyba (53.406) vodič 4.
- ITAE kritérium - najmenšia chyba (66.701) vodič 7, najväčšia chyba (302.659) vodič 8.

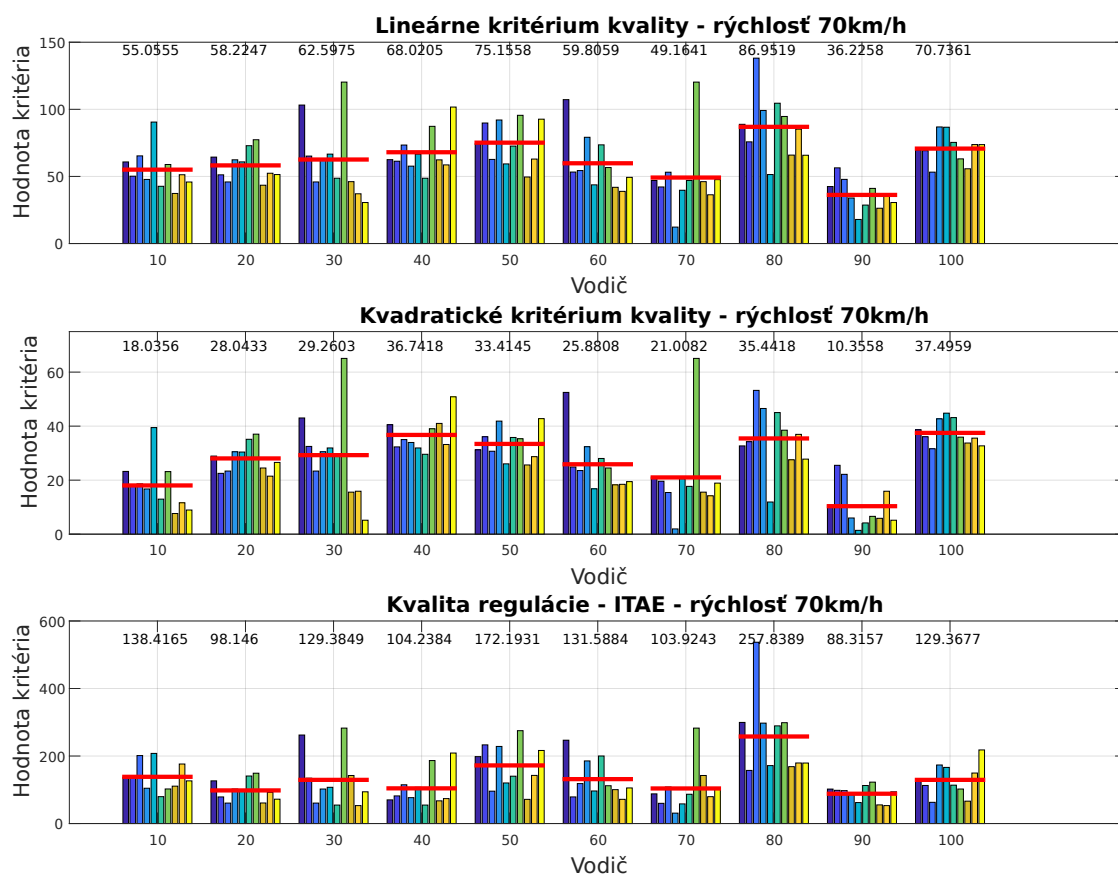


Obr. 5.32: Kvalita regulácie rýchlosť 50km/h - vodič 1-10

Obr. 5.32 zobrazuje výsledky všetkých troch spomínaných kritérií pre rýchlosť vozidla 50 km/h.

Výsledky vodičov:

- Modifikované lineárne integrálne kritérium - najmenšia chyba (44.63) vodič 9, najväčšia chyba (87.573) vodič 8.
- Kvadratické integrálne kritérium - najmenšia chyba (18.536) vodič 7, najväčšia chyba (38.761) vodič 10.
- ITAE kritérium - najmenšia chyba (68.085) vodič 9, najväčšia chyba (265.121) vodič 8.



Obr. 5.33: Kvalita regulácie rýchlosť 70km/h - vodič 1-10

Obr. 5.33 zobrazuje výsledky všetkých troch spomínaných kritérií pre rýchlosť vozidla 70 km/h.

Výsledky vodičov:

- Modifikované lineárne integrálne kritérium - najmenšia chyba (36.225) vodič 9, najväčšia chyba (86.951) vodič 8.
- Kvadratické integrálne kritérium - najmenšia chyba (10.355) vodič 9, najväčšia chyba (37.495) vodič 10.
- ITAE kritérium - najmenšia chyba (88.315) vodič 9, najväčšia chyba (257.838) vodič 8.

Na záver by som porovnala náročnosť jednotlivých rýchlostí. V tabuľke 5.5 je vidieť, že opäť boli hodnoty kritérií najnižšie pri rýchlosti 70 km/h a najväčšie pri rýchlosti 30 km/h.

Kritérium	Vyhodnotenie rýchlostí		
	30 km/h	50 km/h	70 km/h
Lineárne	78,12	63,45	62,19
Kvadratické	40,06	29,48	27,57
ITAE	157,17	135,70	135,34

Tab. 5.5: Porovnanie integrálnych kritérií pri rôznych rýchlostiach

5.6.3 Identifikované parametre - Precision model

Aj v tomto prípade som identifikovala parametre Precision modelu. Keďže z grafov je dostatočne vidieť rozdiel medzi situáciou bez zobrazenia čiary a so zobrazenou čiarou, rozhodla som sa vynechať výsledky identifikovaných parametrov. Konkrétne hodnoty modelu sú k dispozícii v prílohe D.

5.6.4 Scéna sleduj čiaru - porovnanie

Ďalej som sa rozhodla spraviť porovnanie kvality regulácie sledovania čiary so zobrazenou čiarou a bez zobrazenia čiary na konkrétnych hodnotách. Tieto hodnoty som zhrnula do tabuľky 5.6

		Kvalita regulácie											
Vodič	Čiara - predvídanie	Hodnoty lineárnehokritéria				Hodnoty kvadratického kritéria				Hodnoty ITAE kritéria			
		30 km/h	50 km/h	70 km/h	30 km/h	50 km/h	70 km/h	30 km/h	50 km/h	70 km/h	30 km/h	50 km/h	70 km/h
1	Bez	156,80	109,75	107,88	109,29	76,58	78,79	352,4409	194,6065	178,4343			
	S	84,12	56,67	55,06	38,88	20,79	18,04	205,23	137,1486	138,4165			
2	Bez	159,37	128,21	114,70	121,69	98,51	86,44	325,4667	217,3307	184,7971			
	S	81,45	59,64	58,22	42,84	32,25	28,04	160,04	93,68445	98,14605			
3	Bez	152,99	140,51	139,78	118,84	105,86	98,25	285,8481	263,444	308,2893			
	S	86,04	62,20	62,60	44,54	29,67	29,26	176,95	117,398	129,3849			
4	Bez	182,82	161,09	133,01	138,79	121,29	99,73	406,8106	330,3631	235,596			
	S	92,42	77,44	68,02	53,41	38,35	36,74	148,62	175,9626	104,2384			
5	Bez	170,74	131,93	115,54	126,78	99,58	85,44	375,7766	229,5489	201,758			
	S	79,61	66,13	75,16	44,34	35,28	33,41	135,84	121,8549	172,1931			
6	Bez	150,91	136,06	135,20	118,95	102,90	99,18	271,5698	240,9208	261,5127			
	S	57,75	61,65	59,81	24,97	23,31	25,88	119,88	155,0246	131,5884			
7	Bez	129,30	114,07	103,96	99,09	86,99	79,06	220,5285	178,7443	153,628			
	S	48,98	45,40	49,16	26,00	18,54	21,01	66,70	98,51577	103,9243			
8	Bez	184,23	171,92	168,02	135,60	117,26	117,86	446,6114	435,9172	419,0887			
	S	103,38	87,57	86,95	46,24	36,72	35,44	302,66	265,1219	257,8389			
9	Bez	148,45	116,30	105,90	113,73	87,21	77,35	274,7456	181,5801	170,415			
	S	55,80	44,64	36,23	28,39	21,12	10,36	86,98	68,08551	88,31565			
10	Bez	195,06	133,98	136,11	139,84	89,94	84,21	505,6982	282,1032	313,3294			
	S	91,67	73,13	70,74	50,97	38,76	37,50	168,84	124,1657	129,3677			

Tab. 5.6: Porovnanie integrálnych kritérií pri rôznych rýchlostiach a scénach

Z tejto tabuľky je jasne vidieť, že vo všetkých prípadoch rýchlosti, pre všetky tri integrálne kritéria mal každý vodič nižšiu chybu v prípade so zobrazenou čiarou. Zelenou farbou je znázornená nižšia hodnota a červenou vyššia.

6 Záver

Prvou časťou mojej diplomovej práce bolo preštudovať problematiku hodnotenia parametrov ľudského operátora a používaných modelov chovania. Mojim cieľom pri splnení tohto zadania bolo popísať rôzne možnosti riešenia tejto problematiky a vyzdvihnúť riešenie, ktoré budem využívať v rámci mojej práce.

Druhou časťou mojej diplomovej práce bolo zoznámenie sa so stávajúcim modelom simulátora navrhnutého v prostredí Matlab/Simulink. Výsledkom tejto časti bolo porozumenie vytvoreného simulátora, aby som bola následne schopná upraviť simulátor podľa aktuálnych potrieb.

Tretia časť mojej diplomovej práce sa zaoberala návrhom a následným implementovaním jednotlivých scén a tiež aj úpravami pôvodného simulátora. Pri návrhu jednotlivých scén som sa zamerala nato, čomu chcem testovaného ľudského operátora vystaviť. Táto práca obsahuje celkovo sedem scenárov, na ktorých boli vodiči testovaní. Tieto scenáre boli navrhnuté pre skúmanie schopností vodiča sledovať vozidlo, pre vyhodnotenie reakčnej doby vodičov, identifikácií parametrov ľudského regulátora a určenie kvality odozvy vodičov na očakávané a neočakávané zmeny. Boli vytvorené v prostredí Matlab/Simulink. Okrem doplnenia jednotlivých scén som vylepšila aj ich ovládanie v simulátore, doplnením užívateľského rozhrania GUI. Tak isto som doplnila aj ukladanie zozbieraných, nameraných dát od jednotlivých scén do zložky.

Posledná časť mojej práce sa zaoberá meraním a vyhodnocovaním jednotlivých vodičov. Testy boli vykonané na desiatich vodičoch, čo môže byť z pohľadu štatistických údajov malý počet, ale z časových dôvodov nebol priestor pre širšiu skupinu ľudí. Z týchto výsledkov sa dá jednoducho vyhodnotiť chovanie testovaných vodičov z pohľadu vodičských schopností. Ďalej sa dá overiť, že McRuerove modely je možné použiť pre určenie dynamických vlastností človeka - vodiča.

Výsledkom mojej diplomovej práce je teda funkčný simulátor schopný otestovať reakcie ľudského operátora na rôzne scény.

Využitie mojej práce vidím hlavne v oblasti rozšírenia informácií o dynamickom chovaní ľudského regulátora ako vodiča simulátora vozidla, a tiež použiteľnosť pre ďalšie výskumy.

Literatúra

- [1] *Hloubková analýza dopravních nehod* [online]. [cit. 4. 12. 2018]. Dostupné z URL: <<https://www.cdv.cz/hloubkova-analyza-dopravnich-nehod/>>.
- [2] *Driving simulator* [online]. [cit. 4. 12. 2018]. Dostupné z URL: <<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/driving-simulator>>.
- [3] *FRONKOVÁ, Marcela, Mgr.: Dopravná nehodovosť u najrizikovejších skupín vodičov z hľadiska veku na Slovensku* [online]. [cit. 4. 12. 2018]. Dostupné z URL: <http://psych.upol.cz/wp-content/uploads/2014/01/2014_Fronkov%C3%A1_Dopravn%C3%A1-nehodovos%C5%A5-u-najrizikovej%C5%A1%C3%ADch-skup%C3%ADn-vodi%C4%8Dov-z-h%C4%BEdiska-veku-na-Slovensku.pdf>.
- [4] *BLAHA, Petr. Řízení a regulace I. Brno: Vysoké učení technické, 2009..* [cit. 5. 12. 2018].
- [5] *Adams, J. A., A closed loop theory of motor learning. Journal of motor behavior, 3, 1971..* [cit. 5. 12. 2018].
- [6] *HAVLÍKOVÁ, Marie. Diagnostika systému s lidským operátorem. Brno, 2008. Disertacni prace. Vysoke uceni technicke v Brne.* [cit. 5. 12. 2018].
- [7] *MCRUER, Duane T. Pilot-Induced Oscillations and Human Dynamic Behavior* [online]. [cit. 6. 12. 2018]. Dostupné z URL: <<http://hdl.handle.net/2060/19960020960>>.
- [8] *RASMUSSEN, Jens. Information Processing and Human-Machine Interaction: An Approach to Cognitive Engineering. New York: North-Holland: Elsevier Science Ltd, 1986. ISBN 978-0444009876..* [cit. 7. 12. 2018].
- [9] *MCRUER, D.T. and Ezra KRENDEL. Human Pilot Dynamics in Compensatory systems* [online]. [cit. 8. 12. 2018]. Dostupné z URL: <<http://contrails.iit.edu/DigitalCollection/1965/AFFDLTR65-015.pdf>>.
- [10] *JIRGL, Miroslav. Analyza modelu chovani pilota pri rizeni letu letounu. Brno, 2016. Disertacni prace. Vysoke uceni technicke v Brne.* [cit. 9. 12. 2018].
- [11] *THE MATHWORKS, INC. Simulink 3D Animation. Mathworks.com* [online]. [cit. 10. 12. 2018]. Dostupné z URL: <<https://www.mathworks.com/products/3d-animation.html>>.

- [12] *V-REALM BUILDER*, *Cs.vu.nl* [online]. [cit. 10. 12. 2018]. Dostupné z URL:
<<https://www.cs.vu.nl/~eliens/mt/@archive/online/archive/documents/vrml/V-Realm/>>.
- [13] *Create a Simple App Using GUIDE* [online]. [cit. 15. 11. 2018]. Dostupné z URL:
<https://www.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/about-the-simple-guide-gui-example.html>.
- [14] ŠIMČÍK, Patrik. *Realizace simulacni ulohy s prvky virtualni reality. Brno, 2018. Diplomova prace. Vysoke uceni technicke v Brne.* [cit. 22. 04. 2019].
- [15] *Matlab, Documentation* [online]. [cit. 27. 04. 2019]. Dostupné z URL:
<<https://www.mathworks.com/help/ident/ref/tfestoptions.html>>.

Zoznam symbolov, veličín a skratiek

3D	Trojdimenzionálny
BF	Best fit
CNS	Centrálna nervová sústava
csv	comma-separated values
č	číslo
ft	Stopy
GUI	Graphical User Interface
h	Hodina
km	Kilometer
m	Meter
MMS	Man-Machine System
Obr	Obrázok
rad	Radián
s	Sekunda
VR	Virtual Reality
VRML	Virtual Reality Modeling Language
vid'	Vidieť

Zoznam príloh

A Dokumentácia

B Text diplomky - elektronická podoba

C Generované grafy

C.1 Scéna sleduj čiary bez zobrazenia čiary

C.2 Scéna sleduj čiary so zobrazenou čiarou

D Result&Graph

D.1 Návod - ReadmeTutorial.txt

E Namerané dáta

F Simulátor so scénami - Matlab/Simulink